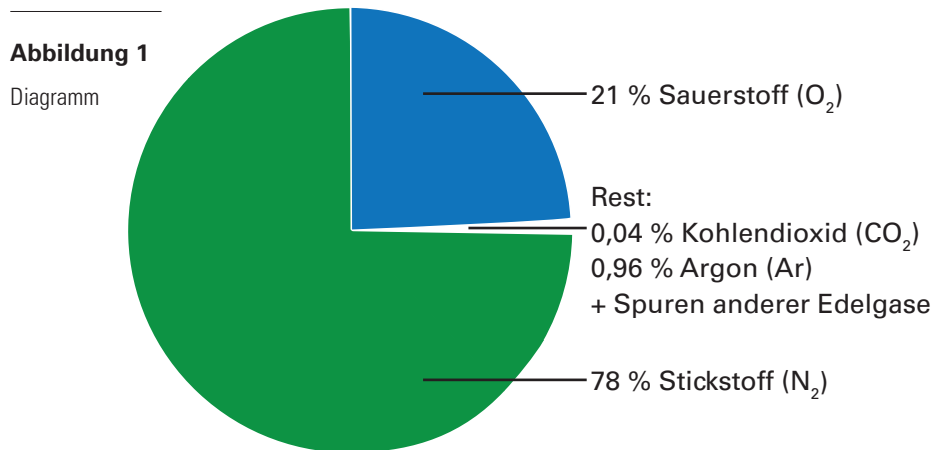


1. WAS IST ATEMBARE LUFT?

Die uns umgebende Atmosphäre, die natürliche (aber trockene) Luft, besteht – in runden Zahlen als Vol.-% ausgedrückt – aus.

Und für den, der es ganz genau wissen will, nennen wir nachstehend auch die Zahlen entsprechend den Begriffsbestimmungen Reinhaltung der Luft gemäß VDI 2104:



Bestandteil	Vol.-% bez. auf trockene Luft
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	20,93
Stickstoff (N <sub>2</sub> )	78,10
Argon (Ar)	0,9325
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	0,04
Wasserstoff (H <sub>2</sub> )	0,01
Neon (Ne)	0,0018
Helium (He)	0,005
Krypton (Kr)	0,0001
Xenon (Xe)	0,000009

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass alle vorgenannten Zahlen sich auf **trockene** Luft ohne jeglichen Wasserdampfgehalt beziehen.

In der Praxis enthält aber jede natürliche Luft noch einen gewissen - ebenfalls lebensnotwendigen - Prozentsatz Feuchtigkeit, also Wasserdampf. Bei 1 % Wasserdampfanteil z. B. (dies entspricht ca. 55 % rel. Feuchte bei 20 °C) liegen nur noch 99 % trockene Luft vor; bei 3 % Wasserdampfanteil (dies entspricht ca. 100 % rel. Feuchte bei 24 °C) geht der Anteil der „trockenen“ Luft auf 97 % zurück.

An diese Zusammensetzung der Luft hat sich der menschliche Organismus mit seinem Atmungs- und Kreislaufsystem seit Jahrtausenden gewöhnt und angepasst. Wie wichtig die Erhaltung dieser Zusammensetzung für Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit eines Menschen ist, zeigt sich darin, welchen entscheidenden Einfluss bereits geringfügige Schwankungen in der Beschaffenheit unserer Atemluft auf ihn haben können.

Wir alle kennen die leistungsbegrenzenden Symptome beim Aufenthalt in größeren Höhen, die atemberaubend schwüle Luft vor einem Gewitter, die rachenaustrocknende Luft zentralbeheizter Räume oder die stickige Atmosphäre an heißen Sommertagen im Zentrum von Großstädten.

Wir kennen die Wirkung penetrant übelriechender Stoffe, bei denen es uns „glatt den Atem verschlägt“, und wir kennen die ermüdende Wirkung „verbrauchter Luft“ in geschlossenen Räumen, in denen sich Menschen längere Zeit aufgehalten haben. Dagegen kennen wir aber auch die belebende Wirkung eines Spazierganges in frischer Waldluft.

Solange trotz dieser „Klimaschwankungen“ die Luft noch atembar bleibt, wird unser Organismus mit ihnen fertig, und Atmung und Kreislauf passen sich der jeweiligen Leistung entsprechend diesen Umweltbedingungen flexibel an.

Welche Grenzbedingungen aber muss die uns umgebende Luft erfüllen, damit sie noch als „atembare Luft“ akzeptiert werden kann? Ganz allgemein wird unter „atembarer Luft“ eine Luftzusammensetzung verstanden, die ein Mensch längere Zeit einatmen kann, ohne Schaden zu erleiden (z. B. durch Atemgifte) oder unangemessen belästigt zu werden (z. B. durch Geruch).

„Schädigungen des menschlichen Organismus können durch Sauerstoffmangel in der Umgebungsatmosphäre, durch Aufnahme gesundheitsschädlicher Beimengungen der Atemluft in den Körper sowie durch einen physiologisch ungeeigneten Zustand der Atemluft (Druck, Temperatur u. ä.) hervorgerufen werden“, wie es im „Atemschutzmerkblatt“ des Deutschen Ausschusses für Atemschutzgeräte (DAfA) heisst.

Das „Atenschutzmerkblatt“ beginnt deshalb mit dem Satz: „Bei allen Arbeitsvorgängen, bei denen Sauerstoffmangel vorliegen kann oder die mit der Entwicklung gesundheitsschädlicher und in die Atemluft gelangender Stoffe verbunden sind, ist dafür zu sorgen, dass die Atemluft der Beschäftigten an den Arbeitsplätzen soviel Sauerstoff enthält und außerdem so frei von gesundheitsschädlichen Stoffen ist, dass keine Beeinträchtigungen der Funktion der Atemorgane, keine Erkrankungen oder gar der Tod auftreten können“.

Zusammengefasst und nach dem heutigen Stand der Kenntnisse lassen sich für Luft, die noch als „atembare Luft“ akzeptiert werden kann, folgende Grenzbedingungen definieren:

#### Atembare Luft heisst:

1. Die Atemluft muss genügend Sauerstoff enthalten (mindestens 15 Vol.-%; bei Benutzung von CO-Filter selbstrettern mindestens 17 Vol.-%).
2. Die Atemluft muss frei sein von gesundheitsschädlichen Stoffen, die über die Atemorgane Störungen des Organismus oder Vergiftungen verursachen können.
3. Die Atemluft muss sich in einem für die Atmung geeigneten Zustand befinden (sie muss z. B. im Normalfall etwa Atmosphärendruck haben und muss temperiert sein innerhalb eines Bereiches, der auf jeden Fall Erfrierungen oder Verbrennungen ausschließt).
4. Die Atemluft soll keine Stoffe enthalten, die als unangenehm oder belästigend empfunden werden (z. B. Geruchsstoffe).

In allen Fällen, in denen diese Voraussetzungen nicht erfüllt oder garantiert werden können, sind - wiederum nach Definition des „Atenschutzmerkblattes“ - „... für den jeweiligen Verwendungszweck **geeignete Atemschutzgeräte** zur Verfügung zu stellen ...!“

## 2. GASAUSTAUSCH UND BLUTKREISLAUF

Zur Erhaltung seiner Lebensfunktion benötigt der Mensch laufend eine gewisse Menge an Energie für die zu leistende körperliche Arbeit und für die Erhaltung der Körperwärme. Diese Energie wird dem menschlichen Körper dadurch zugeführt, dass die Nahrungsstoffe nach ihrer Aufbereitung und chemischen Aufschlüsselung sich mit dem Sauerstoff der eingeatmeten Luft verbinden. Dieser Vorgang wird Oxydation oder Verbrennung genannt.

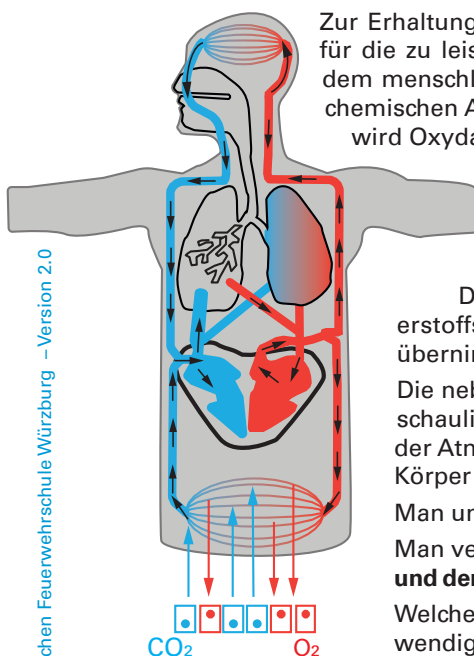
Bei dieser langsamen Verbrennung, welche in den Körperzellen vor sich geht, werden die Nährstoffe in Energie verwandelt. Das dabei entstehende Kohlendioxid und andere Abbauprodukte müssen laufend aus dem Körper entfernt werden. Die sich bei diesem Prozess in den Körperzellen abspielenden Vorgänge nennt man den Stoffwechsel.

Die Zuführung der für diesen Stoffwechsel erforderlichen Nahrungsstoffe und des Sauerstoffs zu den Körperzellen sowie den Abtransport der dort entstehenden Abbauprodukte übernimmt das Blut im Kreislauf.

Die nebenstehende schematische Darstellung soll diese Vorgänge in vereinfachter Form veranschaulichen. Die Blutmenge eines Menschen von 75 kg Körpergewicht beträgt rund 7 Liter. Unter der Atmung des Menschen sind nun alle die Vorgänge zu verstehen, durch die der menschliche Körper mit Sauerstoff versorgt und von Kohlendioxid befreit wird.

Man unterscheidet dabei zwischen **äußerer** oder **Lungenatmung** und **innerer** oder **Zellatmung**. Man versteht unter **äußerer Atmung** den **Gasaustausch durch die Lunge zwischen der Atemluft und dem Blut**, und **innerer Atmung** den **Gasaustausch zwischen dem Blut und den Gewebezellen**.

Welche vorrangige Bedeutung die Atmung, also der Sauerstoff der Atemluft, für den lebensnotwendigen Energiehaushalt des menschlichen Körpers im Vergleich zu anderen Energielieferanten hat, sehen wir schon daran, dass der Mensch ca. 30 Tage ohne Essen, 3 Tage ohne Trinken, aber nur 3 Minuten ohne Atemluft existieren kann. Die drei „Lebenslichter“ in der nachfolgenden Darstellung sollen dies veranschaulichen.



Wie lange brennt das "Lebenslicht" weiter?		
ohne Nährstoffzufuhr (Essen)	ohne Wasserzufuhr (Trinken)	ohne Sauerstoffzufuhr (Atmen)
30 Tage	3 Tage	3 Minuten



Der mechanische Ablauf der Atmung, d. h. der Luftwechsel in der Lunge, wird durch die Brustkorb- und Zwerchfellmuskulatur sowie die Elastizität des Brustkorbes und der Lunge bewerkstelligt, wobei O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Spannung im Blut durch komplizierte Reglermechanismen auf ihren „Sollwerten“ gehalten werden.

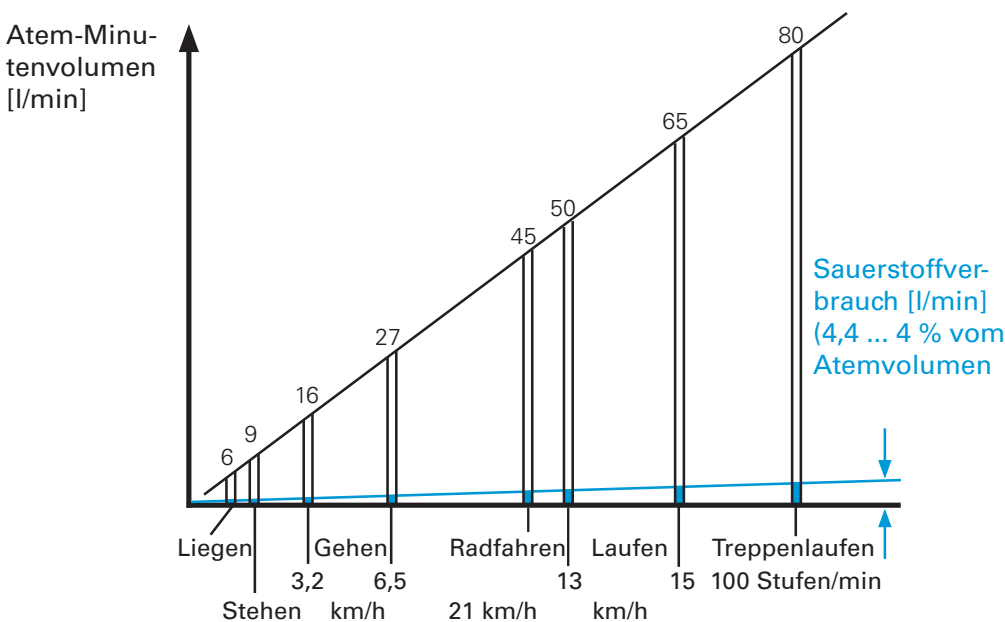
### 3. ARBEITSLEISTUNG (KÖRPERLICHE LEISTUNG) UND LUFTBEDARF

Der Atemluftbedarf des Menschen ist keine Konstante, sondern hängt in starkem Maße von der jeweils zu erbringenden körperlichen Leistung ab. Die bewegte Atemluftmenge eines Erwachsenen beträgt bei Körperruhe (Liegen) je Atemzug durchschnittlich 0,5 Liter, bei 12 Atemzügen pro Minute also 6 Liter/min. Bei starker körperlicher Anstrengung kann dieser Wert auf 90 Liter/min und mehr ansteigen. In gewissem Umfang wird der Atemluftbedarf aber auch mitbestimmt durch Alter und Konstitution eines Menschen sowie seine psychologische Situation (Furcht, Freude, Erregung). Hinzu kommt, dass bei der Benutzung von **Atemschutzgeräten** der Trainingszustand des Geräteträgers einen erheblichen Einfluss auf den Atemluftbedarf haben kann.

Die Anpassung des Körpers an den jeweiligen Luftbedarf erfolgt durch Veränderung der **Atemtiefe** (= Luftmenge in Litern/Atemzug) und/oder der **Atemfrequenz** (= Atemzüge/min).

Als allgemein gültiges Maß für den Luftbedarf eines Menschen gilt hier das Atem-Minutenvolumen.

Das **Atem-Minutenvolumen** ist gleich dem in 1 Minute eingeatmeten Luftvolumen (in Litern).



Nebenstehende Tabelle zeigt, wie mit steigender körperlicher Belastung das Atem-Minutenvolumen des Menschen - und damit zwangsläufig auch der Sauerstoffverbrauch - zunimmt.

#### 4. ANATOMISCHE FAKTEN

Im vorhergehenden Abschnitt wurde gezeigt, wie groß der Atemluftbedarf eines Menschen in Abhängigkeit von seiner jeweiligen körperlichen Leistung ist. Aber feste anatomische Gegebenheiten - man könnte sie als „technische Daten der Lunge und der Atemwege“ bezeichnen - setzen in bestimmten Situationen dem notwendigen Gasaustausch oder der Leistungsfähigkeit des Menschen Grenzen. Ihrer Wichtigkeit wegen wollen wir diese anatomischen Fakten im folgenden erklären und auf ihren Einfluss innerhalb des hier abgesteckten Rahmens eingehen.

Die **Vitalkapazität** der menschlichen Lunge setzt sich zusammen aus normalem Atemvolumen + expiratorischem Reservevolumen + inspiratorischem Reservevolumen. Da bei stärkster Arbeitsbelastung eines Menschen seine Atemtiefe die Vitalkapazität erreicht, kann man in Umkehrung dieses Zusammenhanges mit Hilfe spirometrischer Messungen (Messung eines forcierten Atemstoßes mittels DRÄGER-Spirotron®) die obere Grenze der Leistungsfähigkeit eines Menschen ermitteln.

Die Vitalkapazität eines gesunden Erwachsenen hängt ab von seiner Körpergröße, seinem Alter (Abnahme mit zunehmendem Alter) und von seinem Geschlecht (bei Frauen 0,8 bis 1 Liter kleiner als bei Männern gleicher Größe und gleichen Alters).

Zahlenbeispiel für den Durchschnittswert der Vitalkapazität eines Mannes mittlerer Größe (178 cm), abhängig vom Alter:

5,3 Liter (20 Jahre)

4,9 Liter (38 Jahre)

4,3 Liter (65 Jahre)

Durch sportliches Training (z. B. Laufen, Rudern) lassen sich diese Werte um 1 Liter und mehr vergrößern, andererseits können bei krankhaften Veränderungen erheblich kleinere Werte gemessen werden.

Unter dem Begriff **anatomischer Totraum** werden die Zuleitungswege der Atmung - der Nasen-Rachen-Raum, die Luftröhre und die Bronchien - zusammengefasst, die am Gasaustausch nicht beteiligt sind. In nebenstehendem Bild ist dieser anatomische Totraum grün getönt dargestellt; er hat, nach Comroe, ein Volumen von 100 bis 200 ml.

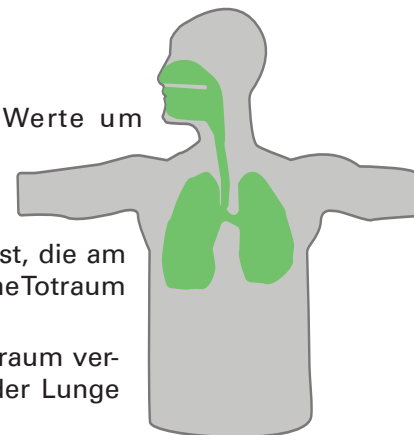
Die Folge dieses Totraums ist, dass mit jedem Einatemzug zunächst die im Totraum verbliebene (verbrauchte) Ausatemluft des vorhergehenden Atemzuges wieder der Lunge zugeführt wird, ehe frische Luft in die Lunge strömt.

Die Belüftung der Lungenbläschen beträgt also bei einem Atemzug von 500 ml etwa nur 300 bis 400 ml und bei einem solchen von 300 ml etwa nur 100 bis 200 ml.

Je schwächer die Atmung wird, um so nachteiliger wirkt sich der Totraum aus. Deshalb leitet man Personen mit Atemnot zu ruhigem, möglichst tiefem Atmen an. Je größer die mit jedem Atemzug bewegte Luftmenge wird, um so bedeutungsloser wird der Totraum. Wichtig ist tiefes Ausatmen, die Einatmung erfolgt dann leichter.

Das **Residualvolumen** (oder die sogenannte Restluft) ist dasjenige Luftvolumen, das selbst bei angestrengter Ausatmung noch in der Lunge verbleibt; es beträgt etwa 1 Liter. Als **Totalkapazität** bezeichnet man die Summe aller hier genannten Volumina, also Vitalkapazität + Totraum + Residualvolumen.

**Atemwiderstände** sind natürliche Strömungswiderstände in den Atemwegen. Diese Widerstände, die die Atemluft beim Ein- und Ausatmen überwinden muss, sind um so höher, je enger die Atemwege sind, z. B. infolge Erkältung, krankhaften Veränderungen oder dgl. Das kann bei großem Luftbedarf zu Leistungsbegrenzungen führen.



## 5. GERÄTE TECHNISCHE FAKTEN

Entsprechend den anatomischen Fakten finden wir auch auf der gerätetechnischen Seite, also beim Atemschutzgerät, unter den technischen Daten zwei gleichlautende Begriffe wieder: Atemschutzwiderstände und Totraum.

**Widerstände** in den Leitungswegen für Ein- und Ausatemluft in einem Atemschutzgerät sind genauso unvermeidbar wie die zuvor beschriebenen Widerstände der menschlichen Atemwege. Es ist selbstverständlich, dass auch beim Atemschutzgerät diese Widerstände so klein wie möglich gehalten werden sollten, damit sie die natürliche Atmung so wenig wie möglich beeinflussen.

Die (nachteilige) Wirkung eines großen anatomischen Totraumes haben wir bereits kennengelernt. Beim Atmen über ein Atemschutzgerät kommt in jedem Fall noch ein **gerätetechnisch bedingter Totraum** hinzu (Atemschläuche bei Pendelatmung, Maskeninnenräume usw.), so dass wir in diesem Fall mit einem vergrößerten **Gesamt-Totraum** zu rechnen haben.

Solange dieser Gesamt-Totraum nicht übermäßig groß ist, wird der Kreislauf ausreichend mit Sauerstoff versorgt; wächst er jedoch z. B. dadurch, dass bei der Konstruktion eines Atemschutzgerätes dieser Umstand nicht genügend berücksichtigt wurde, so stark an, dass das Atem-Minutenvolumen eines Geräteträgers nicht mehr zu einer ausreichenden Sauerstoff-Versorgung des Blutes bzw. zum Abtransport des Kohlendioxides ausreicht, wird der lebensnotwendige Gasaustausch beeinträchtigt.

## 6. BAU UND BENUTZUNG VON ATEMSCHUTZGERÄTEN

Fassen wir hier die gewonnenen Erkenntnisse abschließend zusammen, so ergeben sich als wichtige Forderungen

### a) für den Bau von Atemschutzgeräten

- Atemschutzgeräte müssen auch bei maximaler Arbeitsbelastung genügend Atemluft zur Verfügung stellen;
- der Totraum im Atemschutzgerät muss so klein wie möglich gehalten werden;
- die zusätzlichen, leistungseinschränkende Belastungen des Geräteträgers durch das Gerät (Gewicht, Atemwiderstände, Atemlufttemperatur) sollten - den technischen Möglichkeiten entsprechend - so gering wie möglich sein;

### b) für die Benutzung von Atemschutzgeräten

- Der Benutzer eines Atemschutzgerätes muss mit der Funktion und der Handhabung seines Gerätes vertraut sein und
- er muss die Einsatzgrenzen seines Gerätes ebenso kennen wie seine eigenen, damit er beide unter keinen Umständen überschreitet.

---

## IMPRESSUM

Herausgeber:	Staatliche Feuerweherschule Würzburg, Weißenburgstr. 60, 97082 Würzburg
Genehmigter Auszug aus	"Starthilfe Folge 2" der Drägerwerke AG, Stand 1976
Gestaltung:	Staatliche Feuerweherschule Würzburg, Sachgebiet Lehr- und Lernmittel
Auflage	01/1999