

Lektion 8 Kreislauf

Man weiß, dass wir einen systolischen Blutdruck von etwa 130 mmHg und einen diastolischen von 80 mmHg haben/sollen, und dass dieser bei Belastungen vorwiegend systolisch ansteigt (bei unseren Dauerläufern kaum mal auf über 200, bei Pressatmung auf mehrere hundert, was zur Halbierung des Schlagvolumens führt, die auch durch kompensatorische Pulserhöhung nicht kompensiert werden kann. Es geht immer nur für Augenblicke, die dem Gesunden nicht schaden, aber dem Angeschlagenen nicht aufgegeben werden dürfen. Ab Blutdruck (RR) von 140/90 beginnt mit Übergängen die Krankheit Hochdruck (Hypertonie), die zugleich Risikofaktor für Folgekrankheiten ist (Adipositas, Fettstoffwechselstörung, Diabetes 2 und die Infarkte von Herz und vor allem Gehirn - Apoplexie).

Das Herz kann bekanntlich nur die transportierte Menge des Blutes in der Minute realisieren, nicht aber seine Verteilung im Kreislauf auf die Organe. Diese wird in erster Linie von den kleinsten Arterien vor den Kapillaren (Arteriolen) durch deren Öffnung oder Verschluss geregelt. Sie stehen für den wechselnden „peripheren Widerstand“ im Kreislauf.(KL).

Viel Widerstand, höherer RR!

Der Bau des KL im Telegrammstil

Die Blutadern/Gefäße haben im Prinzip einen gemeinsamen Bauplan: Innen die (Tunika) Intima, die das System tapetenartig auskleidet und an die Herzzinnenhaut anschließt. Wie schon gesagt: Sie besteht nur aus den flachen Epithelien auf einer Basalmembran und steht offen für Diffusion und Flüssigkeitsdurchtritt im Gefolge des pressenden Blutdrucks, für Resorption der Energieträger aus dem Darm und Blutzellen etwa bei Entzündungen.

Sie hat sich auch als Hormonorgan erwiesen, das bei Mängeln der Durchblutung sich selber eine Gefäßerweiterung und damit bessere Durchblutung „bestellen“ kann. Im Bereich der Kapillaren besteht das Gefäß nur noch aus der Intima, daher dort die Austauschvorgänge. Die Intima ist auch maßgeblich an der Arteriosklerose beteiligt.

Die folgende Schicht ist die (Tunika-) Media. Hier finden sich festere kollagene Fasern, elastische Fasern und ringförmig angeordnete glatte Muskelfasern. Für diese Muskeln stehen eigene kleine Gefäße in der Wand zur Verfügung – die Vasa vasorum. Und außen geht die Wand in die (Tunika) Adventitia über, eine gewissermaßen feste Hülle, die nach außen abgrenzt und zugleich Verschieblichkeit zulässt. (so reißen die Gefäße nicht bei Kniebeugen etwa wegen einer starren Fixierung!)

Arterien, Kapillaren und Venen: (s. hier auch Kapitel 7)

Der Wandaufbau hat in den KL-Sektoren bedeutsame Unterschiede!

Aorta und weitere herznahe Arterien haben einen elastischen Schwerpunkt. (s. Windkesselfunktion).

Auch sie können den Blutstrom nicht im Sinne der notwendigen Blutverteilung richten, sie nehmen passiv vom Herzen auf und reichen weiter. Herzferne Arterien (in erster Linie die letzten vor der Kapillare - die Arteriolen) haben muskulären Schwerpunkt und können aktiv auf- und zumachen. Das ist jeweils bei Öffnung oder Verengung, rückwärts den Blutdruck erhöhen oder erniedrigen, vorwärts die Durchblutung im Muskel steigern oder reduzieren. (Der „periphere Kreislaufwiderstand“ mit Anwendungen des Ohmschen Gesetzes)!

Strömungsgeschwindigkeit

Wenn in Ruhe 5 l Blut in der Minuten fließen, aber bei Belastung 20, 25 und mehr Liter, dann würde das Blut so durch das Gewebe rasen, dass an einen Austausch nicht zu denken wäre. Kontaktzeit?

Ob in Ruhe oder bei Belastung, trainiert oder untrainiert, wir müssen über Regulatorien verfügen, die in der Peripherie langsamen Blutfluss garantieren!

Das Blut in der Aorta fließt 50 cm in der Sekunde, in der Kapillare 1 mm/s! Die Antwort heißt Flussdelta. (s. dazu die erste Graphik)

Von Gefäßabschnitt zu Gefäßabschnitt fließt das Blut nach der Aorta immer langsamer, ganz langsam in der Kapillare und wird dann wieder schneller. Das hat mit dem Delta zu tun, der Gesamtvolumenquerschnitt (im Gegensatz zum Querschnitt der einzelnen Ader) wird größer und auf der venösen Seite zum Sammeln wieder kleiner.

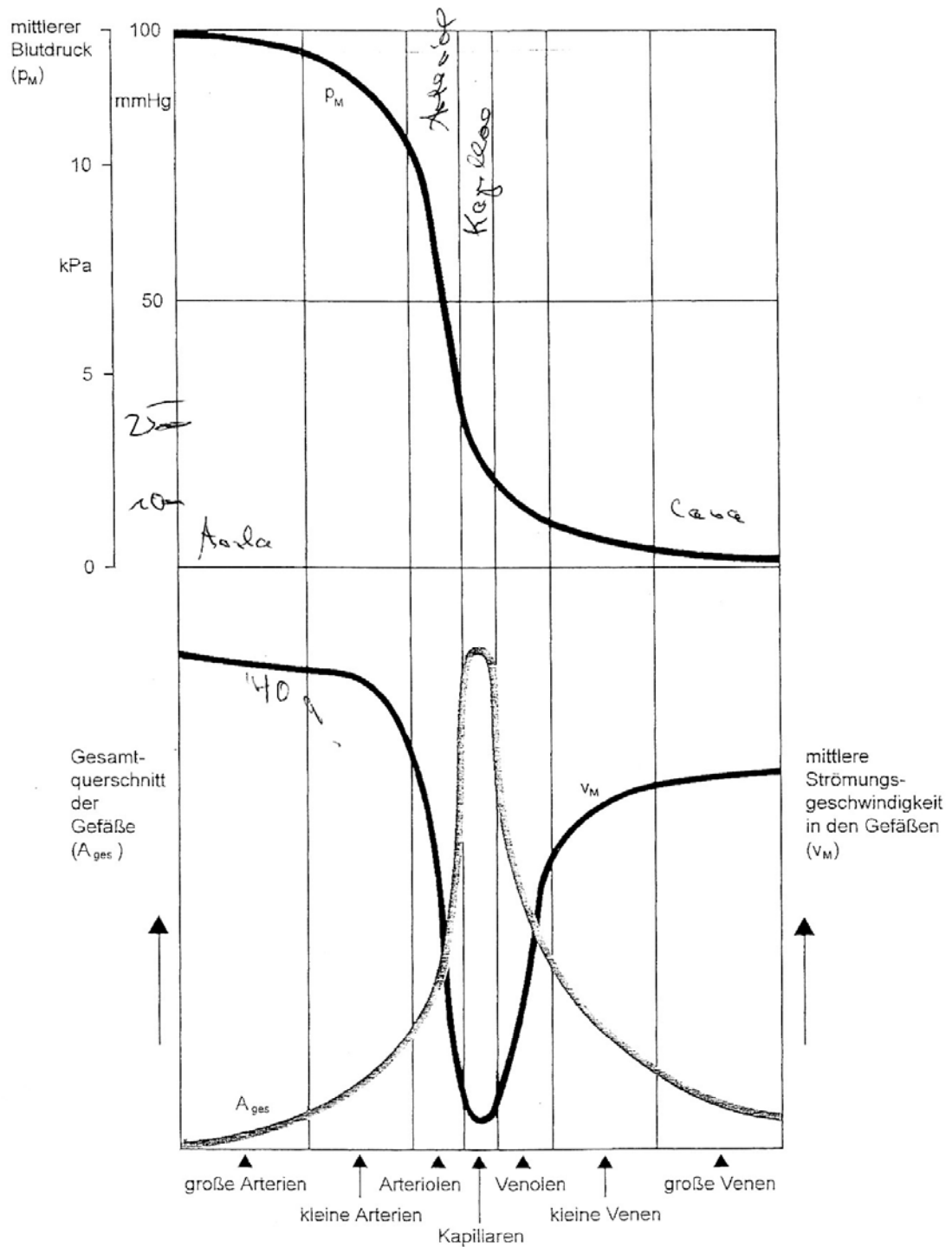


Abb. 129: Änderung von Kreislaufgrößen entlang den Gefäßen im Körperkreislauf (WETTERER)

Bei Belastung können zudem in Ruhe geschonte Kapillaren von ihrem Arteriolen nun Blut bekommen, und durch Training gibt es obendrein mehr Kapillaren (s. oben das Thema der Kapillarisation durch Training auch im Breitensportlichen Gepräge und Bezug zur „peripheren Utilisation“). Die Graphik zeigt im übrigen auch die Beziehung zum Blutdruck auf. Hier sieht man die Erreichung des Ziels - viel Blut langsam durch die Kapillaren.

Die Blutverteilung: 5 l Blut reichen nicht aus, alle Adern prall zu füllen (Dazu wären mindestens 20 l notwendig). Also müssen sich immer unterschiedlich geöffnete und geschlossene Versorgungsgebiete gegenüber stehen, damit es wenigstens in den Belastungsschwerpunkten reicht. Das wird von den Arteriolen und vom vegetativen Nervensystem bewirkt/gelenkt.

Im Ruhezustand erkennt man eine Dominanz der Versorgung in den inneren Organen, die sich „erholen“, Energieträger wieder anlegen und vom Parasympathicus geprägt sind: Bei Belastung ein eindeutiger Schwerpunkt im Bereich der (vor allem beteiligten) Skelettmuskeln und Herz!

Zum Beispiel: (Zahlen dazu sind in Büchern gelegentlich unterschiedlich, was auf die unterstellten Kollektive zurückgehen wird): Das Gehirn nimmt in Ruhe und bei Belastung immer rd. 800 ml, wobei wir in unseren Hirnlektionen erfahren, dass es abhängig von den gestellten Aufgaben innerhalb des Gehirns differente Stoffwechsel-Ansprüche gibt. In Ruhe also 800 ml Blut von den 5 Litern bei 1500 g Hirngewicht!

30 kg Muskulatur erhalten in Ruhe vielleicht 1 l Blut, bei hoher Belastung von den hohen HMV 80-85%. Die kleinen Nieren erhalten auch über einen Liter für ihre Aufgaben in Ruhe, bei Belastung kann sich das halbieren.

Blutdruck (RR)

Das Versorgungssystem braucht für den Blutstrom einen treibenden Blutdruck, der bei Belastung im Prinzip ansteigen muss und es auch tut. Dies wird erreicht durch Signale aus der Versorgungsperipherie - „Not-Meldungen“ über O₂-Mangel, CO₂-Überschuss, Laktat und Azidität, auch lokale ATP-Verluste, auch Na- und K- Konzentrationen erreichen das Kreislaufzentrum, die Zentren für Blutdruckerhöhung oder -erniedrigung in der Medulla oblongata. Je nach Bedarf wird nun von dort der Druck verändert – das Ziel: Mehr Blut in das Notstandsgebiet.

Dies geschieht maßgeblich auf dem Wege über Sympathikus und seine Hormone Noradrenalin (70-80 %) und Adrenalin) sowie durch Adrenalin aus dem Nebennierenmark (dort auch etwas Noradrenalin).

Der vegetative Nerv wirkt dort, wo seine Erregung stattfindet, das NNM-Hormon kommt auf Blutwegen überall hin. Der Sympathikus und seine Hormone bestätigen hier ihre Rolle als „Leistungsnerv“, Parasympathikus nebst Vagus als „Erholnerv“! Siehe Parallele bei Atmung und auch Rolle der Mitinnervation!

Bei der Herzlektion 7 haben wir schon gesehen, dass die vegetativen Nerven auf den Sinusknoten wirken und Kraft und Frequenz beeinflussen.

Das Ziel ist: Bei Bedarf - also nochmals - mehr Blut ins Arbeitsgebiet. Es gilt, dass der Blutdruck sich aus der Pumparbeit des Herzens gegen den peripheren Widerstand ergibt. So wird im Prinzip bei Belastung der Blutdruck erhöht und der periphere Widerstand gesenkt.

Es arbeitet das System am ökonomischsten, das die Widerstandsenkung betont, denn die Herzarbeit (Druck mal Volumen s. Lektion 7) ist bei Druckerhöhung mehr gefordert (Faktor 4) als bei Widerstandsenkung (Faktor 2). Und der Trainierte nutzt den Weg der Widerstandsenkung (=Arteriolen und Kapillaren offener) mehr!

Auf diese Weise gibt es mäßige Belastungen unterhalb der individuellen Laktatschwelle, die z. B. auf ebenem Gelände durchaus noch ohne RR-Erhöhungen auskommen, denen reicht die Widerstandsenkung für mehr Durchblutung. Der erholsame Dauerlauf besonders.

Zur Systole. Auf den Reiz des Sinusknotens kontrahiert sich die in der Diastole gefüllte Kammer und erreicht in dieser Zeit recht steil ansteigend einen Gipfeldruck von 100 mmHg, unseren systolischen Blutdruck der Ruhe. Dabei und dadurch wird die Klappe zur Aorta geöffnet. Der Druckimpuls wird über die Aorta auf die folgenden Arterien geleitet. Wir zählen durch ihn die Pulse und erfühlen auch den Blutdruck an seiner Härte.

Zwar langsamer als die Druckwelle fließt auch Blut aus der Kammer in die aufsteigende Aorta, nämlich das Schlagvolumen – hier in Ruhe vielleicht 70-90 ml/Minute. Schon kurz nach dem systolischen Gipfeldruck in der Kammer von 100 mmHg schließt sich bei abnehmendem Kammerdruck die Aortenklappe, weil dort inzwischen der Druck gestiegen ist und höher liegt als in der Kammer.

Damit wäre Diastole und kein Druck mehr in der Kammer, der Blutstrom stünde nach der Kammersystole still. Wir hätten eine stoßweise Blutversorgung der Peripherie. Haben wir aber nicht! Doch die Verantwortung geht nun auf die elastische Aorta über.

Das Schlagvolumen von z. B. 70 ml strömt in die Aorta, die aber nur rund die Hälfte davon direkt weiter transportieren kann, die andere Hälfte wird durch die Wandelastizität der Aorta (noch während der Kammersystole) gespeichert. Nun in der Diastole gibt der Windkessel unter Nutzung der Speicherenergie das gespeicherten Volumen für den Weitertransport frei. Der treibende Blutdruck fällt anders als beim Herzen nicht auf Null zurück und liefert uns den diastolischen Wert von 80 mmHg, der ebenfalls den niedrigsten Blutdruck im Zuge der Druckänderungen in der Diastole angibt. (s. dazu die zweite Abb. in dieser Lektion.)

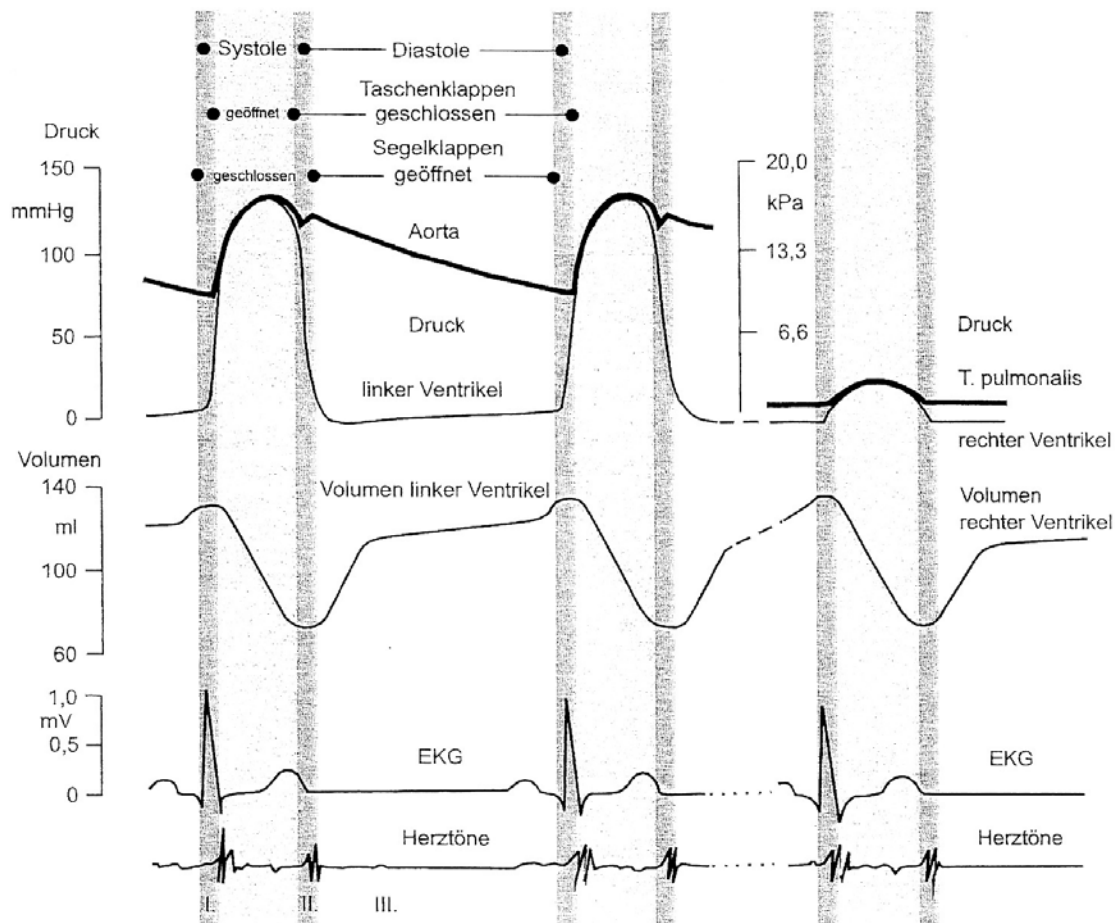


Abb. 121: Verhalten einiger Funktionsgrößen des Herzens wie Blutdruck und Ventrikelvolumen sowie Elektrokardiogramm (EKG) und Herztöne während Systole und Diastole
 Aorta = Körperhauptschlagader Truncus pulmonalis = Lungenschlagader

(Also das Schlagvolumen des Herzens kommt in der Peripherie Schlag um Schlag an, indem es zuerst halb vom Herzen, dann halb vom Windkessel erbracht wird. Entsprechend anzupassende Werte bei Belastung)

Blutverteilung und RR-Regulation

Es ist die Aufgabe der RR-Regulation, den RR an die jeweilige Belastungssituation anzupassen und zu stabilisieren. Da sich ständig Belastungen verändern, ist diese Regulation letztlich pausenlos im Gange und sichert Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit – angepasste Versorgung! Mehrbelastung nach der Ruhe, dafür ist der Leistungsnerv mit seinem Noradrenalin und das Adrenalin aus dem NNM auf dem Blutweg zuständig. Also: Auf zentrales Geheiß setzt der Sympathicus im Gewebe – also auch im Muskel - Noradrenalin frei, das die bekannten Wirkungen entfaltet. Dazu

braucht dieses Noradrenalin Gamma-Rezeptoren, die im Gewebe verteilt vorkommen, um die Ringmuskeln der Arteriolen eng zu stellen. Der Blutdruck steigt auf den erforderlichen höheren Wert. Lässt der Einfluss von Noradrenalin auf die Gefäße wieder nach, wird auch die RR-Erhöhung über nachlassenden peripheren Widerstands wieder weggenommen.

Aber: Mit dem erhöhten peripheren Widerstand nimmt die Durchblutung in den enggestellten Bereichen ab – die Muskeln aber brauchen mehr Blut.

Die Lösung: In den Wänden der Arteriolen im Muskel ist ein anderer Rezeptor reichlich eingebaut, der Beta-2-Rezeptor. Das Adrenalin bewirkt an ihm das Gegenteil vom Gamma-Rezeptor, es öffnet die Arteriolen und sorgt in diesen Skelettmuskeln für bessere Durchblutung.

Die alte Weisheit: Im arbeitenden Muskel gibt es bessere Durchblutung!

Im Herzmuskelbereich gibt es für sympathische Reitgebung noch einen Rezeptortyp Beta-1, der aktivierende Impulse (Frequenz und Kontraktionskraft) umsetzt. Will man medikamentös ein Herz in einen Schongang versetzen, blockiert man mit einem „Beta-Antagonisten“ die Aktivierung. Niedrigerer Puls z. B ist die Folge.

Zur Erinnerung: Adrenalin wird auch in kleinerer Menge vom Sympathicus neben Noradrenalin eingesetzt, während es mit dem NNM-Hormon hauptsächlich erscheint. Und es gibt eine weitere Sicherung für notwendige Herabsetzung des peripheren Widerstands und für mehr Durchblutung. bei Arbeit: Es gibt auch sympathische Impulse, die an ihrem Nervenende nicht Noradrenalin, sondern wie der Parasympathicus Acetylcholin freisetzen – sogenannte cholinergische Fasern mit Gefäßerweiterung.

Während diese vegetativen Regulierungen vor allem in Situationen aktueller Umstellung greifen müssen, kommt für die andauernde Neu-Einstellung eine ganz peripher verursachte Gefäßerweiterung in Betracht. Die Arbeit des Muskels verändert das Milieu in seiner unmittelbaren Umgebung.

(Dort fehlt Sauerstoff, steigt Kohlendioxid, wird es saurer, treten K-Ionen bei der Erstellung des Aktionspotentials im Muskel an, das alles bewirkt genau angepasste Gefäßerweiterung in seiner Umgebung. Ziel- und Punktgenau!)

Noch ein Letztes zum Puls

Mit seiner leichten Zählbarkeit gibt er auch dem Agierenden wichtige Hinweise und wird auch fleißig genutzt. Seine lineare Abhängigkeit von der Belastung (z. B. in Watt) macht ihn dazu besonders geeignet.

(Aber es wurde schon erwähnt, dass im obersten Leistungsbereich diese Linearität abbrechen kann – ein nach Fanconi benannter leichter Knick nach unten mit Tendenz waagerechten Verlaufs.

Es wurde gedeutelt, dass es sich quasi bei den schon sehr hohen Pulszahlen nicht mehr lohne, auf noch mehr Frequenz zu setzen, zum Schaden der Volumina?)

Die Pulskurve verläuft linear, ob trainiert oder nicht, halt nur in unterschiedlicher Steilheit. Der Trainierte geht mit Pulsen zurückhaltender um. Ökonomie, zumal Frequenz dem Herzmuskel mehr Sauerstoff abnimmt als Volumenarbeit!

Die Formel 220-Lebensalter sei in Erinnerung gebracht, Sie findet sich in den verschiedensten Anwendungen wieder, denn sie zeigt die altersabhängigen Maximalpulse an.(s. dazu die dritte Graphik dieser Lektion). Natürlich ist dieser Maximalpuls nicht die Marke für ein Ausdauertraining, sie wird oberhalb O_2 Max und im Anaeroben liegen. Folglich gibt es begründete Empfehlungen, mit welchen Pulszahlen gutes Ausdauertraining betrieben werden soll (s. ebenfalls diese Graphik, sie findet sich so oder ähnlich in vielen Manuals der Fitnessgerätehersteller).

In diesem Zusammenhang steht die Formel von 180 minus Lebensalter. Und nicht zuletzt sieht man den Puls für Erholungs- und Recreationsläufe – der uns an die Laktatschwelle gemahnt und an 2 mmol ATP/l.

Aerobe Zone

Der Trainingspuls sollte immer innerhalb der aeroben Zone liegen.

