

7.1.2 Absolutkraft und Kraftdefizit

Die Absolutkraft entspricht dem Maximum an Kraft, die das neuromuskuläre System maximal gegen einen Widerstand ausüben kann. Die Absolutkraft setzt sich aus der willkürlichen Maximalkraft und den sogenannten autonom geschützten Leistungsreserven zusammen. Die willkürlich aufzubringende Kraft wird als Maximalkraft bezeichnet. Das neuromuskuläre System ist jedoch dazu in der Lage, höhere Kräfte zu produzieren, als dies willkürlich möglich ist. Diese nicht willkürlich abrufbaren Kraftreserven werden als autonom geschützte Reserven bezeichnet.

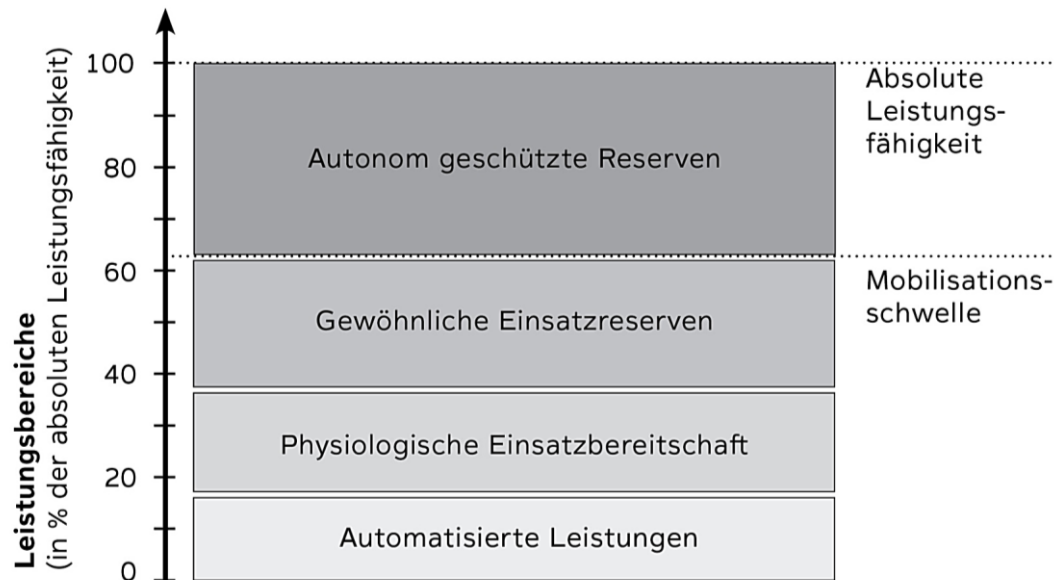


Abbildung 63 Mobilisationsschwelle (Eigene Darstellung)

Die Differenz zwischen der willkürlichen Maximalkraft und der tatsächlich vom Nerv-Muskel-System theoretisch produzierbaren Kraft wird auch als Kraftdefizit bezeichnet. Unter normalen Umständen gibt der menschliche Körper die autonomen Kraftreserven nicht frei, um sich vor Verletzungen und lebensgefährlicher Erschöpfung zu schützen.

Die autonom geschützten Reserven abzurufen gelingt nur unter äußeren Umständen wie massiven Stresssituationen in Form von beispielsweise Wut und Todesangst beziehungsweise äußerer Einflussnahme durch Methoden wie Hypnose, Elektrostimulation oder der Gabe von leistungssteigernden Substanzen.

Bei einem durchschnittlich trainierten Menschen beträgt der Abstand zwischen willkürlicher Maximalkraft und der Absolutkraft etwa 30% und lässt sich nachweislich bis auf etwa 5% verringern, wie im Leistungssport beobachtet werden kann. Das Kraftdefizit, also die Differenz zwischen Maximalkraft und Absolutkraft, lässt sich durch ein IK-Training verringern.

7.1.3 Methoden des Krafttrainings

Grundsätzlich können im Krafttraining drei Trainingsmethoden unterschieden werden. Das gewählte Trainingsziel (z.B. Muskelquerschnittsvergrößerung) gibt dabei die entsprechende Trainingsmethode vor (z.B. Hypertrophietraining).

Tabelle 18: Übersicht über die Trainingsmethoden und deren charakteristische Belastungsnormative (in Anlehnung an Hohmann, Lames & Letzelter, 2007)

Trainingsmethode	Intensität	Ausführung	TUT	Serien	Wdh	Pause
IK Intramuskuläre Koordination	90 - 100% 1RM	explosiv	< 20 s	5	1 - 3	> 5 min
Hypertrophie Muskelquerschnittsmethode	60 - 85% 1RM	langsam bis zügig	20 - 50 s	3	6 - 20	2 - 3 min
Kraftausdauer Kraftausdauerermethode	50 - 60% 1RM	langsam bis zügig	> 50 s	3	20 - 40	< 1 min

7.1.4 IK-Training

Liegt das Trainingsziel des Trainierenden primär in einer Kraftsteigerung, so eignet sich ganz besonders das sogenannte *IK-Training* bzw. die *Trainingsmethode zur Verbesserung der intramuskulären Koordination*. Die intramuskuläre Koordination bezeichnet das Nerv-Muskel-Zusammenspiel innerhalb eines einzelnen Muskels. Beim IK-Training kommen sehr hohe Lasten (ca. 90-100% des 1RM) mit tendenziell wenigen Wiederholungen (z. B. 1-3) zum Einsatz. Die Ausführung der Übung erfolgt zügig bis explosiv. Dementsprechend liegt die *Time Under Tension* (TUT, Dauer des Satzes) unter 20s. Um optimale Anpassungen in Bezug auf die IK zu ermöglichen, sind in der Regel mehr Sätze (z. B. 5) und eine längere Pause (>5min) als bei anderen Trainingsmethoden notwendig.

7.1.5 Hypertrophietraining

Bei einem klassischen Hypertrophietraining zum Zweck des Aufbaus von Muskelmasse werden mittelschwere Lasten (ca. 60-85% des 1RM) verwendet. Bei langsamer bis zügiger Ausführung werden meist 3 Sätze mit ungefähr 6-15 Wiederholungen absolviert. Daraus ergibt sich eine TUT von 20-50s, die in Bezug auf den Muskelmasseaufbau als besonders zielführend angesehen wird. Eine adäquate Pausendauer beim Hypertrophietraining liegt bei etwa 2-3 min, wobei dies in Abhängigkeit der Trainingsübung differenziert gestaltet werden sollte. Komplexe Übungen, die viel Muskelmasse beanspruchen, erfordern aufgrund der höheren Herz-Kreislaufbelastung eine längere Pause als lokal begrenzte Übungen.

7.1.6 Kraftausdauerermethode

Mit etwa 50-60% des 1RM werden die Lasten bei der Kraftausdauerermethode deutlich niedriger gewählt als beim IK- und beim Hypertrophietraining. Durch eine größere Anzahl an Wiederholungen (ca. 20-40) ergibt sich bei langsamer bis zügiger Ausführung eine TUT von mehr als 50s. Konträr zum IK-Training sollte die Pausendauer möglichst kurz (d. h. idealerweise <1min) gehalten werden. Zur Steigerung der Kraftausdauer ist die Durchführung von zwei bis vier Sätzen je Übung üblich (also z. B. 3 × 30 Wiederholungen mit jeweils 45 Sekunden Pause zwischen den drei Sätzen).

Je höher die Belastungsintensität ist, desto weniger Wiederholungen können bis zur erschöpfungsbedingten Aufgabe willkürlich ausgeübt werden.

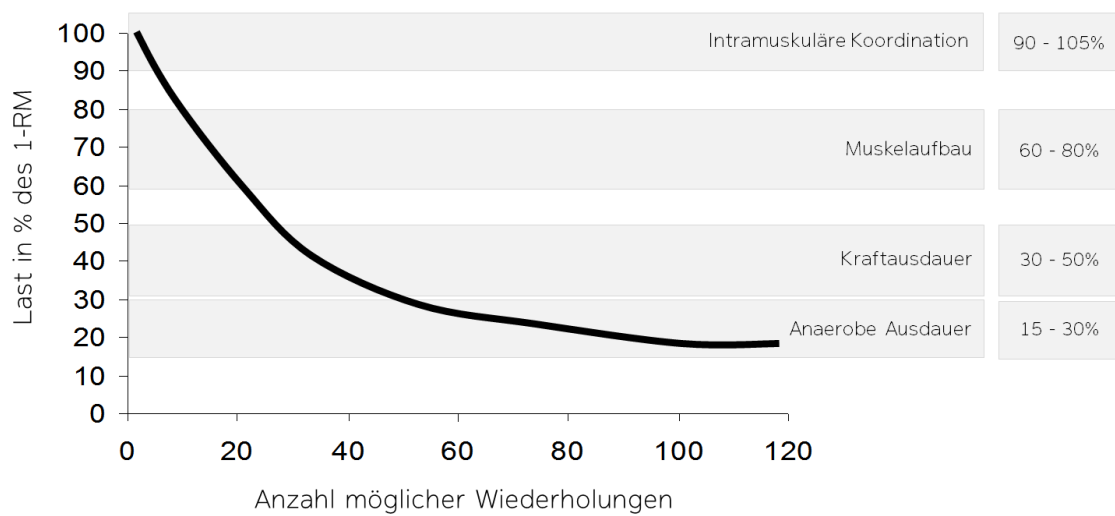


Abbildung 64: Beziehung zwischen Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl (Eigene Darstellung)

7.1.7 Effekte von Krafttraining

Krafttraining führt zu neuronalen als auch morphologischen Anpassungserscheinungen. Kraftzuwächse in der frühen Phase (erste 6 Wochen) des Krafttrainings sind vorrangig auf neuronale Adaptionen zurückzuführen; anschließend dominieren morphologische Anpassungen.

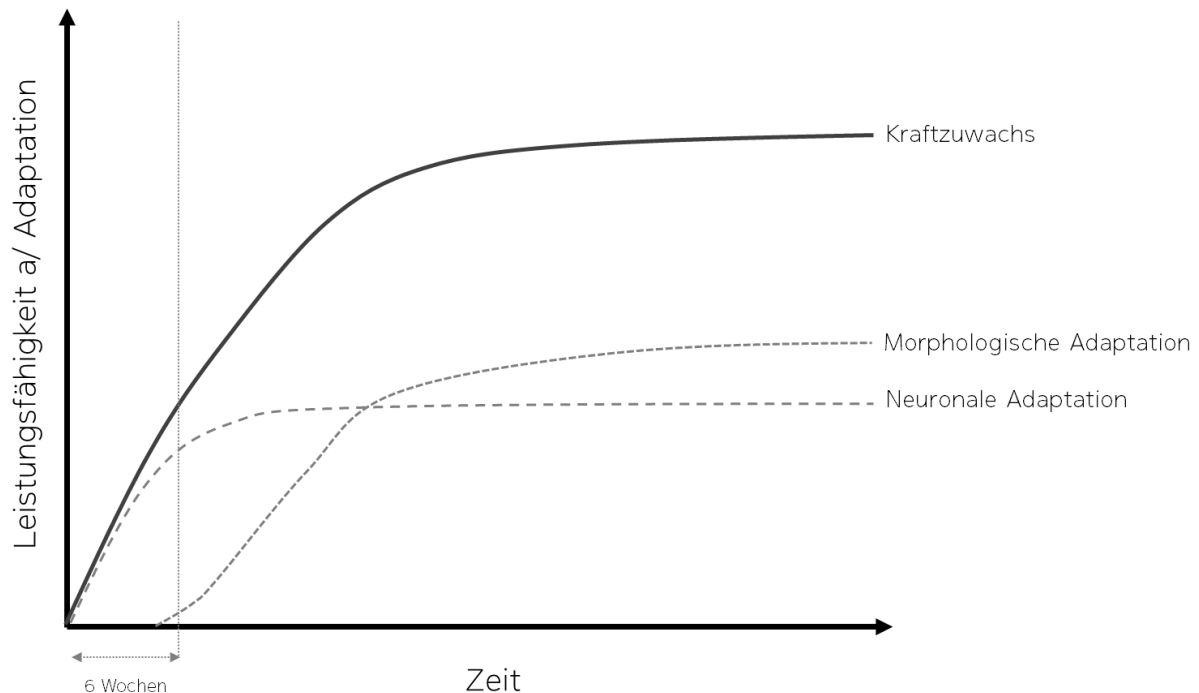


Abbildung 65: Zeitlicher Verlauf von neuronalen und morphologischen Adaptationen im Krafttraining (Eigene Darstellung)

Funktionelle Anpassungen

- Optimierung der intramuskulären Koordination
- Optimierung der intermuskulären Koordination
- Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur

Morphologische Anpassungen

- Hypertrophie (Muskelquerschnittsvergrößerung)
- Erhöhung der Glykogen- und Kreatinphosphatspeicher im Muskel

7.2 Ausdauer

7.2.1 Definition von Ausdauer

Unter Ausdauer werden die Ermüdungswiderstandsfähigkeit sowie die Fähigkeit zur schnellen Regeneration verstanden.

In Folge eines Ausdauertrainings kann demnach die Leistung ohne nennenswerte Ermüdungsanzeichen über einen möglichst langen Zeitraum erhalten werden (siehe Abbildung 66).

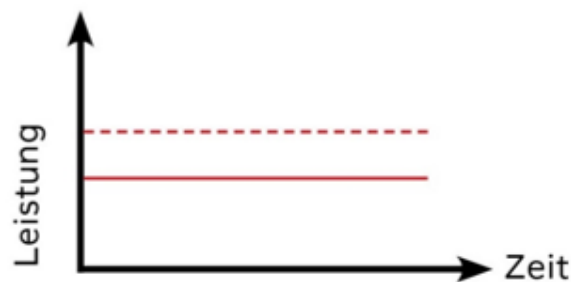


Abbildung 66: Folgen eines Ausdauertrainings – lange Leistungserhaltung (modifiziert nach Kayser, 2003)

Weiter kann bei eintretenden Ermüdungsanzeichen die Belastung bis hin zur individuellen Beanspruchungsgrenze eher fortgesetzt und eine stabile Technik aufrechterhalten werden (siehe Abbildung 67).

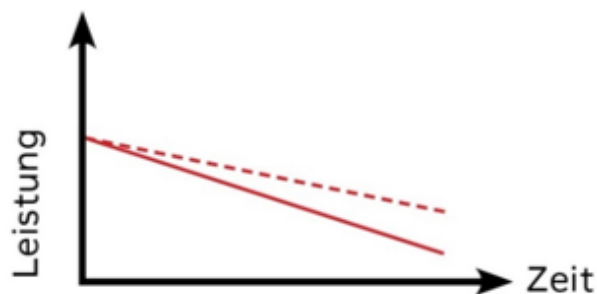


Abbildung 67: Folgen eines Ausdauertrainings – stabile Technik trotz Ermüdung (modifiziert nach Kayser, 2003)

Darüber hinaus kann eine schnellere Regeneration erreicht werden (siehe Abbildung 68).

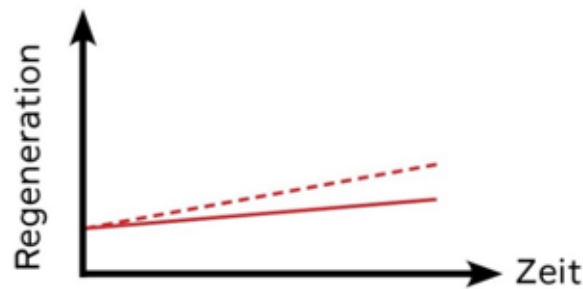


Abbildung 68: Folgen eines Ausdauertrainings – schnellere Regeneration (modifiziert nach Kayser, 2003)

7.2.2 Differenzierungsmöglichkeiten der Ausdauer

Ausdauer kann unter anderem nach der Arbeitsweise der Skelettmuskulatur, der Energiebereitstellung, dem Anteil beanspruchter Muskulatur sowie der Zeitdauer differenziert werden.

In Bezug auf die Arbeitsweise der Skelettmuskulatur ist zwischen der statischen Ausdauer und der dynamischen Ausdauer zu unterscheiden. Bei statischen Ausdauerbelastungen wird die Muskulatur überwiegend durch Haltearbeit beansprucht. Beispiele dafür sind etwa bestimmte Kampfsituationen beim Ringen und Judo. In den typischen Ausdauersportarten dominiert, aber eindeutig die dynamische Ausdauer, bei der es zu einem permanenten Wechsel zwischen Belastung und Entlastung kommt. Typische dynamische Ausdauerbelastungen sind beispielsweise Laufen, Schwimmen und Radfahren.

In Hinblick auf die Art der vorrangigen Energiebereitstellung wird zwischen der aeroben und der anaeroben Ausdauer differenziert. Dabei steigt die Bedeutung der anaeroben Energiebereitstellung mit der Höhe der Belastungsintensität.

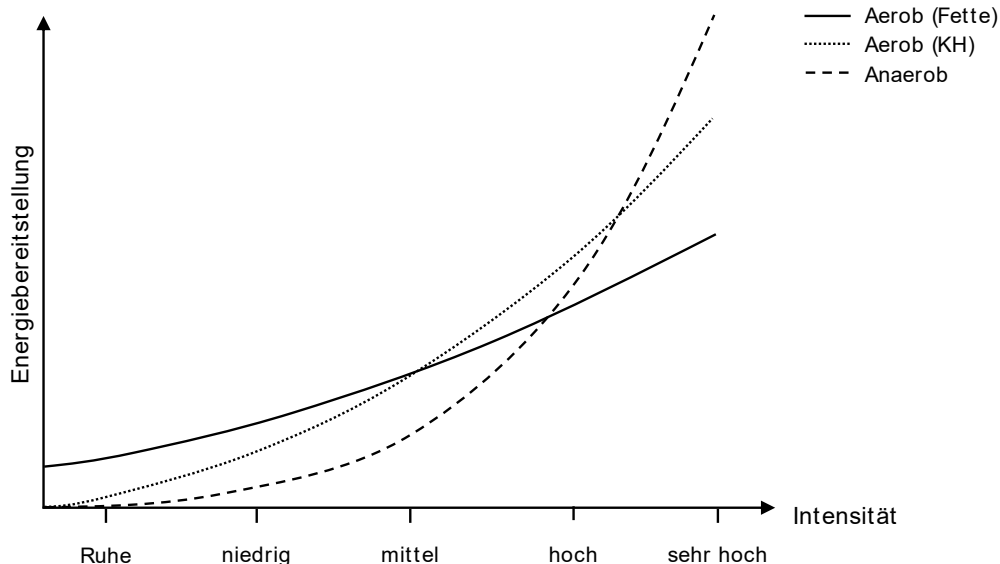


Abbildung 69: Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Intensität (Eigene Darstellung)

Weiterhin hat die Belastungsintensität einen Einfluss darauf, zu welchen Anteilen die aerobe Energiebereitstellung über Glukose bzw. freie Fettsäuren erfolgt.

Steht der Anteil der beteiligten Skelettmuskulatur im Fokus, kann zwischen der allgemeinen und der lokalen Ausdauer unterschieden werden. Bei der allgemeinen Ausdauer handelt es sich um Ausdauerbelastungen, bei denen mehr als 1/6 der Gesamtmuskulatur beteiligt ist. Die Anforderungen an das Herz-Kreislauf-System und Atmungssystem steigen mit dem Anteil der involvierten Muskelmasse, so

dass diese Faktoren speziell bei der allgemeinen Ausdauer leistungsdeterminierend sind. Laufen, Schwimmen und Radfahren sind allesamt typische allgemeine Ausdauerbelastungen. Um lokale Ausdauer handelt es sich lediglich bei Belastungen, bei denen weniger als 1/6 der Gesamtmuskulatur beteiligt ist. Ein Beispiel für eine lokale Ausdauerbelastung sind etwa Schlagbewegungen im Boxen.

Je nach Belastungszeit wird zwischen der Kurzzeitausdauer (KZA), der Mittelzeitausdauer (MZA) sowie der Langzeitausdauer I (LZA I), der Langzeitausdauer II (LZA II) und der Langzeitausdauer III (LZA III) unterschieden. Diese historische Differenzierung wurde aus sportwissenschaftlicher Sicht vorgenommen und ist an die Belastungsdauer in den leichtathletischen Laufdisziplinen angelehnt (Hottenrott, 2017).

Tabelle 19: Differenzierung der Ausdauer nach der Zeit (nach Harre 1979)

Ausdauerform	Belastungszeit
Kurzzeitausdauer (KZA)	35 s – 2 min
Mittelzeitausdauer (MZA)	2 – 10 min
Langzeitausdauer I (LZA I)	10 – 35 min
Langzeitausdauer II (LZA II)	35 – 90 min
Langzeitausdauer III (LZA III)	> 90min

Tabelle 20: Differenzierung der Ausdauer nach dem Anteil der beteiligten Skelettmuskulatur

Ausdauerform	Anteil der beteiligten Skelettmuskulatur
Allgemeine Ausdauer	> 1/6 der beteiligten Skelettmuskulatur
Lokale Ausdauer	< 1/6 der beteiligten Skelettmuskulatur

Bei der allgemeinen Ausdauer wird die Leistungsfähigkeit durch die Transportkapazität des Herz-Kreislauf-Systems determiniert.

Tabelle 21: Differenzierung der Ausdauer nach der Art der vorrangigen Energiebereitstellung

Ausdauerform	Energiebereitstellungsform
aerob	Die aerobe (=oxidative) Energiegewinnung erfolgt durch vollständige Verbrennung von Kohlenhydraten oder Fetten. → Bildung von ATP unter Verbrauch von Sauerstoff.
anaerob	Die Bildung von ATP erfolgt bei der anaeroben Energiegewinnung ohne Verbrauch von Sauerstoff → es entsteht Laktat (Salz der Milchsäure)

7.2.3 Kardiale Parameter in Ruhe und unter Belastung

Ein gezieltes Ausdauertraining hat Einfluss auf die Ausprägung der physiologischen Parameter.

Tabelle 22: Vergleich kardialer Parameter in Ruhe und unter Belastung (nach Hohmann, Lames & Letzelter, 2007)

Parameter	in Ruhe		unter Belastung	
	untrainiert	trainiert	untrainiert	trainiert
Schlagvolumen [ml]	70	105	120	200
Herzschlagfrequenz [min ⁻¹]	70	45	170 – 180	180 – 190
Herzminutenvolumen [l]	5	5	20 – 22	36 – 38

In Ruhe benötigen Trainierte und Untrainierte in etwa gleich viel Blut für die Versorgung der peripheren Organe (ca. 5 l). Eine eventuell vorliegende höhere Muskelmasse wird zwar auch in Ruhebedingungen

mit Blut versorgt, die Ruhedurchblutung der Muskulatur ist aber gering und fällt daher nicht wesentlich ins Gewicht.

Die höhere Leistungsfähigkeit in Folge von Ausdauertraining spiegelt sich in erster Linie im Herzminutenvolumen unter Belastung wider.

Die geringere Herzfrequenz in Ruhe ist als ein positiver gesundheitlicher Aspekt zu werten. Je größer das Schlagvolumen, desto niedriger kann die Herzfrequenz sein, um ein bedarfsgerechtes Herzminutenvolumen (HMV) und damit eine bedarfsgerechte Organdurchblutung aufrechtzuerhalten. Zahlreiche Studien ergaben einen engen Zusammenhang zwischen der Ruheherzfrequenz und kardiovaskulären Erkrankungen sowie der Sterblichkeit (z. B. Herzinfarkt, KHK und andere herzassoziierte Erkrankungen). (Diaz, 2005)

7.2.4 Effekte von Ausdauertraining

Die Effekte von Ausdauertraining sind vielfältig. Der Einfluss von allgemeinem Ausdauertraining auf das Herz-Kreislauf-System zeigt sich beispielsweise wie folgt:

- Kardioprotektive Funktionen
- Erhöhung des Schlagvolumens
- Erhöhung des Herzminutenvolumens
- Senkung der Ruheherzschlagfrequenz
- Verbesserung der Sauerstoffaufnahmekapazität
- Kapillarisation

Durch die Öffnung von Ruhekapillaren, die Verlängerung vorhandener Kapillaren und die Neubildung von Kapillaren sind durch Ausdauertraining bis zu dreimal mehr Kapillare pro Muskelgewichtseinheit erreichbar (siehe Abbildung 70).

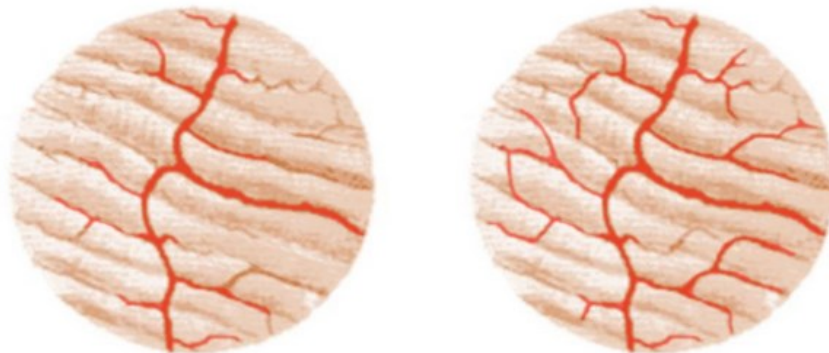
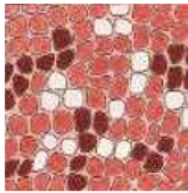


Abbildung 70: Effekte von Ausdauertraining – Kapillarisation in der Arbeitsmuskulatur

Auch kann es im Bereich der Muskulatur durch Ausdauertraining zu einer Veränderung des Muskelfaserspektrums zugunsten der Typ I Fasern kommen (siehe Abbildung 71).

ST-Fasern



Ausdauertraining führt zu einer



Linksverschiebung des Spektrums!

FT-Fasern

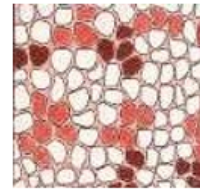


Abbildung 71: Verschiebung des Muskelfaserspektrums durch Ausdauertraining

Weiterer Effekt von Ausdauertraining in Bezug auf die Muskulatur ist eine Vermehrung der Mitochondrien. Darüber hinaus kommt es zu einer Erhöhung der Glykogenspeicher (siehe Abbildung 72). Dabei kann Leberglykogen um bis zu 100% und Muskelglykogen um bis zu 300% erhöht werden. Parallel dazu steigt die Aktivität der am Umsatz dieser Substrate beteiligten Enzyme.

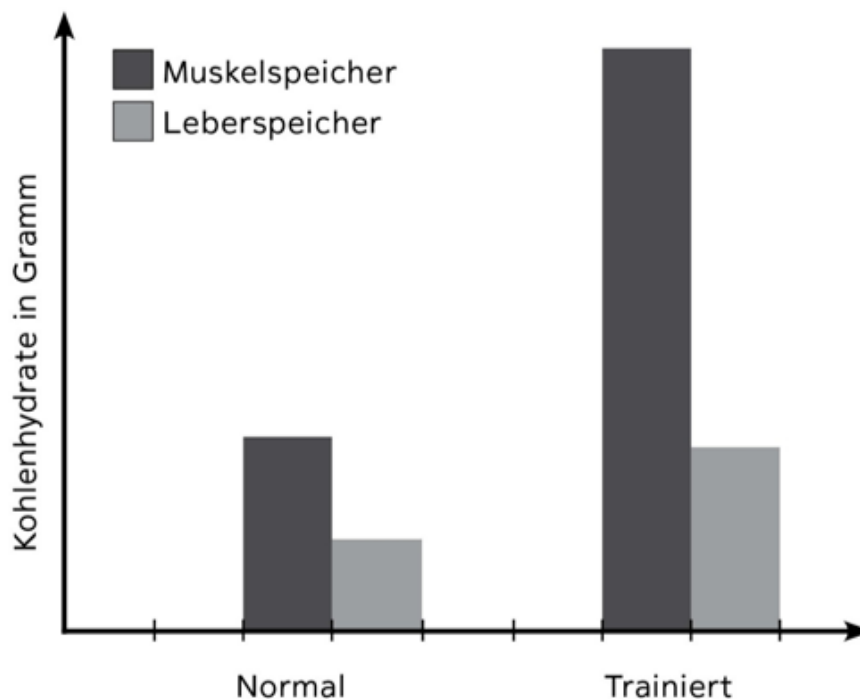


Abbildung 72: Erhöhung der Glykogenspeicher durch Ausdauertraining (Eigene Darstellung)

In Hinblick auf das Blut kann sich durch Ausdauertraining das Blutvolumen um 1-2 Liter erhöhen, wodurch die Pufferkapazität des Blutes steigt. Es kommt darüber hinaus zu einer Zunahme des Blutplasmas, einer Vermehrung der roten Blutkörperchen (Erythrozyten) sowie einer Vermehrung des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin. Auch wird die Lipidkonzentration (freie Fettsäuren) im Blut erhöht.

In Bezug auf die Atmung führt Ausdauertraining zu einer Ökonomisierung der Atmung, einer erhöhten Atemtiefe sowie einer niedrigeren Atemfrequenz in Ruhe und bei submaximaler Belastung.

Weiterhin kann sich als Ergebnis einer normalen, sinnvollen Anpassung an eine vermehrte körperliche Dauerbelastung durch langjähriges, regelmäßiges, umfangreiches und intensives Ausdauertraining das so genannte Sportherz ausbilden. Das Sportherz ist grundsätzlich ein gesundes, vergrößertes Herz, gekennzeichnet durch eine regulative Erweiterung aller Herzkammern (inklusive der zuführenden und abgehenden Gefäße). Es kommt zu einer Erweiterung der Herzkranzgefäße, um die erforderliche Durchblutung und damit Ernährung und Sauerstoffversorgung des starken Herzmuskels zu gewährleisten. Ein vergrößertes Sportherz zeigt sich bei Leistungssportlern weniger häufig als allgemein angenommen. Voraussetzung für ein Sportherz ist ein hoher Ausdaueranteil (mindestens 5 Stunden Ausdauertraining pro Woche) im Training und ggf. Wettkampf (Kindermann, Scharhag, 2014). Bei der Ausbildung eines Sportherzens kommt es zu einer Vergrößerung der Herzhöhlen sowie einer Dickenzunahme der Herzwände, die für die Vergrößerung des Schlagvolumens essenziell ist. Das kritische Herzgewicht von 500 g sollte jedoch nicht überschritten werden, da bei einer stärkeren Herzmuskelhypertrophie die Sauerstoffversorgung möglicherweise nicht mehr optimal ist.

Tabelle 23: Effekte von Ausdauertraining

Organ	Adaptation
Herz-Kreislauf-System	<ul style="list-style-type: none"> • kardioprotektive Funktionen • Erhöhung des Schlagvolumens • Erhöhung des Herzminutenvolumens • Senkung der Ruheherzfrequenz • Verbesserung der Sauerstoffaufnahmekapazität • Kapillarisation (bis zu 3x mehr Kapillare pro Muskelgewichtseinheit durch die Öffnung von Ruhekapillaren, Verlängerung vorhandener Kapillaren und Neubildung von Kapillaren)
Muskulatur	<ul style="list-style-type: none"> • Verschiebung des Muskelfaserspektrums zugunsten der Typ I Fasern • Vermehrung der Mitochondrien • Vermehrung spezifischer Enzyme (z. B. Enzyme des Citratzyklus) • Erhöhung der Glykogenspeicher • Ausbildung des Sportherzens (selten!) = harmonische Vergrößerung des Herzmuskels und der Herzhöhlen
Blut	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung des Blutvolumens um bis zu 1 – 2 l (dadurch Steigerung der Pufferkapazität des Blutes) • Zunahme des Blutplasmas • Vermehrung der roten Blutkörperchen • Vermehrung des Hämoglobins (roter Blutfarbstoff) • Erhöhung der Lipidkonzentration im Blut
Atmungssystem	<ul style="list-style-type: none"> • Ökonomisierung der Atemfunktion • Erhöhung der Atemtiefe • Absenkung der Atemfrequenz in Ruhe und submaximaler Belastung • Erhöhung der VO_2max

7.2.5 Leistungsdeterminierende Faktoren der Ausdauer

Das kardiorespiratorische System ist der begrenzende Faktor für die Erbringung von Leistungen im Ausdauerbereich. Als aussagekräftigster Parameter wird die $VO_2\text{max}$ für die Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit herangezogen (das HMV ist leistungsdeterminierender Faktor für die $VO_2\text{max}$). Dennoch bestimmen auch noch weitere Faktoren die Ausdauerfähigkeit v. a. im aeroben Bereich:

Kardiorespiratorisches System

- Lunge
- Herz
- Blut
- Kapillarisation
- Mitochondriengehalt

Energetisches System

- Muskuläre Substratkonzentration
- Enzymgehalt

Muskelfaserspektrum

- FT-/ST-Faserverteilung (je mehr ST-Fasern vorhanden sind, desto günstiger ist es für die Erbringung von Ausdauerleistungen)

$VO_2\text{max}$

Die maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$) gibt an wie viel Milliliter Sauerstoff unter maximaler Ausbelastung des Körpers verwertet werden können. Die $VO_2\text{max}$ repräsentiert die Leistungsfähigkeit der sauerstoffaufnehmenden, sauerstofftransportierenden und sauerstoffverwertenden Teilsysteme des Organismus:

Je mehr Blut pro Minute vom Herz gefördert wird und durch den Kreislauf fließt, desto mehr Sauerstoff wird aus der Atemluft mittels Gasaustausch ins Blut aufgenommen und zur Arbeitsmuskulatur befördert. Somit kann die $VO_2\text{max}$ als Parameter für die Ausdauerleistungsfähigkeit genutzt werden. Die relative $VO_2\text{max}$ bezeichnet die auf die Körpermasse der jeweiligen Person bezogene Sauerstoffaufnahmekapazität (ml O_2 / kg/ min).

Tabelle 24: Normwerte der $VO_2\text{max}$

Gruppe	$VO_2\text{max}$
Frauen	ca. 35 ml/min/kg
Männer	ca. 40 ml/min/kg
Sportstudenten	ca. 50 ml/min/kg
Ausdauersportler	ca. 60 – 80 ml/min/kg

Messung der $VO_2\text{max}$

Die $VO_2\text{max}$ wird während einer Belastung mit zunehmender Intensität gemessen. Dabei werden die Atemgase gemessen und analysiert. In der Regel erfolgt die Messung in einem stufenweisen Test bis zur Ausbelastung auf einem Fahrradergometer – teilweise auch auf einem Laufband. Der Test auf dem Ergometer ist besser standardisierbar. Der Test auf dem Laufband ist weniger verbreitet, da hierbei die Lauftechnik eine entscheidende Rolle spielt und das Testergebnis maßgeblich beeinflussen kann. Für