

Schumann / Feuerbacher / Dragutinovic

Adaption der Organsysteme

■ Studienheft Nr. 1169
1. Auflage 03/2023

Verfasser

PD Dr. Moritz Schumann

Vertretungsprofessur für Trainings- und Bewegungswissenschaft / Arbeitsgruppenleiter an der Sporthochschule Köln / M.Sc. Science of Sport Coaching and Fitness Testing

MSc. Joshua Feuerbacher

Sportwissenschaftler / Doktorand

MSc. Boris Dragutinovic

Sportwissenschaftler / Doktorand

Leseprobe

© by DIPLOMA Private Hochschulgesellschaft mbH

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

DIPLOMA Hochschule

University of Applied Sciences

Am Hegeberg 2

37242 Bad Sooden-Allendorf

Tel. +49 (0) 56 52 58 77 70, Fax +49 (0) 56 52 58 77 729

Hinweise zur Arbeit mit diesem Studienheft

Der **Inhalt** dieses Studienheftes unterscheidet sich von einem Lehrbuch, da er **speziell für das Selbststudium aufgearbeitet** ist.

In der Regel beginnt die Bearbeitung mit einer Information über den Inhalt des Lehrstoffes. Diese Auskunft gibt Ihnen das **Inhaltsverzeichnis**.

Beim Erschließen neuer Inhalte finden Sie meist Begriffe, die Ihnen bisher unbekannt sind. Die **wichtigsten Fachbegriffe** werden Ihnen übersichtlich in einem dem Inhaltsverzeichnis nachgestellten **Glossar** erläutert.

Den einzelnen Kapiteln sind **Lernziele** vorangestellt. Sie dienen als Orientierungshilfe und ermöglichen Ihnen die Überprüfung Ihrer Lernerfolge. Setzen Sie sich **aktiv** mit dem Text auseinander, indem Sie sich Wichtiges mit farbigen Stiften kennzeichnen. Betrachten Sie dieses Studienheft nicht als "schönes Buch", das nicht verändert werden darf. Es ist ein **Arbeitsheft**, mit und **in** dem Sie arbeiten sollen.

Zur **besseren Orientierung** haben wir Merksätze bzw. besonders wichtige Aussagen durch Fettdruck und/oder Einzug hervorgehoben.

Lassen Sie sich nicht beunruhigen, wenn Sie Sachverhalte finden, die zunächst noch unverständlich für Sie sind. Diese Probleme sind bei der ersten Begegnung mit neuem Stoff ganz normal.

Nach jedem größeren Lernabschnitt haben wir Übungsaufgaben eingearbeitet, die mit „**SK = Selbstkontrolle**“ gekennzeichnet sind. Sie sollen der Vertiefung und Festigung der Lerninhalte dienen. Versuchen Sie, die ersten Aufgaben zu lösen und die Fragen zu beantworten. Dabei werden Sie teilweise feststellen, dass das dazu erforderliche Wissen nach dem ersten Durcharbeiten des Lehrstoffes noch nicht vorhanden ist. Gehen Sie diesen Inhalten noch einmal nach, d. h., durchsuchen Sie die Seiten gezielt nach den erforderlichen Informationen.

Bereits während der Bearbeitung einer Frage sollten Sie die eigene Antwort schriftlich festhalten. Erst nach der vollständigen Beantwortung **vergleichen Sie Ihre Lösung mit dem** am Ende des Studienheftes **angegebenen Lösungsangebot**.

Stellen Sie dabei fest, dass Ihre eigene Antwort unvollständig oder falsch ist, müssen Sie sich nochmals um die Aufgabe bemühen. Versuchen Sie, jedes behandelte Thema vollständig zu verstehen. **Es bringt nichts, Wissenslücken durch Umblättern zu beseitigen.** In vielen Studienfächern baut der spätere Stoff auf vorhergehendem auf. Kleine Lücken in den Grundlagen verursachen deshalb große Lücken in den Anwendungen.

Zudem enthält jedes Studienheft **Literaturhinweise**. Sie sollten diese Hinweise als ergänzende und vertiefende Literatur bei Bedarf zur Auseinandersetzung mit der jeweiligen Thematik betrachten. Finden Sie auch nach intensivem Durcharbeiten keine zufriedenstellenden Antworten auf Ihre Fragen, **geben Sie nicht auf. Wenden Sie sich** in diesen Fällen schriftlich oder fernmündlich **an uns**. Wir stehen Ihnen mit Ratschlägen und fachlicher Anleitung gern zur Seite.

Wenn Sie **ohne Zeitdruck** studieren, sind Ihre Erfolge größer. Lassen Sie sich also nicht unter Zeitdruck setzen. **Pausen** sind wichtig für Ihren Lernfortschritt. Kein Mensch ist in der Lage, stundenlang ohne Pause konzentriert zu arbeiten. Machen Sie also Pausen: Es kann eine kurze Pause mit einer Tasse Kaffee sein, eventuell aber auch ein Spaziergang an der frischen Luft, sodass Sie wieder etwas Abstand zu den Studienthemen gewinnen können.

Adaptation der Organsysteme

Abschließend noch ein formaler Hinweis: Sofern in diesem Studienheft bei Professionsbezeichnungen und/oder Adressierungen aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form Verwendung findet (z. B. „Rezipienten“), sind dennoch alle sozialen Geschlechter, wenn kontextuell nicht anders gekennzeichnet, gemeint.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Bearbeitung dieses Studienheftes.

Ihre

DIPLOMA
Private Hochschulgesellschaft mbH

Leseprobe

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Abbildungsverzeichnis	6
2 Tabellenverzeichnis	7
3 Glossar	8
4 Allgemeines	19
5 Grundlagen biologischer Anpassungen	20
5.1 Zelluläre Reize	20
5.2 Trainings- und Belastungssteuerung	26
5.2.1 Die (sportliche) Leistungsfähigkeit	26
5.2.2 Trainingsprinzipien	29
5.2.3 Trainingsperiodisierung	34
5.2.4 Fehlanpassungen	39
6 Anpassungen einzelner Organsysteme	42
6.1 Neuromuskuläre Anpassungen	42
6.1.1 Grundlagen des neuromuskulären Systems	42
6.1.2 Neuronale Anpassungen	43
6.1.3 Muskuläre Anpassungen	45
6.2 Kardiovaskuläre Anpassungen	47
6.2.1 Grundlagen des kardiovaskulären Systems	47
6.2.2 Kardiovaskuläre Anpassungen	47
6.3 3.3 Metabolische Anpassungen	50
6.3.1 3.3.1 Grundlagen des metabolischen Systems	50
6.3.2 Metabolische Anpassungen an Krafttraining	50
6.3.3 Metabolische Anpassungen an Ausdauertraining	51
6.4 Endokrine Anpassungen	52
6.4.1 Grundlagen des endokrinen Systems	52
6.4.2 Akute Reaktionen und chronische Anpassungen	53
6.5 Immunologische Anpassungen	55
6.5.1 Grundlagen des Immunsystems	55
6.5.2 Anpassungen des unspezifischen Immunsystems	57
6.5.3 Anpassungen des spezifischen Immunsystems	58
7 Körperliches Training bei ausgewählten Krankheitsbildern	60
7.1 Körperliches Training bei Übergewicht und Adipositas	60
7.2 Körperliches Training bei Diabetes mellitus	63
7.3 Körperliches Training bei hämatologisch-onkologischen Erkrankungen	66
7.4 Körperliches Training bei obstruktiven Lungenerkrankungen	71
7.5 Körperliches Training bei neurologischen und neuromuskulären Erkrankungen	73
7.6 Körperliches Training bei psycho-affektiven Störungen	76
Lösungen der Übungsaufgaben	81
Literaturverzeichnis	95

5 Grundlagen biologischer Anpassungen

Lernziele:

Am Ende dieses Kapitels sollten Sie in der Lage sein,

- verschiedene Sensormoleküle zu benennen und das Signaltransduktionsmodell der Trainingsanpassung zu erläutern,
- zwischen unterschiedlichen Trainingsstimuli zu differenzieren,
- den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Trainingsreizen und Veränderungen der „Response Matrix“ zu erörtern,
- die (sportliche) Leistungsfähigkeit anhand unterschiedlicher Modelle darzustellen,
- verschiedene Trainingsprinzipien zu benennen und zu erläutern,
- unterschiedliche Periodisierungsmodelle sowie ihre Vor- und Nachteile zu benennen und zu differenzieren.

5.1 Zelluläre Reize

Ziel des körperlichen Trainings ist eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit, welche in der Regel über Anpassungen der biologischen Systeme und Strukturen vermittelt wird. Dazu müssen externe Trainingsstimuli, die sich beispielsweise über das Heben von Gewichten oder das Zurücklegen einer bestimmten Strecke über eine definierte Zeit definieren, in zelluläre Reize umgewandelt werden. Wichtig ist dabei zu beachten, dass eine solche Reizumwandlung neben den Effekten körperlicher Belastungen, beispielsweise auch infolge externer Einflüsse, wie der Aufnahme von Nahrung, oder Umweltfaktoren, wie Hypoxie (Sauerstoffmangel), und thermischer Belastungen, wie Hitze, auftreten kann. Die Fähigkeit, auf unterschiedliche Einflüsse (beispielsweise Umweltbedingungen oder körperliches Training) zu reagieren, ist ein wichtiges Merkmal nahezu aller körperlichen Systeme und Strukturen und insbesondere der Skelettmuskulatur. Letztlich wird dadurch eine optimierte Anpassung auf die jeweiligen Reize ermöglicht, was auch als Plastizität (Umformbarkeit) bezeichnet wird.

Das Phänomen der Plastizität ist eine der wichtigsten Eigenschaften der menschlichen Muskulatur und ist das Produkt einer Reihe von Signalwegen, die in Abhängigkeit eines jeweiligen Stimulus eingeleitet werden. Der Beginn eines Signaltransduktionsprozesses kann sowohl durch intrazelluläre als auch extrazelluläre Stimuli eingeleitet werden. Dabei reagiert der menschliche Organismus auf Reize, die das Gleichgewicht (Homöostase) des Körpers beeinflussen können. Homöostatische Störungen, wie sie durch körperliche Belastung ausgelöst werden, werden über zelluläre Signalwege, in Veränderungen der Gentranskription integriert. Diese Signale werden durch eine Kette von molekularen Ereignissen übertragen, die als Signaltransduktionsweg bezeichnet werden. Diese Signalwege beeinflussen die Aktivität von Zellen und regulieren zelluläre Prozesse, wie Wachstum, Differenzierung und Apoptose (Absterben von Zellen) (Flück 2006).

Im Laufe der letzten Jahrzehnte konnten sogenannte Sensormoleküle für die jeweiligen Stimuli identifiziert werden. Zelluläre Sensormoleküle sind spezialisierte Proteine, die in der Lage sind, bestimmte Signale wahrzunehmen und weiterzuleiten. Sie sind für die Übertragung von Signalen in die Zelle und die Regulation zellulärer Prozesse verantwortlich.

Einige Beispiele für zelluläre Sensormoleküle sind:

Adaptation der Organsysteme

- Rezeptoren: Dies sind Proteine, die auf der Oberfläche der Zelle oder im Zytoplasma lokalisiert sind und bestimmte Signalmoleküle, wie Hormone, Wachstumsfaktoren oder Botenstoffe, binden können.
- G-Protein-gekoppelte Rezeptoren (GPCRs): Dies sind eine spezielle Klasse von Rezeptoren, die mit G-Proteinen (Proteine, die Signale ins Zellinnere weiterleiten, sofern ein bestimmtes Molekül an ihre Oberfläche bindet) assoziiert sind und eine wichtige Rolle in der Signaltransduktion spielen.
- Intrazelluläre Sensormoleküle: Dies sind Proteine, die innerhalb der Zelle lokalisiert sind und bestimmte Signalmoleküle wie Zell- oder Tumormarker erkennen können.
- Ionenkanäle: Dies sind spezialisierte Proteine, die in der Lage sind, Ionen (z. B. Kalium oder Natrium) durch die Zellmembran zu transportieren, und dadurch die Aktivität der Zelle beeinflussen.

Auf zellulärer Ebene beginnt der Signaltransduktionsweg mit einem Signal, das durch ein Signalmolekül aufgenommen wird. Dieses Signalmolekül bindet dann an einen Rezeptor auf der Oberfläche der Zelle oder im Zytoplasma. Diese Bindung aktiviert den Rezeptor, was eine Kette von molekularen Ereignissen in Gang setzt, die die Aktivität von Zellen regulieren. Diese Signaltransduktionswege umfassen oft Proteinkinasen, die Proteine phosphorylieren und dadurch aktivieren oder deaktivieren. Sie können auch sogenannte G-Proteine aktivieren, die wiederum die Aktivität von Enzymen regulieren. Das führt in einem weiteren Schritt zu einem vermehrten Aufbau von Proteinstrukturen, was dann in einem veränderten Leistungszustand, beispielsweise eine Steigerung der Kraft- oder Ausdauerleistungsfähigkeit, erkennbar ist (Abbildung 1).

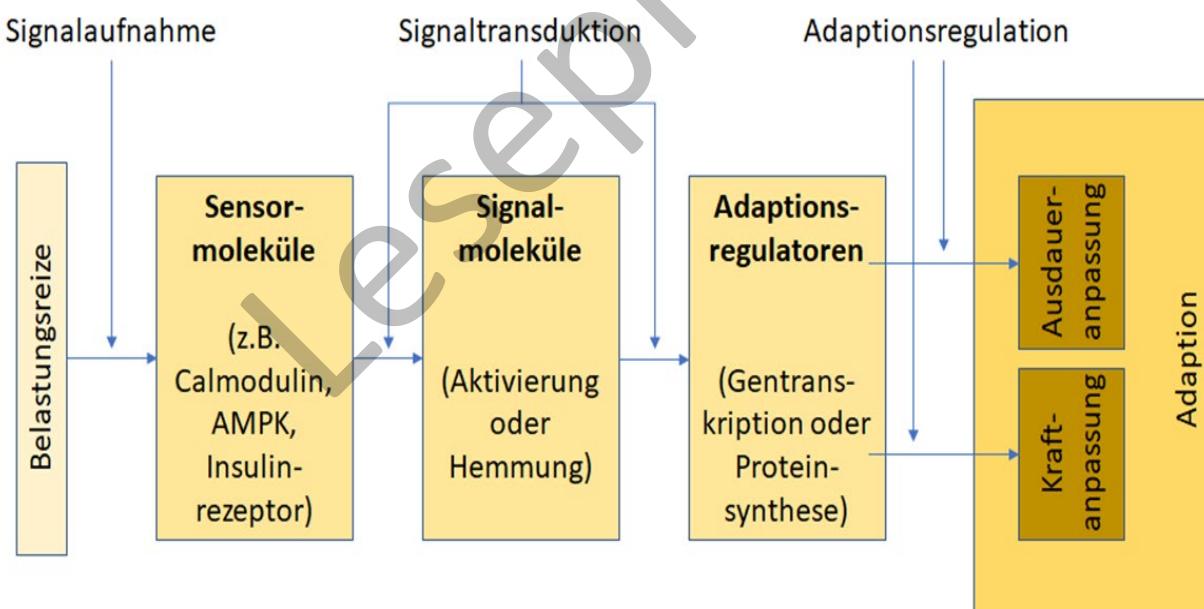


Abbildung 1: Signaltransduktionsmodell der Trainingsanpassung an Kraft- und Ausdauerreize aus Hohmann et al., 2020

Die Signaltransduktion ist ein komplexer Prozess, der von vielen Faktoren beeinflusst wird, einschließlich der Art und Menge des Signalmoleküls, der Art des Rezeptors und der Art der Zelle. Fehler in diesem Prozess können zu verschiedenen Erkrankungen, wie Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, führen.

Adaptation der Organsysteme

Basierend auf den Belastungsreizen, die die jeweiligen Signalmoleküle aktivieren, lassen sich vier Gruppen von Stimuli identifizieren:

- mechanisch
- metabolisch
- neuronal
- hormonell.

Eine Übersicht über die genannten zellulären Reize (Stimuli) findet sich in Abbildung 2. Unter mechanischen Sensoren versteht man beispielsweise Signalmoleküle, die die Spannungsänderung in der Muskulatur detektieren (beispielsweise durch das Heben eines Gewichtes oder das Zurücklegen einer gegebenen Strecke). Zu diesen Sensoren gehören die C-Jun-N-terminalen Kinassen (JNK), die besonders während eines Krafttrainings aktiviert werden. Weitere Schlüsselmoleküle sind der Hypoxie-induzierte Faktor α (HIF-1 α), der als sogenannter Sauerstoffsensor in der Zelle gilt. Fällt die Sauerstoffkonzentration in der Zelle ab, wird dies von HIF-1 α wahrgenommen, woraufhin HIF-1 α die Transkription von mehr als 60 Genen anregt, die an Prozessen wie Angiogenese und Erythropoese beteiligt sind, um damit die Sauerstoffzufuhr in unversorgten Geweben zu fördern (Flück, 2006). Ein Beispiel für neuronale Signalmoleküle ist das Calmodulin. Calmodulin ist ein intrazelluläres Protein, das vor allem in der Muskelzelle eine wichtige Rolle in der Signaltransduktion spielt. Es ist ein sogenannter "Kalzium-Sensor", da es die Menge an freien Kalziumionen (Ca^{2+}) im Zytoplasma erkennt und auf dieser Grundlage verschiedene zelluläre Prozesse reguliert, die beispielsweise die Bildung von Mitochondrien anregen. Zur Erinnerung: Kalzium spielt insbesondere bei der Muskelkontraktion eine Rolle. So sorgt Kalzium aus dem sarkoplasmatischen Retikulum dafür, dass der Tropo-Myosin Komplex freigelegt wird und dadurch Myosin an Aktin binden kann. Insbesondere bei wiederkehrenden (d. h. zyklischen) Muskelkontraktionen, wie es typischerweise bei vielen Ausdauerdisziplinen oder einem Kraftausdauertraining der Fall ist, wird durch die wiederholte Kalziumoszillation Calmodulin aktiviert.

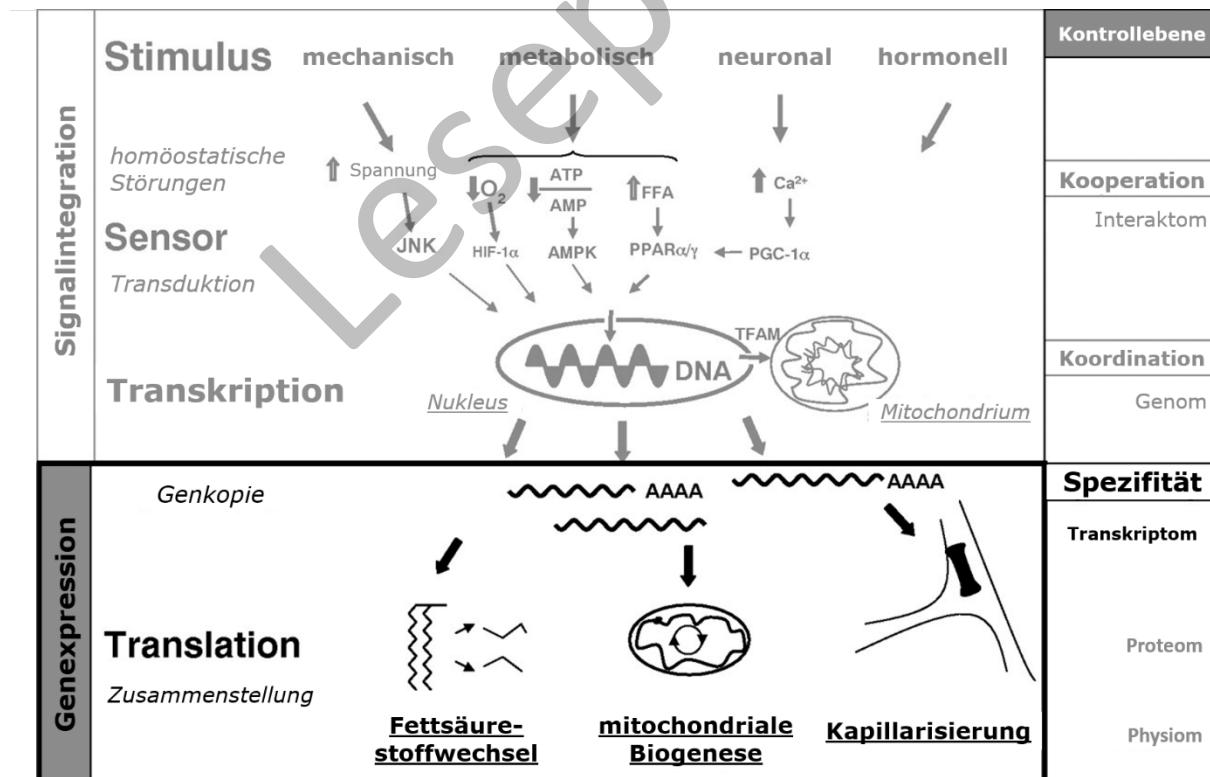


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Integration des komplexen Reizes einer körperlichen Betätigung in der Skelettmuskulatur, übersetzt nach Flück, 2006

Adaptation der Organsysteme

Die Signale, die über die zellulären Sensoren aufgenommen und weitergeleitet werden, stehen im direkten Zusammenhang mit physiologischen Anpassungen. Wird beispielsweise ein Ausdauertraining durchgeführt, so werden die metabolischen Veränderungen in der Zelle, bedingt durch einen gesteigerten Energieumsatz, von metabolischen Sensoren wahrgenommen. Dies führt zu einem Anstieg von Boten-RNA (mRNA), die die Information für den Aufbau von Mitochondrien mit sich trägt und somit die (Um)Bildung von Mitochondrien anregt. In der Biologie wird dabei von der mitochondrialen Biogenese gesprochen. Die Boten-RNA, auch Messenger-RNA genannt, ist ein Molekül, das die genetischen Anweisungen für die Proteinsynthese von der DNA im Zellkern zu den Ribosomen im Zytoplasma transportiert. Die genetische Information, die auf der mRNA codiert ist, wird von den Ribosomen zur Synthese der entsprechenden Aminosäuresequenz eines Proteins verwendet. Einfach ausgedrückt, besteht der Zweck der mRNA darin, die genetische Information von der DNA zu den Ribosomen für die Proteinsynthese zu transportieren.

Wichtig ist zu bedenken, dass nicht jede mRNA auch direkt translatiert wird. Entsprechend kommt es beispielsweise nach nur wenigen Trainingseinheiten zunächst zu einer Kumulation von mRNA in der Zelle, ohne dass dadurch eine äußerlich sichtbare Veränderung der Struktur oder etwa Verbesserungen der Leistungsfähigkeit zu beobachten sind. Eine Übersicht über die Stufen biologischer Anpassungen ist in Abbildung 3 dargestellt.

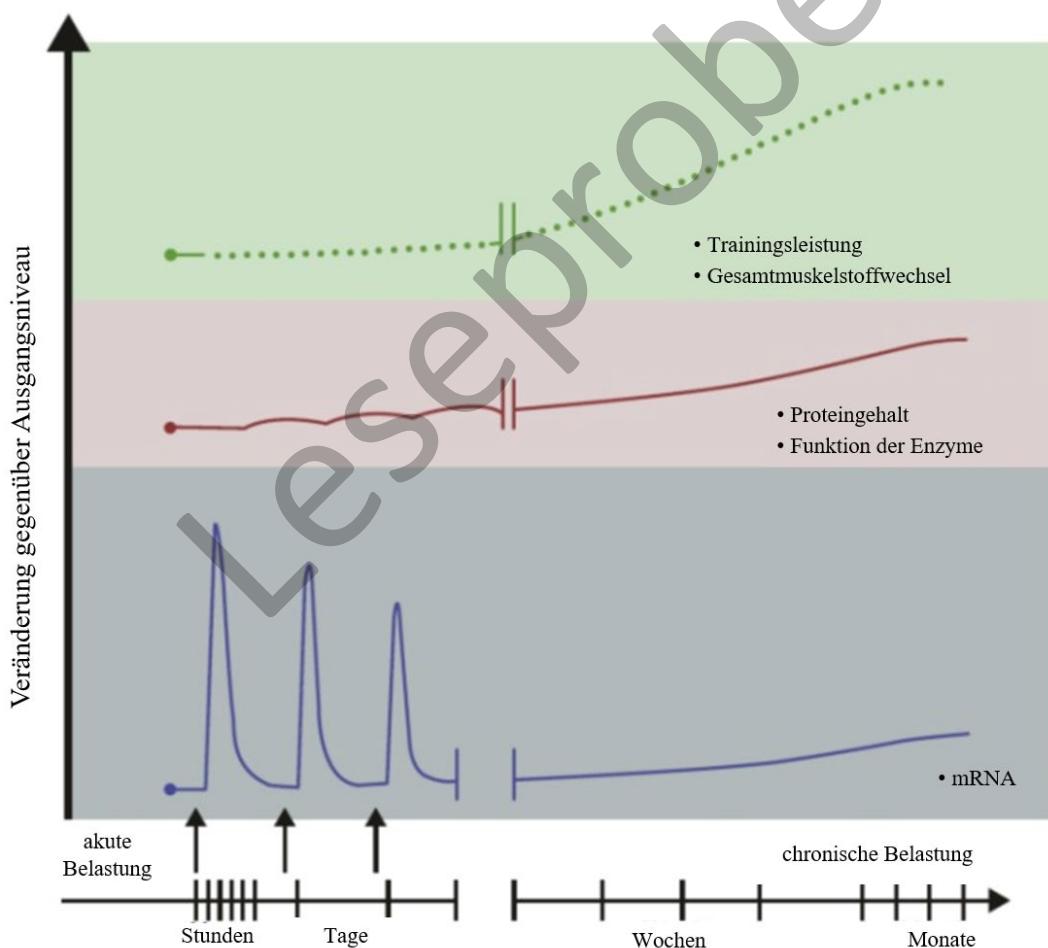


Abbildung 3: Molekulare Basis der Anpassung an körperliches Training. Schematische Darstellung der Veränderungen der mRNA-Expression (unteres Feld) und des Proteingehalts (mittleres Feld) im Laufe der Zeit als Folge von akutem Training und chronischem (wiederholtem) Training, nach Egan und Zierath, 2013

Adaptation der Organsysteme

Wird der Trainingsstimulus in regelmäßigen Abstand wiederholt, so kommt es im Beispiel des Ausdauertrainings zu einer allmählichen Akkumulation der mitochondrialen Volumendichte und infolge dessen zu einer verbesserten oxidativen Kapazität, die zu einer erhöhten Ausdauerleistungsfähigkeit führt. Das bedeutet, dass jede einzelne Trainingseinheit zwar als Anpassungsreiz notwendig ist, aber allein nicht ausreicht, um funktionelle Anpassungen zu bewirken. Die trainingsinduzierte Anpassung ist also die Folge der Wiederholung des Reizes jeder Trainingseinheit. Die Translation eines bestimmten Gens, die dann zu einer erhöhten Proteinsyntheserate führt, ist abhängig von Art und Intensität der jeweiligen Belastung. Nichtsdestotrotz führen nur die wiederholten Trainingseinheiten zu einer allmählichen Anhäufung von Proteinen als Reaktion auf wiederholte Anstiege der mRNA-Expression. Somit ist die langfristige Anpassung an das Training auf die kumulativen Effekte jeder akuten Trainingseinheit zurückzuführen, die zu einer neuen funktionellen Anpassung führen. Da in der Regel die Lebensdauer von Proteinen länger ist als die der mRNA, lassen sich Veränderungen des Proteingehalts leichter beobachten als Veränderungen der mRNA als Reaktion auf ein Training.

Die Verarbeitung der Stimuli und Reize ist grundsätzlich individuell verschieden und abhängig von einer Vielzahl von Faktoren. Die Gesamtheit aller individuellen Prädispositionen können in einer sogenannten „Response-Matrix“ zusammengefasst werden (Abbildung 4). Diese Matrix setzt sich aus einer Vielzahl von Faktoren zusammen und bestimmt letztlich die Art und das Ausmaß der durch die Trainingsstimuli zu erwartenden Anpassungen. Die Matrix unterliegt ständigen externen Einflüssen (beispielsweise Umwelt, Alterungsprozess etc.) und wird auch durch körperliches Training ständig moduliert. Entsprechend sind initial wirksame Trainingsreize ggf. nach einiger Zeit unwirksam und erfordern eine Anpassung.

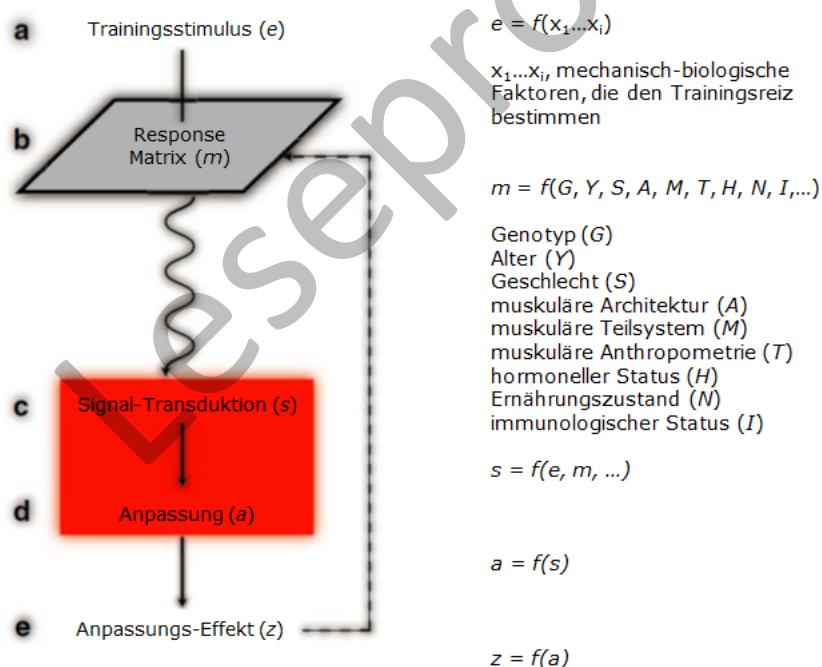


Abbildung 3: Darstellung der individuellen „Response-Matrix“. Trainingsstimuli treffen auf diese Matrix und verursachen dadurch eine individuell verschiedene spezifische Trainingsantwort. Mit zunehmenden Training wird auch die Matrix ständig erweitert, sodass die gleichen Reize mit zunehmender Zeit unwirksam werden, Abbildung übersetzt aus Toigo und Boutellier, 2006

Adaptation der Organsysteme

Merke:

Zelluläre Reize sind für den Anpassungsprozess grundlegend, wobei die Reize von sogenannten Sensormolekülen aufgenommen werden. Zelluläre Sensormoleküle sind spezialisierte Proteine, die in der Lage sind, bestimmte Signale wahrzunehmen. Sie sind außerdem für die Übertragung von Signalen in die Zelle und die Regulation zellulärer Prozesse verantwortlich, die über einen längeren Zeitraum zu strukturellen Anpassungen führen.

Grundsätzlich gilt bezüglich der Arten äußerer Trainingsstimuli das Prinzip der Trainingsspezifität (Abbildung 5). Die Abbildung verdeutlicht das Trainingskontinuum (Y-Achse) von Ausdauer- und Krafttraining. Grundlegend für jede Belastung sind Muskelkontraktionen, die aber in ihrer Intensität und Dauer variieren. So befinden sich niedrige Lasten mit vielen wiederkehrenden (zyklischen) Wiederholungen am unteren Ende des Kontinuums (d. h. Ausdauertraining) und hohe Lasten mit niedrigen Wiederholungszahlen am oberen Ende (d. h. Krafttraining). Entsprechend den Anforderungen einer Sportart oder des Trainingsziels können die entsprechenden Stimuli durch Manipulation von Belastungsnormalen (vgl. Kapitel 2.2.3.3) präzisiert werden. Es wird dann nicht von gegensätzlichen Trainingsstimuli, sondern eher spezifischen Trainingsinhalten gesprochen.

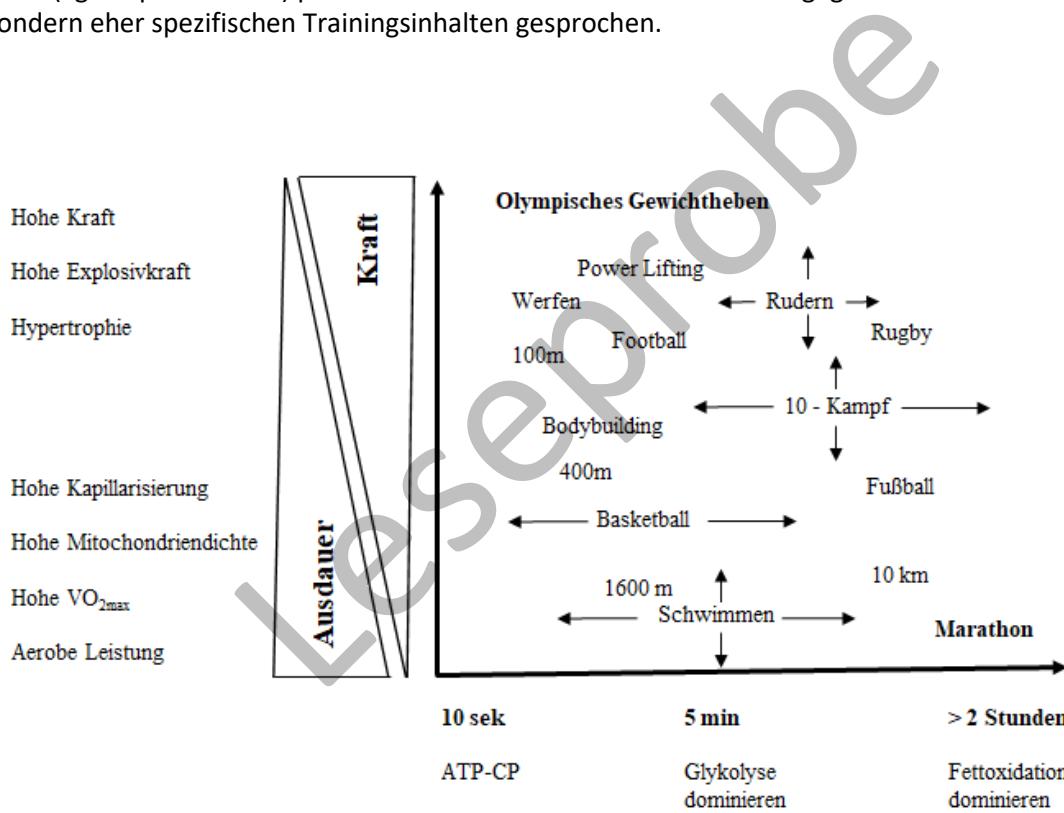


Abbildung 4: Das Ausdauer-Krafttrainingskontinuum und die Einordnung unterschiedlicher Sportarten. Auf der X-Achse sind zusätzlich die dominierenden energieliefernden Systeme beim Ausdauertraining dargestellt. Die Pfeile verdeutlichen die Ausprägung unterschiedlicher Merkmale in Abhängigkeit von einzelnen spezifischen Disziplinen, Abbildung modifiziert von Nader, 2006

5.2 Trainings- und Belastungssteuerung

5.2.1 Die (sportliche) Leistungsfähigkeit

Im vorhergehenden Kapitel ist klar geworden, dass die körperliche Leistungsfähigkeit von der Ausprägung und Entwicklung biologischer Strukturen abhängig ist. Allerdings müssen insbesondere im Hinblick auf die sportliche Leistungsfähigkeit noch weitere Faktoren berücksichtigt werden. Dazu wurden in der Vergangenheit verschiedene Modelle aufgestellt und kritisch diskutiert. Wichtig ist es, dabei zu verdeutlichen, dass diese Modelle lediglich heuristischer Natur sind (also basierend auf unvollständigen Daten) und dementsprechend nicht als empirisch valide angesehen können. Als Beispiel für solche heuristischen Modelle dient das Modell der Leistungsstruktur nach Martin, (1980) (Abbildung 6). Dieses Modell stellt sowohl die biologische als auch die psychologische Leistungsfähigkeit in den Vordergrund und verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren (Psyche, Intelligenz, Koordination und Kondition) (Martin, 1980). Zudem basiert es auf der ganzheitlichen Betrachtung der Sportlerpersönlichkeit (auf biologischer und psychischer Ebene), welche maßgeblich von den Einflussfaktoren abhängig ist und in direktem Zusammenhang mit dem Leistungszustand steht.

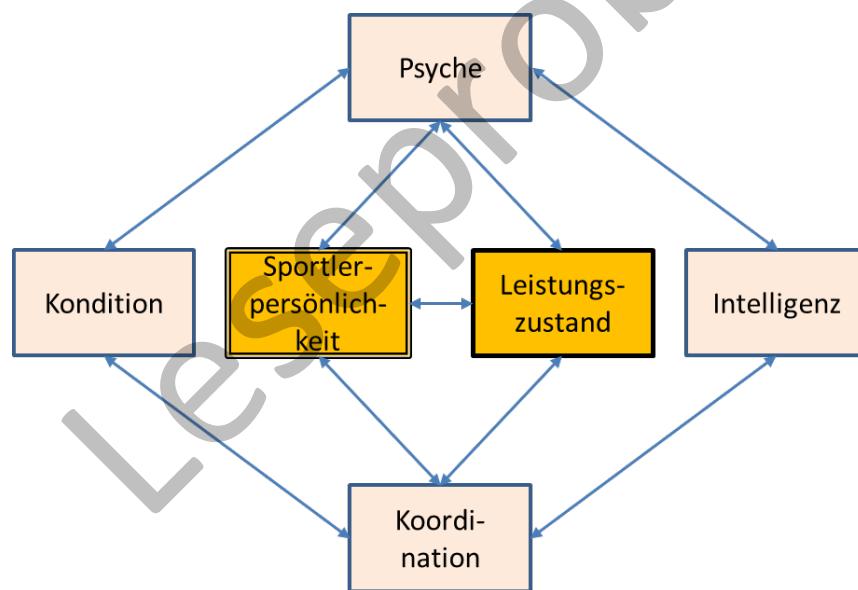


Abbildung 5: Modell der Leistungsstruktur, modifiziert nach Martin, 1980

Konträr zu den heuristischen Modellen zur Darstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit haben sich in den vergangenen Jahren Leistungsstrukturmodelle mit empirischer Prüfung etabliert. Diese Modelle werden auch als „Pyramidenmodelle“ oder auch Modelle der „Deduktionskette“ bezeichnet. Ziel dieser Modelle ist es, den Einfluss von spezifischen, sportartspezifischen Größen auf die resultierende Leistungsfähigkeit zu quantifizieren. Dabei wird mithilfe einer Regressionsanalyse die sportliche Leistungsfähigkeit anhand der Einflussgrößen erklärt. Als beispielhaftes Leistungsstrukturmodell mit empirischer Prüfung stellen Hohmann et al. (2020) ein Modell der „Deduktionskette“ mit der Erklärung der Weitsprungleistung anhand von verschiedenen Einflussfaktoren (= Teilleistungen) dar (Abbildung

Adaptation der Organsysteme

7). Die erreichte Teilweite kann dabei mithilfe der horizontalen Geschwindigkeit beim Absprung (v_0 horiz.), der vertikalen Geschwindigkeit beim Absprung (v_0 vertik.) sowie der Differenz der Position des Körperschwerpunktes zwischen Absprung und Landung ($KSP_{Absprung-Land.}$) erklärt werden. Durch eine entsprechende Regressionsanalyse kann die Gewichtung des Einflusses der jeweiligen Teilleistungen auf die Leistungsfähigkeit bestimmt werden. Dies erlaubt wiederum Rückschlüsse für die Trainingspraxis, indem, aufgrund der überragenden Bedeutung von v_0 horiz. für die Weitsprungleistung, der Fokus in der Trainingsplangestaltung auf diese Teilleistung gelegt werden kann. Eine Problematik dieser Leistungsstrukturmodelle mit empirischer Prüfung liegt allerdings in der potenziellen „Multikollinearität“ zwischen den Teilleistungen, welche die Leistungsfähigkeit beschreiben (Hohmann et al., 2020). Die „Multikollinearität“ beschreibt den Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Teilleistungen untereinander, welcher in diesen Modellen nicht erfasst wird, wodurch es zu Fehlinterpretationen der Gewichtung verschiedener Teilleistungen kommen kann. Wichtig ist auch zu beachten, dass die genannten Modelle zwar grundsätzlich für den Leistungssport konzipiert wurden, diese aber auch durchaus in anderen Settings, wie beispielsweise in der Rehabilitation oder dem Schulsport, eine Rolle spielen. Letztlich bedeutet eine Unterteilung der eigentlichen Leistungsfähigkeit in Zwischenleistungen auch eine individuelle Zielsetzung, also was in einer bestimmten Zeit erreicht werden muss/soll, um längerfristig die Gesamtleistungsfähigkeit zu verbessern.

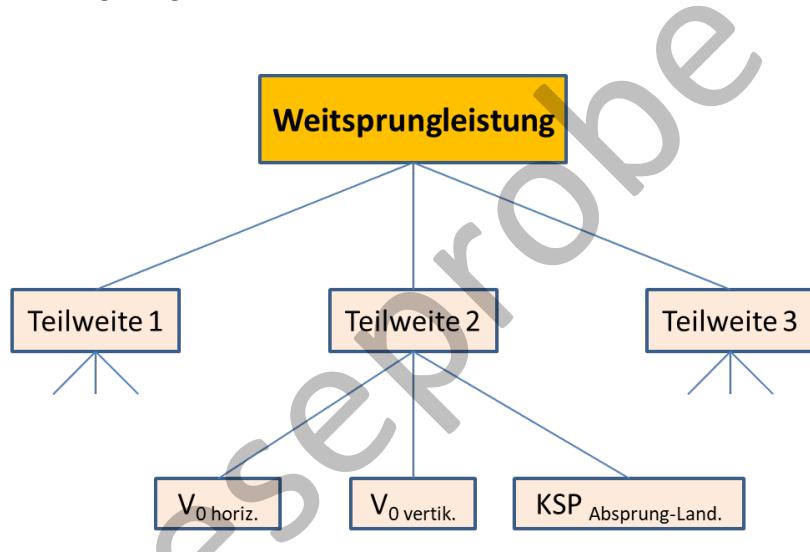


Abbildung 6: Leistungsstrukturmodell mit empirischer Prüfung zur Erklärung der Weitsprungleistung. V_0 horiz. = horizontale Geschwindigkeit bei Absprung, V_0 vertik. = vertikale Geschwindigkeit bei Absprung, $KSP_{Absprung-Land.}$ = Differenz der Position des Körperschwerpunktes zwischen Absprung und Landung. Modifiziert nach Hohmann et al. (2020)

Eine weitere Problematik der Leistungsstrukturmodelle mit empirischer Prüfung ist, dass die Relevanz der einzelnen Teilleistungen sehr individuell und settingspezifisch sind. Auf der Grundlage dieser Problematik haben sich integrative Modelle zur Beschreibung der sportlichen Leistungsfähigkeit etabliert. Der integrative Ansatz verbindet unterschiedliche trainingswissenschaftliche Perspektiven, um somit ein großes Spektrum der verschiedenen komplexen Bausteine der sportlichen Leistungsfähigkeit abzubilden (Abbildung 8). Die „klassischen“ Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit (konditionelle, koordinative sowie technische und taktische Fähigkeiten) werden dabei in den Kontext der Bewegungsaufgabe und Umwelt gesetzt. Die externen Rahmenbedingungen (Ort, Zeit, Anlass etc.) nehmen dabei ebenso wie spezifische Merkmale der akuten Situation (z. B. Dauer der Bewegung/Belastung) Einfluss auf die tatsächliche sportliche Leistungsfähigkeit. Dabei befindet sich der Einfluss der unterschiedlichen Bausteine der sportlichen Leistungsfähigkeit untereinander in einem dynamischen Zustand und ist somit, entsprechend den personellen, aufgaben- und umweltspezifischen Rahmenbedingungen, variabel. Ziel dieser Form der Leistungsstrukturmodelle ist es nicht, den Einfluss spezifischer

Adaptation der Organsysteme

Teilleistungen auf die Leistungsfähigkeit zu quantifizieren, sondern vielmehr die Analyse der Wechselbeziehung zwischen den verschiedenen Bausteinen der Leistungsfähigkeit zu vereinfachen.

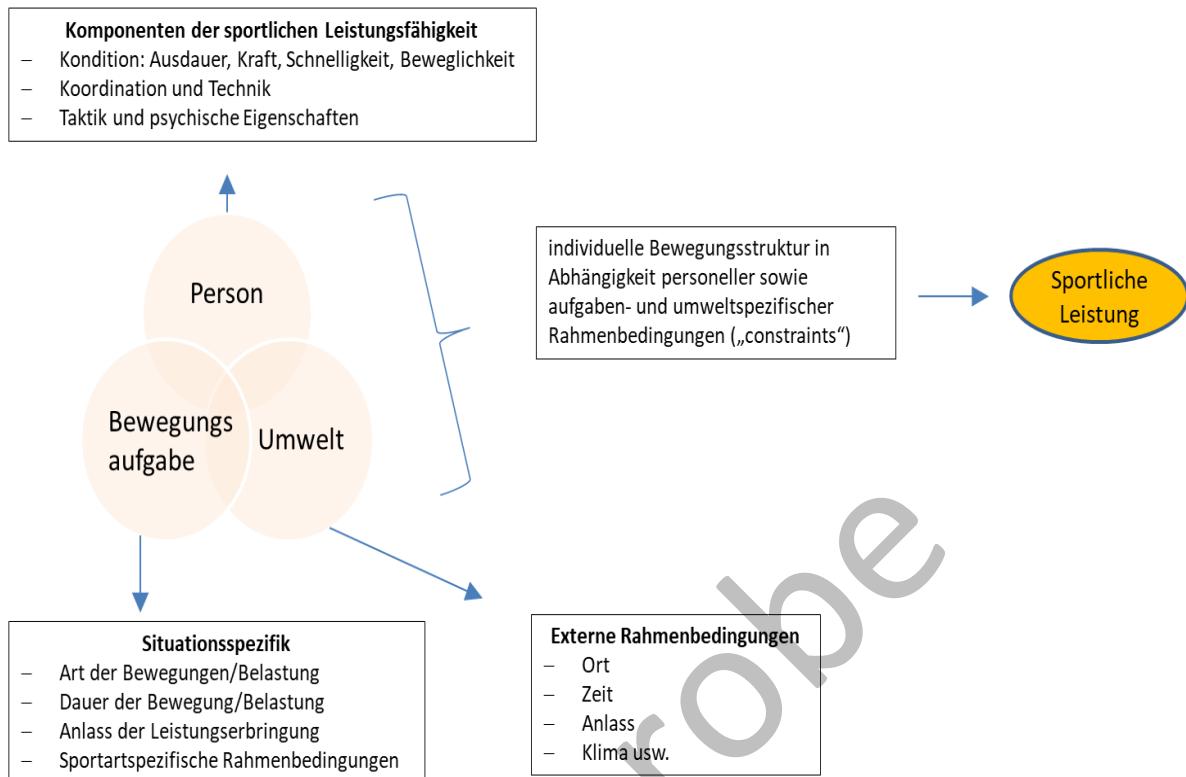


Abbildung 7: Integratives Modell der sportlichen Leistung, modifiziert nach Hohmann et al. (2020)

Die Gemeinsamkeit der verschiedenen Modelltypen zur Beschreibung der sportlichen Leistungsfähigkeit besteht in der Berücksichtigung der konditionellen Fähigkeiten, welche eine zentrale Rolle in der Ausbildung der sportlichen Leistungsfähigkeit innehaben. Die konditionellen Fähigkeiten werden dabei klassischerweise in die vier Einzelkomponenten *Ausdauer*, *Kraft*, *Schnelligkeit* und *Beweglichkeit* unterteilt. Im Gegensatz zu externen Rahmenbedingungen sowie der Situationsspezifik, welche sich nur bedingt beeinflussen lassen, sind die vier Einzelkomponenten der konditionellen Fähigkeiten durch sportliches Training beeinflussbar. Damit die Ausbildung der (sportlichen) Leistungsfähigkeit optimal gestaltet wird, können verschiedene Trainingsprinzipien als Orientierungsgrundlage für die Gestaltung eines sportlichen Trainings gesehen werden. Diese Trainingsprinzipien basieren dabei sowohl auf wissenschaftlicher Grundlage als auch auf praktischen Trainingserfahrungen und sollen im Folgenden genauer erläutert werden.

Merke: Es bestehen unterschiedliche Modelle zur Beschreibung der (sportlichen) Leistungsfähigkeit. Diese berücksichtigen verschiedene Teilespekte der (sportlichen) Leistungsfähigkeit und bieten die Möglichkeit, die Komplexität dieser schematisch darzustellen, ohne eine vollständige, evidenzbasierte Beschreibung der (sportlichen Leistungsfähigkeit) zu gewährleisten.

5.2.2 Trainingsprinzipien

5.2.2.1 Prinzip des trainingswirksamen Reizes

Eines der grundlegenden Trainingsprinzipien ist das Prinzip des trainingswirksamen Reizes. Dieses Prinzip ist in die Kategorie der Belastungsprinzipien zur Auslösung der Anpassung einzuordnen (Tabelle 1). Dabei wird angenommen, dass ein Reiz eine bestimmte Schwelle überschreiten muss, damit eine entsprechende Adaptation ausgelöst wird. Die Reize werden, der „Reizstufenregel“ entsprechend, in unterschwellige, überschwellige und stark überschwellige Reize eingeteilt (Abbildung 9). Während überschwellige Reize positive Anpassungen auslösen, sind unterschwellige Reize wirkungslos, wohingegen stark überschwellige Reize sogar in negativen Adaptationen resultieren können. Ziel ist es also, mit der Auswahl der „richtigen“ Reizintensität positive Anpassungen zu bewirken, um die (sportliche) Leistungsfähigkeit zu steigern. Die Wahl der richtigen Reizintensität ist dabei nicht trivial. Häufig kann nur die *Belastung*, also die äußere Einwirkung auf das Individuum, manipuliert werden, wohingegen der Grad der *Beanspruchung*, also die individuelle Reaktion auf die Belastung, nur schwer steuerbar ist. Als beispielhafter Steuerungsparameter im Ausdauersport kann die Belastungsintensität, gemessen an der Prozentzahl der maximalen Herzfrequenz, herangezogen werden. Dabei ist davon auszugehen, dass eine mehrminütige Belastung oberhalb von 90 % der maximalen Herzfrequenz in einer messbaren positiven Anpassung der maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$) resultiert (überschwelliger Reiz). Sind die Belastungsintensität sowie die Belastungsdauer jedoch vergleichsweise niedrig (< 60 % der maximalen Herzfrequenz für wenige Minuten), ist, zumindest bei trainierten Individuen, von keiner positiven Anpassung auszugehen (unterschwelliger Reiz). Eine sehr hohe Belastungsintensität über eine sehr hohe Belastungsdauer kann hingegen eine sehr starke Ermüdung und negative Anpassungen zur Folge haben (stark überschwelliger Reiz).

Tabelle 1: Übersicht der Trainingsprinzipien, adaptiert von Krug, 2002

Prinzipien zur Auslösung der Anpassung (Belastungsprinzipien)	Prinzipien zur Sicherung der Anpassung (Zyklisierungsprinzipien)	Prinzipien zur Steuerung der Anpassung in die spezifische Richtung (Spezialisierungsprinzipien)
<ul style="list-style-type: none">➤ Prinzip des trainingswirksamen Reizes➤ Prinzip der progressiven Belastungssteuerung➤ Prinzip der variierenden Belastung	<ul style="list-style-type: none">➤ Prinzip der optimalen Gestaltung von Belastung und Erholung➤ Prinzip der Wiederholung und Kontinuität➤ Prinzip der Periodisierung und Zyklisierung	<ul style="list-style-type: none">➤ Prinzip der regulierenden Wechselwirkung➤ Prinzip der Vorrangigkeit und zielgerichteten Koordination➤ Prinzip der periodisierten Regeneration

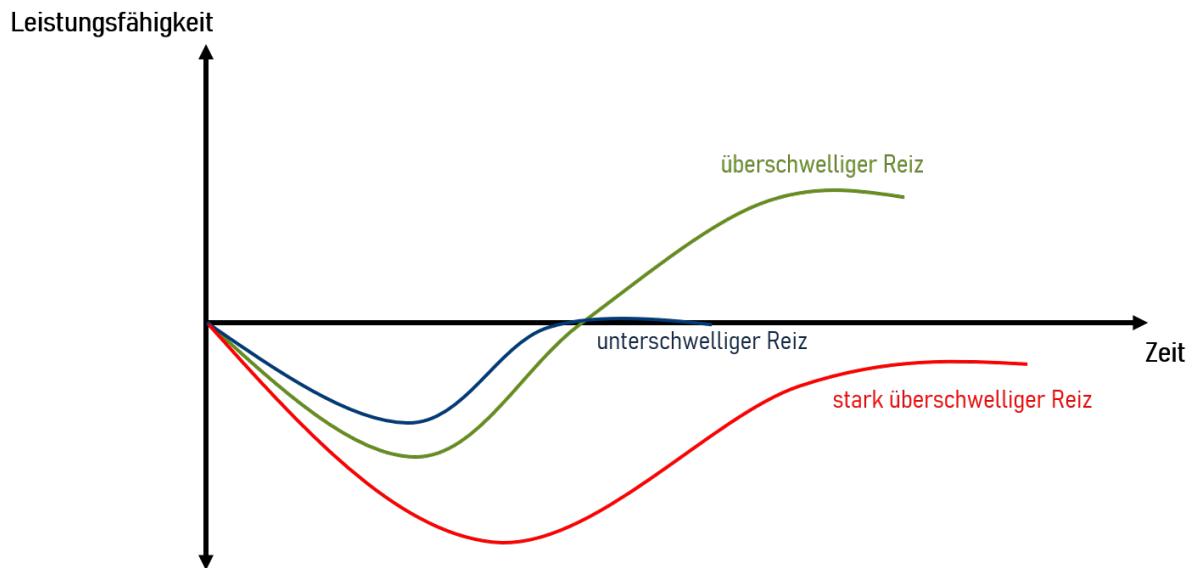


Abbildung 8: Einteilung verschiedener Reizintensitäten nach der Reizstufenregel

5.2.2.2 Prinzip der progressiven Belastungssteigerung

Aufgrund der Tatsache, dass jede Trainingseinheit optimalerweise in einer positiven Anpassung des Organismus resultiert und sich somit die Leistungsfähigkeit des Individuums verbessert, wird davon ausgegangen, dass die Reizintensität der Leistungsverbesserung entsprechend angepasst werden muss. Diese Annahme entspringt dem Prinzip der progressiven Belastungssteigerung. Beispielhaft zu nennen ist dabei das Gewicht, welches in einer Krafttrainingsübung bewegt werden kann. Trainiert ein Individuum über Wochen oder Monate mit dem gleichen Gewicht, so mag das Gewicht zu Beginn des Trainingsblocks noch einen überschwelligen Reiz darstellen. Durch die positiven Adaptationen ist jedoch die *Beanspruchung* bei gleicher *Belastung* nicht mehr die gleiche, sodass eine progressive Belastungssteigerung notwendig ist, damit es zu einer positiven Adaptation kommt. Dieses Trainingsprinzip zur Auslösung der Anpassung sollte jedoch in der Trainingspraxis kritisch evaluiert werden, da es suggeriert, dass zwangsläufig eine Belastungssteigerung notwendig ist. Vor allem aber bei Athlet*innen auf Hochleistungsniveau ist dies nicht immer uneingeschränkt möglich, ohne Gefahr zu laufen, dass dies in stark überschwelligen Reizen mündet.

5.2.2.3 Prinzip der variierenden Belastung

Auch das Prinzip der variierenden Belastung ist ein zentrales Trainingsprinzip zur Auslösung der Anpassung. Dieses Prinzip besagt, dass variierende Belastungen notwendig sind, um positive Adaptationen hervorzurufen. Dies kann unter anderem, wie bei dem Prinzip der progressiven Belastungssteigerung, eine ansteigende Belastungsintensität oder ein ansteigendes Belastungsvolumen meinen. Jedoch ist die Grundlage dieses Prinzips nicht die progressive Steigerung dieser Variablen, sondern vielmehr die Variation verschiedener Belastungsnormative (u. a. Trainingsinhalt, Übungsauswahl, Reihenfolge der Übungen). Im Krafttraining sollten folglich nicht nur die Belastungsintensität (gemessen nach bewegtem Gewicht) und das Belastungsvolumen (gemessen an den ausgeführten Sätzen), sondern unter anderem auch die Übungsauswahl, die Reihenfolge der Krafttrainingsübungen sowie die Ausführungs geschwindigkeit variiert werden.

5.2.2.4 Prinzip der optimalen Gestaltung von Belastung und Erholung

Das Prinzip der optimalen Gestaltung von Belastung und Erholung beschreibt maßgeblich die Einhaltung einer optimalen Trainingsfrequenz, um positive Adaptationen zu erzielen sowie diese zu erhalten (Prinzip zur Sicherung der Anpassung). Ziel dabei ist es, die Homöostase durch überschwellige Reize in einem adäquaten Abstand reversibel zu stören und somit die Leistungsfähigkeit zu erhöhen. Sind die Trainingsfrequenz und/oder Trainingsintensität dabei zu niedrig, bleiben positive Effekte aus (Abbildung 10), wohingegen eine zu häufige Trainingsfrequenz und/oder zu hohe Trainingsintensität in negativen Adaptationen resultieren können (vgl. Kapitel 2.2.4), Abbildung 11). Entsprechend müssen die Reize klug gesetzt werden, um letztendlich optimale Trainingsanpassungen zu generieren (Abbildung 13). Wichtig ist dabei, auf die Heterochronizität der Regeneration der verschiedenen Systeme hinzuweisen. Die Dauer der Wiederherstellung der Homöostase kann also von wenigen Stunden bis zu mehreren Wochen andauern, abhängig von dem Trainingszustand sowie der Belastung, aber vor allem auch vom jeweiligen Teilsystem (z. B. Elektrolythaushalt, Glykogenresynthese, beschädigte Zellorganellen, passive Strukturen) und von den individuellen Voraussetzungen.

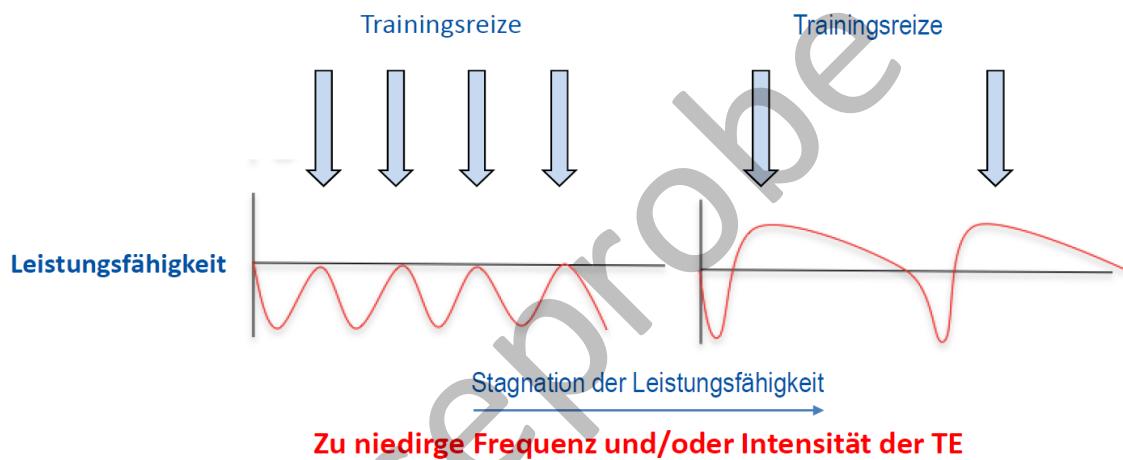


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Trainingsanpassungen bei zu niedriger Reizdichte und/oder Reizintensität, TE: Trainingseinheit, eigene Darstellung

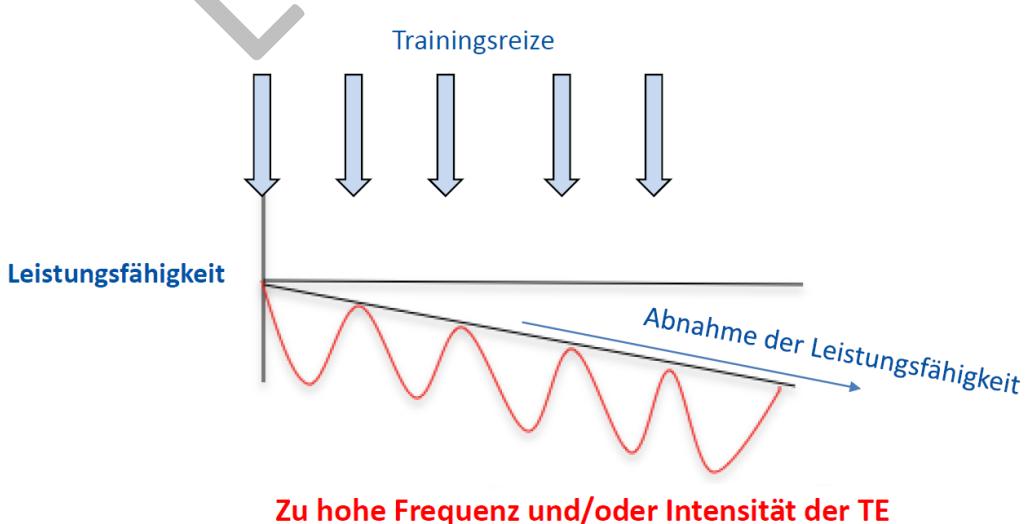


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Trainingsanpassungen bei zu hoher Reizdichte und/oder Reizintensität, TE: Trainingseinheit, eigene Darstellung

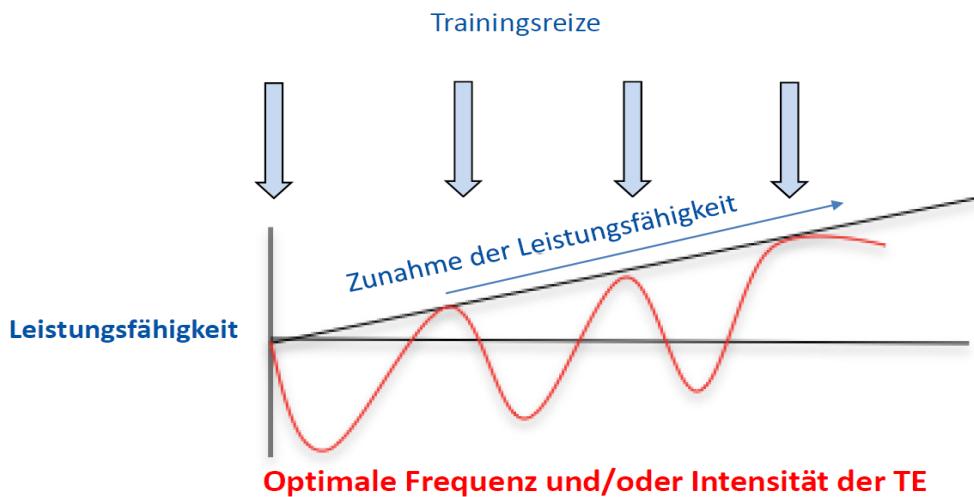


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Trainingsanpassungen bei optimaler Reizdichte und/oder Reizintensität, TE: Trainingseinheit, eigene Darstellung.

5.2.2.5 Prinzip der Wiederholung und Kontinuität

Ein weiteres Prinzip zu Sicherung der Anpassung stellt das Prinzip der Wiederholung und Kontinuität dar. Wie auch das Prinzip der optimalen Gestaltung von Belastung und Erholung zielt dieses Prinzip darauf ab, die Trainingsfrequenz so zu gestalten, dass es nicht zu einer Stagnation oder gar Reduktion der Leistungsfähigkeit kommt. Um einen gewünschten Trainingseffekt zu erzielen, ist es notwendig, dass das Individuum sich wiederholten bzw. kontinuierlichen Belastungen aussetzt. Im Ausdauersport ist eine langfristige Anpassung der $VO_{2\text{max}}$ nur möglich, indem in regelmäßigen Abständen intensive Belastungen folgen. Bleibt die Kontinuität aus und werden somit nur in unregelmäßigen Abständen Reize gesetzt, kann trotz hoher Belastungsintensität in den jeweiligen Einheiten nicht von einer positiven Anpassung der $VO_{2\text{max}}$ ausgegangen werden. Dabei ist zu betonen, dass das Prinzip nicht im Widerspruch zum Prinzip der variiierenden Belastung steht, da es lediglich besagt, dass Trainingsreize in regelmäßigen Abständen wiederholt werden müssen, nicht aber, dass es sich dabei um die gleiche Trainingsform mit gleicher Belastungsintensität und gleichem Belastungsvolumen handeln muss.

5.2.2.6 Prinzip der Periodisierung und Zyklisierung

Betrachtet man die Trainingsgestaltung nicht nur über einen kurzen Zeitraum von wenigen Trainingseinheiten, sondern über mehrere Wochen, Monate oder gar Jahre, besteht die Notwendigkeit der systematischen Planung und Variation der jeweiligen Trainingsinhalte über diesen Zeitraum. Das Prinzip der Periodisierung und Zyklisierung beschreibt die systematische und zielgerichtete Manipulation von Trainingsvariablen innerhalb verschiedener Zeiträume. Dies gewinnt vor allem im sportlichen Kontext bei der Vorbereitung auf spezifische Wettkämpfe an Bedeutung. Dabei werden beispielsweise Trainingsinhalte über das Jahr so strukturiert, dass die sportliche Höchstleistung zum Zeitpunkt des Wettkampfes abgerufen werden kann. Aber auch im Training mit anderen Adressatengruppen (z. B. Breitensportler*innen, Patient*innen) ist es, nach dem Prinzip der variiierenden Belastung, notwendig, die Belastungsnormative über verschiedene Zeiträume zu manipulieren, um die Leistungsfähigkeit

zielgerichtet zu erhöhen oder zu erhalten. Eine genauere Betrachtung verschiedener Periodisierungsmodelle und Belastungsnormative wird an anderer Stelle (Kapitel 2.2.3.2 und Kapitel 2.2.3.3) folgen.

5.2.2.7 Prinzip der regulierenden Wechselwirkung

Das Prinzip der regulierenden Wechselwirkung beschreibt die mögliche Wechselwirkung verschiedener Trainingsstimuli untereinander und gehört zu den Spezialisierungsprinzipien zur Steuerung der Anpassung in eine spezifische Richtung. Trainingsinhalte beeinflussen dabei häufig neben dem eigentlichen Hauptziel der Verbesserung einer spezifischen Leistungsfähigkeit (z. B. einer konditionellen Fähigkeit) auch weitere Teilsysteme/andere Formen der Leistungsfähigkeit. So kann ein Krafttraining nicht nur positive Effekte auf die Kraftleistungsfähigkeit, sondern auch auf die Ausdauerleistungsfähigkeit haben (Doma et al., 2019). Vor allem bei untrainierten Individuen ist davon auszugehen, dass ein Trainingsstimulus, welcher auf eine der konditionellen Leistungsfähigkeiten abzielt, auch positive Effekte für die anderen konditionellen Leistungsfähigkeiten mit sich zieht. Bei bereits trainierten Individuen kann jedoch nicht ausschließlich von positiven „Transfereffekten“ ausgegangen werden. Eine Vielzahl von Studien deutet darauf hin, dass ein hohes Ausdauertrainingsvolumen einen potenziell negativen Effekt auf die Entwicklung der Schnellkraftfähigkeit haben kann (Schumann et al., 2022).

5.2.2.8 Prinzip der Vorrangigkeit und zielgerichteten Koordination

Um eine spezifische Leistungsfähigkeit optimal auszubilden, ist es in vielen Fällen von zentraler Bedeutung, diese Fähigkeit in einem möglichst nicht ermüdeten Zustand zu trainieren. Somit sollten Teilsysteme der Leistungsfähigkeit, welchen besondere Bedeutung für die spezifische Leistungsfähigkeit zugeschrieben wird, zu Beginn einer jeweiligen Trainingseinheit in den Fokus genommen werden. Orientiert am Anforderungsprofil der jeweiligen Sportart oder an dem Hauptziel einer Trainingsintervention im Bereich des Breitensports oder der Rehabilitation, sollte den primären Teilsystemen der angestrebten Leistungsfähigkeit eine besondere Bedeutung innerhalb der Trainingseinheit zugeschrieben werden. Dies gilt auch für die Verbesserung verschiedener Übungsformen innerhalb der gleichen konditionellen Fähigkeit. So konnte gezeigt werden, dass Krafttrainingsübungen, auf die ein besonderer Fokus im Sinne der Verbesserung der Kraftleistungsfähigkeit gelegt wird, eher gleich zu Beginn einer entsprechenden Krafttrainingseinheit durchgeführt werden sollten, um diese optimal auszubilden (Nunes et al., 2021).

5.2.2.9 Prinzip der periodisierten Regeneration

Als Spezialisierungsprinzip stellt das Prinzip der periodisierten Regeneration die zentrale Bedeutung von wiederkehrenden, geplanten Ruhephasen innerhalb eines Trainingszyklus dar. Ein dauerhaft hohes Trainingsvolumen und/oder eine dauerhaft hohe Trainingsintensität können zu Fehlanpassungen führen. Aufgrund dessen werden innerhalb der Trainingsperiodisierung Ruhephasen, sogenannte *Deloads*, eingebaut, um für eine langfristige optimale Ausbildung der Leistungsfähigkeit zu sorgen. Die Literatur zeigt, dass solche kurzen Phasen (1-2 Wochen) mit einer deutlichen Reduktion des Trainingsvolumens zu einer akuten Verbesserung der Ausdauer- (Bosquet et al., 2007) und Kraftleistungsfähigkeit führen können (Travis et al., 2020).

Merke: Die Trainingsprinzipien entsprechen nicht den wissenschaftstheoretischen Anforderungen und sind dabei nicht ausnahmslos evidenzbasiert. Sie können jedoch als Handlungsorientierung für die Trainingsplanung dienen und somit vor allem untrainierten Individuen den Einstieg in das systematische Training erleichtern.

5.2.3 Trainingsperiodisierung

5.2.3.1 Begriffserklärung

Unter dem Begriff Trainingsperiodisierung wird die Methode zur Einteilung des Trainings in aufeinanderfolgende Phasen und zyklische Zeiträume verstanden, um das Potenzial für das Erreichen bestimmter Leistungsziele zu erhöhen und gleichzeitig die Gefahr von Überlastung und/oder Fehlanpassungen zu minimieren (Williams et al., 2017). Dabei werden unterschiedliche Zeiträume der Trainingsperiodisierung betrachtet. Die systematische Planung kann sich auf eine einzelne Trainingseinheit beschränken, aber auch einen Mehrjahreszyklus von beispielsweise 4 Jahren (olympischer Zyklus) umfassen, um einen langfristigen Leistungsaufbau zu einem bestimmten sportlichen Wettkampf zu erzielen. Klassischerweise wird die Periodisierung in verschiedene Zeiträume unterteilt (Abbildung 13).

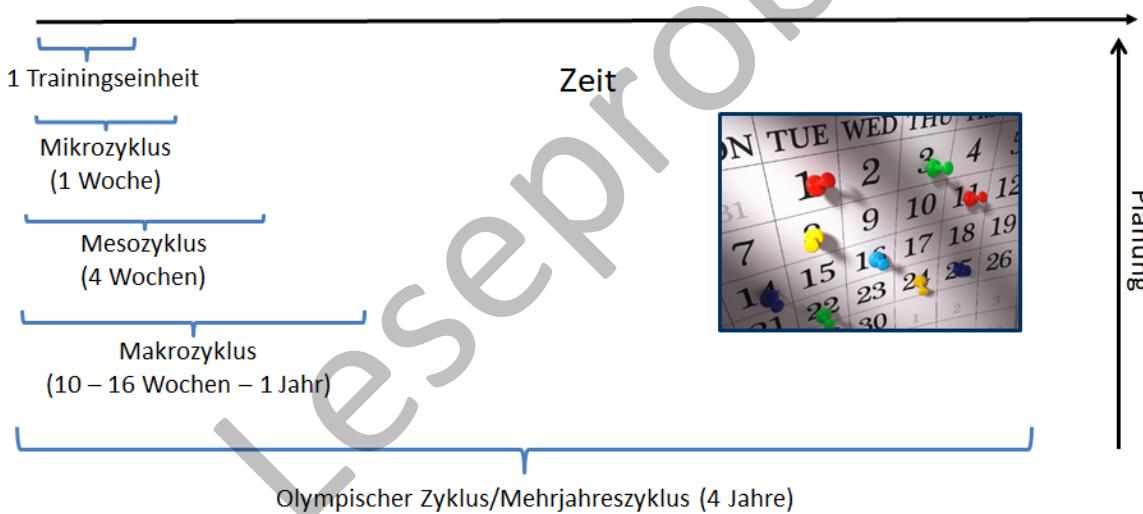


Abbildung 12: Übersicht über die unterschiedlichen Phasen einer Trainingsperiodisierung, eigene Abbildung

Die Planung der einzelnen Phasen erfolgt in der Regel rückwärts. Das heißt, zuerst sollten längerfristige Ziele festgelegt werden. Entsprechend wird dann der geplante Weg hin zu Erreichung der Ziele auf Makro-, Meso- und Mikrozyklen heruntergebrochen. Schließlich werden darauf basierend auch die individuellen Inhalte einzelner Trainingseinheiten definiert. Das Prinzip der Periodisierung bezieht sich dabei nicht nur auf den Hochleistungs- oder Leistungssport, sondern findet auch im Freizeit- und Gesundheitssport Anwendung und stellt eine entscheidende Voraussetzung für das strukturierte Training dar.

5.2.3.2 Periodisierungsmodelle

In den vergangenen Jahren haben sich unterschiedliche Periodisierungsmodelle etabliert. Als „klassisches“ oder „traditionelles“ Periodisierungsmodell wird die *lineare Periodisierung* beschrieben (Lorenz et al., 2010). Diese ist gekennzeichnet durch einen linearen Anstieg der Trainingsintensität bei gleichzeitiger linearer Reduktion des Trainingsvolumens (Abbildung 14). Dabei wird innerhalb des Makrozyklus die Trainingsintensität bis zum Zielwettkampf erhöht, um die optimale Leistungsfähigkeit zu diesem Zeitpunkt zu erreichen.

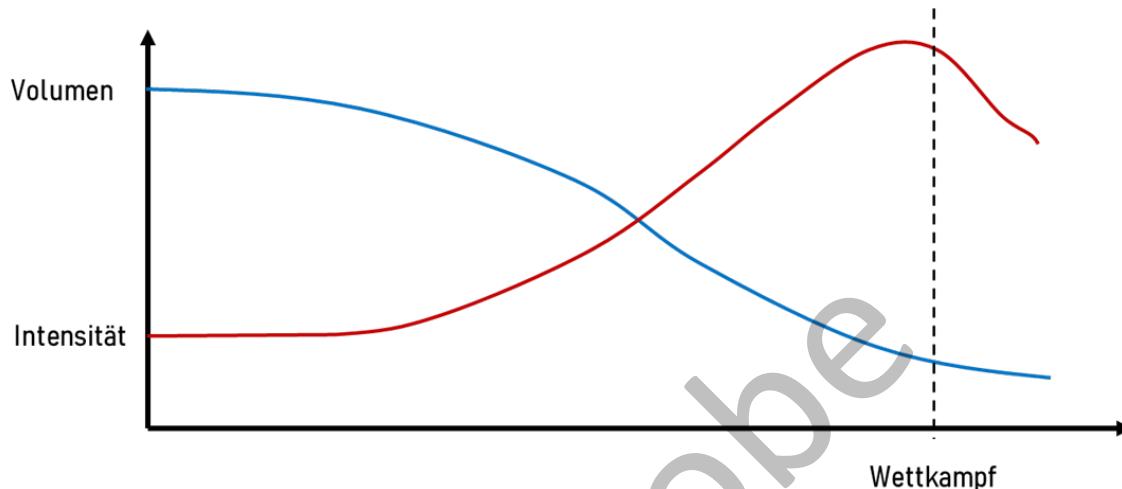


Abbildung 13: Schematische Darstellung einer linearen Periodisierung

Die *wellenförmige Periodisierung* (auch *nicht lineare Periodisierung* genannt) ist hingegen gekennzeichnet durch eine sehr hochfrequente (täglich, wöchentlich, zweiwöchentlich) Änderung von Trainingsvolumen und -intensität (Abbildung 15) (Lorenz et al., 2010). Die Variation kann dabei täglich („tägliche wellenförmige Periodisierung“) oder wöchentlich („wöchentliche wellenförmige Periodisierung“) erfolgen. Ziel ist es dabei, durch die hochfrequente Änderung der Belastungsnormative immer wieder Änderungen im Trainingsstimulus zu erzeugen und somit wiederkehrend überschwellige Reize zu verursachen (Prinzip der varierenden Belastung). Dabei ist es nicht unüblich, dass, ähnlich wie bei der linearen Periodisierung, die durchschnittliche Trainingsintensität in Richtung Wettkampf ansteigt, wohingegen das durchschnittliche Trainingsvolumen reduziert wird.

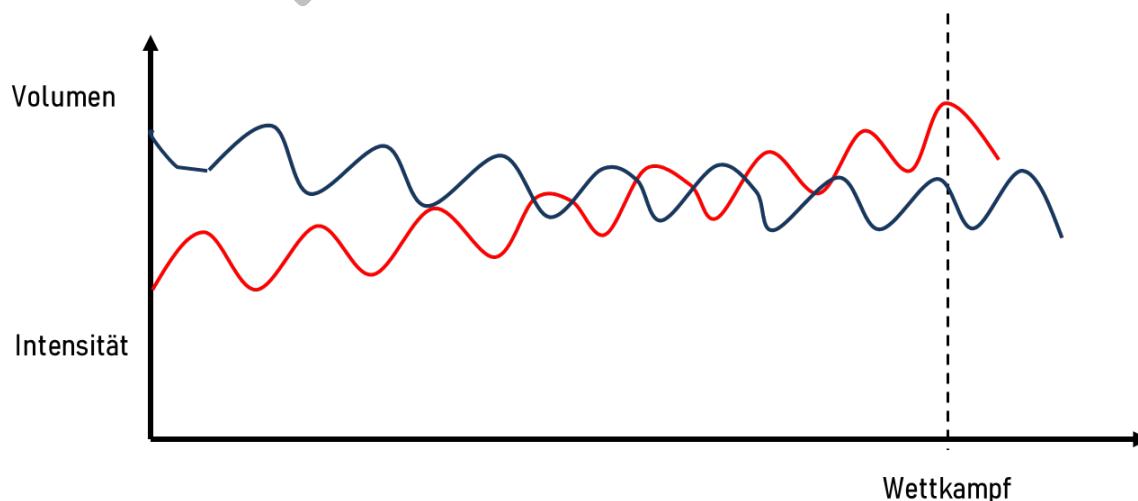


Abbildung 14: Schematische Darstellung einer wellenförmigen Periodisierung

Adaptation der Organsysteme

Ein drittes Periodisierungsmodell, welches in den vergangenen Jahren viel Aufmerksamkeit erfahren hat, ist die *Blockperiodisierung* (Issurin, 2016). Diese ist gekennzeichnet durch hochspezialisierte Mesozyklen in der Länge von 2 bis 4 Wochen (Trainingsblöcke), in denen der Fokus auf eine spezifische Teilleistungsfähigkeit gelegt wird (Issurin, 2016). Beispielhaft kann dies an einem Mesozyklus in der Krafttrainingsperiodisierung verdeutlicht werden (Abbildung 16). Dabei wird im ersten Trainingsblock der Fokus ausschließlich auf ein klassisches Hypertrophietraining gelegt. Daraufhin folgt ein Block mit klassischem Maximalkrafttraining, in dem das Trainingsvolumen reduziert wird, wohingegen die Intensität steigt. In Richtung des Zielwettkampfes folgt dann ein Trainingsblock, welcher sich auf die Explosivkraftentwicklung (= „Powertraining“) fokussiert.

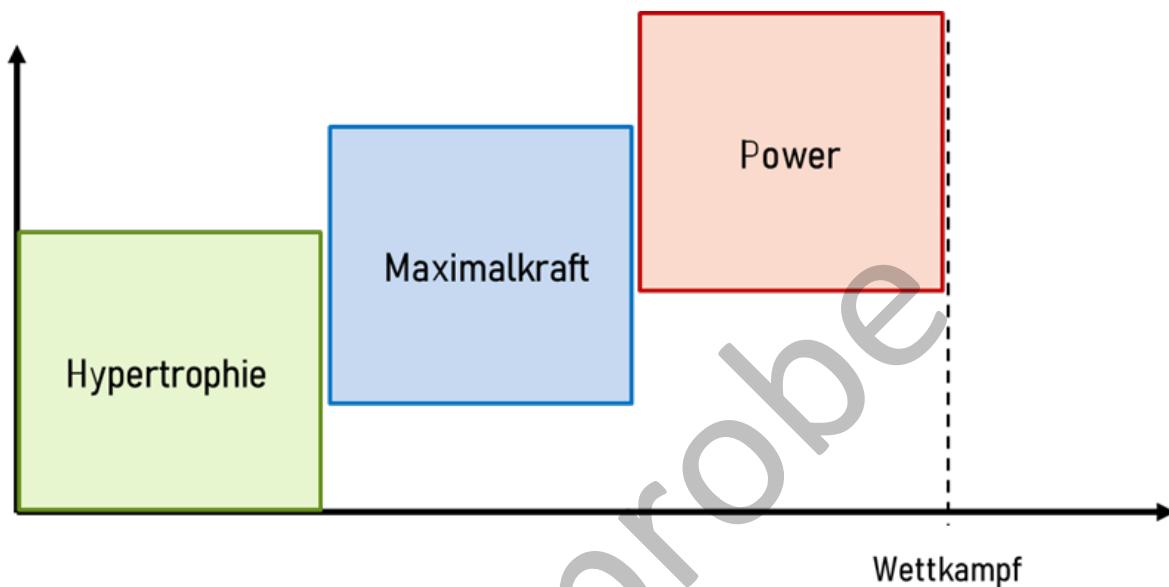


Abbildung 15: Schematische Darstellung einer Blockperiodisierung

Die verschiedenen Periodisierungsmodelle weisen dabei unterschiedliche Vor- und Nachteile auf (Villarreal, 2022). So ist die lineare Periodisierung aufgrund ihrer Simplizität für die Trainierenden und die Trainer leicht umzusetzen, ist jedoch maßgeblich für Jahreszyklen mit einem Hauptwettkampf designiert worden, sodass dieses Periodisierungsmodell nur eingeschränkt für Sportarten mit mehreren Wettkämpfen im Jahr anwendbar ist. Die wellenförmige Periodisierung fokussiert mehrere Teilleistungsfähigkeiten zur gleichen Zeit, wodurch die spezifische Leistungsfähigkeit über den gesamten Jahreszyklus auf einem relativ hohen Niveau ist und sich gleichzeitig keine Eintönigkeit des Trainings einstellt. Jedoch kann dieser Ansatz dazu führen, dass eine sehr spezifische Leistungsfähigkeit zu einem speziellen Zeitpunkt nicht optimal ausgebildet ist, sodass bei einmaligen Hauptwettkämpfen nicht die optimale Leistungsfähigkeit abgerufen werden kann. Die Blockperiodisierung bietet die Möglichkeit, zu multiplen Zeitpunkten im Jahr die optimale Leistungsfähigkeit zu erzielen, benötigt jedoch vor allem bei untrainierten Individuen eine lange Gewöhnungszeit (Villarreal, 2022).

In der Trainingspraxis werden die unterschiedlichen Periodisierungsmodelle in der Regel jedoch nicht starr voneinander getrennt. Vielmehr werden verschiedene Komponenten einzelner Modelle kombiniert, um dadurch die Vorteile verschiedener Modelle im selben Trainingsprogramm zu vereinen. So können zum Beispiel Trainingsvolumen und -intensität täglich innerhalb eines Trainingsblocks variieren, ohne den Hauptfokus auf einer der Teilleistungsfähigkeiten zu verlieren (Kombination aus wellenförmiger Periodisierung und Blockperiodisierung). Auch kann innerhalb einzelner Schwerpunktblöcke das Volumen linear reduziert bzw. die Intensität linear erhöht werden (Kombination aus linearer und Blockperiodisierung). Entsprechend sind die einzelnen Periodisierungsmodelle ähnlich wie die

Adaptation der Organsysteme

Trainingsprinzipien nicht absolut zu betrachten, sondern stellen vielmehr mögliche Werkzeuge für die Gestaltung des Trainings dar.

Merke: Alle Periodisierungsmodelle haben Vor- und Nachteile. Somit muss anhand der Situation des Individuums entschieden werden, welches Periodisierungsmodell am sinnvollsten ist. Dabei müssen diese nicht als starr vorgegeben betrachtet werden, sondern werden in der Trainingspraxis häufig kombiniert.

5.2.3.3 Belastungsnormative/Trainingsvariablen

Bei den vorgestellten Periodisierungsmodellen standen die Trainingsvariablen Belastungsintensität und Belastungsvolumen im Vordergrund, deren Variation sowohl im Ausdauer- als auch im Krafttraining grundlegend ist. Im Ausdauertraining wird das Volumen oftmals als Trainingszeit oder auch als zurückgelegte Strecke (z. B. gelaufene Kilometer) angegeben. Die Trainingsintensität kann entweder als Belastung (z. B. die gelaufene Geschwindigkeit) oder als Beanspruchung (z. B. Zeit in einer Trainingszone, gemessen an der Herzfrequenz) angegeben werden. In diesem Sinne wird auch von dem sogenannten internen und externen Trainingload gesprochen.

Ein Beispiel für die Belastungsnormative im Ausdauertraining ist in Abbildung 17 dargestellt. Grundätzliche Stellschrauben für die Belastungssteuerung ergeben sich aus der Belastungsintensität (1), der Dauer einzelner Belastungsphasen (2), der Anzahl von Belastungsphasen mit gleicher oder ähnlicher Intensität (beispielsweise hoch intensives Intervalltraining, 3), der Anzahl von Serien mit entsprechenden Belastungsphasen (4), der Pause zwischen aufeinanderfolgenden Serien (5) und Wiederholungen (6). Außerdem kann auch die Intensität der Pause verändert werden (7), also beispielsweise eine passive (stehen, sitzen, liegen) oder aktive Pause (laufen, traben etc.) umgesetzt werden.

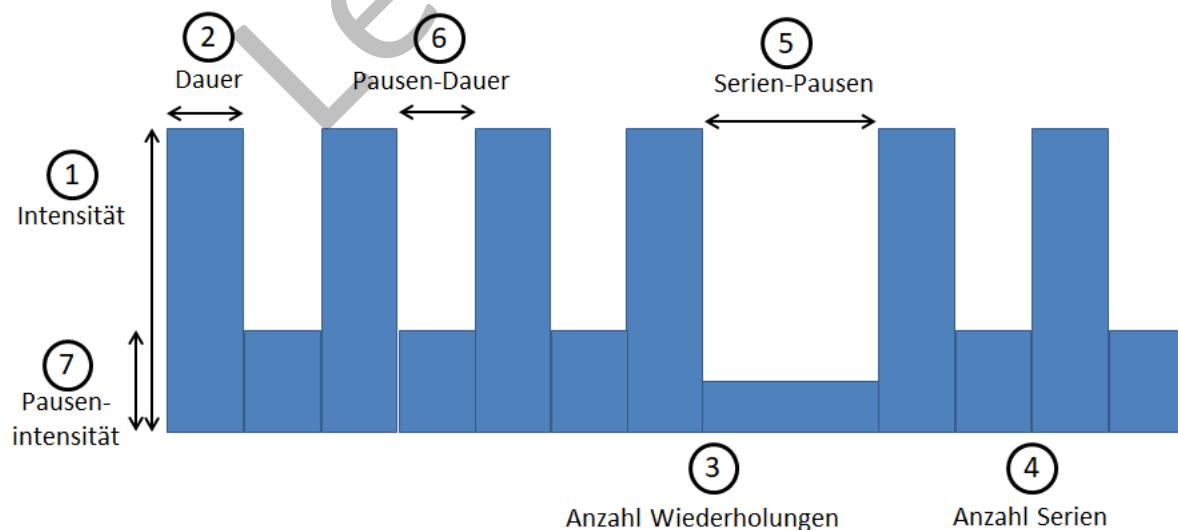


Abbildung 17: Darstellung grundlegender Belastungsnormative für Ausdauerbelastungen, eigene Darstellung

Adaptation der Organsysteme

Im Krafttraining wird das Belastungsvolumen häufig über die Anzahl der Sätze oder das Produkt aus der Satzanzahl, der Wiederholungsanzahl und dem bewegten Gewicht definiert. Die Belastungsintensität wird hingegen häufig über die externe Last (z. B. Prozentzahl des 1-Wiederholungsmaximums) oder über die verbliebenen möglichen Wiederholungen (= „*reps in reserve*“) angegeben. Die beiden Trainingsvariablen sind jedoch nicht die einzigen Variablen, welche zur Variation/Modifikation des Trainings eingesetzt werden können. Tatsächlich gibt es eine ganze Reihe von Stellschrauben, anhand welcher die Belastung bedarfsgerecht modifiziert werden kann (Abbildung 18). Eine Übersicht über mögliche Faktoren wurde in einem früheren Modell veröffentlicht (Toigo und Boutellier, 2006).

Grundlegend für die Auswahl der zu manipulierenden Variablen ist das Ziel einer einzelnen Trainingseinheit bzw. -periode. So ist es beispielsweise im Krafttraining mit dem Ziel der Verbesserung der Explosivkraft von entscheidender Bedeutung, die Bewegungsgeschwindigkeit zu maximieren (Cormie et al., 2011). Dies kann unter anderem durch eine verlängerte Pausenzeit zwischen den Sätzen, aber auch zwischen den Wiederholungen erfolgen. Auch kann es sinnvoll sein, die Zeit einzelner Kontraktionsformen zu variieren (exzentrisch, konzentrisch und isometrisch) oder das Bewegungsausmaß individuell festzulegen. Entsprechend ist neben Fachwissen für die Gestaltung von Trainingsplänen auch ein gesundes Maß an Kreativität bzw. Erfahrung vonnöten.

x_1 ,	Belastungsintensität															
x_2 ,	Wiederholungsanzahl															
x_3 ,	Anzahl der Sätze															
x_4 ,	Pause zwischen den Sätzen ([s] oder [min])															
x_5 ,	Anzahl der Trainingseinheiten (pro [d] oder Woche)															
x_6 ,	Interventionsdauer ([d] oder Woche)															
x_7 ,	fraktionelle und zeitliche Verteilung der Kontraktionsmodi pro Wiederholung und Dauer [s] einer Wiederholung															
x_8 ,	Pause zwischen den Wiederholungen ([s] oder [min])															
x_9 ,	Spannungsdauer ([s] oder [min])															
x_{10} ,	Muskelerschöpfung															
x_{11} ,	Bewegungsumfang															
x_{12} ,	Erholungszeit zwischen den Trainingseinheiten ([h] oder [d])															
x_{13} ,	Anatomische Definition der Übung (Übungsform)															

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
A	75% 1RM	6	1	-	2 pro Woche	10 Wochen	2 s konzentrisch 0 s isometrisch 2 s exzentrisch	-	24+5 s	nein	60%	24 h	nein
B	75% 1RM	6	1	-	2 pro Woche	10 Wochen	10 s konzentrisch 2 s isometrisch 4 s exzentrisch	-	96+10 s	ja	100%	72 h	ja

Abbildung 16: Modell der Belastungsnormative im Krafttraining (oben) und deren Übertrag in die Trainingspraxis (unten). Die Variablen lassen sich beliebig modifizieren und so auch auf andere konditionelle Fähigkeiten übertragen. Abbildung übersetzt von Toigo und Boutellier, 2006

Merke:

Typischerweise werden vor allem die Belastungsintensität sowie das Belastungsvolumen modifiziert, um unterschiedliche Trainingsreize zu setzen. Die Trainingsplanung kann jedoch durch die Variation weiterer Trainingsvariablen (z. B. Pause zwischen einzelnen Wiederholungen, Bewegungstempo) weiter spezifiziert werden.

5.2.4 Fehlanpassungen

Wie in den vorherigen Kapiteln bereits ausführlich dargelegt, spielen die Reizdichte und/oder Intensität eine entscheidende Rolle für die Entwicklung von Trainingsanpassungen. Bei zu hohem Trainingsreiz (stark überschwelliger Reiz) oder nicht ausreichender Erholungszeit sowie zusätzlichem Stress in anderen Lebensbereichen des Individuums können biologische Fehlanpassungen auftreten. Das Training resultiert dann nicht wie geplant in einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit, sondern in deren Reduktion. Auch wenn die Ätiologie möglicher Fehlanpassungen noch nicht vollständig geklärt ist, wird vermutet, dass diese maßgeblich durch eine endokrine Fehlsteuerung ausgelöst werden (vgl. Kapitel 3.4). Demnach ist die Phase der Leistungsreduktion dabei durch zwei unterschiedliche endokrine Phasen gekennzeichnet: die Phase der initialen Hyperaktivität des endokrinen Systems, gefolgt von der Phase der Hypoaktivität des endokrinen Systems (Lehmann et al., 1997). Die Phase der Hyperaktivität ist gekennzeichnet durch eine erhöhte Konzentration verschiedener Hormone (z. B. Cortisol, Katecholamine) in Ruhe und/oder auch infolge einer Belastung (Lehmann et al., 1997). In dieser Phase ist die Leistungsfähigkeit reduziert, jedoch ist eine temporäre Reduktion der Leistungsfähigkeit dabei langfristig gesehen nicht zwangsläufig problematisch, sondern kann nach entsprechender Pause (~2 Wochen) positive Anpassungen bewirken (Meeusen et al., 2013). Diese kurzzeitige, reversible Reduktion der Leistungsfähigkeit wird functional Overreaching genannt (Abbildung 19). Oftmals wird dieses auch als bewusstes Mittel der Trainingssteuerung eingesetzt, um letztlich Anpassungen durch eine darauffolgende Erholungsphase weiter zu optimieren. Bleibt eine positive Anpassung infolge des Overreachings aus, wird vom non-functional Overreaching gesprochen. Dies kann bewusst oder unbewusst passieren und ist zwar bei entsprechender Erholung reversibel, aber dennoch zunächst hinderlich für die gewünschten Trainingsanpassungen.

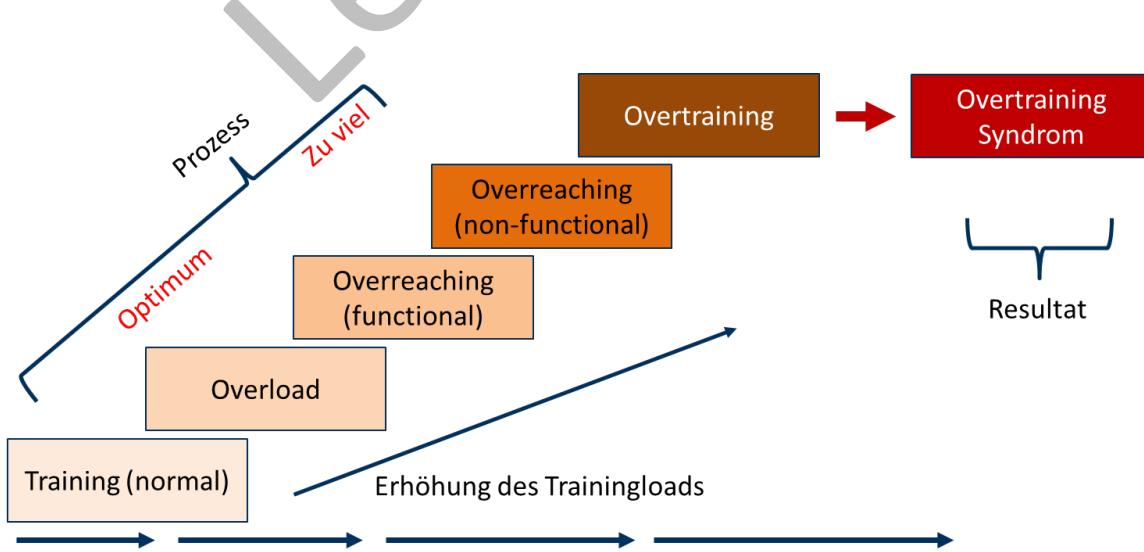


Abbildung 17: Verhältnis zwischen dem Trainingsload und der Leistungsfähigkeit

Adaptation der Organsysteme

Bleibt die Trainingsintensität oder das Trainingsvolumen auch über das Overreaching hinaus weiterhin (zu) hoch, wird die zweite Phase der Hypoaktivität des endokrinen Systems erreicht. Diese Phase wird allgemein als Overtraining (Übertraining) bezeichnet und geht neben physiologischen Veränderungen wie der Reduktion spezifischer Hormone (z. B. zur Reproduktion) (Hackney und Lane, 2015) auch mit einer verminderten Leistungsfähigkeit einher. Wird in dieser Phase das Training unverändert fortgeführt, kann sich dieser Zustand zu einem chronischen Overtraining-Syndrom verfestigen, welches mit einer Vielzahl von u. a. parasympathischen und sympathischen Symptomen einhergeht (Tabelle 2). Dabei sind teilweise mehrere Monate Trainingspause bzw. Reduktion des Trainingsloads notwendig, um die normale Leistungsfähigkeit wiederherzustellen. In Einzelfällen kommt es auch zu einer jahrelangen Beeinträchtigung bis hin zu irreversiblen gesundheitlichen Schäden.

Tabelle 2: Übersicht über Symptome, die mit dem Overtraining-Syndrom assoziiert werden

Parasympathische Veränderungen	Sympathische Veränderungen	Andere
Fatigue	Schlafstörungen	Anorexie
Depressionen	Erhöhte Reizbarkeit	Gewichtsverlust
Bradykardien	Innere „Unruhe“	Konzentrationsverlust
Mangel an Motivation	Tachykardien	Muskelschmerzen
	Bluthochdruck	Angstepisoden
	Rastlosigkeit	Ermüdung

6 Anpassungen einzelner Organsysteme

Lernziele:

Am Ende dieses Kapitels sollten Sie in der Lage sein,

- grundlegende Mechanismen innerhalb des neuromuskulären Systems zu verstehen,
- Anpassungen auf neuronaler Ebene zu benennen und zu erläutern,
- Anpassungen auf muskulärer Ebene zu benennen und zu erläutern,
- grundlegende Mechanismen innerhalb des kardiovaskulären Systems zu verstehen,
- zentrale kardiovaskuläre Anpassungsmechanismen zu erläutern,
- metabolische Anpassungen an Ausdauer- und Krafttraining zu benennen und zu erörtern,
- akute Reaktionen und Anpassungen innerhalb des endokrinen Systems zu benennen und zu beleuchten,
- akute Reaktionen und Anpassungen des unspezifischen und spezifischen Immunsystems zu benennen und zu beleuchten.

6.1 Neuromuskuläre Anpassungen

6.1.1 Grundlagen des neuromuskulären Systems

Das neuromuskuläre System umfasst sowohl das Zentrale Nervensystem (ZNS) als auch die Skelettmuskulatur. Der „Endpunkt“ des Systems ist dabei die kontrahierende Muskelfaser bzw. der Skelettmuskel in seiner Gesamtheit. Obwohl der „Startpunkt“ des neuromuskulären Systems nicht eindeutig lokalisiert werden kann, wird im Folgenden der Einfachheit halber der Motorkortex als „Ausgangspunkt“ betrachtet. Damit Anpassungen innerhalb des Systems beschrieben werden können, muss dieses zunächst vereinfacht dargestellt werden (Abbildung 20). Nachdem eine willentliche Bewegung im Motorkortex geplant wurde, wird ein efferentes Signal („descending drive“) über die α - und γ -Motoneuronen an die motorische Endplatte übertragen (Moritani, 2003). Über die elektromechanische Kopplung wird das Signal innerhalb der motorischen Einheit auf die einzelnen Muskelfasern ausgeweitet. Dieses Signal leitet mit der Freisetzung von Kalzium-Ionen den Querbrückenzyklus und somit die Muskelkontraktion ein. Aber auch afferente Signale beeinflussen die Leistungsfähigkeit des neuromuskulären Systems. Das afferente Signal von Golgi-Sehnenorganen (Gruppe I b) kann inhibitorisch (hemmend) wirken, wenn sie eine erhöhte Spannung innerhalb der Muskel-Sehnen-Einheit wahrnehmen (Rossignol et al., 2006), sodass die Muskelkontraktion abgeschwächt wird. Im Gegensatz dazu kann die von den Muskelspindeln (Gruppe I a/II) innerhalb der Muskelfaser wahrgenommene Dehnung zu einer verstärkten afferenten Rückkopplung führen und somit die an die motorische Einheit gesendeten Erregungssignale verstärken (Rossignol et al., 2006).

Adaptation der Organsysteme

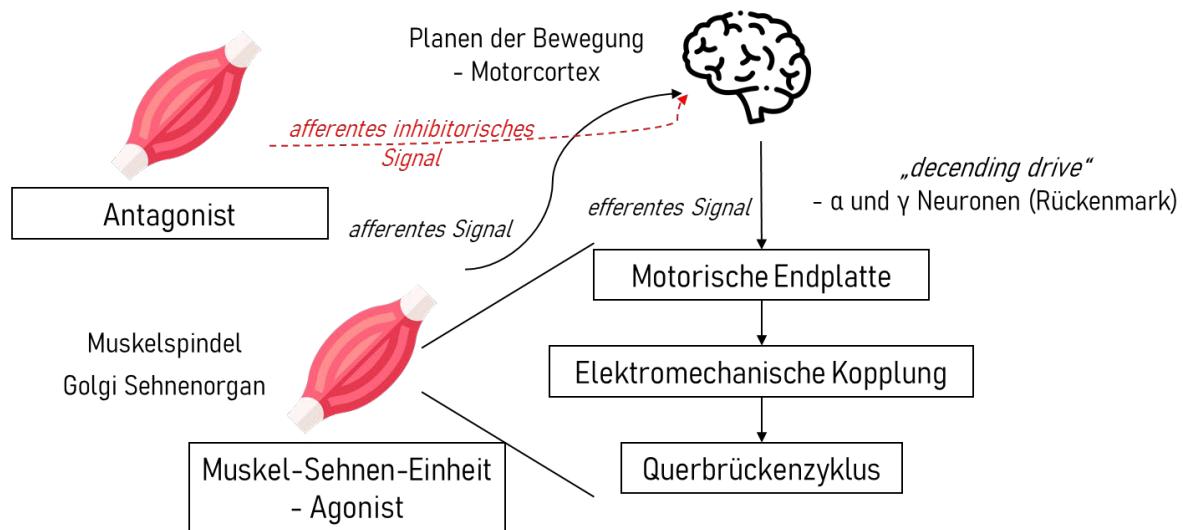


Abbildung 18: Vereinfachte Darstellung des neuromuskulären Systems, modifiziert nach Gandevia, 2001

Eine erhöhte Leistungsfähigkeit des neuromuskulären Systems wird dabei über folgende Teilleistungsfähigkeiten erreicht (Sale, 1988):

- erhöhte Kontraktionsfähigkeit des Agonisten,
- erhöhte Kontraktionsfähigkeit des Synergisten,
- reduzierte Aktivierung des Antagonisten.

Die Kontraktion des Agonisten ermöglicht dabei die Bewegung in die erwünschte Richtung. Die Aktivierung des Antagonisten wirkt dieser Bewegung entgegen, sodass nicht nur eine erhöhte Kontraktionsfähigkeit des Agonisten, sondern auch eine Reduktion der Aktivierung des Antagonisten zu einer höheren Kraftfähigkeit und/oder Bewegungsgeschwindigkeit führt (Gabriel et al., 2006). Zusätzlich wirkt sich auch eine verstärkte Kontraktionsfähigkeit des Synergisten positiv auf die Stabilität der Bewegung aus (Enoka, 1997). Das Zusammenspiel von Agonist, Synergist und Antagonist wird als intermuskuläre Koordination bezeichnet.

Um die beschriebenen Teilleistungsfähigkeiten zu verbessern, sind Anpassungen auf verschiedenen Ebenen des neuromuskulären Systems notwendig. Auch wenn das neuromuskuläre System generell in seiner Gesamtheit betrachtet werden sollte und einige Anpassungsmechanismen nicht eindeutig einem „Teilsystem“ zuzuordnen sind, können diese der Einfachheit und Übersichtlichkeit halber in neuronale (das zentrale Nervensystem betreffend) und muskuläre (alle Prozesse distal der motorischen Endplatte) Anpassungen unterteilt werden.

6.1.2 Neuronale Anpassungen

Neuronale Anpassungen sind maßgeblich durch Krafttraining mit hohen Lasten zu erwarten (Walker, 2019). Weniger ist hingegen über zentralnervöse Anpassungen durch niedrigintensives Ausdauertraining bekannt (Millet und Temesi, 2019). Dementsprechend werden die im Folgenden aufgeführten Anpassungen, nicht ausschließlich, aber maßgeblich auf Krafttraining zurückgeführt. Die zuvor dargestellte erhöhte Aktivierung des Agonisten und Synergisten ist dabei maßgeblich durch folgende Mechanismen bedingt:

Adaptation der Organsysteme

- verstärktes efferentes Signal des Motorcortex,
- erhöhte Erregbarkeit der Motoneuronen und/oder verminderte afferente Hemmung, die das efferente Signal beeinflussen.

Eine Vielzahl verschiedener zugrunde liegender Anpassungen wurden in der Literatur diskutiert. Als zentrale neuronale Anpassungen, welche das efferente Signal verstärken, werden folgende herausgestellt (Ponce-González und Casal, 2022):

- eine erhöhte Kapazität für die simultane Rekrutierung von Motoneuronen (Synchronisation),
- Maximierung der rekrutierten Motoneuronen (Rekrutierung),
- erhöhte „Feuerungsrate“, mit der Motoneuronen rekrutiert werden (Frequenzierung).

Eine synchrone Rekrutierung einer Vielzahl von Muskelfasern (intramuskuläre Koordination) hat eine erhöhte Kraftentwicklung, vor allem bei submaximalen Lasten, welche maximal schnell bewegt werden sollen, zur Folge (Sale, 1988). So konnte eine bessere synchrone Ansteuerung der Arbeitsmuskulatur bei krafttrainierten Individuen im Vergleich zu untrainierten Individuen nachgewiesen werden (Semmler und Nordstrom, 1998). Auch eine verbesserte Rekrutierung ist durch intensives Krafttraining zu erwarten (Sterczala et al., 2018). Diese ermöglicht es den Individuen, eine größere Anzahl an motorischen Einheiten willkürlich zu aktivieren und somit eine größere Kraft zu entfalten. Einen weiteren positiven Effekt, vor allem auf die Explosivkraftfähigkeit, geht von einer erhöhten Frequenzierung aus, welche die Kontraktionsgeschwindigkeit der Arbeitsmuskulatur erhöhen kann (van Cutsem et al., 1998). Dabei wird letztlich die Feuerungsrate der Motoneurone erhöht, sodass die entsprechenden Signale über eine höhere Frequenz der Aktionspotenziale schneller in die Peripherie geleitet werden kann. Insbesondere im Hinblick auf Anpassungen der Schnellkraft wird in diesem Zusammenhang auch von Dubletten berichtet. Dies bedeutet, dass immer zwei Aktionspotenziale mit einem minimalen zeitlichen Abstand über die ableitenden Bahnen in Richtung der Muskulatur geschickt werden. Das Resultat ist eine noch schnellere Reizweiterleitung und damit eine Verbesserung der Schnellkraftfähigkeit.

Neben den herausgestellten Anpassungen zur „direkten“ Steigerung des efferenten Signals kann dieses auch „indirekt“ über eine geringere afferente Hemmung maximiert werden. Die zugrunde liegenden Anpassungen sind dabei folgende (Ponce-González und Casal 2022):

- Reduktion des afferenten Signals des Golgi-Sehnenorgans,
- Reduktion des afferenten Signals der Muskelspindeln (im Antagonisten),
- Reduktion von inhibitorischen supraspinalen Signalen.

Durch ein reduziertes afferentes inhibitorisches Signal des Golgi-Sehnenorgans sowie die Reduktion von inhibitorischen supraspinalen Signalen (inhibitorischen Signalen innerhalb des Motorcortex) können das efferente Signal und somit auch die Kraftleistungsfähigkeit gesteigert werden. Darüber hinaus ermöglicht eine geringere Sensitivität der Muskelspindeln im Antagonisten eine geringere Aktivierung dieses Muskels und somit eine stärkere Kraftentwicklung des Agonisten.

Merke: **Die neuronalen Adaptationen führen zu einem verstärkten efferenten Signal an die Arbeitsmuskulatur. Dies geschieht maßgeblich über eine verstärkte Synchronisation sowie eine maximierte Rekrutierung und Frequenzierung**

6.1.3 Muskuläre Anpassungen

Neben den benannten neuronalen Anpassungen sind es auch Anpassungen innerhalb der Muskulatur, welche aus wiederholter sportlicher Belastung resultieren und eine erhöhte Leistungsfähigkeit bewirken können. Dabei können als maßgebliche muskuläre Anpassungen die folgenden Mechanismen herausgestellt werden:

- Zunahme im Muskelquerschnitt (Hypertrophie),
- Veränderungen in der Muskelarchitektur (Fiederungswinkel),
- Veränderung des Muskelfasertyps (Muskelfasershift).

Im Gegensatz zu den neuronalen Anpassungen ist die Zunahme im Muskelquerschnitt, als zentrale muskuläre Anpassung, bei untrainierten Individuen erst nach einigen Wochen mit regelmäßIGem Krafttraining messbar (Abbildung 21) (Folland und Williams, 2007). Um jedoch das Maximum der individuell möglichen Hypertrophie zu erreichen, sind mehrere Jahre systematisches Krafttraining notwendig. Dabei kann zwischen dem anatomischen und physiologischen Querschnitt unterschieden werden (Abbildung 22). Während der anatomische Querschnitt als Distanz senkrecht zur Längsachse des Muskels gemessen wird, beschreibt der physiologische Querschnitt die Summe des Querschnitts aller Faszikel (Muskelfaserbündel) innerhalb des Muskels und hat somit einen größeren Einfluss auf die Kraftleistungsfähigkeit des Muskels (Timmings et al., 2016). Die Zunahme des Muskelquerschnitts resultiert dabei aus der Zunahme des Querschnitts einzelner Muskelfasern. Dabei ist vor allem die Zunahme kontraktiler Myofilamente (Myosin- und Aktinfilamente), als Resultat der Muskelpoteinbiosynthese, für die Zunahme des Muskelfaserquerschnitts verantwortlich (Lüthi et al., 1986). Vor allem die Zunahme an parallel geschalteten Myofilamenten führt zu einer Verbesserung der maximalen Kraftleistungsfähigkeit, wohingegen vermutet wird, dass die Zunahme von seriell geschalteten Myofilamenten (= längere Muskelfasern) die Verkürzungsgeschwindigkeit (somit auch die Explosivkraftfähigkeit) steigert (Hinks et al., 2022). Die Muskelfaserhypertrophie ist dabei bei Typ-II-Muskelfasern stärker ausgeprägt als bei Typ-I-Muskelfasern (Folland und Williams, 2007). Zudem ist eine Hypertrophie nicht zwangsläufig nur durch Krafttraining zu erwarten. So besteht auch Evidenz, dass regelmäßiges Ausdauertraining bei untrainierten Individuen zu einer Hypertrophie der Muskulatur führen kann (Mikkola et al., 2012).

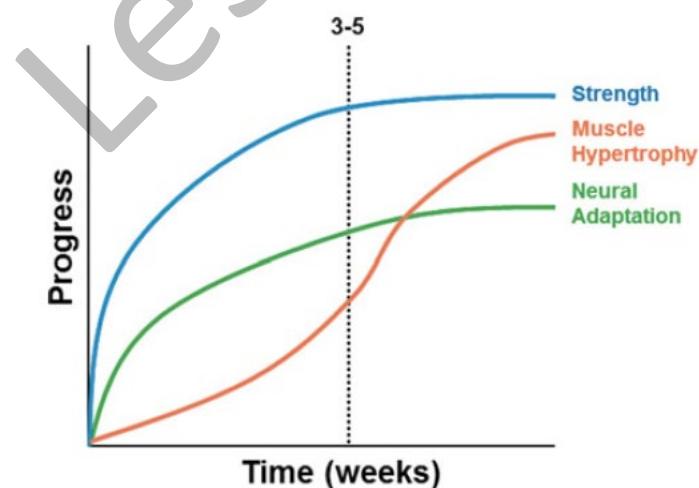


Abbildung 21: Neuronale und muskuläre Anpassungen an Krafttraining im zeitlichen Verlauf (Ponce-González und Casal, 2022)

Auch die Veränderung der Muskelarchitektur kann einen Einfluss auf die maximale Kraftfähigkeit sowie auf die Verkürzungsgeschwindigkeit der Skelettmuskulatur haben. Unter Muskelarchitektur wird die strukturelle Anordnung von Muskelfasern und Muskelfaserbündeln, bezogen auf die Linie der

6.4 Endokrine Anpassungen

6.4.1 Grundlagen des endokrinen Systems

Eine Vielzahl der physiologischen Prozesse in unserem Körper wird durch Hormone und hormonartige Substanzen reguliert. Hormone sind Signal- oder Botenstoffe, die in spezialisierten Zellen gebildet und dann ins Blut abgegeben werden, um an spezifischen Zellen der Organsysteme entsprechende Reaktionen (Anpassungen) hervorzurufen. Diese sogenannten endokrinen, parakrinen oder autokrinen Reaktionen umfassen unter anderem Wachstumsmechanismen, metabolische, kardiovaskuläre und immunologische Prozesse (Hackney und Lane, 2015). Sportliche Aktivität kann einen großen Einfluss auf die akute Ausschüttung der Hormone und hormonartigen Substanzen, aber auch auf chronische Anpassungen im endokrinen System haben und somit die (sportliche) Leistungsfähigkeit beeinflussen (Bunt, 1986; Hackney, 2006). Die Sekretion von Hormonen kann dabei durch verschiedenste biologische Prozesse ausgelöst werden (Deschenes und Dohi, 2005):

- Veränderung der Nährstoffkonzentration im Blutplasma,
- Neurotransmitter aus neuroendokrinen Zellen,
- Bindung von Release-Hormonen an endokrine Drüsen.

Akute hormonelle Reaktionen auf sportliche Belastungen können dabei aus folgenden physiologischen Gründen auftreten:

- um akute Anpassungen des kardiovaskulären Systems zu bewirken (z. B. Weitstellen der Blutgefäße durch Histamin),
- um Energiesubstrate zu mobilisieren und Energiebereitstellungswege zu aktivieren (z. B. Transport von Glukose in die Muskelzelle durch Insulin)
- um eine angemessene Hydratation aufrechtzuerhalten (z. B. über die Vasokonstriktion und den daraus folgenden reduzierten Wasserverlust durch das antidiuretische Hormon),
- als Reaktion auf Stresssituationen (z. B. die Steigerung des Blutdrucks durch Noradrenalin).

Nicht nur die sportliche Aktivität hat einen akuten Einfluss auf die Konzentration verschiedener Hormone, sondern auch das hormonelle Milieu beeinflusst die sportliche Leistungsfähigkeit. So gibt es vermehrt Evidenz, dass die verschiedenen Hormonkonzentrationen in den Menstruationszyklusphasen bei Frauen sowohl die Ausdauer- als auch die Kraftleistungsfähigkeit beeinflussen können (McNulty et al., 2020). Im Gegensatz zu den männlichen Sexualhormonen schwankt die Konzentration der weiblichen Sexualhormone Estrogen und Progesteron im natürlichen Menstruationszyklus der Frau erheblich. Der weibliche Menstruationszyklus, der etwa 21 bis 35 Tage dauert, ist durch drei unterschiedliche Hormonmilieus gekennzeichnet (Abbildung 26): eine niedrige Estrogen- und Progesteronkonzentration (frühe Follikelphase), eine hohe Estrogen-, aber niedrige Progesteronkonzentration (späte Follikelphase, kurz vor der Ovulation) und eine hohe Estrogen- und Progesteronkonzentration (Mitte der Lutealphase) (Janse DE Jonge et al., 2019; Sims und Heather, 2018). So wird vermutet, dass das hormonelle Milieu in der späten Follikelphase zu einer akuten Verbesserung der Kraftleistungsfähigkeit beiträgt (Pallavi et al., 2017; Peltonen et al., 2022). Dies kann wiederum mit der positiven Wirkung von Estrogen auf die neuronale Erregung (Smith et al., 2002) und der potenziellen anti-estrogenen Wirkung von Progesteron erklärt werden (McEwen et al., 2001).

Adaptation der Organsysteme

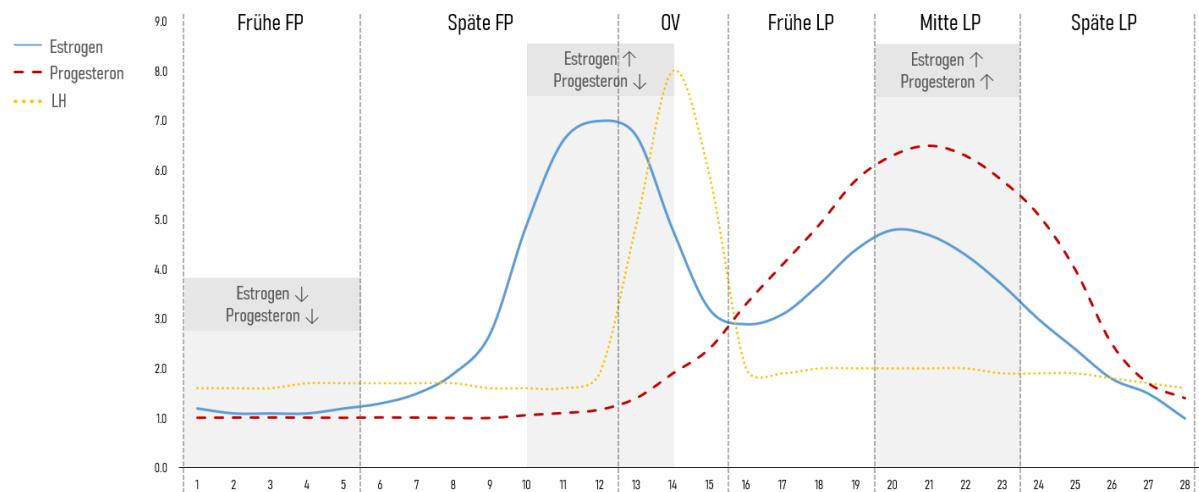


Abbildung 23: Simulation der Hormonschwankungen von Estrogen (in pmol·l⁻¹), Progesteron (in nmol·l⁻¹) und luteinisierendem Hormon (LH) (in U·l⁻¹) über einen Menstruationszyklus von 28 Tagen, adaptiert von Elliott-Sale et al., 2021

6.4.2 Akute Reaktionen und chronische Anpassungen

Zwar können anhand der akuten Hormonantwort auf eine sportliche Aktivität Rückschlüsse auf die Beanspruchung gezogen werden, jedoch ist es fraglich, inwiefern die akute Hormonantwort Rückschlüsse auf die chronische Anpassung durch den Trainingsreiz erlaubt. So wird unter anderem aufgrund der Komplexität der Hormon-Rezeptor-Interaktionen sowie des Zusammenhangs zwischen verschiedenen Signalwegen bezweifelt, dass die akute Hormonantwort anaboler Hormone (z. B. Testosteron, insulinähnliche Wachstumshormone) auf eine Krafttrainingseinheit die chronischen Anpassungen in Bezug auf das Muskelwachstum erklären kann (Schoenfeld, 2013; Fink et al., 2018). Eine Übersicht verschiedener akuter hormoneller Reaktionen kann der Tabelle 3 entnommen werden. Die akuten Reaktionen und chronischen Anpassungen des Systems sind dabei maßgeblich von der Art des Trainingsstimulus abhängig. Daher wird zwischen akuten Reaktionen sowie Anpassungen zwischen Ausdauer- und Krafttrainingsstimuli unterschieden.

Tabelle 3: Akute Veränderung der Hormonkonzentration durch körperliche Aktivität bei ausgewählten Hormonen. ↑ = Anstieg, ↑↑ = starker Anstieg, ↓ = Reduktion, ↓↓ = starke Reduktion, ↑↓ = potenzieller Anstieg oder potenzielle Reduktion, → = keine Veränderung.

Hormon	wichtigste physiologische Funktion	Trainingsstimulus	
		Ausdauer	Kraft
Adrenalin	Regulation der Gefäßweite und der Herzfrequenz	↑↑	↑↑
Antidiuretisches Hormon	Regulation des Wasser- und Elektrolythaushaltes	↑	↑↓
Cortisol	Regulation des Stoffwechsels	↑	↑
Glukagon	Regulation des Blutzuckerspiegels	↑	↑
Insulin	Regulation des Blutzuckerspiegels/des Stoffwechsels	↑	↑↓→
insulinähnlicher Wachstumsfaktor 1 (IGF-1)	Zellwachstum	↑→	↑→

7 Körperliches Training bei ausgewählten Krankheitsbildern

Lernziele:

Am Ende dieses Kapitels sollten Sie in der Lage sein,

- Risikofaktoren von Übergewicht und Adipositas sowie die Bedeutung von körperlichem Training bei diesen Erkrankungen zu benennen,
- zwischen verschiedenen Formen von Diabetes zu unterscheiden,
- Trainingsempfehlungen für Patient*innen mit Diabetes geben zu können,
- Kontraindikatoren für körperliches Training bei hämatologisch-onkologischen Erkrankungen zu benennen sowie Trainingsempfehlungen für diese Patient*innen abzuleiten,
- typische Symptome bei obstruktiven Lungenerkrankungen zu benennen und Trainingsempfehlungen für diese Patient*innen zu geben,
- Kontraindikatoren für körperliches Training bei neurologischen und neuromuskulären Erkrankungen zu benennen sowie Trainingsempfehlungen für diese Patient*innen abzuleiten,
- die Bedeutung von körperlichem Training bei Patient*innen mit psycho-affektiven Störungen herausstellen und Trainingsempfehlungen abzuleiten.

7.1 Körperliches Training bei Übergewicht und Adipositas

Übergewicht und Fettleibigkeit sind weltweit ein großes Problem für die öffentliche Gesundheit. Inzwischen gibt es mehr übergewichtige oder fettleibige als untergewichtige Erwachsene. Im Jahr 2016 waren 39 % der Männer und 40 % der Frauen ab 18 Jahren, also fast 2 Milliarden Erwachsene, übergewichtig und 11 % der Männer und 15 % der Frauen, also mehr als eine halbe Milliarde Menschen, fettleibig. Sowohl Übergewicht als auch Fettleibigkeit haben in den letzten vier Jahrzehnten erheblich zugenommen (Kluge, 2022). Fettleibigkeit ist auch ein Schlüsselfaktor für das sogenannte metabolische Syndrom. Dabei handelt es sich um Faktoren, die das Risiko von Folgeerkrankungen, wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Typ-II-Diabetes erheblich erhöhen (Esser et al., 2014). Darüber hinaus hat sich im Zuge der Pandemie COVID-19 insbesondere die Adipositas als neuer unabhängiger Risikofaktor für die Anfälligkeit und den Schweregrad einer Corona-Viruserkrankung erwiesen (Soeroto et al., 2020).

Körperliches Training ist daher bei all diesen Erkrankungen von besonderer Bedeutung, da es nicht nur Übergewicht vorbeugen, sondern auch im Falle einer akuten Erkrankung rehabilitierend wirken kann. Gezieltes körperliches Training kann also dazu beitragen, die durch Übergewicht bedingte Morbidität und Mortalität zu verringern. Eine der zahlreichen Methoden, um Übergewicht festzustellen, ist, die Körperzusammensetzung zu analysieren. Dabei wird häufig der Body-Mass-Index (BMI) genutzt. Der BMI beschreibt das Verhältnis von Körergewicht in Kilogramm (kg) zur Körperhöhe gemessen als m^2 (BMI [$kg \cdot m^{-2}$]) und wird im klinischen als auch im allgemein-gesundheitlichen Setting zur Einschätzung des Gewichtsstatus genutzt. Dabei macht man folgende Unterteilungen (Jensen et al., 2014):

- Normal: 18,5 bis $<25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Übergewichtig: 25 bis $<30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Klasse 1 Fettleibigkeit: 30 bis $<35 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Klasse 2 Fettleibigkeit: 35 bis $<40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Klasse 3 Fettleibigkeit: $\geq 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$

Adaptation der Organsysteme

In den vergangenen Jahren hat sich gezeigt, dass ein erhöhter BMI mit verschiedenen Erkrankungen in Verbindung gebracht werden kann, wie zum Beispiel mit Diabetes Typ II, Bluthochdruck und kardio-metabolischen Erkrankungen, wie beispielsweise Arteriosklerose. Ungeachtet des BMI ist ein erhöhter Fettanteil mit größeren gesundheitlichen Risiken verbunden. Die sogenannte abdominale Adipositas, die zum Beispiel anhand des Taillenumfangs bestimmt werden kann, ist ebenfalls ein Indikator für ein erhöhtes Gesundheitsrisiko. Das schließt Taillenumfänge von >102 cm bei Männern und >88 cm bei Frauen ein (Després, 2006).

Da das Übergewicht eine der größten, wenn nicht sogar die größte Zivilisations-/Wohlstandskrankheit ist, ist es unabdingbar, dieses Gesundheitsrisiko zu minimieren. Demnach steht die Reduktion der Körpermasse, im Besonderen der Fettmasse, im Vordergrund des körperlichen Trainings bei Übergewicht und Adipositas. Hier steht vor allem die Balance zwischen Energieaufnahme und Energieabgabe im Zentrum der Körpergewichtsreduktion. Ist die Energieaufnahme (über die Ernährung) größer als die Energieabgabe (primär über Grundmetabolismus und physische Aktivität), so wird der Energieüberschuss in Form von Fettgewebe im Körper gespeichert. Folgerichtig ist eine Reduktion der Fettmasse nur möglich, sofern die Energieabgabe die Energieaufnahme übersteigt. Dabei ist wichtig zu verstehen, dass Energieaufnahme und Energieabgabe sich gegenseitig beeinflussen können. So kann eine drastische Reduktion der Energieaufnahme mit physiologischen Veränderungen einhergehen, die das Hungergefühl, den Metabolismus als auch die physische Aktivität bedingen, die wiederum das Körpergewicht beeinflussen. Obwohl Ernährung und körperliches Training notwendig sind, um eine langfristige Gewichtsreduktion zu realisieren, widmen wir uns in diesem Kapitel hauptsächlich dem körperlichen Training bei Übergewicht und Adipositas. Körperliches Training, beginnend mit vermehrter physischer Aktivität, ist ein wichtiger Faktor, um die Energieabgabe bzw. den Energieumsatz zu erhöhen. Dies gelingt vorwiegend, aber nicht ausschließlich über eine Erhöhung der physischen Aktivität im Alltag. Nichtsdestotrotz ist eine Kombination aus Ausdauer- und Krafttraining zu empfehlen.

Merke: Eine langfristige Gewichtsabnahme kann nur gelingen, wenn sowohl die Ernährungsgewohnheiten als auch das Maß an körperlicher Aktivität gleichermaßen berücksichtigt werden.

Beide Trainingsformen bringen, wie in den vorherigen Kapiteln angesprochen, unterschiedlich positive Anpassungen mit sich, die den Gesundheitsstatus der Betroffenen verbessern können. Nach den Empfehlungen der Amerikanischen Gesellschaft für Sportmedizin (The American College of Sports Medicine, ACSM)) sollten die Erkrankten 30 Minuten Ausdauertraining von mittlerer Intensität (z. B. Gehen) an 5 Tagen pro Woche oder 20 Minuten Ausdauertraining mit hoher Intensität (z. B. Joggen) an 3 Tagen pro Woche bzw. eine Kombination von mittlerem und hochintensivem Training durchführen (Thompson et al., 2010). Zusammengenommen sollte die physische Aktivität bei mindestens 150 min pro Woche liegen, wobei der Energieumsatz pro Session bei ca. 300 - 600 kcal liegen kann. Da davon auszugehen ist, dass mit steigender Länge und Intensität der Trainingseinheiten der Energieumsatz zunimmt, können diese mit zunehmender Trainingserfahrung gesteigert werden. Hier kann beispielsweise die Länge der Trainingseinheit von 20 auf bis 45 min erhöht werden, wobei die Intensität ebenfalls von ursprünglich 60 % der Herzfrequenzreserve (heart rate reserve, HRR) auf 75 % der HRR gesteigert werden kann. Zusätzlich zum Ausdauertraining ist das Durchführen von Krafttraining empfohlen. Die Empfehlungen sehen 8 bis 10 Übungen für die wichtigsten Muskelgruppen vor, die an 2 Tagen pro Woche durchgeführt werden sollen. Dabei sind 8 bis 12 Wiederholungen pro Trainingssatz anzusteuern (Thompson, 2019).

Wie bereits im Kapitel zu den kardiovaskulären und metabolischen Anpassungen beschrieben, hat besonders das Ausdauertraining neben dem unmittelbar erhöhten Energieumsatz positive Auswirkungen auf das Herz, die Gefäßfunktion und den Stoffwechsel. Zusätzlich dazu hat das Krafttraining häufig

Adaptation der Organsysteme

einen Anstieg der Maximalkraft und eine Reduktion der Fettmasse bei gleichzeitigem Anstieg der fettfreien Masse zufolge. Beide Trainingsformen, besonders das Krafttraining durch den Anstieg der fettfreien Masse, erhöhen den sogenannten Grundumsatz der Erkrankten. Der Grundumsatz, auch Ruheenergiebedarf genannt, beschreibt die Menge an Energie, die notwendig ist, um das Gleichgewicht des menschlichen Organismus aufrechtzuerhalten (Gehirnfunktion, Herzschlag usw.). Der Grundumsatz kann bei Erwachsenen bis zu 75 % des täglichen Energieumsatzes ausmachen (McMurray et al., 2014), wobei die Leber mit 26 % und die Skelettmuskulatur mit 26 %, gefolgt vom Gehirn mit 18 % den größten Einfluss auf den Ruheumsatz haben. Folgerichtig führt ein Anstieg in der Muskelmasse zu einer gewünschten gesteigerten Ruheumsatzrate (Schmidt et al., 2007). Neben dem Anstieg des Ruheumsatzes fördern beide Trainingsformen einen aktiveren Lebensstil. Besonders bei adipösen Menschen ist die Bewältigung des Alltags herausfordernd. Hier konnte gezeigt werden, dass die Steigerung der Maximalkraft einen positiven Einfluss auf das alltägliche Aktivitätsniveau hat, was wiederum den Energieumsatz erhöht und zu einer Reduktion der Fettmasse führen kann (Duvigneaud et al., 2008). Häufig befinden sich die Betroffenen in einer Art Teufelskreis: Das Übergewicht führt zu verminderter körperlicher Aktivität, was zusammen mit schlechten Ernährungsgewohnheiten zu einem Anstieg der Fettmasse führt und dabei wiederum die physische Mobilität einschränkt.

Tatsächlich geben dennoch viele inaktive Personen an, sich bewegen zu wollen. Obwohl die Bewegungsabsichten ein wichtiger Prädiktor für das Bewegungsverhalten sind, gibt es zahlreiche Hinweise darauf, dass es schwierig sein kann, die Gesundheitsabsichten in tatsächliches Verhalten umzusetzen. Gründe dafür können ein wahrgenommener Zeitmangel, geringe Motivation oder Willenskraft, andere zeitintensive Verpflichtungen (Beruf/Familie) aber auch körperliche Erschöpfung sein. So kann es vorkommen, dass die Betroffenen die Absicht haben Sport zu treiben, es jedoch aus den genannten Gründen nicht regelmäßig umsetzen können (Schumacher et al., 2020). Es gibt eine Reihe von verhaltensorientierten Gründen, warum das Training zu einem festen Zeitpunkt und insbesondere am Morgen eine nützliche Strategie zur Überwindung der oben genannten Hindernisse darstellen kann. Dazu gehören eine vereinfachte Planung, eine bessere Gewohnheitsbildung und eine verbesserte Selbstregulation (Abbildung 30).

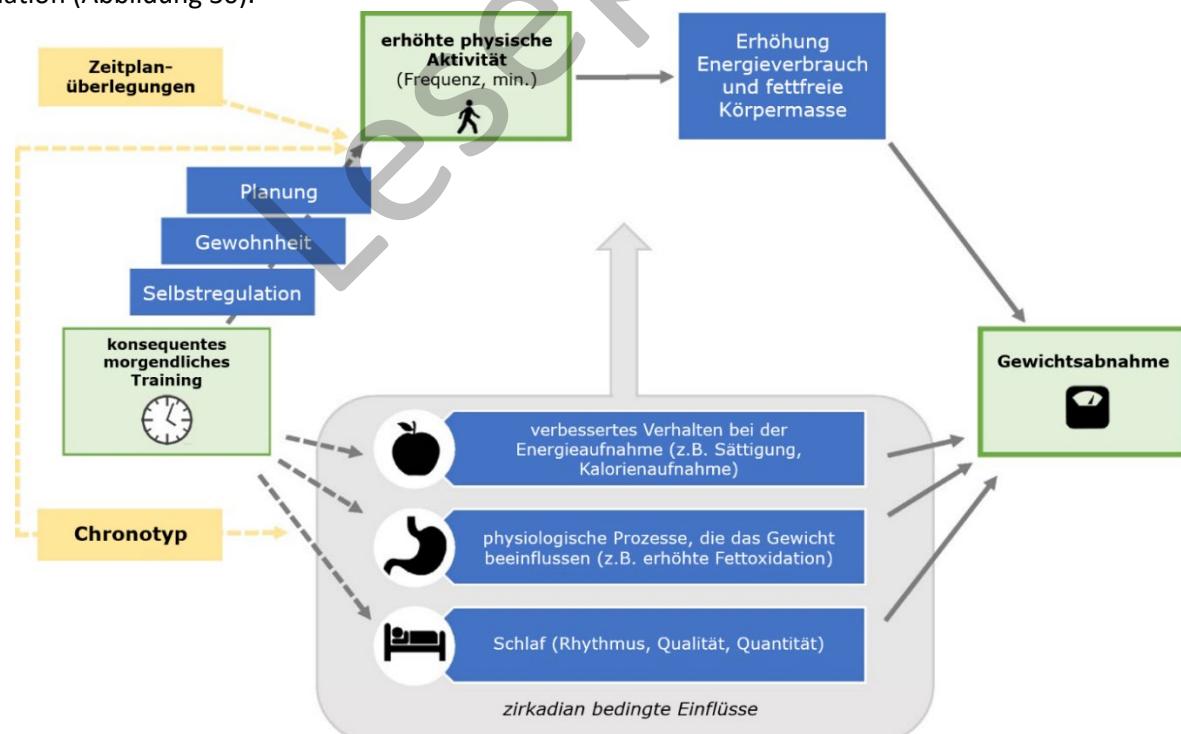


Abbildung 27: Konzeptuelles Modell der hypothetischen Auswirkung von konsequenter morgendlicher Bewegung auf das Aktivitätsniveau und die Gewichtsregulierung nach Schumacher et al., 2020

Neben verhaltensorientierten Gründen gibt es weitere Faktoren zu beachten. Bei den meisten Betroffenen sollten die Art sowie die Intensität des Trainings individuell gestaltet werden. So wird beispielsweise bei Fettleibigkeit das Verletzungsrisiko der passiven Strukturen, wie Knochen, Sehnen und Bänder, durch Laufen/Gehen erheblich erhöht. Als Alternative kann eine Gewichtsreduktion mit Sport im Wasser verbunden werden, sodass die Last auf den Bewegungsapparat zunächst minimiert wird. Um Verletzungen vorzubeugen, sollte des Training in Absprache mit Mediziner*innen und geschultem Gesundheitspersonal abgesprochen werden. Zusätzlich können sich insbesondere zu Beginn des Trainings intensive körperliche Belastungen durch entsprechende Begleiterscheinungen wie Muskelkater negativ auf die Motivation auswirken. Oftmals nimmt dies direkten Einfluss auf die Trainingskontinuität und sollte deshalb vermieden werden. Dementsprechend sollte das Trainingsprogramm auf den Leistungsstand der Betroffenen zugeschnitten und im Verlauf des Trainingsfortschritts angepasst werden (Thompson, 2019).

Merke: **Körperliches Training bei Menschen mit Übergewicht oder Fettleibigkeit ist notwendig, um eine Verschlechterung des Gesundheitszustandes zu vermeiden. Dabei sollte Kraft- und Ausdauertraining durchgeführt werden, da es ein wichtiger Bestandteil der Gewichtskontrolle ist. Regelmäßiges Training kann dazu beitragen, den Energieumsatz zu erhöhen und dadurch die Gewichtsabnahme zu fördern.**

7.2 Körperliches Training bei Diabetes mellitus

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, kann ein inaktiver Lebensstil Auslöser häufiger Zivilisationskrankheiten sein. Zu diesen Erkrankungen gehört auch Diabetes mellitus. Tatsächlich hat sich die Epidemie des Diabetes mellitus bereits zu einer ernsten globalen Gesundheitsbedrohung entwickelt. In den letzten drei Jahrzehnten hat sich die Zahl der Menschen mit Diabetes mellitus weltweit vervierfacht und Diabetes mellitus ist heute die neunthäufigste Haupttodesursache in der Welt. Die steigende Prävalenz des Diabetes mellitus Typ II geht, wie im Kapitel vorher bereits angesprochen, einher mit der Zunahme der Fettleibigkeit, die in den meisten Industrie- und Entwicklungsländern immer stärker zunimmt (Zheng et al., 2018).

Diabetes wird nach Angaben der American Diabetes Association in vier Typen unterteilt:

- Diabetes Typ I, eine Autoimmunerkrankung, die durch eine Schädigung der β -Zellen der Bauchspeicheldrüse durch das Immunsystem verursacht wird,
- Diabetes mellitus Typ II, eine Störung der Insulinsignalübertragung ("Insulinresistenz") und gleichzeitige Erschöpfung der β -Zellen,
- Schwangerschaftsdiabetes mellitus, der in der Regel nach dem zweiten Schwangerschaftsdrittel auftritt, ohne dass zuvor Diabetes-Symptome aufgetreten sind,
- einige seltene Arten von Diabetes, die auf endokrine Erkrankungen oder Nebenwirkungen von Medikamenten zurückzuführen sind.

Die Diagnose einer Diabetes-Erkrankung ergibt sich aus der gemessenen Blutzuckerkonzentration entweder im nüchternen Zustand oder 2 h nach der Gabe einer definierten Menge an Zucker (Glukose-Toleranztest). Da sich Glukose chronisch auch an das für den Sauerstofftransport im Blut zuständige Hämoglobin bindet, kann insbesondere chronischer Diabetes auch über die Konzentration glykierten

Adaptation der Organsysteme

Hämoglobins (HbA1C) gemessen werden. Eine Übersicht über die entsprechenden Konzentrationen findet sich in Tabelle 4.

Tabelle 4: Diagnose von Prä-Diabetes und Diabetes anhand der Blutglukosekonzentrationen, nach American Diabetes Association, 2011

	Prä-Diabetes	Diabetes
Nüchtern	100-125 mg/dl (5,5 - 6,9 mmol/l)	≥ 126 mg/dl ($\geq 7,0$ mmol/l)
2 h nach Glukoseaufnahme	140-199 mg/dl (7,8 - 11,0 mmol/l)	≥ 200 mg/dl ($\geq 11,0$ mmol/l)
Glykiertes Hämoglobin (HbA1C)	5,7-6,4 %	$\geq 6,5$ %

Grundlegend für das Verständnis der Ätiologie von Diabetes mellitus ist die Kenntnis der Funktion des Hormons Insulin. Insulin ist ein Hormon, das von der Bauchspeicheldrüse produziert wird und dafür sorgt, dass der Körper Glukose (Zucker) aus dem Blut aufnimmt und in die Zellen transportiert, um dort als Energie genutzt zu werden. Insulin hilft auch dabei, den Blutzuckerspiegel zu regulieren und zu verhindern, dass er zu hoch oder zu niedrig wird. Bei Typ-I-Diabetes (5-10 % der Gesamtfälle) richtet sich das Immunsystem gegen die β -Zellen der Bauchspeicheldrüse und zerstört diese. Entsprechend sinkt die Insulinproduktion zunehmend auf ein unzureichendes Niveau. Von dieser Erkrankung sind vornehmlich Kinder betroffen. Therapiert wird Typ-I-Diabetes durch sogenannte Insulinpumpen. Diese sind oftmals gekoppelt an eine kontinuierliche Messung der Blutglukosekonzentration und sondern bei einer Erhöhung des Blutzuckerspiegels Insulin ab.

Typ-II-Diabetes, mit 90-95 % die häufigste Form aller Diabetesfälle, ist ein chronischer Zustand, bei dem der Körper resistent gegen die Insulinwirkung wird und die β -Zellen der Bauchspeicheldrüse die Fähigkeit verlieren, ausreichend Insulin abzusondern, wodurch es zu einem chronisch erhöhten Blutzuckerspiegel kommt. Durch fehlendes oder unwirksames Insulin (aufgrund einer verringerten Insulinsensitivität) kommt es insbesondere zu einer Störung des Stoffwechsels. So ist beispielsweise ein erhöhter Blutzuckerspiegel, auch Hyperglykämie genannt, das häufige Symptom bei Typ-II-Diabetes (Henning, 2018). Eine Hyperglykämie erhöht das Risiko für chronische Komplikationen des Diabetes (Matheus et al., 2013) einschließlich makrovaskulärer Komplikationen (kardiovaskuläre Erkrankungen, periphere Gefäßerkrankungen und Amputationen der unteren Gliedmaßen) und mikrovaskulärer Komplikationen (z. B. Retinopathie, Nephropathie sowie periphere und autonome Neuropathie) (Fowler, 2008).

Es gibt mehrere Möglichkeiten, eine Hyperglykämie zu reduzieren. Eine ausgewogene Ernährung, die reich an Obst, Gemüse und Vollkornprodukten ist und arm an raffinierten Kohlenhydraten und zugesetztem Zucker, kann dazu beitragen, den Blutzuckerspiegel zu regulieren. Zusätzlich dazu gibt es viele Medikamente, die bei Typ-II-Diabetes eingesetzt werden können, um den Blutzuckerspiegel zu senken. Dazu gehören orale Antidiabetika, wie Metformin und Sulfonylharnstoffe, sowie Insulin. Nichtsdestotrotz ist eine Umstellung des Lebensstils notwendig, um die Folgen einer Diabetes-Erkrankung zu minimieren. Studien konnten beispielsweise zeigen, dass eine längere tägliche sitzende Tätigkeit auch das Risiko für Typ-II-Diabetes und kardiovaskuläre Erkrankungen erhöht (Hu, 2003), was nicht selten zu einer vorzeitige Sterblichkeit führt (Park et al., 2020). Nichtsdestotrotz können die meisten Menschen sich trotz gesundheitlicher Komplikationen sicher und effektiv in verschiedenen Arten von körperlichem Training betätigen. Demnach sollte bei Typ-II-Diabetes das körperliche Training einen hohen Stellenwert einnehmen. Sowohl Ausdauer- als auch Krafttraining erhöhen die Insulinsensitivität (Henriksen, 2002), verbessern die Glukosetoleranz und können dadurch das Risiko einer kardiovaskulären Erkrankung reduzieren (Barr et al., 2007). Da die Mehrheit der Erkrankten übergewichtig oder adipös ist, ist es häufig auch notwendig, das Körpergewicht zu reduzieren. Eine Gewichtsreduktion

Adaptation der Organsysteme

kann dabei positive Effekte auf die Insulinsensitivität und den Blutzuckerspiegel haben. Aus diesem Grund gelten für an Typ-II-Diabetes Erkrankte die gleichen Empfehlungen für körperliches Training wie bei Übergewichtigen Personen (siehe Kapitel Körperliches Training bei Übergewicht und Adipositas). Die folgenden Empfehlungen des ACSM zum Thema körperliche Aktivität bei Typ-II-Diabetes geben jedoch einen weiteren Überblick, wie das körperliche Training gestaltet werden kann (Thompson et al. 2010).

Neben einer Hyperglykämie, können aber insbesondere bei sportlichen Betätigungen auch zu geringe Blutzuckerkonzentrationen auftreten. In diesem Fall ist die akute Gabe von Kohlenhydraten sinnvoll, um die mit zu geringen Blutzuckerwerten assoziierten Komplikationen zu reduzieren. Eine Handlungsempfehlung für körperliche Aktivität mit Diabetikern findet sich in Tabelle 5.

Tabelle 5: Erklärungen und Handlungsempfehlungen beim Auftreten von Komplikationen durch eine Diabetes-mellitus-Erkrankung im Sport, modifiziert nach Menrath, 2021

Komplikation	Handlungsempfehlung
Hypoglykämie	Hypoglykämien können vor, während und nach dem Sport auftreten (auch in der Nacht nach dem Training). Vorbeugend ist eine Reduktion der Insulindosis, der abendlichen Mahlzeitendosis oder die Einnahme von 10 - 20 g Kohlenhydraten vor dem Schlafengehen.
Hyperglykämie	Hyperglykämien können trotz erhöhtem Glukoseverbrauch beim Sport auftreten (infolge von Insulinmangel ggf. auch schon vor dem Sport). Die Behandlung von Hyperglykämien ist vielfältig. Ggf. reicht die Anpassungen der Insulindosis bei der nächsten Einheit, ggf. muss die Insulinpumpe auch während des Sports getragen werden.
Ketone im Blut	Bei Hyperglykämien (>250 mg/dl), für die es keine Erklärung gibt, sollte vor dem Sport ein Ketontest durchgeführt werden, um eine Stoffwechselentgleisung frühzeitig zu erkennen. Folgende körperliche Symptome können auftreten: Übelkeit, Erbrechen, Bauchschmerzen, Kopfschmerzen. Oftmals ist auch der Geruch der Atemluft indikativ. Bei Werten über 1,5 mmol/l darf kein Sport durchgeführt werden, bis sich der Stoffwechsel wieder normalisiert hat.

Folgende Empfehlungen bezüglich der Effekte des körperlichen Trainings auf die Prognose von Typ-II-Diabetes lassen sich in der Literatur finden (Kanaley et al., 2022):

- Regelmäßiges Ausdauertraining verbessert den Blutzuckerspiegel bei Erwachsenen mit Typ-II-Diabetes, indem es die tägliche Zeit in Hyperglykämie verkürzt und den Gesamtblutzuckerwert um 0,5 bis 0,7 % senkt.
- Ein hochintensives Krafttraining hat positivere Auswirkungen auf das allgemeine Blutzuckermanagement und die Senkung des Insulinspiegels als ein Krafttraining mit niedriger bis mittlerer Intensität.
- Ein höherer Energieverbrauch senkt postprandial (nach dem Essen) den Blutzuckerspiegel unabhängig von der Trainingsintensität oder -art. Dabei bietet eine Trainingsdauer von ≥ 45 Minuten die beständigsten Ergebnisse.

DIPLOMA

Private staatlich anerkannte Hochschule
University of Applied Sciences

DIPLOMA Hochschule

Studienservice

Herminenstraße 17
31675 Bückeburg

Tel.: +49 (0)40 228 988 240
meinstudium@diploma.de
diploma.de



Leseprobe

Du möchtest mehr erfahren?

Unser aktuelles Studienangebot und weitere Informationen sowie
unsere Angebote zur Studienberatung findest Du auf www.diploma.de