



Bundesinstitut
für Sportwissenschaft



KINGS-Studie
KRAFTTRAINING IM
NACHWUCHSLEISTUNGSSPORT

KINGS-PRAXIS-MANUAL 2.0

„Krafttraining im Nachwuchsleistungssport“

09/2014–01/2024 inkl. Fortsetzungsprojekt



KINGS-PRAXIS-MANUAL 2.0

„Krafttraining im Nachwuchsleistungssport“

09/2014–01/2024 inkl. Fortsetzungsprojekt

AZ 081901/2014–2019 081901/2020–2024

Colophon

Das KINGS-Praxis-Manual 2.0 soll durch die Angebote des KINGS-Praxisworkshops 2.0 leiten. Es dient weiterhin dazu, Notizen und Ideen zu skizzieren, die später in der eigenen Sport- und Trainingspraxis ausprobiert werden können.

Das KINGS-Praxis-Manual 2.0 beinhaltet grafisch veranschaulichte Ergebnisse der Projektpartner der KINGS-Studie (09/2014–01/2024 inkl. Fortsetzungsprojekt) in Form von graphischen Abstracts, praxisorientierten Zusammenfassungen der wissenschaftlichen Erkenntnisse, Verweise auf digitale Ergebniszusammenfassungen oder Tools und weiterführende Literatur.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über https://www.dnb.de/DE/Home/home_node.html abrufbar.

Herausgeber:

Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp)
Graurheindorfer Str. 198
53117 Bonn
www.bisp.de

Ansprechpartner:

Dr. Andrea Horn
andrea.horn@bisp.de

Autoren:

Prof. Dr. Christian Puta
Prof. Dr. Urs Granacher
Prof. Dr. Adamantios Arampatzis
Prof. Dr. Michael Kellmann
Prof. Dr. Mark Pfeiffer
Prof. Dr. Bernd Wolfarth
Prof. Holger Gabriel
Dr. Falk Mersmann
Dr. Sebastian Bohm
Dr. Thomas Steidten
Dr. Lisa Kulik
Dr. Sarah Jakowski (geb. Kölling)
Theresa Domroes
Brunhild Gabriel
Simon Haunhorst
Willi Müller
Steffen Heth
Roland Blechschmied

Externe Autoren/Unterstützung

Dr. Rami Abou Hamdan, Prof. Dr. Dirk Büsch

Stand:

Juni 2024

KINGS-Praxis-Manual 2.0

„Krafttraining im Nachwuchsleistungssport“

09/2014–01/2024 inkl. Fortsetzungsprojekt

AZ 081901/2014–2019 081901/2020–2024

ISBN:978-3-96523-100-9

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Kein Teil dieses Werkes darf ohne ausdrückliche Genehmigung des Bundesinstituts
für Sportwissenschaft digital oder analog vervielfältigt werden.

Satz & Layout:	A Vitamin Kreativagentur GmbH, Berlin
Umschlag:	A Vitamin Kreativagentur GmbH, Berlin
Druck:	WIRMachenDRUCK GmbH
Umschlagfoto:	Universität Potsdam
Fotos Kapitel 1:	Willi Müller, Steffen Heth, Universität Potsdam
Fotos Kapitel 3:	BISp



Inhaltsverzeichnis

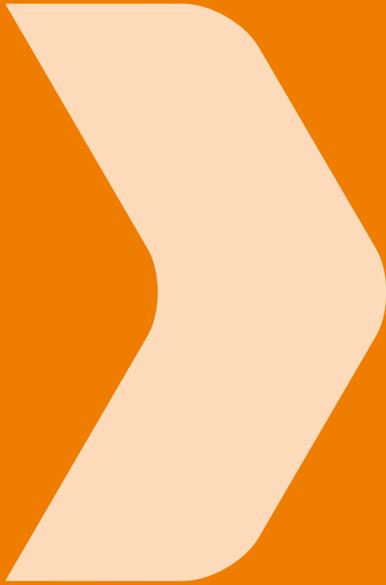
Inhaltsverzeichnis

Grußwort	8
Vorwort	11
1 Erfassung der Krafttrainingskompetenz	14
1.1 Ausgangslage KINGS 1.0	16
1.2 Ziele von KINGS 2.0: Abschätzung der individuellen Krafttrainingskompetenz	17
1.3 Theoretische Überlegungen zur Durchführung der Testbatterie	18
1.4 Testdurchführung	19
1.5 Vorstellung der Testbatterie	20
Klimmzug – Stufe 1	21
Klimmzug – Stufe 2	22
Klimmzug – Stufe 3	23
Klimmzug – Stufe 4	24
Unterarmstütz – Stufe 1	25
Unterarmstütz – Stufe 2	26
Unterarmstütz – Stufe 3	27
Unterarmstütz – Stufe 4	28
Kniebeuge – Stufe 1	29
Kniebeuge – Stufe 2	30
Kniebeuge – Stufe 3	31
Kniebeuge – Stufe 4	32
1.6 Testbewertung und Auswertungsbogen	33
1.7 Einteilung in die vier Stufen des KINGS-Kraftkompetenzmodells	35
1.8 Fallbeispiele	35
1.9 Einordnung des erzielten KINGS-Kraftkompetenzwertes unter Berücksichtigung des biologischen Reifegrades	36
Abbildungsverzeichnis	37
Literaturverzeichnis	39
2 Immunologische Beanspruchung, Monitoring und Concurrent Training	43
Praxisrelevante Forschungsfrage	45
2.1 II-EBZ in der Praxis – Validierung und schnelle präzise Rückmeldung	47
2.2 Validierung des II-EBZ für und mit der Sportpraxis	48
2.2.1 Beispiel für die wissenschaftliche Validierung	48
2.3 Schlaf: II-EBZ und COVID-19 Pandemie	49
2.4 Überführung des II-EBZ in das Datenmanagementsystem “REGmon”	52
2.4.1 Implementierung in Sportpraxis am Beispiel Skeleton	52
2.5 REGmon goes open source	54
2.6 Key-Points: Immunologisches Inventar für Erholungs- und Beanspruchungszustände (II-EBZ)	55
2.6.1 Implikationen für die Sportpraxis	55
QR-Codes	56



2.7	Erforschung der Wirkungen von kombiniertem Kraft- und Ausdauertraining (Concurrent Training)	57
	Praxisrelevante Forschungsfrage	57
2.7.1	Die Auswirkungen von „Concurrent Training“ auf die körperliche Fitness und die sportliche Leistung bei Jugendlichen	57
2.7.2	Sequenzierungseffekte beim Concurrent training und körperliche Fitness im Nachwuchsleistungssport – Fußball	58
2.7.3	Sequenzierungseffekte und immunologische Stressregulation beim „Concurrent Training“ ..	59
2.7.4	Immunologische Regulation über Nacht nach Concurrent Training	60
2.7.5	Akute Effekte von Krafttraining: Untersuchung der immunregulatorischen Myokine	61
2.7.6	Key-Points: Erforschung der Wirkungen von Concurrent Training.....	62
2.7.6.1	Implikationen für die Sportpraxis	62
	Literaturverzeichnis.....	64
3	Muskel-Sehnen-Training.....	68
3	Theoretischer Hintergrund	69
3.1	Funktion von Sehnen und Bedeutung einer ausgewogenen Adaptation von Muskel und Sehne	69
3.2	Anpassung von Sehnen an Belastung	70
3.3	Hinweise für die praktische Umsetzung von Sehnentraining.....	71
3.4	Übungsbeispiele.....	73
3.4.1	Übungen für die Patellarsehne.....	73
3.4.2	Übungen für die Achillessehne.....	75
3.5	Wirksamkeitsbelege und Perspektiven	76
3.5.1	Verbesserung der Laufökonomie bei Ausdauerläufer:innen.....	76
3.5.2	Prävention und Linderung von Sehnenbeschwerden bei jugendlichen Ballspielern.....	76
3.5.3	Therapie bei chronischer Tendinopathie.....	76
3.5.4	Perspektive: Personalisierte Regelung der Trainingsbelastung	76
	Literaturverzeichnis.....	78
4	KINGS digitales Starterpaket für die Praxis.....	81





Grußwort

Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp)

Andrea Schumacher

Direktorin des Bundesinstituts für Sportwissenschaft



Andrea Schumacher

 Direktorin des Bundesinstituts für Sportwissenschaft

Liebe Leserin, lieber Leser,

Die Bedeutung des Sports für unsere Gesellschaft kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. Er fördert nicht nur die Gesundheit und das soziale Miteinander, sondern vermittelt auch wichtige Werte wie Fairness, Resilienz und Teamgeist. Diese Aspekte sind gerade in Zeiten gesellschaftlicher Veränderungen und Herausforderungen unverzichtbar.

Die Zukunft des Sports in unserer Gesellschaft zu gestalten muss bei den Kindern und Jugendlichen beginnen. Ihnen einen guten Weg in den Leistungssport zu eröffnen und auf ihrem individuellen Entwicklungsweg hin zu hoffentlich Top Athletinnen und Athleten zu fördern und unterstützen, stellt zugleich eine große Verantwortung und Herausforderung dar. Im Mittelpunkt stehen hier die Trainerinnen und Trainer, Lehrerinnen und Lehrer und sonstige Verantwortliche rund um die heranwachsenden Athletinnen und Athleten. Sie tragen mit ihrer fachlichen Expertise und persönlichem Engagement entscheidend zum Gelingen der sportlichen Entwicklungen bei.

Das interdisziplinäre Verbundprojekt KINGS 2.0 – wie zuvor auch KINGS 1.0 – spiegelt das Engagement des BISp und der Projektgruppe wider, den Nachwuchsleistungssport auf eine wissenschaftlich fundierte Basis zu stellen. Dabei waren im

Jahr 2020 alle Pläne und Aktivitäten zu Beginn von KINGS 2.0 jäh auf Stillstand gesetzt worden. Die Pandemie hat den Sport und auch die Forschung im Praxisfeld hart getroffen. Doch Stillstand bedeutet auch immer Chance zum Innehalten, zur Reflexion und zur Neuausrichtung. Die Arbeitsgruppe um Professor Puta und damals noch unter dem Leiter Professor Granacher hat diese Chance genutzt und dort alternative Lösungswege entwickelt, wo es notwendig war. Umso größer sind die Erfolge zu werten, die das KINGS-2.0-Team nun, am Ende der Projektarbeit, präsentieren kann. Dabei darf ein wichtiger Punkt nicht unerwähnt bleiben. Von entscheidender Bedeutung für das Gelingen des Projektes war die enge Kooperation mit einem breiten Praxisnetzwerk aus dem Nachwuchsleistungssport, das über Jahre aufgebaut und etabliert werden konnte. Mein Dank gilt daher auch an alle Projektpartnerinnen und Projektpartner in den Verbänden, Vereinen, Schulen und weiteren Institutionen für ihr Vertrauen und ihre Mitwirkung in dieser Studie.

Unter den Prämissen Leistung entwickeln und Gesundheit bewahren hat KINGS 2.0 nicht nur Antworten auf drängende Fragen gefunden, sondern auch Verfahren entwickelt, die direkt aus den Bedürfnissen der jungen Athletinnen und Athleten und ihrer Trainerinnen und Trainer entstanden sind – Bedürfnisse, die teilweise erst durch



die vorangegangene Arbeit in KINGS 1.0 sichtbar wurden.

Mit dem vorliegenden Manual soll ein anschaulicher und verständlicher Überblick über die zentralen Ergebnisse und Entwicklungen aus KINGS 2.0 vermittelt werden. Es folgt inhaltlich dem am 17. Juni 2024 im Berliner Sportforum stattfindenden Praxis-Symposium und wird damit hoffentlich wertvolle Anregungen und Impulse für die eigene praktische oder wissenschaftliche Arbeit im Nachwuchsleistungssport vermitteln.

Ich möchte allen Beteiligten des Forschungsprojektes KINGS 2.0 für ihr Engagement und ihre harte Arbeit danken. Ihre Erkenntnisse werden dazu

beitragen, den deutschen Nachwuchsleistungssport weiter voranzubringen und die Zukunft des Sports in unserem Land positiv zu gestalten.

Allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern des KINGS-2.0-Symposiums wünsche ich einen inspirierenden und erkenntnisreichen Austausch.

Herzlichen Dank an alle – für Ihre Arbeit, Ihr Vertrauen und Ihre Leidenschaft für den Sport.

Andrea Schumacher

Direktorin des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp)





Vorwort

apl. Prof. Dr. Christian Puta

Wissenschaftliche Leitung KINGS 2.0

Dr. Andrea Horn

Bundesinstitut für Sportwissenschaft

Publikation des konzeptuellen Ansatzes für KINGS:



KINGS – Fundierung eines konzeptuellen Modells

Das Forschungsprojekt „Krafttraining im Nachwuchsleistungssport“ (kurz: KINGS) im wissenschaftlichen Verbundsystem Leistungssport (WVL) wurde durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) im ersten Förderzyklus von 2014-2019 und im zweiten Förderzyklus von 2020-2024 gefördert. Der Fokus von KINGS und KINGS 2.0 war es, Effekte von Krafttraining im Nachwuchsleistungssport aus den Perspektiven Leistung und Gesundheit zu untersuchen und praktische Implikationen abzuleiten. Beide Projektlaufzeiten waren geprägt durch enge Kooperationen zwischen dem interdisziplinären wissenschaftlichen Projektteam und einem breiten Netzwerk von außeruniversitären Projektpartnern im Nachwuchsleistungssport. In diesem Netzwerk und darüber hinaus wurde die Übertragung der wissenschaftlichen Erkenntnisse in die Sport- und Trainingspraxis kontinuierlich und fokussiert vorangetrieben.

Ein bedeutsamer Erkenntnisgewinn lag in der Entwicklung eines konzeptionellen Modells zur Implementierung von Krafttraining während der unterschiedlichen Etappen des langfristigen Leistungsaufbaus. Das 2016 publizierte „KINGS-Modell“ war Basis und Orientierungsrahmen auch für KINGS 2.0. Es hat bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt 155 Zitate erlangt und sich im Nachwuchsleistungssport national und international etabliert. Ein zentraler Ausgangspunkt des KINGS-Modells war die Implementierung von Krafttraining unter Berücksichtigung der biologischen Reife und den Phasen des langfristigen Leistungsaufbaus (siehe Abb. 2 im Kapitel Erfassung der Krafttrainingskompetenz).

Nach erfolgreichem Abschluss des ersten Förderzyklus bis 2019 (siehe KINGS-Praxis-Manual 1) waren die wesentlichen Ziele von KINGS 2.0:

1. Die Ausarbeitung des theoriegeleiteten, konzeptionellen KINGS-Modells zur Implementierung unterschiedlicher Krafttrainingsmethoden in die Etappen des langfristigen Leistungsaufbaus zu einem evidenzbasierten Modell bzgl. Leistung, Adaptation und Gesundheit. Hiermit sollte v. a. für die Sportpraxis ein valides und praktikables Instrument für die Gestaltung von Krafttraining im Nachwuchsleistungssport geschaffen werden.
2. Die Erforschung der Wirkungen von kombiniertem Kraft- und Ausdauertraining (sog. Concurrent Training) im Nachwuchsleistungssport.
3. Die Empfehlung evidenzbasierter Leitlinien zum digitalen Erkenntnistransfer.

Das KINGS-Praxis-Manual 2.0 (Juni 2024) sowie das KINGS-Praxis-Manual 1 (Mai 2019) haben zum Ziel, Erkenntnisse für die Sport- und Trainingspraxis zur Verfügung zu stellen. Die dafür ausgewählten Themen sind in Form von Themenblöcken nach Leitfragen oder Themenfeldern zusammengestellt. Beide Manuale enthalten zusätzlich Hinweise für den digitalen Erkenntnistransfer in Form verschiedener Medien (Homepage, KINGS-Blog, YouTube-Channel des BISp, Fachzeitschrift Leistungssport, Frontiers Research Topic, WISS-Netz).



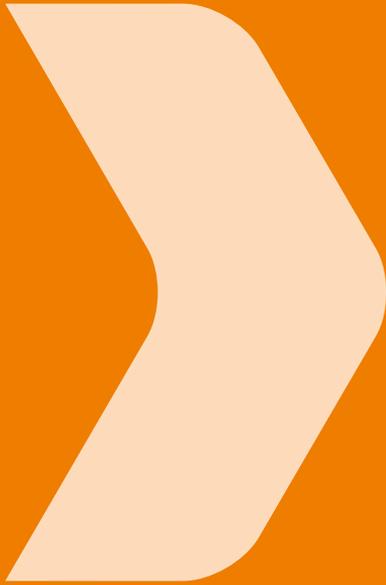
Das KINGS-Praxis Manual 2.0 begleitet das KINGS 2.0 Praxissymposium am 17. Juni 2024 im Sportforum Berlin. Es fokussiert auf die Workshop-Angebote mit drei ausgewählten Themenfeldern:

- › Krafttrainingskompetenz
- › Immunologische Beanspruchung, Monitoring und Concurrent Training.
- › Muskel-Sehnen-Training und Plyometrie

Wir wünschen Ihnen viel Freude bei den verschiedenen Workshopangeboten. Suchen Sie die Interaktion und die konstruktive kritische Diskussion untereinander und mit uns Wissenschaftlern sowie dem BISp.

Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle der Senatsverwaltung für Inneres und Sport, Abt. Sport/Vergabestelle – Sportforum Berlin sowie dem OSP Berlin für die Unterstützung.





1 Erfassung der Krafttrainingskompetenz

Autoren

Prof. Dr. Urs Granacher, apl. Prof. Dr. Christian Puta, Willi Müller,
Steffen Heth, Roland Blechschmied

Externe Unterstützung: Dr. Rami Abou-Hamdan,
Prof. Dr. Dirk Büsch

1.1 Ausgangslage KINGS 1.0

Bis in die 1980er Jahre rieten ExpertInnen und Fachgesellschaften (z.B. American Academy of Pediatrics) von Krafttraining mit Heranwachsenden ab. Zu hoch seien die Intensitäten für den noch unzureichend entwickelten Stütz- und Bewegungsapparat von Kindern und Jugendlichen und damit bestünde die Gefahr eines gestörten Längenwachstums durch Verletzungen an Epiphysenfugen, Knochen und/oder Bindegewebe (Faigenbaum et al., 2016; Faigenbaum & McFarland, 2023). Ein Großteil des Wissens zur Relevanz der Muskelkraft und zu den Wirkungen von Krafttraining im Kindes- und Jugendalter wurde lange Zeit von TrainerInnen und ExpertInnen anekdotisch überliefert bzw. war unzureichend erforscht (vgl. Abb. 1). Vermehrte Forschungstätigkeiten in den letzten Jahrzehnten belegen jedoch eindrücklich sowohl die Sicherheit als auch die Effektivität von supervisioniertem Krafttraining mit Heranwachsenden (Lesinski et al., 2016; Prieske et al., 2016).

Das Forschungsprojekt „Krafttraining im Nachwuchsleistungssport“ (kurz: KINGS) im wissenschaftlichen Verbundsystem Leistungssport (WVL) wurde durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) im ersten Förderzyklus von 2014-2019 gefördert. Ausgewiesene Projektziele waren die Erforschung der Wirkungen und physiologischen Anpassungsprozesse an Krafttraining bei NachwuchsathletInnen aus den Perspektiven Leistungsentwicklung und Gesundheit. Eine zentrale Errungenschaft dieser Forschungsarbeiten ist die Entwicklung und Einführung des sog. KINGS-Modells zur Implementierung von unterschiedlichen Krafttrainingsmethoden in die Etappen des langfristigen Leistungsaufbaus. Das Modell enthält vier Kompetenzstufen und berücksichtigt für die Zuordnung eines Individuums in die vier Stufen die individuell ausgeprägte Krafttrainingskompetenz und den biologischen Reifegrad (vgl. Abb. 2).

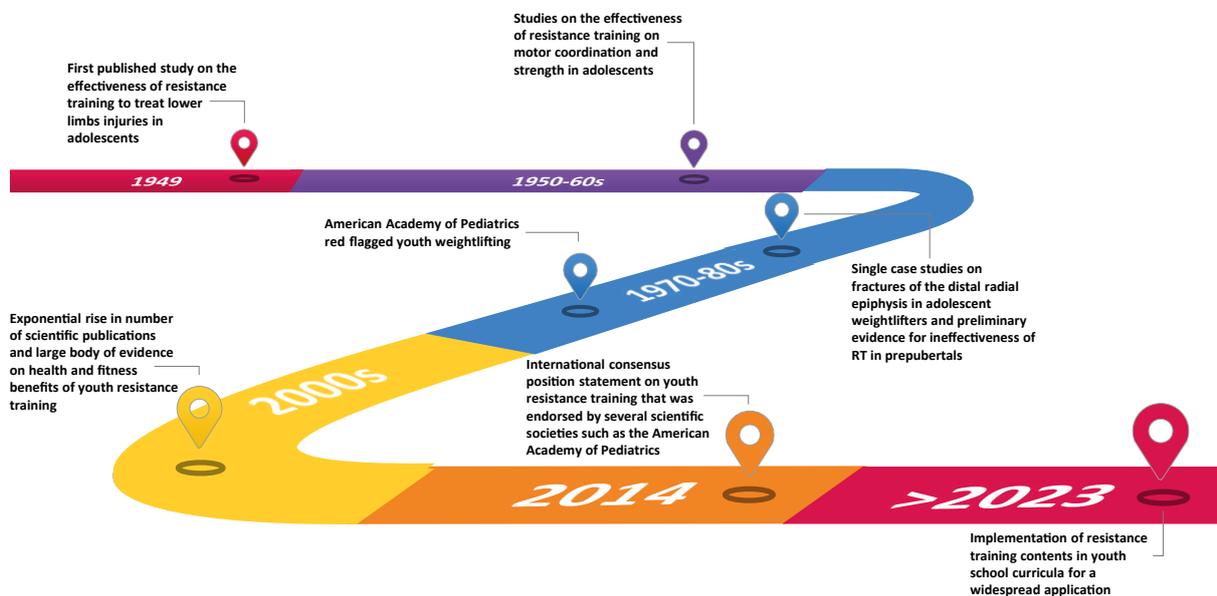


Abbildung 1: Auflistung von Studien über die vergangenen Dekaden zu den Wirkungen von Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen. Die dargelegten Kontraindikationen aus den ersten frühen Arbeiten konnten in der Zwischenzeit widerlegt werden (Granacher & Behm, 2023)



Frühes Kindesalter	Spätes Kindesalter	Jugendalter	Erwachsenenalter
Kalendarisches Alter			
weiblich: 6-8 Jahre männlich: 6-9 Jahre	weiblich: 9-11 Jahre männlich: 10-13 Jahre	weiblich: 12-18 Jahre männlich: 14-18 Jahre	weiblich: > 18 Jahre männlich: > 18 Jahre
Biologisches Alter			
Tannerstadium I	Tannerstadium I-II	Tannerstadium III-IV	Tannerstadium V
Reifungsphase			
präpubertär (prä PHV)	präpubertär (prä PHV)	pubertär (während PHV)	postpubertär (post PHV)
Etappe im langfristigen Leistungsaufbau			
Grundlagentraining	Aufbautraining	Anschlussstraining	Hochleistungstraining
Langfristige Entwicklung der Muskelkraft (Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer)			
Stufenweiser Anstieg der Krafttrainingskompetenz			
Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
<ul style="list-style-type: none"> - Koordinationstraining - Gewandtheitstraining - Gleichgewichtstraining - Kraftausdauertraining mit dem eigenen Körpergewicht/Zusatzgeräten (z. B. Medizinball) und dem Fokus auf die richtige Ausführungstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> - Gleichgewichtstraining - Plyometrisches Training in Form von spielerischem Üben (z. B. Seilspringen) mit dem Fokus auf die richtige Landetechnik, aber ohne Zusatzlast - Rumpfkrafttraining - Kraftausdauertraining mit dem eigenen Körpergewicht/Zusatzgeräten (z. B. Medizinball) - Freihanteltraining mit dem Fokus auf die richtige Ausführungstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> - Gleichgewichtstraining - Plyometrisches Training (Niedersprünge von geringen Höhen), aber ohne Zusatzlast - Rumpfkrafttraining - Freihanteltraining mit leichten bis mittleren Lasten - Maximalkrafttraining (Hypertrophie) an altersgerechten Maschinen oder mit Freihanteln - exzentrisches Krafttraining mit kontrollierter, langsamer Ausführung 	<ul style="list-style-type: none"> - Gleichgewichtstraining - Plyometrisches Training (Niedersprünge von mittleren Höhen) - Rumpfkrafttraining - Freihanteltraining mit mittleren bis hohen Lasten - Maximalkrafttraining (intra-muskuläre Koordination und Hypertrophie) an altersgerechten Maschinen oder mit Freihanteln - Sportartspezifisches Krafttraining
Trainingsbedingte Anpassungen			
Neuronale Anpassungen		Hormonelle/neuronale/muskuläre/tendinöse/skelettale Anpassungen	
<small>Legende: PHV = Peak-Height-Velocity (dt.: Zeitpunkt des Eintritts in den Wachstumsspur)</small>			

Abbildung 2: KINGS-Modell zur Implementierung verschiedener Krafttrainingsmethoden in die Etappen des langfristigen Leistungsaufbaus (modifiziert nach Granacher et al., 2016, S. 6) Vergleiche auch: https://www.youtube.com/watch?v=sc0S_hsZ_sU

1.2 Ziele von KINGS 2.0: Abschätzung der individuellen Krafttrainingskompetenz

Auch während des zweiten Förderzyklus von 2020 bis 2024 wurde das WVL-Projekt KINGS 2.0 durch das BISp gefördert. In KINGS 2.0 wurden auf Grundlage der Erkenntnisse aus der ersten KINGS-Untersuchungswelle und den Nachfragen aus der Sportpraxis ein Verfahren entwickelt, um NachwuchsleistungssportlerInnen anhand ihrer individuell ausgeprägten Krafttrainingskompetenz in die vier Kompetenzstufen des KINGS-Modells aus

der Förderphase 1 einzuordnen. Dadurch können unterschiedliche Krafttrainingsmethoden im Nachwuchsleistungssport auf der Grundlage der individualisiert erfassten Krafttrainingskompetenz und unter Berücksichtigung des biologischen Alters angewandt werden.

Das Ziel dieses Handbuchs ist es, TrainerInnen und LehrerInnen anhand der auf den folgenden Seiten vorgestellten Testbatterie eine schnelle und praktische Einschätzung der Krafttrainingskompetenz ihrer AthletInnen zu ermöglichen. Im Anschluss können unter Berücksichtigung des biologischen Reifegrades individuelle Trainingsempfehlungen abgeleitet werden.



Für die Bestimmung des biologischen Reifegrades auf der Grundlage anthropometrischer Merkmale steht bereits eine valide, praktikable und ökonomische Methode (stehende/sitzende Körperhöhe) zur Verfügung (Mirwald et al., 2002). Diese wird im folgenden Youtube Video beschrieben: (https://www.youtube.com/watch?v=L-vnUY_fd-k).

1.3 Theoretische Überlegungen zur Durchführung der Testbatterie

Die im Folgenden beschriebene Testbatterie zur Abschätzung der Krafttrainingskompetenz wurde in Anlehnung an aktuelle Krafttrainingstests für Kinder und Jugendliche entwickelt. Da sich bereits vorhandene Testbatterien von Lubans (Lubans et al., 2014) sowie Radnor und Kollegen (Radnor et al., 2020) als zeitaufwendig erwiesen, wurde eine eigene Testbatterie zur Abschätzung der Krafttrainingskompetenz entwickelt. Diese Tests zielen auf die Muskulatur der oberen und unteren Extremitäten sowie des Rumpfes ab (vgl. Abb. 3).

Die drei Krafttests zur Abschätzung der Krafttrainingskompetenz können mit wenig materiellem Aufwand umgesetzt werden. Das notwendige Material (mit Ausnahme der Gewichtswesten) sollte sich in einer „regulär“ ausgestatteten Sporthalle

befinden. Zur Durchführung der drei Tests werden die folgenden Materialien benötigt:

1. Klimmzugstange (ggf. an Sprossenwand),
2. kleiner Medizinball, (Masse = 2 kg)
3. Gymnastikhocker (Höhe = 40 cm)
4. Gewichtsweste mit 30 kg beladbaren Zusatzlasten in 1 kg Platten

Die notwendigen Testmaterialien wurden auf den entsprechenden Testkarten vermerkt (vgl. S. 21 Handbuch). Darüber hinaus sind die ausgewählten Übungen für die Tests in der fachwissenschaftlichen Literatur etabliert (Drenowatz, 2020; Ervin et al., 2014).

Für die Muskulatur der oberen Extremitäten wurde der modifizierte Klimmzug ausgewählt, der die Aktivierung eines großen Anteils der Muskulatur in den oberen Extremitäten erfordert (Drenowatz, 2020). Aufgrund der geneigten Testausgangsposition beim modifizierten Klimmzug mit Kontakt der Füße zum Boden muss der Athlet/die Athletin lediglich eine Last von ~30% der eigenen Körpermasse tragen (Gulmez, 2017). Beim zweiten Test handelt es sich um eine Modifikation des Unterarmstütz zur Erfassung der Krafttrainingskompetenz im Bereich der Rumpfmuskulatur.

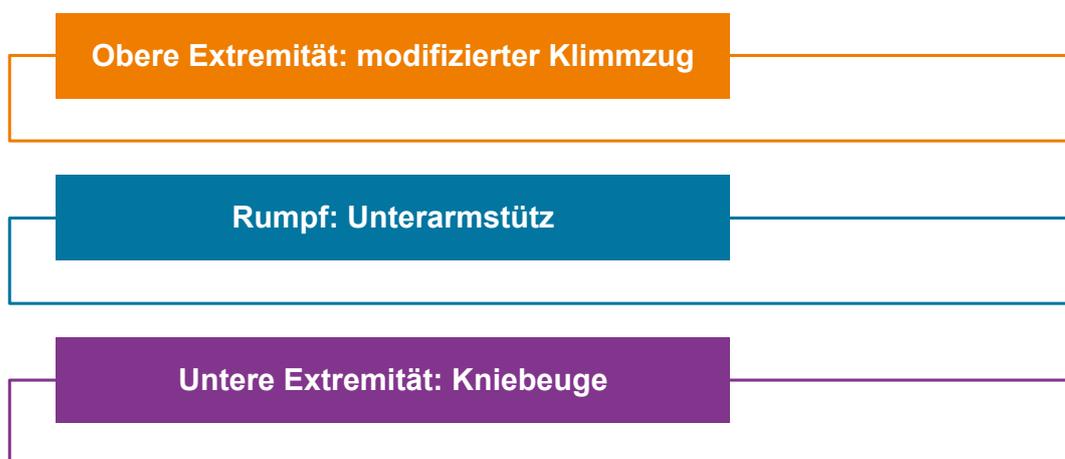


Abbildung 3: Die drei Tests zur Abschätzung der Krafttrainingskompetenz. Die Tests werden nachfolgend mit ansteigenden Komplexitätsniveaus vorgestellt



Variationen dieses Tests werden in der fachwissenschaftlichen Literatur häufig genutzt (Becker et al., 2019; Boyer et al., 2013; Tschopp, 2001). Der dritte Test zur Abschätzung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der unteren Extremitäten beinhaltet verschiedene Variationen der Kniebeuge (Lubans et al., 2014). Die Reihenfolge der drei Tests kann variiert werden, sollte aber bei Testwiederholungen identisch sein.

1.4 Testdurchführung

Für jeden KINGS-Test wurden vier Variationen mit ansteigendem Komplexitätsgrad entwickelt, die sich an den Vorgaben des vierstufigen KINGS-Modells (Granacher et al., 2016) orientieren (vgl. Abb. 4). Stufe 1 verlangt von den AthletInnen die Durchführung des Tests unter isometrischen (statischen) Bedingungen und mit entsprechender Haltearbeit über einen Zeitraum von 10 s. In Stufe 2 kommt die dynamische Testausführung mit der eigenen Körpermasse hinzu, d.h. die Testübung soll unter exzentrischen und konzentrischen Kontraktionen realisiert werden. Hierbei werden insgesamt zwei Serien mit jeweils vier Wiederholungen durchgeführt. Die dritte Kompetenzstufe beinhaltet Tests mit der eigenen Körpermasse bei erhöhtem Komplexitätsgrad. In dieser Stufe wird ein Zusatzgerät (z.B. Turnkasten) oder eine zusätzliche Bewegungsaufgabe (z.B. Anheben von

Armen und/oder Beinen im Unterarmstütz) zur Erschwerung des Tests hinzugefügt. Auf der vierten Stufe wird der Test mit Zusatzlast absolviert. Um gleiche Bedingungen für alle AthletInnen auf dieser Stufe herzustellen, wird mit einer Gewichtsweste gearbeitet. Vorteil der Gewichtsweste ist die gleichmäßige Verteilung der zusätzlichen Last auf den gesamten Oberkörper. Darüber hinaus kann das Gewicht individuell angepasst werden. In der Regel hat die Gewichtsweste 1-kg Platten, die herausgenommen oder hinzugefügt werden können. Das hier verwendete Zusatzgewicht liegt bei max. 30% der eigenen Körpermasse.

Die Tests werden auf der ersten Komplexitätsstufe für die drei Muskelgruppen (untere und obere Extremitäten, Rumpf) begonnen. Auf jeder Stufe innerhalb eines Tests haben die AthletInnen zwei Versuche, um die jeweilige Teststufe erfolgreich durchzuführen (erfolgreiche Durchführung = alle Kriterien erfüllt). Zwischen den beiden Versuchen erfolgt stets eine 30 s Pause. Ist der Athlet/die Athletin bereits beim ersten Versuch erfolgreich, kann der zweite Versuch übersprungen und direkt mit der nächsten Stufe begonnen werden. Zwischen den Stufen wird eine zweiminütige Pause empfohlen. Gelingt es den AthletInnen nach zwei Durchgängen in einer Stufe nicht, alle Kriterien zu erfüllen, wird er/sie in die zuletzt erfolgreich und vollständig absolvierte Stufe eingeordnet. Vor jedem Test können den Testpersonen



Abbildung 4: Progressive Stufen des Tests zur Bestimmung der Krafttrainingskompetenz mit ansteigendem Komplexitätsgrad der Übungen



Instruktionsvideos (https://www.youtube.com/watch?v=475_pTrmBQk) vorgespielt werden, in denen die Testdurchführung erklärt wird. Mittels der Videoaufnahmen können die AthletInnen eine bessere Bewegungsvorstellung erlangen. Die TrainerInnen/LehrerInnen beobachten die Durchführung und entscheiden mittels des beigefügten Bewertungsbogens (https://www.bisp.de/DE/sharedDocs/downloads/Formularcenter/Bewertungsbogen_2_0.html), ob die Testkriterien bzw. die Kriterien einer Komplexitätsstufe erfolgreich absolviert wurden oder nicht. Es wird empfohlen, dass die TrainerInnen/LehrerInnen den ersten Testversuch von vorne (Frontalebene) und den zweiten Testversuch von der Seite (Sagittalebene) beobachten, um die Erfüllung der Kriterien entsprechend bewerten zu können. Erst nach Abschluss der Testbatterie wird der/die AthletIn über die Bewertung und die aufgetretenen Fehler bei der Durchführung hingewiesen. Hierbei soll der Ist-Zustand der Krafttrainingskompetenz erfasst werden. Während des Tests sollte kein Feedback an den Athleten /die Athleten durch den Testleiter/-leiterin erfolgen. Nach erfolgreicher Absolvierung des Tests wird ein Gesamtwert für die Krafttrainingskompetenz errechnet. Darüber hinaus bietet der Bewertungsbogen eine detaillierte Übersicht der individuellen Krafttrainingskompetenz einer AthletIn, welche weiterhin zwischen den unteren und oberen Extremitäten sowie der Rumpfmuskulatur differenziert (vgl. Abschnitt „Bewertung & Auswertungsbogen“). Der gesamte zeitliche Aufwand beträgt in etwa 30 min pro AthletIn. Anhand dieser Einschätzung und unter zusätzlicher Berücksichtigung des biologischen Reifegrads wird eine Empfehlung für die individualisierte Einstufung in das KINGS-Modell abgegeben. Der KINGS-Kraftkompetenzwert liefert hierbei die ausschlaggebende Grundlage für die Einordnung des Individuums in eine der vier KINGS-Kompetenzstufen.

1.5 Vorstellung der Testbatterie

Im Folgenden werden die drei Tests (untere/obere Extremitäten und Rumpf) zur Abschätzung der Krafttrainingskompetenz beschrieben. Zu jeder Komplexitätsstufe ist eine eigene Durchführungskarte vorhanden, die folgende Punkte beinhaltet:

Zielstellung	Beschreibung des beabsichtigten Untersuchungsgegenstandes
Material	Auflistung der benötigten Materialien bei dem konkreten Test
Aufbau	Hinweise zum korrekten Aufbau des Materials
Durchführung und Instruktion	Erläuterung des Ablaufs innerhalb der Komplexitätsstufe, inkl. der Testinstruktionen für die AthletInnen
Beobachtungskriterien	Auflistung der Beobachtungspunkte zur Bewertung der Bewegungsausführung
Bilder	Beispielhafte Bilder mit Hinweisen zur korrekten Bewegungsausführung

Die Testkarten unterscheiden sich in Abhängigkeit der zu testenden Extremitäten bzw. Muskelgruppen (untere/obere Extremitäten, Rumpf) nach ihrer Farbe. Blaue Karten weisen die vier Komplexitätsstufen des Klimmzuges für die Erfassung der Krafttrainingskompetenz in den oberen Extremitäten aus. Die grünen Testkarten beschreiben den Unterarmstütz (Rumpf) und die gelben die Kniebeuge für die unteren Extremitäten (vgl. Abb. 5).

Den Hinweisen zum Testaufbau und zur Testdurchführung sollte gefolgt werden, um eine möglichst hohe Teststandardisierung zu erhalten. Es wird empfohlen, die Beobachtungskriterien vor Beginn der Testdurchführung mehrfach durchzulesen, um einen reibungslosen Ablauf und eine objektive Bewertung sicherstellen zu können. Die NachwuchsathletInnen und TrainerInnen werden anfangs mittels eines Videos über die korrekte Bewegungsausführung bei der Absolvierung der Einzeltests eingewiesen. Im Video sind Informationen zu Beobachtungs- und Bewertungskriterien für die TrainerInnen enthalten.



Klimmzug – Stufe 1



Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der oberen Extremitäten auf Stufe 1

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Stoppuhr
- › Klimmzugstange an Sprossenwand
- › Gummiband (20 cm)

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem festen Untergrund. Die Stange sollte in der Höhe so positioniert werden, dass sie auf dem Boden liegend mit den Fingerspitzen berührt werden kann. Das Band sollte mittig an der Stange befestigt werden und 20 cm in der Länge messen.

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn positioniert sich in der Ausgangsposition, indem er sich unterhalb der Stange aufstellt und die Hände mit einem etwas weiteren als schulterbreiten Griff an der Stange platziert.
2. Der/Die Athlet zieht sich aktiv zur Stange hoch, wobei er/sie darauf achtet, dass der Körper eine gerade Linie bildet und das Kinn über die Stange gebracht wird. Diese Position wird für 10 Sekunden gehalten.
3. Nach Ablauf der 10 Sekunden Testzeit nimmt der/die AthletIn eine Pause von 30 Sekunden.
4. Der/Die AthletIn wiederholt den Vorgang, indem er/sie sich erneut zur Stange hochzieht und die Position für weitere 10 Sekunden hält.
5. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig gerade Linie von Kopf, Rücken und Hüfte während des gesamten Bewegungsablaufs (frontale & sagittale Ebene).

Lateral:

- › Ellenbogen gestreckt (Ausgangsposition)
- › Gerade Linie von Schulter, Hüfte und Füße
- › Brust berührt das Band (Endposition)



Klimmzug – Stufe 2



Modifizierter Klimmzug: Stufe 2 (Ausgangsposition)



Modifizierter Klimmzug: Stufe 2 (Endposition)



Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der oberen Extremitäten auf Stufe 2

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Stoppuhr
- › Klimmzugstange an Sprossenwand
- › Gummiband (20 cm)

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem festen Untergrund. Die Stange sollte in der Höhe so positioniert werden, dass sie auf dem Boden liegend mit den Fingerspitzen berührt werden kann. Das Band sollte mittig an der Stange befestigt werden und 20 cm in der Länge messen.

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn positioniert sich in der Ausgangsposition, indem er/sie sich unterhalb der Stange aufstellt und die Hände mit einem etwas weiteren als schulterbreiten Griff an der Stange platziert.
2. Der/Die AthletIn zieht sich aktiv zur Stange hoch, wobei er/sie darauf achtet, dass der Körper eine gerade Linie bildet und das Kinn über die Stange gebracht wird. Diese Bewegung wird viermal wiederholt
3. Es erfolgt eine Pause von 30 s
4. Es werden erneut vier kontrollierte Wiederholungen absolviert
5. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig gerade Linie von Kopf, Rücken und Hüfte während des gesamten Bewegungsablaufs (frontale & sagittale Ebene).

Lateral:

- › Ellenbogen gestreckt (Ausgangsposition)
- › Gerade Linie von Schulter, Hüfte und Füße
- › Brust berührt das Band (Endposition)



Klimmzug – Stufe 3



Modifizierter Klimmzug: Stufe 3 (Ausgangsposition)



Modifizierter Klimmzug: Stufe 3 (Endposition)



Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der oberen Extremitäten auf Stufe 3

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- Stoppuhr
- Klimmzugstange an Sprossenwand
- Gummiband (20 cm)
- Gymnastikhocker (ca. 40 cm Höhe)

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem rutschfesten Gymnastikhocker. Die Stange sollte in der Höhe so positioniert werden, dass der/die Durchführende in der Ausgangsposition etwa parallel zum Boden hängt. Das Band sollte mittig an der Stange befestigt werden und 20 cm in der Länge messen.

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn positioniert sich in der Ausgangsposition, indem er/sie sich unterhalb der Stange aufstellt und die Hände mit einem etwas weiteren als schulterbreiten Griff an der Stange platziert. Die Füße werden auf dem Kasten platziert
2. Der AthletIn zieht sich aktiv zur Stange hoch, wobei er/sie darauf achtet, dass der Körper eine gerade Linie bildet und das Kinn über die Stange gebracht wird, wobei das Band berührt wird. Diese Bewegung wird viermal wiederholt
3. Es erfolgt eine Pause von 30 s
4. Es werden erneut vier kontrollierte Wiederholungen absolviert
5. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig gerade Linie von Kopf, Rücken und Hüfte während des gesamten Bewegungsablaufs (frontale & sagittale Ebene).

Lateral:

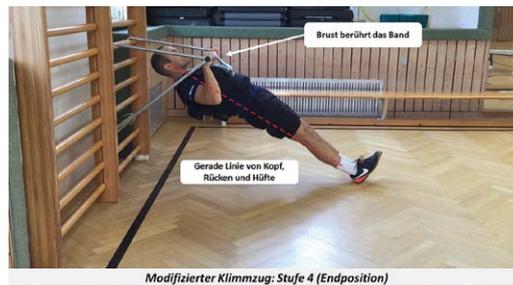
- Ellenbogen gestreckt (Ausgangsposition)
- Gerade Linie von Schulter, Hüfte und Füße
- Brust berührt das Band (Endposition)



Klimmzug – Stufe 4



Modifizierter Klimmzug: Stufe 4 (Ausgangsposition)



Modifizierter Klimmzug: Stufe 4 (Endposition)



Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der oberen Extremitäten auf Stufe 4

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Stoppuhr
- › Klimmzugstange an Sprossenwand
- › Gummiband (20 cm)
- › Gewichtsweste (30 % der Körpermasse)

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem festen Untergrund. Die Stange sollte in der Höhe so positioniert werden, dass sie auf dem Boden liegend mit den Fingerspitzen berührt werden kann. Das Band sollte mittig an der Stange befestigt werden und 20 cm in der Länge messen.

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Die Gewichtsweste mit +30 % Körpermasse wird dem/der AthletIn angelegt
2. Der/Die AthletIn positioniert sich in der Ausgangsposition, indem er/sie sich unterhalb der Stange aufstellt und die Hände mit einem etwas weiteren als schulterbreiten Griff an der Stange platziert
3. Der AthletIn zieht sich aktiv zur Stange hoch, wobei er/sie darauf achtet, dass der Körper eine gerade Linie bildet und das Kinn über die Stange gebracht wird, wobei das Band berührt wird. Diese Bewegung wird viermal wiederholt
4. Es erfolgt eine Pause von 30 s
5. Es werden erneut vier kontrollierte Wiederholungen absolviert

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig gerade Linie von Kopf, Rücken und Hüfte während des gesamten Bewegungsablaufs (frontale & sagittale Ebene).

Lateral:

- › Ellbogen gestreckt (Ausgangsposition)
- › Gerade Linie von Schulter, Hüfte und Füße
- › Brust berührt das Band (Endposition)



Unterarmstütz – Stufe 1



Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Rumpfmuskulatur auf Stufe 1

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Gummimatte
- › Stoppuhr

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem weichen Untergrund (z. B. eine Gummi- oder Gymnastikmatte).

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn begibt sich in die Ausgangsposition, nur Zehen und Unterarme mit Bodenkontakt
2. Der/Die AthletIn hält die Position für 10 s
3. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig gerade Linie von Kopf, Rücken und Hüfte während des gesamten Bewegungsablaufs (frontale & sagittale Ebene).

Frontal:

- › Ellenbogen befinden sich unterhalb der Schultern
- › Kein unkontrolliertes seitliches Ausschlagen der Hüfte
- › Korrekte Ausführung des Bewegungsablaufs

Lateral:

- › Gerade Linie von Schulter, Hüfte und Füße
- › Korrekte Ausführung des Bewegungsablaufs



Unterarmstütz – Stufe 2



Unterarmstütz: Stufe 2 (Ausgangsposition)



Unterarmstütz: Stufe 2 (Endposition)



Unterarmstütz: Stufe 2 (Ausgangsposition)



Unterarmstütz: Stufe 2 (Endposition)

Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Rumpfmuskulatur auf Stufe 2

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Gummimatte
- › Stoppuhr

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem weichen Untergrund (z.B. eine Gummi- oder Gymnastikmatte).

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn begibt sich in die Ausgangsposition, nur Zehen und Unterarme mit Bodenkontakt
2. Der/Die AthletIn streckt beide Beine abwechselnd zweimal nach hinten aus
3. Nach einer 30 s Pause wird die Übung wiederholt
4. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig gerade Linie von Kopf, Rücken und Hüfte während des gesamten Bewegungsablaufs (frontale & sagittale Ebene).

Frontal:

- › Ellenbogen befinden sich unterhalb der Schultern
- › Kein unkontrolliertes seitliches Ausschwingen der Hüfte
- › Korrekte Ausführung des Bewegungsablaufs

Lateral:

- › Gerade Linie von Schulter, Hüfte und Füße
- › Korrekte Ausführung des Bewegungsablaufs



Unterarmstütz – Stufe 3



Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Rumpfmuskulatur auf Stufe 3

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Gummimatte
- › Stoppuhr

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem weichen Untergrund (z. B. eine Gummi- oder Gymnastikmatte).

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn begibt sich in die Ausgangsposition, nur Zehen und Unterarme mit Bodenkontakt
2. Der/Die AthletIn streckt beide Beine und Arme abwechselnd zweimal nach hinten und vorne aus
3. Nach einer 30 s Pause wird die Übung wiederholt
4. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig gerade Linie von Kopf, Rücken und Hüfte während des gesamten Bewegungsablaufs (frontale & sagittale Ebene).

Frontal:

- › Ellenbogen befinden sich unterhalb der Schultern
- › Kein unkontrolliertes seitliches Ausschwingen der Hüfte
- › Korrekte Ausführung des Bewegungsablaufs

Lateral:

- › Gerade Linie von Schulter, Hüfte und Füße
- › Korrekte Ausführung des Bewegungsablaufs



Unterarmstütz – Stufe 4



Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Rumpfmuskulatur auf Stufe 4

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Gummimatte
- › Stoppuhr
- › Gewichtsweste (30 % der Körpermasse)

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem weichen Untergrund (z. B. eine Gummi- oder Gymnastikmatte).

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Die Gewichtsweste mit +30 % Körpermasse wird dem/der AthletIn angelegt
2. Der/Die AthletIn begibt sich in die Ausgangsposition, nur Zehen und Unterarme mit Bodenkontakt
3. Der/Die AthletIn streckt beide Beine und Arme abwechselnd zweimal nach hinten und vorne aus
4. Nach einer 30 s Pause wird die Übung wiederholt

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig gerade Linie von Kopf, Rücken und Hüfte während des gesamten Bewegungsablaufs (frontale & sagittale Ebene).

Frontal:

- › Ellenbogen befinden sich unterhalb der Schultern
- › Kein unkontrolliertes seitliches Ausschwingen der Hüfte
- › Korrekte Ausführung des Bewegungsablaufs

Lateral:

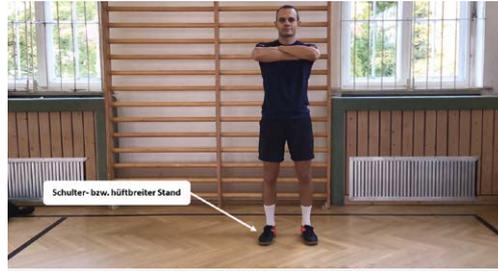
- › Gerade Linie von Schulter, Hüfte und Füße
- › Korrekte Ausführung des Bewegungsablaufs



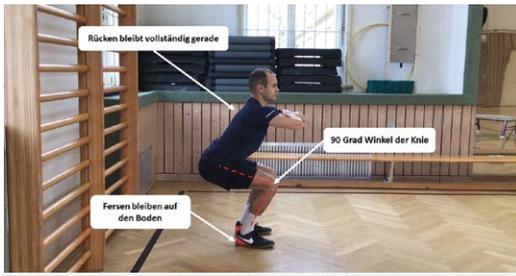
Kniebeuge – Stufe 1



Kniebeuge: Stufe 1 (Ausgangsposition)



Kniebeuge: Stufe 1 (Ausgangsposition)



Kniebeuge: Stufe 1 (Endposition)



Kniebeuge: Stufe 1 (Endposition)

Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der unteren Extremitäten auf Stufe eins

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Stoppuhr

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem festen Untergrund.

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn begibt sich in die Ausgangsposition in der Beuge mit 90° Winkel im Kniegelenk
2. Der/Die AthletIn hält diese Position für 10 s
3. Nach einer 30 s Pause wird die Übung wiederholt
4. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig keine Varus/Valgus Bewegung der Kniegelenke (X- oder O-Beine) (frontale Ebene). Rücken bleibt während der gesamten Bewegung gerade (sagittale Ebene). Muskuläre Kontrolle während exzentrischer und konzentrischer Phase.

Frontal:

- › Keine Varus/Valgus Stellung der Kniegelenke (X- oder O-Beine)
- › Füße zeigen nach vorne oder leichte Rotation nach außen
- › Schulter- bzw. hüftbreiter Stand

Lateral:

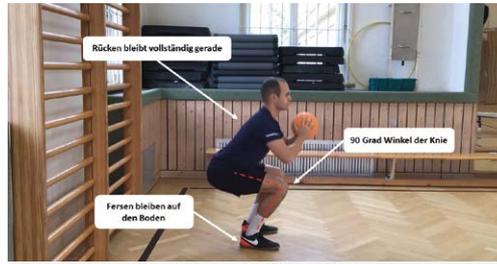
- › Rücken bleibt vollständig gerade bzw. keine Krümmung der Wirbelsäule
- › ≥ 90 Grad-Winkel der Ober- und Unterschenkel in der Endposition
- › Fersen bleiben auf dem Boden



Kniebeuge – Stufe 2



Kniebeuge: Stufe 2 (Ausgangsposition)



Kniebeuge: Stufe 2 (Endposition)



Kniebeuge: Stufe 2 (Ausgangsposition)



Kniebeuge: Stufe 2 (Endposition)

Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der unteren Extremitäten auf Stufe zwei

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Stoppuhr
- › Medizinball (2 kg)

Aufbau

Der/ Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem festen Untergrund.

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. den Lernvideos. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn begibt sich in die Ausgangsposition in der Beuge mit 90° Winkel im Kniegelenk und Medizinball vor der Brust
2. Der/Die AthletIn führt vier Kniebeugen durch
3. Nach einer 30 s Pause wird die Übung wiederholt
4. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachungskriterien

Allgemein:

Durchgängig keine Varus/Valgus Bewegung der Kniegelenke (X- oder O-Beine) (frontale Ebene). Rücken bleibt während der gesamten Bewegung gerade (sagittale Ebene). Muskuläre Kontrolle während exzentrischer und konzentrischer Phase.

Frontal:

- › Keine Varus/Valgus Stellung der Kniegelenke (X- oder O-Beine)
- › Füße zeigen nach vorne oder leichte Rotation nach außen
- › Schulter- bzw. hüftbreiter Stand

Lateral:

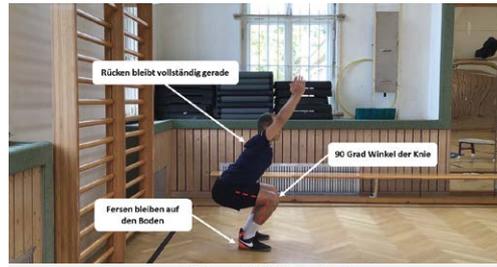
- › Rücken bleibt vollständig gerade bzw. keine Krümmung der Wirbelsäule
- › ≥ 90 Grad-Winkel der Ober- und Unterschenkel in der Endposition
- › Fersen bleiben auf dem Boden



Kniebeuge – Stufe 3



Kniebeuge: Stufe 3 (Ausgangsposition)



Kniebeuge: Stufe 3 (Endposition)



Kniebeuge: Stufe 3 (Ausgangsposition)



Kniebeuge: Stufe 3 (Endposition)

Zielstellung

„Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der unteren Extremitäten auf Stufe drei“

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Stoppuhr

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem festen Untergrund.

Instruktion und Durchführung

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Der/Die AthletIn begibt sich in die Ausgangsposition in der Beuge mit 90° Winkel im Kniegelenk und den Armen ausgestreckt über dem Kopf
2. Der/Die AthletIn führt vier Kniebeugen durch
3. Nach einer 30 s Pause wird die Übung wiederholt
4. Nach Abschluss der Übung auf dieser Stufe kann der/die AthletIn zur nächsthöheren Stufe übergehen

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig keine Varus/Valgus Bewegung der Kniegelenke (X- oder O-Beine) (frontale Ebene). Rücken bleibt während der gesamten Bewegung gerade (sagittale Ebene). Muskuläre Kontrolle während exzentrischer und konzentrischer Phase.

Frontal:

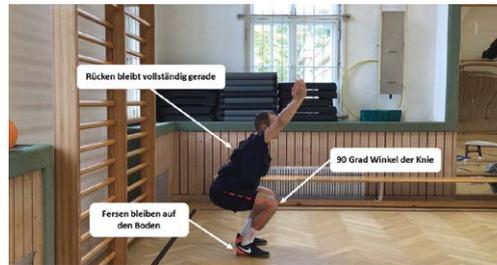
- › Keine Varus/Valgus Stellung der Kniegelenke (X- oder O-Beine)
- › Füße zeigen nach vorne oder leichte Rotation nach außen
- › Schulter- bzw. hüftbreiter Stand

Lateral:

- › Rücken bleibt vollständig gerade bzw. keine Krümmung der Wirbelsäule
- › ≥ 90 Grad-Winkel der Ober- und Unterschenkel in der Endposition
- › Fersen bleiben auf dem Boden



Kniebeuge – Stufe 4



Zielstellung

Überprüfung der Krafttrainingskompetenz der Muskulatur der unteren Extremitäten auf Stufe vier

Material

Folgende Materialien werden in dieser Stufe benötigt:

- › Stoppuhr
- › Gewichtsweste (30 % der Körpermasse)

Aufbau

Der/Die Ausführende sollte ausreichend Platz in alle Richtungen haben. Die Durchführung erfolgt auf einem festen Untergrund.

Durchführung und Instruktion

Führe die Teststufe mit exakter Bewegungsausführung und mit maximaler Anstrengung bis zum Testabbruch durch. Folge dabei den Testdurchführungsanweisungen deines Trainers, deiner Trainerin bzw. dem Lernvideo. Dieses findest du über den QR-Code dieser Karte.

Die Durchführung dieser Stufe wird wie folgt absolviert:

1. Die Gewichtsweste mit +30% Körpermasse wird dem/der AthletIn angelegt
2. Der/Die AthletIn begibt sich in die Ausgangsposition in der Beuge mit 90° Winkel im Kniegelenk und den Armen ausgestreckt über dem Kopf
3. Der/Die AthletIn führt vier Kniebeugen durch
4. Nach einer 30 s Pause wird die Übung wiederholt

Beobachtungskriterien

Allgemein:

Durchgängig keine Varus/Valgus Bewegung der Kniegelenke (X- oder O-Beine) (frontale Ebene). Rücken bleibt während der gesamten Bewegung gerade (sagittale Ebene). Muskuläre Kontrolle während exzentrischer und konzentrischer Phase.

Frontal:

- › Keine Varus/Valgus Stellung der Kniegelenke (X- oder O-Beine)
- › Füße zeigen nach vorne oder leichte Rotation nach außen
- › Schulter- bzw. hüftbreiter Stand

Lateral:

- › Rücken bleibt vollständig gerade bzw. keine Krümmung der Wirbelsäule
- › ≥ 90 Grad-Winkel der Ober- und Unterschenkel in der Endposition
- › Fersen bleiben auf dem Boden



1.6 Testbewertung und Auswertungsbogen

Die Bewertung der durchgeführten Tests stellt das Herzstück dieses Handbuches dar. Nur durch eine standardisierte Testdurchführung und eine objektive Bewertung der Bewegungsausführung kann die Krafttrainingskompetenz valide bestimmt werden. Die Bewertung der Tests erfolgt binär, d. h. korrekte bzw. nicht korrekte Bewegungsausführung gemäß aller aufgeführten Beobachtungspunkte in den Testkarten und Videos. Wenn ein Kriterium korrekt umgesetzt wurde, ist dieses mit einem Punkt zu bewerten, sollte dies nicht der Fall sein, wird dieses Kriterium mit null Punkten bewertet. Je nach Anzahl der Kriterien können entweder maximal sechs, vier oder drei Punkte in einem Versuch erreicht werden. Der beste von zwei Versuchen geht in die Wertung ein. Der Übergang zur nächsten Stufe erfolgt nur dann, wenn in der vorherigen Stufe in einem Versuch alle Kriterien erfolgreich absolviert wurden. Es ist nicht möglich, die Punkte aus zwei Versuchen zu addieren. Um die Bewertung genauer zu erläutern, wurde ein Screencast erstellt, welcher die Schritte im Detail und anhand von Beispielen erläutert. ([BISp YouTube-Kanal](#))

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch einen Ausschnitt des Microsoft-Excel basierten Bewertungsbogens (https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Formularcenter/Bewertungsbogen_KINGS_2_0.html). Dort kann pro Versuch die Bewertung von 1 (korrekt ausgeführt) und 0 (nicht korrekt ausgeführt) vorgenommen werden. Das Auswertungssystem erfasst dann automatisch den besten Durchgang jeder Stufe und nimmt diesen für die Berechnung der Gesamtstufe auf. Nur wenn 100% erreicht wurden, also pro Stufe mindestens ein Durchgang durchweg korrekt war, kann die vierte Stufe erreicht werden.

Ebenso kann auch die Gesamtauswertung der Excel-Datei entnommen werden. Hier werden noch einmal übersichtlich die jeweils erreichte Stufe in den unterschiedlichen Übungskategorien aufgezeigt sowie der Gesamtwert der Krafttrainingskompetenz (in Prozent). Darüber hinaus kann das Bewertungsergebnis in Form eines Spinnendiagramms (Abb. 6) anschaulich dargestellt werden. Um weiterhin Informationen darüber zu erhalten, ob die NachwuchsathletInnen auf der jeweiligen Stufe bereits fortgeschritten sind, wird zusätzlich ein Krafttrainingskompetenzwert in Prozent ausgegeben. Dieser ist wichtig

1. Übung Kniebeuge

Kriterium:		Stufe 1		Stufe 2		Stufe 3		Stufe 4	
		V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Frontal	Keine Varus/Valgus Stellung der Kniegelenke (X- oder O-Beine)	1		1		1	1	1	
	Füße zeigen nach vorne oder leichte Rotation nach außen	1		1		1	1	1	
	Schulter- bzw. hüftbreiter Stand	1		1		0	1	1	
Lateral	Rücken bleibt vollständig gerade bzw. keine Krümmung der Wirbelsäule	1		1		1	1	1	
	≥ 90 Grad-Winkel der Ober- und Unterschenkel in der Endposition	1		1		1	1	1	
	Fersen bleiben auf dem Boden	1		1		1	1	1	
Gesamtbewertung		6 / 6		6 / 6		6 / 6		6 / 6	
Kniebeuge-Score (Σ Pkt. / 24)								100%	
Erreichte Stufe								4	

Abbildung 5: Exemplarischer Auswertungsbogen



Gesamt-Score Krafttrainingskompetenz	78%	
	Score	Stufe
Kniebeuge	100%	4
Klimmzug	67%	2
Unterarmstütz	69%	2
Gesamtstufe	78%	3

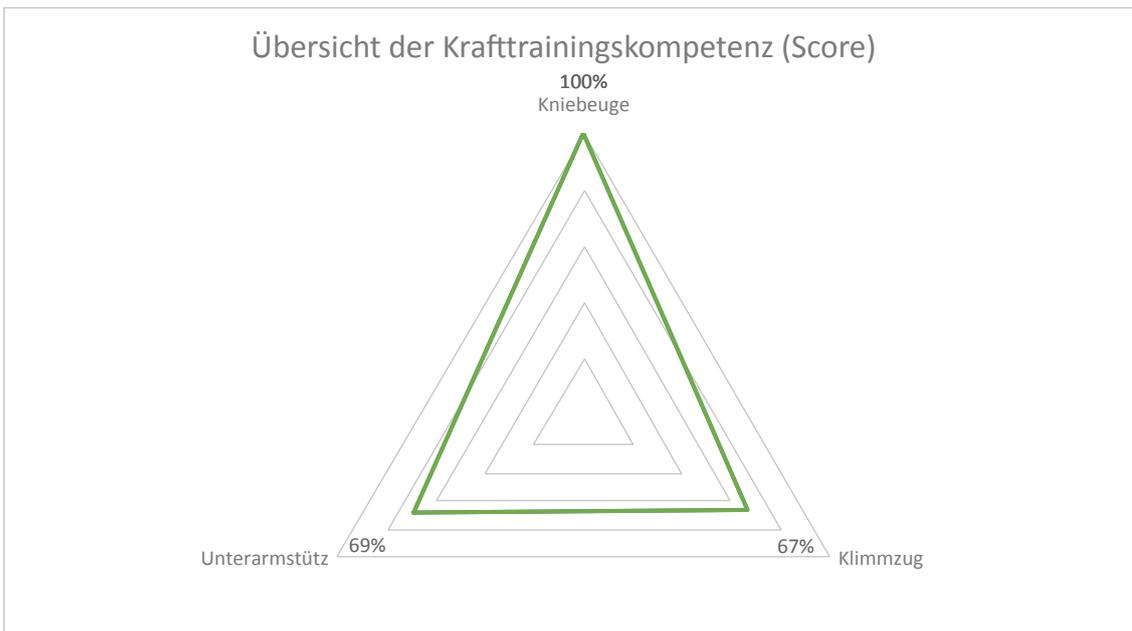


Abbildung 6: Exemplarische Auswertungsübersicht mit Darstellung eines testspezifischen Stärken- und Schwächenprofils



Abbildung 7: Ausgabe der individuellen Krafttrainingskompetenzstufe auf Prozentskala. In diesem Beispiel wird deutlich, dass der Athlet/die Athletin mit 78% sich noch am Anfang von Stufe 3 befindet, eine baldige Re-Evaluation ist folglich nicht nötig

zur Abschätzung, wann eine erneute Testung zum Aufstieg in die nächsthöhere Kompetenzstufe vorgenommen werden kann. So können beispielsweise zwei AthletInnen innerhalb der gleichen Stufe (Bsp. Stufe 2) verschiedene Prozentwerte (AthletIn

A 50%, AthletIn B 73%) erreichen. Hierbei gibt der Prozentwert an, dass AthletIn B bald wieder einen Test zur Re-Evaluation der Krafttrainingskompetenz absolvieren sollte.



1.7 Einteilung in die vier Stufen des KINGS-Kraftkompetenzmodells

Um die NachwuchsathletInnen nach der Testdurchführung in die vier KINGS-Kompetenzstufen einteilen zu können, wird neben der Abschätzung der Krafttrainingskompetenz der biologische Reifegrad herangezogen. Je nach erreichter Stufe werden die NachwuchsathletInnen einer KINGS-Stufe (Abb. 2) zugeordnet. Die KINGS-Kompetenzstufen sind progressiv angelegt. Die jeweiligen Trainingsmethoden der verschiedenen Modellstufen werden in diesem Kapitel beschrieben.

Bei einer hohen Krafttrainingskompetenz, aber noch nicht ausreichend entwickelter biologischer Reife, muss die Auswahl der Krafttrainingsmethoden auf der jeweiligen Kompetenzstufe des KINGS-Modells angepasst werden, um die physiologischen Anpassungsprozesse an das Krafttraining zu maximieren, z.B. Muskelhypertrophie (Furzer et al., 2018; Granacher et al., 2016; Lubans et al., 2014). Beispielsweise empfiehlt sich für einen präpuberalen Nachwuchsathleten bzw. eine präpuberale Nachwuchsathletin mit hoher Krafttrainingskompetenz (noch) kein Maximalkrafttraining mit dem Ziel der Vergrößerung der Muskelmasse (Muskelhypertrophie) durchzuführen, da die hormonellen Voraussetzungen für ein effektives Krafttraining noch nicht vorhanden sind. Die Grenze wird hierbei über den Wachstumsspurts (PHV), beziehungsweise den damit verbundenen Beginn der Pubertät festgelegt. Befinden sich die AthletInnen vor dem Wachstumsspurts (> 1 Jahr prä-PHV), wird von präpuberalen AthletInnen gesprochen. Während des Wachstumsspurts befinden sich die AthletInnen im puberalen Stadium (\pm 1 Jahr prä/post-PHV). Ist der Zeitpunkt des Wachstumsspurts bereits überschritten, werden AthletInnen als postpuberal (> 1 Jahr post-PHV) bezeichnet (Baxter-Jones et al., 2003). Die Einteilung hat zur Folge, dass präpuberale Kinder, unabhängig von ihrer individuellen Krafttrainingskompetenz, (noch) keine Trainingsmethoden für die Maximalkraft, z.B. ein Hypertrophietraining absolvieren sollten. Jedoch können unterschiedliche Krafttrainingsmethoden, z.B.

ein Freihanteltraining mit moderaten Lasten auf allen Stufen eingesetzt werden. Die postpuberalen AthletInnen können alle Krafttrainingsmethoden je nach ihrer erreichten Krafttrainingskompetenzstufe anwenden.

Besteht bei den NachwuchsathletInnen eine niedrige Krafttrainingskompetenz, obwohl das postpubertäre Reifestadium bereits erreicht ist, sollte es zunächst das Ziel des Krafttrainings sein, die Krafttrainingskompetenz zu entwickeln. Wenn dieses Ziel erreicht wurde, können nachfolgend Krafttrainingsmethoden in Abhängigkeit des vorhandenen biologischen Reifegrads Anwendung finden. Um die Einteilung in die Stufen zu verdeutlichen, folgen einige praxisnahe Fallbeispiele.

1.8 Fallbeispiele

Beispiel I:

Weibliche Nachwuchsathletin mit einer mittleren Krafttrainingskompetenzstufe 2 (69%). Die Bestimmung des biologischen Reifegrades weist auf einen präpuberalen Reifegrad hin (vor dem Wachstumsspurts).

- Die Athletin zeigt einen zu ihrer Krafttrainingskompetenz passenden Reifestatus. Innerhalb der zweiten Kompetenzstufe im KINGS-Modell ist die Athletin moderat fortgeschritten (69%). Die anatomisch-physiologischen Voraussetzungen für ein Training gemäß Stufe 2 sind daher gegeben und die enthaltenen Krafttrainingsmethoden auf den Stufen 1 und 2 können uneingeschränkt angewandt werden.



Beispiel II:

Männlicher Nachwuchsathlet mit einer mittleren Krafttrainingskompetenz auf Stufe 3 (78%). Der biologische Reifegrad des Athleten wurde als präpubertär eingestuft.

- › Obwohl der Athlet bereits über ausreichend Krafttrainingskompetenz für ein fortgeschrittenes Training verfügt (Stufe 3), sollte der Athlet aufgrund seiner biologischen Reife und den damit noch fehlenden hormonellen Voraussetzungen auf ein Hypertrophietraining verzichten. Gemäß der Abschätzung der individuellen Krafttrainingskompetenz und unter Berücksichtigung des biologischen Reifegrads sollten die in Stufe 3 dargestellten Krafttrainingsmethoden Anwendung finden. Darüber hinaus können Methoden aus den Stufen 1 und 2 zur Anwendung kommen. Innerhalb der dritten Kompetenzstufe im KINGS-Modell ist der Athlet wenig fortgeschritten (78%).

Beispiel III:

Männlicher Nachwuchsathlet mit einer mittleren Krafttrainingskompetenz auf Stufe 2 (58%) und postpubertärem Entwicklungsstadium (nach dem Wachstumsspur).

- › Obwohl der Athlet im Sinne der vorliegenden biologischen Reife bereits über die notwendigen anatomisch-physiologischen und hormonellen Voraussetzungen für ein Hypertrophietraining auf den KINGS-Kompetenzstufen 3 und 4 aufweist, besteht für die Anwendung dieser Methoden ein Mangel an Krafttrainingskompetenz. Der Athlet sollte daher zunächst unter Berücksichtigung seiner aktuellen Krafttrainingskompetenz Stufe 2 trainieren. Hierbei ist der Athlet auf seiner Stufe wenig fortgeschritten (58%). Erst wenn seine Krafttrainingskompetenz ausreichend ausgeprägt ist, um die Krafttrainingsmethoden auf den Stufen 1 und v.a. 2 mit hoher Bewegungsqualität durchzuführen, können weiterführende Trainingsmethoden in das Krafttrainingsprogramm integriert werden (Stufen 3 und 4).

1.9 Einordnung des erzielten KINGS-Kraftkompetenzwertes unter Berücksichtigung des biologischen Reifegrades

Bereits das vierstufige Modell der Krafttrainingskompetenz aus KINGS 1.0 war ein Meilenstein im anwendungsbasierten Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen. Nun ist in KINGS 2.0 ein einfach anzuwendendes und praktikables Instrument entstanden, um die Krafttrainingskompetenz eines Individuums abzuschätzen. Die individualisierte Krafttrainingskompetenz erlaubt wichtige Hinweise für die Wahl geeigneter Krafttrainingsmethoden für NachwuchsleistungssportlerInnen. Die vorliegende Testbatterie zur Abschätzung der Krafttrainingskompetenz kann unabhängig von der Sportart eingesetzt werden. Die vergleichsweise schnelle Durchführung und denkbar einfache Auswertungsmethode machen den Einsatz in der Praxis möglich. Die Dauer der Testdurchführung steht dabei in Abhängigkeit der Krafttrainingskompetenz des Athleten oder der Athletin und dauert bei vollständiger Absolvierung aller Stufen maximal 30 min pro AthletIn. Nicht nur im Leistungssport kann die Testbatterie Anwendung finden, auch der Schul- und Breitensport verfügt mit diesem Instrument über die Möglichkeit, die individuelle Krafttrainingskompetenz von SchülerInnen oder VereinssportlerInnen zu ermitteln. Dies kann bspw. Aufschluss darüber geben, inwieweit Maßnahmen in einer Schulklasse oder in einem Verein zur Kräftigung der Muskulatur ergriffen werden sollten. Zusammenfassend kann durch die frühzeitige Implementierung des KINGS-Kompetenzstufenmodells das Krafttraining im Nachwuchsleistungssport individuell und zielgerichtet gestaltet werden, um eine qualifizierte Verbesserung der trainingsbedingten physiologischen Anpassungsprozesse im neuromuskulären, skelettalen und tendinösem Bereich zu ermöglichen und um das potenzielle Verletzungsrisiko sowie Überlastungsschäden mittel- und langfristig zu vermeiden.





Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	16
Auflistung von Studien über die vergangenen Dekaden zu den Wirkungen von Krafttraining mit Kindern und Jugendlichen. Die dargelegten Kontraindikationen aus den ersten frühen Arbeiten konnten in der Zwischenzeit widerlegt werden (Granacher & Behm, 2023)	
Abbildung 2:	17
KINGS-Modell zur Implementierung verschiedener Krafttrainingsformen in die Etappen des langfristigen Leistungsaufbaus (modifiziert nach Granacher et al., 2016, S. 6) Vergleiche auch: https://www.youtube.com/watch?v=sc0S_hsZ_sU	
Abbildung 3:	18
Die drei Tests zur Abschätzung der Krafttrainingskompetenz	
Abbildung 4:	19
Progressive Stufen des TBK mit ansteigendem Komplexitätsgrad der Übungen	
Abbildung 5:	33
Exemplarischer Auswertungsbogen	
Abbildung 6:	34
Exemplarische Auswertungsübersicht	
Abbildung 7:	34
Ausgabe der individuellen Krafttrainingskompetenzstufe auf Prozentskala. In diesem Beispiel wird deutlich, dass der Athlet/die Athletin mit 78 % sich noch am Anfang von Stufe 3 befindet, eine baldige Re-Evaluation ist folglich nicht nötig	





Literaturverzeichnis

- Baxter-Jones, A. D. G., Mirwald, R. L., McKay, H. A. & Bailey, D. A. (2003). A longitudinal analysis of sex differences in bone mineral accrual in healthy 8-19-year-old boys and girls. *Annals of Human Biology*, 30(2), 160–175. <https://doi.org/10.1080/0301446021000034642>
- Becker, S., Berger, J., Backfisch, M., Ludwig, O. & Fröhlich, M. (2019). Evaluation of the Bourban Trunk Muscle Strength Test Based on Electromyographic Parameters. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/jfmk4020035>
- Boyer, C., Tremblay, M., Saunders, T. J., McFarlane, A., Borghese, M., Lloyd, M. & Longmuir, P. (2013). Feasibility, validity and reliability of the plank isometric hold as a field-based assessment of torso muscular endurance for children 8-12 years of age. *Pediatric Exercise Science*, 25(3), 407–422. <https://doi.org/10.1123/pes.25.3.407>
- Drenowatz (2020). Fitnessstests bei Kindern und Jugendlichen. *Bewegung und Sport*, 4, 8–13.
- Ervin, R. B., Fryar, C. D., Wang, C.-Y., Miller, I. M. & Ogden, C. L. (2014). Strength and body weight in US children and adolescents. *Pediatrics*, 134(3), e782–9. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-0794>
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., MacDonald, J. & Myer, G. D. (2016). Citius, Altius, Fortius: beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(1), 3–7. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094621>
- Faigenbaum, A. D. & McFarland, J. E. (2023). Developing Resistance Training Skill Literacy in Youth. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 94(2), 5–10. <https://doi.org/10.1080/07303084.2022.2146610>
- Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., Muehlbauer, T., Prieske, O., Puta, C., Gollhofer, A. & Behm, D. G. (2016). Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Frontiers in Physiology*, 7, 164. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00164>
- Gulmez, I. (2017). Effects of Angle Variations in Suspension Push-up Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1017–1023. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001401>
- Lesinski, M., Prieske, O. & Granacher, U. (2016). Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(13), 781–795. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095497>



- Lubans, D. R., Smith, J. J., Harries, S. K., Barnett, L. M. & Faigenbaum, A. D. (2014). Development, test-retest reliability, and construct validity of the resistance training skills battery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1373–1380. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31829b5527>
- Mirwald, R. L., G. Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A. & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1249/00005768-200204000-00020>
- Prieske, O., Lesinski, M., Kriemler, S. & Granacher, U. (2016). Krafttraining im Kindes- und Jugendalter: Wirkungen, Anpassungsmechanismen und Empfehlungen. *Pädiatrie*, 1(16), 4–10.
- Radnor, J. M., Moeskops, S., Morris, S. J., Mathews, T. A., Kumar, N. T. A., Pullen, B. J., Meyers, R. W., Pedley, J. S., Gould, Z. I., Oliver, J. L. & Lloyd, R. S. (2020). Developing Athletic Motor Skill Competencies in Youth. *Strength & Conditioning Journal*, 42(6), 54–70. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000602>
- Tschopp, M., P. B. (2001). Reliability of a standardized, dynamic trunk muscle strength test: experiences with healthy male elite athletes, 49, 67–72.



Notizen Krafttrainingskompetenz

Fragen

.....

.....

.....

.....

Ideen

.....

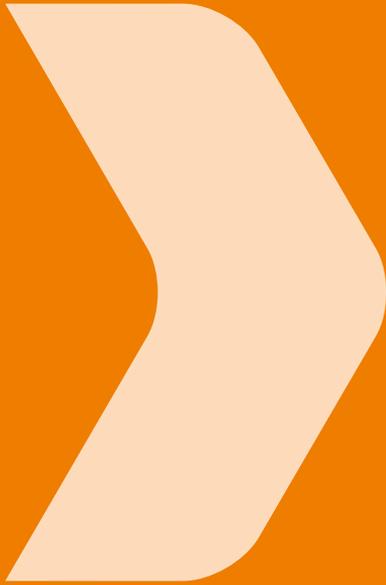
.....

.....

.....

Skizze

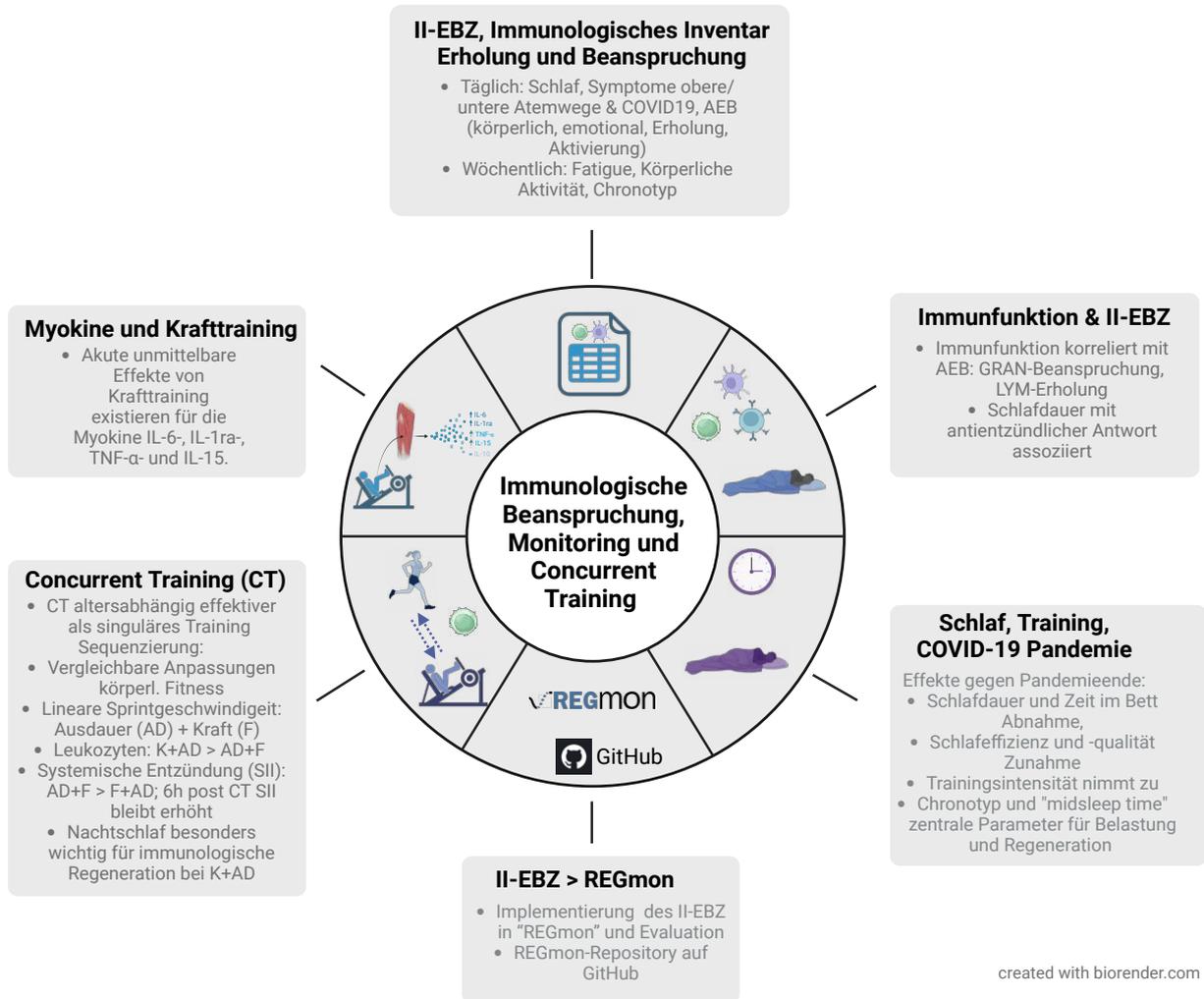




2 Immunologische Beanspruchung, Monitoring und Concurrent Training

Autoren

Dr. Thomas Steidten, Prof. Dr. Michael Kellmann,
Dr. Sarah Jakowski, Dr. Lisa Kullik, Christian Strotkötter,
Prof. Dr. Mark Pfeiffer, Prof. Dr. Bernd Wolfarth,
Simon Haunhorst, Brunhild Gabriel, Prof. Dr. Holger Gabriel,
Prof. Dr. Urs Granacher, apl. Prof. Dr. Christian Puta



created with biorender.com



Im Rahmen von olympischen Wettbewerben stellen 50% aller akuten Erkrankungen der Teilnehmenden Infektionen der oberen Atemwege dar [1]. AthletInnen haben im Vergleich zur Durchschnittsbevölkerung ein 2-fach höheres Risiko an Infektionen der oberen Atemwege zu erkranken [2]. Im Vergleich zu erwachsenen AthletInnen, wird dieses erhöhte Risiko für Infektionen der oberen Atemwege bei NachwuchsathletInnen als höher eingeschätzt [3, 4].

Aus den Perspektiven Leistung, Gesundheit und im Rahmen von “return to sports” Management im Nachwuchsleistungssport ist es daher erforderlich, zwischen belastungsinduzierter [5, 6] und infektbasierter immunologischer Stressregulation zu differenzieren. Neben Blutparametern [5] ist die Charakterisierung des Schweregrades und des Verlaufs der Symptome von wesentlicher klinischer und sportpraktischer Bedeutung.

Praxisrelevante Forschungsfrage

Welche subjektiven und objektiven Parameter sind für eine immunologische Trainingssteuerung geeignet?

In KINGS 1.0 konnte gezeigt werden, dass die subjektive Einschätzung von Erholung und Beanspruchung mit objektiv erhobenen Immunparametern des Blutbildes zusammenhängt [5]. Die Beanspruchung über einen Trainingstag (gemessen von morgens bis abends) führte zu einem signifikanten Anstieg der Beanspruchungsdimension und einer signifikanten Reduktion der Erholungsdimension des Akutmaßes für Erholung und Beanspruchung (AEB, [7, 8]). Das kapilläre Blutbild zeigte einen signifikanten Anstieg der Leukozyten und Granulozyten. Interessanterweise konnte zudem ein positiver Zusammenhang der Beanspruchungsdimension des AEB mit dem relativen Anteil der Granulozyten nachgewiesen werden. Die Erholungsdimension des AEB war positiv mit dem prozentualen Anteil der Lymphozyten assoziiert (siehe Abbildung 1).

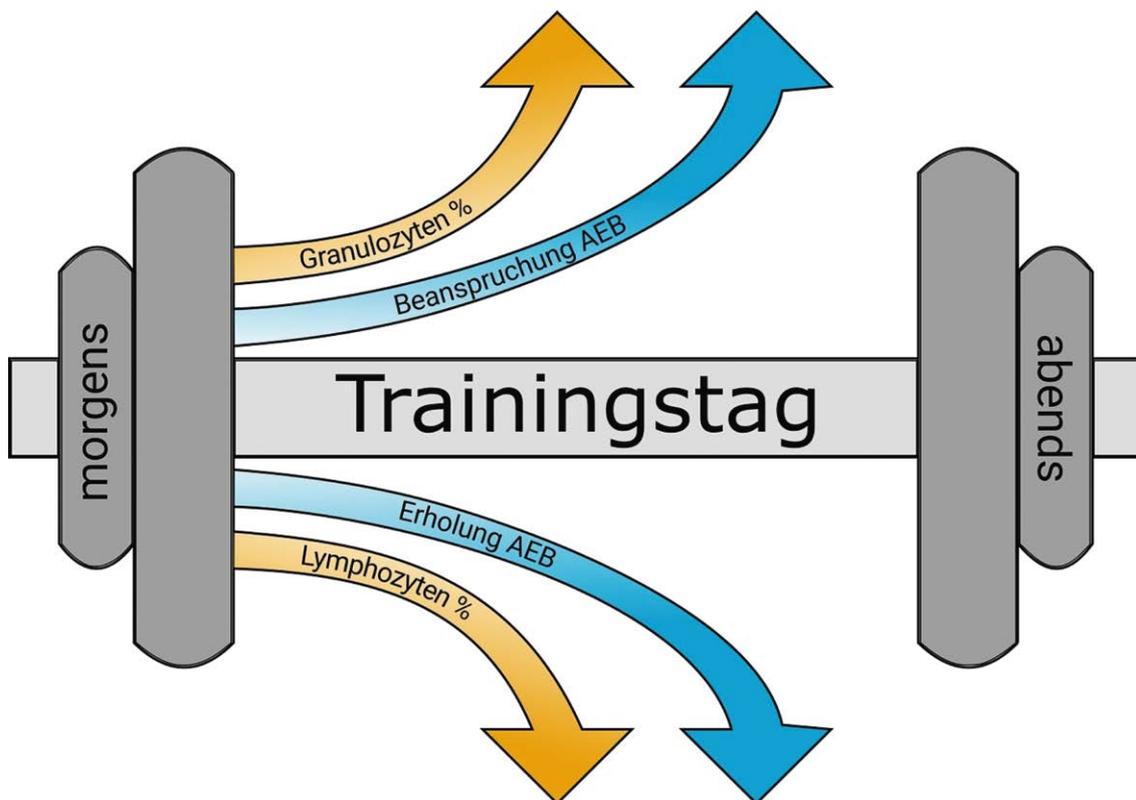


Abbildung 1: Veränderung der Dimensionen des Akutmaßes für Erholung und Beanspruchung (AEB) und kapillärer Blutwerte.



Key-Point

- › Erholungs- und Beanspruchungsdimension des Akutmaß für Erholung und Beanspruchung (AEB) sind geeignet, um belastungsinduzierte immunologische Veränderungen beim Krafttraining im Nachwuchsleistungssport über einen Trainingstag (morgens zu abends) abzubilden.
- › Die Abgrenzung von belastungsinduzierten und infektbasierten immunologischen Effekten erfordert eine Erweiterung und Validierung des AEB.

Basierend auf den Daten von KINGS 1.0 war es das Ziel in KINGS 2.0, die spezifische immunologische Weiterentwicklung des bereits etablierten Akutmaß Erholung und Beanspruchung [7, 8] zum **Immunologischen Inventar zur Erfassung von Erholungs- und Beanspruchungszuständen (II-EBZ)** zu realisieren.

Die Resultate zeigten, dass die Einzelitems der vier vorgenannten AEB-Skalen überwiegend mit objektiv messbaren immunologischen Blutwerten signifikant korrelieren. Weiterhin wurde deutlich, dass vor allem die subjektiv bewerteten Messgrößen *Schlafdauer* und *Schlaftiefe* von übergeordneter Bedeutung sind. Weitere Zusammenhänge zeigten sich zur Schlaferholung und dem nächtlichen Aufwachen [9].

In mehreren methodischen Schritten wurden die folgenden Skalen durch statistische Ansätze identifiziert (siehe Abb. 2).

- › Körperliche Leistungsfähigkeit Items: leistungsfähigkeit, kraftvoll, volle Power, energiegeladen
- › Emotionale Ausgeglichenheit Items: ausgeglichen, zufrieden, gut gelaunt, alles im Griff habend
- › Allgemeiner Erholungszustand Items: erholt, ausgeruht, muskulär locker, körperlich entspannt
- › Aktivierungsmangel Items: unmotiviert, lustlos, energielos, antriebslos
- › Schlafdauer
- › Schlaftiefe
- › Schlaferholung
- › Nächtliches Aufwachen

Im weiteren Verlauf wurden die ermittelten Skalen um immunologische Parameter sowie um folgende relevante Skalen komplettiert (siehe Abb. 3):

- › Symptome der oberen und unteren Atemwege

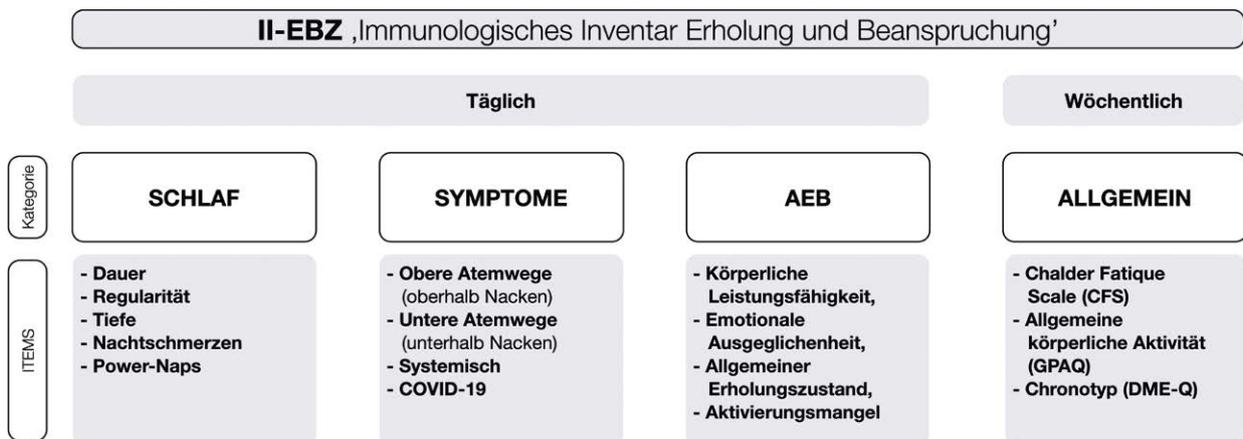


Abbildung 2: Aufbau des immunologischen Inventar zur Erfassung von Erholungs- und Beanspruchungszuständen (II-EBZ). Das Assessment besteht aus 2 Fragebögen. Der tägliche Fragebogen wird morgens zwischen dem Aufstehen und 10:00 Uhr ausgefüllt. Der wöchentliche Fragebogen bietet eine retrospektive Sicht auf die gesamte Woche, wodurch chronische Überlastungen identifiziert werden können.



- › COVID-19 spezifische Symptome
- › Chalder Fatigue Scale (CFS)
- › Allgemeine körperliche Aktivität (Global Physical Activity Questionnaire; GPAQ)
- › Chronotyp (Deutscher Morning-Evening-Questionnaire, DME-Q)

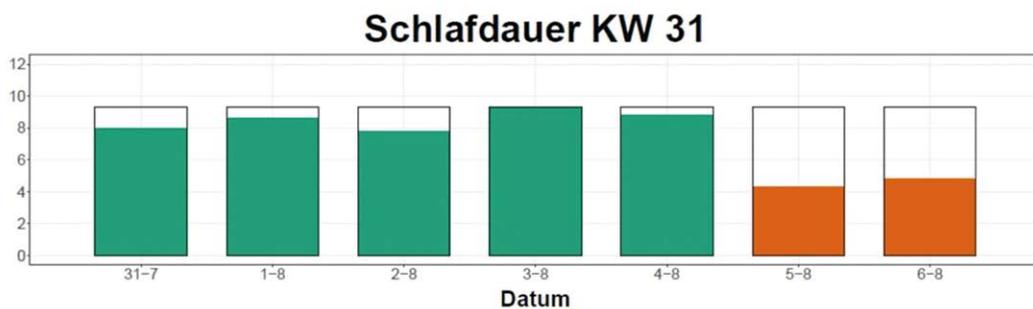
Durch diese Erweiterung entstand das Immunologische Inventar zur Erfassung von Erholungs- und Beanspruchungszuständen (II-EBZ), Abb. 2.

2.1 II-EBZ in der Praxis – Validierung und schnelle präzise Rückmeldung

Zur Auswertung des II-EBZ wurde ein Auswertungsalgorithmus unter Verwendung der Statistiksoftware „R“ entwickelt, der die gesammelten Daten in wenigen Sekunden analysiert und aussagekräftige Ergebnisse für die Entscheidungsfindung in der Sportpraxis generiert.

Der entstandene Auswertungsalgorithmus wurde mit der Cheftrainerin des Nachwuchsbereiches der Skeletonis Anja Selbach und Michael Höhne vom Bob- und Schlittenverband für Deutschland

A



Erklärung zu den Abbildungen

- KA: Kein Wert für diesen Tag vorhanden (Frage nicht verstanden oder Fragebogen nicht ausgefüllt)
- leerer Balken: Zeigt, dass der Wert an diesem Tag 0 ist.
- grau gefüllter Balken: Der passende Wert kann an der linken Achse abgelesen werden

B

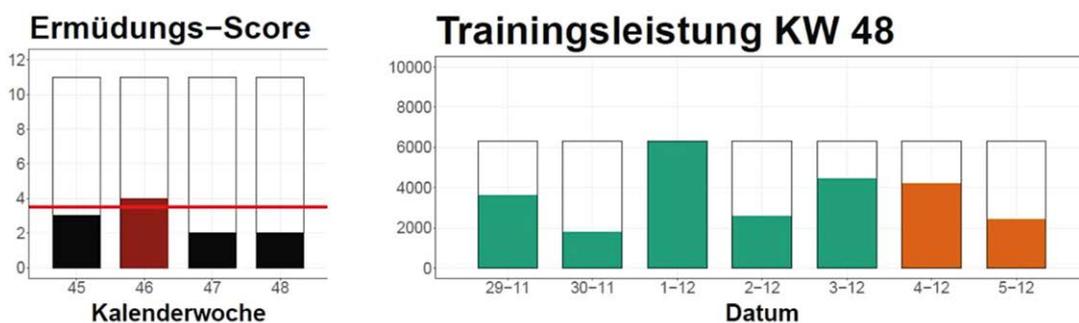


Abbildung 3: Auswertungsbeispiele für die wöchentliche Einzelauswertung (A) und fortlaufende wöchentliche Mittelwerte (B). Zur einfachen Zuordnung der Tage, wurde das Wochenende orange markiert. Der Ermüdungs-Score in Abbildung 3B zeigte in der 46. Kalenderwoche ein leicht positives Ergebnis, welches durch adäquate Trainingssteuerung in der darauf folgenden Woche ausgeglichen wurde.



(<https://bsd-portal.de/>) getestet und erweitert. Das II-EBZ ist als Monitoringinstrument für Trainingslager und die Wettkampfsaison fester Bestandteil. Im Ergebnis existieren zwei optionale Auswertungsmöglichkeiten, welche sowohl eine wöchentliche Einzelauswertung als auch fortlaufende wöchentliche Analyse für SportlerInnen als auch für TrainerInnen umfassen (siehe Auszug in Abb. 3).

2.2 Validierung des II-EBZ für und mit der Sportpraxis

Der Validierungsprozess für den II-EBZ umfasste 692 TeilnehmerInnen und 11.711 Datensätze (tägliche Version des II-EBZ) sowie 29 TeilnehmerInnen und 336 Datensätze (wöchentliche Version des II-EBZ).

Die Validierung des II-EBZ erfolgte durch verschiedene Längs- und Querschnittsstudien. Beispielsweise wurde eine fünfmonatige Längsschnittstudie mit drei Erhebungsphasen mit jeweils zehn Tagen mit jugendlichen Nachwuchsbasketballspielerinnen und -spielern der Jugendbundesligen im Alter von 15 bis 19 Jahren durchgeführt. Weiterhin wurden über einen Zeitraum von 3 Jahren Längsschnittdaten mit den Nachwuchs-Skeletonis erhoben und als feedback zurückgegeben. Zusätzlich wurden Längs- und Querschnittsstudien in verschiedenen sportwissenschaftlichen Studiengängen der Friedrich-Schiller-Universität Jena durchgeführt.

2.2.1 Beispiel für die wissenschaftliche Validierung

Der Zusammenhang von immunologischer Regulation über Nacht und Schlafverhalten war ein Fokus [9]. Dabei wurden zwölf LeichtathletInnen der Trainingsgruppe von Rico May ($m = 6, w = 6$, Alter $16,4 \pm 1,1$ Jahre) über einen Zeitraum von vier Tagen und drei Nächten mittels eines immunologischen Monitorings überwacht. Die kapillaren Blutwerte und der II-EBZ wurden jeweils morgens und nach der letzten Trainingseinheit des Tages erhoben. Es zeigte sich eine starke Assoziation zwischen der Schlafdauer und der nächtlichen Zellkinetik der Leukozyten und der Lymphozyten. Die Ergebnisse zeigen, dass eine längere Schlafdauer mit einer Abnahme der Leukozyten, Granulozyten und Lymphozyten im kapillaren Blut über Nacht einhergeht (Abb. 4). Demzufolge konnte gezeigt werden, dass Schlafdauer (II-EBZ Kategorie Schlaf, siehe Abb. 2) ein wesentlicher Parameter für den II-EBZ ist.

Key-Point

- Das II-EBZ wurde gemeinsam mit der Praxis entwickelt und validiert. Im Fokus der Praxis war u.a. die schnelle präzise Rückmeldung an SportlerInnen und TrainerInnen.

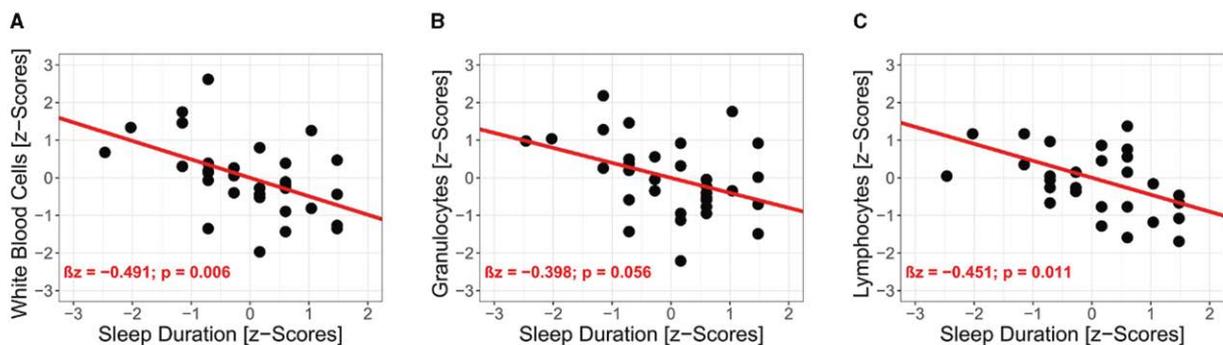


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Zusammenhänge zwischen der Immunregulation nach dem Training und der morgendlichen Kapillarblutmarker und der Schlafdauer. Die Ergebnisse der univariaten Regressionsanalysen sind für weiße Blutkörperchen (A), Granulozyten (B) und Lymphozyten (C) dargestellt, Abb. aus [9].



- Das II-EBZ ist als Monitoringinstrument für Trainingslager und die Wettkampfsaison ist fester Bestandteil der Nachwuchs-Skeletonis des Bob- und Schlittenverbands für Deutschland.
- Längere Schlafdauer geht mit einer Abnahme der Leukozyten, Granulozyten und Lymphozyten im kapillaren Blut über Nacht einher.

2.3 Schlaf: II-EBZ und COVID-19 Pandemie

Die COVID-19-Pandemie führte zu starken Einschränkungen im organisierten Sport und beeinflusste damit auch massiv die Durchführung von Teilprojekten in KINGS 2.0. Insbesondere bei jugendlichen SportlerInnen, deren Tagesablauf

in der Regel durch Schule und Training bestimmt wird, kam es zu einer plötzlichen Veränderung des Lebensstils, zur Änderung oder zum Ausfall des Trainings oder/und zu gesundheitlichen Einschränkungen bis hin zu individuellen Langzeitfolgen durch eine SARS-CoV-2 Infektion.

Für KINGS 2.0 implizierte dies zwingende Anpassungen an die COVID-19 Pandemie. Neben den COVID-19 Symptomen war ein wesentlicher Bestandteil des II-EBZ die Analyse von Schlafparametern und chronotypen Mustern. In KINGS 2.0 wurde die Frage analysiert, inwiefern Schlaf und Training in Phasen der COVID-19 Pandemie interagieren.

Ziel einer Studie [10] war es, Schlaf- und Trainingsverhalten von jugendlichen deutschen

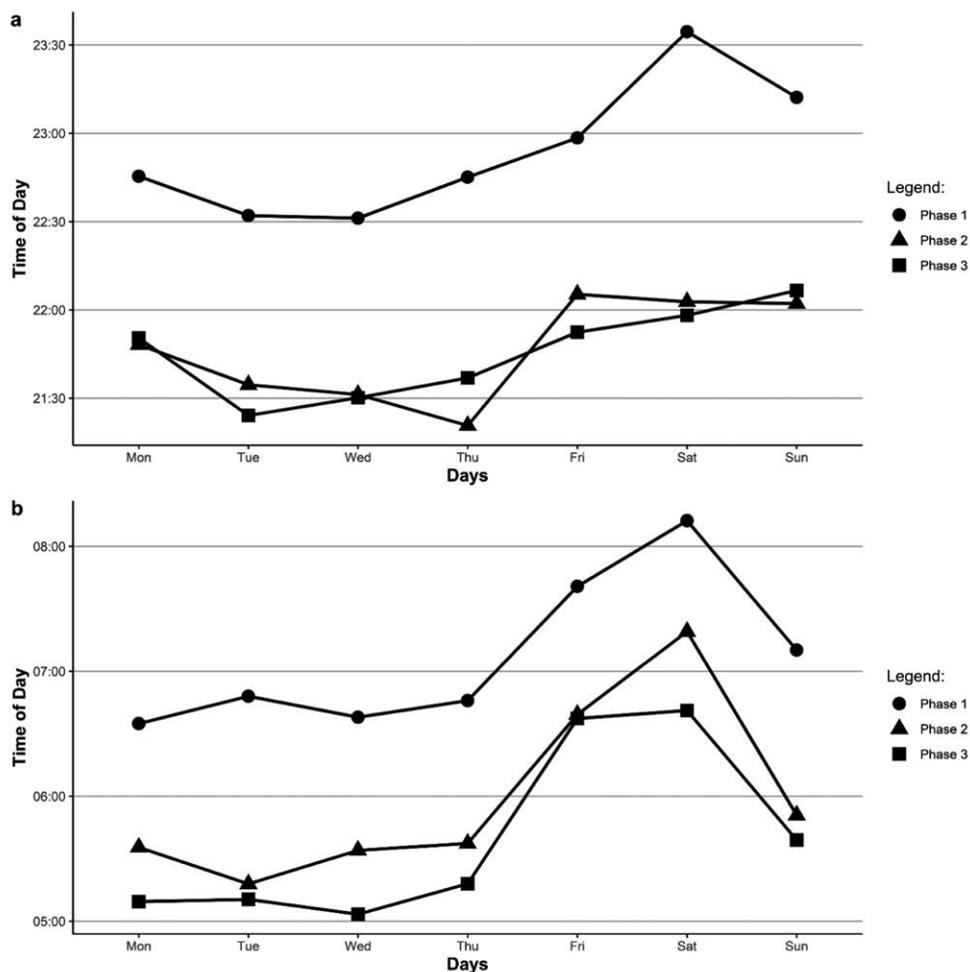


Abbildung 5: Mittlere Schlaf (a) and Aufwachzeiten (b) pro Werktag aus [10].



Elite-BasketballspielerInnen (N = 115, 15,7 ± 1,2 Jahre, weiblich = 32,2%) während verschiedener Phasen der pandemiebedingten Einschränkungen im Jahr 2021 zu untersuchen. Schlaf- und Trainingsverhalten wurden durch ein subjektives Monitoring über zehn Tage in drei verschiedenen Lockdown-Phasen im Februar, April und Juni/Juli dokumentiert.

Die Ergebnisse zeigen [10], dass die Schlafdauer und die Zeit im Bett zwischen Phase 1 (Verbot des organisierten Sports) und Phase 3 (normale Trainingsbedingungen) abnahmen, während die Schlaffeffizienz und -qualität zunahm. Die Trainingsdauer änderte sich im Laufe der Zeit nicht, wohl aber die Trainingsintensität, die in der dritten Phase ihren Höhepunkt erreichte (Abb. 5).

Interessante Einblicke lieferte die Analyse des Chronotypes in den untersuchten Subgruppen (U16, U18, U19). Es zeigt sich eine durchaus für den Nachwuchsleistungssport relevante Verteilung des Chronotypes in den analysierten Alterskategorien (Abb. 6). So existiert bei U18 AthletInnen (N=37) neben dem intermediate type (59.5%) ein relevanter Anteil an SportlerInnen mit einem moderate morning type (13.5%) sowie mit einem moderate evening type (24.3%). Eine am biologischen Chronotyp orientierte Erholungs- und Belastungssteuerung sowie

return to sports Protokolle sollten diese Chronotyp-Verteilungen im Nachwuchsleistungssport berücksichtigen. Es gelang somit aussagekräftige Belege für die Analyse des Lockdown-Prozesses bei der Rückkehr zum Training zu gewinnen. Die AthletInnen waren in der Lage, die Trainingsdauer mit alternativen Protokollen während der Pandemie Bedingungen aufrechtzuerhalten. Interessanterweise schliefen die AthletInnen ohne pandemiebedingte Einschränkungen weniger, berichteten aber über eine bessere Schlafqualität.

Eine weitere Pandemie bezogene Fragestellung war es, Auswirkungen von Schlaf-Wach-Mustern und Tagesrhythmen einschließlich Training auf die mittlere Schlafzeit (“midsleep time”) bei jugendlichen Basketballspielern während der COVID-19-Pandemie zu analysieren.

Die “midsleep time” ist ein entscheidender Schlafparameter für das Erholungsmanagement, und beschreibt die Mitte zwischen dem Einsetzen des Schlafs und dem Aufwachen. Sie bezieht sich auf den Mittelpunkt der Schlafperiode einer Person, die zur Bestimmung ihres Chronotyps oder ihrer diurnalen Präferenz verwendet werden kann. Sie korreliert gut mit physiologischen Markern wie dem Melatonineintritt bei Dämmerlicht und dem Minimum des täglichen Cortisolrhythmus.

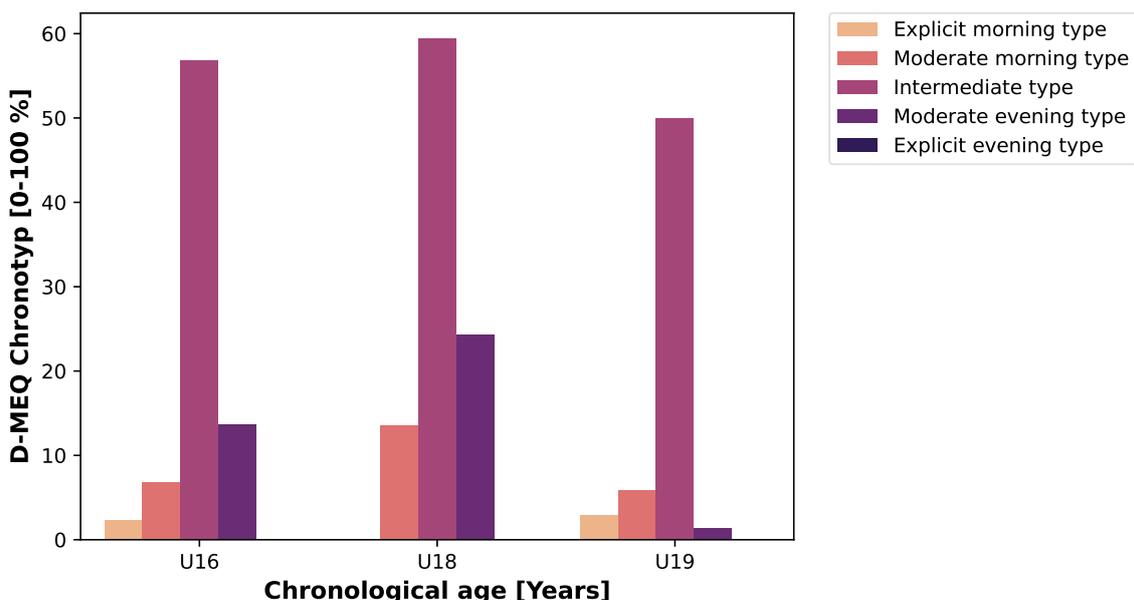


Abbildung 6: Chronotype in den analysierten Alterskategorien nach [10]. Ein “explicit evening type” wurde in keiner der untersuchten Alterskategorien beobachtet.



Ziel der Untersuchung war es [11], den Einfluss von Chronotyp, Alter, Geschlecht, Pandemie-Phase, Wochenende und Trainingsgewohnheiten auf die “midsleep time” bei deutschen jugendlichen Elite-BasketballerInnen (N = 91, 15,7 ± 1,1 Jahre, weiblich = 39,5%) im Rahmen eines zehntägigen subjektiven Überwachungsprogramms während drei verschiedener Pandemiephasen zu untersuchen: Phase 1: 16. bis 26. Februar 2021 (Lockdown in Deutschland bereits seit drei Monaten), Phase 2: zwischen dem 13. bis 23. April 2021 (organisiertes Training war für SportlerInnen der Landeskader und der deutschen Jugendnationalmannschaften nur in Kleingruppen oder im Einzelunterricht erlaubt), Phase 3: 23. Juni bis 2. Juli 2021 (alle Trainingseinschränkungen wurden aufgehoben).

Es zeigte sich ein negativer linearer Zusammenhang zwischen Chronotyp und “midsleep time” (siehe Abb. 7). Der Wochenendparameter wies einen positiven Effekt auf, was das Auftreten eines sozialen Jetlags verdeutlichen könnte.

Das Hauptergebnis dieser Untersuchung ist, dass ein morgendlicher Chronotyp während des gesamten Erhebungszeitraums mit einer früheren midsleep time assoziiert war.

Die Ergebnisse bestätigen, dass der Chronotyp einer der Haupteinflussparameter für den Zeitpunkt der “midsleep time” ist und bei der Analyse des Schlafverhaltens bei SportlerInnen erfasst werden sollte.

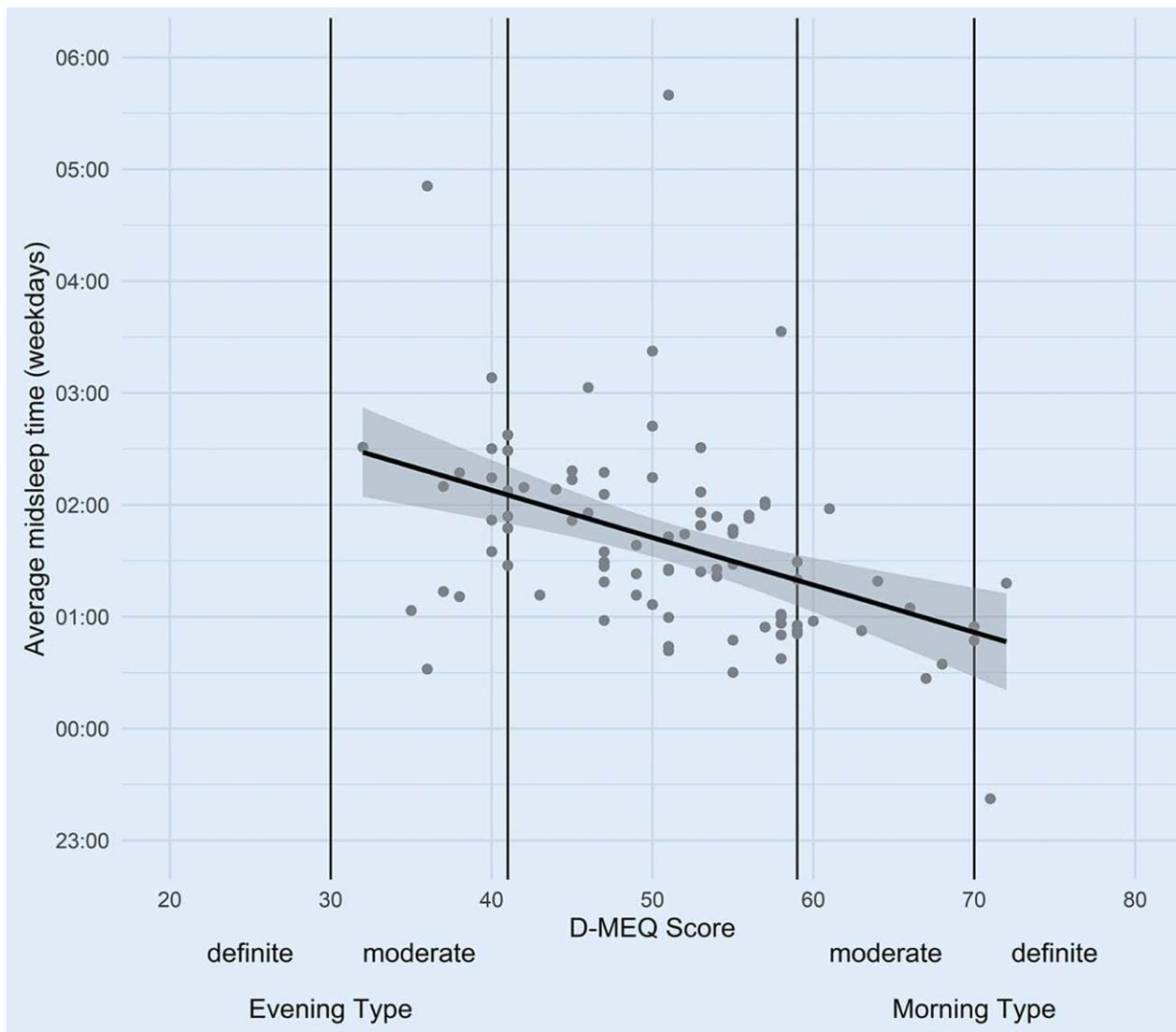


Abbildung 7: Lineare-Regression der durchschnittlichen “midsleep time” nach Chronotyp [11]. D-MEQ: Deutsche Version des Morning-Eveningness Questionnaire (Griefahn et al., 2001).



Key-Point

- › Schlafdauer und die Zeit im Bett nehmen zwischen Phase 1 (Verbot des organisierten Sports) und Phase 3 (normale Trainingsbedingungen) ab, während die Schlafeffizienz und -qualität zunahm.
- › Die Trainingsintensität nimmt mit Normalisierung der Pandemiebedingungen zu.
- › Die Erfassung des biologischen Chronotyp für ist für die Erholungs- und Beanspruchungssteuerung sehr bedeutsam im Nachwuchsleistungssport (U16-U19).
- › Ein morgendlicher Chronotyp ist mit einer früheren „midsleep time“ assoziiert.

2.4 Überführung des II-EBZ in das Datenmanagementsystem “REGmon”

Ziel des Teilprojektes in KINGS 2.0 war es, den Fragebogen „Immunologisches Inventar für Belastungs- und Erholungszustände“ (II-EBZ) in das bestehende Monitoringsystem REGmon zu überführen, um eine einheitliche Datenerfassung zu ermöglichen, welche sowohl die Anforderungen der Forschungs- als auch der Praxisperspektive erfüllen.

Ein weiteres Ziel stellte die begleitende quantitative Prozessevaluation mit den AthletInnen und TrainerInnen dar, welche eine Prozessoptimierung für die Implementierung weiterer Monitoring-Tools ermöglichen soll.

Methodische Aspekte

In verschiedenen Testphasen wurde die Überführung zunächst intern und unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten genutzt, wodurch eine Anpassung an forschungsrelevante Bedürfnisse

vorgenommen wurde. Hier zeigte sich, dass bestehende Auswertungsroutinen an die vorgegebene Datenbankstruktur von REGmon angepasst werden müssen. Dies betraf primär die Datums- und Zeitangaben sowie einzelne Spalten. Mit minimalem Aufwand konnten die etablierten Prozesse optimiert werden, wodurch die Forschung von einem vereinfachten Datenmanagement profitiert.

2.4.1 Implementierung in Sportpraxis am Beispiel Skeleton

Im Laufe der Überführung in die Sportpraxis gemeinsam mit Nachwuchs-Cheftrainerin Skeletonis Anja Selbach und Michael Höhne (Bob- und Schlittenverband für Deutschland) hat sich gezeigt, dass eine explizite Einweisung der NachwuchsleistungssporterInnen notwendig ist, um den Anmeldeprozess reibungslos abzuschließen. Dies wurde sowohl vor Ort als auch über ein Zoom-Meeting gewährleistet.

- › **In der ersten Phase** wurde das Athletenmonitoring im Rahmen eines Lehrgangs getestet. Die SportlerInnen wurden täglich durch E-Mails auf das Ausfüllen des II-EBZ hingewiesen. Die Kontinuität der Daten lag mit > 95% deutlich über der bisherigen Erhebung mittels SoSci-Survey. Unter Verwendung des bereits etablierten Auswertungsalgorithmus und der Open-Source Software „R“ wurde eine individualisierte Auswertung erstellt.
- › **In der zweiten Phase** wurde 2 Wochen lang an das Ausfüllen des II-EBZ erinnert. In der dritten Woche wurden die Erinnerungen eingestellt, was zu einer deutlichen Reduktion der Compliance führte (J: -41%, M: -39%), weshalb **tägliche Erinnerungen für ein eigenständiges Monitoring von essenzieller Bedeutung sind**. Dabei zeigte sich, dass die Ausfüllquote einen geschlechtsspezifischen Unterschied aufweist (J: von 70% auf 29%; M: von 92% auf 53%). Auf Wunsch der Sportpraxis wurden das Monitoring und die Erinnerungen bis zum Ende des Projektes verlängert.



Nach jeder Testphase wurde eine quantitative Evaluation durchgeführt. Das Feedback von 18 SportlerInnen (M = 6, W = 12) wurde auf einer 7-stufigen Likert-Skala (0 = trifft gar nicht zu; 6 = trifft vollkommen zu) erfasst und ist in Abb. 8 dargestellt. Es zeigte sich, dass das Ausfüllen im Mittel sehr leicht fällt (FR1 MW \pm SD; M: 5.67 \pm 0.52, W: 5.17 \pm 0.83). Allerdings ist keine klare Aussage zur Beeinträchtigung im Alltag möglich (FR2; M: 3.50 \pm 2.51, W: 3.92 \pm 2.23). Die digitale Erfassung von immunologischen Parametern wurde als überwiegend sinnvoll betrachtet (FR3; M: 4.83 \pm 0.98, W: 4.42 \pm 1.44), wobei **REGmon als leicht verständliche Benutzeroberfläche bewertet wurde** (FR4; M: 5.67 \pm 0.82, W: 4.67 \pm 1.87). Obwohl sich Sportlerinnen und Sportler das eigenständige Einsehen der Auswertung wünschen (FR5; M: 5.33 \pm 1.21, W: 5.33 \pm 0.89), ist die Rückmeldung durch die TrainerInnen ausreichend (FR6; M: 4.17 \pm 1.94, W: 4.17 \pm 1.85). Insgesamt wird der Sinn des Monitorings erkannt (FR7; M: 4.67 \pm 1.51, W: 5.42 \pm 0.67).

Die Abschließende Evaluation (vgl. Abb. 9) zeigte, dass das Ausfüllen im Mittel schwerer fiel (FR1 MW \pm SD; M: 4.44 \pm 1.42, W: 4.57 \pm 0.85), diese jedoch den Alltag weniger beeinflusst (FR2; M: 4.33 \pm 1.80, W: 4.43 \pm 1.09). Die digitale Erfassung von immunologischen Parametern wurde weiterhin als überwiegend sinnvoll betrachtet (FR3; M: 4.44 \pm 1.42, W: 4.14 \pm 1.10). REGmon wurde von den Sportlerinnen als leichter verständlich bewertet (FR4; M: 5.44 \pm 0.52, W: 4.67). Das Interesse an eigener Datenauswertung ist bei SportlerInnen und Sportlern gesunken (FR5; M: 4.00 \pm 2.40, W: 4.86 \pm 1.61). Hinsichtlich der Beschränkung auf Auswertung durch das Trainerpersonal betrachten die Sportlerinnen diese als weniger ausreichend (FR6; M: 4.00 \pm 1.50, W: 3.21 \pm 2.12). Der Sinn des Monitorings wird von den Sportlerinnen im Vergleich zur ersten Evaluation weniger erkannt (FR7; 4.50 \pm 1.22), wohingegen die Sportler keine Veränderung aufweisen (FR7; 3.78 \pm 1.48). Die abschließende Evaluation wurde um 3 Items erweitert. In diesen zeigt sich, dass das

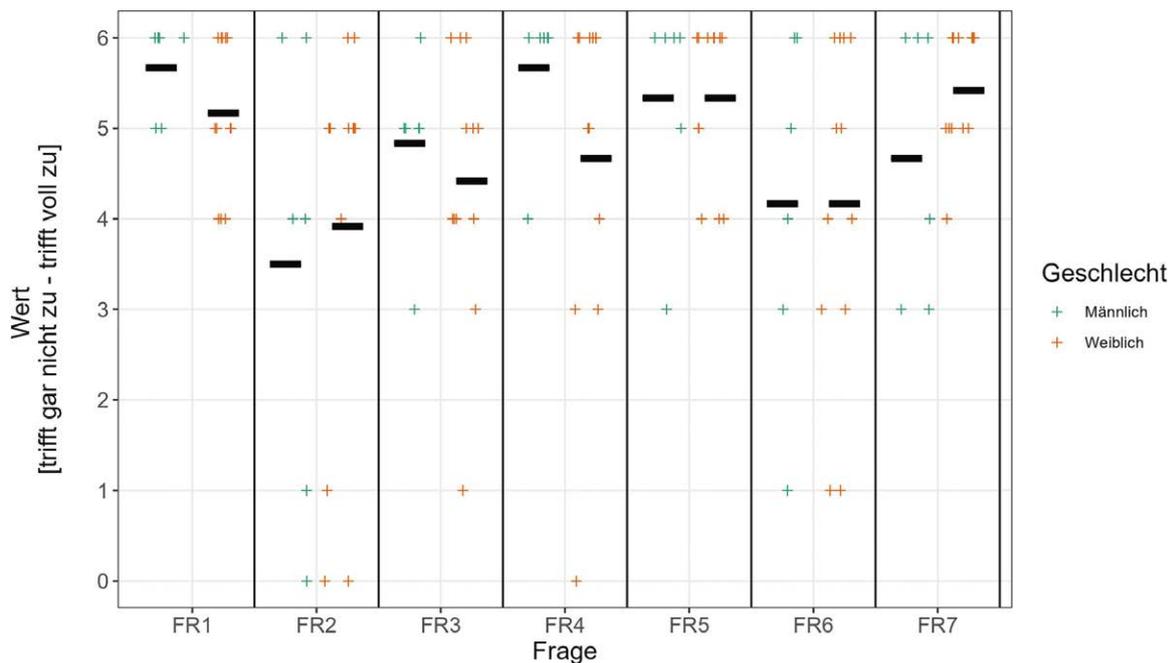


Abbildung 8: Evaluation der Beta-Testphase 1. Die erste Phase der Praxisüberführung wurde mit einer Evaluation abgeschlossen. Diese wurde über eine 7-stufige Likert-Skala (0 = trifft gar nicht zu; 6 = trifft vollkommen zu) erfasst und umfasste folgende Aussagen: Das Ausfüllen des Fragebogens fällt mir leicht. (FR1); Das Ausfüllen der Fragebögen beeinträchtigt meinen Alltag nicht. (FR2); Die digitale Erfassung meiner immunologischen Erholungs- und Beanspruchungsdaten erachte ich als sinnvoll. (FR3); Die Benutzeroberfläche von REGmon ist leicht verständlich. (FR4); Die Auswertung meiner Daten möchte ich eigenständig einsehen können. (FR5); Die Rückmeldung von meiner Trainerin/meinem Trainer ist ausreichend für mich. (FR6); Ich erkenne den Sinn des Monitorings mittels II-EBZ und REGmon. (FR7).



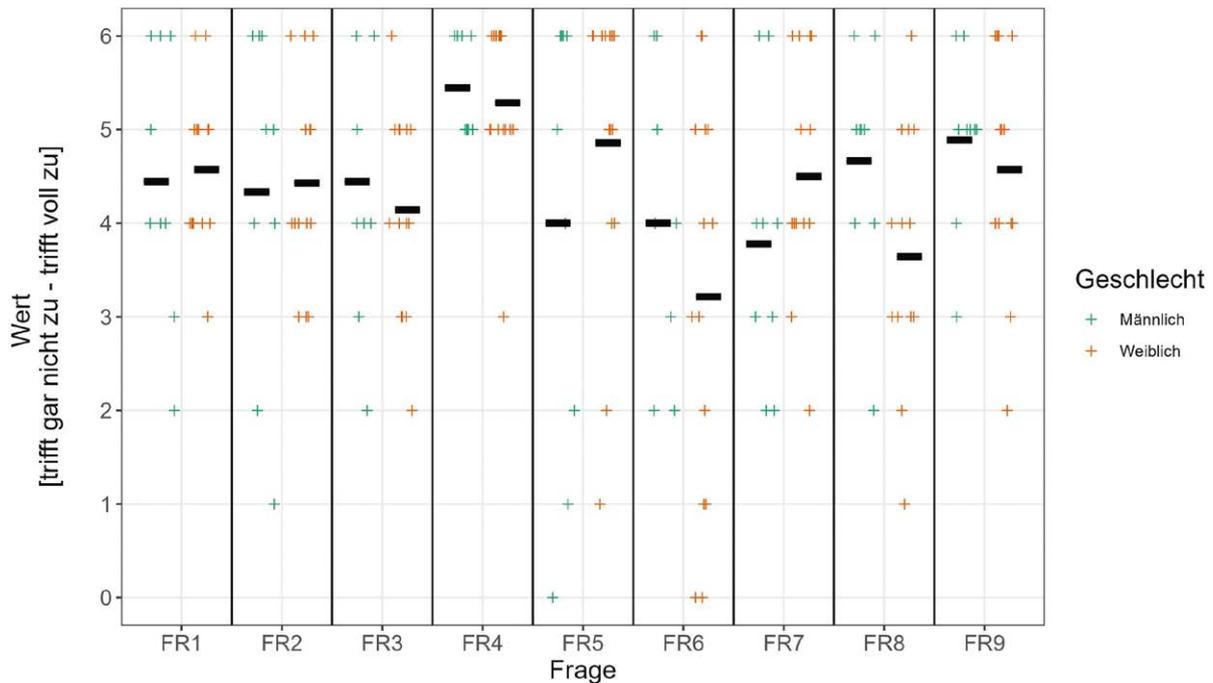


Abbildung 9: Evaluation der Beta-Testphase 2. Die zweite Phase der Praxisüberführung wurde ebenfalls mit einer Evaluation abgeschlossen. Diese wurde über eine 7-stufigen Likert-Skala (0 = trifft gar nicht zu; 6 = trifft vollkommen zu) erfasst und umfasste folgende Aussagen: Das Ausfüllen des Fragebogens fällt mir leicht. (FR1); Das Ausfüllen der Fragebögen beeinträchtigt meinen Alltag nicht. (FR2); Die digitale Erfassung meiner immunologischen Erholung- und Beanspruchungsdaten erachte ich als sinnvoll. (FR3); Die Benutzeroberfläche von REGmon ist leicht verständlich. (FR4); Die Auswertung meiner Daten möchte ich eigenständig einsehen können. (FR5); Die Rückmeldung von meiner Trainerin/meinem Trainer ist ausreichend für mich. (FR6); Ich erkenne den Sinn des Monitorings mittels II-EBZ und REGmon. (FR7); Wenn ich keine tägliche Erinnerung erhalte, vergesse ich den Fragebogen auszufüllen. (FR8); Ich bin mit dem Monitoringsystem zufrieden. (FR9); Das würde ich mir anders wünschen: (offene Texteingabe, nicht abgebildet).

Ausfüllen des Monitorings ohne tägliche Erinnerung wahrscheinlich vergessen wird (FR8; M: 4.67 ± 1.22 , W: 3.64 ± 1.37) und die SportlerInnen überwiegend mit dem Monitoring zufrieden sind (FR9; M: 4.89 ± 0.93 , W: 4.57 ± 1.22). Die Frage nach Verbesserungsvorschlägen ergab, dass 3 SportlerInnen sich wünschen, ihre Periode eintragen zu können und Reisetage zu markieren. Ein Sportler hingegen wünscht sich die Überführung von REGmon in eine eigenständige App, welche im gerätespezifischen App-Store heruntergeladen werden kann. Die tägliche und wöchentliche Version des II-EBZs wurden in Formularform im Open Source Repository veröffentlicht. Bei der Einrichtung einer eigenen REGmon-Instanz können diese Formulare optional vorinstalliert werden.

2.5 REGmon goes open source

„REGmon“ ist eine webbasierte Softwarelösung für das Athletenmonitoring und wurde dem Bedarf der Leistungssportpraxis folgend ursprünglich im WVL-Projekt „Optimierung von Training und Wettkampf: Regenerationsmanagement im Spitzensport“ (REGman) entwickelt. Die Software steht seit Ende 2023 dem gesamten Sport, von der Praxis bis zur Wissenschaft, als Open Source Software zur Verfügung. Erstmals gehen das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) und die REGman-Projektgruppe mit der Freigabe von REGmon unter einer Lizenzierung durch eine Open Source Lizenz (MIT) einen neuen Weg für eine vollständig freie und nachhaltige Bereitstellung eines digitalen Projektergebnisses. Sie unterstreichen damit ein zeitgemäßes Engagement für transparente Forschung



und die Förderung von Innovationen im Bereich der Sportwissenschaft. Das “REGmon Open Source Project“ steht für eine freie Verfügbarkeit von Wissen und lebt von aktiver Partizipation.

Für die Erfassung der immunologischen Beanspruchung und als Grundlage für die Optimierung des Trainingsprozesses im Allgemeinen ist die regelmäßige, engmaschige und trainingsbegleitende Erfassung von Belastungen und die hierauf folgenden Reaktionen auf individueller Ebene von Bedeutung. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung gewinnen hierbei datenbasierte und nutzerzentrierte Softwarelösungen immer mehr an Bedeutung, um sowohl die Erfassung der umfangreichen Daten als auch die Datenanalyse und die Ergebnismeldung effektiv, effizient und userfreundlich zu gestalten.

REGmon ist eine web-basierte Applikation zur Umsetzung von ganzheitlichen, flexiblen Athletenmonitoring-Systemen zur Unterstützung individualisierter Trainingsprozesse, die auf die langfristige Entwicklung von Athletinnen und Athleten abzielen – vom Nachwuchs bis zum Spitzensport. Im Mittelpunkt stehen die Athletinnen und Athleten inklusive ihrer Rechte an den personenbezogenen Daten und deren Schutz.

Die im Baukasten-Prinzip konzipierte und umfassend anpassbare Applikation bildet den Monitoring-Zyklus von der userzentrierten Datenerfassung, über vielfältige Verarbeitungs- und Analyseoptionen bis hin zu diversen Visualisierungsmöglichkeiten vollumfänglich ab. Das responsive Front-End ermöglicht dabei den Zugriff über alle gängigen Webbrowser auf Computern und mobilen Endgeräten. REGmon kann neben der Anwendung in der Sportpraxis auch für ein effizientes und datenschutzkonformes Datenmanagement in Forschungsprojekten eingesetzt werden.

Weitere Informationen:

<https://regmon-project.org>

REGmon-Repository auf GitHub:

<https://github.com/REGmon-project/regmon>

Wissenschaftliche Begleitpublikation Preprint:

<https://sportrxiv.org/index.php/server/preprint/view/342>

2.6 Key-Points: Immunologisches Inventar für Erholungs- und Beanspruchungszustände (II-EBZ)

2.6.1 Implikationen für die Sportpraxis

- Die im Vorgänger-Projekt bereits evaluierte belastungsinduzierte immunologische Stressreaktion kann im Rahmen eines immunologischen Monitorings überwacht und deren Regulation über Nacht analysiert werden. Somit dient der II-EBZ als Entscheidungshilfe für gesundheits- und leistungsrelevante Aspekte der Trainingssteuerung.
- Das Monitoring kann fragebogengestützt durchgeführt werden und benötigt keine zusätzlichen Hilfsmittel.
- Besondere Beachtung sollte dem Schlaf gewidmet werden. Die derzeitigen Daten belegen, dass vor allem die Schlafdauer mit der immunologischen Regulation über Nacht signifikant assoziiert ist. Eine längere Schlafdauer geht mit einer Abnahme der Leukozyten, Granulozyten und Lymphozyten im kapillaren Blut über Nacht einher.
- Vergleichbare vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Schlafregularität ein weiterer unabhängiger Parameter ist, der im Rahmen eines zeitlich begrenzten täglichen Monitorings überwacht werden sollte.
- Es kann eine empfohlene nächtliche Schlafdauer für Jugendliche von 8–10 Stunden und für Erwachsene von 7–8 Stunden abgeleitet werden.
- Es existiert in Abhängigkeit vom Chronotyp offensichtlich ein “sweet spot” bezüglich der Schlafdauer und der Zeit im Bett, der einen Einfluss auf die Schlaffeffizienz und -qualität hat.



- › Schlafdauer und die Zeit im Bett nehmen zwischen Phase 1 (Verbot des organisierten Sports) und Phase 3 (normale Trainingsbedingungen) ab, während die Schlaffeffizienz und -qualität zunahm.
- › Die Trainingsintensität nimmt mit Normalisierung der Pandemiebedingungen zu.
- › Die Erfassung des biologischen Chronotyps ist für die Erholungs- und Beanspruchungssteuerung im Nachwuchsleistungssport sehr bedeutsam (U16-U19).
- › Ein morgendlicher Chronotyp ist mit einer früheren „midsleep time“ assoziiert.
- › Eine am biologischen Chronotyp orientierte Erholungs- und Belastungssteuerung sollte in Abhängigkeit des biologischen Alters eine potenzielle Veränderung des Chronotyps berücksichtigen (z.B. insbesondere bei return to sports Protokollen im Nachgang von Infektionen der oberen Atemwege oder Tapering-Phasen).
- › Chronotyp und “midsleep time” sind zentrale Parameter für die (immunologische) Trainingssteuerung.
- › Das Monitoring unter Verwendung von REGmon ist laut Sportpraxis leicht verständlich und in Kombination mit Erinnerungen sehr konsistent. Daher wird dessen Verwendung in der Sportpraxis empfohlen.
- › Für die eigenständige Datenerfassung sind im Jugendbereich tägliche Erinnerungen, zumindest zur Einführung, notwendig.
- › REGmon wurde unter Nutzung einer Open Source Lizenz veröffentlicht und kann damit kostenfrei genutzt werden. Weitere Informationen: <https://regmon-project.org>

QR-Codes

#1 QR-Code:
Beispiele II-EBZ



#2 QR-Code: GitHub:
REGmon-Repository auf GitHub



beeinflussen können, reagieren junge SportlerInnen möglicherweise anders auf ein sequenziertes Kraft- und Ausdauertraining (Concurrent Training; CT) als Erwachsene.

Ziel einer systematischen Übersichtsarbeit mit Metaanalyse [12] war es, die Auswirkungen eines kombinierten Kraft- und Ausdauertrainings auf ausgewählte Komponenten der körperlichen Fitness und der sportlichen Leistung im Nachwuchsleistungssport zu ermitteln. Die systematische Suche in elektronischen Datenbanken (z. B. PubMed) identifizierte 15 Studien mit Kindern und Jugendlichen im Alter von 10 bis 18 Jahren.

CT führte im Vergleich zu singulärem Ausdauertraining bei jungen Sportlern zu kleinen Effekten auf die sportliche Leistung ($n = 11$ Studien, standardized mean difference [SMD] = 0,41, $p = 0,04$) und zu trivialen Effekten auf die kardiorespiratorische Ausdauer ($n = 4$ Studien, SMD = 0,04, $p = 0,86$) und die Bewegungsökonomie ($n = 5$ Studien, SMD = 0,16, $p = 0,49$) zugunsten von CT. Eine Subanalyse des chronologischen Alters (Abb. 10) ergab einen Trend, dass CT im Vergleich zu Ausdauertraining stärkere Effekte auf die sportliche Leistung bei Jugendlichen (SMD = 0,52) hatte als bei Kindern (SMD = 0,17). CT bewirkte im Vergleich zu singulärem Krafttraining kleine Effekte bezüglich Muskelkraft ($n = 4$ Studien, SMD = 0,23, $p = 0,04$).

Key-Point

- ▶ Concurrent Training (CT) ist bei der Verbesserung spezifischer Parameter der körperlichen Fitness und sportlichen Leistung bei Jugendlichen effektiver als ausschließlich angewandtes Ausdauer- oder Krafttraining.
- ▶ Insbesondere zeigte CT im Vergleich zu Ausdauertraining signifikante Verbesserungen der sportlichen Leistung sowohl bei Kindern als auch, in höherem Maße, bei Jugendlichen. Darüber hinaus erwies sich CT als effektiver als Krafttraining zur Steigerung der Muskelkraft bei Jugendlichen.

2.7.2 Sequenzierungseffekte beim Concurrent training und körperliche Fitness im Nachwuchsleistungssport – Fußball

Sequenzierungseffekte von kombiniertem Kraft- und Ausdauertraining auf ausgewählte Maße der körperlichen Fitness bei jungen männlichen Fußballspielern: Eine randomisierte Studie

Verschiedene körperliche Fitnesskomponenten wie Muskelkraft, Schnelligkeit und Ausdauer stehen mit der fußballspezifischen Leistung im Zusammenhang. Dementsprechend ist die Kombination von Kraft- und Ausdauertraining eine häufig anzutreffende Trainingsform im Fußball. Über die Auswirkungen der CT-Sequenzierung auf die Leistung von jungen Fußballspielern ist bislang wenig bekannt. Ziel dieser Studie [13] war es, die Auswirkungen der Abfolge (Sequenzierung) von Kraft- und Ausdauertraining innerhalb derselben Trainingseinheit (intrasession) auf Merkmale der körperlichen Fitness und die fußballspezifische Leistung bei jungen Fußballspielern zu untersuchen.

Fünzig männliche Nachwuchsfußballer wurden randomisiert einer Kraft-Ausdauer-Gruppe (SE) oder einer Ausdauer-Kraft-Gruppe (ES) zugewiesen, wobei die Paare auf der Grundlage ihrer Countermovement-Sprungleistung (CMJ) bei Studienbeginn den Experimentalgruppen (SE, ES) allokiert wurden. Beide Gruppen absolvierten während der Saison ein zwölfwöchiges Trainingsprogramm mit zwei wöchentlichen CT-Einheiten. Die Trainingseinheiten bestanden aus 15 Minuten plyometrischen Übungen (Sprungkraftübungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus) und 15 Minuten fußballspezifischem intermittierendem Ausdauertraining (“small-sided games”). Dabei wurden die Trainingsumfänge standardisiert, sodass sich nur die Reihenfolge der CT-Einheiten (SE vs. ES) unterschied. Vor und nach der Intervention wurden Parameter der Muskelkraft (CMJ, Squat Jump [SJ]), die lineare Sprintgeschwindigkeit



(30-m-Sprinttest), die Gewandtheit (Illinois-Test mit/ohne Ball) und die fußballerische Leistung (Ballschussgeschwindigkeit) analysiert.

Beide CT-Sequenzierungen verbesserten die Leistung in den durchgeführten Tests, wobei lediglich der 30-m Sprint größere Verbesserungen in der ES im Vergleich zur SE-Gruppe zeigte. Die CT-Sequenzierung innerhalb einer Trainingseinheit (SE vs. ES) scheint keinen wesentlichen Einfluss auf die Anpassungen der körperlichen Fitness zu haben. Eine Ausnahme stellt die lineare Sprintgeschwindigkeit dar, die eine stärkere Verbesserung in der CT-Sequenzierung ES aufwies.

Key-Points

- › Die Reihenfolge der Trainingsinhalte (Kraft-Ausdauer vs. Ausdauer-Kraft) führte bei jugendlichen männlichen Fußballspielern zu vergleichbaren Veränderungen in der körperlichen Fitness.
- › Ist das Ziel die Verbesserung der linearen Sprintgeschwindigkeit, erscheint die Sequenzierung in der Reihenfolge Ausdauer-Kraft als vorteilhafter.
- › Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um Erkenntnisse über die Effekte von kombiniertem Kraft- und Ausdauertraining sowie über die Auswirkungen unterschiedlicher Sequenzierungsformen (z.B. innerhalb eines Trainingstages oder Mikrozyklus) zu gewinnen. Dabei sollten auch verschiedene Krafttrainingsmethoden (z.B. Maximalkrafttraining, Schnellkrafttraining) und Ausdauertrainingsformen (z.B. hochintensives Intervalltraining) berücksichtigt werden.

2.7.3 Sequenzierungseffekte und immunologische Stressregulation beim „Concurrent Training“

Für die Analyse von **Sequenzierungseffekten** mit Fokus auf die immunologische Stressreaktion wurde eine Untersuchung im Crossover-Design mit NachwuchsathletInnen durchgeführt [14].

An der Studie nahmen 20 männlich und 20 weibliche Nachwuchsjudoka teil. Diese führten eine Kraft-Ausdauer (SE) oder Ausdauer-Kraft (ES) Trainingseinheit durch. Nach einer 14-tägigen wash-out Phase wurde die Sequenzierung getauscht. An jedem Tag wurden zu vier Messzeitpunkten (vor der Belastung = PRE, zwischen den Belastungen = MID, nach den Belastungen = POST, sechs Stunden nach Belastungen = POST6H) objektive und subjektive Messgrößen erhoben. Kapilläre Blutwerte wurden zu den Zeitpunkten PRE, POST und POST6H erfasst. Laktat und Glucose hingegen PRE, MID und POST. Es wurden Sprunghöhe, Sprungleistung beim Countermovement Jump (CMJ) sowie das subjektive Anstrengungsempfinden (RPE) zu allen vier Zeitpunkten erhoben.

Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten akuten Sequenzierungseffekt, wobei in der Gruppe Kraft-Ausdauer ein stärkerer Anstieg der Leukozyten und Lymphozyten beobachtet wurde (Abb. 11). Im Gegensatz dazu führte die Sequenzierung Ausdauer-Kraft zu einem signifikant stärkeren akuten Anstieg der Granulozyten, der GRAN/LYM Ratio sowie des systemischen Entzündungsindex zum Messzeitpunkt nach der Belastung. Zum Messzeitpunkt sechs Stunden nach der Belastung zeigten Leukozyten und Granulozyten einen signifikanten Interaktionseffekt, wobei beide Parameter in der Gruppe SE stärker anstiegen. Die CMJ-Leistung und das Anstrengungsempfinden zeigten zum Zeitpunkt MID einen signifikanten Sequenzierungseffekt mit einem stärkeren Anstieg in der ES-Gruppe. Zum Zeitpunkt POST zeigte der Parameter CMJ-Kraft (Abruckkraft vom Boden in N) einen signifikant stärkeren Anstieg in der ES-Gruppe.

Key-Points

- › Concurrent Training ist bei gesunden männlichen Judoka mit akuter (≤ 15 min) und verzögerter (≤ 6 h) belastungsinduzierter immunologischer Regulation assoziiert.
- › Die Kraft-Ausdauer-Reihenfolge führte zu einem stärkeren Anstieg der Leukozyten im Vergleich zur Ausdauer-Kraft-Reihenfolge.



- › Hinsichtlich systemischer Entzündung (SII) zeigten die Ergebnisse signifikant größere Vorher-Nachher-Veränderungen nach Belastung für die Sequenzierung Ausdauer-Kraft im Vergleich zu Kraft-Ausdauer (siehe Abb. 12). Diese Effekte waren sechs Stunden nach der Belastung nicht mehr verschieden zwischen den beiden Sequenzierungsmodi.
- › Es wurden belastungsabhängige Schwankungen in der CMJ-Kraft (in N) mit größeren Leistungseinbußen nach Ausdauer-Kraft im Vergleich zur Kraft-Ausdauer-Reihenfolge beobachtet.
- › Die Sequenzierung von Kraft- und Ausdauertraining zeigt einen akuten Effekt auf die maximale Leistung im Countermovement-Jump und das subjektive Anstrengungsempfinden, welches nach 6 Stunden egalisiert ist.

2.7.4 Immunologische Regulation über Nacht nach Concurrent Training

Ein weiterer Fokus war die Analyse der immunologischen Regulation bzgl. regenerativer Prozesse [15]. Hierfür wurden die nächtlichen Veränderungswerte (INT) auf die Baseline Nacht (BL) referenziert. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Sequenzierungseffekt für Leukozyten, Granulozyten, Systemischen Inflammationsindex und den Systemischen-Inflammations-Response-Index (SIRI, Abb. 12 A, B). Es zeigt sich eine stärkere immunologische Regulation über Nacht bei SE (Kraft+Ausdauer) im vgl. zu ES (Ausdauer+Kraft).

Key-Points

- › Aus Sicht des immunologischen Stresses ist eine Sequenzierung im Sinne des Regimes Ausdauer-Kraft zu empfehlen, insbesondere in Phasen hoher Trainingsbelastungen zu empfehlen (geringere systemische Entzündung).

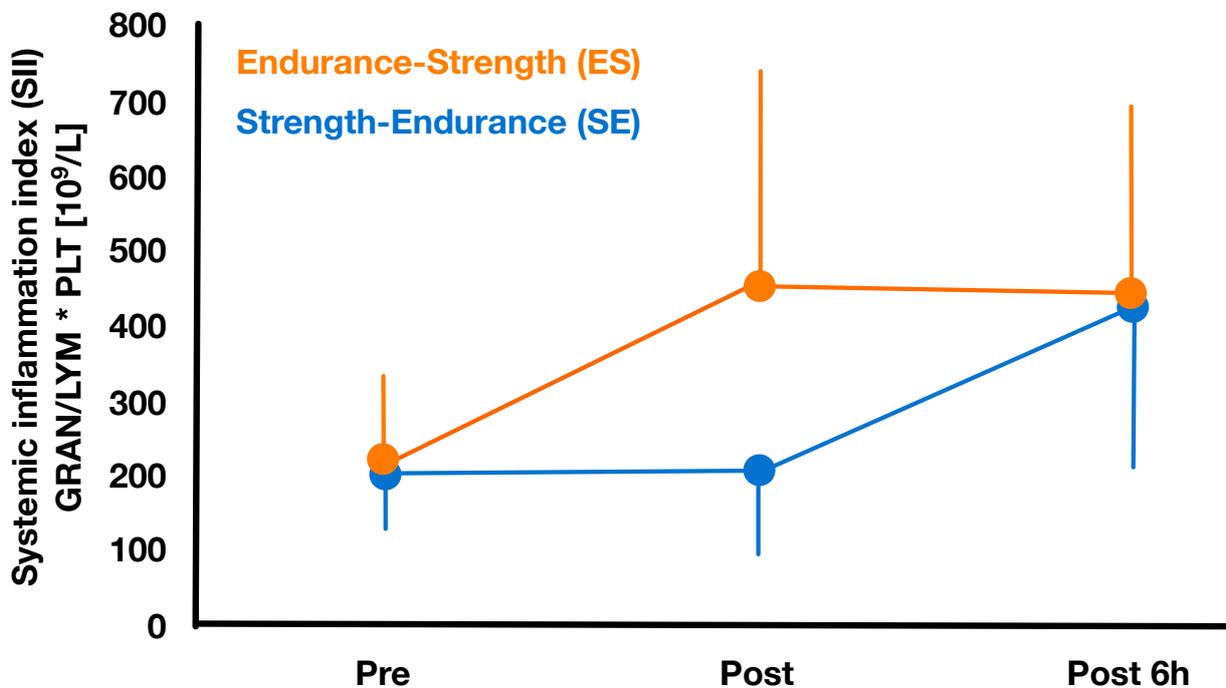


Abbildung 11: Mittelwerte und Standardabweichung für den systemischen Entzündungsindex (SII), die vor, nach und 6 Stunden nach dem Training für die Reihenfolge Kraft-Ausdauer (Strength-Endurance) und Ausdauer-Kraft (Endurance-Strength) erfasst wurden.



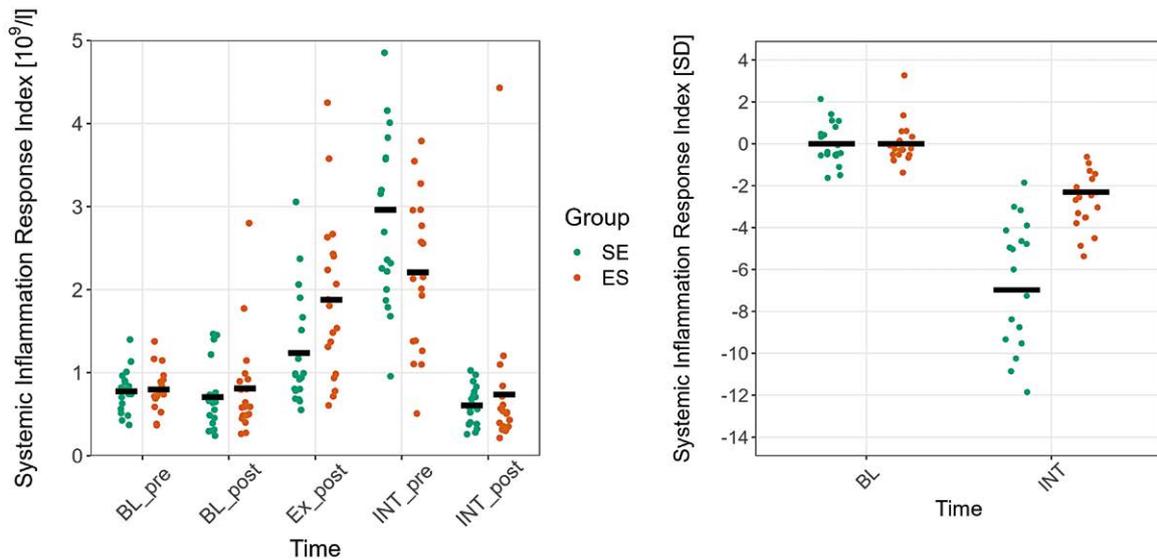


Abbildung 12: A, B. Interaktion zwischen Kraft-Ausdauer (SE) und Ausdauer-Kraft (ES) gleichzeitiges Training (CT). Dargestellt sind Mittelwerte und Einzeldaten von 20 Athleten der als Change-Score (referenziert auf BL-Nacht). Von jedem Athleten wurden Messungen am Abend und Morgen vor (BL_pre, BL_post) und nach PE und EP (INT_pre, INT_post) vorgenommen. Insgesamt werden die Messungen von 20 Athleten dargestellt.

- Die immunologische Regeneration über Nacht ist essenziell für die Kraft-Ausdauer-Sequenzierung. Demzufolge ist eine optimierte Schlafhygiene bei Kraft-Ausdauer-Sequenzierung von besonderer Bedeutung.

2.7.5 Akute Effekte von Krafttraining: Untersuchung der immunregulatorischen Myokine

Zur Charakterisierung akuter Veränderungen in den zirkulierenden Myokinspiegeln nach Krafttraining wurde ein systematischer Review mit Meta-Analyse vor und unmittelbar nach Belastung bei gesunden Personen durchgeführt [16].

Es wurden die folgenden Myokine in die Analyse eingeschlossen: IL-6, IL-10, IL-1ra, TNF- α , IL-15, IL-7, TGF- β 1 und FKN. Die Förderung des Verständnisses der Beziehung zwischen den Trainingsmodalitäten und der Myokinreaktion würde z.B. helfen, Trainingsergebnisse bzgl. pro- und

anti-inflammatorischer Antwort besser abzuschätzen sowie diese in Trainingsempfehlungen hinsichtlich Krafttraining oder bei dem Wiedereinstieg im Rahmen des Return to Play nach Infektionen der oberen Atemwege zu berücksichtigen. Es zeigte sich eine mäßig positive Wirkung des Krafttrainings auf IL-6 und IL-1ra. Für IL-15 und TNF- α wurden geringe bis moderate Effekte festgestellt. Für IL-10 wurde kein signifikanter Effekt beobachtet (Abb. 13). Aufgrund fehlender Daten konnten keine Meta-Analysen für IL-7, TGF- β 1 und FKN durchgeführt werden. Moderatoreffekte (Trainingszustand, Art, Alter, Geschlecht, Tageszeit, Trainingsvolumen, Trainingsintensität) wurden für keines der analysierten Myokine festgestellt.

Key-Points

- Akute unmittelbare Effekte von Krafttraining existieren für die Myokine IL-6-, IL-1ra-, TNF- α - und IL-15.



Beyond Muscles: Investigating Immunoregulatory Myokines in Acute Resistance Exercise - a Systematic Review and Meta-Analysis

Ringleb M, Javelle F, Haunhorst S, Bloch W, Fennen L, Baumgart S, Drube S, Reuken PA, Pletz MW, Wagner H, Gabriel HHW, Puta C. Beyond muscles: Investigating immunoregulatory myokines in acute resistance exercise - A systematic review and meta-analysis. FASEB J. 2024 Apr 15;38(7):e23596. doi: 10.1096/fj.202301619R. PMID: 38597350.

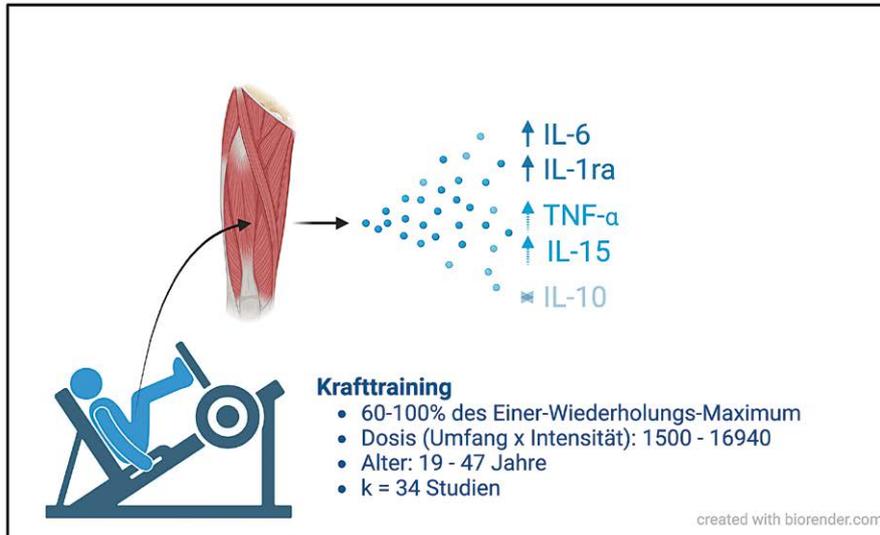


Abb. 13. Ergebnisse des systematischen Reviews und Meta-Analyse [16].

2.7.6 Key-Points: Erforschung der Wirkungen von Concurrent Training

2.7.6.1 Implikationen für die Sportpraxis

- ▶ Concurrent Training (CT) ist bei der Verbesserung spezifischer Parameter der körperlichen Fitness und sportlichen Leistung bei Jugendlichen effektiver als ausschließlich angewandtes Ausdauer- oder Krafttraining.
- ▶ Insbesondere zeigte CT im Vergleich zu Ausdauertraining signifikante Verbesserungen der sportlichen Leistung sowohl bei Kindern als auch, in höherem Maße, bei Jugendlichen. Darüber hinaus erwies sich CT als effektiver als Krafttraining zur Steigerung der Muskelkraft bei Jugendlichen.
- ▶ Die Reihenfolge der Trainingsinhalte (Kraft-Ausdauer vs. Ausdauer-Kraft) führte bei jugendlichen männlichen Fußballspielern zu vergleichbaren Veränderungen in der körperlichen Fitness.
- ▶ Ist das Ziel die Verbesserung der linearen Sprintgeschwindigkeit, erscheint die Sequenzierung in der Reihenfolge Ausdauer-Kraft als vorteilhafter.
- ▶ Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um Erkenntnisse über die Effekte von kombiniertem Kraft- und Ausdauertraining sowie über die Auswirkungen unterschiedlicher Sequenzierungsformen (z.B. innerhalb eines Trainingstages oder Mikrozyklus) zu gewinnen. Dabei sollten auch verschiedene Krafttrainingsmethoden (z.B. Maximalkrafttraining, Schnellkrafttraining) und Ausdauertrainingsformen (z.B. hochintensives Intervalltraining) berücksichtigt werden.
- ▶ Concurrent Training ist bei gesunden männlichen Judoka mit akuter (≤ 15 min) und verzögerter (≤ 6 h) belastungsinduzierter immunologischer Regulation assoziiert.
- ▶ Die Kraft-Ausdauer-Reihenfolge führte zu einem stärkeren Anstieg der Leukozyten im Vergleich zur Ausdauer-Kraft-Reihenfolge.



- › Hinsichtlich systemischer Entzündung (SII) zeigten die Ergebnisse signifikant größere Vorher-Nachher-Veränderungen nach Belastung für die Sequenzierung Ausdauer-Kraft im Vergleich zu Kraft-Ausdauer. Diese Effekte waren sechs Studien nach der Belastung nicht mehr verschieden zwischen den beiden Sequenzierungsmodi.
- › Die Sequenzierung von Kraft- und Ausdauertraining zeigt einen akuten Effekt auf die maximale Leistung im Countermovement-Jump und das subjektive Anstrengungsempfinden, welches nach 6 Stunden egalisiert ist.
- › Es wurden belastungsabhängige Schwankungen in der CMJ-Kraft (in N) mit größeren Leistungseinbußen nach Ausdauer-Kraft im Vergleich zur Kraft-Ausdauer-Reihenfolge beobachtet.
- › Sowohl die immunologische Belastungs- als auch die Erholungsreaktion werden durch die Reihenfolge von Kraft- und Ausdauertraining beeinflusst.
- › Aus Sicht des immunologischen Stresses ist eine Sequenzierung im Sinne des Regimes Ausdauer-Kraft zu empfehlen, insbesondere in Phasen hoher Trainingsbelastungen zu empfehlen (geringere systemische Entzündung).
- › Die immunologische Regeneration über Nacht ist essentiell für die Kraft-Ausdauer-Sequenzierung. Demzufolge ist eine optimierte Schlafhygiene bei Kraft-Ausdauer-Sequenzierung von besonderer Bedeutung.
- › Akute unmittelbare Effekte von Krafttraining existieren für die Myokine IL-6-, IL-1ra-, TNF- α - und IL-15.





Literaturverzeichnis

- [1] Schwellnus M, Adami PE, Bougault V, Budgett R, Clemm HH, Derman W, Erdener U, Fitch K, Hull JH, McIntosh C, Meyer T, Pedersen L, Pyne DB, Reier-Nilsen T, Schobersberger W, Schumacher YO, Sewry N, Soligard T, Valtonen M, Webborn N & Engebretsen L (2022) International Olympic Committee (IOC) consensus statement on acute respiratory illness in athletes part 1: acute respiratory infections. *Br J Sports Med.* 56, 1066–1088. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105759>
- [2] Walsh NP, Gleeson M, Shephard RJ, Gleeson M, Woods JA, Bishop NC, Fleshner M, Green C, Pedersen BK, Hoffman-Goetz L, Rogers CJ, Northoff H, Abbasi A & Simon P (2011) Position statement. Part one: Immune function and exercise. *Exerc. Immunol. Rev.* 17, 6–63. PMID: 21446352.
- [3] Eccles R (2005). Understanding the symptoms of the common cold and influenza. *Lancet Infect. Dis.* 5, 718–725. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(05\)70270-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(05)70270-X)
- [4] Johnston S and Holgate S (1996). “Epidemiology of viral respiratory tract infections,” in *Viral and Other Infections of the Human Respiratory Tract*, eds. S. Myint and D. Taylor-Robinson (Dordrecht: Springer), 1–38. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7930-0_1
- [5] Puta C, Steidten T, Baumbach P, Wöhrl T, May R, Kellmann M, Herbsleb M, Gabriel B, Weber S, Granacher U & Gabriel HHW (2018) Standardized Assessment of Resistance Training-Induced Subjective Symptoms and Objective Signs of Immunological Stress Responses in Young Athletes. *Front. Physiol.* 9, 698. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00698>
- [6] Haunhorst S, Bloch W, Drube S, Baumgart S, Pletz M, Gabriel HHW & Puta C (2023) Current return to sports recommendations after non-severe COVID-19 from an exercise immunology perspective: A scoping review. *Sports Orthop. Traumatol.* 39(4), 378–388. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2023.11.003>
- [7] Kellmann M & Kölling S (2020) *Das Akutmaß und die Kurzskaala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung für Erwachsene und Kinder/Jugendliche*. Sportverlag Strauß, Hellenthal. Schriftreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, BD. 2020.01. ISBN:978-3-86884-548-8
- [8] Kölling S, Hitzschke B, Holst T, Ferrauti A, Meyer T, Pfeiffer M & Kellmann M (2015). Validity of the Acute Recovery and Stress Scale: training monitoring of the German junior national field hockey team. *Int. J. Sport. Sci. Coach.* 10, 529–542. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.10.2-3.529>



- [9] Steidten T, Baumbach P, May R, Gabriel B, Herbsleb M, Markov A, Granacher U, Kellmann M, Bloch W, Gabriel HHW & Puta C (2021) Overnight Immune Regulation and Subjective Measures of Sleep: A Three Night Observational Study in Adolescent Track and Field Athletes. *Frontiers Sports Active Living* 3, 689805. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.689805>
- [10] Kullik L, Kellmann M, Puta C & Jakowski S (2022). Sleep behavior and training load in adolescent elite basketball players during COVID-19 pandemic development. *Chronobiology International*, 39(11), 1454–1464. <https://doi.org/10.1080/07420528.2022.2117051>
- [11] Kullik L, Stork M, Kellmann M, Puta C & Jakowski S (2024) Impact of sleep–wake patterns and daily rhythms including training on midsleep time in adolescent basketball players during the COVID-19 pandemic. *Ger. J. Exerc. Sport Res.* <https://doi.org/10.1007/s12662-023-00933-3>
- [12] Gäbler M, Prieske O, Hortobágyi T & Granacher U (2018) The Effects of Concurrent Strength and Endurance Training on Physical Fitness and Athletic Performance in Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology* 9, 1057. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01057>.
- [13] Blechschmied R, Hermse M, Gäbler M, Elferink-Gemser M, Hortobágyi T & Granacher U (2024) Sequencing Effects of Concurrent Strength and Endurance Training on Selected Measures of Physical Fitness in Young Male Soccer Players: A Randomized Matched-Pairs Trial. *Sports Med Open*, 10(1), 62. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00726-4>
- [14] Markov A, Bussweiler J, Helm N, Arntz F, Steidten T, Krohm L, Sacot A, Baumert P, Puta C & Chaabene H (2023) Acute effects of concurrent muscle power and sport-specific endurance exercises on markers of immunological stress response and measures of muscular fitness in highly trained youth male athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 123(5), 1015–1026. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05126-8>
- [15] Steidten T, Granacher U, Gabriel HHW, Markov A, Dudziak D, Reuken P, Haunhorst S, & Puta C. Impact of different concurrent training sequencing schemes on overnight systemic immunological regulation in adolescent athletes. *Front. Physiol.* (submitted); Manuscript ID: 1392946.
- [16] Ringleb M, Javelle F, Haunhorst S, Bloch W, Fennen L, Baumgart S, Drube S, Reuken PA, Pletz MW, Wagner H, Gabriel HHW & Puta C (2024) Beyond muscles: Investigating immunoregulatory myokines in acute resistance exercise - A systematic review and meta-analysis. *FASEB J.* 38(7), e23596. <https://doi.org/10.1096/fj.202301619R>



Notizen Immunologische Beanspruchung, Monitoring und Concurrent Training

Fragen

.....

.....

.....

.....

Ideen

.....

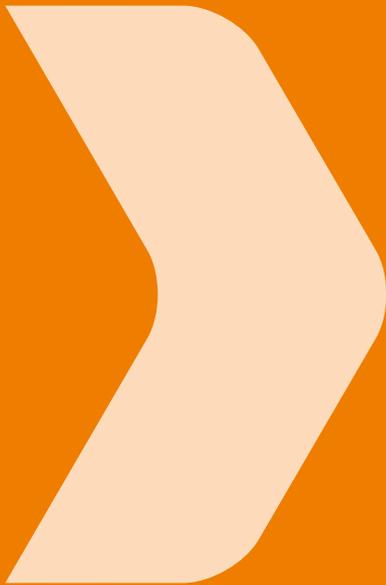
.....

.....

.....

Skizze





3 Muskel-Sehnen-Training

Autoren

Dr. Falk Mersmann, Theresa Domroes, Dr. Sebastian Bohm,
Prof. Dr. Adamantios Arampatzis

3 Theoretischer Hintergrund

3.1 Funktion von Sehnen und Bedeutung einer ausgewogenen Adaptation von Muskel und Sehne

Sehnen übertragen die Kraft des Muskels auf das Skelett und haben damit eine wichtige Funktion für alle Arten menschlicher Bewegung. Durch ihre Elastizität haben Sehnen dabei einen direkten Einfluss auf die Arbeitsweise des Muskels und dessen Potenzial Kraft und mechanische Energie zu erzeugen. Somit ist eine gewisse Nachgiebigkeit von Sehnen für unsere Leistungsfähigkeit wichtig und eine übermäßig steife Sehne ungünstig. Häufiger, gerade bei Athletinnen und Athleten, ist die Sehne hingegen zu nachgiebig im Verhältnis zur Kraft des Muskels. Damit profitieren Athletinnen und Athleten üblicherweise von Trainingsmaßnahmen, die nicht nur die Muskelkraft, sondern auch

die Steifigkeit von Sehnen gezielt fördern. In Verbindung mit einem hohen Muskelkraftpotenzial wirkt sich eine steife Sehne beispielsweise günstig auf die Energieeffizienz beim Laufen, die maximale Rate der Kraftentwicklung (häufig als *Explosivkraft* bezeichnet) und die Sprungleistung aus.

Eine gezielte Förderung der Steifigkeit von Sehnen ist jedoch auch für die Prävention von Überlastungsbeschwerden oder im Rahmen der Therapie von Tendinopathien sowie der Rehabilitation nach Verletzungen relevant. So scheint die maximal tolerierbare Dehnung von Sehnen nicht veränderbar. Damit kennzeichnet die unter Belastung auftretende Dehnung einer Sehne deren mechanische Beanspruchung. Steigt die Muskelkraft beispielsweise überproportional im Verhältnis zur Steifigkeit der Sehne an oder liegt eine mechanische Schwächung des Sehngewebes vor, nimmt die Dehnung der Sehne während maximaler Muskelanspannungen

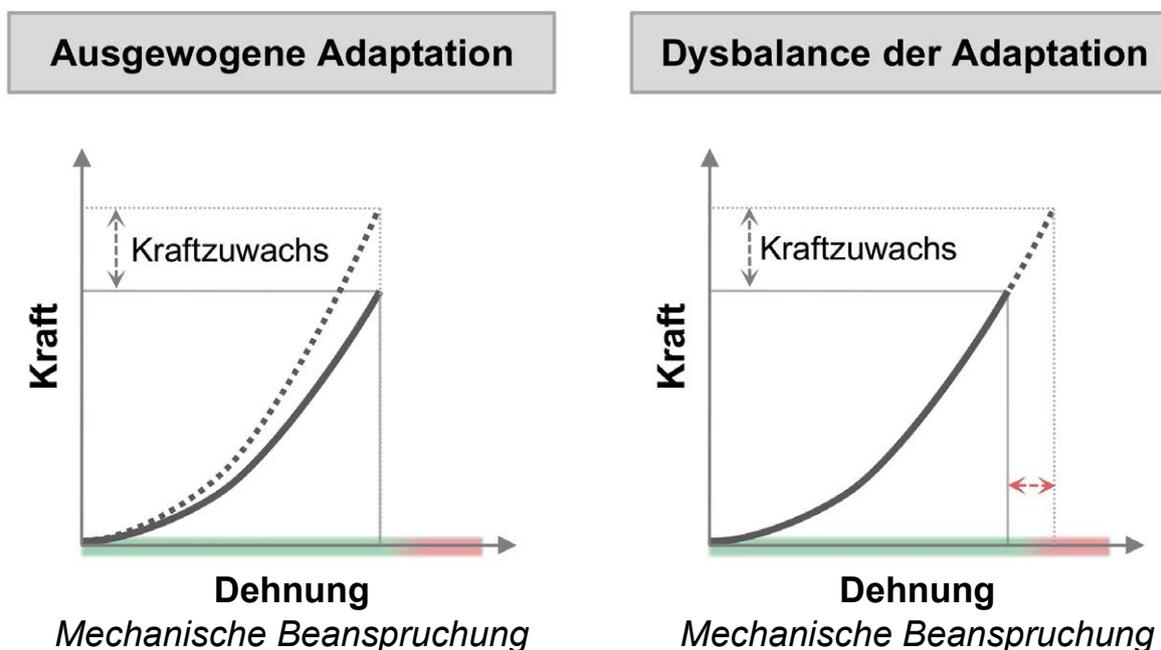


Abbildung 1: Ausgewogene und nicht-ausgewogene Anpassung (Dysbalance) von Muskel und Sehne. Bei einer ausgewogenen Anpassung geht die Zunahme der Muskelkraft mit einer entsprechenden Zunahme der Sehnensteifigkeit einher (steilerer Anstieg der Kraft-Dehnungs-Kurve), sodass die Dehnung (und damit die Beanspruchung) der Sehne auch bei höherer Kraft in physiologischen Bereichen gegeben bleibt. Im Fall einer nicht-ausgewogenen Entwicklung, ohne adäquate Anpassung der Sehne, verursacht der Kraftzuwachs latente Beanspruchungen über das normale Maß hinaus.





Abbildung 2: Relevanz der Sehneneigenschaften für die körperliche Leistungsfähigkeit und gezielte Verbesserung durch ein spezielles Sehnentraining.

im Zuge dieser sogenannten *Muskel-Sehnen-Dysbalancen* zu (Abb. 1). Die resultierende erhöhte mechanische Beanspruchung kann zu degenerativen Prozessen und Beschwerden führen, beziehungsweise zu einer nachhaltigen strukturellen Desorganisation des Sehngewebes im Falle chronischer Sehnenenerkrankungen beitragen. Durch gezielte Belastungsreize, die besonders wirksam sind um den Stoffwechsel von Sehnen und die Anpassung ihrer mechanischen Eigenschaften anzuregen, können hingegen Beschwerden und strukturellen Störungen des Gewebes vorgebeugt werden, beziehungsweise bereits bestehende Symptome gelindert und die Widerstandsfähigkeit der Sehne verbessert werden. Abbildung 2 zeigt die Bedeutung gezielter Belastungen für die Sehne in einer Übersicht.

3.2 Anpassung von Sehnen an Belastung

Die Eigenschaften von Sehnen passen sich an gesteigerte mechanische Belastung an, können jedoch auch durch Unterbelastung oder Pathologien in Mitleidenschaft gezogen werden. Durch geeignetes Krafttraining wird üblicherweise eine Zunahme der Steifigkeit der Sehne bewirkt,

wodurch sich die Dehnung (und damit die Beanspruchung) der Sehne bei einer gegebenen Kraft reduziert. Trainingsinduzierte Veränderungen der Steifigkeit von Sehnen lassen sich überwiegend auf Modifikationen der Materialeigenschaften der Sehne zurückführen, können langfristig aber auch durch eine Hypertrophie der Sehne bedingt sein. Im Folgenden sollen die wichtigsten mechanobiologischen Grundlagen zur Adaptation von Sehnen dargelegt werden.

Wenn eine Sehne gedehnt wird, werden die Sehnenzellen (Tenozyten) – die in das Netzwerk der Kollagenfasern eingebettet sind – Scherkräften ausgesetzt. Die Belastung des Zellskeletts wird über unterschiedliche Signalwege an den Zellkern vermittelt, was zu einer Steigerung der Proteinsynthese führen und langfristig eine Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Sehne auslösen kann. Aus mechanobiologischer Sicht gibt es vier Faktoren, die den mechanischen Stimulus für die Sehne charakterisieren:

Die **Dehnungsmagnitudo** beschreibt die Höhe der Dehnung, der die Sehne unter Belastung ausgesetzt ist, und steht natürlich in engem Zusammenhang mit der Höhe der Kraft, die der Muskel ausübt. Die **Dehnungsrate** beschreibt, wie langsam oder



schnell eine Sehne gedehnt wird. Die **Dehnungsdauer** bezieht sich darauf, wie lange die Sehne während eines Belastungszyklus gedehnt wird und die **Dehnungsfrequenz** beschreibt, wie oft eine Sehne in einer bestimmten Zeitspanne gedehnt wird.

In einer Reihe von Interventionsstudien wurden in unterschiedlichen Belastungsprotokollen diese Faktoren systematisch verändert und dabei das Gesamtbelastungsvolumen konstant gehalten. So konnte gezeigt werden, dass Dehnungen in einer Größenordnung von 4,5 bis 6,5 % mit einer Dehnungsdauer pro Zyklus von etwa 3 Sekunden besonders günstig sind um die Anpassung von Sehnen anzuregen. Hohe Frequenzen (d.h. schnellere Belastungs-Entlastungswechsel) und hohe Dehnungsraten (wie z.B. bei Sprungübungen) sind hingegen weniger effektiv als langsame, niedrigfrequente Belastungen. In Abb. 3 ist die Struktur eines derartigen Belastungsprotokolls mit vier Wiederholungen mit je 3 Sekunden Anspannung und 3 Sekunden Entspannung dargestellt.

Kürzlich konnte gezeigt werden, dass bereits 15 Sätze dieser Struktur pro Woche ausreichend sind um deutliche Anpassungsreaktionen in der Sehne auszulösen. Eine Steigerung der wöchentlichen Gesamtbelastung (20 bzw. 25 Sätze) konnte keine stärkeren Anpassungseffekte hervorrufen. Zudem scheint die zeitliche Verteilung der Gesamtbelastung über die Woche eher sekundär zu sein (d.h. ob beispielsweise 5 Einheiten mit je 3 Sätzen oder 3 Einheiten mit je 5 Sätzen trainiert werden) und kann entsprechend der Rahmenbedingungen flexibel gestaltet werden. Die Steigerung der Sehnensteifigkeit tritt dabei (zumindest bei körperlich aktiven aber nicht hoch-trainierten jungen Männern) überwiegend bereits innerhalb der ersten 8 Wochen einer gezielten Trainingsbelastung auf.

3.3 Hinweise für die praktische Umsetzung von Sehnentraining

Die Magnitude der Dehnung von Sehnen unter Belastung stellt einen zentralen Faktor für die Stimulation der Sehnenzellen und die langfristige Anpassung an Training dar. Bei welcher Intensität der Krafterzeugung die offenbar besonders günstigen Dehnungen von 4,5 bis 6,5 % der Ruhelänge auftreten, ist allerdings a) von der Zielübungen abhängig und b) interindividuell verschieden. Hohe aber nicht maximale Krafteinsätze sind eine gute Orientierungsgrundlage. Da nicht die Intensität der Muskelaktivierung, sondern die tatsächlich erzeugte Kraft entscheidend für die resultierende Dehnung der Sehne ist, sollte bei der Wahl des Gelenkwinkelbereiches für das Training die Moment-Winkel-Relation berücksichtigt werden. Ist bei einem gegebenen Gelenkwinkel das Kraftpotenzial des Muskels annähernd maximal (z.B. $\sim 10^\circ$ Dorsiflexion für die Plantarflexoren oder $\sim 60^\circ$ Flexion für die Knieextensoren), sind 70-80 % des Maximums für isometrische Kontraktionen zu empfehlen. Ist das Kraftpotenzial bereits aufgrund der Winkelstellung reduziert (z.B. bei Neutralstellung im Sprunggelenk oder 90° Knieflexion) sollten höhere Intensitäten ($\geq 85\%$) angestrebt werden.

Isometrische Kontraktionen sind technisch weniger anspruchsvoll als dynamische Übungen und die Belastung ist leichter zu kontrollieren. Auch Untrainierte erreichen hier schnell ein sehr hohes muskuläres Aktivierungsniveau. Prinzipiell ist die Sehne jedoch nicht sensitiv gegenüber der Kontraktionsweise des Muskels. So sind, entgegen weit verbreiteter Überzeugung, **exzentrische Kontraktionen** für die Sehne **nicht wirksamer** als konzentrische oder isometrische. Lediglich das hohe Kraftpotenzial bei exzentrischen Kontraktionen und die metabolische Effizienz der Krafterzeugung können für das Training von Sehnen interessante Merkmale sein, da sich dadurch möglicherweise eine anpassungswirksame Belastung der Sehne bei geringem metabolischem Stress für den Muskel erzeugen lässt. Demnach lässt sich die Sehne durch eine Vielzahl unterschiedlicher



Übungen trainieren, solange die Belastung und dadurch erreichten Dehnungen hoch genug sind und je Zyklus lange genug „einwirken“ können. **Dehnübungen** können zwar eine schmerzlindernde Wirkung bei Sehnenbeschwerden haben, jedoch wird hier überwiegend der Muskel gedehnt und die Sehne **nicht ausreichend** belastet um eine Veränderung ihrer mechanischen Eigenschaften zu bewirken.

Unsere Kenntnisse zur Anpassung von menschlichen Sehnen an mechanische Belastung basieren auf Untersuchungen an der Achilles- und Patellarsehne. Da es jedoch keinen Grund zu der Annahme gibt, dass sich die grundlegenden Prinzipien mechanobiologischer Kopplung zwischen verschiedenen Sehnen unterscheiden, dürften die genannten Hinweise, welche Merkmale mechanischer Reize günstig sind, auch für andere Sehnen Gültigkeit haben. In folgender Übersicht sind die wesentlichen Berücksichtigungen für das Training von Sehnen zusammengefasst:

1. Trainingsprotokolle sollten durch relativ hohe Muskelkrafteinsätze gekennzeichnet sein, d.h. 70-90% des isometrischen willkürlichen Kraftmaximums.
2. Die Kontraktionsweise des Muskels (exzentrisch, isometrisch oder konzentrisch) spielt keine entscheidende Rolle, jedoch sollte bei dynamischen Übungen der tatsächliche Verlauf der Gelenkbelastung berücksichtigt werden.
3. Die Dauer der hohen Muskelanspannung (d.h. Dehnung der Sehne im Zielbereich), sollte für ca. 3 Sekunden gehalten werden. Bei dynamischen Übungen ist eine Dauer von 6-8 Sekunden zu empfehlen, da die Belastung häufig nicht über das volle Bewegungsausmaß ausreichend ist.

4. Wiederholte Belastungen sind geeigneter als konstant gehaltene Einzelbelastungen.
5. Hohe Dehnungsraten durch beispielsweise plyometrisches Training sind nicht so wirksam für die Sehnenadaptation.
6. Eine hohe Trainingswirksamkeit zeigt sich bei 15 Sätzen pro Woche mit jeweils 4-maligen Wechsel aus 3 Sekunden Belastung und 3 Sekunden Entspannung. Zwischen den Serien sollte 1 bis 2 Minuten Pause gegeben werden.
7. Die Verteilung der Belastung über eine Woche ist für die Anpassung sekundär.
8. Deutliche Effekte auf die Widerstandsfähigkeit der Sehne können bereits innerhalb von 8 Wochen erreicht werden.

Das Einbringen in bestehende Krafttrainingspläne oder reguläre Trainingseinheiten kann problemlos vorgenommen werden, der zeitliche Umfang einer Sehnentrainingseinheit liegt bei insgesamt ca. 15 Minuten, wenn beide Seiten trainiert werden. Aufgrund der kontrollierbaren Trainingsbedingungen ist die Durchführung an Kraftmaschinen unter statischen Bedingungen von Vorteil, jedoch nicht zwingend. Allgemein gilt, dass der Wirkungsmechanismus des Trainingskonzeptes (Abb. 3) auf andere Sehnen, wie beispielsweise am Schultergelenk, übertragbar ist.



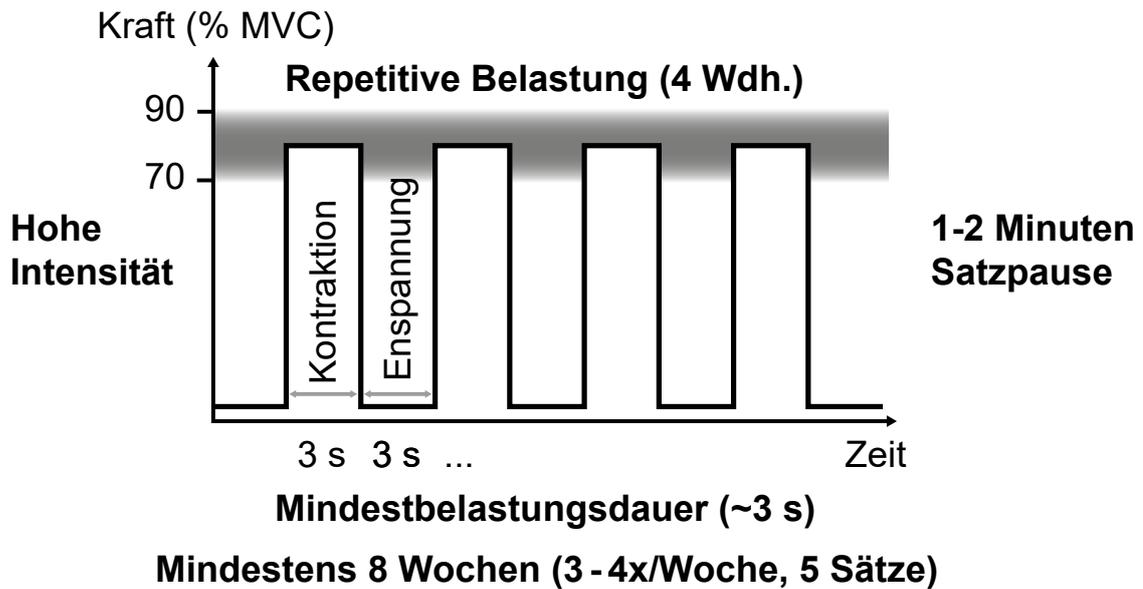


Abbildung 3: Evidenzbasierte Empfehlungen für einen effektiven Trainingsreiz zur Sehnenanpassung. Hohe Belastungen durch kräftige Muskelkontraktionen sollten in fünfzehn Sätzen pro Woche mit je vier Wiederholungen bei einer Be- und Entlastungsdauer von je ca. drei Sekunden und Pausen von ein bis zwei Minuten appliziert werden. Wir empfehlen ein Training drei bis viermal pro Woche über mindestens acht Wochen.

3.4 Übungsbeispiele

Im Folgenden werden einige Übungsbeispiele vorgestellt, wie sich das Sehnentraining für die Patellar- bzw. Achillessehne mit relativ einfachen Mitteln umsetzen lässt. Weitere Beispiele für die praktische Umsetzung des Sehnentrainings sind auf dem YouTube Kanal des BISp sowie in einem Leitfaden zum Sehnentraining (Berliner Methode) auf der Website der Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin (<https://www.spowi.hu-berlin.de/de/institut/tbw/forschung/sehnentraining>) einsehbar.

3.4.1 Übungen für die Patellarsehne

Bei Übungen für die Patellarsehne sollten möglichst hohe Krafteinsätze (70 – 90 % des Kraftmaximums) der Kniestreckler erzielt werden. Isometrische Kniestreckungen können beispielsweise mit Hilfe eines Schlingentrainers in unterschiedlichen Körperpositionen umgesetzt werden (Abb. 4 und 5). Wie im Trainingskonzept in Abb. 3 beschrieben, wird ein Wechsel von 3 Sekunden Anspannung und 3 Sekunden Entspannung empfohlen.

Ohne Geräteunterstützung kann ein entsprechender Trainingsreiz für die Patellarsehne auch beim einbeinigen Wandsitzen mit einem direkten Wechsel zwischen den Beinen mit jeweils 3 Sekunden Belastungszeit umgesetzt werden (Abb. 6).





Abbildung 4: Isometrische Kniestreckungen im Sitzen bei ca. 60° Kniewinkel mit Schlingentrainer.



Abbildung 5: Isometrische Kniestreckungen im Stehen bei ca. 90° Kniewinkel mit Schlingentrainer.



Abbildung 6: Einbeiniges isometrisches Wandsitzen.



Abbildung 7: Einbeinige dynamische Kniebeugen mit Schlingentrainer.



Als dynamische Übung für die Patellarsehne bieten sich einbeinige Kniebeugen an, da hier auch ohne Zusatzlast eine ausreichende Beanspruchung der Sehne zu erwarten ist. Um die Bewegungssicherheit zu gewährleisten kann beispielsweise ein Schlingentrainer als Hilfsmittel genutzt werden (Abb. 7). Bei dynamischen Kniebeugen sollte beachtet werden, dass die notwendige hohe Beanspruchung der Sehne erst mit zunehmender Kniebeugung erreicht wird. Demnach sollte die Gesamtbewegungsdauer auf 6 bis 8 Sekunden pro Wiederholung erhöht werden. Alternativ kann auch eine kurze isometrische Phase im Umkehrpunkt der Bewegung eingefügt werden.

3.4.2 Übungen für die Achillessehne

Für das Training der Achillessehne bieten sich Varianten des Fersenhebens an. Bei beidbeiniger Ausführung sollten Zusatzlasten genutzt werden, um einen ausreichend hohen Trainingsreiz zu

erzeugen (Abb. 8). Hierbei ist zu beachten, dass kein Zehenstand erreicht werden muss. Sofern die Ferse keinen Bodenkontakt hat, ist die Belastung der Achillessehne gewährleistet.

Um mit einfachen Mitteln die tatsächliche Belastung während des Trainings zu kontrollieren, bieten sich isometrische Kontraktionen in einem bereits in Interventionsstudien erprobten Trainingssystem an, welches aus einem Steigbügel, einem Spanngurt, einer Lastenwaage und einem Hüfttrapez besteht (Abb. 9). Über den Spanngurt kann die Länge des Systems und somit der Sprunggelenkwinkel während der Muskelanspannungen eingestellt werden. Bei einem Winkel von ca. 90° bieten sich hohe Lasten ($\geq 85\%$) an. Mittels einer maximalen isometrischen Kraftmessung im Trainingsgerät kann die Trainingsintensität berechnet und über die Digitalanzeige der Lastenwaage während des Trainings leicht kontrolliert werden.



Abbildung 8: Beidbeiniges Fersenheben mit Zusatzgewicht.



Abbildung 9: Isometrische Fußstreckungen in einem mobilen Trainingssystem bestehend aus Steigbügel, Spanngurt, Lastenwaage und Hüfttrapez.



3.5 Wirksamkeitsbelege und Perspektiven

3.5.1 Verbesserung der Laufökonomie bei Ausdauerläufer:innen

Bewegungsökonomie beschreibt die Effizienz der generierten Muskelkraft bzw. Muskularbeit in Relation zum metabolischen Energieverbrauch und ist eine wesentliche Einflussgröße auf die Leistungsfähigkeit in Ausdauerdisziplinen. Basierend auf Beobachtungen, dass ökonomischere Läufer eine hohe Kraft der Plantarflexoren und Steifigkeit der Achillessehne aufweisen (Arampatzis et al., 2006), wurde in zwei Längsschnittstudien mit ambitionierten Ausdauerläufer:innen ein gezieltes Training der Plantarflexoren Muskel-Sehnen Einheit durchgeführt. In beiden Studien wurden neben einem Anstieg der Muskelkraft und Steifigkeit der Sehne eine Verbesserung der Laufökonomie von etwa 4% erreicht, was für Ausdauerleistungen eine relevante Veränderung darstellt (Albracht & Arampatzis, 2013; Bohm et al., 2021). Analysen des Muskelfaserhaltens während des Laufens zeigten, dass nach dem Training der kräftigere Schollenmuskel im Zusammenspiel mit der steiferen Achillessehne eine höhere Effizienz erreichen konnte.

3.5.2 Prävention und Linderung von Sehnenbeschwerden bei jugendlichen Ballsportlern

Jugendliche Athlet:innen aus Sportarten mit einem hohen Umfang an Richtungswechseln und Sprungbelastungen haben ein erhöhtes Risiko Sehnenbeschwerden zu entwickeln. Jeweils zwei Teams der Handball- bzw. Basketballjugendbundesliga wurden in zwei Längsschnittstudien zunächst in einer Kontrollperiode über eine Wettkampfsaison beobachtet und die Häufigkeit von Sehnenbeschwerden dokumentiert. In der Folgesaison wurden gezielte Belastungen für die Sehne durch funktionelle Übungen in das Training integriert und eine Reduktion der Häufigkeit schmerzhafter Beschwerden der Patellarsehne erreicht (Mersmann et al., 2021a; Mersmann et al., 2021b) impairments of micromorphology and pain in adolescent basketball

players (male, 13–15 years. Unter den Basketballern konnten zudem eine Reduktion der Anzahl der Athleten mit Muskel-Sehnen-Dysbalancen erreicht und strukturelle Folgeerscheinungen bestehender Dysbalancen verhindert werden (Mersmann et al., 2021b) impairments of micromorphology and pain in adolescent basketball players (male, 13–15 years.

3.5.3 Therapie bei chronischer Tendinopathie

Traditionelle Therapiemaßnahmen, allen voran exzentrisches Training nach Alfredson, können bei chronischer Tendinopathie erwiesenermaßen schmerzlindernd wirken. Die Widerstandsfähigkeit des Gewebes bleibt jedoch davon offenbar unbeeinflusst. Dahingegen konnte ein Belastungsprotokoll entsprechend obenstehender Empfehlungen neben einer nachhaltigen Verbesserung der klinischen Symptomatik auch die Steifigkeit der Achillessehne betroffener Patienten erhöhen (Radovanović et al., 2022). Und das bei weniger als 15% des wöchentlichen Zeitaufwands im Vergleich zu dem exzentrischen Trainingsprotokoll nach Alfredson.

3.5.4 Perspektive: Personalisierte Regelung der Trainingsbelastung

Experimentellen Befunden nach sind zyklische Dehnungen in einer Größenordnung von 4,5 bis 6,5% offenbar besonders günstig um Sehnen zu trainieren. Aufgrund der hohen Prävalenz von Dysbalancen aus Muskelkraft und Sehnensteifigkeit, häufig durch eine defizitär ausgeprägte Adaptation der Sehne, wird dieser Bereich interindividuell jedoch bei recht unterschiedlich hoher Kraftanstrengung erreicht. Daher wurde in der zweiten Phase des KINGS-Projekts ein personalisiertes Trainingskonzept entwickelt (Abb. 10). Dementsprechend haben wir in einer Studienreihe mit jugendlichen und erwachsenen Athlet:innen durch eine regelmäßige ultraschallbasierte Diagnostik der Patellarsehne die Belastung bei gezielten Übungen für die Knieextensoren erstmals persönlich so reguliert, dass die Sehne während der Übungen ~6% betrug. Bei Athlet:innen mit einem Defizit in der Sehnenanpassung (d.h. zu geringer



Sehnensteifigkeit) fiel die absolute bzw. muskuläre Belastung in den Übungen entsprechend geringer aus und ermöglichte eine im Vergleich zur Muskelkraft stärkere Zunahme der Sehnensteifigkeit. Athlet:innen mit ausgewogenen Eigenschaften der Muskel-Sehnen-Einheit hingegen konnten in ähnlicher Weise Muskelkraft und Sehnensteifigkeit fördern. Dadurch konnte die Anzahl der Athleten mit Dysbalancen über eine Wettkampfsaison

deutlich reduziert werden (Domroes et al., 2024)the mechanical demand on the tendon. Die Diagnostik von individuellen Defiziten innerhalb der Muskel-Sehnen-Einheiten der Knieextensoren und/oder Plantarflexoren und der entsprechende Ansatz personalisierter Belastungsgestaltung eröffnet neue Möglichkeiten für Training im Kontext Leistungssteigerung, Verletzungsprävention oder Therapie.

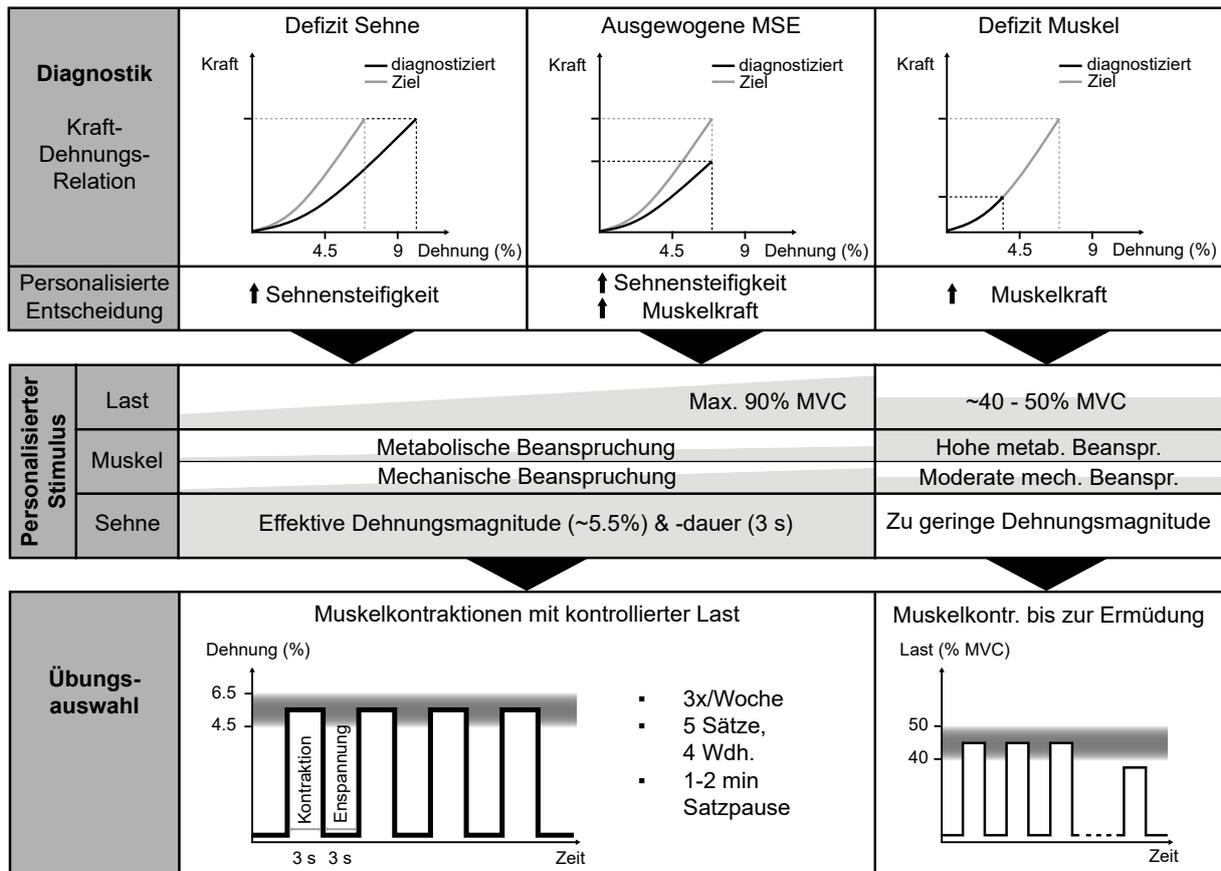
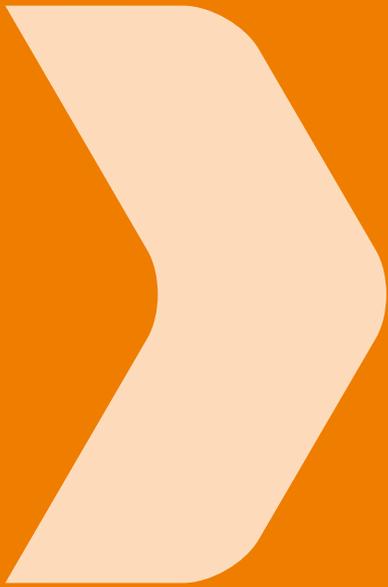


Abbildung 10: Personalisiertes Muskel-Sehnen Diagnostik- und Trainingskonzept. Basierend auf einer ultraschallbasierten Diagnostik wird ein relatives Defizit der Sehnensteifigkeit (max. Sehnenelastizität $\geq 9\%$), eine ausgewogene Muskel-Sehnen-Einheit (MSE; max. Sehnenelastizität zwischen $4,5\%$ und 9%) oder ein relatives Defizit der Muskelkraft (max. Sehnenelastizität $\leq 4,5\%$) identifiziert. Für die ersten beiden Fälle wird die Last im Training so personalisiert, dass eine Sehnenelastizität zwischen $4,5\%$ und $6,5\%$ erreicht wird. Dadurch ist die Last bei Individuen mit einem Defizit der Sehnensteifigkeit geringer, was eine geringere Zunahme der Muskelkraft im Verhältnis zur Sehnensteifigkeit zur Folge haben sollte, wodurch die Dysbalance ausgeglichen wird. Bei Personen mit einem relativen Defizit der Muskelkraft soll lediglich die Muskelkraft gezielt gesteigert werden, was mit einem hohen Volumen von Muskelkontraktionen bei moderaten Lasten ($40-50\%$ einer willkürlichen maximalen Kontraktion (MVC)) bis zur Muskelererschöpfung erreicht werden kann.





Literaturverzeichnis

- Albracht, K., & Arampatzis, A. (2013). Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 113(6), 1605–1615. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2585-4>
- Arampatzis, A., De Monte, G., Karamanidis, K., Morey-Klapsing, G., Stafilidis, S., & Brüggemann, G.-P. (2006). Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. *Journal of Experimental Biology*, 209(17), 3345–3357. <https://doi.org/10.1242/jeb.02340>
- Bohm, S., Mersmann, F., Santuz, A., & Arampatzis, A. (2021). Enthalpy efficiency of the soleus muscle contributes to improvements in running economy. *Proceedings of the Royal Society B*, 288, 20202784. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2784>
- Domroes, T., Weidlich, K., Bohm, S., Mersmann, F., & Arampatzis, A. (2024). Personalized tendon loading reduces muscle-tendon imbalances in male adolescent elite athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(1), e14555. <https://doi.org/10.1111/sms.14555>
- Mersmann, F., Laube, G., Marzilger, R., Bohm, S., Schroll, A., & Arampatzis, A. (2021a). A functional high-load exercise intervention for the patellar tendon reduces tendon pain prevalence during a competitive season in adolescent handball players. *Frontiers in Physiology*, 12(March), 282. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.626225>
- Mersmann, F., Domroes, T., Pentidis, N., Tsai, M. S., Bohm, S., Schroll, A., & Arampatzis, A. (2021b). Prevention of strain-induced impairments of patellar tendon micro-morphology in adolescent athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 31(8), 1708–1718. <https://doi.org/10.1111/sms.13979>
- Radovanović, G., Bohm, S., Peper, K. K., Arampatzis, A., & Legerlotz, K. (2022). Evidence-Based High-Loading Tendon Exercise for 12 Weeks Leads to Increased Tendon Stiffness and Cross-Sectional Area in Achilles Tendinopathy: A Controlled Clinical Trial. *Sports Medicine – Open*, 8(1), 149. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00545-5>



Notizen Muskel-Sehnen-Training

Fragen

.....

.....

.....

.....

Ideen

.....

.....

.....

.....

Skizze





4 KINGS digitales Starterpaket für die Praxis

Publikation des konzeptuellen Ansatzes für KINGS:

<https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2016.00164/full>



Frontiers Research Topic: Neuromuscular Training and Adaptations in Youth Athletes:

<https://www.frontiersin.org/research-topics/5476/neuromuscular-training-and-adaptations-in-youth-athletes>

KINGS-Praxis-Manual 1.0:

https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Publikationssuche_Sonderpublikationen/KINGS_Manual.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Homepage KINGS 2.0:

<https://www.sportsmedicine.uni-jena.de/kings-2-0>

KINGS-Blog:

<https://medium.com/@kingsstudy>

YouTube Kanal des BISP:

<https://www.youtube.com/channel/UCvElxVwYnDslBBaMJ3hNsoQ>

KINGS- Projekt auf BISP.de

https://www.bisp.de/DE/Home/Shiny_Projects/KINGS.html

Fachzeitschrift Leistungssport:

https://leistungssport.net/jahresuebersicht/detail/news/leistungssport-52018/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=71a0da50ed9001e37b58fb2c264e9841

WISS-Netz:

<https://wiss-netz.de/trends/kings-studie-praxisworkshop-fuer-trainerinnen-trainer-am-3-4-mai-2019-in-berlin-gastbeitrag-der-projektgruppe>

Kapitel 1: Erfassung der Krafttrainingskompetenz

KINGS-Modell BISP:

https://www.youtube.com/watch?v=sc0S_hsZ_sU

KINGS 2.0 – Biologischer Reifegrad:

https://www.youtube.com/watch?v=L-vnUY_fd-k

KINGS 2.0 – Handbuch zum Test der Krafttrainingskompetenz (Videotutorial):

https://www.youtube.com/watch?v=475_pTrmBQk

KINGS 2.0 – Handbuch zum Test der Krafttrainingskompetenz (Screencast):

<https://youtu.be/QzvBCIKdNww>

Bewertungsbogen KINGS 2.0:

https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Formularcenter/Bewertungsbogen_KINGS_2_0.html



Kapitel 2: Immunologische Beanspruchung, Monitoring und Concurrent Training

Deutscher Morning-Evening-Questionnaire
(DME-Q):

<https://www.ifado.de/de/chronotyp>

Bob- und Schlittenverband Deutschland:

<https://bsd-portal.de/>

REGmon:

<https://regmon-project.org>

REGmon-Repository auf GitHub:

<https://github.com/REGmon-project/regmon>

Wissenschaftliche Begleitpublikation Preprint:

[https://sportrxiv.org/index.php/
server/preprint/view/342](https://sportrxiv.org/index.php/server/preprint/view/342)

Beispiele II-EBZ als QR-Code:

[https://drive.google.com/drive/fold
ers/1zKVKzQqCWnEJHcRFv0kgM0
wChnBuNDST?usp=drive_link](https://drive.google.com/drive/folders/1zKVKzQqCWnEJHcRFv0kgM0wChnBuNDST?usp=drive_link)

Kapitel 3: Muskel-Sehnen-Training

Sehnentraining – Website der Abteilung
Trainings- und Bewegungswissenschaften
der Humboldt-Universität zu Berlin:

[https://www.spowi.hu-berlin.de/de/
institut/tbw/forschung/sehentraining](https://www.spowi.hu-berlin.de/de/institut/tbw/forschung/sehentraining)

YouTube Kanal des BISP:

[https://www.youtube.com/channel/
UCvElxVwYnDslBBaMJ3hNsoQ](https://www.youtube.com/channel/UCvElxVwYnDslBBaMJ3hNsoQ)





Bundesinstitut für Sportwissenschaft
Graurheindorfer Straße 198 · 53117 Bonn
info@bisp.de
www.bisp.de

ISBN:978-3-96523-100-9