

Ulrich Hartmann

Einige kritische Gedanken zur Genese und grundlegenden Sichtweisen von muskulären Anpassungen im (Hoch-) Leistungssport

Summary

Muscular adaptation is one of the basics in (high) performance sports. The corresponding perspectives are still based on the ideas and interpretations of the supercompensation model. However, since this is based on causally incorrect assumptions and connections, the perspectives and consequences derived from it in the past are very questionable and must be viewed critically, both theoretically and for practical application in (high) performance training. It is therefore urgently necessary to replace the conventional perspectives with scientifically causal and valid findings and to take them into account in practical implementation.

Zusammenfassung

Muskuläre Anpassung ist eine der Grundlagen im (Hoch-)Leistungssport. Die entsprechenden Sichtweisen basieren bis heute unverändert auf den Vorstellungen und Interpretationen des Superkompensationsmodells. Da dieses aber auf kausal falschen Annahmen und Zusammenhängen beruht, sind die in der Vergangenheit daraus abgeleiteten Sichtweisen und Konsequenzen sowohl theoretisch als auch für die praktische Anwendung im (Hoch-)Leistungstraining sehr fragwürdig und entsprechend kritisch zu sehen. Daher ist es dringend notwendig, die herkömmlichen Sichtweisen durch wissenschaftlich kausale und valide Befunde zu ersetzen und in der praktischen Umsetzung zu berücksichtigen.

Schlagnvorte: Hochleistungssport, Anpassung, Superkompensation, Proteinturnover

1. Vorbemerkung

Die Vorstellungen und Grundlagen von Anpassung, Belastung und Training sowie die daraus resultierenden Konsequenzen tragen in entscheidendem Maße zum Fundament der Trainingswissenschaft bei. Daher ist es auch geboten, sich von Zeit zu Zeit erneut mit diesem Bereich des trainingswissenschaftlichen Denkens und den daraus resultierenden Sichtweisen etwas mehr im Detail auseinanderzusetzen.

2. Genese

Erste Hinweise von Anpassungsvorgängen des Skelettmuskels finden sich bei Roux (1895), bezogen auf das Verhalten von Knochen des Skelettsystems weist Wolff (1892) auf analoge Befunde hin. Begründungen oder Erklärungen der damit verbundenen Mechanismen lassen sich bei beiden Autoren seinerzeit noch nicht finden. Jedoch beschreibt Roux 1895 schon das grundsätzliche Verhalten der Zu- bzw. Abnahme der Zellmasse als Folge einer höheren bzw. verminderten funktionalen Belastung, welche analog zu dem Verhalten der Muskelmasse bei entsprechenden Trainingsbelastungen zu verstehen ist.

In der Folge wurden weitere Befunde mit grundsätzlichen Aussagen zu Fragen der Anpassung publiziert. So konnte Meerson (1969) aufgrund von Untersuchungen an Hunden zeigen, dass eine experimentell induzierte chronisch vermehrte Herzarbeit (Hyperfunktion) mit einer Zunahme der Herzmuskelmasse einhergeht. Bei einer nicht weiteren Steigerung der Hyperfunktion stellte sich dann ein Gleichgewicht zwischen der Muskelmasse des Herzens und der jeweiligen Hyperfunktion ein. Nach Aufhebung der Hyperfunktion bildete sich die zuvor eingetretene Hypertrophie dann wieder zurück. Als Ursache für dieses Verhalten ist der Proteinzzyklus zu sehen, demzufolge jede Zelle aufgrund eines angestrebten Gleichgewichtverhaltens zwischen Proteinverschleiß bzw. -abbau und Proteinsynthese versucht, ihre Proteinmasse bzw. Struktur auf dem jeweils eingeregelteten Anpassungsniveau zu erhalten.

Aufgrund der Untersuchungen von Meerson ergaben sich in dem gegebenen Kontext weitere wesentliche Befunde und Erkenntnisse dahingehend, dass bei (chronischer) Überbelastung eine Insuffizienz des Herzmuskels die Folge war; diese ließ sich dann aber trotz des Versuchs der weiteren Steigerung der Hyperfunktion bzw. Muskelmasse nicht mehr kompensieren. In Konsequenz bedeutet das für die Sichtweisen muskulärer Belastungen im Sport, dass es nicht immer und automatisch zu einer entsprechenden Zunahme (Hypertrophie) der beanspruchten Muskelmasse kommt, sondern dass sich das System je nach Belastung auch genau gegenläufig in Form einer Verminderung der Muskel- bzw. Proteinmasse verhalten kann.

Grundlegende anatomisch-biologische Befunde wie diese haben jedoch aus unerklärlichen Gründen und über viele Jahre keinen Eingang in die Sport- bzw. Trainingswissenschaft gefunden.

Demgegenüber gilt seit Langem das Superkompensationsmodell als das grundlegende Modell für Trainingsanpassungen im Sport. Ursächlich beruht es auf den Untersuchungen von Jakowlew (1977) zum Verhalten des Muskel- und Leberglykogens bei/nach Belastungen an Tieren und später auch beim Menschen.

Im weiteren Verlauf übernahm Jakowlew dann einige Sichtweisen biologischer Regelungsvorgänge von anderen Arbeitsgruppen, die ebenso mit dem Begriff der „Überkompensation“ erklärt werden. Diese wiederum wurden unterstützt durch frühere Publikationen zum Verhalten des Muskelglykogens von Jampolskaja (1948, 1950). Wie jedoch diese Vorgänge genau geregelt werden, wird dort nicht erklärt.

In Anlehnung an Jakowlew (1977) kommt der Erholungsphase nach einer Belastung eine besondere Bedeutung zu: *„In dieser Zeit, in der die intensive Spaltung der Energiequellen aufhört, gewinnen die Resynthesevorgänge ein offensichtliches Übergewicht, und es wird nicht nur das Verbrauchte wiederhergestellt, sondern die Wiederherstellung geht über das Ausgangsniveau hinaus“* (Übersetzung von Baasch, 1967, S. 53). Untermauert werden diese Sichtweisen auch durch eine entsprechende Abbildung in der Publikation von Jakowlew. Insgesamt zeugt diese Beschreibung von den erwarteten Vorstellungen auf makroskopischer Ebene der jeweiligen zellulären Strukturen.

In den folgenden Jahren werden in der russischen Literatur zur Trainingslehre diese Vorstellungen als Initialreiz für weitergehende muskuläre Anpassungen gesehen (Matveew, 1981). Diese gehen davon aus, dass eine größere äußere Arbeit zunehmende funktionelle Veränderungen im Organismus initiiert und umgekehrt. Die gedankliche Konsequenz ist daher, durch einen optimalen Grad der Ermüdung (Anm.: wie sieht dieser aus) zu versuchen eine Steigerung der Leistungsfähigkeit zu erreichen.

Übernommen wurden diese Sichtweisen dann auch in die deutschsprachige Literatur. So äußerte sich Harre (1977) dahingehend, dass durch den Verbrauch funktioneller und energetischer Potenziale ein Ermüdungsprozess ausgelöst wird, der wiederum einen entscheidenden Reiz für Anpassungsvorgänge darstellen sollte. In Konsequenz und der sich daraus ergebenden Interpretation bedeutet das, dass je stärker die Ermüdung ist, desto besser der daraus resultierende Anpassungseffekt zu erwarten ist.

Ab den 1970er Jahren wurden die auf dem Superkompensationsmodell beruhenden Sichtweisen dann auch von der westdeutschen Trainingswissenschaft weitgehend kritiklos übernommen (Letzelter, 1978; Martin, 1977; Weineck, 1983) und fanden auf breiter Ebene Eingang in die Sportwissenschaft. Dies geschah

wahrscheinlich auch unter dem Aspekt eines primär didaktisch-methodischen Ansatzes, um auf diese Weise die damit verbundenen Sichtweisen zur inhaltlichen Trainingsgestaltung ansatzweise zu erklären, zu begründen und letztendlich zu legitimieren.

3. Sichtweisen und Konsequenzen

Dass sich die im Kontext einer (muskulären) Anpassung zugrundeliegenden Vorgänge jedoch etwas anders verhalten, zeigten die schon zuvor genannten Befunde von Meerson (1969) in eindrucksvoller Weise (s. o.). Demnach antwortet das muskuläre System bei zu hoher Belastung nur noch mit einer mäßigen Zunahme/Hypertrophie, bei einer chronisch hohen Belastung zeigt es nach gegebener Zeit keine weitere Zunahme mehr und nimmt, aufgrund des nicht mehr einstellbaren Gleichgewichtsverhaltens der Proteinmasse, sogar wieder ab. Genau diese grundlegenden Erkenntnisse von Meerson und auch Roux sowie die sich daraus ergebenden Konsequenzen für eine Belastungsgestaltung (Umfang/Intensität) im Rahmen eines sportlichen (Hochleistungs-) Trainings hätten dazu führen müssen, einige der Sichtweisen der neuern Trainingslehre/Trainingswissenschaft kritisch zu hinterfragen bzw. überdenken zu müssen.

Dies war aber leider nicht der Fall und man hielt (aus welchen Gründen auch immer) an den gegebenen Vorstellungen im Kontext zur „Ermüdung“ fest. Ein Aspekt waren sicherlich auch die aus didaktisch-methodischen Gründen abgeleiteten und relativ einfachen Vorstellungen und Sichtweisen zu den Erklärungen und der Legitimierung eines Trainingsprozesses. Seinerzeit waren die Inhalte über die jeweiligen Belastungen primär geprägt von dem Gedanken, die entsprechende Wettkampfbelastung im Training möglichst realitätsnah bzw. sportartspezifisch häufig zu wiederholen bzw. zu kopieren. Subjektiv gehen Belastungen dieser Art mit einer mittelintensiven bis intensiven Beanspruchung einher, ohne dass diese näher unter Stoffwechselaspekten objektiv klassifiziert waren. Als quasi einzig (teil)valides Kriterium stand der Trainingspraxis nur die Verwendung und Einordnung der Herzfrequenz zur Interpretation der Beanspruchung bzw. Belastungsintensität zur Verfügung. Diese befand sich während den entsprechenden Trainingsbelastungen primär physisch orientierter Disziplinen überwiegend im Bereich von ca. 85–100 % der jeweils maximal möglichen Herzfrequenzwerte. Unter energetischen bzw. stoffwechselorientierten Aspekten gehen Belastungen dieser Art fast immer einher mit einem sehr hohen bis maximalen Anteil an Kohlenhydratverbrennung und somit auch einer mehr oder weniger großen Inanspruchnahme bzw. Entleerung der gegebenen Kohlenhydratreserven der Muskelzelle, die letztendlich dann auch maßgeblich für das Phänomen der „Ermüdung“ verantwortlich zeichnen. Resultierend aus den Vorstellungen eines solchen „Ermüdungsmodells“ sind dann auch die Forderungen zu verstehen, dass durch einen optimalen Grad

der Ermüdung eine Steigerung der Leistungsfähigkeit erreicht werden muss (Harre, 1977, Matveew, 1981).

In diesem Zusammenhang ist es schon etwas verwunderlich, dass alleine aufgrund des Glykogenverhaltens, welches als Speichersubstrat im Kontext des muskulären Energiestoffwechsels seiner Funktion nachgeht, weitreichende Rückschlüsse auf die Mechanismen und Vorgänge von (muskulärer) Anpassung vollzogen wurden. Das Verhalten des Glykogens stellt dabei keinen grundlegenden Zusammenhang zu Mechanismen der zellulären Anpassung dar, weshalb die angenommenen kausalen Bezüge letztendlich auch als falsch anzusehen sind. Hinzu kommt, dass die umfassende Befundlage zum Glykogenverhalten in Ruhe und bei Belastung in Teilen bis dato uneindeutig ist. Alleine daraus folgt schon ein ursächlich zu kritisierender Denkbezug, eine tiefergehende naturwissenschaftliche Auseinandersetzung bzw. Prüfung dieser Modellvorstellungen war und ist nicht existent.

Kritik an den Modellvorstellungen zur Ermüdung bzw. den damit verbundenen Mechanismen und zeitlichen Abläufen zur Herstellung des zellulären Glykogenverhaltens sind nicht neu. Kritische Befunde dazu kommen bereits selber aus der DDR (Neumann, 1974; Neumann et al., 1978; Gottschalk et al., 1984), wobei sich diese auf Fragen der Ernährung (Kohlenhydratrestitution), der damit verbundenen (Nach-)Belastungsgestaltung eines Trainings sowie der Vermeidung spezifischer Trainingsbelastungen am Folgetag beschränkten.

Auch sollte erwähnt werden, dass Überlegungen im Kontext von Belastung und Anpassung meist als komplexe Vorgänge beschrieben wurden: „Belastung und Erholung sind daher als eine Einheit zu betrachten“ (Harre, 1969, S. 69) und „Je weiter man sich vom Optimalwert entfernt (Anm.: Was ist der „Optimalwert“?), desto geringer ist die Trainingswirkung. Übersteigen die Anforderungen die individuelle Belastungsverträglichkeit, so wird die Anpassungs- und Regulationsfähigkeit der physischen und psychischen Funktionssysteme beeinträchtigt und es kann dadurch ein Leistungsrückgang verursacht werden“ (Harre, 1979, S. 72). Beschreibungen dieser Art weisen sicherlich auf entsprechende Vorgänge und Phänomene im Rahmen einer trainingspraktischen Anwendung und Umsetzung hin, genügen aber leider nicht den wissenschaftlich validen Vorgängen und Grundlagen einer Erklärung von Anpassungsvorgängen auf muskulärer/zellulärer Ebene.

In wie weit die seinerzeitigen Vorstellungen und Beschreibungen zur Gestaltung des Trainingsprozesses dann wirklich nachhaltig Eingang und eine korrekte Umsetzung in die Trainingspraxis gefunden haben, bleibt zunächst offen. Verstärkt wird dieses Problemgefüge im Kontext der Vorstellungen zur „Superkompensation“ durch die seinerzeitigen terminologischen Sprachgebräuche in der Trainingslehre, wie z. B. „trainingswirksamer Reiz“, „progressive Belastungssteuerung“, „spezifisches Training“ u. v. a. (Schulze et al., 1977). Wahrscheinlich ist jedoch davon auszugehen, dass, unabhängig vom jeweiligen

(sportpolitischen) System, die mit den seinerzeitigen Sichtweisen verbundenen Auswirkungen, Konsequenzen und Probleme erheblich unterschätzt wurden bzw. nicht Gegenstand weiter- bzw. tiefergehender Überlegungen waren (Hartmann, 2016).

Insgesamt ist schon erstaunlich und verwunderlich, wie gering der naturwissenschaftliche Einfluss und das damit verbundene Verständnis und Denken im Kontext von Bewegung und Training in der sportlichen Theorie und Praxis seinerzeit ausgeprägt war. Erklären lässt sich das aus Sicht des Autors nur durch die Tatsache, dass in den Trainingswissenschaften eine grundlegende naturwissenschaftlich begründete Hypothesenbildung und/oder Theoriebildung seinerzeit so gut wie kaum stattgefunden hat bzw. gänzlich fehlt. Daher ist auch nur ein eher schwacher Realitätsbezug zu biologischen Vorgängen und Fragen im Kontext von Bewegung, Training und Anpassung vorhanden. Diese wiederum wurden primär durch traditionell vorgeprägte Denkbezüge bestimmt und formuliert. Eine vergleichbare Entwicklung wie diese wäre für jede andere naturwissenschaftliche (Mutter-)Disziplin jedoch undenkbar gewesen.

Die Ursachen dafür liegen wahrscheinlich maßgeblich in der Genese des Sports sowie der sich ab 1960 entwickelnden Sportwissenschaft bzw. der Historie der Leibesertüchtigung und den damit zeitgleich einhergehenden Sichtweisen und deren Anwendung und Umsetzung in der Praxis begründet. Angefangen bei GutsMuths (1793), über Jahn (1816), Krümmel (1930), Waitzner (1937), Osolin (1952) ging es fast ausschließlich um eine pädagogisch orientierte, didaktisch-methodische Umsetzung und Durchführung von Übungsausführungen in der Praxis der Leibeserziehung. Dabei hat das über viele Jahre vorherrschende Primat des geisteswissenschaftlichen Einflusses in der Leibeserziehung die naturwissenschaftlichen Grundgegebenheiten und Aspekte von Belastung, Training und Anpassung völlig unterdrückt.

Aus diesem Grund ist auch nicht verwunderlich, dass nach wie vor in den Trainingswissenschaften heutiger Prägung als theoretisch analytisches Instrument primär der Nachweis statistisch signifikanter Abhängigkeiten zwischen gemessenen quantitativen Parametern existiert. Aspekte der Grundlagenforschung wurden und werden immer noch nahezu vollständig ausgeblendet, was dann z. T. zu einem „eigenen Weltbild“ in der Trainingswissenschaft geführt hat, ohne dass die notwendigen biologischen Belange von Belastung, Training und Anpassung auch nur in Ansätzen Berücksichtigung fanden.

So wiesen auch schon Mellerowicz et al. (1984) im Rahmen der Präambel eines Buchs darauf hin, dass bei dem von ihnen vorgelegten Werk auf die in der Trainingslehre vorkommenden Hypothesen und unbewiesenen spekulativen Meinungen verzichtet wird.

Im Kontext dieser Sichtweisen ist wahrscheinlich auch der Begriff des „Methodikers“ zu verstehen und zu erklären, den es umgangssprachlich primär in der ehemaligen DDR als auch abgeschwächt in Westdeutschland gab. Nach Krug

et al. (2020) entstand der Begriff „Sportmethodik“ insbesondere im Wissenschaftssystem der DDR und fand vielfältige Anwendungen in der Sportwissenschaft sowie in der Ausbildung von Schul- und Diplomsportlehrer:innen sowie Trainer:innen. Von 1970 bis 1990 wurde sogar an der Deutschen Hochschule für Körperkultur (DHfK) eine Fakultät für Sportmethodik eingerichtet und an den ostdeutschen Universitäten sowie den Pädagogischen Hochschulen Professuren zur Methodik des Sportunterrichts etabliert. Dadurch sollten kontinuierliche Austauschprozesse zur Methodik des Lernens, Übens und Trainierens gewährleistet werden, die dann auch in abgewandelter Form von sportartspezifischen Jahreskonferenzen Eingang in den Bereich des (Hoch-)Leistungssports fanden.

Einerseits ist es sicher als ein positives Anliegen zu verstehen, Inhalte von sportspezifischen Fragen aus methodischer Sicht zu bündeln, zu kanalisieren und gezielt zu vermitteln, andererseits ist kritisch anzumerken, dass dies auch zu einer Einengung, Fixierung und letztendlich Dogmatisierung von Inhalten führen kann, die dann weitergehenden bzw. grundsätzlichen Fragestellungen keinen Raum mehr lassen. Hier erinnert sich der Autor noch sehr gut an die Nachwendezeit, wo zahlreiche kritische Diskussionen über Trainingsinhalte und deren Gestaltung immer wieder mit den Bemerkungen „das haben wir immer so gemacht“ oder „damit haben wir unsere guten Erfahrungen“ endeten, ohne dass es eine tiefergehende Klärung der damit verbundenen Problemstellung gab. Leider ist diese Einstellung auch nach wie vor existent, was letztendlich von einer Abkoppelung der an sich notwendigen forschungsinhaltlichen Fragestellungen und Weiterentwicklungen zeugt, womit gleichzeitig aber auch eine valide (trainings-)methodische Vermittlung nur sehr eingeschränkt der Fall ist.

Verschärft wird dieses Problem, wenn sich an den Einrichtungen des deutschen Spitzensportes (Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT), Olympiastützpunkte (OSP) u. a.) „Forschung für den Leistungssport“ nur noch aus den über Jahre gesammelten (Trainings-)Daten zu DDR-Zeiten sowie der neuerlichen Sammlung von Trainingsdaten der Nachwendezeit legitimiert. Raum für eigentlich wesentliche zentrale Fragestellungen wie z. B.:

- welches die biologisch-physiologischen Grundlagen von Belastung, Training und Anpassung sind,
- welches die energetischen/metabolischen/anpassungsorientierten Prozesse „dahinter“ sind,
- welche Parameter für die Generierung von Leistungen im Training und Wettkampf entscheidend sind,
- sich energetisch-technische Anforderungsprofile in einzelnen Sportarten und Disziplinen verhalten könnten,
- welches die einzelnen individuellen physischen Bedingungsfaktoren sind, die Athlet:innen aus Sicht der Physis leistungsfähig machen,

- die Frage, ob eine Orientierung am Fähigkeitsprinzip unter den gegebenen Herausforderungen einer mehr naturwissenschaftlich orientierten sportwissenschaftlichen Forschung überhaupt noch hilfreich sein kann bzw. eher tradierte und nicht mehr zeitgerechte Sichtweisen zementiert und keinen Raum für weitere Entwicklungen lässt,
- die Verwendung einer präzisen und validen Terminologie im Kontext von naturwissenschaftlichen Begrifflichkeiten sowie deren sportwissenschaftlicher Anwendung,
- nach entsprechenden validen und reliablen diagnostischen Verfahren zur Erfassung der (Wettkampf-)Leistung,

werden seit Jahrzehnten kaum berücksichtigt oder zum Nutzen der Sport-/ Trainingswissenschaft nicht angegangen und umgesetzt. Die daraus resultierenden negativen Konsequenzen hinsichtlich des Leistungsniveaus deutscher Athlet:innen zeigen sich seit geraumer Zeit im internationalen Vergleich sehr deutlich.

4. Aktuelle Sichtweisen zur Erklärung muskulärer Anpassungsvorgänge

Mader (1988) versuchte vor nunmehr 35 Jahren mit seinem Modell auf Grundlage der Proteinbiosynthese (Transkription, Translation) aufzuzeigen, was sich sozusagen „hinter“ den Vorstellungen von Anpassung verbirgt (vgl. Abb. 1).

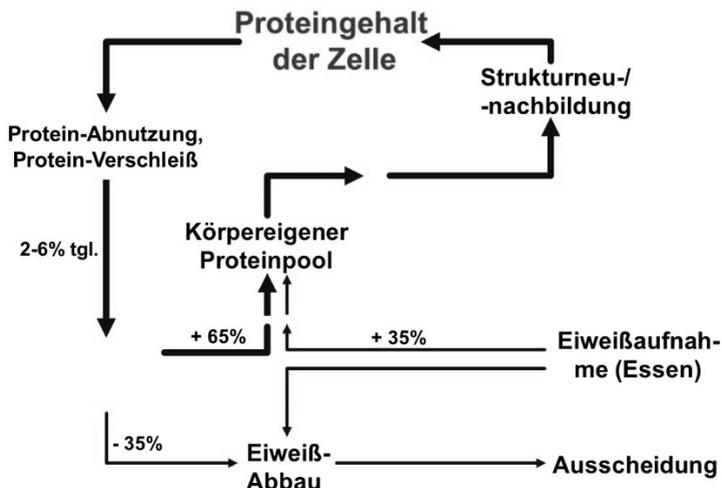


Abb. 1. Proteinzyklus der Muskelzelle (nach Mader, 1988; stark vereinfacht); weitere Erläuterungen siehe Text

Dabei geht er von der grundsätzlichen Annahme eines Gleichgewichts von Proteinaufbau und -abbau im lebendigen Organismus aus, basierend auf den Arbeiten von Meerson (1969) zur Abhängigkeit der Herzhypertrophie bei funktionaler Belastung sowie den Arbeiten von Fehlig (1975), Young et al (1978) sowie Young (1981) zum Proteinzyklus bzw. Proteinturnover. Demnach beträgt der in aktiven Geweben junger Erwachsener (Muskulatur) zuzuordnende Proteinturnover ca. 3 g/kg/24h. Das bedeutet, dass die Lebenszeit der Strukturproteine der Zelle ca. 35 bis 45 Tage, gemessen an der Halbwertszeit ihres Abbaus, beträgt. Dies wiederum hat zur Folge, dass überschlagsmäßig nach ca. 100 bis 120 Tagen der Gesamtbestand der Proteinmasse der aktiven Gewebe ersetzt werden muss.

Weiter wird bei der Modellvorstellung davon ausgegangen, dass die aktive Zellmasse in Abhängigkeit von der jeweiligen funktionalen Belastung steht. Zusätzliche funktionale Belastungen, wie z. B. die eines sportlichen Trainings, würden den jeweiligen Proteinturnover deutlich ansteigen lassen.

Es ist weiter davon auszugehen, dass bei 20–30-Jährigen ca. 60 % der maximalen Proteinbildungskapazität der Zelle in Anspruch genommen werden. Die verbleibenden 40 % stellen die sogenannte „Anpassungsreserve“ dar, die mit einer möglichen Steigerung der Leistungsfähigkeit (z. B. durch ein sportliches Training) gleichgesetzt werden kann (vgl. Abb. 2).

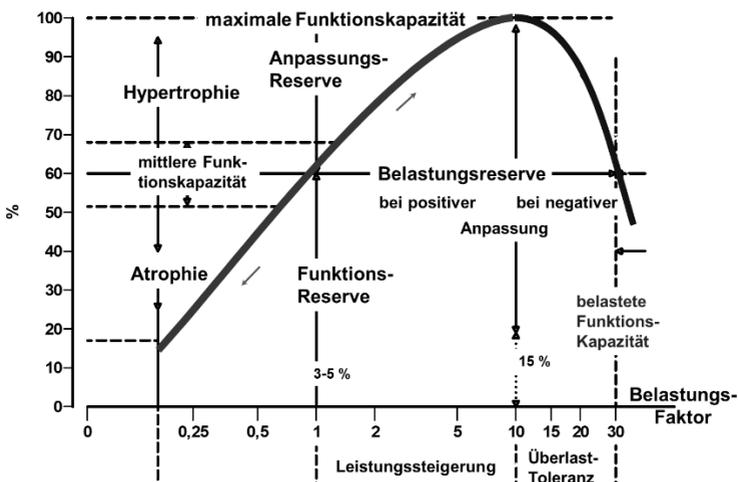


Abb. 2. Relation von maximaler Funktionskapazität proportional zur Proteinmasse und relativer Auslastung der maximalen Funktionskapazität in Abhängigkeit von der funktionalen Belastung (Mader, 1990); weitere Erläuterungen siehe Text

Zu unterscheiden ist der Bereich der positiven Belastungsanpassung mit Steigerung der Funktionskapazität bei niedriger Belastung der Funktionsreserve (< 15 %) vom Überlastbereich mit abnehmender Funktionskapazität und zunehmender Beanspruchung der Funktionsreserve (> 15 %). Die Funktionsreserve wird gleich Null, wenn die Einstellung des steady-state der Proteinmasse nicht mehr möglich ist.

Als sportpraktische Konsequenz ergibt sich der Effekt, dass bei einem eher wenig bis mittelmäßig trainierten Individuum (es kann dabei bei grober Einschätzung und Klassifizierung von einem ca. 2- bis 5-maligen Training/Woche ausgegangen werden, wobei die Inhalte je nach Sportart und Belastung erheblich variieren können) die aktuelle physische Leistung auf dem jeweils eingestellten Stoffwechselliveau erhalten bleibt. Ein solcher Zustand führt aus biologischer Sicht zu dem Effekt, dass zum Erhalt des proteinstoffwechselbedingten Gleichgewichtszustands pro 24 h ein geringer Prozentsatz der Proteinmasse der Muskelzelle (ca. 2–4 %) verschlissen bzw. abgebaut und gleichzeitig wieder ersetzt werden muss. Dies ist notwendig, damit das System seine Funktions- und Leistungsfähigkeit erhält (Young et al (1978); Young (1981)).

Unterliegt das System über längere Zeit einer höheren Belastung (z. B. durch ein deutlich intensiveres und/oder umfangreicheres Trainings-/Belastungsprogramm), nimmt der Proteinmassenschleiß zu und somit auch die Notwendigkeit einer erhöhten Neu-/Nachbildung der zellulären Proteinmasse zum Erhalt des Gleichgewichts- bzw. Funktionszustands der Gesamtproteinmasse. Im positiven Fall führt das trainingsmethodisch gesehen über die Zeit zu einem Anstieg der physischen zu realisierenden Leistung, was dann auch mit einer höheren sportlichen Leistungsfähigkeit einhergehen bzw. gleichgesetzt werden kann.

Wenn jedoch die Belastung (Intensität/Umfang) über einen längeren Zeitraum zu hoch ist, dann kann sich aus stoffwechselfysiologisch bedingten Gründen ein Gleichgewichtszustand der Proteinmasse aufgrund eines Missverhältnisses aus Proteinmassenschleiß und -nachbildung nicht mehr einstellen. Die Folge ist über mittlere bis längere Zeit ein Verlust an aktiver Masse (Muskelmasse), verbunden mit einem meist deutlichen Verlust an Leistung bzw. sportlicher Leistungsfähigkeit.

Alleine diese Überlegungen und Schlussfolgerungen lassen bereits erahnen, dass mit zunehmender Belastungssteigerung (Umfang/Intensität im Trainingsprozess) das System nicht immer mit einer gleichzeitigen bzw. parallel/linear einhergehenden Anpassungsentwicklung und somit dann auch nicht mit einer entsprechenden Zunahme der Leistung antwortet.

Es ist auch weiter zu beachten, dass die verbleibende Funktionsreserve mit fortschreitendem Alter immer weiter abnimmt. Dies bedeutet, dass bei einem gegebenen Belastungsniveau im fortgeschrittenen Alter eine immer höhere Ausnutzung der Anpassungsreserve vorliegt. Die sich daraus ergebenden

Konsequenz ist eine mehr oder weniger gravierende Inanspruchnahme vorhandener Strukturen. In letzter Konsequenz wird in diesem Kontext sogar diskutiert, ob ein gegebener Zusammenhang zwischen Energieumsatz und Lebensdauer besteht (Prinzinger, 1996).

Als gesichert kann auch gelten, dass die hinter dem Modell der Wachstums- und Alterskurve verborgenen Mechanismen zu einem großen Teil genetisch bedingt sind. Kommen nun zusätzlich zu den „funktionsunspezifischen“ Einflüssen (meist verbunden mit nur geringer oder gemäßigter körperlicher Aktivität) im Alternsgang noch funktionsbedingte Einflüsse hinzu (z. B. durch umfangreiches sportliches Training oder vergleichbare körperliche Arbeit), so kann dies auf das individuelle Verhalten der Funktionsreserve erhebliche Auswirkungen haben. Ein Individuum könnte dann zwar durch eine entsprechende (Trainings-)Belastung über mehrere Jahre oder Jahrzehnte eine deutlich höhere Leistungsfähigkeit im Vergleich zu Untrainierten besitzen, erkaufte diese dann jedoch zu Lasten einer relativ hohen Ausnutzung bzw. Inanspruchnahme der jeweils gegebenen Funktionsreserve bzw. der damit verbundenen Stoffwechselleistung. Die daraus längerfristig resultierenden Konsequenzen sind bis dato nicht eindeutig, wenngleich es entsprechende ernstzunehmende Hinweise dazu gibt (Thieme, 2021).

Zudem besteht die dringende Frage, wie das Signal aussieht, mit dem die Proteinsynthese gesteuert wird. Aktuell wird diskutiert, dass das Ubiquitin-System dabei eine entscheidende Rolle spielt. So scheint es wahrscheinlich, dass die beim Abbau verschlissener Proteinfäden entstehenden „Protein spezifischen Fragmente“ (PSF) als transkriptionsaktivierende Faktoren bei der Aktivierung der mRNA-Transkription der Gene eine entscheidende Rolle spielen. Im Detail sind diese komplexen Zusammenhänge jedoch (noch) nicht geklärt und weiterhin Bestandteil der biologischen Grundlagenforschung.

5. Theoretische (aber leider falsche) Sichtweisen zu den traditionellen Vorstellungen zum Superkompensationsmodell

In Anlehnung an die tradierten Sichtweisen wird Adaptation als ein reizsetzender trainingsmethodischer Prozess gesehen, der, meist auf einem Stimulus basierend, zu einer entsprechenden Anpassung zellulärer Strukturen führen soll. Dabei setzt Adaptation zum Erreichen eines höheren Leistungsniveaus voraus, dass sie abhängig ist von einem kontinuierlichen Prozess des „Erholungsdefizits“, welches dann in Folge für weitere Adaptation sorgen soll. Auch wird nach wie vor davon ausgegangen, dass das maximale Adaptationsniveau erst bei einer maximalen tolerierbaren Trainingsbelastung erreicht ist und dadurch ein positiver Einfluss auf die „Belastungsverträglichkeit“ gegeben ist. Dem ist aber nicht so. Bei Ausrichtung eines Trainings an den bis dato noch „akzeptierten“ Prinzipien von Belastung und Erholung (Hartmann et al., 1993)

ziehen diese bei einer entsprechenden Umsetzung sich immer weiter verschlechternde Konsequenzen bezüglich der muskulären Adaptationsmechanismen sowie der jeweiligen Regenerationsmechanismen nach sich, die sich zunächst in einer Abnahme der sportlichen Leistung und letztendlich in einer Phase des „Übertrainings“ widerspiegeln und manifestieren.

6. Theoretisch-praktische Konsequenzen und Auswirkungen für das Training und die entsprechenden Sichtweisen im (Hoch-) Leistungsbereich

Im Kontext der gegebenen Modellvorstellung zur Trainingsanpassung, basierend auf dem Proteinsynthesemodell von Mader (1988), ergeben sich gedanklich einige wesentliche Aspekte und Konsequenzen, die den tradierten bzw. o. g. Vorstellungen widersprechen und letztendlich für die Berücksichtigung in der Trainingspraxis des (Hoch-)Leistungssports essenziell sind:

1. Entsprechend des Roux'schen Prinzips besteht das Bestreben des zellulären Systems, auf einen Gleichgewichtszustand (steady state) zwischen Proteinmasse und mittlerer Funktionsbelastung zu adaptieren.
2. Je niedriger der Trainingszustand/das Leistungsniveau ist, desto eher und sicherer ist dieser Gleichgewichtszustand zu erreichen bzw. desto deutlicher (positiver) sind die Anpassungseffekte. Auf einem eher niedrigen Niveau der Anpassung/Leistung (z. B. bei jungen Sportler-/Anfänger:innen im Leistungssport) ist deren „Belastungsverträglichkeit“ absolut zwar niedrig, relativ jedoch sehr hoch. Ermüdungserscheinungen treten schnell ein, sind aber nicht lange andauernd und reversibel. Grund dafür ist die in noch hohem Maße zur Verfügung stehende Anpassungsreserve, die nur zu einem geringen Teil in Anspruch genommen wurde, sowie der zeitlich insgesamt nur geringe bis mittlere Trainingsaufwand.
3. Je besser der Trainingszustand wird, desto kleiner wird der Effekt für weitere Anpassungen/Leistungszunahmen. Die jeweilige „Belastungsverträglichkeit“ wird absolut höher, relativ ist sie jedoch bereits deutlich eingeschränkt. Ermüdungserscheinungen treten bei den auf diesem Niveau angestiegenen Trainingsbelastungen schneller ein, können länger andauern und sind erst nach einer längeren Erholungszeit bzw. Pause kompensierbar bzw. immer noch reversibel. Verantwortlich dafür ist die zwar geringer gewordene, aber immer noch verbleibende Anpassungsreserve bei gleichzeitig angestiegenen Trainingsbelastungen. Als trainingspraktische Orientierung ist eine unter Intensitäts- und Umfangaspekten ausgewogene und moderate Ausrichtung der jeweiligen Trainingsinhalte zu empfehlen.

4. Im Hochleistungsbereich sind jedoch kaum/keine weiteren Trainingsanpassungen zu verzeichnen. Die „Belastungsverträglichkeit“ ist absolut bereits (sehr) hoch, relativ ist das System jedoch bereits sehr instabil. Trainingspraktisch befindet sich die Athlet:in an einer individuell und zeitlich begrenzten, gerade noch tolerierbaren Belastungsgrenze, was modellhaft mit einer nahezu vollständig ausgeschöpften Anpassungsreserve einhergeht. Ein Mehr an Trainingsbelastung würde nicht zu weiteren muskulären Anpassungen führen. Hier liegt auch begründet, warum bei hochtrainierten Leistungssportler:innen kaum noch Leistungszuwächse zu verzeichnen sind. Der Versuch, entsprechende Belastungen im Training beizubehalten oder sogar noch zu steigern, würde kurz- bis mittelfristig mit einer mehr oder weniger deutlichen Abnahme der Leistung aufgrund der belastungsbedingten Abnahme der Proteinmasse einhergehen. Bei zu kurz bemessenen Regenerationszeiten oder einer nur unvollständigen Regeneration wäre über die Zeit gleichfalls eine erhöhte bzw. schleichende Abnutzung der gegebenen Strukturen zu erwarten, was dann zu mittel- bis langandauernden Leistungseinbußen führt („Übertraining“).
5. Biologisch gesehen verfügt jedes Individuum über ein höchst individuelles Vermögen bzw. eine individuelle „Fähigkeit“, sich und seine Muskeln entsprechend anzupassen (Anpassungsreserve). Die Frage, ob er diese im Laufe seines Trainingsprozesses „optimal“ (aus)nutzen kann, ist weniger eine Frage der methodischen Umsetzung im Training bzw. der einzelnen Trainingsinhalte, sondern vielmehr die Frage, wie sich das jeweilige Training bei ihm auswirkt und zu welchen individuellen (zellulären) Anpassungsausprägungen es führt.
6. In Konsequenz heißt das, dass die jeweiligen (körperlichen) Voraussetzungen und die damit verbundenen Mechanismen von Trainingswirkung und muskulärer Anpassung zentrale und grundlegende Kriterien sind, die im Laufe des Trainingsprozesses stets zu beachten und individuell zu berücksichtigen sind.
7. Ist das Training „optimal“ gestaltet (was immer das inhaltlich und trainingsmethodisch auch bedeutet), dann kann die/der Trainierende auf dem jeweiligen Leistungsniveau einen positiven Effekt erwarten; ist das Training „weniger optimal“, dann wird er/sie seine Leistung verfehlen. Dies passiert meist in Unkenntnis dessen, was und warum bei einem Leistungseinbruch biologisch eigentlich wirklich passiert. Die Tatsache, dass die Sportler:innen „nicht in Form sind“ bzw. ihre tatsächliche Leistung nicht abrufen können, stellt jedoch primär ein physiologisches Problem dar.
8. Das heißt aber auch, dass es keinen einheitlichen „Fahrplan“ zum Ansteuern und Erreichen von hohen und höchsten sportlichen Leistungen

gibt. Es steht außer Frage, dass jede Art von Training neben einem hohen Maß an technischen und motorischen Voraussetzungen aus einem bestimmten, vorab bzw. im Einzelfall nicht genau festzulegendem Umfang und einer individuellen, allerdings nur einem sehr kleinen Rahmen zu variierenden, Intensität besteht, für die es auch keine genau festgeschriebenen Vorgaben und Richtlinien gibt.

9. Das Erreichen eines mittelmäßigen bis hohen Leistungsniveaus stellt auch für viele Athlet:innen und Individuen kein unerreichbares Problem dar und ist im Rahmen der inhaltlich und in bester Absicht gut gemeinten Trainingspläne auch meist durchaus im Rahmen des Möglichen. Das Erreichen der sogenannten individuellen Höchstleistung ist jedoch nicht so einfach planbar und möglich. Erstens stellt sich die Frage, auf welchem Niveau (besonders im Vergleich zur internationalen Konkurrenz) diese überhaupt einzuordnen ist und zweitens, ob es im Einzelfall überhaupt gelungen ist (oder eventuell noch gelingen könnte), die sogenannte „maximale“ Leistung überhaupt zu erreichen bzw. zu einem bestimmten Zeitpunkt auch zu generieren. Biologisch gesehen ist der Zustand der „maximalen Leistungsfähigkeit“ ein extrem labiler Zustand, der, wenn überhaupt, nur sehr zeitbegrenzt realisierbar ist und in der Umsetzung des Trainings nur sehr schwierig bzw. nur näherungsweise und wenig exakt planbar ist.
10. In letzter Konsequenz stellt dieses Verhalten (und somit auch bei den physiologisch orientierten Sportarten und -disziplinen das Erreichen eines hohen Leistungsniveaus) nichts Anderes als einen spezifischen (biologischen) Selektionsprozess auf gegebenem Niveau dar, der allerdings nur dann über eine hoch aufragende Spitze verfügt, wenn von einer entsprechend großen Grundgesamtheit an beteiligten Individuen bzw. Sportler:innen ausgegangen werden kann.

Trotzdem wird (nach wie vor) davon ausgegangen, dass bei einem entsprechenden Training und quasi „optimalen“ Trainingsumfeldbedingungen fast jede gewünschte Leistung im (Hoch-)Leistungssport zu generieren ist. Wäre das der Fall, dann müsste es theoretisch möglich sein, jedes Individuum bei entsprechendem Training und unter quasi „optimalen“ Rahmenbedingungen sozusagen planbar zum „Weltmeister“ zu machen. Jede erfahrene Trainer:in weiß aber, dass dies jedoch so einfach nicht möglich ist. Die Gründe dafür liegen neben dem allgemeinen sport- und gesellschaftspolitischen Umfeld, den strukturellen Rahmenbedingungen und Sichtweisen des bundesdeutschen Spitzensportsystems maßgeblich in den unzureichenden und z. T. falschen (Modell-)Vorstellungen zu den Vorgängen von Trainingsanpassung und -wirksamkeit.

7. Abschließende Bemerkungen

Von Seiten verantwortlicher deutscher Institutionen im (Hoch-)Leistungssport ist ab und an zu vernehmen, dass im deutschen Spitzensport ein „Umsetzungsproblem“ vorhanden ist. Damit scheint gemeint, dass bei einer entsprechend strukturierten und z. T. zentralisierten Umsetzung zahlreiche trainings- und umfeldbedingten Probleme vermeidbar wären. Diese Sichtweise ist so nicht einfach hinnehmbar. Solange verantwortliche Institutionen an inhaltlich z. T. falschen Vorstellungen im Umfeld von Belastung, Training und Anpassung festhalten bzw. diese nach wie vor als deutsches „state of the art“ des Trainings propagieren, werden sich keine Änderungen zum Besseren ergeben. Davon zeugen seit geraumer Zeit auch leider immer wieder das jeweilige Ranking deutscher Mannschaften im Rahmen von sportlichen Großveranstaltungen (OS, WM, EM).

Das scheinbare „Umsetzungsproblem“ ist also vielmehr ein inhaltliches Problem. Dieses gipfelt darin, dass das Primat der naturwissenschaftlichen Einflussgegebenheiten im (Hoch-)Leistungssport zum großen Teil vollständig ignoriert wird, dass nach wie vor eine grundsätzliche Ablehnungshaltung zur Aufklärung der validen biologisch-physiologischen Einflussgrößen und eine entsprechende Ausrichtung zu den damit einhergehenden Trainingsnotwendigkeiten existiert, dass das „Fähigkeitsprinzip“ in der Trainingswissenschaft nach wie vor uneingeschränkte Gültigkeit hat und dass die jeweiligen Inhalte von Belastung und Training zu einem großen Teil immer noch primär methodisch orientiert und entsprechend ausgerichtet sind. Oder besser: Training sollte anpassungsorientiert und nicht methodenorientiert sein.

In letzter Konsequenz münden die o. a. Aussagen alle in der Forderung nach einer entsprechend hohen Qualität, wissenschaftlichen Kompetenz und nachhaltigen Bildung der jeweiligen Ausbildungsinstitutionen für Trainer-, Betreuer- und Sportwissenschaftler:innen. Dieses kann aber nur bei einer entsprechenden Öffnung und kritischen Reflektion aller am (Hoch-)Leistungssport beteiligten Institutionen gelingen und sollte alleine schon aus wissenschaftlich-perspektivischen Überlegungen zeitnah eine wesentliche und vorrangige Aufgabe darstellen.

Literatur

Baasch, G. (1967). *Biochemie des Sports* (Auszugsweise Übersetzung des Lehrbuches "Biochemie" von N. N. Jakowlew). Deutsche Hochschule für Körperkultur.

Fehlig, P. (1975). Amino acid metabolism in man. *Am. rev. Biochem.*, 44. 933.

Gottschalk, K., & Winter, R. (1984). Zu einigen sportmedizinischen Aspekten der Beschleunigung von Wiederherstellungsprozessen im sportlichen Training. *Medizin und Sport*, 24(6), 168–173.

GutsMuths, J. C. F. (1783). *Gymnastik für die Jugend: enthaltend eine praktische Anweisung zu Leibesübungen / ein beytrag zur nöthigsten verbesserung der körperlichen Erziehung*. Schnepfenthal: Buchhandlung der Erziehungsanstalt.

Harre, D. (Red.) (1969, 1977, 1979, 1986). *Trainingslehre. Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings*. (1., 7., 8., 10. Auflage). Sportverlag.

Hartmann, U. (2016). Die unglückliche Genese der Sichtweisen der Trainingswissenschaft: Konsequenzen für die Praxis im (Hoch)Leistungsbereich. In Körner, S., & Erber-Schropp, J. M. (Hrsg.), *Gendoping – Herausforderung für Sport- und Gesellschaft* (S. 103–117). Springer Spektrum.

Hartmann, U., & Mader, A. (1999). Zum Problem von Belastung und Anpassung (unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter Trainingsprinzipien und deren Übertragbarkeit für die Trainingspraxis). In Hartmann, U., & Bleicher, A. (Hrsg.), *Aktuelle Brennpunkte des Nachwuchsleistungssports: Mädchen im Nachwuchsleistungssport - Neue Aspekte des Konditionstrainings*. Berichtsband, 13. Internationaler Workshop, S. 72–88), Eigenverlag MSSKS.

Jahn, F. L., & Eiselen, E. W. B. (1816). *Die deutsche Turnkunst - zur Einrichtung der Turnplätze*. Selbstverlag.

Jakowlew, N. N. (1977). *Sportbiochemie*. Barth.

Jampolskaja, L. J. (1948). Superkompensation des Muskelglykogengehalts in der Erholungsperiode nach Arbeit unterschiedlichen Charakters und unterschiedlicher Dauer. *Bjull. eksper. biol. med.*, 26, 358–360. (aus Smirnov, 1974, S. 463).

Jampolskaja, L. J. (1950). Überkompensation des Muskelglykogengehalts in der Erholungsperiode nach einer Arbeit mit unterschiedlichem Rhythmus und unterschiedlicher Dauer. *Fiziol. Zurn. SSSR*, 36, 749–754. (aus Smirnov, 1974, S. 463).

Krug, J, Wendeborn T., & Hummel, A. (2020). Sportmethodik: Themen, Inhalte, Methoden und Forschungsstand. In Güllich, A., & Krüger, M. (2020). *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit - Handbuch Sport und Sportwissenschaft*. Springer.

Krümmel, C. (1930). *Athletik - Ein Handbuch der lebenswichtigen Leibesübungen*. Lehmanns.

Letzelter, M. (1978). *Trainingsgrundlagen*. Rowohlt.

Mader, A. (1988). A transcription-translation activation feedback circuit as a function of protein degradation with the quality of protein mass adaptation related to the average functional load. *Journal of Theoretical Biology*, 134(2), 135–157.

Mader, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. Ein Beitrag zum Mechanismus der Trainingswirkung und der Kompensation von funktionellen Mehrbelastungen von Organen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41(2), 40–58.

Martin, D. (1977): *Grundlagen der Trainingslehre*. Hofmann.

Matveev, L. P. (1981). *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Sportverlag.

Meerson, F. S. (1969). *Hyperfunktion, Hypertrophie und Insuffizienz des Herzens*. Volk und Gesundheit.

Mellerowicz, H., & Meller, W. (1984). *Training. Biologische und medizinische Grundlagen und Prinzipien des Trainings* (5 ed.). Springer.

Neumann, G. (1974). Die Wiederherstellung im Ausdauertraining und Möglichkeiten der Beeinflussung der Wiederherstellungsprozesse. *Theorie und Praxis des Leistungssports*, 12(7), 103–126.

Neumann, G., Buhl, H., & Scharschmidt, F. (1978). Erfahrungen mit oraler Glukosezufuhr bei Langzeitausdauerbelastungen. *Theorie und Praxis des Leistungssports*, 16(1), 131–144.

Osolin, N. G. (1952). *Das Training des Leichtathleten*. Sportverlag.

Prinzinger, R. (1996). *Das Geheimnis des Alterns*. Campus.

Roux, W. (1895). *Entwicklungsmechanik der Organismen. Functionelle Anpassung* (Erster Band, S. 326 ff). Verlag Wilhelm Engelmann.

Schulze, D., Pfeifer, H., & Reiß, M. (1977). Zur mehrjährigen Trainingsgestaltung in den Ausdauersportarten. *Theorie und Praxis des Leistungssports*, 15(3/4), 3–52.

Smirnov, K. M. (Red.). (1974). *Sportphysiologie*. Volk und Gesundheit.

Thieme, L. (2021). Jung stirbt, wen die Götter lieben? *Ger J Exerc Sport Res*, 50, 280–296.

Waitzer, J. (1937). *Trainingskunde*. Limpert.

Weineck, J. (1983). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre*. Perimed.

Young, V. R., Munro, H. N. (1978). N-methylhistidine (3-methylhistidine) and muscle protein turnover: An overview. *Fed. Proc.*, 37, 2291.

Young, V. R. (1981). Skeletal muscle and whole body protein metabolism in relation to exercise. In Poortmans J., & Niset, G. (ed.) (1981). *Biochemistry of Exercise - Exercise and hormone regulations*. University Park Press.

Verfasser

Hartmann, Ulrich, Univ.-Prof. em. Dr., Professur für Bewegungs- und Trainingswissenschaft der Sportarten, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig