

Tabelle 2: Kardiale Parameter (nach Faller, 2012)

Parameter	Erklärung
Schlagvolumen (SV)	Blutmenge, die pro Kontraktionszyklus des Herzens ausgeworfen wird (in Ruhe ca. 70 ml).
Herzschlagfrequenz (HF)	Anzahl der Schläge des Herzens pro Minute (in Ruhe ca. 60 – 70 S/min)
Herzminutenvolumen (HMV)	Blutmenge, die pro Minute vom Herzen gefördert wird (Produkt aus Schlagvolumen und Herzschlagfrequenz)

$$\text{Herzminutenvolumen} = \text{Schlagvolumen} \times \text{Herzschlagfrequenz}$$

### Krankheiten

Herz-Kreislauf-Erkrankungen gehören in Deutschland zu den häufigsten Todesursachen. Bewegungsmangel und eine ungesunde Ernährung gehören zu den größten Risikofaktoren.

### 1.2.3 Blutdruck

Den Druck, gegen den die linke Herzkammer das Blut auswerfen muss, wird als arterieller Blutdruck bezeichnet. Die Druckwelle kann peripher (z.B. am Handgelenk) als Pulswelle gemessen werden. Es gilt zu beachten, dass in den menschlichen Blutgefäßen unterschiedliche Druckverhältnisse herrschen. Je weiter ein Gefäß vom Herzen entfernt ist, desto geringer ist der Druck.

Der Blutdruck wird mit RR (nach dem Arzt Riva Rocci) abgekürzt. Die Einheit für den Blutdruck ist Millimeter Quecksilbersäule (mmHg). In der Regel werden beim Blutdruck zwei Werte angegeben: z. B. 120/80 mmHg.

Der erste Wert ist der systolische Blutdruck, also der Druck während der Austreibungsphase des Herzens. Der zweite Wert ist der diastolische Blutdruck, also der Druck während der Erschlaffungsphase des Herzens.

Tabelle 3: Klassifikation Blutdruck (nach Deutsche Hochdruckliga, 2005)

Klassifikation	systolisch (mmHg)	diastolisch (mmHg)
optimal	< 120	<80
normal	120 – 129	80 – 84
hochnormal	130 – 139	85 – 89
Hypertonie Stufe 1 (leicht)	140 – 159	90 – 99
Hypertonie Stufe 2 (mittelschwer)	160 – 179	100 – 109
Hypertonie Stufe 3 (schwer)	≥ 180	≥ 110
Isoliert systolische Hypertonie	≥ 140	< 90

Reaktion auf körperliche Aktivität: Es gibt eine Zunahme des systolischen Blutdruckes mit zunehmender Belastungsintensität. Die maximalen Werte liegen typischerweise bei 190-220 mmHG und sollten 250 mmHG nicht überschreiten.

### Herzfrequenz

Die Herzfrequenz gibt die Anzahl der Herzschläge pro Minute an.

Kinder weisen eine höhere Herzfrequenz als Erwachsene auf, während ältere Menschen niedrigere Herzfrequenzen haben. In der gleichen Altersgruppe und im gleichen Geschlecht haben ausdauertrainierte Menschen eine niedrigere Ruhe-Herzfrequenz als untrainierte Individuen.

Reaktion auf körperliche Aktivität: Die Herzfrequenz steigt linear mit der Arbeitsgeschwindigkeit und der Sauerstoffaufnahme während der dynamischen Aktivität an.

### Ruheherzfrequenz

Als Ruheherzfrequenz (synonym Ruheherzschlagfrequenz) wird die Herzschlagrate bei völliger körperlicher Ruhe bezeichnet. Die durchschnittliche normale Ruheherzfrequenz beträgt ca. 60-80 Schläge pro Minute. Die Ruhe-Herzfrequenz bei Frauen ist typischerweise 10 Schläge pro Minute höher als bei Männern.

Die Absenkung der Ruheherzfrequenz wird häufig als ein positiver Effekt der regelmäßigen körperlichen Belastung genannt und kann als Vorgang mit gesundheitlicher Bedeutung angesehen werden (Dickhuth et al., 2004, Hohmann et al., 2003, Renner, 2003). Es gibt zahlreiche gesundheitlich als positiv zu bewertende Adaptationen, die zu der Reduktion der Herzschlagfrequenz führen.

Die Hauptfaktoren sind die Umstellung des Nervensystems vom Sympathiko- zum Vagotonus (Parasympathikus), die verbesserte Vaskularisierung (Neubildung kleiner Blutgefäße), vermehrte Ausbildung von Kollateralen, Zunahme des Schlagvolumens und die gesteigerte periphere Sauerstoffausnutzung.

Die Umstellung des Vegetativums vom sympathikotonen zum vagotonen Typ ist mit einer Absenkung des Katecholamin- und einer Zunahme des Acetylcholingehaltes im Blut verbunden (Strauzenberg, 1978, Strauzenberg/Schwindtmann, 1976). Zu den Katecholaminen gehören adrenerge Stresshormone wie Adrenalin; sie verursachen durch einen erhöhten Sauerstoffverbrauch eine Hypoxie (Sauerstoffmangel) im Herzmuskel.

Acetylcholin erzeugt anti-adrenerge (Sympathikus hemmende) Stimuli und führt zu einer Verminderung der kardiotoxischen Wirkung und einer erhöhten Katecholaminfreisetzung. Die Empfindlichkeit des Herzens gegenüber frequenzsteigernden adrenergen Reizen ist dadurch herabgesetzt (Weineck, 2007).

Die Verlangsamung des Herzschlages in Ruhebedingungen besitzt ebenfalls positive Effekte, die direkt auf das Herz wirken. Sie zeichnen sich durch eine Verringerung des myokardialen Sauerstoffverbrauchs, der Verlängerung der Diastolendauer mit einhergehender Verbesserung der Myokarddurchblutung und der Verringerung des Arbeitsblutdruckes aus (Dickhuth et al., 2004, Hollmann, 2001, Vonbank, Gabriel & Haber, 2005). Diese Faktoren führen unter anderem dazu, dass durch die Senkung der Herzfrequenz das Risiko tödlicher koronarer Herzerkrankungen signifikant verringert wird (Diaz et al., 2005, Fox et al., 2008, Palatini, 2005, Seccareccia et al., 2001).

Einer der Mechanismen, die zu einer Senkung des Ruhepulses führen, ist die Erhöhung des Schlagvolumens (Vanhees et al., 1992).

Nach Rieckert (1991) führt regelmäßiges Training zu einer Verschiebung im vegetativen Nervensystem in den parasympathicotonen Bereich und geht somit mit einer Absenkung der Ruheherzfrequenz einher. Die verlangsamte Schlagfolge des Herzens wird als Bradykardie bezeichnet (Pschyrembel, 2007). Ausdauertraining führt darüber hinaus zu einer Erhöhung des Schlagvolumens und ermöglicht somit ebenfalls eine Senkung der Ruheherzfrequenz (Vanhees, Hespel & van Hoof, 1992).

Ein weiterer Herzfrequenz verringernder Trainingseffekt ist die verbesserte periphere Sauerstoffausnutzung, die durch eine Vergrößerung der Energiespeicher in Form von Adenosintriphosphat (ATP) und Kreatinphosphat (KRP), Zunahme des Myoglobins und oxidativer Enzyme, Erhöhung der Mitochondrienzahl sowie deren Volumen und einer verbesserten Kapillarisation in der Muskulatur gekennzeichnet ist (Kindermann, 1991).

Regelmäßiges körperliches Training kann neben funktionellen auch zu strukturellen kardialen Adaptationen führen (König, Berg & Dickhuth, 2003). Die „physiologische Hypertrophie“ (Muskelwachstum) des Herzmuskels, die sich durch die harmonische Vergrößerung aller vier Herzhöhlen sowie des Myokards auszeichnet, wird als Sportherz bezeichnet (Kindermann, 1983). Strukturelle Anpassungsmechanismen des Herzens sind mit noch nicht näher bekannten genetischen Voraussetzungen und einem langfristigen und intensiven Training verbunden (Dickhuth et al., 2004, Israel, 1999). Im Gegensatz zu der seltenen sportbedingten Herzvergrößerung bei Erwachsenen (Kindermann, Janzen, Urhausen & Schieffer, 1998), reagiert das kindliche Herz infolge entsprechender Reizsetzung durch Ausdauertraining relativ schnell mit einer physiologischen Hypertrophie des Myokards und der Herzhöhlen (Dickhuth et al., 2004, Gottschalk, 1982, Israel, 1999).

#### 1.2.4 Der Einfluss von Training auf das Herz-Kreislauf-System

##### Der Einfluss von Training auf das Herz

- Erhöhung des Schlagvolumens (und des Herzminuten-volumens)
- Senkung der Ruheherzfrequenz
- Erhöhung der Herzfrequenzvariabilität (HRV = Heart Rate Variability)
- Kräftigung des Herzmuskels (Verminderung der Blutmenge, die nach vollständiger Systole im Herzen verbleibt)
- Erweiterung der Herzkranzgefäße
- Herzmuskelvergrößerung (= Sportherz: sehr selten)

##### Der Einfluss von Training auf das Kreislauf-System

- Verbesserte Kapillarisation
- Verbesserung der Windkesselfunktion
- Senkung des Blutdruckes in Ruhe
- Erhalt der Dehnfähigkeit der Arterienwände
- Erhöhung des Blutvolumens
- Erhöhung der Erythrozyten Zahl

## 2 Atmungssystem

### Lernziele

In diesem Kapitel lernst du, ...

1. wie der Gasaustausch im menschlichen Körper funktioniert.
2. welche Muskeln für den Vorgang der Atmung zuständig sind.
3. wie du deine Atmung durch spezielle Techniken und Training verbessern kannst.
4. wie sich Training auf das Atmungssystem auswirkt.

Ohne Sauerstoff ist menschliches Leben nicht möglich. Das Atmungssystem hat die übergeordneten Aufgaben, die anderen Organsysteme mit Sauerstoff zu versorgen und „verbrauchte Luft“ bzw. Kohlenstoffdioxid aus dem Körper wieder nach Außen abzugeben

Die *äußere Atmung* oder *Atmung im engeren Sinne* beschreibt den Gasaustausch mit der Umgebungsatmosphäre und allen dazugehörigen Transportprozessen. Unter der *inneren Atmung* sind die oxidativen Stoffwechselprozesse in den Zellen und Geweben des Körpers zu verstehen.

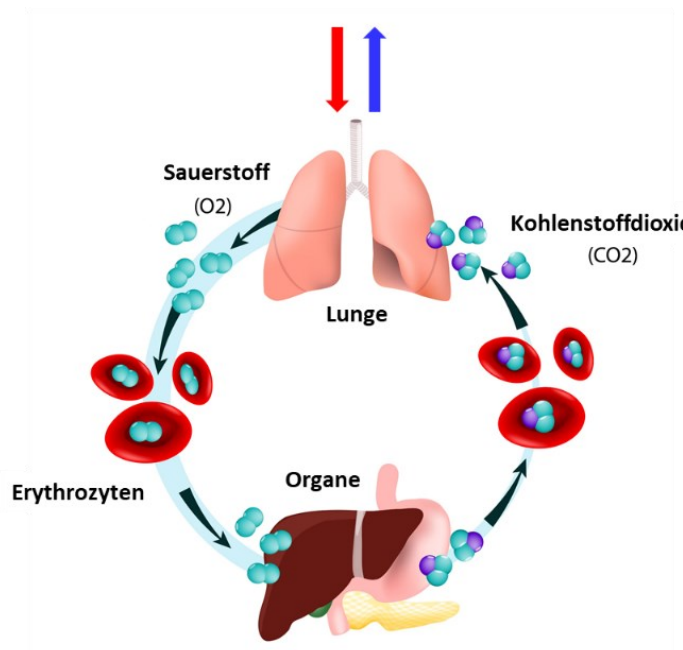


Abbildung 8: Gasaustausch beim Menschen

Innerhalb des Atmungssystems wird differenziert zwischen den *oberen Atemwegen* (*Nasenhöhle* und *Rachen*) und den *unteren Atemwegen* (*Kehlkopf*, *Luftröhre*, *Lunge*), siehe Abbildung 9 und Abbildung 4. Die Hauptaufgaben dieser Abschnitte sind der Transport, die Erwärmung, die Befeuchtung und die Reinigung der Atemluft. Daneben sind sie bei der Riechfunktion, der Stimmbildung und beim Schlucken von Bedeutung.

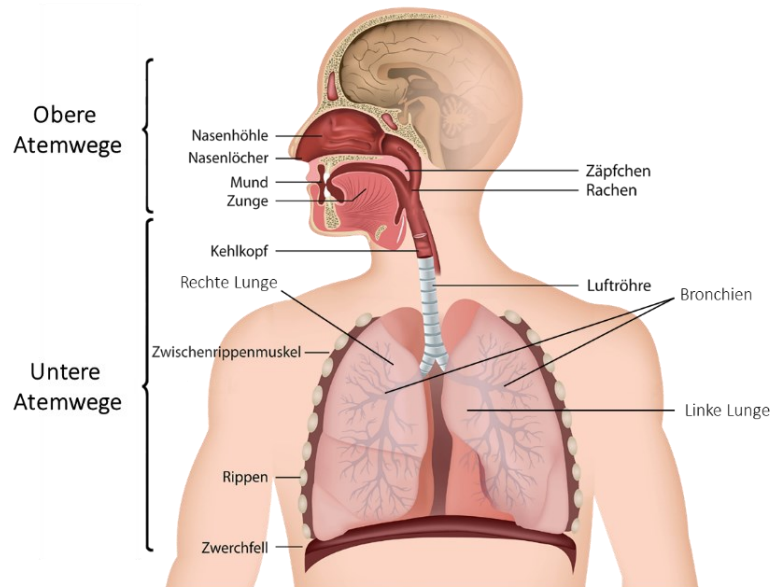


Abbildung 9: Atemwege

Die beiden Lungenflügel haben bei maximaler Einatmung ein Gesamtvolumen von 5-8 Liter, wobei der rechte Lungenflügel aufgrund des linksseitig platzierten Herzens um 10-20% größer ist (Drenckhahn, Waschke, 2014). Im Lungeninneren verzweigt sich der *Bronchialbaum* in immer kleinere *Bronchien* und *Bronchiolen*, deren Enden schließlich die rund 0,2mm großen *Alveolen* (Lungenbläschen) tragen. Die etwa 300 Millionen Alveolen eines Erwachsenen haben eine Gesamtoberfläche von 70-140m<sup>2</sup> und sind eng von den Lungenkapillaren umgeben. Diese große Oberfläche ist erforderlich, da sich der hier stattfindende Gasaustausch durch eine relativ langsame *Diffusion* vollzieht (Abbildung 10).

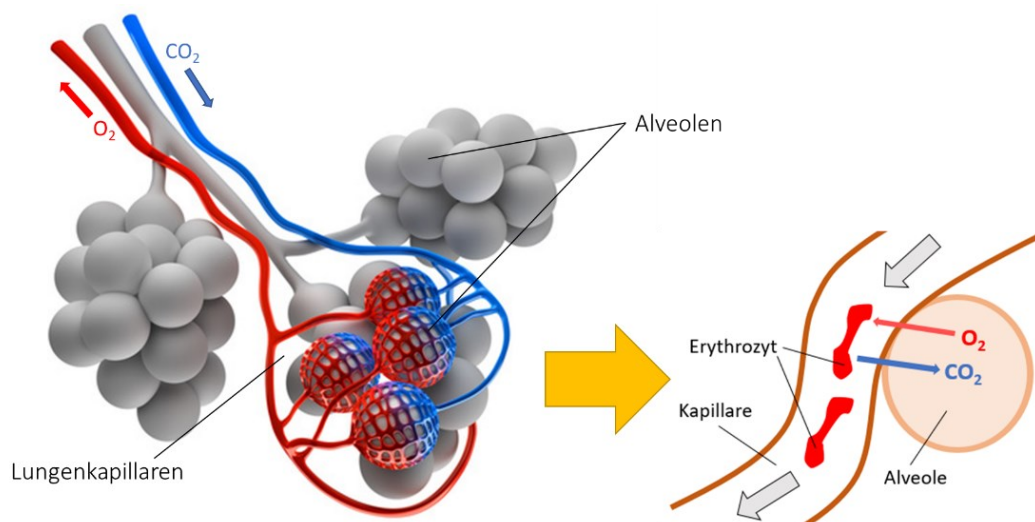


Abbildung 10: Gasaustausch zwischen Alveolen und Lungenkapillaren

Die eingeatmete Luft hat auf der Erde einen Sauerstoffgehalt von etwa 21% und einen Kohlenstoffdioxidanteil von 0,04%. Die ausgeatmete Luft hat einen Sauerstoffgehalt von etwa 17% und einen Kohlenstoffdioxidanteil von 4,04%. Der Atemluft wird beim Gasaustausch folglich nur ein Teil des Sauerstoffs entzogen.

## Höhentraining

Entgegen landläufiger Annahmen liegt der Sauerstoffanteil auch in der Höhe bei 21% der atmosphärischen Luft. Die umgangssprachliche „dünnere Luft“ resultiert aus einem niedrigeren Luftdruck, wodurch auch der Sauerstoffpartialdruck herabgesetzt ist. Pro Atemzug werden deshalb *insgesamt* weniger Gasmoleküle aufgenommen und damit auch weniger Sauerstoff. Ein erhöhtes Atemminutenvolumen kann diesen Sauerstoffmangel nicht vollständig kompensieren, kurzfristig kommt es damit zunächst zu einem Rückgang der physischen Leistungsfähigkeit.

Bei einem Höhengaufenthalt bzw. einem *Höhentraining* reagiert der Körper auf diese verminderte Sauerstoffzufuhr durch eine Erhöhung der Anzahl von Erythrozyten. Dadurch wird die Sauerstoffbindekazität des Blutes gesteigert und somit die arbeitende Muskulatur besser versorgt. Die erhöhte Erythrozytenzahl und Leistungsfähigkeit bleibt auch nach einer Rückkehr ins Tiefland für eine gewisse Zeit bestehen.

## 2.1 Der Atemvorgang

Die Einatmung (*Inspiration*) erfolgt aktiv, indem sich durch die Kontraktion der *Hauptinspiratoren*, nämlich *Zwerchfell* (*Diaphragma*) und *Zwischenrippenmuskulatur* (*Mm. intercostales*) der Thoraxinnenraum erweitert. Die daran fixierte Lunge dehnt sich dabei zwangsläufig mit aus, der dadurch entstehende Unterdruck erzeugt einen Sog und wird durch die Einatmung ausgeglichen. Muss die Atmung beispielsweise während körperlicher Arbeit vertieft werden, so wird zusätzlich die *Atemhilfsmuskulatur* eingesetzt. Dazu gehören u.a. der *M. serratus anterior* sowie Teile der Brust- und Halsmuskulatur. Sie heben u.a. die Rippen an und tragen damit zur Vergrößerung des Brustkorbes bei.

Die Ausatmung (*Expiration*) erfolgt im Normalfall passiv. Durch die Erschlaffung der Inspiratoren fällt der Brustkorb praktisch in sich zusammen, die Verkleinerung des Raumes führt zu einem Überdruck und somit zur Expiration. Erst bei einer verstärkten Ausatmung werden ebenfalls Muskeln aktiv. Zu diesen *Expiratoren* gehören der auch als „Hustenmuskel“ bekannte *M. latissimus dorsi* sowie weite Teile der Bauch- und Rippenmuskulatur. Sie helfen, den Raum der Lunge nach dem Einatmen schneller zu verkleinern und damit die Luft aktiv aus der Lunge zu pressen. Insgesamt lässt sich die Funktionsweise der Ein- und Ausatmung mit einem Blasebalg vergleichen (Abbildung 11).

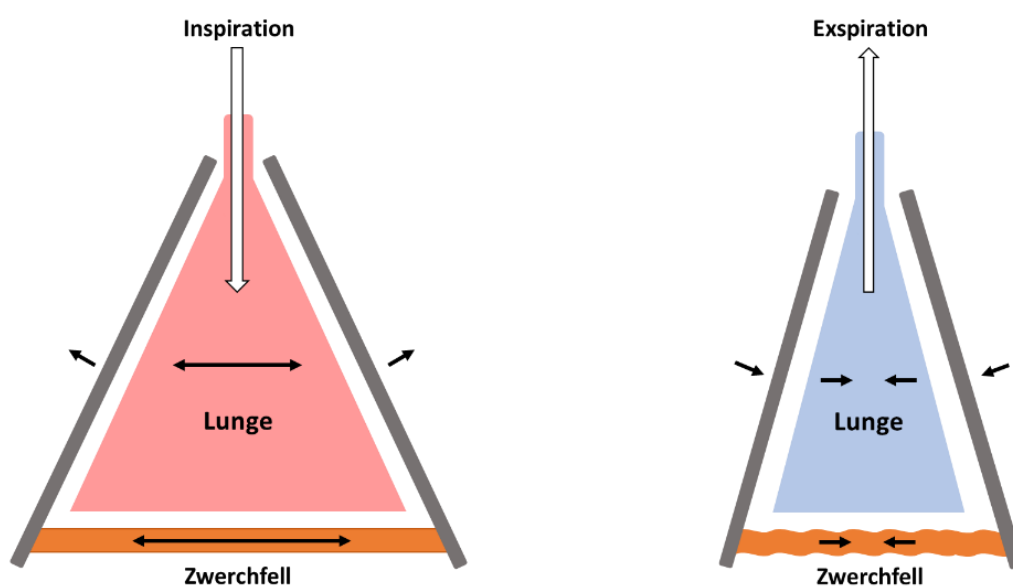


Abbildung 11: Funktionsprinzip der Lungenventilation

Tabelle 4: Übersicht der Atemmuskeln

Muskeln bei Inspiration (Einatmung)	Atemhilfsmuskeln	Muskeln bei aktiver Expiration (Ausatmung)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zwerchfell</li> <li>mm. intercostales externi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mm. scaleni</li> <li>m. sternocleidomastoideus</li> <li>m. pectoralis major</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mm. intercostales interni</li> <li>m. latissimus dorsi</li> </ul>

## 2.2 Atemvolumina

Bei der normalen Einatmung wird die Lunge nicht vollständig befüllt und bei der Ausatmung nie vollständig entleert. In Bezug auf ihr Volumen werden verschiedene Kennwerte der Lungenkapazität unterschieden.

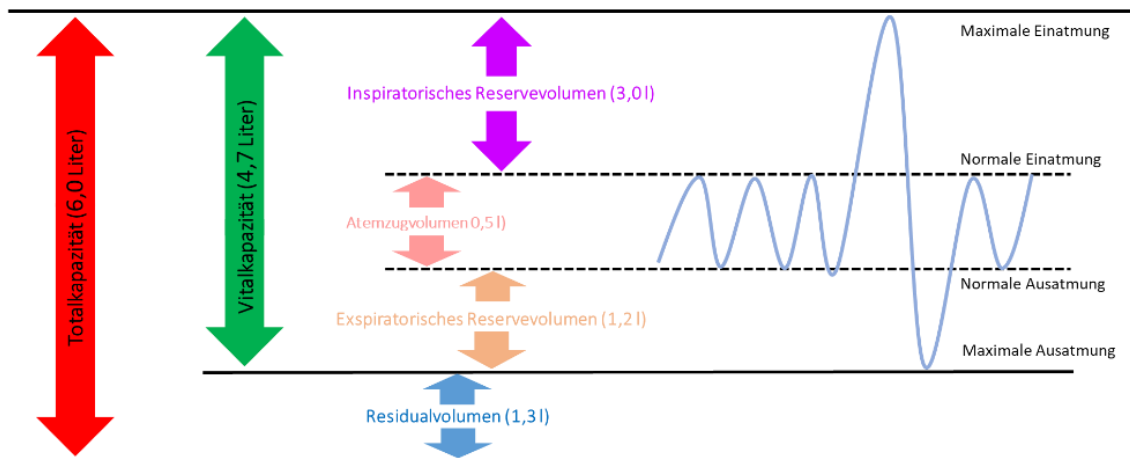


Abbildung 12: Graphische Darstellung der Atemvolumina (Eigene Darstellung)

- Die Luftmenge eines normalen Atemzuges beträgt etwa 0,5 Liter und wird als Atemzugvolumen (AZV) bezeichnet.
- Die Luftmenge, die bei bewusst tiefer, maximaler Einatmung zusätzlich eingeatmet werden kann, wird als inspiratorisches Reservevolumen (IRV) bezeichnet.
- Die Luftmenge, die bei bewusst tiefer, maximaler Ausatmung zusätzlich ausgeatmet werden kann, wird als expiratorisches Reservevolumen (ERV) bezeichnet.
- Die Summe aus AZV, IRV und ERV wird als Vitalkapazität (VK) bezeichnet. Die VK ist ein Maß für die Dehnbarkeit von Lunge/Brustkorb in Relation zur Kraft der Atemmuskulatur und lässt sich gut messen. Sie ist das Luftvolumen, das nach maximaler Einatmung maximal ausgeatmet werden kann.
- Als Residualvolumen (RV) wird diejenige Menge bezeichnet, die nicht ausgeatmet werden kann, also auch nach maximaler Ausatmung in der Lunge verbleibt.
- Als Totalkapazität (TK) wird schließlich das Volumen bezeichnet, das sich nach maximaler Einatmung in der Lunge befindet. Mathematisch ist es die Summe aus RV und VK.

Tabelle 5: Luftbedarf bei verschiedenen ausgewählten Tätigkeiten

Tätigkeit	Luftbedarf [l/min]
Liegen	6
Stehen	9
Gehen 3,2 km/h	16
Gehen 6,5 km/h	27
Radfahren 21 km/h	45
Laufen 13 km/h	50
Laufen 15 km/h	65
Treppenlaufen 100 Stufen/min	80

## 2.3 Die Pressatmung

Bei der Pressatmung wird durch einen willkürlich gesteuerten Verschluss der oberen Atemwege (Kehlkopf) eine Druckerhöhung im Brustraum erzeugt. Diese Atmung birgt gewisse Risiken und sollte deshalb nur in Maßen und ausschließlich von gesunden Personen eingesetzt werden. Das klassische Erscheinungsbild einer Person, die in die Pressatmung verfallen ist, sind ein hochroter Kopf sowie das deutliche Erscheinen der Halsvenen.

### 2.3.1 Gründe für die Pressatmung

Oft erfolgt die Pressatmung automatisch beim Training mit hohen Lasten. Die Pressatmung setzt in der Regel erst bei Intensitäten oberhalb von 60% der Maximalkraft ein. Der Verschluss der oberen Atemwege führt zur Stabilisierung des Brustkorbes und ist im Kraftsport weit verbreitet. Durch die Pressatmung können die Muskeln im Bereich des Brustkorbes stabilere Ansatzpunkte finden und dadurch höhere Lasten im Krafttraining bewältigt werden.

### 2.3.2 Folgen und Gefahren der Pressatmung

Während der Pressatmung können initiale Blutdruckspitzen von bis zu 400 mm/Hg entstehen. Durch diesen hohen Druck besteht die Gefahr von Gefäßrupturen. Darüber hinaus besteht die Gefahr einer verminderten Herzdurchblutung während der Pressatmung.

Nach der Pressatmung lässt der intrathorakale Druck plötzlich nach. Daraus resultiert ein starker Vagusreiz. Dies führt zu einer sogenannten postpressorischen Bradykardie – einer Verlangsamung der Herzfrequenz. Die Folge können Synkopen (Ohnmachtserscheinungen) oder Herzrhythmusstörungen sein.

Die negativen Aspekte *während* einer Pressatmung sind:

- Anstieg des Drucks im Thorax
- Blutdruckspitzen von bis zu 400 mmHg
- Blutstauung in Kopf und Extremitäten
- Rückgang des venösen Rückflusses zum Herzen
- Absinken des Schlagvolumens
- Kompensatorische Steigerung von Herzfrequenz und Blutdruck
- Minderversorgung von Organen und Gehirn
- Gefahr von Gefäßrissen und einer Bewusstseinsbeeinträchtigung



### 2.3.3 Pressatmung bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Problematisch wird der Einsatz dieser Atemtechnik vor allem bei Personen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Durch den erhöhten Druck im Brustinnenraum und der daraus resultierenden Beeinträchtigung des Blutrückflusses zum Herzen ist eventuell keine ausreichende Durchblutung des Herzens gegeben. Bei entsprechenden Vorerkrankung kann es durch die Druckerhöhung im Brustraum zudem zu Schäden an den Gefäßwänden kommen (Vogt, 2012). Personen mit Vorerkrankung sollten deshalb die Pressatmung unbedingt vermeiden. Es sollte darauf geachtet werden, die Luft nicht anzuhalten, sondern stattdessen die Lippenbremse zu nutzen. Dabei wird durch die Nase eingeatmet und durch die locker aufeinanderliegenden Lippen ausgeatmet. Diese Atemtechnik reguliert die Aufnahme und Abgabe der Luft und hat keine negativen Auswirkungen auf den Blutdruck.

### 2.3.4 Wie soll beim Krafttraining geatmet werden?

Es herrscht die grundsätzliche Empfehlung während Kraftübungen die Atmung nicht anzuhalten. Dabei wird häufig empfohlen, während der konzentrischen Phase auszuatmen und während der exzentrischen Phase einzuatmen.

## 2.4 Der Einfluss von Training auf das Atmungssystem

Zahlreiche Parameter, die mit der Atmung in Zusammenhang stehen, passen sich durch sportliches Training, ganz besonders durch aerobes Ausdauertraining, an. Physiologisch können entsprechende Trainingsreize in ihrer Summe hauptsächlich folgende Anpassungen bewirken:

- Ökonomisierung der Atemfunktion
- Vertiefung der Atmung
- Vergleichsweise niedrigere Atemfrequenz in Ruhe und bei submaximaler Belastung

### 3 Energiebereitstellung im Sport

#### Lernziele

In diesem Kapitel lernst du, ...

1. die verschiedenen Mechanismen der Energiebereitstellung kennen.
2. Energiebereitstellungswege Belastungsgefügen zuzuordnen.
3. wie sich Training auf die Muskulatur und damit auf die Energiebereitstellung auswirkt.

Zur Ausführung muskulärer Arbeit wird Energie benötigt. Die Mobilisierung, den Transport und die Gewinnung von Arbeitsenergie aus energiereichen Substraten bezeichnet man in der Physiologie als Energiebereitstellung oder als Energiestoffwechsel. Hierfür stehen dem menschlichen Organismus mehrere Energiegewinnungswege zur Verfügung.

Für Arbeit vorgesehene Energie, die in Nährstoffen gebunden aufgenommen wird, wird zunächst chemisch transformiert und dem Organismus als *Adenosintriphosphat (ATP)* bereitgestellt. Das Molekül Adenosintriphosphat (ATP) ist der universelle und direkt verfügbare Energieträger in den Zellen aller Organismen. ATP wird für jede Art von Arbeit zwingend benötigt und in einer Kette chemischer Reaktionen fortlaufend aus den energieliefernden Nährstoffen (also Kohlenhydrate, Fette und Proteine) und deren Substraten (v. a. *Glukose* und *Triglyceride*) synthetisiert. Die täglich gebildete und verbrauchte ATP-Masse eines Erwachsenen liegt zwischen 50 und 100% seines eigenen Körpergewichts. Bei der Oxidation entsteht nicht nur ATP, sondern als „Nebenprodukte“ auch Harnstoff, Wasser, Kohlenstoffdioxid und in sehr beträchtlichem Umfang Wärme. Dieser „Wärmeverlust“ beansprucht weit mehr als 50% der umgesetzten Energie.

Die eigentliche Nutzung des ATP für mechanische, osmotische oder chemische Arbeit wird durch die *Hydrolyse* von ATP bewirkt, d.h. durch eine chemische Reaktion mit Wasser kommt es unter der Aufspaltung von ATP in *Adenosindiphosphat (ADP)* und *Adenosinmonophosphat (AMP)* zu einer Energiefreisetzung von etwa 8kcal (33,47kJ) pro Mol ATP (Abbildung 13).



Abbildung 13: Energiefreisetzung durch die ATP-Hydrolyse

#### 3.1 Mechanismen der Energiebereitstellung

Für die Resynthese von ATP stehen dem Körper verschiedene Mechanismen zur Verfügung. Welcher der Mechanismen gerade vorrangig an der ATP-Resynthese beteiligt ist, hängt zum einen davon ab, welche „Brennstoffe“ dem Körper zur Verfügung stehen und zum anderen davon wie viel Energie pro Zeit (Energieflussrate) benötigt wird.