



Beate Beispiel

GENOMETRY HEALTHY SPORT +



Name	Beate Beispiel
Analysennummer	1
Datum	05-02-25

Epigenetik – miRNA Analyse

Kombinierte Analyse von 8 verschiedenen miRNAs, welche den aktuellen Fitness- und Gesundheitszustand bewertet.

Diese Biomarker liefern zusätzliche Informationen über

- Ernährungszustand
- Hydrationsstatus
- Entzündungen
- Verletzungsrisiko und Regeneration
- Kardiovaskuläre Fitness / Ausdauerfähigkeit
 - Muskelstatus
 - Belastungsniveau

Genetik – SNP Analyse

FTO-Gen (Gewichtsabnahme)

ACE und ACTN3 (Sporttyp)

BDNF (Motivation)

ACTN3 (Muskelschäden)

Ihre Analysenprobe wurde nach den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und höchsten Labor-Qualitätsstandards ausgewertet. Die Analyse Ihrer Daten wurde anschließend von unseren Mitarbeitern vorgenommen und von unserem Laborleiter persönlich freigegeben. Hiermit übermitteln wir Ihnen Ihren persönlichen Bericht, der für Sie individuell von uns generiert wurde. Wir bedanken uns herzlich für Ihr Vertrauen und freuen uns über Fragen und Anregungen, um unseren Service kontinuierlich zu verbessern. Wir hoffen, die Analyse erfüllt Ihre Erwartungen. Mit freundlichen Grüßen,

Ihr Team von HealthBioCare

Epigenetik – miRNA Analyse

Mehrere Studien bestätigten den positiven Effekt von regelmäßigem Training auf die geistige und körperliche Gesundheit. Die molekularen Mechanismen, die der trainingsbedingten Fitness in Kombination mit dem persönlichen Lebensstil zugrunde liegen, waren bisher nur sehr kompliziert zu analysieren.

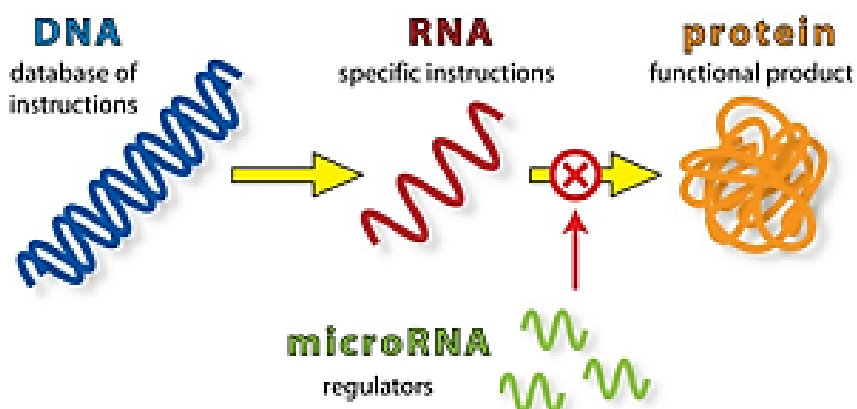
HealthBioCare hat in einer 2-jährigen Studie mit 160 TeilnehmerInnen über 460 verschiedene Stoffwechselfaktoren auf ihre Verwendung als Biomarker getestet. Zur Untersuchung systemischer und zellulärer Veränderungen werden im Healthy Sport Panel zirkulierende microRNAs (miRNAs) als Biomarker verwendet. Diese spiegeln die komplexen Stoffwechselprozesse wider, die während eines Trainingszyklus im Körper ablaufen. Die Analyse von im Blut übertragenen microRNAs ermöglicht HealthBioCare die Bewertung von 8 verschiedenen miRNA-sportrelevanten Biomakern. Egal ob Trainings-BeginnerInnen, fortgeschrittener Profi oder Trainingstypwechsel, durch die Analyse können Sie Ihren persönlichen Stoffwechsel-Zustand erfahren.

HealthBioCare kombiniert Beobachtungen aus molekularen Trainingsmarkern (miRNAs) und gegebenenfalls der Genetik (SNPs) und erstellt so Empfehlungen zu Intension und Frequenz von Ausdauer- und Kraftsportarten, Ernährungs- und Lebensstilfaktoren.

Was sind miRNAs?

Epigenetik – das molekulare Gedächtnis von Umwelteinflüssen

Wie oft der Körper Gene abliest ist sehr verschieden und wird durch Umwelteinflüsse, Ernährung und Lebensstil beeinflusst. Es gibt Möglichkeiten, dass die Informationen auf den Genen vom Körper nicht umgesetzt werden. Ein Grund dafür sind kurze RNA-Stücke, die sogenannten miRNAs. Diese dienen zur Regulierung von Stoffwechselprozessen und können meist mehrere Funktionen gleichzeitig erfüllen. So wird zum Beispiel von einem Enzym oder Protein mehr oder weniger gebildet, da miRNAs die Bildung von Proteinen hemmen können. Diese miRNAs kann man messen. Durch Umwelteinflüsse, Ernährung und Sport können diese miRNAs verändert werden und Einfluss auf unsere Körperfunktionen nehmen.

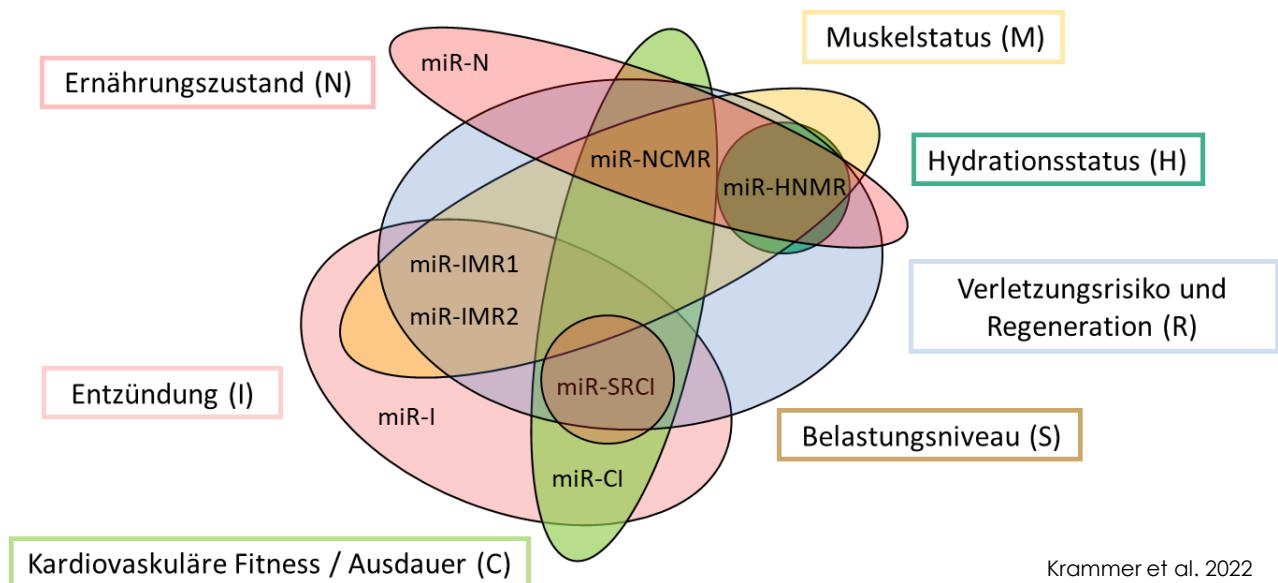


Epigenetik – miRNA Analyse

miRNAs – der HBC Biomarker-Algorithmus

Durch die Analyse von 8 verschiedenen miRNAs kann HBC über einen Algorithmus Ihnen personalisierte Trainings-, Bewegungs- und Ernährungsempfehlung, basierend auf Ihrem zellulären Trainingslevel, geben.

So können Sie Ihr Training individuell optimieren.

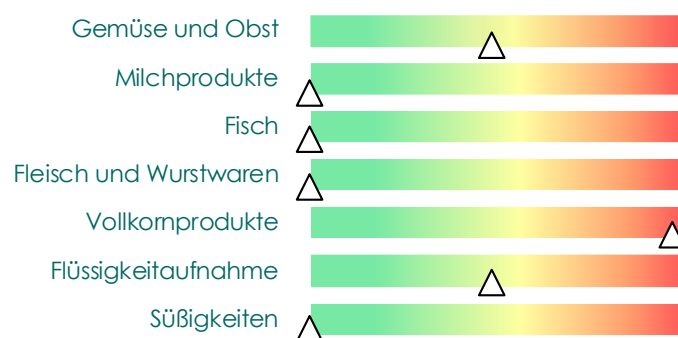


Unsere 8 ausgewählten miRNAs liefern durch unterschiedliche Algorithmen und Kombinationen, Informationen über den aktuellen Zustand Ihres Körpers.

Die obige Abbildung zeigt, wie sich die einzelnen Biomarker (Kategorien) zusammensetzen und welche Funktionen die jeweiligen miRNAs besitzen. Die miR-SRCI zum Beispiel, wird zur Bewertung Ihres Belastungsniveaus, Ihrer kardiovaskulären Fitness, Ihrer Entzündungsgeschehen, sowie Ihres Verletzungsrisikos und Ihrer Regenerationsfähigkeit herangezogen.

Evaluierung Ihres Ernährungs- und Lebensstilfragebogens

Überblick über Ihre Ernährungsgewohnheiten

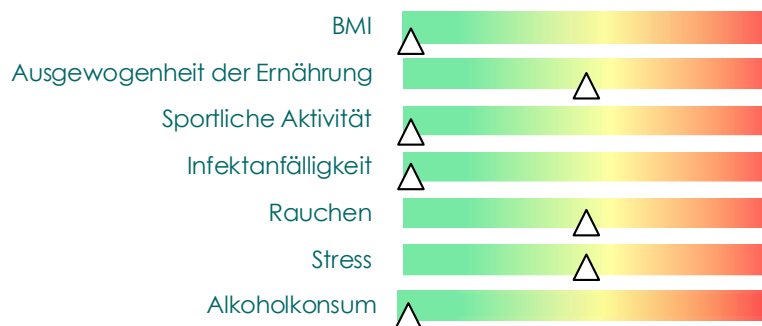


Ihre Ernährung wurde, verglichen mit den WHO- basierten Empfehlungen, wie zum Beispiel der Ernährungspyramide, analysiert. Die Ergebnisse der Ernährungsgruppen sind im Ampelsystem dargestellt.

Ihre Ernährung enthält eine Vielzahl gesunder Lebensmittel, aber es sind weitere Optimierungen möglich. Erhöhen Sie Ihren Gemüsekonsum auf 3 Portionen täglich. Ballaststoffe tragen zu einer längeren Sättigung bei und reduzieren das Risiko für verschiedene Krankheiten. Erhöhen Sie Ihre Ballaststoffaufnahme durch den Konsum von Vollkornprodukten, Samen(schalen) und Gemüse. Achten sie darauf, mindestens 2 Liter Flüssigkeit in Form von Wasser oder ungesüßtem Tee zu trinken.

Evaluierung Ihres Ernährungs- und Lebensstilfragebogens

Überblick über Ihre Lebensstilparameter



Die hier widergespiegelte sportliche Aktivität bezieht sich auf die Empfehlungen des Bundesministeriums für Landesverteidigung und Sport und muss nicht zwingend Ihren persönlichen Bedürfnissen entsprechen.

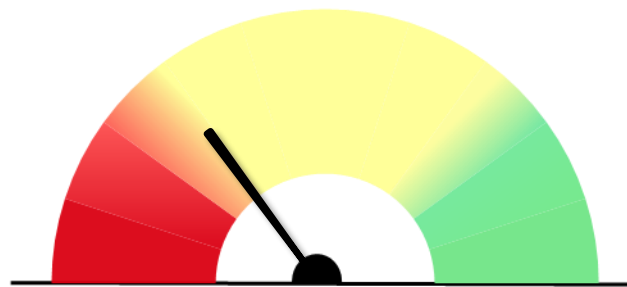
Ihr Lebensstil zeigt ein solides Gleichgewicht in vielen Bereichen. Es gibt Raum für Verbesserungen, aber insgesamt gehen Sie verantwortungsbewusst mit Ihrer Gesundheit um und setzen auf gesunde Gewohnheiten. Achten Sie auf eine vielseitige Ernährung sowie eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr. Vollwertig essen und trinken fördert Gesundheit, Leistung und Wohlbefinden. Nachdem Sie mit dem Rauchen aufhören, beginnt Ihr Körper mit einer Reihe positiver Veränderungen. Machen Sie weiter so, Ihr Körper regeneriert sich immer noch. Eine gute Möglichkeit, um Ihr Stresslevel zu reduzieren, besteht darin, sich für Entspannungstechniken wie autogenes Training, Meditation oder Yoga zu entscheiden. Diese Techniken können Ihnen helfen, sich zu entspannen und Stress abzubauen. Probieren Sie es aus und sehen Sie selbst, wie sich regelmäßige Entspannungsübungen positiv auf Ihr Leben auswirken können!



Fitness- und Gesundheitsscore

Der Fitness- und Gesundheitsscore liefert eine erste allgemeine Bewertung Ihres aktuellen, zellulären Trainings-, Gesundheits- und Ernährungszustandes.

Die einzelne und kombinierte Betrachtung der miRNAs liefert Informationen über Ernährung (z.B. Mikronährstoffstatus), Entzündungen, kardiovaskuläre Fitness, Verletzungsrisiko, Regeneration, Muskelstatus, Flüssigkeitshaushalt sowie Stresslevel und werden auf den nächsten Seiten im Detail erklärt.



**Fitness- und
Gesundheitsscore**

Die Auswertung Ihres Fitness- und Gesundheitsscores zeigt, dass Sie sich in einem leicht unterdurchschnittlichen Bereich befinden. Es gibt noch Luft nach oben für Verbesserungen. Auf den nächsten Seiten erfahren Sie in welchen Kategorien Sie noch optimieren können und erhalten Empfehlungen, wie Sie sich in diesen verbessern können.



Ernährungszustand

Die richtige Ernährung eines Sportler (siehe Anhang) verbessert seine Leistungsfähigkeit und unterstützt seine Regeneration. Die kombinierte Analyse von 3 verschiedenen miRNAs liefert Informationen über Ihren Vitamin- und Mikronährstoffbedarf, sowie Ernährungszustand. Sie geben Aufschluss darüber, ob Sie ausreichend mit den jeweiligen Vitaminen (B-Vitamine, wie z.B. Cobalamin und Folsäure) und Nährstoffen (z.B. Eisen und Magnesium) versorgt sind oder einen trainingsbedingten Mehrbedarf haben.

Ernährungszustand



Ihr Wert für den Biomarker "Ernährungszustand" liegt in einem optimalen Bereich. Sie sind hervorragend mit Nährstoffen (Vitaminen und Mikronährstoffen) versorgt. Um Ihren guten Status beizubehalten, sollten Sie dennoch auf die Aufnahme von Obst und Gemüse achten, sowie von Vollkornprodukten, welche reich an B-Vitaminen und Mikronährstoffen (Magnesium, Eisen und Zink) sind. Vitamin B reiche Lebensmittel sind vor allem grünes Blattgemüse (wie Spinat), Magnesium hingegen finden Sie in Nüssen und Sonnenblumenkernen und Zink in Milchprodukten (wie Käse) oder Hülsenfrüchten.



Hydrationsstatus

Während sportlicher Aktivitäten, vor allem beim Ausdauertraining oder beim Training unter hohen Temperaturen, kommt es aufgrund erhöhter Schweißproduktion und gesteigerter Respiration zu Flüssigkeitsverlusten. Durch eine Dehydration können Ihre physiologischen Körperfunktionen beeinträchtigt und Ihre sportliche Leistungsfähigkeit vermindert werden.

Hydrationsstatus



Ihr Wert für den Biomarker "Hydrationsstatus" liegt in einem durchschnittlichen Bereich. Sie scheinen einen erhöhten Flüssigkeitsbedarf zu haben. Achten Sie darauf mind. 2 l am Tag, bzw. eher 3 l am Tag aufzunehmen und darauf auch während den Trainingseinheiten Flüssigkeit (z.B. isotonische Getränke) aufzunehmen.



Verletzungsrisiko und Regeneration

Es gibt sogenannte endogene (ohne äußere Einwirkung, z.B. durch Überanstrengung) und exogene (mit äußerer Einwirkung) Verletzungen. Wichtig bei der Vorbeugung von Verletzungen, ist die Regeneration bzw. Erholung. Bei ungenügender Erholung / Überforderung des Körpers kommt es zur Stagnation oder sogar zum Leistungsabfall und das Verletzungsrisiko erhöht sich. Die kombinierte Analyse von 5 verschiedenen miRNAs gibt Aufschluss über Ihre aktuelle Regenerationsfähigkeit und damit über Ihr Verletzungsrisiko.

Verletzungsrisiko und Regeneration



Ihr Wert für den Biomarker "Verletzungsrisiko und Regeneration" liegt in einem optimalen Bereich. Achten Sie dennoch auf ausreichende Erholungsphasen zwischen den einzelnen Trainingseinheiten, um Ihrem Körper die Zeit zur Regeneration und zum Leistungsaufbau zu geben. Durch ausreichende Erholung bleibt auch Ihre Konzentrationsfähigkeit erhalten und das Verletzungsrisiko minimiert sich.



Belastungs- / Stressniveau

Stress ist eine Störung der Ruhehomöostase, kann durch Muskeltätigkeit, Temperaturwechsel oder Emotionen ausgelöst werden und erhöht den Energieumsatz. Alle Maßnahmen, die zur Umstellung von der Ruhe- zur Leistungshomöostase erfolgen, werden als Stressreaktion bezeichnet und dienen der Vorbereitung des Organismus auf körperliche Belastung. Dabei unterscheidet man zwischen Eustress (Belastungen entsprechen der Erholungsfähigkeit, die Leistungsfähigkeit wird wiederhergestellt) und Distress (Missverhältnis, Erholung ist unvollständig und die Folge ist chronische Müdigkeit (Burnout) und Leistungsabfall).

Belastungsniveau



Ihr Wert für den Biomarker "Belastungs- / Stressniveau" liegt in einem durchschnittlichen Bereich. Versuchen Sie Ihre Belastungen zu minimieren und Ihre Erholungsphasen zu verlängern / zu optimieren. Dies können Sie erreichen indem Sie Ihre Alltagsbelastungen reduzieren, Zeitdruck vermeiden, Konflikte lösen und Ihr Training periodisieren. D.h. nicht jeden Tag gleich viel trainieren, 1-2 trainingsfreie Tage / Woche und alle 4-6 Wochen eine Erholungswoche einplanen. Zusätzlich können Sie Ihre Erholungsphasen durch Entspannungstechniken verstärken (z.B. autogenes Training, Biofeedback oder "Tee-Pausen").



Kardiovaskuläre Fitness

Die kardiovaskuläre Fitness bezieht sich auf die Wirksamkeit, mit welcher das Herz Blut und Sauerstoff durch den Körper pumpt. Eine gute kardiovaskuläre Fitness ermöglicht dem Sportler länger Sport zu betreiben, senkt das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Osteoporose, unterstützt die Gewichtsabnahme und verbessert die Kondition. Die kombinierte Analyse von 3 verschiedenen miRNAs, welche mit der VO₂max und der genetischen Veranlagung für Ausdauerleistung korrelieren, liefert Informationen über Ihre aktuelle kardiovaskuläre Fitness bzw. Ausdauerleistung.

Kardiovaskuläre Fitness



Ihr Wert für den Biomarker "kardiovaskuläre Fitness" liegt im optimalen Bereich. Um Ihren guten Status zu halten, behalten Sie Ihr derzeitiges Ausdauertrainingprogramm bei.



Entzündung

Sport kann Entzündungen vorbeugen, indem regelmäßige sportliche Betätigung zu einem Anstieg entzündungshemmender Immunzellen (regulatorische T-Zellen) führt und so das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Diabetes reduziert. Auf der anderen Seite schüttet der Körper während körperlicher Anstrengung vermehrt Stresshormone / Entzündungsmarker (wie Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol) aus, mit denen der Körper normalerweise gut zurecht kommt. Kommt es aber z.B. durch Überbelastung zu anhaltenden erhöhten Spiegeln dieser Hormone (v.a. Cortisol) kann dies auch einige negative Effekte haben (z.B. Schlafstörungen, Konzentrationsschwächen, verminderter Muskelaufbau etc.). Die kombinierte Analyse von 5 verschiedenen miRNAs, liefert Informationen über mögliche Entzündungsgeschehen in Ihrem Körper.

Entzündung



Ihr Wert für den Biomarker "Entzündung" liegt in einem optimalen Bereich. Um Ihr Immunsystem weiter zu unterstützen, achten Sie dennoch auch auf Ihre Regeneration (ausreichend Schlaf), Ernährung (Obst und Gemüse, wie Brokkoli und Zitrusfrüchte), Entspannung (Vermeidung von Dauerstress) und Darmflora (Aufnahme von Vollkornprodukte / Ballaststoffe fördern die positiven Darmbakterien, welche immunförderliche kurzkettige Fettsäuren produzieren).



Muskelstatus

Die Qualität des Skelettmuskelgewebes (Größe, Zusammensetzung, Stoffwechsellkapazität) ist ein wesentlicher Aspekt der sportlichen Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Kraft, Schnellkraft, Erschöpfung und Ausdauer eines Sportlers werden vom Muskelstatus bzw. vom Ermüdungs- und Erholungszustandes des Muskels beeinflusst. Eine unzureichende Erholung von durch Training verursachten Muskelschäden führt zudem zur Beeinträchtigung der Leistung. Die kombinierte Analyse von 4 verschiedenen miRNAs liefert Informationen über Ihren aktuellen Muskelstatus bzw. -gesundheit.

Muskelstatus



Ihr Wert für den Biomarker "Muskelstatus" liegt in einem durchschnittlichen Bereich. Achten Sie darauf mindestens 2-mal pro Woche Kraftsport (z.B. Ganzkörpertraining mit Gewichten / eigenem Körpergewicht) zu betreiben. Durch den Aufbau von stoffwechselaktiver Muskelmasse erhöht sich zudem Ihr Grundumsatz und Ihr Verletzungsrisiko kann sich vermindern. Zusätzlich achten Sie auch auf ausreichende Aufwärm- und Abkühlungsphasen, sowie Dehnungseinheiten. Möglicherweise betreiben Sie auch zu viel Krafttraining, sodass sich Ihre Muskeln nicht mehr ausreichend regenerieren können. Achten Sie darauf alle 4-6 Wochen auch eine Regenerationswoche in Ihr Training einzubauen.



SNPs - Resultate

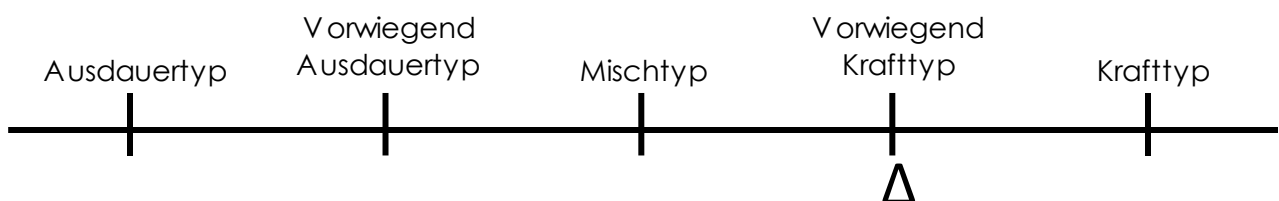
Das *FTO*-Gen gibt einen Hinweis darauf, wie leicht Sie beim Sport abnehmen können oder nicht.

Einfluss von Sport auf das Körpergewicht



Die Analyse Ihres *FTO*-Gens hat ergeben, dass Sie mit Sport allein nur schwer abnehmen können. Sie sollte daher für eine erfolgreiche Gewichtsreduktion zusätzlich zum Sport ein Kaloriendefizit einhalten.

Die Gene *ACE* und *ACTN3* zeigen an, ob Sie genetisch mehr der Kraft- oder Ausdauersporttyp sind.



Auf Grundlage der SNP-Analyse des *ACE* und *ACTN3* Gens sind Sie vorwiegend der Kraftsporttyp. Für Sie sind Kraftsportarten, wie Gewichtheben, Kraft-Dreikampf (Powerlifting: Kniebeugen, Bankdrücken und Kreuzheben) oder auch Bodybuilding besonders geeignet.



SNPs - Resultate

Das *BDNF*-Gen liefert einen Hinweis darauf, wie motiviert Sie sind Sport zu betreiben.

Motivation Sport zu betreiben



Die Analyse Ihres *BDNF*-Gens hat ergeben, dass Sie keine gesteigerte Motivation haben Sport zu betreiben.

Das *ACTN3*-Gen liefert zusätzlich einen Hinweis darauf, wie hoch Ihr Risiko für Muskelschäden und Verletzungen ist.

Risiko für Muskelschäden



Die Analyse Ihres *ACTN3*-Gens hat ergeben, dass Sie ein geringes Risiko für Muskelschäden haben. Achten Sie dennoch darauf, sich vor dem Training aufzuwärmen und anschließend abzukühlen und / oder zu dehnen.



Epigenetisch aktive Pflanzenstoffe – basierend auf Ihrer Analyse

Wirkstoff		Marker	Vorkommen oder aktiviert durch	Verzehrmenge	Anmerkung
Capsaicin		Fat burning miRNA (miR-IMR2)	Paprika- und Chilischoten	0,8 bis 1,5 mg Capsaicin / Tag bzw. 1g Chili-Pulver	Capsaicin ist fettlöslich und hat eine schmerzhemmende und durchblutungsfördernde Wirkung
Betain		Muscle gain miRNA (miR-HNMR)	Quinoa, weißer Gänsefuß, Brokkoli, Spinat, rote Beete	500 bis 2000 mg Betain / Tag	Betain wirkt protektiv gegen Arteriosklerose und Hypertonie und kann auch vom Körper selbst synthetisiert werden
Celastrol		Muskelvitalitäts miRNA (miR-NCMR)	Wilfords Dreiflügelfrucht (eine Pflanze, die in Ostasien beheimatet ist)	30 mg Celastrol / Tag	Celastrol wirkt antioxidativ und entzündungshemmend und ist als Kapseln oder Tropfen erhältlich
Curcumin		Mind miRNA (miR-N)	Kurkuma	max. 300 mg Curcumin / Tag z.B. 5 bis 10 g Kurkuma Pulver	Mit schwarzem Pfeffer (Piperin) & Öl einnehmen. Schwangeren oder stillenden Frauen und Patienten mit Gallensteinen wird von der Einnahme von Curcumin abgeraten
Epigallocatechin gallate (EGCG)	✓	Sport & Lebensstil reflektierende miRNA (miR-I)	unfermentierter Tee z.B. weißer oder grüner Tee	max. 800 mg EGCG/Tag z.B. 1 Tasse grüner Tee enthält ca. 165 mg EGCG	Piperin (Pfeffer), Vitamin C und Fischöl verbessern die Bioverfügbarkeit (Wirkung)
Genistein	✓	Zellerneuerungs miRNA (miR-CI)	Sojabohnen, Kidney-Bohnen, Kirchererbsen, dunkle Schokolade	40 bis 80 mg Rotkleeextrakt / Tag z.B. max. 4 Tassen Rotkleeete	Extrakte sind wirksamer als Pulver Rotkleeete: in 250 ml Wasser 4 bis 6 TL frische Blüten aufgießen, Ziehzeit ca. 10 Minuten
Kaempferol	✓	Überlastungs miRNA (miR-SRCI)	rote Weintrauben, Gingko, Grapefruit, Brokkoli, Rosenkohl, Kartoffeln, Zwiebeln, Kürbis, Salatgurke	200 bis 600 mg Kaempferolextrakt / Tag	Kaempferol wirkt antioxidativ, entzündungshemmend sowie schmerzstillend und ist als Kapseln oder Pulver erhältlich
Proanthocyanidin	✓	Fitness miRNA (miR-IMR1)	Holunderbeeren, Cranberry, Wilde Brombeeren, Hagebutten, Traubenkerne	36 mg Proanthocyanidin / Tag	besonders die Schale, das Kerngehäuse und die Kerne enthalten hohe Mengen an Proanthocyanidinen

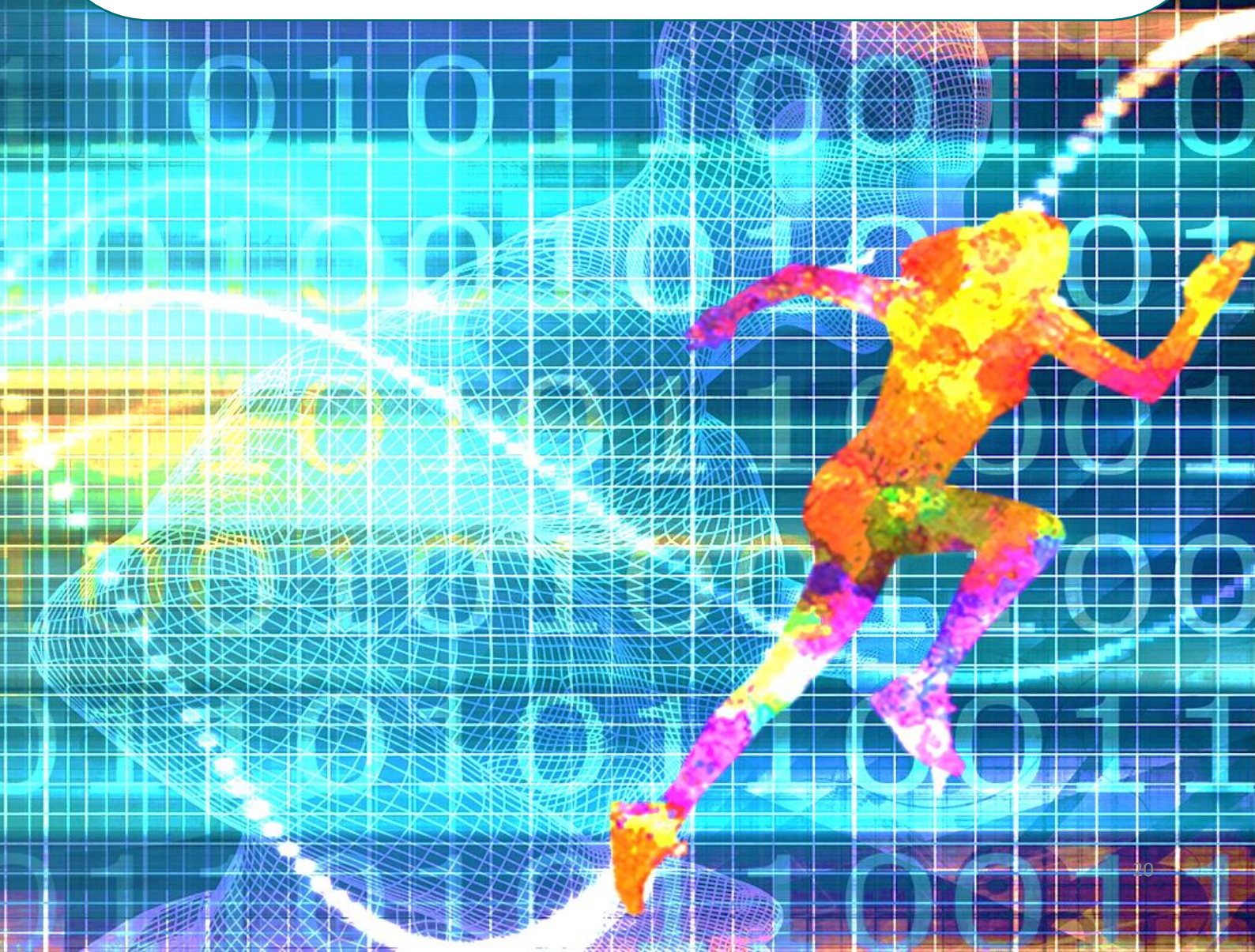


Epigenetisch aktive Pflanzenstoffe – basierend auf Ihrer Analyse

Wirkstoff		Marker	Vorkommen oder aktiviert durch	Verzehrmenge	Anmerkung
Quercetin	✓	Sport & Lebensstil reflektierende miRNA (miR-I)	Zwiebel, Kapern, Liebstöckel, Schnittlauch	mind. 200 mg Quercetin / Tag z.B. 125 g Kapern oder 500 g Zwiebeln	Quercetin ist hitzeempfindlich
		Mind miRNA (miR-N)			
Resveratrol		Muscle gain miRNA (miR-HNMR)	in der Haut von Weintrauben, Himbeeren, Preiselbeeren, rote Johannisbeere und Erdbeeren	150 mg Trans-Resveratrol / Tag	die Menge an Resveratrol ist über die Ernährung nur sehr schwer abdeckbar
		Mind miRNA (miR-N)			
	✓	Überlastungs miRNA (miR-SRC1)			
Selen	✓	Fitness miRNA (miR-IMR1)	Fleisch, Fisch, Eier, Milch- und Getreideprodukte	60 µg / Tag für Frauen 75 µg / Tag für stillende Frauen 70 µg / Tag für Männer	Selen schützt vor allem die Zellmembranen und spielt eine Rolle bei der DNA-Synthese, der Zellteilung und dem Zellwachstum
Sulforaphan	✓	Sport & Lebensstil reflektierende miRNA (miR-I)	Kreuzblütengewächse, wie Kohl und Brokkoli, vor allem in den Brokkolisprossen	25 mg Sulforaphan / Tag z.B. 250 g Brokkoli	Brokkoli nur kurz dünsten oder am besten roh genießen, sonst ist weniger Sulforaphan vorhanden
Vitamin D3	✓	Überlastungs miRNA (miR-SRC1)	Lebertran, Hering, Lachs, Sardine, Austern, Thunfisch, Makrele, Kalbfleisch, Hühnerei	100 µg / Tag (4.000 IE)	Vitamin D3 ist fettlöslich und sollte am besten mit Öl und gemeinsam mit einer Mahlzeit eingenommen werden
Zink		Muskelvitalitäts miRNA (miR-NCMR)	Fleisch, Milchprodukte, Vollkornprodukte	7 bis 16 mg / Tag	neben seiner Rolle im Immunsystem, ist Zink auch beim Zellwachstum und der Wundheilung beteiligt, eine hohe Phytatzufuhr kann die Zinkaufnahme beeinträchtigen

✓ Basierend auf Ihrer epigenetischen Sport Analyse empfehlen wir Ihnen die vermehrte Aufnahme, der in der Tabelle markierten Stoffe.

Ernährungsempfehlungen für Sportler





Inhalt

Tabellenverzeichnis	1
Kohlenhydrate	2
Fette	4
Proteine	5
Literatur	8

Tabelle 1. Kohlenhydratspeicher	2
Tabelle 2. Kohlenhydrat-Zufuhr während Belastung	3
Tabelle 3. Empfohlene Kohlenhydrat-Zufuhr	3
Tabelle 4. Empfohlene Protein-Zufuhr	6
Tabelle 5. Beispiel Ernährungsempfehlung	6
Tabelle 6. Periodisierte Kohlenhydrat-Zufuhr	7



Kohlenhydrate

Kohlenhydrate (= Saccharide) bilden neben den Fetten und Proteinen den größten verwertbaren und nicht-verwertbaren (Ballaststoffe) Anteil an der Nahrung. Sie spielen eine zentrale Rolle als primäre Energiequellen für Zellen und zentrales Nervensystem sowie als Energielieferanten für die Muskulatur während körperlicher Belastung. Bei zunehmender Belastungsintensität nimmt der Anteil der Kohlenhydrate an der Energiebereitstellung zu, während jener der Fette abnimmt. Jedoch ist ihre Speicherkapazität im Körper limitiert¹.

Kohlenhydratspeicher eines Ausdauersportler (ca. 75 kg)

ENERGIESUBSTRAT	MENGE (IN G)	ENERGIE (IN KCAL)	PHYSIOLOGISCHE BESONDERHEIT
BLUTGLUKOSE	4 -6	20 – 24	Mentale Leistungsbereitschaft
LEBERGLYKOGEN	100	400	Blutzuckerspiegel → Gehirn
MUSKELGLYKOGEN	400 – 500	1.600 – 2.000	Schnelle Energiequelle für aktive Muskulatur
UNTERHAUT-FETTGEWEBE	7.000 – 8.000	63.000 – 72.000	Langsame, aber langfristige Energiequelle
INTRAMUSKULÄRE LIPIDE	250 – 600	2.250 – 5.400	Lipidspeicher in der Muskulatur

Tabelle 1. Kohlenhydratspeicher: Angaben nach JEUKENDRUP et al. 1998² und SYLOW et al. 2017³

Kohlenhydrate und intensives Ausdauertraining:

Eine ausreichende Kohlenhydrat-Zufuhr gewährleistet die Leistungsfähigkeit und -bereitschaft des Sportlers. Fortlaufendes Training mit einer chronisch niedrigen Kohlenhydrat-Zufuhr führt zu einer Beeinträchtigung der Trainingsleistung und -anpassung, sowie zu einer erhöhten Neigung für Erschöpfungssymptomen (z.B. Aufgrund erschöpfter Glykogenspeicher und verschlechterter Proteinbilanz)⁴.

Kohlenhydrat-Zufuhr während Ausdauerbelastungen:

Bei einem Mangel an Kohlenhydraten kommt es zu Leistungseinbrüchen und der katabole Stoffwechsel wird verstärkt. Während der Belastung kommt es zu einer Limitierung der Aufnahme- und Oxidationsrate. Durch eine erhöhte Zufuhr „multiple transportable“ Kohlenhydrate (z.B. Maltodextrin und Fruktose) kann die Aufnahme- und Oxidationsrate erhöht werden⁵.

Empfohlene Kohlenhydrat-Zufuhr während körperlicher Belastung:

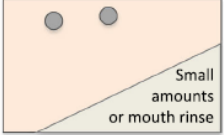
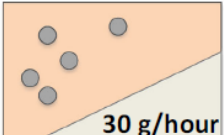
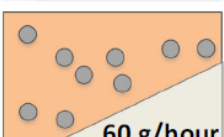
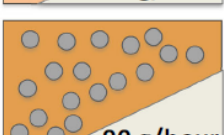
Duration of exercise	Amount of carbohydrate needed	Recommended type of carbohydrate	Additional recommendation
30–75 minutes	 Small amounts or mouth rinse	Single or multiple transportable carbohydrates	Nutritional training recommended
1–2 hours	 30 g/hour	Single or multiple transportable carbohydrates	Nutritional training recommended
2–3 hours	 60 g/hour	Single or multiple transportable carbohydrates	Nutritional training highly recommended
> 2.5 hours	 90 g/hour	ONLY multiple transportable carbohydrates	Nutritional training essential

Tabelle 2. Kohlenhydrat-Zufuhr während Belastung: Diese Empfehlungen sind für gut trainierte Sportler. Für Anfänger sollten diese möglicherweise nach unten angepasst werden⁶.

Kohlenhydrat-Zufuhr und Regeneration:

Eine vollständige Neubildung des Muskelglykogens nach einer sportlichen Belastung dauert in Abhängigkeit der Muskelschädigung etwa 24 Stunden. Für eine rasche und gezielte Wiederauffüllung sollte das „anabole Fenster“ (0 – 4 Stunden nach dem Training) genutzt werden. Während des „anabolen Fensters“ kommt es z.B. zu einer gesteigerten Insulinwirkung und zu einem verbesserten Glukosetransport in die Muskelzellen. Empfohlen werden etwa 1 g Kohlenhydrate pro kg Körpergewicht / pro Stunde in den ersten 4 Stunden⁴.

Empfohlene Kohlenhydrat-Zufuhr bei körperlichem Training:

TÄGL. TRAININGSUMFANG	EMPFOHLENE KH-ZUFUHR	BEISPIEL FÜR 75 KG
Niedrig – moderat	3 – 5 g / kg KG / Tag	225 – 375 g / Tag
Mittel (ab ca. 1 Std.)	5 – 7 g / kg KG / Tag	375 – 525 g / Tag
Hoch (ca. 1 – 3 Std.)	6 – 10 g / kg KG / Tag	450 – 750 g / Tag
Sehr hoch (ca. > 4 – 5 Std.)	8 – 12 g / kg KG / Tag	600 – 900 g / Tag

Tabelle 3. Empfohlene Kohlenhydrat-Zufuhr: Referenzen nach BURKE et al. 2011⁷ und BURKE et al. 2017⁴; KG = Körpergewicht

Fette

Fette gehören zu den Grundnährstoffe des Menschen und werden unter anderem als Energielieferanten, Schutzpolster für innere Organe und „Lösungsmittel“ für fettlösliche Stoffe (einige Vitamine) benötigt. Man unterscheidet zwischen Speicherfett (langfristige Energiereserve über Fettoxidation für Ausdauersport) und Strukturfett (lebensnotwendige Bestandteile aller Körperzellen).

Die Fettoxidation bei körperlicher Belastung wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst ^{8,1,9,10}:

- **Trainingszustand:** Ausdauertraining (Intervall- und Dauertraining) erhöht durch verschiedene Mechanismen (z.B. verbesserte Sauerstoffaufnahme und erhöhte Mitochondriendichte) die Fettoxidation und „schont“ dadurch die Glykogenspeicher.
- **Belastungsintensität:** mit zunehmender Intensität nimmt die Fettoxidation ab.
- **Belastungsdauer:** mit zunehmender Dauer nimmt die Fettoxidation zu.
- Ernährung: hohe Kohlenhydrat-Zufuhr und gefüllte Glykogenspeicher reduzieren die Fettoxidation.
- **Geschlecht:** Frauen zeigen eine höhere Fettoxidationsrate, eine erhöhte Mitochondriendichte und eine erhöhte oxidative Kapazität der Mitochondrien.

Zusätzlich hat Ausdauertraining wesentliche gesundheitsfördernde Effekte, z.B. auf Blutlipide und Insulinsensitivität. Studien zeigten, dass 2 bis 4 Stunden Ausdauertraining pro Woche das HDL-Cholesterin um ca. 2-3 mg / dl erhöht und die Triglyceride um 8-20 mg / dl reduziert¹¹. Ausdauertrainierte Personen zeigten einen erhöhten Umsatz (verstärkte energetische Nutzung und Re-Synthese) von intramuskulären Lipiden, was möglicherweise einen positiven Einfluss auf die Insulinsensitivität hat¹².

Mögliche Ernährungsinterventionen zur Erhöhung der Verwertung von Fetten ^{13,14,15,16}:

- **Koffein:** wirkt leistungssteigernd, zeigt kurzfristige thermogene Wirkungen, erhöht die Ruhestoffwechselrate und erhöht die Freisetzung freier Fettsäuren.
- **Grüner Tee (EGCG):** hat möglicherweise das Potenzial, den Fettstoffwechsel zu steigern und kann dazu beitragen, Körperfett und Körpergewicht zu verlieren. Die Evidenz ist bezüglich Fettoxidation und Praxisrelevanz jedoch noch unzureichend.
- **Carnitin-Supplementierung:** Carnitin spielt eine Rolle beim Transport von Fettsäuren zwischen Cytosol und Mitochondrien. Studien zeigen vereinzelt positive Ergebnisse, insgesamt aber kontrovers und unzureichend.
- **Längerfristige Erhöhung des Fettanteils („fat loading“):** können metabolische Anpassungen im Muskel auslösen (höhere Fettoxidationsraten). Aber aufgrund von suboptimalen Trainingsanpassungen (keine Leistungsverbesserung, schlechtere Sauerstoffverwertung) und der Beeinträchtigung des Abbaus von Muskelglykogen bei intensiver Belastung, ist dies nicht zu empfehlen.
- **Temporäre Manipulation der Kohlenhydratverfügbarkeit** (siehe Exkurs „train low, compete high“): Studien deuten an, dass die Fettoxidation während einer submaximalen Belastung, nach einem Training mit niedrigem Glykogenspeicher, erhöht wird.

Proteine

Proteine (=Eiweiße) bestehen aus Aminosäuren. Insgesamt gibt es 21 verschiedene Aminosäuren, von denen 8 für den menschlichen Körper essenziell sind, da er sie nicht selbst herstellen kann. Eine Hauptaufgabe der Proteine ist der Aufbau und die Erneuerung körpereigener Proteine. Außerdem haben sie vielfältige Funktionen z.B. als Struktur-, Transport-, Hormon- oder Enzymproteine.

Gründe für den **Mehrbedarf an Proteinen** bei körperlichem Training:

- Trainingsinduzierte Neubildung von körpereigenen Proteinen für das Wachstum von Muskelfasern, Mitochondrien, Enzymen, etc.
- Erhöhter Erhaltungsbedarf durch erhöhten Protein-Turnover (gewährleistet Plastizität; siehe Exkurs „Protein-Turnover“)
- Neuwachstum nach belastungsbedingter Muskelschädigung
- Mehrbedarf über die natürliche Ernährung abdeckbar
- Zeitpunkt und Verteilung der Proteinaufnahme wichtig
- Nettoproteinbilanz = Proteinsynthese - Proteinabbau

Proteinzufuhr, Regeneration und Anpassungen an Kraft- und Ausdauertraining^{17,18,19}:

- Trainingsinduzierte Neubildung von Proteinen in der Muskulatur, z.B. mitochondriale Proteine, Myofibrillen und Stoffwechsel-Enzymen, bilden die Grundlage für Trainingsanpassungen.
- Durch eine zum Training zeitnahe Proteinaufnahme wird die Verfügbarkeit von v.a. essenziellen Aminosäuren beschleunigt und anabole Signalwege werden aktiviert. Wodurch es in Folge zu einer verstärkten Muskelproteinsynthese („anaboles Fenster“) kommt.
- Mit zunehmendem Trainingszustand wird die zeitnahe Proteinaufnahme nach dem Training immer wichtiger.
- Weiters nimmt die Effizienz der Muskelproteinsynthese im Alter ab („anabole Resistenz“). Aber auch bei Älteren verstärkt Training die anabolen Effekte einer Proteinaufnahme.
- Effizienz zur Stimulierung der Muskelproteinsynthese: Molke > Casein > Sojaprotein

Dosis-Wirkungsbeziehung und Muskelproteinsynthese^{20,21,22}:

- Für eine maximierte Muskelproteinsynthese ist die Aufnahme von 20 – 25 g Proteine zeitnah zum Training notwendig.
- Generell wird eine etwas höhere Zufuhr (> 25 g) bei intensivem Ganzkörper-Krafttraining und bei älteren Menschen empfohlen. Eine Proteinaufnahme von ≥ 40 g zeigte jedoch keine weiteren vorteilhaften Effekte auf die Muskelproteinsynthese.
- Frühzeitige Aufnahme von 25 g Protein nach dem Training beschleunigt die Verfügbarkeit essenzieller Aminosäuren im Blut und Muskulatur. Dadurch werden anabole Signalwege und die Muskelproteinsynthese verstärkt aktiviert. Mögliche involvierte Mechanismen sind eine erhöhte Insulinwirksamkeit und erhöhte Durchblutung der Muskulatur.
- Weiteres zeigte eine Studie²³, dass eine frühzeitige und dann wiederholte Zufuhr von 20 – 25 g Protein in regelmäßigen Abständen nach dem Training die Muskelproteinsynthese am besten stimuliert (Gabe von 4 x 20 g Protein).
- Eine andere Studie²⁴ zeigte, dass eine kombinierte Zufuhr von 0,4 g Protein / kg Körpergewicht / Stunden und 1,2 g Kohlenhydrate / kg / Stunde nach einem Ausdauertraining, die besten Effekte auf die Muskelglykogen-Resynthese und Muskelproteinsynthese hat.

Krafttraining, Energiedefizit und erhöhte Proteinaufnahme:

Während eines Energiedefizites zur Reduktion des Körperfettanteils kommt es auch zum Verlust von fettfreier Körpermasse. Die Kombination von Krafttraining und erhöhter Proteinaufnahme von ca. 1,6 g Protein / kg Körpergewicht / Tag scheint ausreichend zu sein, um diesem Verlust von Muskelmasse entgegenzuwirken²⁵.

Empfohlene Protein-Zufuhr bei körperlichem Training:

TRAININGSART UND TRAININGSBELASTUNG	EMPFOHLENE PROTEIN-ZUFUHR	BEISPIEL FÜR 75 KG
AUSDAUERTRAINING AB CA. 3 STD WOCHENNETTOTRAININGSZEIT	≥ 1,2 g / kg KG / Tag	90 g / Tag
LEISTUNGSSPORTLICHES AUSDAUERTRAINING	1,6 – 1,7 g / kg KG / Tag	120 – 128 g / Tag
KRAFTTRAINING (TRAININGSAUFBAU)	1,5 – 1,7 g / kg KG / Tag	113 – 128 g / Tag
ZEITNAHE NACH DEM TRAINING	ca. 0,25 – 0,40 g / kg KG	ca. 19 – 30 g

Tabelle 4. Empfohlene Protein-Zufuhr: Referenzen nach PHILLIPS 2014²⁶, McGLORY et al. 2017²⁷, CLOSE et al. 2016²⁸ und VAN VLIET et al. 2018²⁹; KG = Körpergewicht

Exkurs: Beispiel sportwissenschaftliche Beratung

Triathlet (ca. 27 Jahre):

78 kg; 1,83 m;

Grundumsatz von 1.900 kcal;

Beruf mit mittlerer körperlicher Aktivität (PAL = 1,6);

Ausdauertraining von 8 Std. / Woche (Wochennettotrainingszeit);

Krafttraining von 0,75 Std., durchschnittlicher Gesamt-Tages-Energieumsatz von 3.900 kcal

Energiezufuhr und Aufteilung der Makronährstoffe an einem Trainingstag (ca. 1,5 Std Laufen bei mittlerer Intensität, Gesamt-Tages-Energieumsatz von 4.050 kcal):

	KOHLLENHYDRATE	PROTEIN	FETT
G / KG KÖRPERGEWICHT	7,5 g	1,6 g	1,8 g
BEI 78 KG	585 g	125 g	138 g
ENERGIEPROZENT & - ANTEIL	58 % (2.340 kcal)	12 % (500 kcal)	30 % (1.210 kcal)

Tabelle 5. Beispiel Ernährungsempfehlung: Quelle: Skript „molekular-physiologische Aspekte der Sporternährung“ 2019 von Mag. Dr. Oliver Neubauer

Exkurs: train low, compete high ³⁰

Der Füllungszustand der Glykogenspeicher beeinflusst trainingsbedingte Aktivierung von Signalwegen (z.B: AMPK, PGC-1a) in der Muskulatur. Einige Studie zeigen teilweise verstärkte Trainingsanpassungen bei gelegentlichem Training im Glykogenmangel. Vor allem bei Untrainierten bzw. Anfängern kommt es verstärkt zu molekularen Anpassungen und einer deutlicheren Leistungssteigerung ³¹.

- *Train low* bedeutet nicht eine chronisch niedrige Kohlenhydrat-Zufuhr
- Sondern: individuell angepasstes, periodisiertes Integrieren einzelner *train low* Einheiten ins Grundlagen-Ausdauertraining
- Oder morgendliches Nüchterntraining (vermindertes Leberglykogen) oder zweite Trainingseinheit nach moderater Kohlenhydrat-Zufuhr (vermindertes Muskelglykogen)
- Mögliche Relevanz bei leistungssportlichem Ausdauertraining
- Zusätzliche Leistungsverbesserungen bei Trainierten schwieriger zu erzielen.
- Ungeeignet für Trainingseinheiten mit höherer Intensität
- Wichtig: Empfehlungen der täglichen Kohlenhydrat-Zufuhr bleiben gültig

Beispiel Modell für periodisierte Kohlenhydrat-Zufuhr im Leistungssport:

Training Session	CHO Feeding Schedule			
	Pre-Training Meal	During Training	Post-Training Meal	Evening Meal
Day 1: 4-6 hours high-intensity session consisting of multiple intervals >lactate threshold	HIGH	HIGH	HIGH	LOW
Day 2: 3-5 hours low-intensity steady state session at intensity < lactate threshold	LOW	LOW	HIGH	HIGH
Day 3: 3 hours high-intensity session consisting of multiple intervals > lactate threshold.	HIGH	MEDIUM	HIGH	MEDIUM
Day 4: < 1 hour recovery session at intensity <lactate threshold	LOW	LOW	HIGH	HIGH

Tabelle 6. Periodisierte Kohlenhydrat-Zufuhr: Das Modell basiert auf einen Elite-Ausdauersportler (z. B. Rennradfahrer), der an vier aufeinander folgenden Tagen einmal täglich trainiert³².

Exkurs: Protein-Turnover

Wenn ältere Proteine abgebaut werden, müssen sie ersetzt werden (Proteinsynthese). Dieses Konzept wird als Protein-Turnover bezeichnet und verschiedene Arten von Proteinen weisen sehr unterschiedliche Turnover-Raten auf. Ein Gleichgewicht zwischen Proteinsynthese und Proteinabbau ist für eine gute Gesundheit und einen normalen Proteinstoffwechsel erforderlich. Mehr Synthese als Abbau zeigt einen anabolen Zustand an, der mageres Gewebe aufbaut, wohingegen mehr Abbau als Synthese einen katabolen Zustand anzeigt, der mageres Gewebe „verbrennt“³³.

Literatur

1. Loon, L. J. C. Van. Use of intramuscular triacylglycerol as a substrate source during exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 97, 1170–1187 (2004).
2. Jeukendrup, A. E., Saris, W. H. M. & Wagenmakers, A. J. Fat Metabolism During Exercise: A Review II: Regulation of metabolism and the effects of training. *Int. J. Sports Med.* 19, 293–302 (1998).
3. Sylow, L., Kleinert, M., Richter, E. A. & Jensen, T. E. Exercise-stimulated glucose uptake — regulation and implications for glycaemic control. *Nat. Publ. Gr.* 13, 133 (2017).
4. Burke, L. M., Loon, L. J. C. Van & Hawley, J. A. Recovery from Exercise Postexercise muscle glycogen resynthesis in humans. *J. Appl. Physiol.* 122, 1055–1067 (2017).
5. Jentjens, R. L. P. G. et al. Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 100, 807–816 (2006).
6. Jeukendrup, A. A Step Towards Personalized Sports Nutrition: Carbohydrate Intake During Exercise. *Sport. Med.* 44, 25–33 (2014).
7. Burke, L. M. et al. Carbohydrates for training and competition Carbohydrates for training and competition. 19, 17–27 (2011).
8. Achten, J. & Jeukendrup, A. E. Maximal Fat Oxidation During Exercise in Trained Men. *Int. J. Sport. Med.* 24, 603–608 (2003).
9. Talanian, J. L., Galloway, S. D. R., Heigenhauser, G. J. F., Bonen, A. & Spriet, L. L. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J. Appl. Physiol.* 102, 1439–1447 (2007).
10. Montero, D., Edin, F., Madsen, K. & Lundby, C. Sexual dimorphism of substrate utilization: Differences in skeletal muscle mitochondrial volume density and function. *Exp. Physiol.* 103, 851–859 (2018).
11. Durstine, J. L. et al. Blood Lipid and Lipoprotein A Quantitative Analysis. 31, 1033–1062 (2001).
12. Bergman, B. C. et al. Intramuscular triglyceride synthesis: importance in muscle lipid partitioning in humans. *Am. J. Physiol. Metab.* 314, 152–164 (2018).
13. Jeukendrup, A. E. & Randel, R. Fat Metabolism Fat burners: nutrition supplements that increase.
14. Stephens, F. B., Constantin-teodosiu, D. & Greenhaff, P. L. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle. *J. Physiol.* 581, 431–444 (2007).
15. Hawley, J. A. Fat Adaptation Science: Low- Carbohydrate, High- Fat Diets to Alter Fuel Utilization and Promote Training Adaptation. *Sport. Nutr. More Than Just Calories-Triggers Adapt.* 69, 59–77 (2011).
16. Hawley, J. A. & Burke, L. M. Carbohydrate Availability and Training Adaptation: Effects on Cell Metabolism. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 38, 152–160 (2010).
17. Burd, N. A., Tang, J. E., Moore, D. R. & Phillips, S. M. Exercise training and protein metabolism: influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. *J. Appl. Physiol.* 106, 1692–1701 (2009).
18. Burd, N. A., Gorissen, S. H. & Loon, L. J. C. Van. Anabolic Resistance of Muscle Protein Synthesis with Aging. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 41, 169–173 (2013).
19. Tang, J. E. & Phillips, S. M. Maximizing muscle protein anabolism: the role of protein quality. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 12, 66–71 (2009).
20. Moore, D. R. et al. Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men 1 – 3. *Am. J. Clin. Nutr.* 89, 161–168 (2009).
21. West, D. W. D. et al. Rapid aminoacidemia enhances myofibrillar protein synthesis and anabolic intramuscular signaling responses after resistance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 94, 795–803 (2011).
22. Pennings, B., Beelen, M., Senden, J. M. G., Saris, W. H. M. & Loon, L. J. C. Van. Exercising before protein intake allows for greater use of dietary protein – derived amino acids for de novo muscle protein synthesis in both young and elderly men. *Am. J. Clin. Nutr.* 93, 322–331 (2011).
23. Areta, L. et al. Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *J. Physiol.* 591, 2319–2331 (2013).
24. Howarth, K. R., Moreau, N. A., Phillips, S. M. & Gibala, M. J. Coingestion of protein with carbohydrate during recovery from endurance exercise stimulates skeletal muscle protein synthesis in humans. *J. Appl. Physiol.* 106, 1394–1402 (2009).
25. Pasiakos, S. M., Lieberman, H. R. & McClellan, T. M. Effects of Protein Supplements on Muscle Damage, Soreness and Recovery of Muscle Function and Physical Performance: A Systematic Review. *Sport. Med.* 44, 655–670 (2014).
26. Phillips, S. M. A Brief Review of Higher Dietary Protein Diets in Weight Loss: A Focus on Athletes. *Sport. Med.* 44, 149–153 (2014).
27. McGlory, C., Devries, M. C. & Phillips, S. M. Skeletal muscle and resistance exercise training; the role of protein synthesis in recovery and remodeling. *J. Appl. Physiol.* 122, 541–548 (2017).
28. Close, G. L., Hamilton, L., Philp, A. & Burke, L. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic. Biol. Med.* 98, 144–158 (2016).
29. Vliet, S. Van, Beals, J. W., Martinez, I. G., Skinner, S. K. & Burd, N. A. Achieving Optimal Post-Exercise Muscle Protein Remodeling in Physically Active Adults through Whole Food Consumption. *Nutrients* 10, 224 (2018).
30. Gejl, K. D. et al. Changes in metabolism but not myocellular signaling by training with CHO-restriction in endurance athletes. *Physiol. Rep.* 6, 1–13 (2018).
31. Philp, A., Hargreaves, M. & Baar, K. Intracellular Signal for Skeletal Muscle Adaptation More than a store: regulatory roles for glycogen in skeletal muscle adaptation to exercise. *Am. J. Physiol. Metab.* 302, 1343–1351 (2012).
32. Impey, S. G. et al. Fuel for the Work Required: A Theoretical Framework for Carbohydrate Periodization and the Glycogen Threshold Hypothesis. *Sport. Med.* 48, 1031–1048 (2018).
33. Toyama, B. H. & Hetzer, M. W. Protein homeostasis: live long, won't prosper. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 14, 55–61 (2013).



Viel Erfolg und gute
Motivation!

