



Manual Leistungsdiagnostik

Impressum

Autoren

Bundesamt für Sport BASPO

Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM

Ressort Leistungssport

Thomas Maier	P, V(2.1, 2.2.1-2 / 4-6, 2.3-4, 3.1-3, 5.5, 6), R
Dr. Micah Gross	P, V(1, 4.1-5, 5.8, 6), R
Severin Trösch	P, V(2.2.3, 2.4.3, 3.1-3, 5.3 / 7 / 10), R
Dr. Thomas Steiner	P, V(2.2.7, 2.5, 5.2), R
Beat Müller	P, V(3.3), R
Pascal Bourban	V(4.5)
Christoph Schärer	V(5.1)
Dr. Klaus Hübner	V(2.2.8)
Dr. Jon Wehrlin	P, V(1), R
Dr. med. Markus Tschopp	P, V(1, 5.9), R

Externe Autoren

Dr. med. Matthias Wilhelm	V(2.3.5), Präventive Kardiologie & Sportmedizin, Inselspital, Universitätsspital Bern, Vertreter SGSM
Dr. med. German E. Clénin	V(2.3.5), Sportmed. Zentrum Bern-Ittigen, Vertreter SGSM
Dr. med. Peter Züst	V(5.4), Verbandsarzt Orientierungslauf, Sportmedizin Kerenzerberg
Ralf Seidel	V(5.6), Leistungsdiagnostik – Swiss Olympic Medical Center Schulthess Klinik

Übersetzung

Swiss Olympic

Korrektur Französisch

Marie Javet	R
-------------	---

Fotos

Ueli Känzig (BASPO / EHSM), Shutterstock

Gestaltung

Agentur Frontal AG, www.frontal.ch

Druck

Printgraphic AG

Auflage

Januar 2016

P: Planung Inhalt und Struktur

V(): Verfassen des Manuskripts (Kapitel)

R: Revidieren des Manuskripts

In Zusammenarbeit mit



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Sport BASPO

Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM

Vorwort

Das vorliegende Manual Leistungsdiagnostik versteht sich als Handbuch für Diagnostikerinnen und Diagnostiker. Es soll ihnen als Werkzeug für ihre Arbeit dienen und damit zur Optimierung der sportwissenschaftlichen Betreuung von Athletinnen und Athleten beitragen. Das Manual ersetzt die beiden Manuale Leistungsdiagnostik Ausdauer (2001) und Leistungsdiagnostik Kraft (2003) und vereint neu Testverfahren der Ausdauer- und der Kraftdiagnostik in einem Dokument.

Im Rahmen eines Leistungsauftrages von Swiss Olympic an die Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM wurden die Inhalte der ursprünglichen Manuale komplett überarbeitet, anhand aktueller Erkenntnisse der Sportwissenschaft aktualisiert und unter anderem massgeblich mit Referenzwerten von Leistungssportlerinnen und Leistungssportlern verschiedener Sportarten erweitert.

Ich danke an dieser Stelle all jenen, die an der Erarbeitung dieses Gemeinschaftswerkes mitgewirkt haben, besonders aber den Mitarbeitenden der Gruppen Sportphysiologie Ausdauer und Sportphysiologie Kraft- / Spielsport der EHSM, die in sorgfältiger Arbeit aktuelle Literatur und mehrjährige Erfahrungen zusammengeführt und im vorliegenden Manual vereint haben. Mein Dank gilt aber auch all jenen, die uns als Koautoren oder Lektoren mit wertvollen Inputs unterstützt haben.

Ralph Stöckli

Leiter Abteilung Leistungssport Swiss Olympic

Ittigen b. Bern, im Oktober 2015

Zur Steuerung von Trainingsprozessen braucht es entsprechende Diagnoseinstrumente, die objektiv messbare und in der Praxis verwendbare Resultate ergeben. Mit dem vorliegenden Manual werden diese Diagnoseinstrumente in einer Form beschrieben und dargestellt, dass sie klar verständlich sind und auch anwendungsorientiert für die Feldarbeit. Sowohl Sportwissenschaftler / -innen als auch Trainer / -innen haben hier ein Kompendium in der Hand, das ihnen verlässliche Angaben liefert, um den Trainingsprozess kontinuierlich zu verbessern. Es ist im besten Sinne eine Wissensmanagement-Plattform.

Die Anforderungen an alle Beteiligten im Leistungssport sind sehr stark gestiegen, und generalisierte Eigenerfahrung genügt längst nicht mehr, um Athletinnen und Athleten weiter zu bringen. In einer wissenschaftsgestützten Vorgehensweise liegt der Schlüssel für zukünftige Erfolge im Sport. Ein gemeinsames Verständnis und eine entsprechende Anwendung von Leistungstests sind wichtige Elemente in der Unterstützung der Athleten und Athletinnen.

Walter Mengisen

Prof. / Rektor Eidg. Hochschule für Sport Magglingen EHSM
Stellvertretender Direktor Bundesamt für Sport BASPO

Magglingen, im Oktober 2015

Einleitung

Das vorliegende «Manual Leistungsdiagnostik» ersetzt das «Manual Leistungsdiagnostik Kraft»¹ und das «Manual Leistungsdiagnostik Ausdauer»².

Das Ziel des vorliegenden Dokumentes ist es, den «Swiss Olympic Medical Centers» und den «Sport Medical Bases approved by Swiss Olympic» ein Nachschlagewerk für die Dienstleistungen im Bereich der Leistungsdiagnostik zur Verfügung zu stellen. Damit soll die Qualität in der Unterstützung von Spitzenathletinnen und -athleten in diesem Bereich erhalten und optimiert werden.

Im ersten Kapitel wird die Eingliederung der Leistungsdiagnostik im Regelkreis der Trainingssteuerung diskutiert. Das zweite Kapitel befasst sich mit den relevanten Rahmenbedingungen für alle leistungsdiagnostischen Verfahren. Anschliessend werden in den Kapiteln drei und vier die gängigsten Basistests der Bereiche Ausdauer und Kraft detailliert beschrieben. Neben der Testmethodik werden jeweils Informationen zum Hintergrund, zum Ziel sowie zur Auswertung und Interpretation des jeweiligen Tests geliefert.

In den letzten Jahren hat eine starke Entwicklung zu vermehrt sportartspezifischen leistungsdiagnostischen Tests stattgefunden. Daher wird abschliessend im fünften Kapitel ausgehend von einzelnen Sportarten einerseits der sinnvolle Einsatz der

vorgestellten Basistests diskutiert und andererseits auf weiterführende, spezifische Testmethoden hingewiesen. Im Anhang ist der Inhalt des Manuals in Form von Checklisten, Datenblättern und weiteren Kopiervorlagen für den Einsatz in der Praxis aufbereitet. Diese und weitere Hilfsdateien sind auch auf www.swissolympic.ch einzeln abrufbar.

Die vorgeschlagenen Test- und Auswertungsverfahren sind nicht verbindlich. Sie können und sollen in Einzelfällen sinnvoll angepasst werden.

Für eine geschlechtergerechte Sprache wechseln sich nachfolgend die weibliche und männliche Form kapitelweise ab. Wenn nicht explizit beschrieben, sind aber immer beide Geschlechter gemeint.

1. Tschopp, M. Manual Leistungsdiagnostik Kraft. Qualitätsentwicklung Swiss Olympic (2003).

2. Tschopp, M. Manual Leistungsdiagnostik Ausdauer. Qualitätsentwicklung Swiss Olympic (2001).



Inhaltsverzeichnis

01 Leistungsdiagnostik im Regelkreis der Trainingssteuerung

1.1	Leistungsdiagnostik im Regelkreis der Trainingssteuerung	7
1.2	Referenzen	9

02 Rahmenbedingungen

2.1	Qualitätssicherung	11
2.2	Messgeräte und -methoden	11
2.2.1	Laboraausstattung	11
2.2.2	Fahrradergometer	11
2.2.3	Laufband	12
2.2.4	Subjektives Belastungsempfinden	13
2.2.5	Herzfrequenz	13
2.2.6	Blutlaktatkonzentration	13
2.2.7	Spiroergometrie	13
2.2.8	Kraftmessplatte	15
2.3	Testvorbereitung	15
2.3.1	Laborvorbereitung	15
2.3.2	Testdurchführung	15
2.3.3	Testperson: Einflussfaktoren	15
2.3.4	Testperson: Information und Vorbereitung	16
2.3.5	Sicherheit (in Zusammenarbeit mit der SGSM)	16
2.4	Umgang mit Daten	17
2.4.1	Erhebung und Sicherung	17
2.4.2	Analyse	18
2.4.3	Auswertung	19
2.5	Anthropometrie	20
2.5.1	Messung der Körpergrösse	20
2.5.2	Messung des Körpergewichts	20
2.5.3	Messung der Körperzusammensetzung	20
2.6	Referenzen	22

03 Messverfahren Ausdauer

3.1	Laktatstufentest	25
3.1.1	Einleitung	25
3.1.2	Ziele	25
3.1.3	Methodik	25
3.1.4	Auswertung und Interpretation	27
3.1.5	Referenzwerte	31
3.2	$\dot{V}O_2$ max-Test	32
3.2.1	Einleitung	32
3.2.2	Ziele	32
3.2.3	Methodik	32
3.2.4	Auswertung und Interpretation	33
3.2.5	Referenzwerte	34
3.3	Kapazitätstest	34
3.3.1	Einleitung	34
3.3.2	Ziele	34
3.3.3	Methodik	34
3.3.4	Auswertung und Interpretation	36
3.3.5	Referenzwerte	37
3.4	Referenzen	38

04 Messverfahren Kraft

4.1	Test der isometrischen Maximalkraft (am Beispiel Kniebeugstellung)	42
4.1.1	Einleitung	42
4.1.2	Ziele	43
4.1.3	Methodik	43
4.1.4	Auswertung und Interpretation	45
4.1.5	Referenzwerte	46
4.2	Das 1-Repetition Maximum (1-RM): Test der dynamischen Maximalkraft (am Beispiel Bankdrücken)	46
4.2.1	Einleitung	46
4.2.2	Ziele	46
4.2.3	Methodik	46
4.2.4	Auswertung und Interpretation	47
4.2.5	Referenzwerte	48
4.3	Vertikalsprünge: Test der Explosivkraft der Beine	48

4.3.1	Einleitung	48
4.3.2	Ziele	48
4.3.3	Methodik	49
4.3.4	Auswertung und Interpretation	51
4.3.5	Referenzwerte	53
4.4	Niedersprünge: Test der Reaktivkraft	54
4.4.1	Einleitung	54
4.4.2	Ziele	54
4.4.3	Methodik	54
4.4.4	Auswertung und Interpretation	56
4.4.5	Referenzwerte	57
4.5	Grundkrafttest Rumpfmuskulatur	58
4.5.1	Einleitung	58
4.5.2	Ziele	58
4.5.3	Methodik	58
4.5.4	Ventrale Rumpfkette	58
4.5.5	Laterale Rumpfkette	59
4.5.6	Dorsale Rumpfkette	60
4.5.7	Auswertung und Interpretation	61
4.5.8	Referenzwerte	63
4.6	Referenzen	64

05 Anwendung nach Sportart

5.1	Kunstturnen	69
5.2	Langlauf / Biathlon	69
5.3	Laufsport (Mittel- und Langstreckenlauf)	70
5.4	Orientierungslauf	70
5.5	Radsport	70
5.6	Rudern	71
5.7	Schwimmen	71
5.8	Ski alpin / Snowboard	71
5.9	Spielsport (Basketball, Eishockey, Fussball, Handball, Tennis, Volleyball)	72
5.10	Triathlon	72
5.11	Referenzen	74

06 Anhang

Checkliste Laborausstattung
Checkliste Testablauf
Checkliste Testperson inkl. PAR-Q
Information Leistungsdiagnostik
Borgskala
Testdatenblatt Laktatstufentest
Testdatenblatt Grundkrafttest Rumpf
Fahrradausmessung
Laktatmessung am Ohrläppchen
Beispielauswertung Rahmenbedingungen
Beispielauswertung Laktatstufentest
Beispielauswertung $\dot{V}O_2$ max-Test
Inventar Laborausstattung
Risikomanagement-Matrix
Kalibration Testgeräte

01



Leistungsdagnostik im Regelkreis
der Trainingssteuerung

Leistungsdiagnostik im Regelkreis der Trainingssteuerung

1.1 Leistungsdiagnostik im Regelkreis der Trainingssteuerung

In den letzten Jahrzehnten haben sich die Bemühungen der an Grossanlässen wie Weltmeisterschaften oder Olympischen Spielen teilnehmenden Nationen massiv intensiviert, möglichst viele Medaillen zu gewinnen. Je höher die dabei getätigten Investitionen im Leistungssport waren, desto besser waren im Normalfall die

sportlichen Leistungen¹. Neben verschiedenen anderen Faktoren stellt die sportwissenschaftliche Unterstützung der Verbände, Trainer und Athletinnen einen bedeutsamen Unterstützungspfeiler des Leistungssports dar^{2,3}. Im Kontext verschiedener sportwissenschaftlicher Unterstützungsmassnahmen spielt die Leistungsdiagnostik im «Regelkreis der Trainingssteuerung» (siehe Abbildung 1-1) eine nicht zu unterschätzende Rolle.

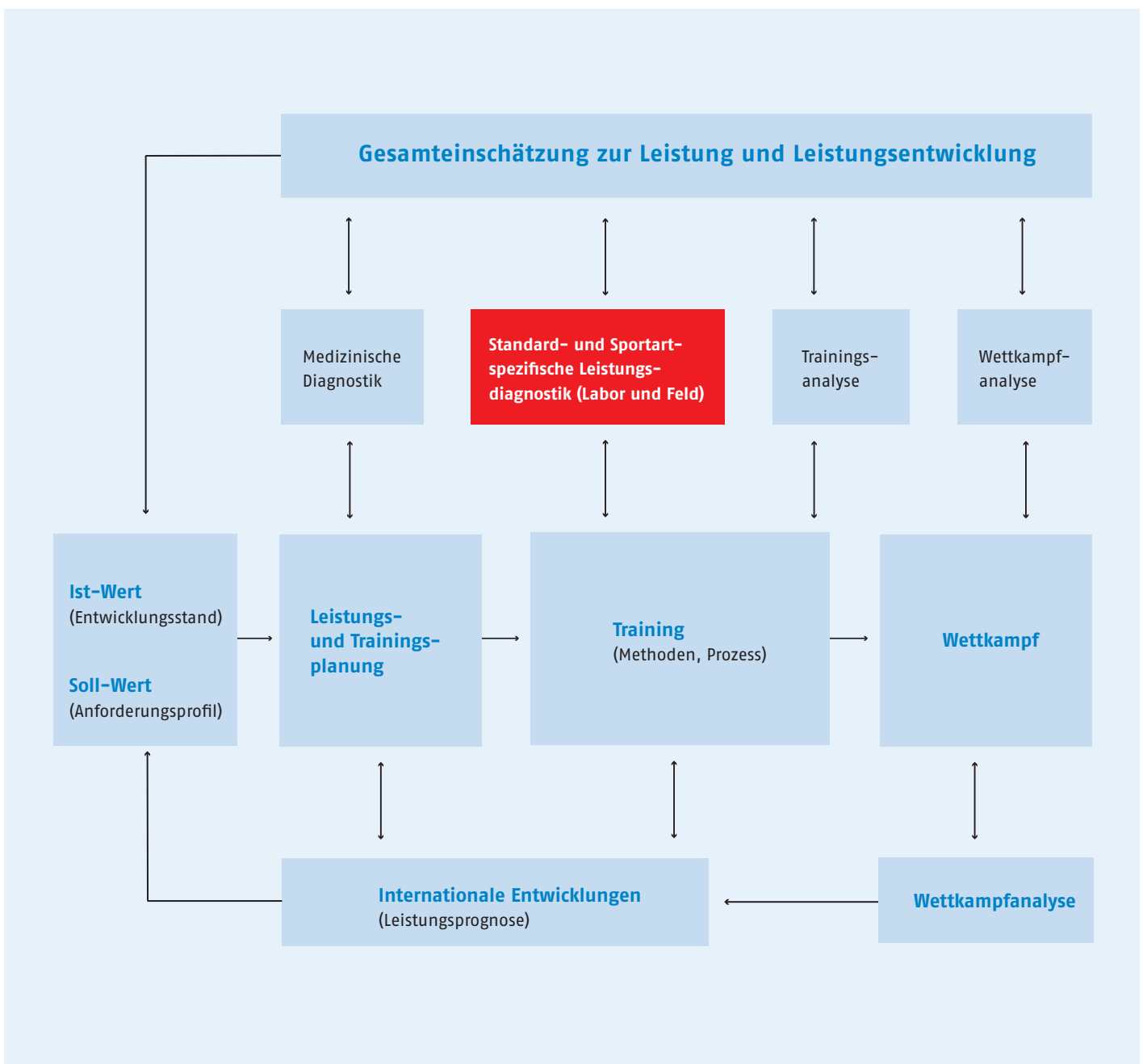


Abbildung 1-1. Regelkreis der Trainingssteuerung (adaptiert nach Pfützner⁴ sowie Fuchslocher & Bürgi⁵).

Im Regelkreis der Trainingssteuerung werden die Soll-Werte (Anforderungsprofil) den Ist-Werten (Entwicklungsstand) gegenübergestellt und daraus wertvolle Informationen für die Leistungs- und Trainingsplanung gewonnen. Die Soll-Werte basieren dabei auf gezielten Wettkampfanalysen und Leistungsprognosen, während die Ist-Werte auf den Daten der Trainings- und Wettkampfanalyse sowie der Leistungs- und medizinischen Diagnostik basieren⁴. Für die Leistungsdiagnostik ergeben sich daraus folgende wesentliche Ziele:

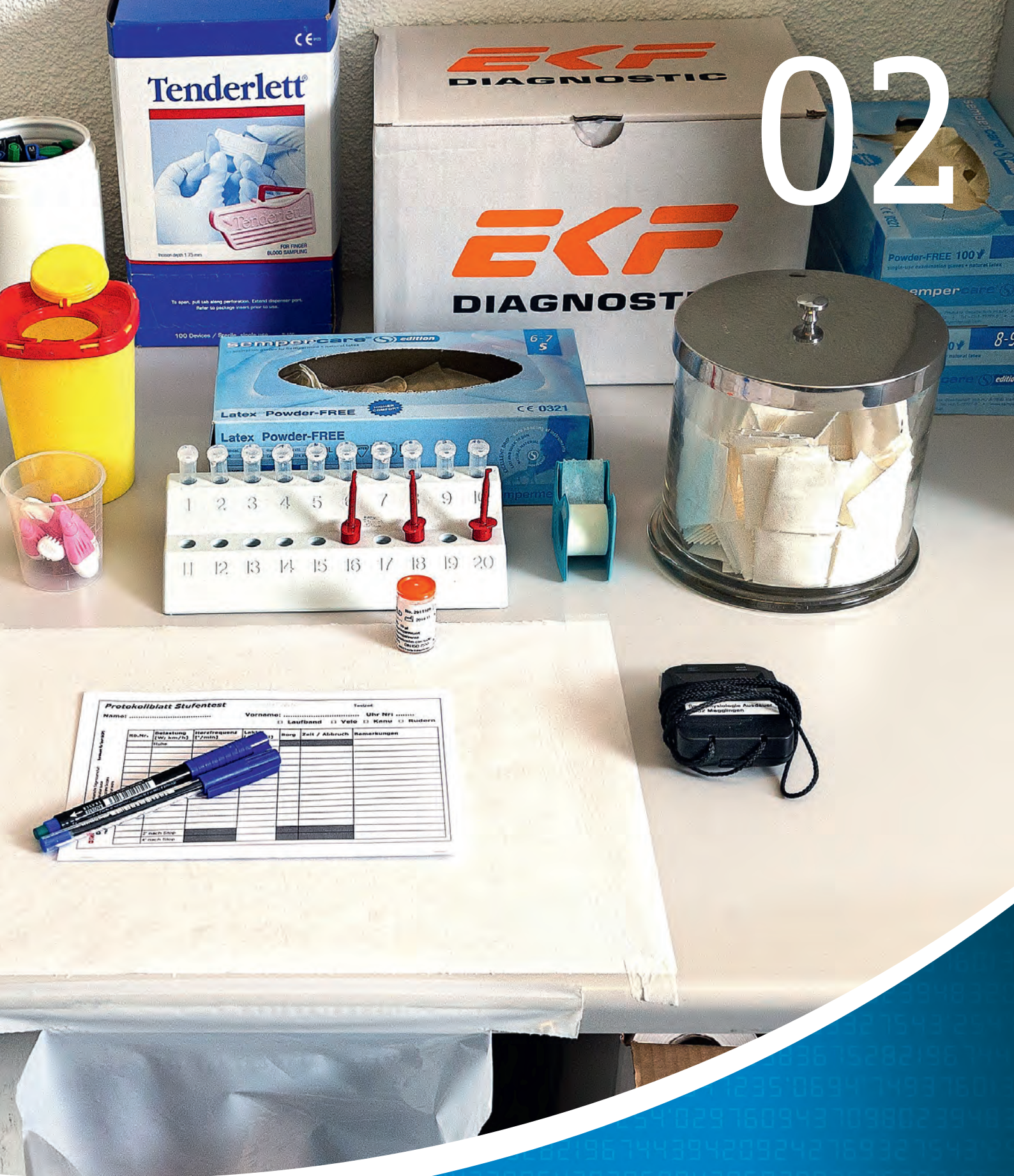
1. **Erhebung des aktuellen Leistungsstandes.** Dabei ist entscheidend, dass die leistungsrelevanten Kenngrößen der kritischen Erfolgsfaktoren der jeweiligen Sportart gemessen werden. Durch diese Erhebungen kann ein Stärke-Schwäche-Profil erstellt und können die Werte mit anderen Athletinnen (Weltspitze) verglichen werden.
2. **Beurteilung der Leistungsentwicklung.** Durch die Beurteilung des intraindividuellen Längsverlaufs der leistungsrelevanten Kenngrößen können Leistungsfortschritte, -abfälle und -stagnationen erkannt werden. Weiter kann die Entwicklung mit anderen Athletinnen im gleichen Alter (auch Werte aus früheren Jahren) verglichen werden. Auch im Falle von Verletzungen und der nachfolgenden Reha kann es sich als sehr wertvoll erweisen, wenn der Leistungsstand und die Leistungsentwicklung mit individuellen Vorwerten verglichen werden können.
3. **Optimierung der Trainingssteuerung.** Mit der Durchführung von verschiedenen leistungsdiagnostischen Tests werden Parameter erhoben, um für den Trainer und die Athletin Trainingsempfehlungen ableiten zu können. Dadurch kann die Art und Weise der Belastung des Trainings mit Hilfe sportmethodischer Steuermassnahmen (Intensität, Umfang, Pausen / Erholung, Belastungsart, Periodisierung allgemein) angepasst und geplant werden. Die gezielte Dokumentation des Trainings erleichtert bei der Analyse die Interpretation von gemessenen Trainingseffekten und erlaubt Rückschlüsse für zukünftige (individuelle) Trainingsprogramme.
4. **Abschätzung des Leistungspotentials.** Einige physiologische Parameter (z.B. im Ausdauersport die Hämoglobinmasse oder die maximale Sauerstoffaufnahme) sind zu wesentlichen Anteilen genetisch bedingt und lassen sich durch Training nur bedingt steigern. Durch die Messung dieser Parameter können deshalb Rückschlüsse auf das sportliche Leistungspotential gezogen werden, insbesondere in Kombination mit leistungsrelevanten Kenngrößen und zusätzlich erfassten Trainingsparametern (Trainingsstunden, Laufkilometer etc.).

Der entscheidende Punkt für einen erfolgreichen Einsatz der Leistungsdiagnostik im Leistungssport ist eine seriöse Planung⁶. Es ist deshalb von zentraler Bedeutung, dass der Leistungsdiagnostiker in engem Dialog mit dem Trainer und dem Chef Leistungssport ein leistungsdiagnostisches Konzept für die entsprechende Sportart entwirft. Gemeinsam wird entschieden, welches die kritischen Erfolgsfaktoren sind und welche leistungsrelevanten Kenngrößen diese am besten abbilden. Danach wird definiert, durch welche Labor- oder Feldtests die relevanten Kenngrößen erhoben werden und wann diese Leistungstests im Jahr mit welchen Kadern durchgeführt werden. So können diese Tests hilfreiche Informationen für die Leistungsbeurteilung, Leistungsentwicklung sowie Trainingssteuerung liefern. Es empfiehlt sich zudem, dieses leistungsdiagnostische Konzept und die darin enthaltenen Eckpfeiler (Leistungstests und Messzeitpunkte im Trainingsjahr) über mehrere Jahre (mind. Olympiazzyklus) gleich zu belassen, so dass die Daten im Längsverlauf vergleichbar sind. Speziell die über mehrere Jahre dokumentierten Daten von sehr erfolgreichen Athletinnen (Olympiasiegerinnen) sind sehr wertvoll, da diese später als Vergleichswerte beigezogen werden können⁷.

1.2 Referenzen

1. Oakley, B. & Green, M. The production of Olympic champions: International perspectives on elite sport development system. *European Journal for Sport Management* 8, 83-105 (2001).
2. Kempf, H., Weber, A.Ch., Renaud, A. & Stopper, M. Der Leistungssport in der Schweiz. Momentaufnahme SPLISS-CH 2011 (2., überarbeitete Aufl., Bundesamt für Sport BASPO, 2014).
3. De Bosscher, V., Bingham, J., Shibli, S., Bottenburg, M. & De Knop, P. The global sporting arms race: an international comparative study on sports policy factors leading to international sporting success. (Meyer & Meyer Sport, 2007).
4. Pfützner, A., Reiss, M., Rost, K. & Tünnemann, H. Internationale und nationale Entwicklungstendenzen auf der Grundlage der Ergebnisse der Olympischen Sommerspiele in Sydney mit Folgerungen für den Olympiazzyklus 2004. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaften* 7, 6-36 (2000)
5. Fuchslocher, J. & Bürgi, A. Trainerherbsttagung Swiss Olympic Association, Magglingen (2004).
6. Davison, R. C., Van Someren, K. A. & Jones, A. M. Physiological monitoring of the Olympic athlete. *Journal of Sport Sciences* 27, 1433-1442 (2009).
7. Joyner, M. J. & Coyle, E. F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 586, 35-44 (2008).

02



Rahmenbedingungen

Rahmenbedingungen

2.1 Qualitätssicherung

Im Spitzensport können schon kleine Veränderungen der Leistungsfähigkeit über Sieg oder Niederlage entscheiden. Gleichzeitig sind physiologische Messungen und die dafür benötigten Geräte immer mit einem gewissen Messfehler behaftet. Das Ziel der Qualitätssicherung besteht darin, vorhandene Abläufe zu standardisieren, um eine hohe Messgenauigkeit zu garantieren und diese weiter zu verbessern.

Für eine funktionierende Qualitätssicherung ist es zuerst entscheidend, die Verantwortungen klar zu definieren. Dazu werden verantwortliche Personen für jedes Labor sowie für jedes Messgerät und evtl. Testverfahren bestimmt. In sinnvollen Abständen (angepasst an das Messgerät und die Testfrequenz) treffen diese alle nötigen Massnahmen, um einen reibungslosen und qualitativ hochstehenden Testalltag zu gewährleisten. Alle regelmässigen Massnahmen werden am besten bereits in einer Jahresplanung berücksichtigt.

Jede Institution dokumentiert alle relevanten Faktoren bezüglich Qualitätssicherung. Diese Informationen stehen allen betroffenen Mitarbeitenden jederzeit zur Verfügung und werden laufend aktualisiert und analysiert. So können später Probleme bei auftauchenden Messunsicherheiten geklärt werden, und die langfristige Vergleichbarkeit der Daten ist sichergestellt.

Folgende Informationen und Dokumente werden an einem geeigneten Ort abgelegt:

- Organigramm der Qualitätssicherung
- Inventar aller Geräte / Materialien inkl. Ansprechpersonen (siehe 6. Anhang)
- Interne Anleitungen für alle Testverfahren und Geräte
- Dokumentation aller Gerätekalibrationen (siehe 6. Anhang)
- Dokumentation Risikomanagement (siehe 6. Anhang)
- Rohdaten (inkl. Testbedingungen) und Auswertungen aller Tests (siehe 6. Anhang)

Grundsätzlich sind simple Checklisten ein bewährtes Mittel, um Arbeitsabläufe zu definieren und Fehler zu vermeiden.

2.2 Messgeräte und -methoden

2.2.1 Laborausstattung

Das Durchführen von Leistungstests stellt vielfältige Anforderungen an die Laborausstattung, die auf der Checkliste (siehe 6. Anhang) zusammengefasst sind. Der Laborraum muss genügend gross und gut beleuchtet sein. Vorhänge oder Storen verhindern neugierige Blicke von aussen.

Zur Standardausrüstung eines Leistungsdiagnostiklabors gehören neben den spezifischen Testgeräten eine Uhr, ein Thermo- / Hygro- / Barometer und eine vollständige Werkzeugkiste. Ein gutes Lüftungssystem verhindert einen Abfall der O_2 -Konzentration und einen Anstieg der CO_2 -Konzentration. Empfehlenswert ist zudem eine Klimaanlage, um die Umgebungsbedingungen standardisieren zu können (siehe 2.3.1 Laborvorbereitung).

2.2.2 Fahrradergometer

Ein Fahrradergometer (kurz: Ergometer) simuliert die Belastung beim Radfahren. Um dabei möglichst spezifisch dem Rad des Athleten zu entsprechen, überträgt die Testleiterin dessen Sitzposition auf den Ergometer (siehe Abbildung 2-1 und 6. Anhang).

V.a. der dadurch resultierende Oberkörperwinkel kann das subjektive Belastungsempfinden und Leistungskennwerte beeinflussen^{1,2}. Im Idealfall benutzt der Athlet seinen eigenen Sattel, andernfalls muss evtl. die Sattelposition angepasst werden.

Auch das Trägheitsmoment der Kurbel des Ergometers beeinflusst das Fahrgefühl und wird wenn möglich an die Raddisziplin des Athleten angepasst³ (das Trägheitsmoment ist abhängig von der Schwungmasse und deren Ansteuerung).

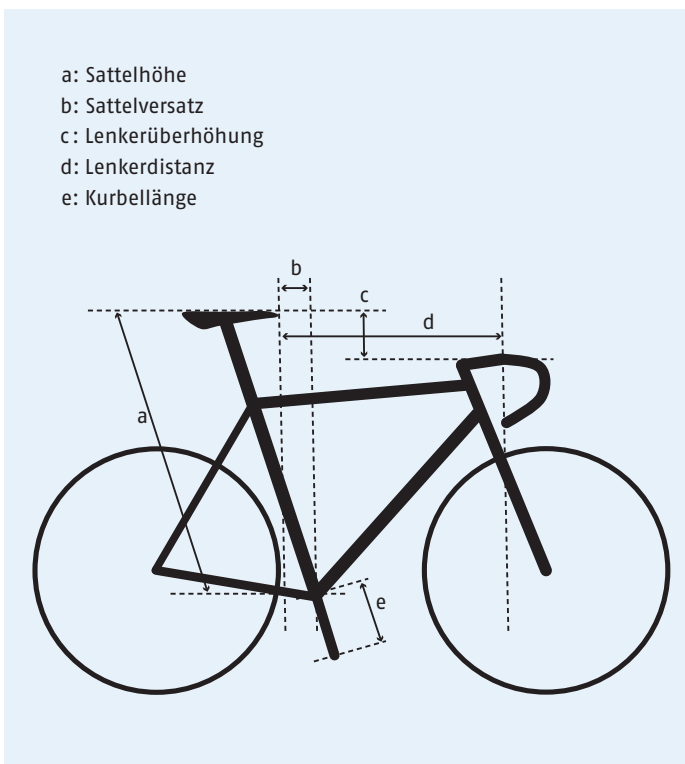


Abbildung 2-1. Relevante Parameter für die Sitzposition auf dem Fahrrad.

Zwei Varianten von Ergometern sind besonders gebräuchlich: mechanisch und elektromagnetisch gebremste. Bei ersteren wird meist ein Schwungrad durch einen umlaufenden Riemen gebremst, dessen Spannung die Höhe des Widerstandes bestimmt. Bei letzteren erzeugt eine elektromagnetische Bremse (z.B. Wirbelstrombremse) den gewünschten Widerstand. Unabhängig vom Bremssystem ist Vorsicht geboten bei Leistungsmessungen mit variabler Trittfrequenz (z.B. bei abfallender Trittfrequenz vor dem Testabbruch oder Sprinttests mit Beschleunigungen). Bei vielen Ergometermodellen führt dies zu systematischen Fehlern in den Leistungswerten, da viele Modelle die Änderung in der kinetischen Energie des Systems nicht miteinberechnen⁴. Im Zweifelsfall bespricht die Testleiterin diese Problematik mit dem Hersteller.

Da die mechanische Leistung die Kerngrösse jedes Ausdauer-tests auf dem Fahrrad darstellt, muss der Ergometerkalibration grösste Beachtung geschenkt werden. Die publizierten Messfehler von handelsüblichen Ergometern bewegen sich von sehr guten 1% bis zu problematischen Werten über 10%^{5,6}. Ergometer müssen daher periodisch kalibriert werden (je nach Herstellerangaben und Testfrequenz). Verschiedene statische und dynamische Verfahren sind etabliert, mit den physikalischen Referenzgrössen Kraft, Weg und Zeit^{5,7,8}. Bei den statischen Verfahren wird der Kraft- / Drehmomentsensor des Ergometers mit einem Eichgewicht an der Kurbel oder dem Schwungrad kalibriert (siehe 6. Anhang). Für die dynamische Kalibration treibt ein Elektromotor den Ergometer an und misst das benötigte Drehmoment⁷. Die dynamische Methode wäre zu bevorzugen, wobei es dafür nach Erfahrung der Autoren wenig gute Anbieter gibt. Als interessante Alternative kann ein Leistungsmesssystem (es muss an einem Fahrrad montiert werden) auch über eine physikalische Modellierung kalibriert werden⁹. Dabei werden alle Fahrwiderstände (Luftwiderstand, Rollwiderstand, Hangabtriebskraft, Antriebsverluste) standardisiert und die benötigte Leistung berechnet. Diese kann dann mit der gemessenen Leistung abgeglichen werden. Bei jeder Kalibrationsmethode soll der relevante Leistungs- und Trittfrequenzbereich für den späteren Einsatz kontrolliert werden.

Je nach Ergometermodell beachtet die Testleiterin weitere gerätspezifische Kalibrationsmassnahmen (z.B. die Kontrolle der Nullstelle vor jedem Test, analog zum Trieren einer Waage). Besondere Vorsicht ist bei variablen Umgebungsbedingungen geboten (z.B. wenn der Ergometer eingeschaltet wird, bevor das Labor gekühlt wurde). Nur kurz soll hier auch auf mobile Leistungsmesssysteme verwiesen werden, die im Profisport und immer mehr auch im Amateurbereich verbreitet sind: Diese sind enorm wertvoll für die Trainingssteuerung / -auswertung oder Leistungsüberprüfung, und ihr Einsatzbereich reicht bis hin zu Aerodynamik- oder Rollwiderstandsanalysen^{10,11}. Auch mobile Leistungsmesssysteme müssen korrekt gehandhabt und kalibriert werden, insbesondere wenn Messwerte aus dem Labor ins Feld übertragen werden und umgekehrt.

2.2.3 Laufband

Zweck eines motorisierten Laufbands ist es, die Fortbewegung im Freien zu simulieren. Bei entsprechender Grösse und Ausstattung eignet sich ein Laufband nicht nur zum Laufen, sondern auch zum Radfahren, Rollstuhlfahren, Rollskilaufen etc. Es besteht prinzipiell kein mechanischer Unterschied zwischen der Fortbewegung auf dem Laufband und im Freien, ausser der unterschiedlichen Unterlage und vor allem dem fehlenden Luftwiderstand¹². Um auf dem Laufband eine realitätsgetreue Beanspruchung bei einer gewissen Geschwindigkeit zu gewährleisten, muss daher der fehlende Luftwiderstand kompensiert werden. Dies geschieht in der Regel durch das Einstellen einer Steigung des Laufbands. Ein Steigungswinkel von 1% erzeugt dabei etwa die gleiche Gegenkraft wie der Luftwiderstand im laufsportrelevanten Geschwindigkeitsbereich¹³. Die zwischen Laufband und Feld sowie auch zwischen verschiedenen Laufbändern unterschiedliche Unterlage bringt unterschiedliche Eigenschaften z.B. bzgl. Rollwiderstand oder Laufmechanik mit sich, was die Aussagen der Laufbandergometrie beeinflussen kann und bei der Leistungsdiagnostik beachtet werden muss. Es wird daher bei einer Testwiederholung auf die Vergleichbarkeit der Unterlage geachtet. Im Optimalfall wird immer dasselbe Laufband verwendet.

Die Laufgeschwindigkeit des Bandes, der Bandwinkel und auch der Rollwiderstand verschiedener Geräte (Fahrrad, Rollstuhl, Rollski, etc.) werden regelmässig kalibriert. Die Kalibrierung beinhaltet die Prüfung dieser Parameter sowie die anschliessende Korrektur der Werte (entweder durch Justieren der Geräte oder durch Anwenden eines entsprechenden Korrekturfaktors bei der Datenauswertung). Im Groben funktioniert die Kalibrierung wie folgt (siehe 6. Anhang):

- Geschwindigkeit: 1) Gurtlänge ausmessen, 2) Umlaufzeit bei relevanten Geschwindigkeiten messen (z.B. je 50 Umlaufzyklen bei 10, 15 und 20 km / h; mit Läufer), 3) Abweichung zur Sollgeschwindigkeit berechnen → Korrekturfaktor.
- Steigungswinkel: Mit (digitaler) Wasserwaage oder mit Lot (Trigonometrische Winkelbestimmung).
- Rollwiderstand: Mit Kraftsensor¹⁴.

Aufgrund des ungewohnten Bezugssystems auf einem Laufband (Umgebung, die sich nicht bewegt) wird ein Athlet vor dem erstem Laufbandtest mit dem Laufen auf dem Laufband vertraut gemacht (Familiarisierung). Dazu empfiehlt sich für die Durchführung von Maximaltests eine Vorrichtung, welche den Athleten im Falle eines Sturzes auffängt (Fanggurt etc.).

2.2.4 Subjektives Belastungsempfinden

Das subjektive Belastungsempfinden fasst eine Vielzahl von Empfindungen des Athleten in einem numerischen Wert zusammen. Darunter fallen Einschätzungen zur Belastung der Muskulatur, der Atmungsarbeit oder der Bewegungsgeschwindigkeit^{15,16}. Am weitesten verbreitet ist die Skala von Borg¹⁷ (siehe 6. Anhang) mit einem Wertebereich von 6 bis 20. Ebenfalls sinnvoll kann der Einsatz der CR-10 Skala sein¹⁸, welche die Intensitätswerte exponentiell von 0 bis 10 einordnet. Die Testleiterin instruiert den Athleten vorgängig, wie er das Belastungsempfinden auf der Skala einordnen soll und gibt bei der Auswertung die verwendete Skala an. Bei korrekter Instruktion hängt das subjektive Belastungsempfinden stark mit physiologischen Parametern wie der Herzfrequenz oder der Laktatkonzentration zusammen¹⁸.

2.2.5 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz ist eine einfach zu messende und wertvolle physiologische Variable, welche die Beanspruchung des Herzkreislaufsystems abbildet. Klassische Systeme arbeiten mit einem Brustgurt, welcher mittels Kontaktelektroden die Spannungsänderungen auf der Haut misst und das Signal an ein Empfängergerät (Uhr, Vело-computer) weiterleitet. Diese wurden bereits mehrfach gegen EKG-Messungen validiert¹⁹. Vor der Messung befeuchtet die Testleiterin die Gurtelektroden und überprüft die korrekte Gurtposition inkl. straffem Sitz. Neuere Systeme mit optischen Sensoren am Handgelenk stellen eine interessante Alternative dar, wurden aber noch nicht genügend validiert.

Der typische Messfehler von Herzfrequenzvariablen (HF_{\max} , HF_{Ans}) liegt bei ca. $\pm 2 \text{ S/min}$ ²⁰. Bei allen Herzfrequenzwerten wird das Mittelungsintervall angegeben (z.B. HF_{\max} als höchster Mittelwert über 30 s). Eine Aufzeichnungsfrequenz von 1 Hz ist gebräuchlich.

2.2.6 Blutlaktatkonzentration

Die Blutlaktatkonzentration (kurz: Laktatkonzentration) lässt sich relativ einfach mit kleinen Blutproben (5–20 μL) vom Ohrläppchen oder vom Finger bestimmen (kapilläres Blut). Als indirekter Marker lässt die Laktatkonzentration Rückschlüsse über die Aktivität des anaeroben Stoffwechsels zu. Die lokale Konzentration ist aber lediglich eine Momentaufnahme des dynamischen Gleichgewichts zwischen Laktatproduktion und -elimination an verschiedenen Stellen im Körper²¹. Daher sind standardisierte Bedingungen und mehrere Messpunkte nötig (z.B. Laktatstufentest), um verlässliche Aussagen über die aktuelle Stoffwechsellage zu tätigen.

Je nach Art des untersuchten Blutes (kapillär, arteriell, venös oder Blutplasma) unterscheiden sich die Laktatkonzentrationen²², wobei in der Leistungsdiagnostik meist nur mit kapillären Blutproben gearbeitet wird. Proben vom Ohrläppchen weisen dabei meist eine tiefere Laktatkonzentration auf als Proben vom Finger²³. Wir empfehlen die Blutentnahme am Ohrläppchen, da diese für gewisse Sportarten praktikabler und für den Athleten angenehmer ist (siehe Abbildung 2–2). Eine geübte Testleiterin benötigt dafür 10–30 s. Die korrekte Entnahmetechnik ist in 6. Anhang beschrieben.



Abbildung 2–2. Laktatmessung am Ohrläppchen.

Neben stationären Laboranalysegeräten gibt es auch mobile Varianten für Feldmessungen. Verschiedene Geräte können zu unterschiedlichen Messwerten führen, weshalb Vergleiche von Werten verschiedener Labors nur begrenzt zulässig sind^{24–26}.

Laktatanalysegeräte müssen periodisch überprüft werden (vor wichtigen Tests oder mind. jährlich, siehe 6. Anhang). Dazu sind kommerzielle Testlösungen mit bekannten Laktatkonzentrationen im relevanten physiologischen Bereich erhältlich. Gute Intragerät-Reliabilitätswerte liegen bei einem typischen Messfehler von unter 0.1 mmol/L (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen). Im Vergleich zu chemischen Testlösungen ist bei biologischen Proben ein grösserer Messfehler zu erwarten.

2.2.7 Spiroergometrie

Atemgasanalysen in Ruhe und unter Belastung haben in der Leistungsdiagnostik eine lange Tradition. Je nach Zielsetzung der Messung werden damit etablierte spiroergometrische Parameter wie die $\dot{V}O_2\text{max}$ (in der Sportmedizin immer noch das Standardkriterium der kardio-respiratorischen Fitness), der Energieumsatz, die metabolische Effizienz / Ökonomie, die Sauerstoffaufnahme-kinetik usw. bestimmt. Im Rahmen dieses Manuals wird nur auf die $\dot{V}O_2\text{max}$ als spiroergometrischen Indikator eingegangen.

Gemessen werden können Atemgase grundsätzlich mit drei verschiedenen technischen Lösungen: 1. Douglas Bags, 2. Mischkammersystemen oder 3. Breath-by-breath-Systemen (siehe Abbildung 2–3)²⁷.



Abbildung 2–3. Verschiedene spiroergometrische Messsysteme. Von links: Douglas Bags, Mischkammer, Breath-by-breath.

Bei der traditionellsten Methode mit Douglas Bags wird die Ausatemungsluft via ein 3-Weg-Ventil in grossen, luftundurchlässigen Säcken gesammelt und im Anschluss an die Messung werden sowohl das Volumen als auch die Gaskonzentrationen des Sacks bestimmt. Damit lassen sich die drei Grundgrössen von ergospirometrischen Messungen 1. Ventilation (\dot{V}_E), 2. Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) und 3. Kohlenstoffdioxidabgabe ($\dot{V}CO_2$) ermitteln. Die Methode gilt aktuell immer noch als der Goldstandard für ergospirometrische Messungen. Sie ist allerdings sehr aufwendig (Material, Zeitaufwand) und für den Alltagsgebrauch mit Spitzenathleten kaum geeignet. Deshalb wurden automatisierte Systeme entwickelt, die \dot{V}_E , $\dot{V}O_2$ und $\dot{V}CO_2$ kontinuierlich mit Hilfe einer sogenannten Mischkammer bei Steady-State-Bedingungen oder bei jedem Atemzug (Breath-by-breath) messen können. Währenddem bei der Douglas-Bag-Methode jeder Schritt zur Bestimmung der Grundgrössen nachvollziehbar ist, sind die automatisierten Systeme oft «Black-Boxes». Die Messungen basieren auf Algorithmen zur zeitlichen Angleichung von Ventilations- und Gaskonzentrationsmessungen, die für den Anwender oft nicht einsehbar sind. Dementsprechend ist bei offensichtlichen Fehlmessungen mit automatisierten Systemen die Fehlerquelle oft schwierig zu eruieren. Viel Sorgfalt ist deshalb den gerätespezifischen Kalibrationsprozessen und dem Einhalten von optimalen Laborbedingungen zu widmen.

Kalibration Spiroergometriegerät

Die zwei Analysatoren (Volumensensor / Gasanalysatoren) von automatisierten Systemen müssen mindestens einmal täglich (oder idealerweise vor jedem Test bei mehreren Tests am Tag resp. beim Wechsel des Volumensensors) kalibriert werden^{20,28}. Die Kalibrationen erfolgen frühestens 30–60 min nach dem Einschalten des Systems, um einen elektrischen Drift der Sensoren zu verhindern²⁰. Der Volumensensor (üblicherweise ein Rotationsflussgeber oder ein Pneumotachograph) wird mit einer zertifizierten Kalibrationspumpe (3–4 L) kalibriert. Der Fluss (Geschwindigkeit der Pumpbewegung) soll dabei dem Test und den antizipierten Ventilationswerten angepasst werden. Eine genaue Kalibration des Volumensensors ist elementar, da sich z.B. ein Fehler von 5% bei der Volumenmessung direkt in einem 5%-Fehler bei der Messung der $\dot{V}O_2$ niederschlägt²⁰. Die Gasanalysatoren werden optimalerweise mit einer 2-Punkte Kalibrierung (2 Gase: 1 Gas im Bereich der Einatemungsluft (21% O_2 und 0.03% CO_2), ein Gas im Bereich der Ausatemungsluft (16% O_2 und 5% CO_2)) kalibriert, um die Linearität der Sensoren im gewünschten physiologischen Messbereich (CO_2 : 0–5%; O_2 : 21–15%) zu gewährleisten²⁰. Werden Geräte nur mit der Umgebungsluft und einem

Kalibriergas im Bereich der Ausatemungsluft kalibriert, muss das Labor vor jeder Gaskalibration gut gelüftet sein, damit die Werte den normalen Gaskonzentrationen der Luft entsprechen (F_{IO_2} bei 20.93% und F_{ICO_2} bei 0.03–0.04%). Nebst einer genauen Volumenkalibration ist die genaue Kalibration der Gasanalysatoren elementar, da eine Änderung der F_{EO_2} um z.B. 1% (z.B. 17.82% vs. 18.00%) die $\dot{V}O_2$ um 6.5% beeinflusst²⁰. Um eine genaue Kalibration sicherzustellen, werden Kalibrationsgase von bestmöglicher Qualität verwendet.

Testvorbereitung

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, ist darauf zu achten, dass das Labor gut gelüftet ist. Wird eine Maske getragen, muss diese passgenau und dicht sitzen (bei zugehaltener Öffnung darf beim Ausatmen keine Luft entweichen). Wird mit Nasenklammer und Mundstück gemessen (Mischkammermessungen, Douglas Bag), werden Halt und Dichtigkeit der Nasenklammer mit einer Ausatmung durch die Nase des Athleten überprüft. Alle Verbrauchsmaterialien (Sensoren, Gasabsaugstrecken, Volumensensoren, Ventile usw.) müssen regelmässig auf Verschleiss und Ablagerungen überprüft und gegebenenfalls ausgetauscht werden. Wiederholte Spiroergometrien sollten stets mit demselben Testgerät erfolgen.

Messgenauigkeit

Die intraindividuelle Variation der $\dot{V}O_{2max}$ gemessen an zwei Tagen beträgt rund 4–6%²⁹, wobei mit optimal kalibriertem automatisiertem Douglas-Bag-System und erfahrenen Athleten Werte von 1.4–2.5% möglich sein können^{20,30,31}. Mit automatisierten Systemen ist für die Messung der $\dot{V}O_{2max}$ kaum mit einem typischen Messfehler von weniger als 3–4% zu rechnen, wobei bei submaximalen Messungen der typische Messfehler etwas tiefer (2–3%) sein kann. Nebst der Reproduzierbarkeit der gemessenen spiroergometrischen Grundgrössen interessiert die Frage nach der Genauigkeit bzw. Validität der erhobenen Messdaten. Da kontinuierliche Validierungen mit Douglas Bags für die meisten Labors keine Möglichkeit darstellen, wird als minimale Alternative eine physiologische bzw. biologische Validierung empfohlen^{20,28,32}. Dabei erfolgen nach einer initialen Testserie zur Festlegung von Ausgangswerten z.B. monatlich standardisierte Belastungen mit der gleichen Testperson unter den gleichen Bedingungen. Ein Vergleich mit Standardwerten für verschiedene Belastungsstufen (z.B. Australian Institute of Sport für Fahrradergometrie: $\dot{V}O_2 = 1800 \text{ mL/min}$ bei 100 W, 2800 mL/min bei 200 W und 3900 mL/min bei 300 W, siehe 6. Anhang) lässt die Plausibilität der gemessenen Werte abschätzen.

2.2.8 Kraftmessplatte

Mit Kraftmessplatten lassen sich alle notwendigen Parameter (relative / absolute maximale Leistung, Sprunghöhe, Kraftspitzen, relative / absolute durchschnittliche Leistung, etc) bei Vertikalsprüngen (Countermovementjump, Squatjump, Dropjump) und isometrischen Maximalkrafttests erheben. Mit den Platten werden die Bodenreaktionskräfte gemessen. Als Messaufnehmer dienen dabei je nach Fabrikat Dehnmessstreifen oder piezoelektrische Kristalle. Aufgrund der Bodenreaktionskraft werden diese verformt und senden ein elektrisches Signal aus, welches aufgezeichnet wird. Aus dem aufgezeichneten Kraft-Zeit-Verlauf werden alle anderen Parameter (siehe oben) berechnet. In der Regel sind für diese Anwendungen Kraftmessplatten, die in einer Dimension (vertikal) die Kraft aufzeichnen ausreichend (natürlich sind auch dreidimensionale Platten anwendbar). Einige Systeme lassen sich mit Goniometern zur Aufzeichnung des Kniewinkels kombinieren oder mit dem Anbringen von Podesten zur Messung von Niedersprüngen umrüsten. Die reine mechanische Messgenauigkeit ist im Regelfall mit einem Messfehler von <1% sehr hoch. Je nach Anwendung wird zusammen mit dem biologischen Fehler in nachfolgenden Kapiteln der typische Messfehler angegeben. Für eine hohe Messgenauigkeit ist es notwendig, dass jeweils alle Platten-Stellfüsse fest auf dem ebenen, möglichst schwingungsfreien Boden stehen. Auch muss eine konstante Temperatur im Raum gewährleistet werden, da Temperaturwechsel zu einem elektrischen Drift der Sensoren und damit zu Messfehlern führen können. Regelmässige Kalibrationen der gemessenen Kraft mit einem Eichgewicht helfen, die langfristige Reliabilität und Vergleichbarkeit der Messwerte zu gewährleisten.

2.3 Testvorbereitung

2.3.1 Laborvorbereitung

Die empfohlenen Testbedingungen liegen bei einer **Temperatur von 18–23 °C** und einer **Luftfeuchtigkeit < 70%** ^{20,33}. Eine erhöhte Umgebungstemperatur kann die Leistungsfähigkeit bei Ausdauer- tests deutlich einschränken ^{34,35} und submaximale Messwerte wie Herzfrequenz und Laktatkonzentration erhöhen ^{34,36} (siehe Abbildung 2–4). Falls erwünscht, wird ein Ventilator eingesetzt, um den Athleten zu kühlen. Aus messtechnischer Sicht können Temperaturschwankungen auch die Genauigkeit von Kraftsensoren, z.B. in Kraftmessplatten oder Ergometern, beeinträchtigen. Weiter beeinflusst der Luftdruck über den **Sauerstoffpartialdruck** der Luft u.U. die Testergebnisse. Dieser ist meist nicht steuerbar, sondern hängt primär von der geografischen Höhe des Testortes ab, welche daher angegeben wird. Submaximale Laktat- und Herzfrequenzwerte sind bei tieferem Partialdruck erhöht, während die Ausdauerleistungsfähigkeit abnimmt (ca. 0.7% pro 100 m Höhendifferenz) ^{31,37} (siehe Abbildung 2–4).

2.3.2 Testdurchführung

Die **Testleiterinnen** sind gut ausgebildete Fachpersonen, die neben der korrekten Handhabung der Testgeräte auch alle Messprozedure einwandfrei beherrschen. Dadurch erhalten die Testleiterinnen auch unter erschwerten Bedingungen (nasse Haut, in Bewegung usw.) korrekte Messwerte, und eine hohe Intertester-Reliabilität ist gewährleistet. Ein breites Verständnis in Sportphysiologie hilft, mögliche Einflussfaktoren oder auftauchende Probleme einzuschätzen und adäquat zu reagieren.

Die Anzahl der anwesenden Personen wird auf ein Minimum reduziert, um keine unnötige Unruhe aufkommen zu lassen. Anzahl und Geschlecht der anwesenden Personen können die Testergebnisse beeinflussen ^{38,39}.

Bei beanspruchenden Tests bis zur Ausbelastung motiviert die Testleiterin den Athleten, sein Bestmögliches zu leisten. Von motivierender Musik ist aus Gründen der Standardisierung allerdings abzuraten.

2.3.3 Testperson: Einflussfaktoren

Neben technischen Messfehlern führen auch biologische Variationen zu variablen Ergebnissen in Leistungstests. Möglichst viele Einflussfaktoren seitens des Athleten werden daher standardisiert und dokumentiert (siehe 6. Anhang, Checkliste Testperson). Der Athlet muss gesund sein (siehe 2.3.5 Sicherheit), regelmässige Medikamente werden notiert. **Körperliche Vorbelastungen** durch Training oder Wettkämpfe können die Testparameter beeinflussen. Bei Ausdauer- tests kann nicht nur die Abbruchleistung, sondern können auch submaximale physiologische Variablen wie die Herzfrequenz oder die Laktatkonzentration erniedrigt sein ⁴⁰ (siehe Abbildung 2–4, nicht zu verwechseln mit erniedrigten submaximalen Werten nach einer Leistungssteigerung). Auch bei Explosivkraftmessungen oder Tests der anaeroben Kapazität ist die Vorbelastung zu beachten. Bei einer zu hohen Vorbelastung (Wettkampf oder belastende Trainings in den 48 Stunden davor) wird kein Test durchgeführt.

Bei der **Ernährung** sind die Faktoren Gesamtenergieaufnahme, Kohlenhydrate, Proteine, Flüssigkeit, Koffein und Alkohol relevant ⁴¹, dies v.a. wegen deren Einfluss auf die Glykogenspeicher und den Flüssigkeitshaushalt. Sind die Glykogenspeicher durch eine mangelhafte Kohlenhydrataufnahme erniedrigt, äussert sich dies wie bei einer hohen Vorbelastung in erniedrigten Laktat- und Leistungswerten. Im Falle einer Dehydrierung dagegen sind wie bei einem Test bei hoher Umgebungstemperatur die Laktat- und Herzfrequenzwerte erhöht, bei ebenfalls eingeschränkter Leistungsfähigkeit (siehe Abbildung 2–4). Ungewohnt hoher Koffeinkonsum kann sich unterschiedlich auf die Laktat- und Herzfrequenzwerte auswirken und steigert u.U. die Leistungsfähigkeit ⁴². Für die allgemeine **Befindlichkeit und Motivation** können ferner folgende Stressfaktoren relevant sein: Schlaf, kürzliche Reisen oder Höhe- / Hitzeexpositionen. Die Testleiterin dokumentiert die besprochenen Faktoren und berücksichtigt deren Einfluss bei der Testauswertung und Besprechung. Der Einfluss des Menstruationszyklus' bei Athletinnen ist unklar ⁴³.

Bezüglich Standardisierung ist weiter der **Testzeitpunkt** zu beachten: Die Leistungsfähigkeit schwankt im Tagesverlauf mit der Körpertemperatur, Bestwerte sind am späten Nachmittag zu erwarten ⁴⁴. Vor allem bei Langzeitvergleichen wird der Zeitpunkt daher ähnlich gewählt. Absolviert der Athlet mehrere Tests nacheinander, legt die Testleiterin die **Reihenfolge** unter Berücksichtigung der Ermüdung und der jeweiligen Wichtigkeit fest. Im Normalfall finden zuerst Tests der Schnelligkeit oder Kraft statt, gefolgt von Ausdauer- tests ⁴⁵.

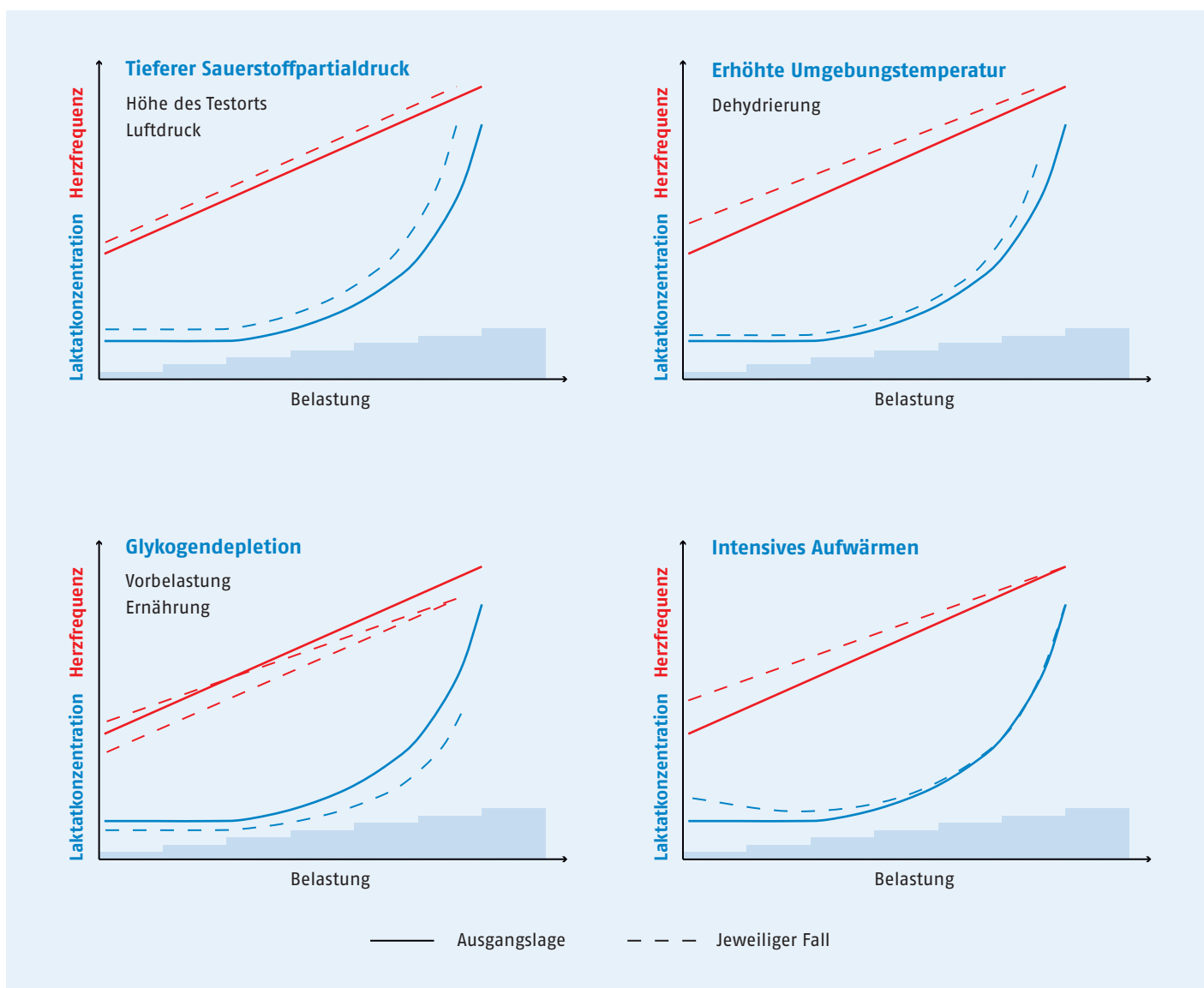


Abbildung 2-4. Ausgewählte Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz- und Laktatleistungskurve.

2.3.4 Testperson: Information und Vorbereitung

Der Athlet wird im Vorfeld über die einzelnen Tests / Untersuchungen informiert, z.B. mit einer kurzen schriftlichen Information über **den Zweck, den Ablauf und mögliche Risiken** der Tests (siehe 6. Anhang)⁴⁵.

Die Testleiterin informiert auch, was zum Test alles mitzubringen ist (Kleidung, Schuhe, Duschutensilien, frühere Testunterlagen usw.). Wie im vorherigen Abschnitt diskutiert, können v.a. die **Vorbelastung und die Ernährung** die Tests beeinflussen. Der Athlet wird darum angewiesen, angemessen erholt an die Tests zu kommen. Die Ernährung wird je nach Testzweck meist normal beibehalten oder in Spezialfällen (z.B. spezifische Fragestellung) standardisiert vorgegeben⁴¹.

Vor den Tests füllt der Athlet eine **Checkliste** aus (siehe 6. Anhang), die Auskunft über relevante Einflussfaktoren gibt, welche bei Bedarf in einem persönlichen Gespräch diskutiert werden. Die Testleiterin

überprüft vor dem Teststart, ob eine ordnungsgemässe Durchführung möglich ist.

Das **Aufwärmen** vor den Leistungstests wird je nach Testzweck standardisiert oder dem Athleten frei überlassen (einen Laktatstufentest darf der Athlet beispielsweise nicht mit bereits erhöhten Laktatwerten beginnen, siehe Abbildung 2-4).

2.3.5 Sicherheit (in Zusammenarbeit mit der SGSM*)

Risiken

Grundsätzlich sind Leistungstests bis zur maximalen Erschöpfung relativ ungefährlich. Allerdings kann eine maximale körperliche Belastung bei Athleten mit einer kardialen Grunderkrankung Herzrhythmusstörungen und Herzinfarkte provozieren, die in Ruhe und bei moderater Belastung asymptomatisch sein können. Die Wahrscheinlichkeit von ernstern Komplikationen liegt aber unter 1:500,

* Schweizerische Gesellschaft für Sportmedizin

für eine unmittelbar nötige Spitaleinweisung bei ca. 1:10000 und für einen plötzlichen Herztod bei ca. 1:20000³³. Diese Zahlen basieren teilweise auf Patientengruppen, die sogar gesundheitlich vorbelastet waren.

Weniger gut dokumentiert, aber ebenfalls relevant, sind kleinere Risiken, die die Entwicklung eines Athleten negativ beeinflussen können:

- Kleine Verletzungen (Schürfwunden, Prellungen, Entzündung durch Blutentnahme)
- Krankheitsübertragungen
- Allergien (Gesichtsmaske, Latexhandschuhe)
- Unpassender Trainingsreiz
- Stress, Schlafmangel durch Anreise
- Psychische Belastung durch Testsituation

Ein Leistungstest ist nur angebracht, wenn der vermeintliche Nutzen die erwähnten Risiken übersteigt.

Leistungstests bergen auch Risiken für die Testleiterin. Neben Verletzungsrisiken durch Geräte steigt die Gefahr von Krankheitsübertragungen (z.B. beim Hantieren mit Blutproben). Zudem muss sich die Testleiterin im Falle von Komplikationen der rechtlichen Risiken bewusst sein, falls sie ihre Sorgfaltspflicht verletzt hat.

Risikomanagement

Jedes Institut führt regelmässig ein einfaches Risikomanagement durch. Die Verantwortung dafür ist in jeder Institution klar geregelt. Folgende Punkte werden dafür bearbeitet (siehe 6. Anhang)³³:

- Identifikation von Risiken:
Wo lauern Gefahren für den Athleten / die Testleiterin?
- Einstufung der Risiken: Was kann passieren?
Wie gross wären die Konsequenzen?
- Vorkehrungen: Was kann unternommen werden, um die Risiken auf ein vertretbares Mass zu reduzieren?
- Dokumentation: Was wurde tatsächlich unternommen?
Funktionieren die Vorkehrungen?

Vorkehrungen Leistungsdiagnostik

Wir empfehlen, in der Leistungsdiagnostik folgende Punkte umzusetzen, um das gesundheitliche Risiko für die Athleten zu minimieren:

- Sicherung des Labors gegen elektrische und mechanische Gefahren
- Ein Notfall- und Evakuationsplan ist gut sichtbar im Labor angebracht.
- Strenge Hygienemassnahmen: Tragen von Handschuhen bei Blutentnahme, Desinfektion von Spiroergometriematerial
- Für Testleiterinnen und Testleiter, die mit kapillären Blutproben in Kontakt kommen, ist eine vorgängige Hepatitis-B-Impfung dringend empfohlen.
- Spezielle Abfallbehälter für Gegenstände mit Verletzungsgefahr (Stechhilfen)
- Lagerung / Entsorgung von biologischem Material ist klar definiert.
- Alle Athleten füllen vor jedem Test mindestens einen **Fragebogen** zu ihrer gesundheitlichen Verfassung aus (z.B. PAR-Q⁴⁶, siehe 6.

Anhang).

- Bei Auffälligkeiten im Fragebogen wird ein Arzt hinzugezogen und evtl. eine medizinische Abklärung vor dem Leistungstest durchgeführt.
- Für alle kompetitiven Sportler, aber v.a. Kaderathleten, wird eine regelmässige sportärztliche Untersuchung inkl. **Ruhe-EKG** empfohlen⁴⁷. Das Ergebnis dieser Untersuchung sollte der Testleiterin bekannt sein.
- **Keine Leistungstests bei:** fieberhaftem Infekt, nicht ausgeheiltem muskuloskeletalem Trauma, Auffälligkeiten im Fragebogen oder EKG ohne erfolgte Abklärung.
- Mind. eine anwesende Person verfügt über eine gültige **Erste-Hilfe- und Defibrillator**-Ausbildung.
- Ein Arzt und Notfallequipment inkl. Defibrillator sind in der Nähe.

2.4 Umgang mit Daten

2.4.1 Erhebung und Sicherung

Der Wert der Leistungsdiagnostik besteht im Erheben von objektiven leistungsrelevanten Kenngrössen. Es ist wichtig, mit diesen Daten korrekt umzugehen.

Die Testleiterin überprüft alle Daten beim Eingeben und Auswerten doppelt. Zusätzlich kontrolliert sie, ob die Messwerte sinnvoll sind. Falls Werte fehlen oder korrigiert werden, wird dies inkl. der verwendeten Methode deklariert (z.B. lineare Interpolation einer fehlerhaften Herzfrequenzaufzeichnung).

Neben den eigentlichen Messwerten sind auch Daten zur Qualitätssicherung, zu den Auswertungen oder weiterführende Analysen von inhaltlichem Nutzen. Jedes Institut legt fest, wie und wo all diese Daten abgespeichert oder physisch abgelegt werden. Für elektronische Daten sind unbedingt Sicherungssysteme zu installieren. Das Bundesgesetz über den **Datenschutz** vom 19. Juni 1992 (DSG; SR 235.1) regelt den Umgang mit Personendaten. Leistungstestdaten dürfen somit nur für den mit dem Athleten abgesprochenen Zweck verwendet werden. Die Verwendung der Daten für die Forschung oder die Weitergabe der Daten an Dritte sind ohne Zustimmung des Athleten nicht zulässig. Das Institut muss dem Athleten jederzeit Auskunft über seine Daten und deren Nutzung geben können. Weiter kann der Athlet jederzeit die Berichtigung oder Vernichtung seiner Daten verlangen, sofern keine gesetzlichen Aufbewahrungspflichten oder dergleichen entgegenstehen. Personendaten müssen schliesslich durch angemessene technische und organisatorische Massnahmen (z.B. passwortgeschützt, abgeschlossenes Archiv) gegen unbefugten Zugriff geschützt werden.

2.4.2 Analyse

Verarbeitung

Je nach Variable müssen Rohdaten zuerst verarbeitet werden. Oft speichert ein Messgerät diese mit einer höheren Frequenz, als für die Auswertung sinnvoll ist. Die Testleiterin glättet das Signal z.B. indem sie Mittelwerte gezielter Bereiche berechnet, um die biologische Variabilität herauszufiltern (z.B. Herzfrequenzwerte typischerweise über 30 bis 60 s). Manchmal transformiert man Rohdaten zusätzlich: So können für die Analyse u.a. Rangfolgen oder Prozentwerte berechnet werden. Solche Verarbeitungsschritte werden auf der Auswertung nachvollziehbar beschrieben.

Skalierung

Dem korrekten Skalieren von Testergebnissen wird häufig zu wenig Beachtung geschenkt. In der Leistungsdiagnostik wird primär die Leistungsfähigkeit analysiert (z.B. mechanisch als Leistung oder physiologisch als maximale Sauerstoffaufnahme). Diese muss aber immer in Bezug zum vorherrschenden Widerstandsparameter gesetzt werden⁴⁸. Oft ist dies das eigene Körpergewicht. Beim vertikalen Sprung, Laufen oder Radfahren in einer Steigung verursacht das Körpergewicht den Hauptteil des zu überwindenden Wider-

standes, weshalb z.B. die mechanische Sprung- oder Tretleistung in W / kg und die maximale Sauerstoffaufnahme oft in der Einheit $mL / (min \cdot kg)$ angegeben wird. Es wurde aber in zahlreichen Studien gezeigt, dass diese Skalierung schwere Athleten unterschätzt⁴⁹⁻⁵⁴. Daher wird diskutiert, das Körpergewicht nicht mit dem Exponenten 1 zu gewichten, sondern je nach Sportart und Testvariable mit Werten zwischen 0.2 und 0.9 (z.B. explosive Sprungleistung in $W / kg^{0.67}$ ^{50, 52, 55}, Maximalkraft in $N / kg^{0.49}$ ⁵⁵).

Falls der Luftwiderstand der dominante Widerstand ist, wird die Leistungsfähigkeit auf die *drag area* c_dA skaliert^{56*} (Beispielsweise für einen Bahnradsfahrer als W / m^2).

Geschwindigkeitsparameter (z.B. Lauf-, Sprint- oder Wurf- / Schlaggeschwindigkeit) oder beispielsweise die vertikale Sprunghöhe müssen hingegen nicht skaliert werden⁴⁹.

Wichtig ist, dass sich die Testleiterin v.a. bei der Interpretation mechanischer Leistungsparameter für eine sinnvolle Skalierungsmethode entscheidet und diese dem Athleten erklärt.

Weil sich die vorherrschenden Widerstandsparameter sogar während einem Wettkampf verändern können (siehe Abbildung 2–5), ist die Diskussion um die korrekte Skalierung von Leistungsparametern eine der herausforderndsten in der modernen Leistungsdiagnostik.

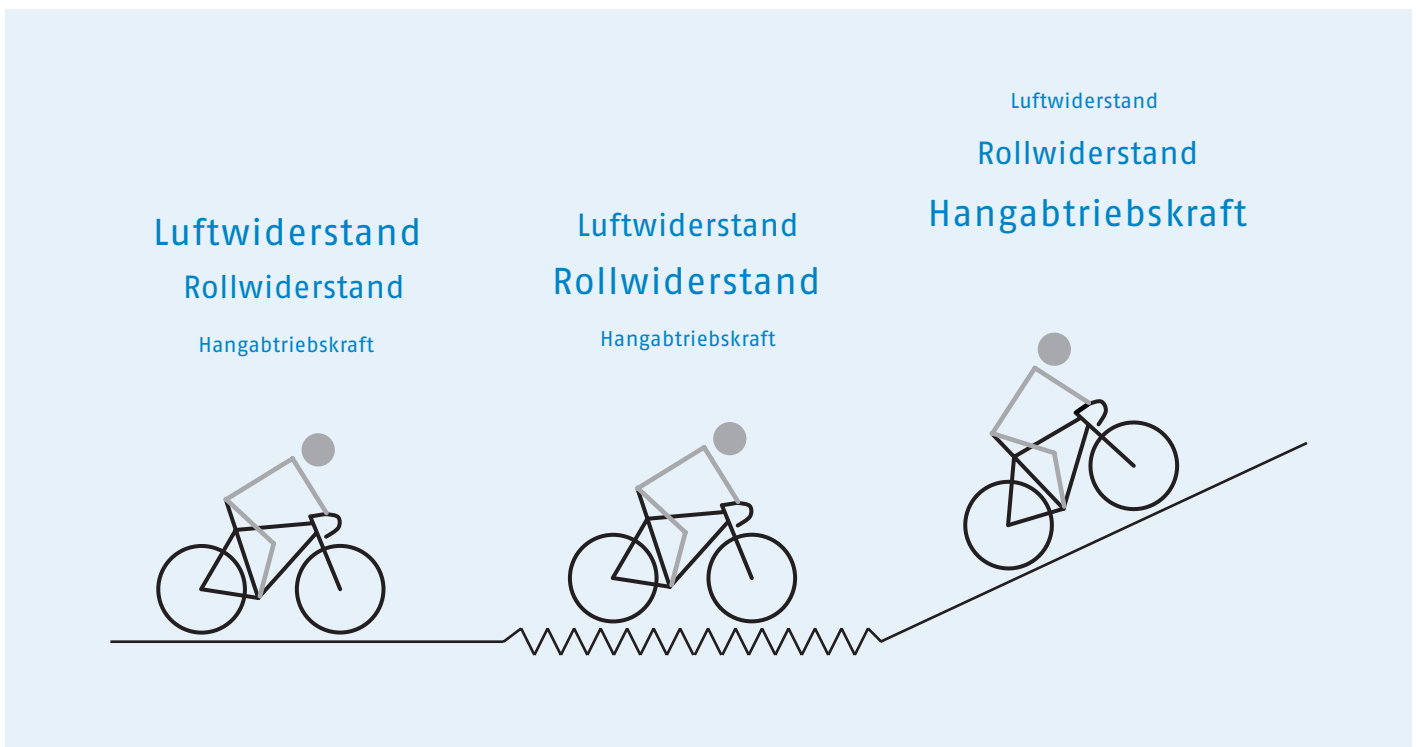


Abbildung 2–5. Wechselnde Widerstandsparameter für einen Radfahrer.

* Näherungsformel für einen Radfahrer: $0.707 \cdot (0.18964 \cdot \text{Körpergröße (m)} + 0.00215 \cdot \text{Körpergewicht (kg)} - 0.07861) m^2$, Australian Institute of Sport

2.4.3 Auswertung

Die Auswertung ist immer auf das jeweilige Ziel ausgerichtet (siehe 1. Leistungsdiagnostik im Regelkreis der Trainingssteuerung). Geht es darum, einen Athleten einzustufen, seine Leistungsentwicklung zu beurteilen und ihn mit seinen Teamkollegen zu vergleichen oder braucht er Trainingsbereiche für den Aufbau nach einer Verletzung? Auswertungen von Leistungstests fallen meist in die folgenden Kategorien:

- Bestimmen von **Trainingsintensitätsbereichen** / -vorgaben
- Einen Wert in **Kategorien** einteilen (z.B. Elite, Amateur, Hobby)
- Einen Wert mit einer **Referenzgrösse** vergleichen (Prozent vom Best- / Zielwert; Prozent vom Kadermittelwert)
- Die **Ausprägung** unterschiedlicher Werte vergleichen (z.B. mittels Quotienten: Ausdauer / Kraft, linkes Bein / rechtes Bein; Stärken-Schwächen-Profile usw.)
- Einen Wert im **Verlauf** analysieren (z.B. Leistungsniveau über eine Saison oder mehrere Jahre; mittlere Verbesserung einer Mannschaft nach einer Trainingsphase)

Athleten müssen die Resultate einer Leistungsdiagnostik einordnen können. Eine reine Grössenangabe ohne praktischen Bezug ist wenig hilfreich. Im Idealfall werden Unterschiede (z.B. im Längsverlauf) bezüglich Grössenordnung charakterisiert. Spezifische Auswertungshilfen sind bei den einzelnen Testverfahren angegeben.

Messfehler

Um Testdaten korrekt zu interpretieren, wird der Messfehler des verwendeten Verfahrens berücksichtigt. Für die Leistungsdiagnostik im Spitzensport stellen die Messfehler physiologischer Testverfahren eine Herausforderung dar. Sind diese ähnlich gross oder grösser als die zu untersuchenden Unterschiede, verliert eine Messung ihre diagnostische Funktion (v.a. für individuelle Aussagen).

Der Messfehler eines Verfahrens lässt sich am anschaulichsten mit dem «**typischen Messfehler**» quantifizieren⁵⁷. Der typische Messfehler entspricht der Standardabweichung eines Messverfahrens. Ein typischer Messfehler von beispielsweise 2.5 s (oder 3 % mit Bezug zu einem Mittelwert von 83 s) bedeutet, dass ca. zwei Drittel aller Messungen weniger als 2.5 s oder 3 % vom richtigen Wert abweichen. Der Fehler ist dabei zufällig und setzt sich aus einer Kombination von **technischer und biologischer Variabilität** zusammen. Der Messfehler sinkt, wenn anstatt einzelner Messwerte Mittelwerte von Mehrfachmessungen verwendet werden (bei n Messungen um den Faktor $1/\sqrt{n}$ ⁵⁷). Mit einer vierfachen Messung wird der Fehler also halbiert ($\sqrt{4} = 2$).

Die typischen Messfehler der meisten leistungsdiagnostischen Variablen ($\dot{V}O_2\text{max}$, anaerobe Schwelle, Abbruchleistung, 1 RM, Maximalleistung usw.) liegen im Bereich von 1 bis 3 %^{20,58}, wobei physiologische Variablen (Sauerstoffaufnahme, Laktatkonzentration) tendenziell weniger reliabel sind als mechanische (wie z.B. Kraft, Leistung oder Geschwindigkeit). Im Vergleich dazu liegt die typische Variation bei Wettkampfleistungen meist zwischen 0.5 und 1.5 %⁵⁹. Diese Zahlen verdeutlichen die Problematik von Messfehlern. Differenzen in der Leistungsdiagnostik unter 1–3 % (z.B. aktueller Test gegen Vorjahrestest) können leicht zufällig entstehen. Erst bei Unterschieden grösser als der Messfehler* sind Aussagen über Verbesserungen oder Verschlechterungen zulässig. Gleichzeitig sind aber schon kleinere Leistungsunterschiede wettkampfrelevant, welche sich den messtechnischen Möglichkeiten entziehen.

Darstellung und Besprechung

Die Besprechung der Resultate ist für den Athleten und seinen Trainer der wichtigste Teil der Leistungsdiagnostik. Der zeitliche Abstand zwischen Test und Besprechung wird so kurz wie möglich gehalten (am besten wenige Stunden, höchstens ein paar Tage). Im Vorfeld klärt die Testleiterin, wer bei der Besprechung anwesend ist und anschliessend die schriftliche Auswertung erhält.

Auf der **schriftlichen Auswertung** werden alle Angaben zur Institution, zur Testdurchführung, zu den Rahmenbedingungen, zu den Geräten, zur Datenanalyse und zu den praktischen Konsequenzen vermerkt (für eine Beispielauswertung siehe 6. Anhang). Mit z.B. eigenen Excel-Datenbanken oder -Tabellen lässt sich jede Idee realisieren bei gleichzeitig relativ simpler Bedienung. Als Alternative gibt es effiziente kommerzielle Softwarelösungen, die den eigenen Gestaltungsspielraum aber stark einschränken.

Für die Darstellung gelten ähnliche Regeln wie für wissenschaftliche Arbeiten: Zu jeder Variable gehört eine Masseinheit, alle Abbildungen werden korrekt beschriftet (Achsen, Legende), die Kommastellen sind an die Messgenauigkeit angepasst usw. Die Auswertung wird übersichtlich gestaltet: Rohdaten können tabellarisch aufgelistet und zusätzlich als Abbildung verständlich dargestellt werden. Wird ein Wert in einem zeitlichen Verlauf dargestellt, eignen sich Liniendiagramme, bei Vergleichen zwischen Gruppen oder Variablen Säulendiagramme. Auch Abbildungen enthalten wenn immer möglich Bezugs- / Referenzwerte.

Die Auswertung wird für Athleten und Trainer geschrieben. Fachjargon oder Komplexität sind fehl am Platz. Ein persönlicher Kommentar ist immer erwünscht, am besten mit einer verständlichen, praxisnahen Handlungsanleitung für den Athleten.

Testbesprechungen sind keine leichte Aufgabe. Die Testleiterin, der Athlet und sein Trainer analysieren gemeinsam die aktuelle Situation und besprechen das weitere Vorgehen. Für den Athleten können die Ergebnisse von enormer Wichtigkeit sein. Die Testleiterin muss erläutern, es gehe darum, ihn mit den Tests zu unterstützen und nicht über ihn zu richten. Sie tritt mit einer grundsätzlich positiven, ermunternden und der Situation angepassten Haltung auf.

*Für 68 % Sicherheit $\sqrt{2} \cdot \text{typischer Messfehler}$, für 95 % Sicherheit $2 \cdot \sqrt{2} \cdot \text{typischer Messfehler}$

2.5 Anthropometrie

In vielen Sportarten besteht ein enger Zusammenhang zwischen sportlicher Leistung und spezifischen körperlichen Voraussetzungen. Diese variieren aber nach Sportart. Aufgrund dieser Relationen werden normalerweise die körperlichen Voraussetzungen bzw. Veränderungen von Athleten während des Wachstums, im Trainingsprozess oder während Ernährungsinterventionen erfasst²⁰.

Trotz der Wichtigkeit von anthropometrischen Parametern wird deren Erhebung oft mit Ängsten und Essstörungen in Zusammenhang gebracht, weshalb anthropometrische Messungen mit jungen Athleten nur in Kombination mit entsprechenden Informationen gemacht werden sollen.

Einfache anthropometrische Messungen umfassen eine genaue Bestimmung des Körpergewichts und der Körpergrösse. Zur Erhebung der Körperzusammensetzung sind eine Vielzahl von Techniken verfügbar: anthropometrische Methoden (z.B. Hautfaltenmessung), Bio-Impedanz Messungen, DXA (Dual-Röntgen-Absorptiometrie), CT (Computertomographie), Hydrodensitometrie und viele andere.

Bei allen Messungen soll dem physischen und emotionalen Wohlbefinden des Athleten grosse Beachtung geschenkt werden. Alle Messungen werden deshalb von der Testleiterin genau erklärt, damit der Athlet genau weiss, welche Messungen gemacht werden, wofür die Daten gebraucht werden und auch wie er berührt wird bzw. welche Kleidung er für die Messungen tragen soll. Wenn möglich sind bei anthropometrischen Messungen Tester und Athlet vom gleichen Geschlecht. Die Privatsphäre des Athleten sollte zu jedem Zeitpunkt sichergestellt sein.

Für alle anthropometrischen Messungen ist die Standardisierung der Testbedingungen wichtig. Die Tageszeit (Messzeitpunkt) beeinflusst z.B. die Körpergrösse als auch das Gewicht signifikant. Für Körperzusammensetzungsmessungen sind Voraussetzungen wie Nüchternheit, keine exzessive Belastung in den letzten 12–24 Stunden und Standardisierung des Hydratationsstatus wichtig. So kann z.B. eine trainingsbedingte Glykogen-Superkompensation zu veränderter Kompressibilität von Hautfalten (Hautfaltenmethode) führen, die elektrische Leitfähigkeit des Gewebes (Impedanz-Messungen) verändern oder direkt als zusätzliche fettfreie Masse gemessen werden (DXA)⁶⁰.

2.5.1 Messung der Körpergrösse

Die Körpergrösse wird im Labor mit einem Stadiometer gemessen. Das Messen der Körpergrösse mit Messbändern o.ä. ist im Labor eine zu ungenaue und zu wenig standardisierbare Variante. Das Stadiometer wird an der Wand angebracht und verfügt über einen Messbügel, der rechtwinklig verschoben werden kann. Der Boden sollte hart und eben sein. Das Stadiometer sollte Messungen zwischen 60–210 cm und auf 0.1 cm genau zulassen.

Die Messung der Körpergrösse erfolgt barfuss oder in Socken. Der Athlet wird angewiesen, sich mit dem Rücken gegen die Wand hinzustellen. Die Füsse müssen zusammengestellt werden. Die Füße, das Gesäss und der obere Teil des Rückens berühren während der Messung das Stadiometer. Der Athlet wird angewiesen, den Kopf so zu halten, dass seine Ohr-Augen-Achse (unterer Rand der Augenhöhle zum höchsten Punkt des äusseren knöchernen Gehörgangs, die sogenannte Deutsche Horizontale bzw. Frankfurter Horizontale) waagrecht ist (siehe Abbildung 2–6). Der Athlet wird angeleitet, tief einzuatmen und die Luft anzuhalten. Der Messbügel wird danach von oben sanft nach unten auf den Scheitel des Schädels geschoben. Die Haare werden so fest als möglich zusammengedrückt⁶¹.

2.5.2 Messung des Körpergewichts

Das Körpergewicht wird mit einer Balken-, einer Feder- oder einer Digitalwaage gemessen. Unabhängig von der Art der Waage muss diese zur Gewährleistung von genauen Gewichtsmessungen regelmässig (einmal pro Jahr) mit Kalibrationsgewichten kalibriert werden. Der Athlet wird angewiesen, sich mit minimaler Kleidung (im Normalfall in Unterwäsche) auf die Waage zu stellen und mit dem Gewicht auf beiden Füßen verteilt still zu stehen (siehe Abbildung 2–7). Das Gewicht wird auf 0.1 kg genau erhoben. Das Körpergewicht zeigt deutliche Tagesverlaufsschwankungen; die stabilsten Werte im Längsverlauf werden am Morgen nach 12 Stunden ohne Essen und nach der Morgentoilette gemessen⁶¹.

2.5.3 Messung der Körperzusammensetzung

Für die Messung der Körperzusammensetzung gibt es eine grosse Anzahl von verschiedenen Verfahren. Die zu wählende Methode hängt von verschiedenen Faktoren ab: Geräteverfügbarkeit, Feld- vs. Labormessungen, zu messende Parameter usw. Als Referenzmethode für alle anderen Methoden wird heute DXA anerkannt⁶² und v.a. für Studien und Messungen empfohlen, bei denen die Körperzusammensetzung die Zielvariable darstellt. Für Athleten hat die Messung der Körperzusammensetzung mit DXA mehrere Vorteile: Die Messung braucht nicht viel Zeit (rund 5 Minuten), sie ist sehr genau (mit einem Messfehler von weniger als 1.0 kg für die Fettmasse, die fettfreie Masse und die Gesamtmasse)²⁰ und wird durch den Hydratationsstatus nur minimal beeinflusst⁶⁰. Die Röntgendosis (ca. 0.5 µSv oder in etwa 1/500 der jährlichen Hintergrundstrahlung) ist für eine Messung sehr gering, was es ermöglicht, die Technik auch für Längsschnitt-Messungen zu verwenden. Trotzdem werden nicht mehr als vier Messungen im Jahr empfohlen⁶⁰. Steht kein DXA-Gerät zur Verfügung oder soll die Körperzusammensetzung im Feld erhoben werden, dann kommen bei Messungen mit Athleten v.a. Hautfaltenmessungen bzw. Impedanzmessungen zum Einsatz. Bei der Hautfaltenmessung werden die Anteile des Körperdepotfetts aufgrund einer metrischen Erfassung der Hautfaltendicke mit einem Kaliper an genau vordefinierten Stellen des Körpers bestimmt (siehe Abbildung 2–8).

Mit der Hautfaltensumme kann mit Hilfe von Regressionsformeln auf das gesamte Körperdepotfett geschlossen werden. Hautfaltenmessungen und das damit abgeschätzte Körperdepotfett sind extrem von der Erfahrung der Testleiterin, den gemessenen Stellen und den im Anschluss verwendeten Formeln zur Berechnung des Körperfetts abhängig. Der Messfehler von Hautfaltenmessungen liegt im Bereich von 3–5%, was für genaue Längsschnittuntersuchungen einen zu grossen Fehler darstellt⁶⁰. Im Vergleich mit DXA-Messungen werden mit Hautfaltenmessungen tiefere prozentuale Körperfettwerte gemessen. Bei Impedanzmessungen wird die elektrische Leitfähigkeit des Organismus bestimmt. Das magere Muskelgewebe hat eine grössere Leitfähigkeit als das Fettgewebe und so kann mittels eines geringen Stromflusses und des dabei gemessenen Widerstandes auf die im Organismus vorhandene Fett- und Magermasse geschlossen werden. Aufgrund der Verbesserung der Leitfähigkeit mit vermehrtem Wassergehalt des Gewebes ist die Impedanzmessung

bei Athleten mit Vorsicht anzuwenden. Veränderungen des Hydrationsstatus aufgrund von belastungsabhängiger Hypohydratation sind sehr häufig, weshalb für Impedanzmessungen mit Athleten folgende Empfehlungen gemacht werden: 8 Stunden nüchtern, am besten am Morgen vor dem Frühstück, in einem gut hydrierten Zustand²⁰. Wie bei der Hautfaltenmessung ist die Umrechnung von den rohen Impedanzwerten in eine fettfreie Masse bzw. Fettmasse stark abhängig von den hinterlegten Formeln. Diese basieren oft auf Messungen mit untrainierten Personen, und eine Anwendung im Kontext mit Athleten ist nicht angebracht⁶³. Impedanzmessungen führen im Mittel zu höheren prozentualen Körperfettwerten als Hautfaltenmessungen. Wie bei den Hautfaltenmessungen liegt der Messfehler im Bereich von 3–4%, was bei einem wahren Körperfettanteil von 10% zu Resultaten zwischen 6–14% führen kann. Dies ist im Athletenkontext zu ungenau.



Abbildung 2-6. Messung der Körpergrösse mit einem Stadiometer (oben). Waagrechte Kopfhaltung beurteilt mit der Frankfurter Horizontalen (unten).



Abbildung 2-7. Messung des Körpergewichts mit minimaler Kleidung.



Abbildung 2-8. Messung der Körperzusammensetzung mit einem DXA-Gerät (oben) und der Hautfaltenmessung (unten).

2.6 Referenzen

1. Egana, M., Smith, S. & Green, S. Revisiting the effect of posture on high-intensity constant-load cycling performance in men and women. *Eur J Appl Physiol* 99, 495–501 (2007).
2. Grappe, F., Candau, R., Busso, T. & Rouillon, J.D. Effect of cycling position on ventilatory and metabolic variables. *Int J Sports Med* 19, 336–341 (1998).
3. Hansen, E.A., Jorgensen, L.V., Jensen, K., Fregly, B.J. & Sjogaard, G. Crank inertial load affects freely chosen pedal rate during cycling. *J Biomech* 35, 277–285 (2002).
4. Bogdanis, G., Papaspyrou, A., Lakomy, H. & Nevill, M. Effects of inertia correction and resistive load on fatigue during repeated sprints on a friction-loaded cycle ergometer. *J Sports Sci* 26, 1437–1445 (2008).
5. Maxwell, B.F., et al. Dynamic calibration of mechanically, air- and electromagnetically braked cycle ergometers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 78, 346–352 (1998).
6. Paton, C.D. & Hopkins, W.G. Ergometer error and biological variation in power output in a performance test with three cycle ergometers. *Int J Sports Med* 27, 444–447 (2006).
7. Woods, G.F., Day, L., Withers, R.T., Ilsley, A.H. & Maxwell, B.F. The dynamic calibration of cycle ergometers. *Int J Sports Med* 15, 168–171 (1994).
8. Gardner, A.S., et al. Accuracy of SRM and power tap power monitoring systems for bicycling. *Med Sci Sports Exerc* 36, 1252–1258 (2004).
9. Maier, T., Steiner, T., Trösch, S., Müller, B. & Wehrli, J. Reliability of power meter calibration by mathematical modelling of treadmill cycling. *Journal of Science and Cycling* 3, 28 (2014).
10. Lim, A.C., et al. Measuring changes in aerodynamic / rolling resistances by cycle-mounted power meters. *Med Sci Sports Exerc* 43, 853–860 (2011).
11. Pinot, J. & Grappe, F. The record power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med* 32, 839–844 (2011).
12. van Ingen Schenau, G.J. Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. *Med Sci Sports Exerc* 12, 257–261 (1980).
13. Jones, A.M. & Doust, J.H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J Sports Sci* 14, 321–327 (1996).
14. Henchoz, Y., Crivelli, G., Borrani, F. & Millet, G.P. A new method to measure rolling resistance in treadmill cycling. *J Sports Sci* 28, 1043–1046 (2010).
15. Cafarelli, E. Peripheral contributions to the perception of effort. *Med Sci Sports Exerc* 14, 382–389 (1982).
16. Hampson, D.B., St Clair Gibson, A., Lambert, M.I. & Noakes, T.D. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. *Sports Med* 31, 935–952 (2001).
17. Borg, G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2, 92–98 (1970).
18. Borg, G., Ljunggren, G. & Ceci, R. The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 54, 343–349 (1985).
19. Laukkanen, R.M. & Virtanen, P.K. Heart rate monitors: state of the art. *J Sports Sci* 16 Suppl, S3–7 (1998).
20. Tanner, R.K., Gore, C.J. & Australian Institute of Sport. Physiological tests for elite athletes, (Human Kinetics, Champaign, IL, 2013).
21. Brooks, G.A. Lactate: link between glycolytic and oxidative metabolism. *Sports Med* 37, 341–343 (2007).
22. Foxdal, P., et al. Lactate concentration differences in plasma, whole blood, capillary finger blood and erythrocytes during submaximal graded exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61, 218–222 (1990).
23. Feliu, J., et al. Differences between lactate concentration of samples from ear lobe and the finger tip. *J Physiol Biochem* 55, 333–339 (1999).
24. Bonaventura, J.M., et al. Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. *J Sports Sci Med* 14, 203–214 (2015).
25. Buckley, J.D., Bourdon, P.C. & Woolford, S.M. Effect of measuring blood lactate concentrations using different automated lactate analysers on blood lactate transition thresholds. *J Sci Med Sport* 6, 408–421 (2003).
26. Medbo, J.I., Mamen, A., Holt Olsen, O. & Evertsén, F. Examination of four different instruments for measuring blood lactate concentration. *Scand J Clin Lab Invest* 60, 367–380 (2000).
27. Roecker, K., Prettin, S. & Söricht, S. Gas exchange measurements with high temporal resolution: the breath-by-breath approach. *Int J Sports Med* 26 Suppl 1, S11–18 (2005).
28. Physicians, A.T.S.A.C.o.C. ATS / ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 167, 211–277 (2003).
29. Shephard, R.J. Tests of maximum oxygen intake. A critical review. *Sports Med* 1, 99–124 (1984).
30. Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Hahn, A.G. & Gore, C.J. Improved running economy and increased hemoglobin mass in elite runners after extended moderate altitude exposure. *J Sci Med Sport* 12, 67–72 (2009).
31. Wehrli, J.P. & Hallen, J. Linear decrease in $\dot{V}O_2\text{max}$ and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 96, 404–412 (2006).
32. Revill, S.M. & Morgan, M.D. Biological quality control for exercise testing. *Thorax* 55, 63–66 (2000).
33. Myers, J., et al. Recommendations for clinical exercise laboratories: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 119, 3144–3161 (2009).

34. de Barros, C.L., et al. Maximal lactate steady state is altered in the heat. *Int J Sports Med* 32, 749–753 (2011).
35. Galloway, S.D. & Maughan, R.J. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc* 29, 1240–1249 (1997).
36. Fink, W.J., Costill, D.L. & Van Handel, P.J. Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 34, 183–190 (1975).
37. Friedmann, B., Frese, F., Menold, E. & Bartsch, P. Individual variation in the reduction of heart rate and performance at lactate thresholds in acute normobaric hypoxia. *Int J Sports Med* 26, 531–536 (2005).
38. Halperin, I., Pyne, D.B. & Martin, D.T. Threats to Internal Validity in Exercise Science: A Review of Overlooked Confounding Variables. *Int J Sports Physiol Perform* (2015).
39. Winchester, R., et al. Observer effects on the rating of perceived exertion and affect during exercise in recreationally active males. *Percept Mot Skills* 115, 213–227 (2012).
40. Hedelin, R., Kentta, G., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henriksson-Larsen, K. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc* 32, 1480–1484 (2000).
41. Jeacocke, N.A. & Burke, L.M. Methods to standardize dietary intake before performance testing. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 20, 87–103 (2010).
42. Graham, T.E. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med* 31, 785–807 (2001).
43. Oosthuysen, T. & Bosch, A.N. The effect of the menstrual cycle on exercise metabolism: implications for exercise performance in eumenorrhoeic women. *Sports Med* 40, 207–227 (2010).
44. Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B. & Reilly, T. Circadian rhythms in sports performance—an update. *Chronobiol Int* 22, 21–44 (2005).
45. American College of Sports Medicine., Thompson, W.R., Gordon, N.F. & Pescatello, L.S. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, (Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2010).
46. Thomas, S., Reading, J. & Shephard, R.J. Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci* 17, 338–345 (1992).
47. Villiger, B., Hintermann, M., Goerre, S. & Schmied, C. Der plötzliche Herztod beim jungen Wettkampfsportler: Empfehlungen für sinnvolle und effektive Vorsorgeuntersuchungen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie* 58, 99–100 (2010).
48. Nevill, A.M. The need to scale for differences in body size and mass: an explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent. *J Appl Physiol* (1985) 77, 2870–2873 (1994).
49. Markovic, G. & Jaric, S. Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests. *Eur J Appl Physiol* 92, 139–149 (2004).
50. Nedeljkovic, A., Mirkov, D.M., Bozic, P. & Jaric, S. Tests of muscle power output: the role of body size. *Int J Sports Med* 30, 100–106 (2009).
51. Carlsson, T., Carlsson, M., Hammarstrom, D., Malm, C. & Tonkonogi, M. Scaling of upper-body power output to predict time-trial roller skiing performance. *J Sports Sci* 31, 582–588 (2013).
52. Crewther, B.T., Gill, N., Weatherby, R.P. & Lowe, T. A comparison of ratio and allometric scaling methods for normalizing power and strength in elite rugby union players. *J Sports Sci* 27, 1575–1580 (2009).
53. Nevill, A.M., Beech, C., Holder, R.L. & Wyon, M. Scaling concept II rowing ergometer performance for differences in body mass to better reflect rowing in water. *Scand J Med Sci Sports* 20, 122–127 (2010).
54. Markovic, G., Vucetic, V. & Nevill, A.M. Scaling behaviour of $\dot{V}O_2$ in athletes and untrained individuals. *Ann Hum Biol* 34, 315–328 (2007).
55. Crewther, B.T., McGuigan, M.R. & Gill, N.D. The ratio and allometric scaling of speed, power, and strength in elite male rugby union players. *J Strength Cond Res* 25, 1968–1975 (2011).
56. Olds, T.S., et al. Modeling road-cycling performance. *J Appl Physiol* (1985) 78, 1596–1611 (1995).
57. Hopkins, W.G. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30, 1–15 (2000).
58. Hopkins, W.G., Schabert, E.J. & Hawley, J.A. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med* 31, 211–234 (2001).
59. Maltcata, R.M. & Hopkins, W.G. Variability of competitive performance of elite athletes: a systematic review. *Sports Med* 44, 1763–1774 (2014).
60. Ackland, T.R., et al. Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med* 42, 227–249 (2012).
61. Tanner, R.K., Gore, C.J. & Australian Institute of Sport. Physiological tests for elite athletes, (Human Kinetics, Champaign, IL, 2000).
62. Withers, R.T., Laforgia, J. & Heymsfield, S.B. Critical appraisal of the estimation of body composition via two-, three-, and four-compartment models. *Am J Hum Biol* 11, 175–185 (1999).
63. Kyle, U.G., et al. Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 23, 1226–1243 (2004).

03



Messverfahren Ausdauer

Messverfahren Ausdauer

In diesem Kapitel werden die drei gängigsten Messverfahren zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit diskutiert. Diese unterscheiden sich einerseits darin, ob der Athletin die Belastung vorgegeben wird oder ob sie diese selber steuern kann. Andererseits unterscheiden sich die Verfahren in den physiologischen Parametern, die erhoben und für die Auswertung beurteilt werden.

Beim Laktatstufentest und $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test wird die physiologische Reaktion (Beanspruchung) auf eine vorgegebene ansteigende Belastung untersucht (als Entwicklung der Laktatkonzentration bzw. der Sauerstoffaufnahme). Beim Kapazitätstest hingegen kann die Athletin die Belastung teilweise selber wählen, und die erbrachte Leistung ist die Kenngrösse bei der Auswertung.

Die drei Tests haben spezifische Vor- und Nachteile. Je nach Bedarf können die Tests einzeln oder in Kombination durchgeführt werden.

3.1 Laktatstufentest

3.1.1 Einleitung

Schon in den 1950er-Jahren wurde erkannt, dass die Messung der Blutlaktatkonzentration dabei helfen kann, Aussagen über den Fitnesszustand von Patientinnen und Athletinnen zu machen¹. Die am weitesten verbreitete Methode zur Erhebung und Beurteilung der Laktatkonzentration bei verschiedenen Belastungsintensitäten ist ein **Laktatstufentest**. Dabei wird der Athletin eine Belastung vorgegeben und diese regelmässig (stufenförmig) gesteigert. Die Athletin absolviert so viele Belastungsstufen wie möglich und durchläuft so ihr gesamtes Leistungsspektrum (maximale Ausbelastung am Testende erforderlich). In jeder Stufe werden die Laktatkonzentration, die Herzfrequenz sowie das subjektive Belastungsempfinden erhoben. Somit werden mit einem Stufentest die physiologischen Reaktionen auf jedes Intensitätslevel quantifiziert.

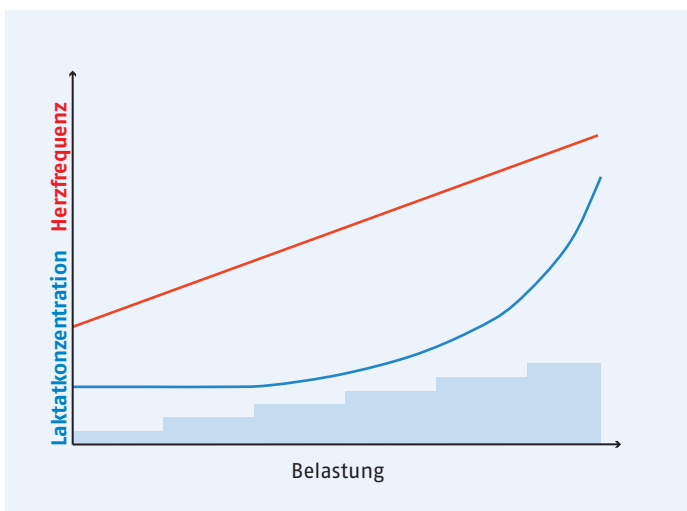


Abbildung 3–1. Herzfrequenz und Laktatkonzentration beim Stufentest.

Durch die regelmässige Belastungssteigerung steigt die Blutlaktatkonzentration exponentiell und die Herzfrequenz linear mit der Zeit an (siehe Abbildung 3–1). Die Laktat-Leistungs-Kurve bildet die Grundlage für die Beurteilung eines Laktatstufentests². Anhand des Kurvenverlaufs werden typischerweise zwei **Laktatschwellen** (aerobe und anaerobe Schwelle) bestimmt und die **Trainingsbereiche** eingeteilt (siehe 3.1.4 Auswertung und Interpretation). Die beiden Schwellen und vor allem die Abbruchleistung (oder -geschwindigkeit) des Stufentests zeigen einen engen Zusammenhang mit der Wettkampfleistung in der getesteten Sportart^{2–10}. So kann neben den Trainingsbereichen auch die wettkampfspezifische Leistungsfähigkeit und deren Verlauf anhand der Stufentestresultate abgeschätzt werden.

3.1.2 Ziele

- Die aktuellen Trainingsbereiche anhand der Laktatschwellen einteilen
- Die (Ausdauer-)Leistungsfähigkeit beurteilen und verfolgen

3.1.3 Methodik

Wie jeder Leistungstest, wird ein Stufentest möglichst sportartspezifisch durchgeführt. Der Stufentest Lauf wird auf einem motorisierten Laufband durchgeführt, der Stufentest Rad auf einem Fahrradergometer (siehe 2.2 Messgeräte und -methoden). Natürlich können auch weitere Ergometer (z.B. Ruder- oder Skiergometer) verwendet werden, solange eine stufenförmige Steuerung der Intensität möglich ist. Exemplarisch diskutieren wir im Folgenden den Lauf- und Radstufentest. Die Überlegungen zu Testmethodik und Auswertung können aber auf andere Testformen übertragen werden.

Die Wahl des Testprotokolls beeinflusst direkt die aus dem Stufentest resultierende Laktatkurve und muss deshalb wohlüberlegt sein. Die kritischen Einflussgrössen werden nachfolgend besprochen.

Datenerhebung

- Die **Laktatkonzentration** wird unmittelbar nach dem Ende jeder Stufe erhoben (Lauftest: in der zur Verfügung stehenden Pause. Radtest: gleich zu Beginn der nächsten Stufe). Der Abbruchwert wird unmittelbar (max. 15–30 s) nach Testabbruch erhoben.
- Der **Vorbelastungslaktatwert** wird vor dem Testbeginn (nach dem Aufwärmen) erhoben. Der gemessene Wert sollte nicht durch intensive Vorbelastung erhöht sein.
- Die **Herzfrequenz** wird während des gesamten Tests aufgezeichnet. Für jede Stufe wird der Mittelwert der Herzfrequenz über die letzten 30 s ermittelt.
- Das **subjektive Belastungsempfinden** wird 15 s vor Stufenende erhoben.

Stufendauer

Die Laktatkonzentration im Blut passt sich nicht unmittelbar einer höheren Belastung an. Es dauert 5–8 min^{3,11,12}, um bei einer konstanten Belastung unter der anaeroben Schwelle einen Laktat-Steady-State (gleich bleibender Laktatwert) zu erreichen. Bestimmt man die Laktatkonzentration vorher (kürzere Stufendauer), wird der Wert für die entsprechende Belastung unterschätzt. Lange Stufen (> 5 min) ergeben daher für jede Belastung repräsentativere Laktatwerte¹³. Kürzere Stufen dagegen führen zu einer Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungs-Kurve (siehe Abbildung 3–2) und erlauben die Beurteilung eines grösseren Leistungsspektrums¹³. Dazu kommt, dass bei kürzerer Stufendauer auch die Gesamtdauer des Tests abnimmt. Es gilt also, einen sinnvollen Kompromiss zwischen kurzer und langer Stufendauer zu finden. Dieser liegt meist **zwischen 3 und 5 min**^{2,13}.

Belastungsincrement

Wie die Stufendauer, wirkt sich auch die Wahl des Belastungsincrements (Geschwindigkeits- / Leistungsanstieg zwischen zwei Stufen) auf die Stufentestresultate aus. Kleinere Inkremente ergeben eine höhere «Auflösung» der Laktatkurve und lassen eine präzisere Schwellenbestimmung zu^{3,11}. Grössere Inkremente dagegen führen zu einer Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungs-Kurve (siehe Abbildung 3–2) und ergeben höhere Abbruchwerte sowie eine kürzere Gesamttestdauer. Der sinnvolle Kompromiss liegt bei einem Geschwindigkeitsinkrement von **1 bis 2 km / h** bei einem Lauftest oder einem Leistungsinkrement von **20 bis 50 W** bei einem Radtest (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen). Anders als bei einem Lauftest muss beim Radtest neben der Leistungsfähigkeit auch das Körpergewicht der Athletin für die Wahl des Inkrements berücksichtigt werden (siehe 2.4.2 Analyse).

Pausendauer

Beim Stufentest Lauf ist eine kurze Pause nach jeder Stufe nötig, da saubere Blutentnahmen nur möglich sind, wenn die Athletin stillsteht. Die Pause wird so lange wie nötig, aber so kurz wie möglich

gehalten, weil jeder Belastungsunterbruch die gemessenen physiologischen Parameter beeinflusst. Sinnvoll sind Pausen **zwischen 15 und 30 s**. Eine Erhöhung der Pausendauer führt zu einer Rechtsverschiebung der Laktatkurve (siehe Abbildung 3–2). Bei einem Radtest sind **keine Pausen** zwischen den Stufen nötig, denn die Tretbewegung der Athletin stört die Blutentnahme kaum³.

Anfangsbelastung / Stufenanzahl

Die Anzahl absolvierter Stufen hängt vom Leistungsniveau der Athletin sowie von der Wahl des Belastungsincrements, der Stufendauer, der Pausendauer und der Anfangsbelastung ab. Wichtig ist, dass die **Anfangsbelastung nicht zu hoch** angesetzt wird. Werden nicht mindestens zwei Stufen mit Baseline-Laktatwerten (Ruhelaktatwerte) absolviert, kann die aerobe Schwelle mit der vorgeschlagenen Auswertungsmethode nicht sicher bestimmt werden (siehe 3.1.4 Auswertung und Interpretation). Die Anfangsstufe wird daher anhand der geschätzten aeroben Schwelle der Athletin festgelegt (Anfangsbelastung = Geschätzte aerobe Schwelle minus zwei bis drei Belastungsinkremente). Im Zweifelsfall wird immer die tiefere Anfangsbelastung gewählt. Die gesamte Stufenanzahl beträgt idealerweise **zwischen 5 und 10 Stufen**³.

Abbruchkriterien

Die Abbruchkriterien werden klar definiert und der Athletin erklärt. Ein Lauftest gilt als abgebrochen, sobald die Athletin den Laufbandgurt von selbst verlässt, auf dem Laufband kritisch weit nach hinten fällt, oder verbal den Testabbruch verlangt («Stopp»). Ein Radtest ist beendet, wenn die Athletin aufhört zu treten oder sie die Trittfrequenz nicht mehr halten kann (klarer Abfall, z.B. unter 70 U / min).

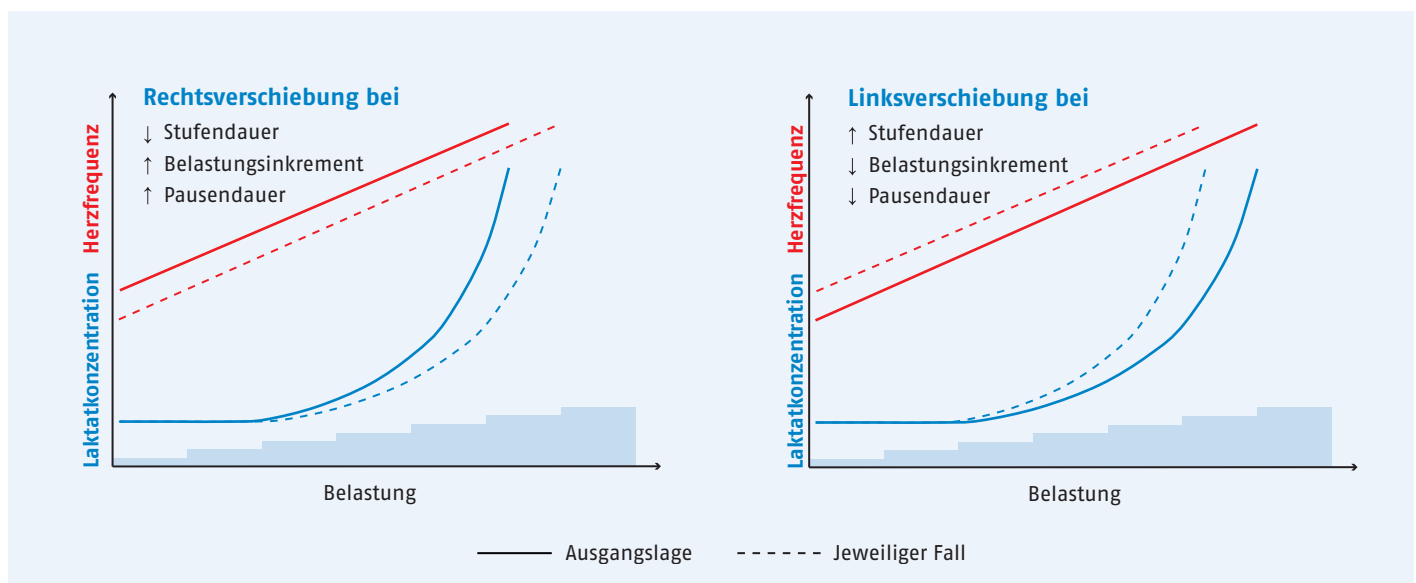


Abbildung 3–2. Einfluss von Veränderungen der Stufendauer, des Belastungsincrements und der Pausendauer auf die Laktat- und Herzfrequenz-Leistungs-Kurve. ↑ Erhöhung, ↓ Erniedrigung.

Konkrete Protokollempfehlung

In Anbetracht der besprochenen Punkte, empfehlen wir für die Durchführung eines Standard Laktatstufentests die Protokolle in Tabelle 3–1. In Spezialfällen sollen die einzelnen Parameter aber sinnvoll angepasst werden.

Tabelle 3–1

Empfohlene Standardprotokolle für einen Laktatstufentest

	Stufentest Lauf	Stufentest Rad
Stufendauer	3 min	3 min
Pause	30 s	0 s
Inkrement	1.2 km / h	30 W
Anfangsbelastung	Elite Damen: 9 km / h Elite Herren: 11.4 km / h Hobby Damen: 5.4 km / h Hobby Herren: 7.8 km / h	Elite Damen: 100–130 W Elite Herren: 130–190 W Hobby Damen: 40–100 W Hobby Herren: 70–130 W
Abbruchkriterium	Wegspringen «Stopp» rufen	Aufhören zu treten Klarer Abfall in der Trittfrequenz
Weiteres	Steigung Laufband 1% (siehe 2.2.3 Laufband)	Kadenz frei wählbar (sinnvoll: 80 bis 100 U / min)

3.1.4 Auswertung und Interpretation

Mit dem Stufentest werden neben den Abbruchwerten auch die individuellen Trainingsbereiche einer Athletin bestimmt. Die Einteilung dieser Trainingsbereiche wird anhand der aeroben und anaeroben Schwelle vorgenommen. Die **aerobe Schwelle** ist als die höchste Belastung (als Geschwindigkeit in km / h oder Leistung in W) definiert, bei der die Laktatkonzentration noch dem Ruhewert (Baseline-Wert) entspricht³. Die **anaerobe Schwelle** ist die höchste Belastung (Geschwindigkeit in km / h oder Leistung in W), bei der noch ein Laktat-Steady-State (Gleichgewicht zwischen Laktatproduktion und -elimination) gewährleistet ist³. Bei einer konstanten Belastung über der anaeroben Schwelle nimmt die Laktatkonzentration mit der Zeit zu. Um die anaerobe Schwelle direkt zu bestimmen, absolviert die Athletin mehrere Tests bei verschiedenen konstanten Belastungen (sog. MaxLaSS Test*)^{14,15}. Da dieses Verfahren enorm zeitaufwändig ist, haben sich verschiedene Methoden zur indirekten Bestimmung der anaeroben Schwelle durchgesetzt. Früher weit verbreitet war beispielsweise die 4 mmol / L-Methode nach Mader, bei der die anaerobe Schwelle in einem Stufentest bei einer fixen Laktatkonzentration von 4 mmol / L gesetzt wird¹⁶. Allerdings wurde klar gezeigt, dass nur bei einem Teil aller Testpersonen die Laktatkonzentration an der anaeroben Schwelle tatsächlich 4 mmol / L beträgt². Als Alternative zur 4 mmol / L-Schwelle wurde vorgeschlagen, den Schwellenwert ausgehend von 4 mmol / L

anhand individueller Kriterien (Abbruchlaktat, Abbruchleistung, etc.) nach oben oder nach unten zu korrigieren (sog. «korrigierte 4 mmol / L-Schwelle»¹⁷). Neben vielen weiteren laktatbasierten Auswertungsmethoden^{2,3} werden auch respiratorische Verfahren angewandt. Dabei wird während eines Stufentests der Gasaustausch einer Athletin erfasst (Spiroergometrie). Die Schwellen werden bei diesen Verfahren anhand der Verläufe der Atemgaskurven (Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme, etc.) bei ansteigender Belastung festgelegt¹. Alle diese Methoden haben spezifische Vor- und Nachteile und stimmen bei der Schwellensetzung oft nicht überein. Es empfiehlt sich daher, eine Methode zur Schwellenbestimmung auszuwählen und zwecks Vergleichbarkeit alle Tests mit dieser Methode auszuwerten. Wir empfehlen die **modifizierte Dmax-Methode**¹⁰. Diese ist vergleichsweise objektiv und reliabel, trägt dem individuellen Laktatverlauf Rechnung und weist hohe Korrelationen zwischen den abgeschätzten Schwellenwerten und Leistungen aus Wettkämpfen auf^{6,10,18}. Allerdings ist eine maximale Ausbelastung bei Testabbruch nötig. Folgend wird die genaue Anwendung der modifizierten Dmax-Methode aufgezeigt.

Bestimmen der Abbruchwerte (P_{\max} / v_{\max} , HF_{\max})

Zur Abbruchgeschwindigkeit / -leistung (v_{\max} / P_{\max}) werden nicht nur die komplett absolvierten Stufen, sondern wird auch jede absolvierte Sekunde in der Abbruchstufe gezählt. Das Stufeninkrement der Abbruchstufe wird proportional zur darin gelaufenen Zeit angerechnet. Läuft eine Athletin beispielsweise die 18.6 km / h-Stufe fertig und zusätzlich 1:30 min auf der 19.8 km / h-Stufe (3-min-Stufen, 1.2 km / h Inkrement), so beträgt die Abbruchgeschwindigkeit 19.2 km / h. Die maximale Herzfrequenz (HF_{\max}) ist das höchste 30s-Herzfrequenz-Intervall des gesamten Stufentests (i.d.R. unmittelbar vor Testabbruch). Ist die ermittelte Herzfrequenz der Abbruchstufe tiefer als jene der vorletzten Stufe**, wird der Wert der vorletzten Stufe auch für die Abbruchstufe und somit als maximale Herzfrequenz angenommen. Um zu beurteilen, ob sich die Athletin vollständig ausbelastet hat, verlässt sich der Testleiter am besten auf seinen eigenen Eindruck und das subjektive Belastungsempfinden der Athletin.

*Beim MaxLaSS (maximaler Laktat-Steady-State) Test wird durch «trial and error» die höchste Belastung gesucht, bei welcher die Laktatkonzentration in den letzten 20 min einer 30-min-Belastung nicht mehr als 1 mmol / l ansteigt. Dazu sind bis zu fünf intensive Einzeltests nötig, was dieses Testverfahren für die Praxis untauglich macht.

** was vorkommen kann, wenn die Athletin in der Abbruchstufe nur noch kurze Zeit läuft und die Herzfrequenz nach der Pause noch am Ansteigen ist.

Bestimmen der aeroben Schwelle (AeS)

Die aerobe Schwelle wird üblicherweise bei der Leistung oder Geschwindigkeit gesetzt, nach welcher der Anstieg in der Laktatkonzentration zur nächsten Stufe erstmals $> 0.4 \text{ mmol/L}$ beträgt¹⁰ (siehe Abbildung 3-3). Bei kleinen Stufeninkrementen muss dieser Richtwert aber angepasst werden. Wir schlagen vor, die aerobe Schwelle beim Protokoll des Lauf-Stufentests (3-min-Stufen, 1.2 km/h Inkrement) vor dem ersten Laktatanstieg von $> 0.3 \text{ mmol/L}$ zu setzen. Beim empfohlenen Radtest passt meist der Wert von 0.4 mmol/L . Die Herzfrequenz an der aeroben Schwelle entspricht der Herzfrequenz, die auf der Stufe der aeroben Schwelle ermittelt wurde, und liegt üblicherweise bei ca. 75–80% der HF_{\max} .

Bestimmen der anaeroben Schwelle (AnS)

Anhand der Laktatkurve aus einem Stufentest wird die anaerobe Schwelle mit der modifizierten Dmax-Methode folgendermassen geschätzt¹⁰ (siehe Abbildung 3-3):

1. Die aerobe Schwelle wird wie beschrieben bestimmt.
2. Der Punkt auf der Laktatkurve* an der aeroben Schwelle wird linear mit dem Abbruch-Laktatwert verbunden.
3. Der Punkt auf der Laktatkurve mit **maximaler rechtwinkliger Distanz** zur linearen Verbindung aus 2. wird bestimmt.
4. Die anaerobe Schwelle entspricht der Belastung (Geschwindigkeit / Leistung) bei dem in 3. bestimmten Punkt.

Bei dieser Bestimmungsmethode beeinflusst die Lage der aeroben Schwelle die Lage der anaeroben Schwelle. Daher wird vor der Bestimmung der anaeroben Schwelle immer die korrekte Lage der aeroben Schwelle kontrolliert und gegebenenfalls angepasst.

Die Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle entspricht der Herzfrequenz, die sich bei der Belastung an der anaeroben Schwelle einstellt. Liegt diese zwischen zwei Stufen, wird der gesuchte Wert anhand der darunter und darüber liegenden Stufe linear interpoliert. Zum Beispiel:

- Bestimmte anaerobe Schwelle = 17.0 km/h
- Gemessene HF Stufe $16.2 \text{ km/h} = 160 \text{ S/min}$
- Gemessene HF Stufe $17.4 \text{ km/h} = 172 \text{ S/min}$
- HF an anaeroben Schwelle = 168 S/min

Die Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle liegt üblicherweise bei ca. 90–95% der HF_{\max} .

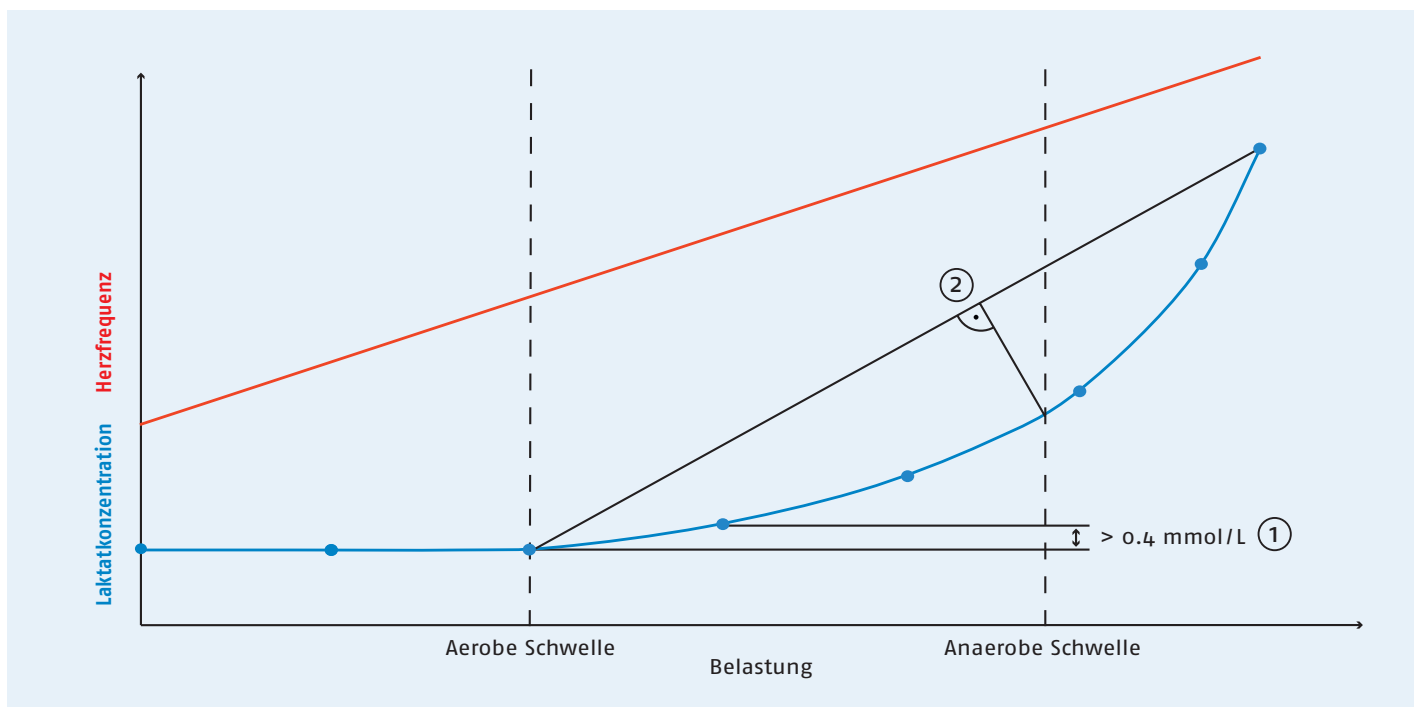


Abbildung 3-3. Bestimmung der aeroben (1) und der anaeroben (2) Schwelle nach der modifizierten Dmax-Methode.

*Um diese Bestimmungsvariante automatisieren zu können, wird mit den gemessenen Laktatwerten eine Regression an ein Polynom 3. Grades durchgeführt und die Regressionsfunktion als Laktatkurve verwendet. Ein entsprechendes **Excel-Worksheet** ist unter www.swissolympic.ch zu finden.

Bestimmen der Trainingsbereiche

Physiologisch lassen sich drei verschiedene Intensitätsbereiche unterscheiden (Zone 1: bis zur aeroben Schwelle, Zone 2: zwischen aerober und anaerober Schwelle, Zone 3: über der anaeroben Schwelle)¹⁹. Anhand der beiden Schwellenwerte und den dazugehörigen Herzfrequenzen werden im Ausdauersport aber meist fünf oder gar sieben Trainingsbereiche eingeteilt. Je nach Sportart haben sich verschiedene Benennungen der Trainingsbereiche etabliert.

Für den Laufsport empfehlen wir die Einteilung in fünf oder drei Bereiche (siehe Tabelle 3–2). Obwohl die Herzfrequenz zur Steuerung der Trainingsintensität gebräuchlich ist, sind die Trainingsbereiche eigentlich als Geschwindigkeitsbereiche definiert. Diese lassen sich analog aus den Schwellenwerten ableiten.

Im Radsport empfehlen wir für das herzfrequenzgesteuerte Training fünf Trainingsbereiche (siehe Tabelle 3–3). Die Trainingsbereiche sind eigentlich als Leistungsbereiche definiert, welche sich analog ableiten lassen. Ein vorhandenes Leistungsmesssystem vorausgesetzt, ist das Training nach Leistungsbereichen demjenigen nach Herzfrequenzbereichen vorzuziehen.

Ebenfalls empfehlenswert sind dafür die leistungsbasierten Trainingsbereiche nach Allen und Coggan²⁰. Diese basieren auf der maximal möglichen Durchschnittsleistung über 1 h (entspricht ca. der Leistung an der anaeroben Schwelle, siehe Tabelle 3–4).

Tabelle 3–2

Herzfrequenzbasierte Trainingsbereiche Laufsport aus dem Stufentest

Bereich	Intensität	Obere Grenze	
		5 Zonen	3 Zonen
1	Sehr locker	ca. 15 S / min unter HF _{AeS}	HF _{AeS}
2	Locker	ca. HF _{AeS}	
3	Etwas anstrengend	ca. 5 S / min unter HF _{AnS}	HF _{AnS}
4	Anstrengend	ca. 5 S / min über HF _{AnS}	offen
5	Sehr anstrengend	offen	

Tabelle 3–3

Herzfrequenzbasierte Trainingsbereiche Radsport aus dem Stufentest

Bereich	Intensität	Obere Grenze	Trainingsform
1	Sehr locker	ca. 15 S / min unter HF _{AeS}	kontinuierlich
2	Locker	ca. HF _{AeS}	kontinuierlich
3	Etwas anstrengend	ca. 5 S / min unter HF _{AnS}	kontinuierlich
4	Anstrengend	ca. 5 S / min über HF _{AnS}	Intervalle: 8–30 min
5	Sehr anstrengend	offen	Intervalle: < 8 min

Tabelle 3–4

Leistungsbasierte Trainingsbereiche Radsport nach Allen und Coggan²⁰

Bereich	Obere Grenze	Trainingsform
1 Aktive Regeneration	55 %	kontinuierlich
2 Ausdauer	75 %	kontinuierlich
3 Tempo	90 %	kontinuierlich
4 Laktatschwelle	105 %	Intervalle: 8–30 min
5 $\dot{V}O_2$ max	120 %	Intervalle: 3–8 min
6 Anaerobe Kapazität	150 %	Intervalle: 30–180 s
7 Neuromuskuläre Leistung	offen	Intervalle: < 30 s

Anmerkungen. Prozentwerte in Bezug zur maximalen Durchschnittsleistung (in Watt) über 1 h (ca. AnS).

Interpretation der Werte

Die Abbruchgeschwindigkeit / -leistung scheint die wichtigste (reliabelste und valideste) Kenngrösse der Ausdauerleistungsfähigkeit der Athletin zu sein ⁴⁻¹⁰. Nur sportartspezifische Kapazitätstests (direkte Messung der wettkampfspezifischen Leistungsfähigkeit) sind noch besser zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit geeignet.

Bei Radtests wird die Abbruchleistung für die Beurteilung **passend skaliert** (siehe 2.4.2 Analyse). Um die Bergfahrqualitäten zu beurteilen, wird die Leistung durch das Körpergewicht geteilt (W / kg), für die Qualität als Zeitfahrer in der Fläche durch den gemessenen oder geschätzten c_dA -Wert (W / m^2). Bei Lauftests ist eine solche Skalierung unnötig.

Die Geschwindigkeit oder Leistung an der anaeroben Schwelle kann ebenfalls als leistungsrelevante Kenngrösse verwendet werden (tendenziell weniger reliabel als die Abbruchleistung), wenn die korrekte Skalierung der Werte beachtet wird.

Interpretation von Veränderungen

Individuelle Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit lassen sich an einer Verschiebung der Laktat-Leistungskurve beobachten. Eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit äussert sich in erniedrigten submaximalen Laktatwerten und somit in einer Verschiebung der Kurve nach rechts und / oder unten ² (siehe Abbildung 3-4). Vorsicht ist geboten bei entleerten Glykogenspeichern der Athletin (grosse Vorbelastung, kohlenhydratarmer Ernährung). Auch dies äussert sich in einer tiefer eingelagerten Laktatkurve, allerdings begleitet von einer erniedrigten Abbruchleistung.

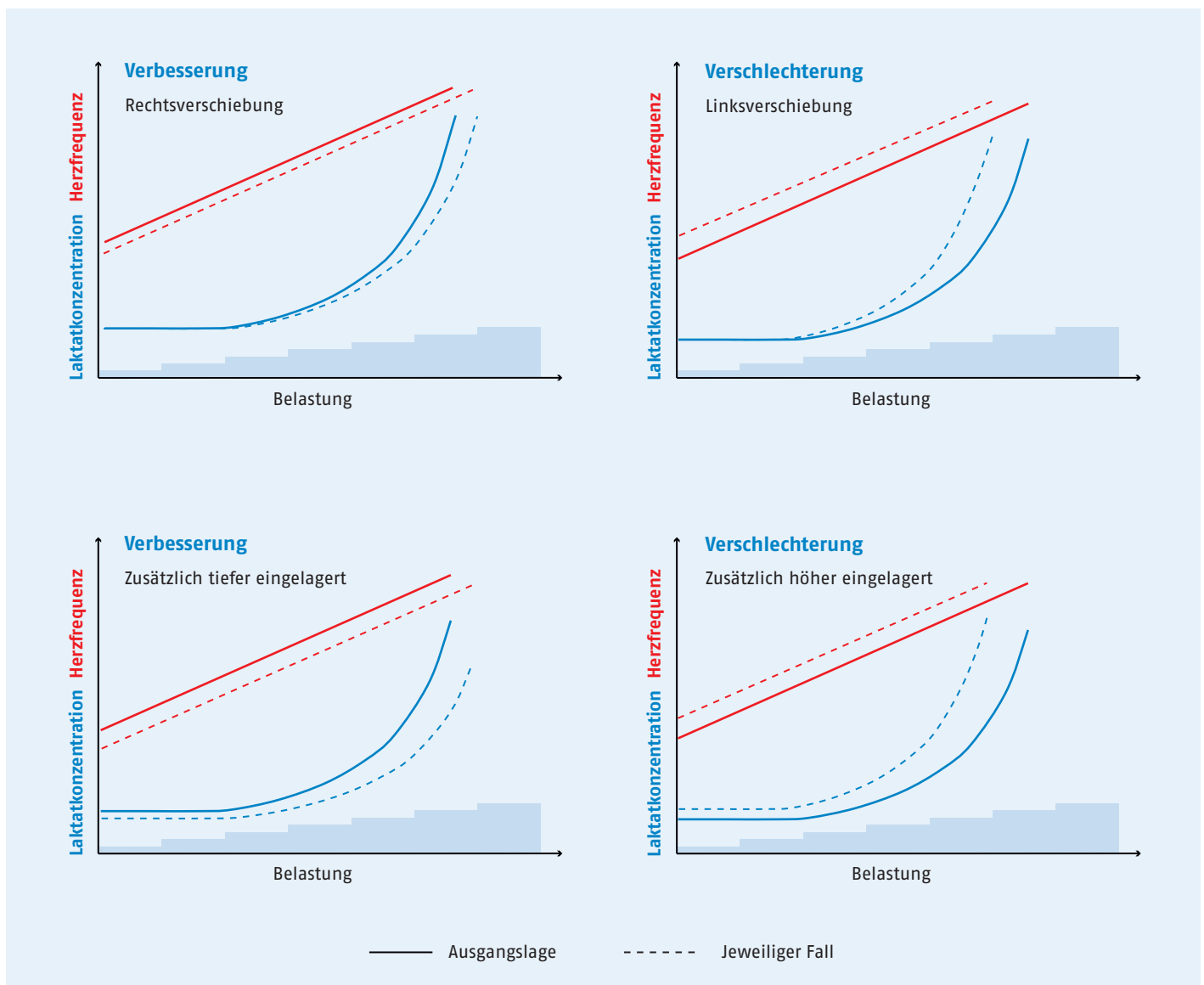


Abbildung 3-4. Verschiebungen der Herzfrequenz- und Laktat-Leistungskurve bei veränderter Ausdauerleistungsfähigkeit.

Der typische Messfehler bei der Bestimmung der Schwellen- und Abbruchwerte in einem Stufentest liegt bei ca. 1–3%⁸. Um mit vertretbarer Sicherheit sagen zu können, dass eine gemessene Differenz auch eine echte Veränderung ist, muss diese grösser sein als der typische Messfehler. Konkret bedeutet dies, dass frühestens ab folgenden gemessenen Differenzen von einer «echten» Veränderung gesprochen werden kann*:

- Aerobe Schwelle: ab ± 0.3 km / h oder ± 0.1 W / kg
- Anaerobe Schwelle: ab ± 0.3 km / h oder ± 0.1 W / kg
- Abbruchbelastung: ab ± 0.4 km / h oder ± 0.1 W / kg
(entspricht knapp 1 min bzgl. Abbruchzeit im empfohlenen Protokoll)

Bei Spitzenathletinnen kann eine typische Saisonschwankung der leistungsrelevanten Kenngrössen von $4 \pm 5\%$ ** erwartet werden (von Beginn der Aufbauphase bis zur Vorwettkampfphase, Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen sowie²¹). Die jährliche Leistungsentwicklung ist tiefer und beträgt je nach Alter, individuellen Voraussetzungen und aktuellem Leistungsstand $1 \pm 5\%$ (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).

Konsequenzen für das Training

Mit einem Stufentest können die aktuelle Ausdauerleistungsfähigkeit abgeschätzt und die Trainingsbereiche eingeteilt werden. Es ist aber schwierig, spezifische Trainingsempfehlungen allein aus der Kurvenform und den Schwellenwerten abzuleiten (z.B. mehr lockeres Grundlagentraining oder mehr intensives Intervalltraining). Klassisches kontinuierliches Ausdauertraining sowie intensives In-

tervalltraining haben grosse Transfereffekte über mehrere physiologische Systeme²². Die Laktatkurve passt sich nicht unbedingt nur in den trainierten Bereichen an. Vielmehr ist eine gute Kurvenform, charakterisiert durch eine lange Laktat-Baseline und einen steilen Anstieg zum Schluss, Indiz für eine allgemein gute aerobe Leistungsfähigkeit. Die anaerobe Kapazität kann mit einem Stufentest (z.B. anhand der maximalen Laktatkonzentration) nicht beurteilt werden²³.

Werden neben dem Laktatstufentest weitere Leistungstests durchgeführt (z.B. $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test), können spezifischere Trainingsempfehlungen abgeleitet werden. Während die Resultate eines Laktatstufentests eher von peripheren Faktoren abhängen (mitochondriale Enzyme, Muskelkapillarisation), sind beim $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test eher zentrale Faktoren (Blutvolumen, Herzminutenvolumen)^{24,25} limitierend (die Trennung ist aber unscharf). So kann beispielsweise einer Athletin mehr $\dot{V}O_2\text{max}$ -Training empfohlen werden, falls sie im Vergleich zu ihren Konkurrentinnen einen besseren Stufentest und einen schwächeren $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test absolviert.

Das optimale Verhältnis von lockerem und intensivem Training sowie die optimale Gestaltung einzelner Trainingseinheiten werden seit jeher kontrovers debattiert und hängen auch von den Anforderungen der jeweiligen Sportart ab (siehe 5. Anwendung nach Sportart).

3.1.5 Referenzwerte

Um Resultate aus dem Stufentest im Quervergleich einordnen zu können, sind in den Tabellen 3–5 und 3–6 Referenzwerte von Spitzenathletinnen und -athleten verschiedener Altersklassen für das unter Testmethodik empfohlene Protokoll aufgeführt (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).

Tabelle 3–5

Referenzwerte Laktatstufentest Lauf

		Alter (Jahre)	Körpergewicht (kg)	AeS (km / h)	AnS (km / h)	V_{max} (km / h)
Männer	U23	18–21	59–73	13.3–14.7	17.3–18.5	20.4–21.4
	Elite	24–26	63–72	13.9–15.5	17.7–18.9	20.6–21.8
Frauen	U23	17–21	51–59	11.1–12.7	14.5–15.9	17.1–18.7
	Elite	23–30	51–61	12.7–13.7	16.3–16.9	18.9–19.7

Anmerkungen. Nationalmannschaft Mittel- und Langstreckenlauf. n = 80. Angepasst an das empfohlene Stufentestprotokoll (3-min-Stufen, 30 s Pause, 1.2 km / h Inkrement, 1% Steigung). Testort: Magglingen, 950 m.ü.M. Bereiche: Mittelwert – SD bis Mittelwert + SD.

Tabelle 3–6

Referenzwerte Laktatstufentest Rad

		Alter (Jahre)	Körpergewicht (kg)	AeS (W / kg)	AnS (W / kg)	P_{max} (W / kg)
Männer	U23	19–21	64–75	2.7–3.4	4.2–4.9	5.1–5.8
	Elite	23–29	63–72	3.4–3.8	4.8–5.3	5.6–6.2
Frauen	U23	20–22	53–67	2.1–2.7	3.4–4.1	4.3–5.1
	Elite	24–34	55–66	2.3–3.1	3.7–4.4	4.6–5.4

Anmerkungen. Nationalmannschaft Mountainbike XC. n = 109. Vorwettkampfphase. Angepasst an das empfohlene Stufentestprotokoll (3-min-Stufen, 30 W Inkrement). Testort: Magglingen, 950 m.ü.M. Bereiche: Mittelwert – SD bis Mittelwert + SD.

* Für die Berechnung wurde ein typischer Fehler von 2% angenommen.

** Mittelwert \pm Standardabweichung

3.2 $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test

3.2.1 Einleitung

Die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2\text{max}$) prägte die Geschichte der Sportphysiologie. Der Wert quantifiziert die maximale Menge an Sauerstoff, die pro Zeiteinheit eingeatmet wird, über die Lunge ins Blut diffundiert, über den Blutkreislauf zur aktiven Muskulatur gelangt und primär dort für die aerobe Energiegewinnung genutzt wird²⁶. Der Wert wird mittels spiroergometrischen Messsystemen meist kurz vor dem Testabbruch bei einer vorgegebenen, zügig ansteigenden Belastung erhoben. Als maximale «Leistung» des Herzkreislaufsystems gilt die $\dot{V}O_2\text{max}$ als physiologische Kenngrösse der Ausdauerleistungsfähigkeit. Neben der maximalen Sauerstoffaufnahme bestimmt der realisierbare Ausnutzungsgrad über eine gewisse Dauer, wieviel Sauerstoff während einer Belastung für die aerobe Energiegewinnung genutzt werden kann²⁴. Da die anaerobe Energieproduktion limitiert ist, ist eine hohe aerobe Energieproduktion essentiell für eine gute Ausdauerleistung. Obwohl die $\dot{V}O_2\text{max}$ relativ gut mit der Ausdauerleistung korreliert, wurde unterdessen mehrfach gezeigt, dass sie eine schlechtere leistungsrelevante Kenngrösse darstellt als eine Kapazitätstestleistung oder die Abbruchleistung / anaerobe Schwelle eines Stufentests^{10,27,28}. Dies, weil in letzteren auch der mögliche Ausnutzungsgrad repräsentiert ist und die Werte reliabler gemessen werden können. Weil die $\dot{V}O_2\text{max}$ aber eng mit weiteren physiologischen Grössen wie dem Blutvolumen und dem Schlagvolumen des Herzens zusammenhängt²⁶, ist die Messung **für Forschungsfragen** interessant. Die $\dot{V}O_2\text{max}$ ist sportartabhängig, individuelle Höchstwerte werden im Normalfall in derjenigen Bewegungsform erreicht, die eine Athletin am meisten trainiert²⁹. Die $\dot{V}O_2\text{max}$ wird als Kenngrösse des **maximalen aeroben Potentials** einer Athletin diskutiert, da der Wert einem hohen genetischen Einfluss unterliegt³⁰. Die $\dot{V}O_2\text{max}$ reagiert weniger stark auf Trainingsinterventionen als andere Messgrössen^{10,31–33}, wodurch bereits bei jungen Athletinnen abgeschätzt werden kann, ob sie über erfolgsversprechende Werte bezüglich ihres Herzkreislaufsystems verfügen³⁴. Während in der Zeit vom Jugend- zum Erwachsenenalter die anaerobe Schwelle und die Kapazitätstestleistung noch deutlich ansteigen können, ist mit kleineren Veränderungen in der $\dot{V}O_2\text{max}$ zu rechnen.

3.2.2 Ziele

- Das maximale aerobe Potential einer Athletin beurteilen
- Die (Ausdauer-)Leistungsfähigkeit beurteilen

3.2.3 Methodik

Der $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test Lauf wird auf einem motorisierten Laufband durchgeführt, Radfahrer absolvieren den Test auf einem Ergometer (siehe 2.2 Messgeräte und -verfahren). Natürlich können auch weitere Ergometer (z.B. Ruder- oder Skiergometer) verwendet werden. Exemplarisch diskutieren wir im Weiteren nur den Lauf- und Radtest, die Überlegungen zu Testmethodik und Auswertung können aber auf andere Testformen übertragen werden.

Am weitesten verbreitet sind Testprotokolle, bei denen die Belastungsintensität relativ rasch gesteigert wird (Rampenprotokolle). Diese Intensitätssteigerung wird auf dem Laufband durch eine Erhöhung der Laufgeschwindigkeit und / oder des Steigungswinkels erreicht. Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, mit diesen zwei Stellgrössen ein optimales Testprotokoll zu gestalten. Auf dem Ergometer wird die geforderte Leistung kontinuierlich oder stufenweise erhöht.

Anfangsbelastung / Testdauer

Die Anfangsbelastung wird an das Niveau der Athletin angepasst, sodass die Ausbelastung innert sinnvoller Zeit auftritt. Es wird eine Testdauer von **8–12 min** empfohlen^{3,35}. Dadurch ist sichergestellt, dass das Herzkreislaufsystem ausbelastet wurde, bevor andere Ermüdungsgründe zum Testabbruch führten.

Belastungssteigerung

Um eine motorische Limitierung bei sehr hohen Geschwindigkeiten im Lauftest zu verhindern (v.a. bei nicht-Eliteathletinnen ein Problem), wird der $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test oft mit einem fixen Steigungswinkel und zunehmender Geschwindigkeit gelaufen (z.B. **0.5 km / h Steigerung pro 30 s bei 7% Steigung**³⁶). Auch kombinierte Protokolle, bei denen sich z.B. zuerst die Geschwindigkeit und danach der Steigungswinkel erhöhen, wurden vorgeschlagen³.

Bei einem Radtest beträgt die Belastungssteigerung meist **20–50 W / min** (entweder kontinuierlich oder stufenweise).

Abbruchkriterien

Die Abbruchkriterien werden klar definiert und der Athletin erklärt. Ein Lauftest gilt als abgebrochen, sobald die Athletin den Laufbandgurt von selbst verlässt, auf dem Laufband kritisch weit nach hinten fällt oder mit Gesten den Testabbruch verlangt. Ein Radtest wird beendet, wenn die Athletin aufhört zu treten oder sie die Trittfrequenz nicht mehr halten kann (klarer Abfall, z.B. unter 70 U / min).

Messtechnik

Wichtige Punkte zur Messung der Sauerstoffaufnahme sind im Kapitel 2.2.7 Spiroergometrie beschrieben. Für einen $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test mit einer schnellen Belastungszunahme und entsprechend kurzen zeitlichen Inkrementen eignet sich v.a. die **Breath-by-breath**-Methode. Die Sauerstoffaufnahme wird kontinuierlich über den ganzen Test aufgezeichnet.

Konkrete Protokollempfehlung

In Anbetracht aller besprochenen Punkte empfehlen sich für die Durchführung eines Standard $\dot{V}O_2\text{max}$ -Tests die Protokolle in Tabelle 3–7. In Spezialfällen sollen die Parameter aber sinnvoll angepasst werden.

Tabelle 3–7

Empfohlene $\dot{V}O_2\text{max}$ -Testprotokolle

	$\dot{V}O_2\text{max}$ -Test Lauf	$\dot{V}O_2\text{max}$ -Test Rad
Stufendauer	30 s	1 min
Pause	keine	keine
Inkrement	0.5 km / h	25 W
Anfangsbelastung	Elite Damen: 8–9 km / h Elite Herren: 9–10 km / h Hobby Damen: 6–7 km / h Hobby Herren: 7–8 km / h	Elite Damen: 100–150 W Elite Herren: 175–225 W Hobby Damen: 50–100 W Hobby Herren: 100–150 W
Abbruchkriterium	Laufgurt verlassen, Testabbruch verlangen	Aufhören zu treten, klarer Abfall in der Trittfrequenz
Weiteres	Laufbandsteigung 7%	Trittfrequenz frei wählbar (sinnvoll: 80 bis 100 U / min)

3.2.4 Auswertung und Interpretation

Bestimmen der $\dot{V}O_2\text{max}$

Im Idealfall bildet sich gegen Testende ein Plateau in der Sauerstoffaufnahme (siehe Abbildung 3–5), definiert als ein Anstieg in der Sauerstoffaufnahme von höchstens 150 mL / min³⁷ (ist dies nicht der Fall, wird der Höchstwert oft als $\dot{V}O_2\text{peak}$ bezeichnet). Wir empfehlen, die $\dot{V}O_2\text{max}$ als **den höchsten 30–s-Mittelwert** der Sauerstoffaufnahme zu wählen. Dies muss auf der Auswertung vermerkt werden, weil nicht überall mit dem gleichen Mittelungsintervall gearbeitet wird. Die $\dot{V}O_2\text{max}$ wird üblicherweise auf das Körpergewicht skaliert. Dies macht Sinn, wenn das Körpergewicht den dominanten Widerstandsparameter im Wettkampf darstellt (siehe 2.4.2 Analyse). Für die Potentialbeurteilung kann auch eine Skalierung auf die fettfreie Masse interessant sein.

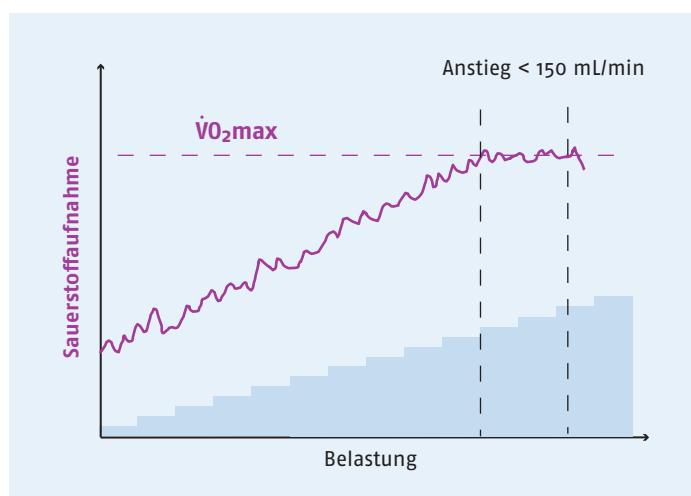


Abbildung 3–5. Typischer Verlauf der Sauerstoffaufnahme bei einem Rampenprotokoll.

Bestimmen der Abbruchwerte (P_{max} / v_{max})

Wird beim $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test ein standardisiertes Protokoll verwendet (wie vorgeschlagen), können auch die Abbruchgeschwindigkeit und –leistung analysiert werden. Diese werden wie unter 3.1 Laktatstufentest beschrieben linear zwischen den Stufen interpoliert, indem das Stufeninkrement der Abbruchstufe proportional zur darin absolvierten Zeit angerechnet wird. Um zu beurteilen, ob sich die Athletin vollständig ausbelastet hat, verlässt sich der Testleiter am besten auf seinen eigenen Eindruck und das subjektive Belastungsempfinden der Athletin (z.B. mittels Borgskala).

Bestimmen der maximalen Herzfrequenz (HF_{max})

Da gegen Ende des $\dot{V}O_2\text{max}$ -Tests das Herzkreislaufsystem maximal aktiviert ist, eignet sich der Test gut für die Bestimmung der maximalen Herzfrequenz. Wenn spiroergometrische Kenngrößen über 30 s gemittelt werden, sollte auch die maximale Herzfrequenz als maximaler Mittelwert über 30 s dokumentiert werden. Die HF_{max} kann für eine grobe Bestimmung von Trainingsbereichen verwendet werden, wobei ein Stufentest immer zu bevorzugen ist.

Interpretation der Werte

Die $\dot{V}O_2\text{max}$ ist eine Kenngröße für das maximale aerobe Potential, also ein möglicher Talentindikator für die zukünftig mögliche Ausdauerleistungsfähigkeit. Bereits junge Athletinnen können hier nahe an die Bestwerte von Elite-Athletinnen herankommen, während sich bei anderen Leistungstests noch deutliche Unterschiede zeigen (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen). Der typische Messfehler der $\dot{V}O_2\text{max}$ ist grösser als der von mechanischen Testparametern wie Geschwindigkeits- oder Leistungswerten (siehe 2.2.7 Spiroergometrie), was bei der Interpretation beachtet werden muss. Am besten werden Werte in Bereiche von ca. 5 mL / (min · kg) eingeteilt (z.B. 70–75 mL / (min · kg)) und kleinere Veränderungen nicht überinterpretiert. Wie bereits erwähnt, eignet sich der $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test nicht primär, um die aktuelle Leistungsfähigkeit einer Athletin abzuschätzen. Falls diese doch von Interesse ist, werden besser die Abbruchwerte als leistungsrelevante Kenngrößen (Leistung / Geschwindigkeit) skaliert auf den passenden Widerstandsparameter analysiert¹⁰. Diese weisen eine gute Reliabilität (typischer Messfehler von ca. 1–2%) und hohe Korrelationen mit wettkampfnahen Tests auf^{4–9}.

3.2.5 Referenzwerte

Um Resultate im Quervergleich einordnen zu können, sind in den Tabellen 3–8 und 3–9 Referenzwerte von Spitzenathletinnen

und –athleten in verschiedenen Altersklassen aufgelistet (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).

Tabelle 3–8

Referenzwerte $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test Lauf

		Alter (Jahre)	Körpergewicht (kg)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (mL / (min · kg))	V_{max} (km / h)
Männer	U23	18–21	59–73	66–73	15.5–17.5
	Elite	24–26	63–72	68–75	16.5–18.5
Frauen	U23	17–21	51–59	58–63	13.5–15.5
	Elite	23–30	51–61	60–64	14.5–16.5

Anmerkungen. Nationalmannschaft Mittel- und Langstreckenlauf. n = 80. Angepasst an das empfohlene Rampenprotokoll (30-s-Stufen, 0.5 km / h Inkrement, 7% Steigung). Testort: Magglingen, 950 m.ü.M. Bereiche: Mittelwert – SD bis Mittelwert + SD

Tabelle 3–9

Referenzwerte $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test Rad

		Alter (Jahre)	Körpergewicht (kg)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (mL / (min · kg))	P_{max} (W / kg)
Männer	U23	19–21	64–75	65–71	6.0–6.6
	Elite	23–29	63–72	69–75	6.3–6.9
Frauen	U23	20–22	53–67	54–62	5.0–6.0
	Elite	24–34	55–66	53–63	5.2–6.2

Anmerkungen. Nationalmannschaft Mountainbike XC. n = 120. Vorwettkampfphase. Empfohlenes Rampenprotokoll (1-min-Stufendauer, 25 W Inkrement). Testort: Magglingen, 950 m.ü.M. Bereiche: Mittelwert – SD bis Mittelwert + SD.

3.3 Kapazitätstest

3.3.1 Einleitung

Beim Laktatstufen- und $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test werden physiologische Kenngrössen bestimmt, um eine Abschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit zu erhalten. Der Vorteil dieser Tests ist die hohe Standardisierung, die Belastung ist bis zur Erschöpfung der Athletin vordefiniert. Dies entspricht aber nicht der typischen Belastungsform in einem Wettkampf. Dort muss die Athletin die Intensität meist selber wählen, um eine gegebene Distanz möglichst schnell zu überwinden. Ihre Leistungsfähigkeit zeichnet sich somit durch ihre maximale Durchschnittsgeschwindigkeit oder –leistung aus, die sie über eine gewisse Dauer aufrechterhalten kann. Durch die zuvor diskutierten Testverfahren wird diese aber nur indirekt abgeschätzt. In einem Kapazitätstest wird dagegen versucht, die wettkampfspezifische Leistungsfähigkeit einer Athletin direkt zu messen. Dafür geeignet sind hoch standardisierte, zugleich aber realitätsnahe **simulierte Wettkampfsituationen**. Durch die Standardisierung werden Störfaktoren wie das Wetter, die Meereshöhe, taktische Komponenten oder die Technik, die die Resultate und die Interpretation beeinflussen könnten, auf ein Minimum reduziert. Entweder wird der Wettkampf als Ganzes simuliert, oder nur ein für das Schlussklasse-

ment relevanter Teil.

Die beobachtete Leistungsfähigkeit in einem Kapazitätstest setzt sich dabei immer aus einer Kombination aller isolierten physiologischen Komponenten zusammen ($\dot{V}O_2\text{max}$, submaximale Ausnutzung, Bewegungsökonomie, anaerobe Kapazität usw.²⁴), deren Einfluss auf das Testergebnis aber nicht einzeln quantifiziert werden kann. Dies entspricht allerdings auch nicht dem Testziel.

Ein Kapazitätstest wird eingesetzt, wenn die aktuelle **spezifische Leistungsfähigkeit** einer Athletin erfasst werden soll. Keine indirekte Methode kann diese bisher gleich valide abbilden⁷.

3.3.2 Ziele

- Die spezifische Leistungsfähigkeit (Ausdauerkapazität) direkt beurteilen und verfolgen
- Prognose der Wettkampfergebnisse

3.3.3 Methodik

Innerhalb der Ausdauersportarten und deren Disziplinen werden unterschiedlichste physiologische Anforderungen an die Athletinnen gestellt (siehe 5. Anwendung nach Sportart). Während einige eine gleichmässige Leistungsabgabe erfordern (z.B. Rad Einzelzeitfahren, Marathonlauf), charakterisieren sich andere durch ihre variable Leistungsabgabe (z.B. Mountainbike XC, Langlauf Massenstart).

Nebst dem **Belastungsmuster** unterscheidet sich auch die **Dauer**, über die eine möglichst hohe Leistung oder Geschwindigkeit erbracht werden muss. In Abhängigkeit der physiologischen Anforderungen einer Disziplin und allenfalls spezifischen Fragestellungen sind die verschiedenen **Testformen** in Tabelle 3–10 gebräuchlich⁹. Zudem muss auch bedacht werden, welches Signal die Wahl eines Kapazitätstests an die Athletinnen sendet und welche Auswirkun-

gen dies auf deren Trainingsgestaltung haben kann. Bei der Entwicklung eines spezifischen Kapazitätstests müssen diese Faktoren berücksichtigt werden, was wir nachfolgend an je einem Beispiel aus dem Rad- und Laufsport darlegen.

Tabelle 3–10

Allgemeine Formen von Kapazitätstests

	Vorgegebene Dauer	Vorgegebene Arbeit / Distanz	Vorgegebene Belastung
Leistungsrelevante Kenngrösse	Durchschnittsleistung, Arbeit / Distanz	Benötigte Dauer	Dauer bis Testabbruch
Vorteile	Relativ wettkampfspezifisch, gleiche physiologische Beanspruchung auch für unterschiedliche Leistungsniveaus	Sehr wettkampfspezifisch	Standardisierung, kein Einfluss durch Pacing
Zu beachten	Familiarisierung nötig wegen Pacing	Evtl. unterschiedliche physiologische Beanspruchung bei unterschiedlichen Leistungsniveaus, Familiarisierung nötig wegen Pacing	Abbruchzeit hängt nicht linear mit der Leistungsfähigkeit zusammen. Evtl. unterschiedliche physiologische Beanspruchung bei unterschiedlichen Leistungsniveaus
Typischer Messfehler*	2–3 %	2–3 %	1–2 %

Anmerkungen. * für alle Testformen auf eine maximale Durchschnittsleistung über eine gewisse Dauer bezogen^{8,9}.

Beispiel Testprotokoll Rad

Nehmen wir an, wir möchten die Qualitäten von Bergfahrern vor einer grossen Landesrundfahrt testen. Um einen Anstieg möglichst schnell zu bewältigen, ist eine möglichst hohe Durchschnittsleistung bezogen auf das Körper- oder Systemgewicht gefordert (bei einer meist konstanten Leistungsabgabe³⁸). Die Dauer der entscheidenden Anstiege in Landesrundfahrten liegt zwischen 15 und 60 min³⁹, wobei die Radfahrer ihre Leistungsabgabe selber dosieren.

Wir möchten gleichzeitig auch Nachwuchsfahrer testen, die noch deutliche Leistungsdefizite aufweisen, für alle Fahrer soll aber die physiologische Beanspruchung (abhängig von der Testdauer) ähnlich sein.

Aufgrund dieser Faktoren entschliessen wir uns für einen Kapazitätstest, bei welchem wir die Dauer vorgeben (20 min). Die Radfahrer versuchen eine **möglichst hohe Durchschnittsleistung über diese 20 min** zu erbringen. Diese Testform wird auch in der Trainingspraxis oft angewendet, seit sie von Allen und Coggan²⁰ propagiert wurde.

Bei der Durchführung lassen wir die Radfahrer auf einem geeigneten Ergometer fahren oder auf ihrem eigenen Fahrrad mit einem mobilen Leistungsmesssystem (im Labor auf einem Laufband oder draussen an einem geeigneten Anstieg). Vor dem eigentlichen Test führen wir noch einen Familiarisierungsversuch durch.

Beispiel Testprotokoll Lauf

Wir möchten die Wettkampfkapazität von Langstreckenläufern im Elite- und Nachwuchsalter testen, die Wettkämpfe zwischen 3000 m und 10000 m bestreiten. Diese Wettkämpfe dauern zwischen 8 min (3000 m Elite) und 35 min (10000 m Nachwuchs) und sind somit alle durch dieselben physiologischen Systeme limitiert (aerobe Ausdauer). Als Kapazitätstest wählen wir einen maximalen Lauf über eine vorgegebene Zeit (12 min). Dies, um zu gewährleisten, dass der Test bei den Läufern verschiedener Niveaus dieselbe physiologische Beanspruchung (zeitabhängig) hervorruft. Die Testdauer von 12 min wird gewählt, weil diese inmitten der Wettkampf-Belastungszeiten liegt und die entscheidenden physiologischen Systeme sowohl der kürzeren als auch der längeren Zielwettkämpfe testet. Dazu kommt, dass der **12-min-Lauf** (sog. «Cooper-Test»⁴⁰) schon lange als Ausdauer-Test für verschiedenste Zielgruppen verwendet wird und es daher Referenzwerte für alle Leistungsniveaus gibt⁴¹.

Den 12-min-Lauf führen wir auf einer Kunststoffrundbahn durch und achten bei Testwiederholungen streng auf vergleichbare Witterungs- und Windbedingungen. Auch eine Durchführung auf einem geeigneten Laufband (mit individueller Geschwindigkeitssteuerung) wäre möglich.

3.3.4 Auswertung und Interpretation

Bestimmen der spezifischen Leistungsfähigkeit

Wie in Tabelle 3–10 ersichtlich, wird das Ergebnis eines Kapazitätstests mit den Kenngrössen Dauer, Durchschnittsleistung / -geschwindigkeit und teilweise Gesamtarbeit oder Distanz quantifiziert (siehe Abbildung 3–6). Ein physikalisches und physiologisches Verständnis dieser Kenngrössen ist unerlässlich für eine korrekte Interpretation. Nicht alle stehen in einem linearen Zusammenhang zueinander. So kann z.B. eine verdoppelte Dauer bis zum Abbruch bei einer konstanten Belastung nicht mit einer verdoppelten Durchschnittsleistung bei vorgegebener Testdauer gleichgesetzt werden⁹ (erstere entspricht meist einer kleinen, letztere einer unrealistisch grossen Verbesserung).

Vorzugsweise werden für einen Kapazitätstest immer die Dauer, die mittlere Belastung (Geschwindigkeit, Leistung) und evtl. das Produkt aus Zeit und Belastung (Distanz, Arbeit) als Kenngrössen angegeben.

Wie bei den anderen Tests muss für die Interpretation v.a. bei Radfahrern auf die korrekte Skalierung der Werte geachtet werden (siehe 2.4.2 Analyse).

Für Prognosen von Wettkampfergebnissen wird idealerweise eine Regressionsanalyse mit den Wettkampfdaten und den Werten des Kapazitätstests durchgeführt. Bei Wettkampfergebnissen, die linear mit den Testergebnissen zusammen hängen, können die prozentualen Unterschiede im Test direkt auf den Wettkampf umgerechnet werden. Bei nicht linearen Zusammenhängen wird die Rangfolge der Athletinnen im Test und Wettkampf verglichen.

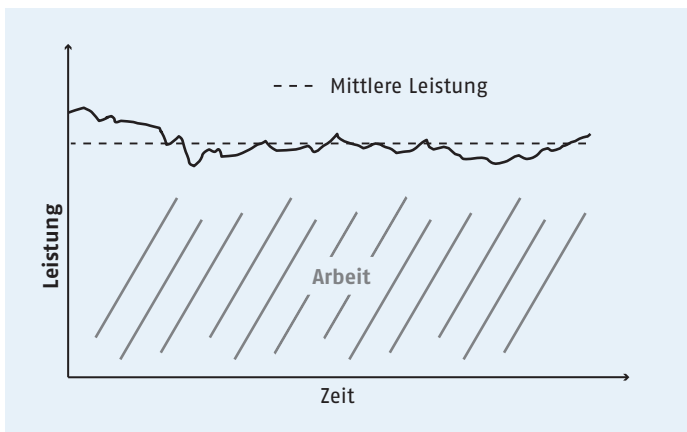


Abbildung 3–6. Leistungsverlauf in einem Kapazitätstest. Die Gesamtarbeit entspricht der Dauer multipliziert mit der mittleren Leistung.

Analyse des Pacing

Falls die Athletin die Belastung in einem Kapazitätstest selber steuert, kann dies das Resultat beeinflussen (Durchschnittsleistung, Distanz usw.). Bei einer Belastungsdauer über 3 min führt ein gleichmässiges Pacing zu den besten Resultaten³⁸. Startet die Athletin zu intensiv und muss sie später die Belastung reduzieren, kann dies das Resultat verschlechtern. Um ein ideales Pacing zu erreichen, kann die Athletin ihr subjektives Belastungsgefühl, ihre Herzfrequenz und die aktuelle Belastung (in W oder km / h) zu Hilfe nehmen. Anhand weiterer physiologischer Parameter (Laktatkonzentration, Atemgase) kann das Pacing ebenfalls untersucht werden. Die Testauswertung sollte genügend Informationen über das Pacing enthalten, um den Einfluss auf das Resultat einschätzen zu können.

Interpretation von Veränderungen

Der typische Messfehler der Ergebnisse eines Kapazitätstests liegt bei 1–3%⁸ (siehe Tabelle 3–10). Um mit vertretbarer Sicherheit sagen zu können, dass eine gemessene Differenz auch eine echte Veränderung ist, muss diese grösser sein als der typische Messfehler.

Bei Spitzenathletinnen kann eine typische Saisonschwankung der leistungsrelevanten Kenngrössen von $4 \pm 4\%$ * erwartet werden (Beginn Aufbauphase zu Vorwettkampfphase, Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen sowie²¹). Die jährliche Leistungsentwicklung ist tiefer und beträgt je nach Alter, individuellen Voraussetzungen und aktuellem Leistungsstand $1 \pm 4\%$ (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).

Kapazitätstests eignen sich auch ideal, um den Einfluss von Interventionen (Trainingsmassnahmen, Höhe- / Hitzeexposition, Koffeinsupplementierung usw.) auf die Wettkampfleistung zu evaluieren.

* Mittelwert \pm Standardabweichung

3.3.5 Referenzwerte

Kapazitätstest Rad

Um Resultate im Quervergleich einordnen zu können, sind in der Tabelle 3–11 Referenzwerte von Spitzenathletinnen und –athleten in verschiedenen Altersklassen für den im Beispiel vorgeschlagenen 20-min-Kapazitätstest aufgelistet.

Tabelle 3–11

Referenzwerte Rad: 20-min-Kapazitätstest

Kategorie	20 min MMP (W / kg)	
	Männer	Frauen
Tour de France Top 3	6.0–6.5	
Rennrad / MTB Elite	5.5–6.0	4.3–4.9
Rennrad / MTB U23	5.0–5.6	4.0–4.7

Anmerkungen. MMP = Maximal Mean Power, Leistungswerte sind skaliert auf das Körpergewicht. Referenzwerte adaptiert von ^{20,42} und Erfahrungswerten «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen.

Kapazitätstest Lauf

Um Resultate im Quervergleich einordnen zu können, sind in der Tabelle 3–12 Referenzwerte von Spitzenathletinnen und –athleten in verschiedenen Altersklassen für den im Beispiel vorgeschlagenen 12-min-Laufest aufgelistet.

Tabelle 3–12

Referenzwerte Lauf: 12-min-Lauf

Kategorie	Distanz 12-min-Lauf (m)	
	Männer	Frauen
International Top 10	> 4650	> 4150
National Top 10	> 4150	> 3550
National U20 Top 10	> 3850	> 3200

Anmerkungen. 12-min-Referenzdistanzen sind aus 3000-m- und 5000-m-Zeiten von 2010 bis 2014 abgeleitet. ^{43,44}

3.4 Referenzen

- Hollmann, W. 42 Years Ago—Development of the Concepts of Ventilatory and Lactate Threshold. *Sports Medicine* 31, 315–320 (2001).
- Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med* 39, 469–490 (2009).
- Tanner, R.K., Gore, C.J. & Australian Institute of Sport. *Physiological tests for elite athletes*, (Human Kinetics, Champaign, IL, 2013).
- Balmer, J., Davison, R.C. & Bird, S.R. Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1-km cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc* 32, 1485–1490 (2000).
- Bentley, D.J., McNaughton, L.R., Thompson, D., Vleck, V.E. & Batterham, A.M. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 33, 2077–2081 (2001).
- McNaughton, L.R., Roberts, S. & Bentley, D.J. The relationship among peak power output, lactate threshold, and short-distance cycling performance: effects of incremental exercise test design. *J Strength Cond Res* 20, 157–161 (2006).
- Davison, R.C., Swan, D., Coleman, D. & Bird, S. Correlates of simulated hill climb cycling performance. *J Sports Sci* 18, 105–110 (2000).
- Hopkins, W.G., Schabert, E.J. & Hawley, J.A. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med* 31, 211–234 (2001).
- Paton, C.D. & Hopkins, W.G. Tests of cycling performance. *Sports Med* 31, 489–496 (2001).
- Bishop, D., Jenkins, D.G. & Mackinnon, L.T. The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc* 30, 1270–1275 (1998).
- Foxdal, P., Sjodin, B., Sjodin, A. & Ostman, B. The validity and accuracy of blood lactate measurements for prediction of maximal endurance running capacity. Dependency of analyzed blood media in combination with different designs of the exercise test. *Int J Sports Med* 15, 89–95 (1994).
- Foxdal, P., Sjodin, A. & Sjodin, B. Comparison of blood lactate concentrations obtained during incremental and constant intensity exercise. *Int J Sports Med* 17, 360–365 (1996).
- Bentley, D.J., Newell, J. & Bishop, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med* 37, 575–586 (2007).
- Heck, H., et al. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International journal of sports medicine*, 117–130 (1985).
- Billat, V.L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztejn, J.P. & Mercier, J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med* 33, 407–426 (2003).
- Mader, A., et al. Zur beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportarzt sportmed* 27, 80–88, 109–112 (1976).
- Tschopp, M. *Manual Leistungsdiagnostik Ausdauer*. Magglingen: Swiss Olympic Medical Center (2001).
- Morton, R.H., Stannard, S.R. & Kay, B. Low reproducibility of many lactate markers during incremental cycle exercise. *Br J Sports Med* 46, 64–69 (2012).
- Seiler, K.S. & Kjerland, G.O. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an «optimal» distribution? *Scand J Med Sci Sports* 16, 49–56 (2006).
- Allen, H. & Coggan, A. *Training and racing with a power meter*, (VeloPress, Boulder, Colo., 2010).
- Paton, C.D. & Hopkins, W.G. Seasonal changes in power of competitive cyclists: implications for monitoring performance. *J Sci Med Sport* 8, 375–381 (2005).
- Tabata, I., et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_{2max}$. *Med Sci Sports Exerc* 28, 1327–1330 (1996).
- Bosquet, L., Delhors, P.R., Duchene, A., Dupont, G. & Leger, L. Anaerobic running capacity determined from a 3-parameter systems model: relationship with other anaerobic indices and with running performance in the 800 m-run. *Int J Sports Med* 28, 495–500 (2007).
- Joyner, M.J. & Coyle, E.F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 586, 35–44 (2008).
- Ivy, J.L., Withers, R.T., Van Handel, P.J., Elger, D.H. & Costill, D.L. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 48, 523–527 (1980).
- Levine, B.D. $\dot{V}O_{2max}$: what do we know, and what do we still need to know? *J Physiol* 586, 25–34 (2008).
- Jacobs, I. Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Med* 3, 10–25 (1986).
- Allen, W.K., Seals, D.R., Hurley, B.F., Ehsani, A.A. & Hagberg, J.M. Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *J Appl Physiol* (1985) 58, 1281–1284 (1985).
- Tanaka, H. Effects of cross-training. Transfer of training effects on $\dot{V}O_{2max}$ between cycling, running and swimming. *Sports Med* 18, 330–339 (1994).
- Bouchard, C., et al. Familial resemblance for $\dot{V}O_{2max}$ in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Med Sci Sports Exerc* 30, 252–258 (1998).
- Hurley, B.F., et al. Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 56, 1260–1264 (1984).

32. Denis, C., Fouquet, R., Poty, P., Geyssant, A. & Lacour, J.R. Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 3, 208–214 (1982).
33. Gaesser, G.A. & Poole, D.C. Blood lactate during exercise: time course of training adaptation in humans. *Int J Sports Med* 9, 284–288 (1988).
34. Martino, M., Gledhill, N. & Jamnik, V. High $\dot{V}O_2$ max with no history of training is primarily due to high blood volume. *Med Sci Sports Exerc* 34, 966–971 (2002).
35. Buchfuhrer, M.J., et al. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 55, 1558–1564 (1983).
36. Steiner, T. & Wehrlin, J.P. Does hemoglobin mass increase from age 16 to 21 and 28 in elite endurance athletes? *Med Sci Sports Exerc* 43, 1735–1743 (2011).
37. Howley, E.T., Bassett, D.R., Jr. & Welch, H.G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 27, 1292–1301 (1995).
38. Atkinson, G., Peacock, O. & Passfield, L. Variable versus constant power strategies during cycling time-trials: prediction of time savings using an up-to-date mathematical model. *J Sports Sci* 25, 1001–1009 (2007).
39. Vogt, S., et al. Cadence–power–relationship during decisive mountain ascents at the Tour de France. *Int J Sports Med* 29, 244–250 (2008).
40. Cooper, K.H. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA* 203, 201–204 (1968).
41. Hegner, J. Training fundiert erklärt: Handbuch der Trainingslehre, (Ingold Verlag, 2009).
42. Pinot, J. & Grappe, F. The record power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med* 32, 839–844 (2011).
43. IAAF. Competition Results. Retrieved from <http://www.iaaf.org/results> (2015).
44. Swiss Athletics. Resultate & Statistik. Retrieved from <http://www.swiss-athletics.ch> (2015).

04



Messverfahren Kraft

Messverfahren Kraft

Die Muskelkraft hat mehrere Erscheinungsformen und wird dementsprechend auch durch eine enorme Vielfalt an Messverfahren beurteilt. Im Gegensatz zur Kraft im physikalischen Sinne (das Produkt aus Masse und Beschleunigung, $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$), wird die Muskelkraft als die Fähigkeit definiert, durch Muskeltätigkeit Widerstände zu überwinden, ihnen entgegenzuwirken oder sie zu halten¹. Anders ausgedrückt ist Muskelkraft die Fähigkeit, den Körper oder ein Objekt zu beschleunigen, zu bremsen, (gegen Schwerkraft oder einen anderen Widerstand) stabil zu halten oder eine Kombination dieser Fähigkeiten. In der Leistungsdiagnostik wird die Muskelkraft oft dementsprechend in einer dieser natürlichen Bewegungsformen gemessen, obwohl es mit modernen Messsystemen möglich ist, eine Art künstliches Halten (z.B. Isometrie mit Kraftmessplatten) oder Beschleunigen (isokinetische Geräte) zu simulieren. Somit werden zur Messung der Muskelkraft physikalisch gesehen drei Formen unterschieden:

- Isoinertiale Messmethoden
- Isometrische Messmethoden
- Isokinetische Messmethoden

Isoinertiale Krafttests (konstante Trägheit) basieren auf einer konstanten Masse* des Gegenstands, der beschleunigt oder gebremst wird. Typische Beispiele dieser Testform sind das Heben und Runterlassen eines Gewichts, das Werfen eines Gegenstands oder das Anschieben eines Geräts. Bei isoinertialen Tests wird entweder eine möglichst grosse Last überwunden oder gebremst (Maximalkraft), eine submaximale Last möglichst schnell bewegt (Schnellkraft) oder so viele Male wie möglich bewegt (Grundkraft/Ermüdungsresistenz). Isoinertiale Krafttests haben den Vorteil, dass die Bewegungsformen und die Muskelaktionen in fast allen Sportarten gegen den Widerstand einer (konstanten) Masse ausgeführt werden (Sprünge, Würfe, Schläge, usw.). Isoinertiale Testformen werden in 4.2, 4.3, 4.4 und 4.5 diskutiert.

Isometrische Krafttests werden in einer statischen Position absolviert, daher der auf eine konstante (Muskel-)Länge verweisende Name. Obwohl keine Bewegung vorkommt, generieren Muskeln ihre maximale Spannung oder halten möglichst lang gegen eine entgegenwirkende Kraft (z.B. Schwerkraft) aus. Während Tests der submaximalen isometrischen Kraft das Festhalten eines sonst beweglichen Objekts als Ziel haben, werden Messungen der maximalen isometrischen Kraft meistens mit speziellen, statischen Einrichtungen ausgeführt und die Bodenreaktionskraft oder das Drehmoment beurteilt. Bei Tests der isometrischen Maximalkraft kann auch die

Kraftentwicklungsrate (die Geschwindigkeit, mit der die Kraft zunimmt) als diagnostischer Indikator der Explosivkraftfähigkeit dienen²⁻⁴. Vorteile von isometrischen Messverfahren sind die hohe Standardisierbarkeit und die geringe Verletzungsgefahr. Ein Nachteil ist, dass die Kraft nur bei einem festgehaltenen Gelenkwinkel auf einmal bestimmt werden kann und Annahmen über die restlichen Gelenkwinkel gemacht werden müssen. Ein Test der isometrischen Maximalkraft wird in 4.1 diskutiert. Der in 4.5 diskutierte Grundkrafttest beinhaltet isometrische und isoinertiale Komponenten.

Isokinetische Tests bieten eine dritte Möglichkeit der Kraftdiagnostik. Diese werden bei einer konstanten vorgegebenen Bewegungsgeschwindigkeit ausgeführt, wobei das Ziel ist, eine möglichst grosse Kraft oder ein möglichst grosses Drehmoment zu generieren. Wegen der konstanten Geschwindigkeit sind isokinetische Tests im Vergleich mit isoinertialen oder isometrischen Tests am wenigsten realitätsnah. Dazu kommt, dass spezielle Messeinrichtungen nötig sind, welche oft nur isolierte oder eingelenkige Bewegungen erlauben. Trotzdem können isokinetische Krafttests in Situationen sinnvoll sein, in denen sonst keine dynamischen Tests vorhanden oder geeignet sind (z.B. für Kniebeuger). Isokinetische Tests haben den Vorteil einer hohen Standardisierbarkeit und einer geringen Verletzungsgefahr, werden aber in diesem Manual nicht diskutiert.

In keine der hier genannten Kategorien gehören Tests oder Übungen, die Bewegungen gegen elastische Widerstände beinhalten. Bei der Dehnung von Gummibändern, zum Beispiel, wird weder die Bewegungsgeschwindigkeit vorgegeben, noch ist der Widerstand von der Bewegungsgeschwindigkeit abhängig. In dieser Situation bestimmen die Dehnbarkeit und die Länge des Bandes den zu überwindenden Widerstand.

* In der Physik ist die Trägheit eines Objekts mit seiner Masse gleichgestellt. Zu beachten ist, dass bei isoinertialen Bewegungsformen nicht der Widerstand, sondern die Masse konstant bleibt. Der Widerstand eines Gegenstands ist nicht nur von seiner Masse, sondern auch von seiner Geschwindigkeit (\vec{v}) abhängig. Daher variiert der Widerstand, je nachdem ob die Masse stillsteht, sich die Masse bereits in die Richtung der Muskelkraft bewegt oder sie sich in die Gegenrichtung bewegt.

4.1 Test der isometrischen Maximalkraft (am Beispiel Kniebeugstellung)

4.1.1 Einleitung

Maximalkraft ist die neuromuskuläre Fähigkeit, willkürlich eine grösstmögliche Kraft gegen einen Widerstand zu generieren, sei es bei isometrischen oder bei dynamischen konzentrischen oder exzentrischen maximalen Muskelaktionen⁵. Aus physiologischer Sicht hängt die Maximalkraft vor allem mit der Muskelmasse und der Muskelarchitektur zusammen⁶. Die dynamische Maximalkraft profitiert zusätzlich von einer optimal (in Bezug auf die spezifische Bewegung) koordinierten Muskelrekrutierung, sowohl intra- als auch intermuskulär^{7–10}.

Aus diagnostischer Sicht ist die Maximalkraft ein Messparameter ohne Zeit- bzw. Geschwindigkeitskomponente. In manchen sportlichen Tätigkeiten spielt die Maximalkraft selbst eine leistungsentcheidende Rolle (z.B. beim Ringen¹¹ oder anderen Kampfsportarten, beim Segeln¹² oder im Rugby¹³), während sie in den meisten Situationen ein Zubringer für eine hohe Muskelleistung (welche hingegen eine Geschwindigkeitskomponente hat) ist. Im letzteren Fall setzt die Maximalkraft die obere Kraftgrenze des Kraft-Geschwindigkeit-Spektrums bei dynamischen Aktionen und prägt somit das individuelle Leistungs-Geschwindigkeit-Profil mit. Nicht nur bei explosiven, maximalen Einzelaktionen, sondern auch bei submaximalen, repetitiven Kontraktionen hat die Maximalkraft einen Einfluss auf die Kraftreserven und damit auf die Muskelleistung und Ermüdungsresistenz.

Obwohl die isometrische Kraft bei den meisten sportlichen Tätigkeiten eine weniger offensichtliche Rolle spielt als die dynamische Kraft, kommen isometrische Muskelkontraktionen oft im Rumpf oder anderen stabilisierenden Körperteilen vor, die für das Gleichgewicht oder die Kraftübertragung entscheidend sind. Trotzdem sind Messungen der isometrischen Maximalkraft bei Muskelgruppen sinnvoll, die sich im Sport dynamischen bewegen, solange man den Zusammenhang zwischen isometrischer und dynamischer Maximalkraft versteht und die Ergebnisse zu interpretieren weiss.

Mit entsprechender Einrichtung und dem entsprechenden Messinstrument sind isometrische Kraftmessungen bei diversen Übungsformen möglich. Eine einfache Einrichtung mit einer Kraftmessplatte und einer fixierbaren Langhantel ermöglicht isometrische Kraftmessungen bei den üblichsten Langhantelübungen wie Bankdrücken^{3,14}, Umsetzen^{2,4,15} oder verschiedenen Formen des Kniebeuens^{16–18}.

Kniebeugen mit der Langhantel ist eine weitverbreitete Kraftübung für die Streckerkette der unteren Extremität. Dabei spielen Fuss-, Knie-, Hüft- und untere Rückenstrecker zusammen, um den Körper aus der Hocke in eine stehende Position aufzurichten. Da normalerweise das Zusatzgewicht der Langhantel auf den Schultern gehalten wird, ist für eine sichere und korrekte Ausführung zusätzlich eine stabile Rumpfmuskulatur wichtig, um den Rücken zu stabilisieren und die Kraft der Beine auf die Last zu übertragen. Daher gilt das Kniebeugen mit Langhantel als eine sehr globale Kraftübung, welche sich gut für die Maximalkraftdiagnostik eignet.

Die isometrische Maximalkraft (F_{\max}) in der Kniebeugstellung hängt stark mit der dynamischen Maximalkraft zusammen^{16–19}. F_{\max} stellt also eine zeitsparende, sicherere Alternative zur direkten 1-Repetition Maximum-Bestimmung (vgl. 4.2 Das 1-Repetition Maximum) dar, vor allem wenn es um Richtwerte für die Intensitätssteuerung im Krafttraining geht. Weiter hängt eine hohe F_{\max} der Beine stark mit der explosiven Sprungleistung zusammen^{19,20}.

Obwohl die isometrische Bestimmung der Maximalkraft den Vorteil einer geringen Verletzungsgefahr hat, eignet sie sich aus diagnostischer Sicht nicht gut für Ungeübte. Bei Athleten, die die Kniebeugen-Technik nicht beherrschen, ist die Aussagekraft erniedrigt. Messungen der F_{\max} sind gelenkwinkelspezifisch. Es können beliebige Positionen im gesamten Bewegungsumfang getestet werden, die Kraft variiert aber als Funktion der Muskellänge und des Hebelarms des Muskels um dessen Gelenke¹⁶ (Abbildung 4–1). Dies muss der Testleiterin bei der Bestimmung der Winkel, Erfassung der Messwerte und Interpretation der Resultate bewusst sein.

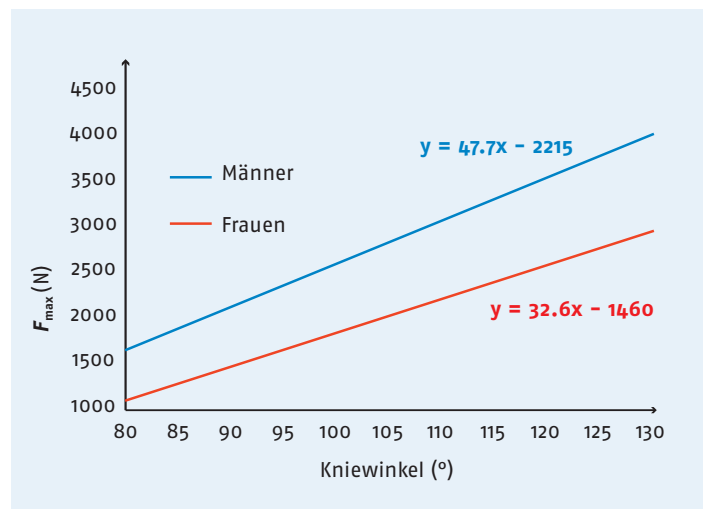


Abbildung 4–1. Isometrische Maximalkraft (F_{\max}) in der Kniebeugstellung im Verhältnis zum Kniewinkel. Reproduziert nach Duss & Hobi¹⁶.

Generell ist bei allen Sportarten ein tiefer Kniewinkel (90° oder kleiner) zur Messung der isometrischen Maximalkraft zu empfehlen. Im Vergleich mit einem grösseren Kniewinkel korreliert die isometrische F_{\max} aus tieferen Winkeln stärker mit dem 1-RM¹⁷ oder mit der Explosivkraft bei Sprüngen²¹ und fördert aus didaktischer Sicht auch die korrekte Ausführung des Kniebeuens. Eine zweite Messung mit einem Kniewinkel ab 100° hat aber auch Vorteile. Bei einem grösseren Kniewinkel ist der Athlet in der Lage, eine höhere F_{\max} zu generieren. Dadurch wird die Rumpfstabilisation stärker angesprochen, was zum diagnostischen Mehrwert der Messung beiträgt. Weiter entsprechen die grösseren Knie- und Hüftwinkel besser der Körperstellung, in der die Leistungsspitze beim Vertikalsprung erreicht wird (Erfahrungswert «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).

4.1.2 Ziele

- Bestimmung der einbeinigen sowie beidbeinigen maximalen konzentrischen Kraft in zwei standardisierten Stellungen
- zur Klassifizierung oder Verfolgung der Leistungsentwicklung,
- als Richtwerte für die Krafttrainingssteuerung,
- als Voraussetzung für die Muskelleistung (z.B. Sprungleistung).

4.1.3 Methodik

Grundsätzlich kann in einem oder mehreren Gelenkwinkeln beid- oder einbeinig gemessen werden. Je nach Situation ist eine Kombination der verschiedenen Möglichkeiten sinnvoll. Die genauen Winkel sind hier nicht vorgegeben, sind aber auf jeden Fall genau und sinnvoll (z.B. sportartspezifisch) zu definieren.

Vor dem Test wärmt sich der Athlet genügend auf. Empfohlen wird ein Aufwärmen der Bein- und Rumpfmuskulatur (Dauer 10–15 Minuten) gefolgt von einigen submaximalen Kniebeugen mit der Langhantel. Stabile Schuhe mit harten Sohlen (z. B. Gewichtheberschuhe) und eine kurze Hose sind zu empfehlen.

Einstellung

Der Test wird in einem Kniebeugenständer oder in einer anderen geeigneten Vorrichtung durchgeführt. Wichtig ist, dass die Langhantel auf verschiedene Höhen fixiert werden kann*. Von Vorteil ist, wenn der Kniebeugenständer mit dem Boden verschraubt oder sonst befestigt ist. Vor dem Test positioniert die Testleiterin die Kraftmessplatte unter dem Kniebeugenständer oder einer anderen geeigneten Vorrichtung so, dass alle vier Platten-Standfüsse festen Kontakt mit dem harten Untergrund haben. Die Kraftmessplatte wird vor jedem Test nach Herstellerangaben kalibriert oder genullt, und vor dem ersten Test von der Testleiterin (z.B. mit ihrem eigenen

Körpergewicht) geprüft. Im Labor wird auf eine stabile Temperatur geachtet, da Temperaturschwankungen im Bereich der Kraftmesssensoren zu einer Abweichung der Sensoren führen können.

Für alle Messvarianten ist die Körperstellung des Athleten grundsätzlich dieselbe. Sie entspricht der Haltung bei einer dynamischen Kniebeugenbewegung. Der Athlet steht mit der Hantel auf den Schultern und den Füßen zentriert auf der Kraftmessplatte (Abbildung 4–2). Auch zu beachten ist, dass der Athlet ein möglichst neutrales Blickfeld hat. Beim Kontrollieren der Körperstellung sind folgende Punkte besonders zu beachten²²:

- Die Hantel liegt auf dem Kapuzenmuskel (*M. trapezius*), oberhalb der Schulterblätter.
- Die Füße sind direkt unter der Hantel, die Fersen sind schulterbreit, die Fußspitzen sind leicht nach aussen rotiert.
- Der Druck ist auf der ganzen Fußsohle verteilt.
- Die Knie sind über den Fußspitzen (Sagittalebene) und in der Achse zwischen Füßen und Hüften (Frontalebene).
- Das Gesäss weicht nicht nach hinten aus, Hüfte und Oberkörper bleiben eng beim Körperschwerpunkt.
- Der Rücken ist gerade, der Kopf aufrecht und der Blick gradeaus gerichtet.

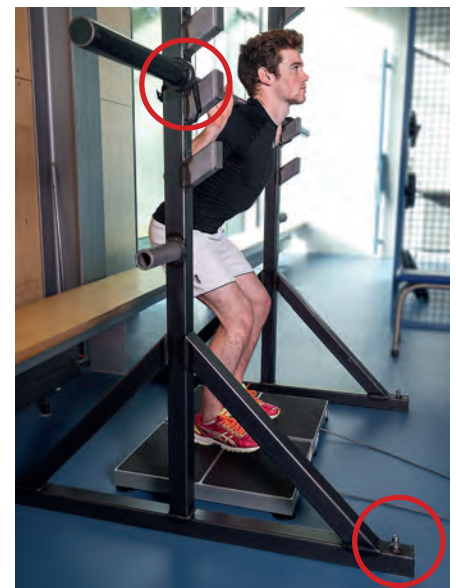


Abbildung 4–2. Ausführungsposition beim Test der beidbeinigen isometrischen Maximalkraft in der Kniebeugenstellung. Der Kniebeugenständer ist am Boden fixiert und die Hantelstange mit dem Kniebeugenständer fest verbunden (rot umkreist).

* Die Hantel wird entweder zum Ständer fest fixiert (z.B. durch Riemen) oder mit genügend Gewicht geladen, dass der Athlet sie nicht abheben kann.



Abbildung 4–3. Kontrollieren des Kniewinkels beim Test der isometrischen Maximalkraft in der Kniebeugenstellung.

Für die einbeinigen Messungen steht der Fuss des zu messenden Beins zentriert auf der Platte und das inaktive Bein wird hinten angehoben (ohne Kontakt zum Boden, zur Vorrichtung oder zum Standbein). Falls der Athlet während einer Messung von der korrekten Körperstellung abweicht, wird er von der Testleiterin korrigiert. Entsprechend dem gewählten Kniewinkel und der Körpergrösse des Athleten wird die Hantel jeweils auf der richtigen Höhe fixiert. Um diese Höhe möglichst genau einzustellen, wird der Kniewinkel mittels eines Winkelmessgeräts (Goniometer) gemessen, während der Athlet die Hantel andrückt (Abbildung 4–3). Damit wird eine allfällige Verbiegung der Hantelstange beim Einstellen berücksichtigt. Beim erstmaligen Test wird der Winkel beim ersten maximalen Versuch nochmals geprüft. Die Einstellungen werden notiert und bei Testwiederholungen reproduziert (unter der Annahme, dass kein Körperwachstum vorliegt). Je nach Vorliebe des Athleten können Messungen mit einer Polsterung um die Hantelstange oder ohne Polsterung durchgeführt werden. Diese Testbedingung wird aber notiert und bei Testwiederholungen reproduziert.

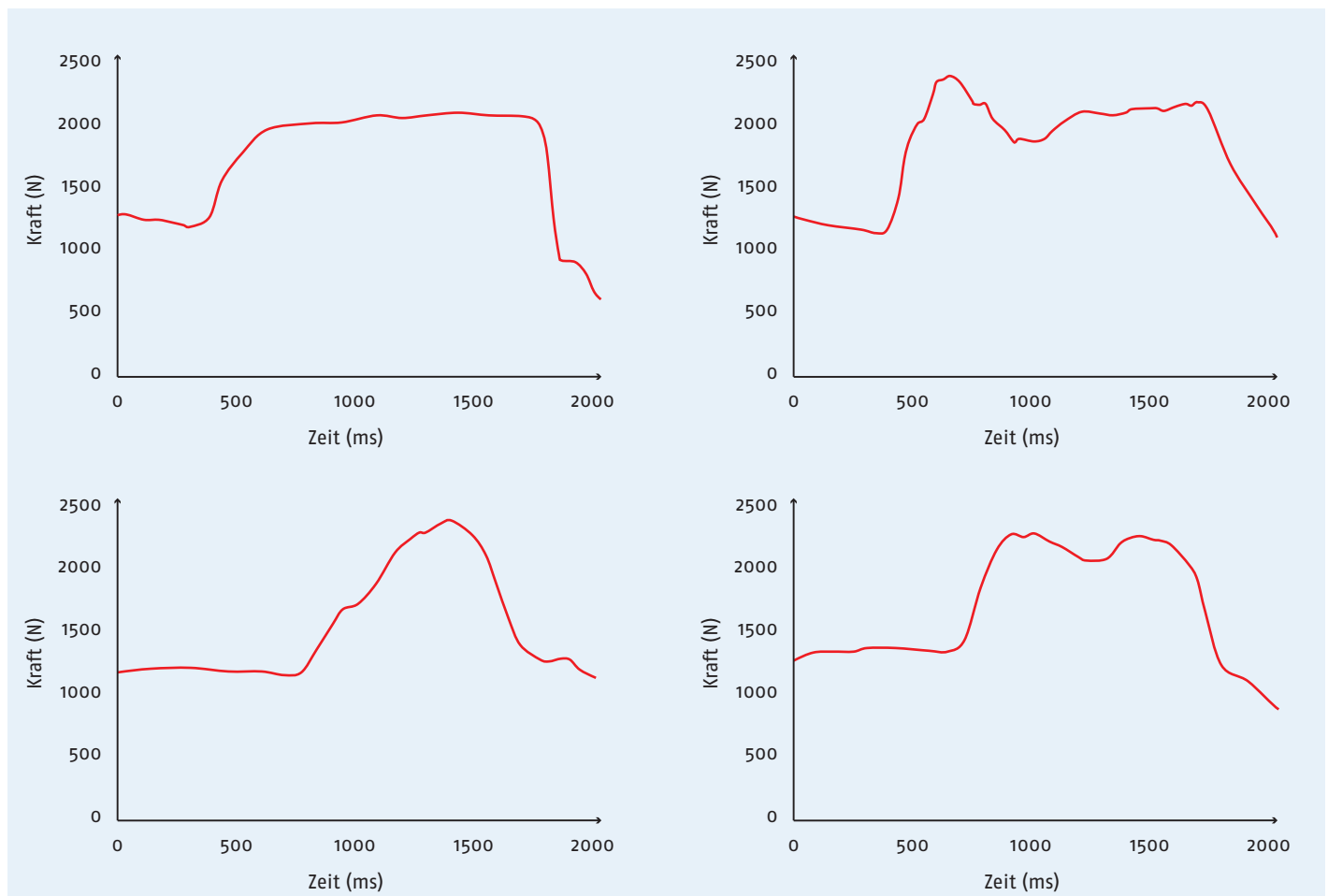


Abbildung 4–4. Beispiele eines gültigen Versuchs (oben links) und von drei ungültigen Versuchen (oben rechts und unten) beim Test der isometrischen Maximalkraft. Im gültigen Beispiel wird ein Plateau im Kraft-Zeit-Verlauf gemessen. Das Plateau entspricht der isometrischen Maximalkraft (F_{\max}). In den anderen Beispielen fehlt ein Plateau oder sind auffällige Kraftspitzen, die gegen oben ausreissen, ersichtlich.

Ausführung

Bei allen Messungen gibt die Testleiterin den Befehl nachdem der Athlet die Ausgangsposition eingenommen hat. Der Athlet drückt steigernd über etwa zwei Sekunden, dann während zwei Sekunden oder bis zum Stopp-Befehl maximal und so konstant wie möglich (um kurze Kraftspitzen zu vermeiden) gegen die Hantelstange. Es wird pro Position jeweils der beste Wert aus 2–3 Versuchen behalten. Zwischen den Versuchen stehen dem Athleten 30 Sekunden zur Verfügung, um sich aufzurichten und um sich zu erholen. Während der Messung kontrolliert die Testleiterin, dass das Kraftsignal beim maximalen Andrücken ein sauberes Plateau erreicht (Abbildung 4–4 oben links) und keine auffällige Spitzen nach oben hat (Abbildung 4–4 oben rechts und unten). Ansonsten wird der Versuch verworfen und wiederholt.

Instruktion: Auf den Startbefehl den Druck gegen die Hantel und die Kraftmessplatte über zwei Sekunden bis zum Maximum kontinuierlich aufbauen. Anschliessend diesen maximalen Druck während zwei Sekunden aufrechterhalten.

4.1.4 Auswertung und Interpretation

Für die Interpretation dienen primär die beidbeinige F_{\max} (absolut, in N) und die auf das Körpergewicht skalierte F_{\max} (siehe 2.4.2 Analyse). Die F_{\max} -Werte können leicht von N in kg umgerechnet werden, falls dies für den Athleten verständlicher ist. Sekundär sind die links-rechts-Seitendifferenz und das bilaterale Defizit zu beurteilen.

$$\text{Seitendifferenz (\%)} = \left(1 - \frac{\text{tieferer Wert}}{\text{höherer Wert}}\right) \cdot 100$$

$$\text{bilaterales Defizit (\%)} = \left[\frac{F_{\max \text{ beidbeinig}}}{(F_{\max \text{ links}} + F_{\max \text{ rechts}})} - 1 \right] \cdot 100$$

Das bilaterale Defizit beschreibt den Verlust an Kraft pro Bein bei beidbeiniger Aktivierung, im Vergleich zur einbeinigen Aktivierung. Für das Grobeinordnen des Leistungsniveaus dienen die dargestellten Referenzwerte. Für den Quer- und Längsvergleich der Testergebnisse wird die Reliabilität (Messreproduzierbarkeit) des verwendeten Messsystems und vor allem des Testverfahrens berücksichtigt. Studien zeigen, dass die F_{\max} bei Kniewinkeln zwischen 90° und 140° eine sehr gute Test-Retest-Reliabilität (Intraklass-Korrelation > 0.97) aufweist^{17–19}. Mit den hier beschriebenen Methoden liegt der Messfehler für die beidbeinige F_{\max} sowie für die Seitendifferenz und das bilaterale Defizit unter 3%, während der Messfehler für die einbeinige F_{\max} unter 5% liegt (Datenanalyse «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).

Eine zentrale Bedingung für den Quervergleich zwischen Athleten oder Sportarten ist, dass alle Messungen im gleichen Kniewinkel erfolgen. Noch besser für den Längsvergleich eines Athleten ist, wenn zu allen Zeitpunkten mit derselben Fixationshöhe der Hantelstange gemessen wird, da die Höhe einfacher und genauer zu reproduzieren ist als der Winkel.

Wie in den Referenzwerten ersichtlich, sind Seitendifferenzen bis ~10% im normalen Bereich (Erfahrungswert «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen). Kleinere Differenzen können jedoch auf Grund der Messgenauigkeit bei der Testauswertung festgestellt und erwähnt werden. Grössere Seitendifferenzen sind im Sinn einer muskulären Dysbalance auf jeden Fall zu erwähnen, um diese im Training gezielt zu korrigieren.

Das bilaterale Defizit stellt das Verhältnis zwischen uni- und bilateraler Kraft dar. Dass einzelne Extremitäten bei bilateralen isometrischen Kontraktionen weniger Kraft produzieren als bei unilateralen Kontraktionen, hat einen neuronalen Hintergrund²³ und ist durch uni- oder bilaterales Training veränderbar^{24,25}. Tendenziell sind in Sportarten, in denen die unilaterale Kraft besonders gefordert ist, grössere bilaterale Defizite üblich²⁶. Jedoch ist die interindividuelle Streuung meist gross (siehe Referenzwerte). Dementsprechend ist ein Quervergleich mit Vorsicht zu interpretieren.

Anhand der isometrischen F_{\max} ist eine Schätzung der dynamischen Maximalkraft (1-Repetition Maximum, siehe 4.2) möglich, da diese zwei Parameter linear miteinander korrelieren. Für die Umrechnung sind folgende Regressionen vorhanden:

$$1\text{-RM (kg)} = 0.063 \cdot F_{\max} \text{ (N)} + 19 \quad (1\text{-RM und } F_{\max} \text{ jeweils aus demselben Kniewinkel, zwischen } 90 \text{ und } 120^\circ, r = 0.90)^{16}$$

Zuletzt können aus der isometrischen Maximalkraftmessung eventuell Hinweise auf eine mangelhafte Rumpfstabilität erkannt werden. Im Normalfall zeigt die Kraftaufzeichnung nach dem initialen Anstieg ein flaches Plateau (Abbildung 4–4 oben links). Bei Athleten, bei denen die Kraftaufzeichnung wellig oder zackig ist (Abbildung 4–5), scheint eine schlechte Übertragung der Beinkraft zur Hantelstange, bedingt durch eine mangelnde Rumpfstabilität, vorzuliegen. Dies gilt es bei der Testauswertung zu erwähnen. Ein weiterer Hinweis für eine schlechte Übertragung der Beinkraft ist eine tiefe F_{\max} im hohen Winkel im Verhältnis zum tiefen Winkel (siehe Referenzwerte).

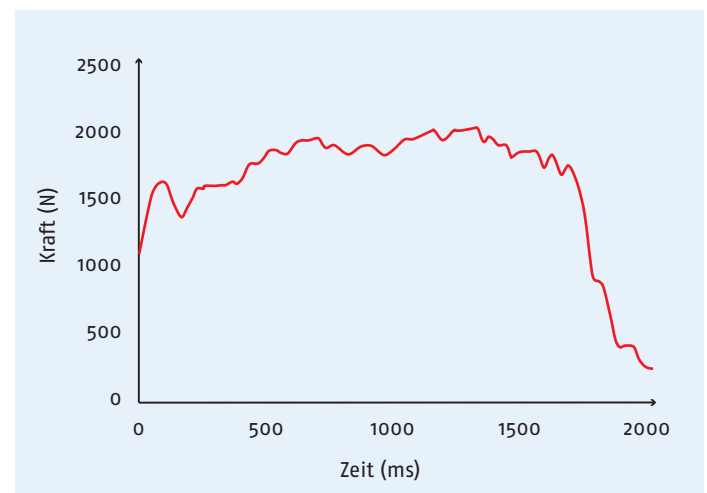


Abbildung 4–5. Kraft-Zeit-Kurve beim Test der isometrischen Maximalkraft, die eine mögliche Instabilität im Rumpfbereich erkennen lässt (zackige, wellige Kurvenform).

4.1.5 Referenzwerte

Tabelle 4-1

Isometrische Maximalkraft in Kniebeugenstellung nach Sportart

		Körpergewicht (kg)	F_{\max} (N)			Seitendifferenz (%) *	bilaterales Defizit (%) *
			beidbeinig, Kniewinkel 70°	beidbeinig, Kniewinkel 100°	einbeinig *		
BMX	Frauen	–	–	–	–	–	–
	Männer	76 – 88	2142 – 2727	2775 – 3713	1785 – 2162	0 – 3	–(23 – 13)
Eishockey	Frauen	–	–	–	–	–	–
	Männer	83 – 96	2110 – 2354	2650 – 3379	1716 – 2098	1 – 5	–(26 – 16)
Leichtathletik‡	Frauen	56 – 69	1327 – 1648	1564 – 2347	1099 – 1465	1 – 10	–(31 – 17)
	Männer	71 – 88	1626 – 2712	2053 – 3586	1380 – 2181	–4 – 16	–(29 – 14)
Ski Alpin	Frauen	61 – 74	1401 – 1769	1846 – 2670	1237 – 1675	0 – 8	–(28 – 17)
	Männer	77 – 93	2067 – 2559	2797 – 3678	1771 – 2301	0 – 7	–(27 – 13)
Skisprung*	Frauen	–	–	–	–	–	–
	Männer	60 – 72	1563 – 1933	1563 – 1933	1044 – 1277	1 – 6	–(30 – 19)

Anmerkungen. Angaben stellen den Gruppenmittelwert \pm 1 Standardabweichung für Schweizer Nationalkaderathletinnen und -athleten dar. *Einbeinige F_{\max} -Werte sowie Seitendifferenzen und bilaterale Defizite sind bei einem Kniewinkel von 100° ausser für Skisprung (Kniewinkel 70°). †Werte für Leichtathletinnen und Leichtathleten nur aus Sprint- oder Sprungdisziplinen.

4.2 Das 1-Repetition Maximum (1-RM): Test der dynamischen Maximalkraft (am Beispiel Bankdrücken)

4.2.1 Einleitung

Dynamische Maximalkrafttests, die für eine bestimmte Übung die grösste überwindbare Last ermitteln, gehören konzeptuell zu den einfachsten Krafttests überhaupt. Die Last, die gerade einmal durch den geforderten Bewegungsumfang bewegt werden kann (das 1-Repetition Maximum, 1-RM), ist ein praktischer und verständlicher Indikator für die Maximalkraft. Das 1-RM liefert wichtige Information für die Intensitätssteuerung (% 1-RM) im Krafttraining sowie für die Beurteilung der Leistungsentwicklung²⁷. Ein 1-RM-Test ist bei praktisch allen Kraftübungen möglich, die mit Zusatzlasten durchgeführt werden, und bedarf keiner zusätzlichen Einrichtung oder Messinstrumente.

Die dynamische Maximalkraft ist ein leistungsentscheidender Faktor in einigen Sportarten, aber auch eine wichtige Voraussetzung für die Muskelleistung, die in einer grossen Anzahl von Sportarten eine zentrale Rolle spielt²⁸. So korreliert das 1-RM der Beinstrecker gut mit der Sprung- und Sprintleistung^{20,29}. Die dynamische Maximalkraft im Oberkörper korreliert stark mit der Leistung bei sportspezifischen Bewegungen wie dem Kugelstossen³⁰ oder dem Ruderschlag³¹.

Bankdrücken gilt als eine der Grundübungen für das Krafttraining des Oberkörpers und beansprucht die Muskeln *M. pectoralis major*, *M. deltoideus* und *M. triceps brachii*³². Die Bankdrücken-Maximalkraft ist leistungsbestimmend in einer Menge verschiedener

Sportarten, wie z.B. Wurfdisciplinen³⁰, Eishockey³³, Rugby³⁴ und Segeln³⁵. Daher bietet sich das Bankdrücken als Leistungstest der Maximalkraft im Oberkörper an. Grundsätzlich kann aber mit dem hier beschriebenen Vorgehen ein 1-RM-Test auch mit anderen Kraftübungen durchgeführt und damit die dynamische Maximalkraft bestimmt werden.

4.2.2 Ziele

- Bestimmung des 1-RMs im Bankdrücken
- Ableitung der Trainingsintensitäten im Krafttraining (%1-RM)

4.2.3 Methodik

Vor dem Test wärmt sich der Athlet während 10–15 Minuten entsprechend auf. Eine Bankdrückserie von 8–10 Wiederholungen mit ca. 75% des geschätzten 1-RMs beziehungsweise mit einer mittelschweren Last gehört sicherlich zum Aufwärmprogramm. Nach einer 5–10-minütigen Pause im Anschluss an das Aufwärmen beginnt der Test mit einer Last etwa 10–15 kg unter dem geschätzten 1-RM. Wird zum ersten Mal getestet oder ist keine gute Schätzung des 1-RMs möglich, beginnt man besser mit einer zu leichten als einer zu schweren Last. Als Alternative kann (z.B. während des Aufwärmens) mit einer submaximalen Last die maximale Anzahl Wiederholungen (Ausbelastung nach maximal 10 Wiederholungen) bestimmt und das 1-RM anhand einfacher Regressionen³⁶ geschätzt werden*. Jedoch dienen solche Regressionen nur für eine grobe Einschätzung, da Wiederholungszahlen bei submaximalen Lasten mit Übungsform³⁷, Ausführungsgeschwindigkeit³⁸, Trainingsniveau und Geschlecht³⁹ stark variieren.

* 1RM Last = submaximale Last \cdot (1 + 0.025 \cdot submaximale Wiederholungszahl)

Einstellung

Zur Durchführung des 1-RM-Bankdrücken-Tests wird am Fuss einer Langbank mit Halterung und Langhantel eine zweite Bank oder ein Schwedenkastenteil (gleiche Höhe) quer platziert, damit die Füße aufgestellt werden können. Für den 1-RM-Test stehen links und rechts je eine Person, die mit dem Gewicht helfen (Abbildung 4–6).

Ausführung

Mit Hilfe der beiden Testhelfer nimmt der Athlet die Hantel aus der Halterung und stemmt die gewählte Last einmal. Danach wird die Hantel wieder mit Hilfe in die Halterung gelegt und es folgt eine Pause von mindestens drei Minuten (maximal fünf) bis zum nächsten Versuch. Nach jedem erfolgreichen Versuch wird die Last gesteigert. Am Anfang sind je nach Anstrengung grössere Steigerungsschritte (z.B. 5–10 kg) sinnvoll. Je mehr man sich dem 1-RM nähert, umso kleiner werden die Steigerungsschritte (z.B. 2.5 kg). Solange der Athlet die Last ohne Hilfe hochstemmen kann, wird weitergetestet. Kann die Last nicht mehr hochgestemmt werden, greifen die Testhelfer ein und der Versuch gilt als gescheitert. Ferner gilt ein Versuch als gescheitert, wenn die Durchführung mangelhaft ist. Bezüglich der Durchführung sind folgende Punkte für die Testleiterin besonders zu beachten; diese dienen gleichzeitig als Kriterien für einen erfolgreichen, gültigen Versuch:

- Die Füße stehen angewinkelt auf der quergestellten Bank oder dem Kastenteil (um ein Hohlkreuz zu vermeiden).
- Die Last wird kontrolliert runtergelassen.
- Die Hantelstange berührt im Umkehrpunkt leicht die Brust (kein Abfedern der Hantelstange auf dem Brustkorb).
- Die Last wird ganz und ohne Hilfe gestemmt, bis die Arme gestreckt sind.
- Die Griffbreite wird nicht vorgegeben.

Bei einem gescheiterten Versuch kann sich der Athlet nach einer Pause mit derselben Last noch einmal versuchen. Wenn zwei Versuche bei derselben Last scheitern oder ungültig sind, wird der Test abgebrochen und die zuletzt erfolgreich gestemmt Last als 1-RM gewertet. Idealerweise umfasst der Test drei bis maximal fünf Laststufen.

Alternative Variante: 3-RM oder 5-RM. Beim Krafttraining werden meistens Lasten benutzt, die mindestens drei Wiederholungen zulassen. Daher ist ein Test des 3-RM oder 5-RM eventuell eine sinnvolle Alternative, wenn es um die Trainingssteuerung geht. Der Test läuft grundsätzlich nach denselben Prinzipien wie für das 1-RM beschrieben ab.

4.2.4 Auswertung und Interpretation

Als einfacher Test der Maximalkraft liefert der 1-RM nur einen Wert für die Beurteilung. Der 1-RM-Wert wird absolut (kg) und skaliert zum Körpergewicht des Athleten (siehe 2.4.2 Analyse) interpretiert. Für die Einordnung des 1-RM im Bankdrücken dienen die dargestellten Referenzwerte. Für den Quer- und Längsvergleich der Testergebnisse wird die Reliabilität (Messreproduzierbarkeit) dieses Testverfahrens berücksichtigt. Bei korrekt durchgeführten 1-RM Tests mit verschiedenen Übungsformen ist generell mit einem Messfehler von < 2% zu rechnen ⁴⁰.



Abbildung 4–6. Ausgangsstellung (links) und Ausführung (rechts) beim Bankdrücken.

4.2.5 Referenzwerte

Tabelle 4–2

1–Repetition Maximum beim Bankdrücken nach Sportart

		Körpergewicht (kg)	1–RM (kg)	Referenz
Eishockey ^a	Frauen Männer	56–71 81–95	34–50 89–114	«Swiss Olympic Medical Center» Magglingen
Handball ^b	Männer	82–100	84–118	«Swiss Olympic Medical Center» Magglingen
Langlauf ^c	Männer	71–81	65–85	⁴¹
Segeln ^d	Männer	85–110	96–143	³⁵

Anmerkungen. ^aSchweizer Nationalmannschaft. ^bSchweizer U23–Kader. ^cElite National / International. ^dAmerica's Cup Teilnehmer.

4.3 Vertikalsprünge: Test der Explosivkraft der Beine

4.3.1 Einleitung

Die Explosivkraft ist die Fähigkeit, das Kraftpotential der Muskulatur in kurzer Zeit so umfänglich wie möglich abzurufen^{1,42}. Sie kann isometrisch als die Kraftentwicklungsrate gemessen werden^{4,43}, wird aber meistens in einer dynamischen Bewegung durch Tests der Muskelleistung gemessen (Leistung = Kraft · Geschwindigkeit, $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$). Die Muskelleistung und somit die Explosivkraft hängt zwar einerseits von der Maximalkraft ab, umfasst aber zusätzlich eine wichtige Zeit- bzw. Geschwindigkeitskomponente. Letztere wird durch die neurale Aktivierungsgeschwindigkeit sowie durch die Fähigkeit beeinflusst, die Elastizität der passiven Strukturen auszunutzen und die involvierten Muskeln optimal miteinander zu koordinieren. Bei dynamischen Bewegungen wird die Explosivkraft, direkt oder indirekt, mit der durchschnittlichen Leistung oder der Spitzenleistung, die innerhalb eines begrenzten Zeitfensters erbracht wird, quantifiziert. Beispiele für solche spezifischen Zeitfenster sind die Bodenkontaktzeit des Fusses beim Laufsprint oder bei einem Reaktivsprung sowie die Beschleunigungsphase bei einem Sprung oder einem Wurf.

Um eine möglichst hohe Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung über den gesamten Bewegungsumfang zu erzielen, eignen sich für die Explosivkraftdiagnostik ballistische Bewegungsformen am besten^{44,45}. Damit sind Aktionen gemeint, bei welchen das beschleunigte Objekt am Schluss zum Fliegen kommt (z.B. Sprung oder Wurf)*. Ballistische Aktionen können die Kopplung einer exzentri-

schen mit einer konzentrischen Phase oder nur eine konzentrische Phase beinhalten.

Die Explosivkraft der unteren Extremität ist ein wichtiger Faktor in Sprint- und Sportsportarten, da vertikale oder horizontale Sprünge oder maximale Beschleunigungen zu Fuss gefordert werden. Da vertikale Sprünge eine maximale Aktivierung der gesamten unteren Streckerkette (Fuss-, Knie-, Hüft- und unteren Rückenstrecker-muskeln) erfordern⁴⁶, bieten diese eine geeignete Form, um damit die Muskelleistung zu bestimmen. Eine hohe Sprunghöhe oder eine gute Sprungleistung ist wichtig in Sportsportarten wie Basketball und Volleyball. Ferner korrelieren diese Parameter mit der Sprintleistung^{20,47}, vor allem mit der frühen Beschleunigungsphase beim Sprint^{20,48–50}, sowie mit sportspezifischen Parametern wie der Schussgeschwindigkeit im Fussball^{51,52}.

Sprungtests werden mit einer Vielfalt an verschiedenen Messsystemen durchgeführt. Kontaktmatten und Fotozellen berechnen die Sprunghöhe aus der Flugzeit. Beschleunigungsmesser und Seilzug-Wegsensoren messen bzw. berechnen kontinuierlich die Beschleunigung und Geschwindigkeit und daraus den entsprechenden Kraftverlauf, während Kraftmessplatten die Kraft am Boden direkt messen. Aus dieser werden die Beschleunigung, Geschwindigkeit sowie die Sprunghöhe berechnet⁵³. Wir empfehlen Sprungtests wenn möglich auf einer Kraftmessplatte oder mit einem Wegsensor durchzuführen, da beide kontinuierliche Berechnungen der Beschleunigung und der Geschwindigkeit und somit der konzentrischen Durchschnitts- und Spitzenleistung ermöglichen. Die empfohlene Messfrequenz solcher Geräte ist mindestens 350–700 Hz⁵³. Für Tests im Feld oder wenn keine Kraftmessplatte vorhanden ist, bieten sich einfachere Messungen der Sprunghöhe (z.B. Jump-and-Reach) bzw. der Flugzeit (Kontaktmatte). In jedem Fall erkennt die Testleiterin, dass Testwerte von verschiedenen Messsystemen voneinander abweichen⁵³, und entscheidet sich bewusst für ein Messsystem.

Bei den verschiedenen Sprungformen wie auch in verschiedenen Sportarten werden Aspekte wie konzentrische Kraft, Kontraktionsgeschwindigkeit, Elastizität des Gewebes oder Koordination unterschiedlich betont. Die hier beschriebene Testmethodik bietet eine Möglichkeit, Sprungformen zu kombinieren. Je nach Situation eignet sich aber nur eine Auswahl davon.

4.3.2 Ziele

- Bei verschiedenen Sprungformen die Explosivkraftfähigkeit der unteren Extremität ermitteln
- Hinweise auf mögliche Schwachstellen (muskelmekanische, neuronal oder strukturelle Mechanismen) erkennen.

* Studien zeigen, dass bei üblichen (nicht-ballistischen) Kraft- oder Langhantelübungen ein unbewusstes Bremsen oder Reduzieren der Kraft gegen Ende der konzentrischen Phase geschieht^{44,45}.

4.3.3 Methodik

Um ein möglichst optimales Testergebnis zu erreichen, muss der Athlet bereit sein, sein volles Leistungsvermögen abzurufen. Daher folgt nach einem globalen Aufwärmen (Dauer 10–15 Minuten) eine spezifische Aktivierung der involvierten Muskulatur mit einigen explosiven Strecksprüngen oder mit Hüpfübungen. Eventuell gehören auch einige kurze dynamische Dehnübungen zur unmittelbaren Vorbereitung⁵⁴.

Einstellung

Vor dem Test positioniert die Testleiterin das gewählte Messsystem in einem möglichst offenen Raum mit einem harten und ebenen Untergrund. Es ist auch zu beachten, dass der Athlet ein möglichst neutrales Blickfeld hat und die Decke hoch genug ist. Vor jedem Test wird das Messsystem nach Herstellerangaben kalibriert bzw. genullt und vor dem ersten Test von der Testleiterin mit einem Testsprung geprüft. Besonders bei Messungen mit einer Kraftmessplatte wird auf eine stabile Labor-Temperatur geachtet, da Temperaturschwankungen im Bereich der Kraftmesssensoren zu einer Abweichung der Sensoren führen können. Bei allen Sprüngen steht der Athlet zuerst mit einer neutralen, aufrechten Körperstellung. Die Füße sind etwa auf Hüftbreite, die Hände auf dem Becken aufgestützt, der Blick ist geradeaus gerichtet. Aus dieser Ausgangsstellung (Abbildung 4–7) werden alle Sprungformen durchgeführt.

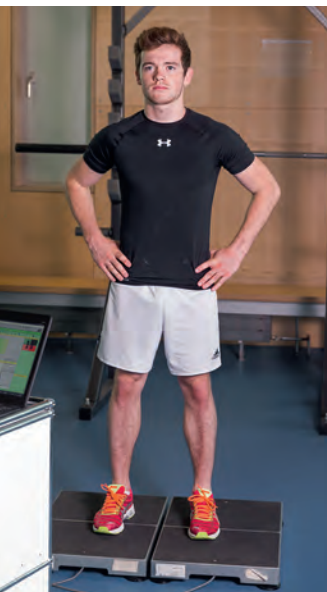


Abbildung 4–7. Ausgangsstellung bei den beidbeinigen Sprüngen mit und ohne Ausholbewegung.

Ausführung

Bei der Ausführung aller Sprungformen sind folgende Punkte von der Testleiterin zu kontrollieren:

- Kein Armschwung geschieht; falls Hände das Becken verlassen, ist der Sprung ungültig.
- Der Sprung ist so vertikal ausgerichtet wie möglich (bei eindimensionalen Kraftmessplatten wichtig); falls nicht, korrigieren.
- Sprung-, Knie- und vor allem Hüftgelenke sind beim Absprung voll gestreckt; falls nicht, korrigieren.
- Bei Messsystemen, die lediglich die Flugzeit messen, wird auf eine Landung (erster Kontakt) mit möglichst gestreckten Beinen und Füßen geachtet.
- Es werden jeweils drei gültige, maximale Sprünge erfasst.
- Zwischen den Sprüngen folgt jeweils eine Pause von 5–10 Sekunden.

Das Testziel wird in standardisierter Art und Weise erklärt, da verschiedene Formulierungen die Testergebnisse beeinflussen⁵⁵. Beim Erklären ist es oft hilfreich, wenn die Testleiterin die verschiedenen Sprungformen auch demonstriert.

Instruktion: Vor jedem Sprung auf den Befehl warten. Die Hände bleiben bei allen Sprüngen an der Hüfte (kein Armschwung). Das Ziel ist immer, so hoch wie möglich zu springen.

Oft benötigt es bei einer Sprungform mehr als drei Versuche, bis drei gültige, maximale Sprünge erfasst werden. Das heißt, die Messwerte werden manchmal erst beim vierten oder fünften Sprung stabil (maximale Abweichung der drei Sprünge im Bereich von 2%). Grundsätzlich gibt es keine maximale Anzahl der Versuche, jedoch darf keine Ermüdung entstehen. Wo nötig darf die Testleiterin kleine technische Korrekturen geben, zum Beispiel «**schneller ausholen**» oder «**Sprung vertikaler ausrichten**», welche vor allem bei Sprungtestanfängern hilfreich sind.

Elastodynamischer Sprung (Countermovement Jump, CMJ). Für diese Sprungform wird mit einer dynamischen Ausholbewegung (engl. countermovement), also mit Hilfe einer Vordehnung des Muskelsehensystems im Moment vom Umkehren, beidbeinig gesprungen. In den meisten Fällen ermöglicht diese Form dank dem Dehnungs-Verkürzungs-Mechanismus die höchste Sprunghöhe sowie die höchsten mechanischen Leistungswerte⁵⁶. In der Ausgangsstellung wartet der Athlet auf den Befehl, den die Testleiterin nach Bereitstellen der Messsoftware gibt:

«Bereit, eins, zwei, und hopp!». Der Athlet holt auf «und» aus, und springt auf «hopp» ab. Beim Landen federt er über die Knie ab, bevor er zur Ausgangsstellung zurückfindet.

Beim elastodynamischen Sprung ist die Ausholtiefe nicht vorgegeben, beeinflusst aber sehr wohl das Testergebnis. Generell führt ein abgekürztes Ausholen zu einer höheren konzentrischen mittleren Leistung und konzentrischen Spitzenleistung, oft aber auf Kosten der Sprunghöhe. Umgekehrt führt ein tiefes Ausholen zu einem tieferen P_{\max} -Wert.* Vor allem wichtig ist, dass die Testleiterin sich des Effekts der Ausholtiefe auf die verschiedenen Messparameter bewusst ist⁵⁷. Bei der Testdurchführung sind deshalb folgende Punkte besonders zu beachten:

- Die Ausholbewegung sieht dynamisch und nicht zögerlich aus. In diesem Sinn erreicht die Kraft im Umkehrpunkt mindestens etwa das Dreifache des Körpergewichts (Erfahrungswert «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).
- Der Ausholweg ist weder zu kurz (fast zuckend) noch zu lang. Dazu dient folgende Faustregel (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen):
 - Der typische Ausholweg beim elastodynamischen Sprung ist 25–35 cm, in Abhängigkeit von der Körpergrösse und vom individuellen Sprungstil.
 - Die Differenz zwischen P_{\max} (W / kg) und Sprunghöhe (cm) ist meistens ~10–20 (z.B. bei P_{\max} 60 W / kg eine Sprunghöhe von 40–50 cm). Sonst ist der Ausholweg eventuell zu kurz (Differenz > 20) oder zu lang (Differenz < 10).
 - Der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (Ausholbewegung inklusive Absprung) dauert zwischen ~250 und ~400 ms.
- Erreicht der Athlet mit abnehmenden Ausholweg (bereits unter 25 cm) eine höhere P_{\max} , ist der Sprung gültig, sofern die Sprunghöhe gleichbleibt oder ebenfalls zunimmt. Der Sprung ist ungültig, wenn P_{\max} auf Kosten der Sprunghöhe zunimmt.

Findet die Testleiterin, der Ausholweg bedürfe einer Korrektur, kann der Rhythmus des Sprungbefehls (ausgedehnter oder zackiger) helfen, die Ausholbewegung in die richtige Richtung zu steuern.

Statodynamischer Sprung (Squat Jump, SJ). Diese Sprungform wird rein konzentrisch, also ohne elastische Ausholbewegung aus der Hockstellung (engl. squat) ausgeführt. Typischerweise sind

Sprunghöhe und –leistung etwas tiefer als beim elastodynamischen Sprung. In der Ausgangsstellung wartet der Athlet auf den Befehl, den die Testleiterin nach Bereitstellen der Messsoftware gibt:

«Runter. Eins, zwei, hopp!». Von der Ausgangsposition geht der Athlet auf «runter» zuerst in die Hockstellung (Abbildung 4–8), bis zu einem Kniewinkel von 90°. Dort harrt er zwei Sekunden («eins, zwei») aus und springt auf «hopp» danach ab. Beim Landen federt er über die Knie ab, bevor er zur Ausgangsstellung zurückgeht.

Folgende Punkte sind beim SJ besonders zu beachten:

- Der Kniewinkel in der Hockstellung ist 90° (mit Goniometer oder von Auge beurteilt). Tendenziell ist der konzentrische Weg grösser als beim elastodynamischen Sprung.
- In der Hockstellung bleiben die Fersen am Boden, die Schultern hoch und über den Oberschenkeln (in der Sagittalebene zwischen Knien und Hüfte). Der Blick richtet sich geradeaus.
- Der Athlet macht beim Sprung keine Ausholbewegung, weder mit den Schultern noch mit dem Gesäss. Bei Messungen mit einer Kraftmessplatte ist dementsprechend in der Kraftkurve keine Entlastung erkennbar (Abbildung 4–10 unten). Zur Korrektur helfen manchmal Tipps wie «Druck sofort auf die Platte bringen» oder «Schultern hoch halten».



Abbildung 4–8. Hockstellung beim beidbeinigen Sprung ohne Ausholbewegung.

* Mit einem längeren Beschleunigungsweg wird kurz vor dem Absprung eine höhere Geschwindigkeit und dadurch eine bessere Sprunghöhe erreicht. Durch die höhere Geschwindigkeit wird aber auch die Bodenreaktionskraft reduziert. Da sich die P_{\max} bei Vertikalsprüngen typischerweise auf der rechten Seite des parabolischen Leistungs-Geschwindigkeits-Profiles befinden, sinkt P_{\max} mit zunehmender Geschwindigkeit. Umgekehrt führt ein kürzeres Ausholen zu einer reduzierten Geschwindigkeit und einer erhöhten Leistung (Datenanalyse «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).

Einbeinige Sprünge. Einbeinige Sprünge werden links und rechts und in der Regel mit einer Ausholbewegung durchgeführt. Je nach Situation können aber statodynamische einbeinige Sprünge sinnvoll sein. Auf jeden Fall dienen diese dem links-rechts-Seitenvergleich, sowie dem einbeinig-beidbeinig-Vergleich. In der Ausgangsstellung wartet der Athlet auf den Befehl, den die Testleiterin nach Bereitstellung der Messsoftware gibt:

«Auf links (rechts), und hopp!». Der Athlet verlagert sein Gewicht bei «auf links (rechts)» auf den entsprechenden Fuss und hebt den anderen Fuss vom Boden ab (Abbildung 4–9 links). Ohne grosse Verzögerung holt der Athlet dann auf «und» aus und springt auf «hopp» ab (Abbildung 4–9 rechts).

Die Landung erfolgt entweder einbeinig oder beidbeinig. Folgende Punkte sind bei den einbeinigen Sprüngen besonders zu beachten (siehe zusätzlich die zu beachtenden Punkte bei beidbeinigen Sprüngen):

- Der Ausholweg ist für links und rechts gleich (bei elastodynamischen Sprüngen tendenziell kürzer als beim beidbeinigen CMJ).
- Der Athlet beugt das Knie der getesteten Seite nicht schon bei der Gewichtsverlagerung, sondern erst beim Auslösen des Sprungs. Somit sind die Gewichtsverlagerung und das Ausholen zum Sprung zeitlich getrennt.
- Der Athlet benutzt das inaktive Bein nicht als Schwungbein. Auch macht der Athlet beim Sprung keine schraubenartige Bewegung mit dem Körper (um zusätzlichen Schwung zu holen).



Abbildung 4–9. Bereitstellung (links) und Ausführung (rechts) bei einem einbeinigen Vertikalsprung.

4.3.4 Auswertung und Interpretation

Abbildung 4–10 zeigt exemplarische Kraftkurven für Sprünge mit und ohne Ausholbewegung, welche spätestens bei der Auswertung von der Testleiterin optisch zu kontrollieren sind. Dass beim SJ kein Ausholen geschieht, ist für die Interpretation der Ergebnisse zentral.

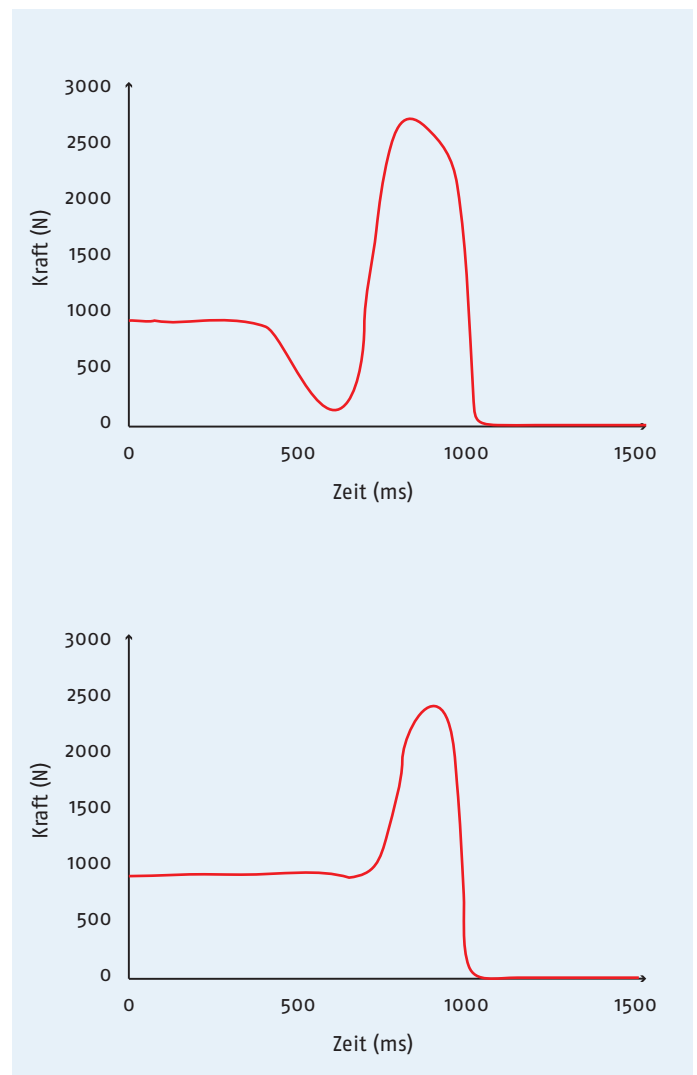


Abbildung 4–10. Beispiel Kraftkurven von einem Vertikalsprung mit (oben) und ohne (unten) Ausholbewegung.

Die wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Explosivkraft sind die Sprunghöhe und die beiden konzentrischen Sprungleistungen (Spitzenleistung P_{\max} bzw. mittlere Leistung P_{mean}). Zur Interpretation wird jeweils der Mittelwert der drei besten Sprünge verwendet. Für die meisten (aber nicht alle) Sportarten ist es sinnvoll, die Sprungleistung auf das Körpergewicht zu skalieren (siehe 2.4.2 Analyse). Je nach Sportart werden Sprungleistung und Sprunghöhe bei der Testinterpretation unterschiedlich gewichtet. Zum Beispiel in Sportarten, bei denen die Kontaktzeiten beschränkt und sehr kurz sind, ist der P_{\max} mehr Bedeutung als der anschaulicheren Sprunghöhe beizumessen. Hingegen ist in Sportarten, in denen längere Impulse möglich sind (z.B. Radsprint) oder bei denen die Sprunghöhe entscheidend ist (z.B. Volleyball), der Sprunghöhe oder der P_{mean} eine grössere Bedeutung beizumessen.

Während die Muskelleistung teilweise von Körpergrösse oder Körpergewicht abhängt⁵⁸, gilt die Sprunghöhe als grössere- und gewichtsunabhängiger (eigentlich bereits skalierter) Indikator der Muskelleistung⁵⁹. Die Sprunghöhe ist jedoch vom Beschleunigungsweg abhängig^{57,60*}. Deshalb ist bei wiederholten Messungen bei der Beurteilung der Sprunghöhe zu kontrollieren, ob die Ausholtiefe bei den verschiedenen Sprungformen zu den beiden Testzeitpunkten ähnlich war. Wenn nicht, muss dies bei der Interpretation berücksichtigt werden.

Bei der Beurteilung des CMJ und SJ zieht die Testleiterin die Relevanz des elastischen Ausholens für den Athleten in seiner Sportart in Betracht. Dabei kann der SJ entweder selbst als sportartrelevant betrachtet oder im Vergleich zum CMJ beurteilt werden. Beim Vergleich der beiden Sprünge SJ und CMJ wird der Effekt des exzentrischen Vordehnens (engl. pre-stretch augmentation, PSA) beurteilt⁶¹. Der Parameter PSA zeigt, wieviel von der Sprungleistung bzw. der Sprunghöhe beim CMJ durch die elastische Vordehnung des Muskelsehnensystems während der exzentrischen Phase erklärt werden kann.

$$PSA (\%) = \frac{(CMJ - SJ)}{SJ} \cdot 100$$

Eine gute Ausnutzung des exzentrischen Vordehnens bedeutet entweder eine sehr effektiv koordinierte Bewegungsausführung beim CMJ, das Vorhandensein eines Muskelsehnensystems mit hoher Steifigkeit oder bei generell tiefen P_{\max} -Werten eine ungenügende konzentrische Kontraktionsfähigkeit. Eine schlechtere Ausnutzung oder ein negativer Effekt des Vordehnens deutet hingegen auf verschiedenen Gründe hin, unter anderem eine schlecht koordinierte Bewegungsausführung beim CMJ, eine schlechte Umsetzung der Maximalkraft in schnelle Bewegungsformen oder andererseits eine sportartspezifische Anpassung (z.B. bei Fussballtorhütern, die ohne Ausholbewegung springen). Oft wird auch bei neuromuskulärer Ermüdung (z.B. nach intensiver Trainingsphase) oder bei verletzten Athleten (Hemmung) ein eher kleiner Effekt des Vordehnens festgestellt. Studien zeigen zwar, dass sich die Fähigkeit, die exzentrische Vordehnung auszunutzen, über längere Trainingsphasen ändern kann⁶², jedoch nicht mit kurzzeitigen Trainingsinterventionen⁶³. Zu beachten bei der PSA sind relativ grosse interindividuelle Streuungen, welche einen differenzierenden Quervergleich erschweren⁶¹. Als Alternative bietet sich ein aus der Sprunghöhe und der Kon-

traktionszeit bestehender Reaktivkraft-Index (RKI_{CMJ}) an, der in bestimmten Situationen zwischen Athleten besser differenziert⁶¹.

$$RKI_{\text{CMJ}} = \frac{h}{(t_{\text{exzentrisch}} + t_{\text{konzentrisch}})}$$

Die links-rechts-Seitendifferenz aus den einbeinigen Sprüngen gibt vor allem einen Hinweis auf muskuläre oder koordinative Defizite der schwächeren Seite, wobei kleine Differenzen unauffällig sind (~10% oder weniger, siehe Referenzwerte). Sind Seitendifferenzen der P_{\max} , der P_{mean} oder der Sprunghöhe erkennbar, ist auch eine mögliche Seitendifferenz beim Ausholweg zu achten (sofern dieser Wert mit den benutzten Instrumenten gemessen wird). Unterschiede von > 5 cm sind im Sinne einer Dysbalance bei der Auswertung zu erwähnen (Erfahrungswerte «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen).

$$\text{Seitendifferenz (\%)} = \left(1 - \frac{\text{tieferer Wert}}{\text{höherer Wert}}\right) \cdot 100$$

Ähnlich wie bei der isometrischen Maximalkraft gibt es bei Sprüngen das Phänomen des bilateralen Defizits. Das bilaterale Defizit beschreibt den Verlust an Muskelleistung pro Bein bei beidbeiniger Aktivierung im Vergleich zur einbeinigen Aktivierung. Im Gegensatz zum bilateralen Defizit bei der Isometrie ist die Reduktion der Kraft und der mechanischen Arbeit pro Bein bei bilateralen Sprüngen grösstenteils durch die höhere Bewegungsgeschwindigkeit und die Veränderung des Kraft-Geschwindigkeits-Profiles erklärbar^{64,65}, wobei auch hier die neurale Aktivierung und die Koordination eine Rolle spielen⁶⁶. Theoretisch ist je nach Sportart entweder eine gute einbeinige Explosivkraft oder ein möglichst kleines bilaterales Defizit von Vorteil. Weiter ist das bilaterale Defizit in gewissem Ausmass durch spezifisches bilaterales bzw. unilaterales Training veränderbar²⁴. Jedoch zeigt sich bei diesem Parameter eine grosse interindividuelle Streuung, es bestehen kaum Unterschiede zwischen verschiedenen Sportarten (siehe Referenzwerte).

$$\text{bilaterales Defizit (\%)} = \left[\frac{P_{\max \text{ beidbeinig}}}{(P_{\max \text{ links}} + P_{\max \text{ rechts}})} - 1 \right] \cdot 100$$

Für das Grobeinordnen der Messwerte dienen die dargestellten Referenzwerte. Für den Quer- und Längsvergleich der Testergebnisse wird die Reliabilität (Messreproduzierbarkeit) des verwendeten Messsystems und vor allem des Testverfahrens berücksichtigt. Die Sprunghöhe und die Sprungleistung gemessen mit verschiedenen Messsystemen (Kraftmessplatten, Wegsensoren, Beschleunigungsmesser, Kontaktmatten, Fotozellen) und standardisierten Testabläufen haben in der Regel einen Variationskoeffizienten (CV) unter 6.5%⁵³. Mit einer Kraftmessplatte (Messfrequenz 1000 Hz) und der hier beschriebenen Messmethode ist mit Messfehlern von < 4% für beidbeinige und < 6% für einbeinige Sprungparameter zu rechnen (Datenanalyse «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen). Die derivierten Parameter Seitendifferenz und bilaterales Defizit haben einen Messfehler von < 4%, während die PSA und RKI_{CMJ} einen grösseren Messfehler (6–9%) haben (Datenanalyse «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen, Suchomel et al.⁶⁷).

* Genau genommen reflektiert die Sprunghöhe die kinetische Energie des Körpers beim Abflug, welche wiederum der beim Abspringen investierten Arbeit (Arbeit = Kraft · Weg, $W = \vec{F} \cdot d$) entspricht.

4.3.5 Referenzwerte

Tabelle 4-3

Referenzwerte beidbeiniger Vertikalsprungtest nach Sportart

		Körper- gewicht (kg)	CMJ				SJ			PSA		
			Höhe (cm)	P_{\max} (W / kg)	P_{mean} (W / kg)	RKI (m / s)	Höhe (cm)	P_{\max} (W / kg)	P_{mean} (W / kg)	Höhe (%)	P_{\max} (%)	P_{mean} (%)
BMX	Frauen	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Männer	75 – 87	47 – 56	66 – 76	44 – 50	1.24 – 1.91	46 – 53	62 – 72	33 – 40	–3 – 14	2 – 9	20 – 40
	Frauen	57 – 72	25 – 34	39 – 52	26 – 35	0.66 – 1.05	24 – 33	37 – 48	19 – 27	–4 – 13	0 – 15	18 – 51
	Männer	82 – 95	39 – 48	53 – 63	33 – 41	0.94 – 1.32	36 – 45	50 – 62	26 – 34	–2 – 16	–2 – 12	8 – 43
Fussball	Frauen	56 – 69	28 – 36	43 – 56	28 – 38	0.78 – 1.27	27 – 34	40 – 50	21 – 28	–2 – 15	2 – 18	20 – 56
	Männer	74 – 90	38 – 47	53 – 67	35 – 45	1.03 – 1.55	36 – 45	50 – 62	27 – 34	–2 – 14	1 – 14	17 – 48
Leichtathletik*	Frauen	51 – 68	33 – 43	50 – 64	32 – 42	0.96 – 1.55	30 – 39	47 – 59	24 – 33	1 – 16	1 – 16	17 – 50
	Männer	56 – 93	41 – 56	60 – 79	38 – 52	1.10 – 1.76	38 – 53	56 – 74	29 – 42	–3 – 15	1 – 12	14 – 43
Ski alpin	Frauen	61 – 74	29 – 36	45 – 55	29 – 38	0.88 – 1.36	27 – 34	42 – 51	23 – 29	–1 – 15	0 – 14	14 – 45
	Männer	65 – 95	38 – 48	53 – 67	34 – 45	1.03 – 1.67	35 – 45	51 – 63	26 – 35	0 – 17	0 – 12	14 – 46
Skisprung	Frauen	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Männer	55 – 73	43 – 54	51 – 63	30 – 38	0.85 – 1.19	41 – 52	51 – 62	25 – 31	–1 – 12	–4 – 3	15 – 33

Anmerkungen. Angaben stellen den Gruppenmittelwert ± 1 Standardabweichung für Schweizer Nationalkaderathletinnen und -athleten dar. CMJ: Vertikalsprung mit elastischer Ausholbewegung. SJ: Vertikalsprung ohne elastische Ausholbewegung. P_{\max} : konzentrische Spitzenleistung. P_{mean} : konzentrische mittlere Leistung. RKI: Reaktivkraftindex. PSA: Effekt des exzentrischen Vordehnens (siehe Text für Details).

*Werte für Leichtathletinnen und Leichtathleten nur aus Sprint- oder Sprungdisziplinen.

Tabelle 4-4

Referenzwerte einbeiniger Vertikalsprungtest nach Sportart

		Körper- gewicht (kg)	CMJ einbeinig			bilaterales Defizit			Seitendifferenz		
			Höhe (cm)	P_{\max} (W / kg)	P_{mean} (W / kg)	Höhe (%)	P_{\max} (%)	P_{mean} (%)	Höhe (%)	P_{\max} (%)	P_{mean} (%)
BMX	Frauen	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Männer	70–84	22–27	34–38	20–22	–10–13	–11–4	2–19	2–12	0–6	2–17
Eishockey	Frauen	56–72	14–20	24–33	15–21	–(22–3)	–(27–14)	–(25–7)	0–14	1–11	1–11
	Männer	82–95	21–27	31–38	18–23	–18–1	–(22–10)	–(18–3)	1–17	1–12	0–13
Fussball	Frauen	56–69	16–22	27–35	16–23	–(23–4)	–(28–11)	–(24–4)	0–17	1–13	1–13
	Männer	74–89	22–27	34–41	20–27	–(21–5)	–(25–14)	–(21–5)	2–16	1–12	2–12
Leichtathletik*	Frauen	52–65	18–23	29–36	18–24	–18–0	–(18–6)	–(16–2)	1–17	1–12	1–10
	Männer	73–90	22–32	34–44	21–27	–(21–3)	–(23–7)	–22–3	3–13	2–11	2–8
Ski alpin	Frauen	61–72	14–19	24–30	15–20	–9–8	–18–0	–17–4	7–23	6–16	3–21
	Männer	80–94	18–26	27–39	17–26	–19–15	–19–4	–19–11	5–25	6–18	4–21
Skisprung	Frauen	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Männer	54–69	20–27	29–37	15–21	–9–23	–(23–2)	–14–8	–1–18	–1–10	0–11

Anmerkungen. Angaben stellen den Gruppenmittelwert ± 1 Standardabweichung für Schweizer Nationalkaderathletinnen und -athleten dar. CMJ: Vertikalsprung mit elastischer Ausholbewegung. P_{\max} : konzentrische Spitzenleistung. P_{mean} : konzentrische mittlere Leistung.

*Werte für Leichtathletinnen und Leichtathleten nur aus Sprint- oder Sprungdisziplinen.

4.4 Niedersprünge: Test der Reaktivkraft

4.4.1 Einleitung

Als Reaktivkraft bezeichnet man die Fähigkeit, bei kurzen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen (DVZ) des Muskel-Sehnen-Systems einen möglichst grossen Impuls ($\text{Impuls} = \text{Kraft} \cdot \text{Zeit}$, $\vec{p} = \vec{F} \cdot t$) zu generieren. Bei vielen sportlichen Bewegungen ist das Zeitfenster (t), in dem man einen Impuls generieren kann, durch äussere Umständen limitiert. Dadurch werden die Kraft (\vec{F}) und die Kraftentwicklungsrate entscheidend. Zum Beispiel wird die Bodenkontaktzeit des Fusses beim Sprint mit zunehmender Laufgeschwindigkeit zwingend kürzer und erreicht Werte von 110 ms^{68, 69}. Daher wird die Reaktivkraft innerhalb dieser zeitlichen Grenzen zum entscheidenden Kriterium. Die Reaktivkraftfähigkeit kann in Sportarten eine Rolle spielen, wo unvorhersehbare Sprünge oder Richtungswechsel ohne Vorbereitungszeit (z.B. Tennis) vollbracht werden müssen, oder bei zyklischen Impulsen mit kurzer Kontaktzeit (z.B. Sprint oder Dreisprung). In einigen sportlichen Situationen, z. B. Kunstturnen⁷⁰ oder bei der Doppelstosstechnik im Langlauf^{71, 72}, ist auch im Oberkörper eine gute Reaktivkraft gefragt.

In Gegensatz zur Explosivkraft (siehe 4.3 Vertikalsprünge), bei der die Beschleunigungszeit bzw. der Beschleunigungsweg verhältnismässig länger sind, hängt die Reaktivkraft stark von den mechanischen Eigenschaften des Muskel-Sehnen-Systems^{73, 74} sowie von einer koordinierten Voraktivierung der Muskeln vor der eigentlichen Kontaktphase⁷⁵ ab. Insbesondere trägt die Steifheit des Sprunggelenkes (eine teilweise trainierbare Eigenschaft) dazu bei, elastische Energie in der exzentrischen Dehnphase im Muskel-Sehnen-System zu speichern und diese in der Verkürzungsphase effizient wieder abzugeben⁷⁴.

Beim gebräuchlichsten Test zur Messung der Reaktivkraft der unteren Extremität – dem Niedersprung – wird von einer Initialhöhe weggesprungen, um eine Flugphase-Bodenkontakt-Sequenz zu inszenieren. Dies erfordert eine sehr kurze reaktive Hüpfbewegung beim Bodenkontakt. Die Reaktivkraft bei Niedersprung-Tests zeigt einen engen Zusammenhang mit der Sprintgeschwindigkeit^{48, 73, 76}. Ferner hängt die Bodenkontaktzeit beim Niedersprung mit der Wettkampfleistung am Boden und beim Sprung von Kunstturnern zusammen⁷⁷.

4.4.2 Ziele

- die Reaktivkraft mit ihren Zeit- und Kraftkomponenten quantifizieren
- Die optimale Ausgangshöhe für Trainingsniedersprünge bestimmen

4.4.3 Methodik

Wie in 4.3 (Vertikalsprünge) erwähnt, gibt es eine Vielfalt von Messinstrumenten, die in der Sprungdiagnostik eingesetzt werden. Obwohl Beurteilungen nur anhand der Kontakt- und Flugzeit etabliert sind, bieten Kraftmessplatten zusätzliche Information an, z.B. die exzentrische Bremsleistung. Auf jeden Fall eignet sich ein Messinstrument mit einer Messfrequenz von mindestens 1000 Hz, um die Kontaktzeit in ms beurteilen zu können.

Niedersprünge können aus verschiedenen Höhen ausgeführt werden. Die hier beschriebene Methodik und die darauf basierenden Referenzwerte beziehen sich auf Ausgangshöhen von 20–60 cm (entspricht der Abstufung eines Schwedenkastens). Es ist aber nicht entscheidend, von welchen Ausgangshöhen genau getestet wird. Je nach Situation wählt die Testleiterin die sinnvollsten Ausgangshöhen.

Um ein möglichst optimales Testergebnis zu erreichen, muss der Athlet bereit sein, sein volles Leistungsvermögen abzurufen. Daher folgt nach einem globalen Aufwärmen (Dauer 10–15 Minuten) eine spezifische Aktivierung der involvierten Muskulatur mit einigen explosiven Strecksprüngen oder mit Hüpfübungen. Eventuell gehören auch einige kurze dynamische Dehnübungen zur unmittelbaren Vorbereitung⁵⁴. Ungeübte Athleten gewöhnen sich an die Sprungform am besten mit einigen Versuchssprüngen aus niedriger Ausgangshöhe, bei denen die Belastung auf die passiven Strukturen am tiefsten ist.

Einstellung

Vor dem Test positioniert die Testleiterin die Kraftmessplatte in einem möglichst offenen Raum mit stabiler Temperatur, so dass alle vier Platten-Standfüsse festen Kontakt mit dem harten Untergrund haben. Im Labor wird auf eine stabile Temperatur geachtet, da Temperaturschwankungen im Bereich der Kraftmesssensoren zu einer Abweichung der Sensoren führen könne. Ein in der Höhe verstellbares Podest wird auf die niedrigste zu testende Ausgangshöhe eingestellt und entsprechend platziert*. Wenn nötig (z.B. bei Sprüngen von der obersten Höhe oder bei Athleten mit langen Beinen) werden das Podest und die Platte etwas auseinandergeschoben, so dass der Landungsbereich der natürlichen Flugkurve des Athleten entspricht. Auch zu beachten ist, dass der Athlet ein möglichst neutrales Blickfeld hat und die Decke hoch genug ist. Vor jeder Teststufe (insbesondere wenn das Podest auf der Platte steht) sollte die Kraftmessplatte nach Herstellerangaben kalibriert bzw. genullt und vor dem ersten Test von der Testleiterin mit einem Testsprung geprüft werden. Vor jedem Sprung steht der Athlet auf dem Podest mit den Händen an der Hüfte (Abbildung 4–11 links). Um ein aktives Abspringen zu verhindern, ist es hilfreich, wenn der Athlet auf den Fersen steht und der Vorderfuss über die Vorderkanten des Podests hinausschaut (Abbildung 4–11 rechts).

*Je nach Kraftmessplatte bzw. Messsoftware muss das Podest auf der Platte oder neben der Platte auf festem Boden platziert werden.



Abbildung 4–11. Ausgangstellung bei einem Niedersprung aus 40 cm Initialhöhe.

Ausführung

Auf den Befehl der Testleiterin macht der Athlet einen Schritt «ins Leere» nach vorn, entweder mit dem linken oder dem rechten Fuss (Abbildung 4–12 links). Ohne abzuspringen, lässt sich der Athlet auf die Kraftmessplatte fallen, landet beidbeinig und springt gleich wieder ab (Abbildung 4–12 rechts). Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Der Athlet springt vom Podest nicht ab, sondern lässt sich nur fallen. Einige Kraftmessplatten-Systeme messen den Abdruck beim Verlassen des Podests und erkennen dadurch automatisch, ob abgesprungen wurde oder nicht. Falls diese Möglichkeit nicht besteht, wird das korrekte Fallenlassen von der Testleiterin optisch beurteilt.
- Die Hände verlassen das Becken nicht, so dass kein Armschwung geschieht; falls die Hände das Becken verlassen, ist der Sprung ungültig.
- Der Reaktivsprung ist so vertikal wie möglich ausgerichtet (bei eindimensionalen Kraftmessplatten wichtig); bei zunehmender Ausgangshöhe wird eine gewisse horizontale Komponente jedoch meistens unvermeidlich.
- Im Sinne einer maximalen Sprunghöhe bei minimaler Kontaktzeit geschieht der Reaktivsprung hauptsächlich aus dem Sprunggelenk und mit minimalem Knieeinsatz.
- Die Bodenkontaktzeit liegt unter 250 ms (Grenzwert für kurze DVZ). Grundsätzlich kann der Athlet von Versuch zu Versuch so lang angewiesen werden, eine noch kürzere Kontaktzeit zu erzielen, bis die Sprunghöhe bzw. der Reaktivindex klar abnimmt oder sich stabilisiert.

Für die Auswertung reichen zwei Sprünge pro Ausgangshöhe, sofern sich die gemessenen Hauptparameter nicht mehr als 10% voneinander unterscheiden.

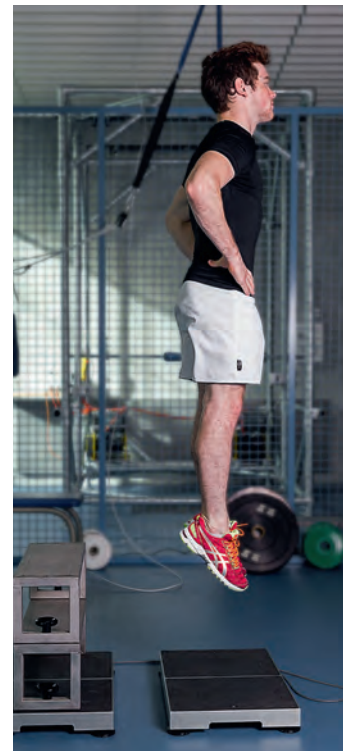


Abbildung 4–12. Schritt nach vorn (links) und Reaktivsprung (rechts) bei einem Niedersprung.

Instruktion: Die Hände bleiben bei allen Sprüngen an der Hüfte (kein Armschwung). Das Ziel ist, die Bodenkontaktzeit so kurz wie möglich zu halten und zudem eine maximale Sprunghöhe zu erreichen.

Bei der Instruktion, ist es wichtig, dass die beiden Testziele gleich betont werden⁷⁸. Auch ist es hilfreich, wenn die Testleiterin einen Niedersprung demonstriert.

4.4.4 Auswertung und Interpretation

Für die Interpretation wird für die drei Ausgangshöhen jeweils der Mittelwert der zwei besten gültigen Sprünge betrachtet. Als erstes wird die Kontaktzeit (t_k) zur Kontrolle beurteilt. Diese sollte auf jeden Fall unter 250 ms liegen, was als Grenze für einen kurzen DVZ gilt. Die Erfahrung zeigt allerdings, dass deutlich tiefere Werte üblich sind (siehe Referenzwerte in Tabelle 4–5). Falls t_k über 250 ms liegt, sollten die entsprechenden Sprünge wiederholt werden, eventuell mit technischen Anpassungen. Falls der Athlet die genügend kurze t_k nicht erreicht, ist der Test oder sind die Ausgangshöhen für der Athlet nicht angemessen. Nach der Kontrolle der t_k können t_k und die Sprunghöhe aus diagnostischer Sicht beurteilt werden. Ergänzend zu diesen zwei Rohwerten können die zwei folgenden Reaktivkraftindices gebildet werden:

- Reaktivkraftindex 1 (RKI_1) ⁷⁹: skaliertes Verhältnis der Sprunghöhe zur Kontaktzeit, $\frac{Höhe}{10 \cdot t_k}$
- Reaktivkraftindex 2 (RKI_2): skaliertes Produkt von Bremsleistung (relative P_{neg} , Leistung der exzentrischen Phase in W/kg) und Beschleunigungsleistung (relative P_{pos} , Leistung der konzentrischen Phase), $\frac{P_{neg} \cdot P_{pos}}{100}$

Physikalisch betrachtet ist das Ziel beim Niedersprung, möglichst viel der durch die Ausgangshöhe vorgegebenen kinetischen Energie beim Bodenkontakt zu reabsorbieren und gleich wieder zu investieren, und dies in möglichst kurzer Zeit. Diese Fähigkeit wird durch die beiden RKI quantifiziert. In der Regel steigt der RKI_2 mit zunehmender Ausgangshöhe kontinuierlich an, was die von Stufe zu Stufe zunehmende potentielle Energie des Athleten und die damit verbundene P_{neg} widerspiegelt. Wenn aber nur langsam gebremst oder wenig Energie wiederinvestiert wird, kann RKI_2 sinken. Die Erfahrung zeigt, dass bei gut adaptierten Sportlern der RKI_2 bis zu einer Ausgangshöhe von 60 cm ansteigen kann. Wie beim RKI_2 wird beim RKI_1 die ganze Kontaktzeit betrachtet. Im Gegensatz zum RKI_2 kommt die wiederinvestierte Energie beim RKI_1 in Form der Sprunghöhe zur Geltung, während die Kontaktzeit indirekt die Bremsleistung reflektiert. Deswegen steigen und fallen RKI_1 und RKI_2 nicht immer parallel zueinander. In Sportarten oder Situationen, in denen eine hohe initiale potentielle Energie (oder der Kraftausrichtung entgegenwirkende kinetische Energie) vorhanden und daher eine sehr hohe Bremskraft erforderlich ist (z.B. im Dreisprung oder bei akuten Richtungswechseln im Sportsport), kann RKI_2 als der wichtigere Parameter betrachtet werden, während RKI_1 bei Situationen mit einer kleineren Bremsleistung relevanter erscheint (z.B. Sprint oder Hochsprung).

Für die Grobeinordnung der Messwerte dienen die in Tabelle 4–5 dargestellten Referenzwerte. Für den Quer- und Längsvergleich der Sprunghöhe und des RKI_1 wird ein Messfehler von 2–5% für Ausgangshöhen zwischen 20 und 50 cm angenommen ⁷⁹. Weiter ist bei der Auswertung zu bemerken, ob Veränderungen der beiden RKI durch veränderte Sprunghöhe oder Kontaktzeit bzw. P_{neg} oder P_{pos} zustande gekommen sind. Bei Verschlechterungen der Testwerte ist abzuklären, ob der Athlet während des Tests Schmerzen hatte oder kürzlich verletzt war. Wenn der Athlet gehemmt ist, voll wegzuspringen (z.B. wegen einer Verletzung), kann dies einen grossen Effekt auf die Resultate haben.

Auf das Training bezogen weisen die Testergebnisse auf die Ausgangshöhe hin, von der der Athlet den besten Reaktivkraftindex vorweist und welche daher als sinnvollste Ausgangshöhe für Niedersprünge im Training interpretiert wird. Je nach Sportart kann bei der Beurteilung der optimalen Ausgangshöhe der RKI_1 oder der RKI_2 stärker gewichtet werden. Weiter kann ein Trainingsschwerpunkt (Fokus auf Sprunghöhe oder auf kurze Kontaktzeit bei Trainingssprüngen) empfohlen werden. In den meisten Sportarten ist der Fokus im Training auf eine kurze Kontaktzeit zu legen, wenn im Test diese über 180 ms liegt oder inkonstant ist. Beim Kunstturnen oder in der Leichtathletik wird eine t_k von 160 ms angestrebt. Ist die t_k tiefer als die angestrebte Grenze, sollte der Fokus eher auf die Sprunghöhe (oder Sprungweite) gelegt werden.

4.4.5 Referenzwerte

Tabelle 4–5

Referenzwerte Niedersprungtest aus drei Ausgangshöhen nach Sportart

		Körpergewicht (kg)	Höhe (cm)			t _K (s)		
			aus 20 cm	aus 40 cm	aus 60 cm	aus 20 cm	aus 40 cm	aus 60 cm
Fussball	Frauen	56–75	26–32	27–35	25–34	0.154–0.186	0.153–0.191	0.163–0.209
	Männer	74–88	28–37	26–39	24–37	0.146–0.195	0.144–0.195	0.151–0.206
Kunstturnen	Frauen	44–58	24–34	23–35	21–35	0.139–0.160	0.132–0.170	0.128–0.189
	Männer	62–71	30–42	29–41	25–40	0.145–0.161	0.137–0.163	0.140–0.168
Leichtathletik*	Frauen	53–66	22–33	23–34	20–35	0.137–0.178	0.138–0.169	0.146–0.187
	Männer	71–85	28–46	27–44	23–44	0.144–0.187	0.137–0.188	0.142–0.189

		Körpergewicht (kg)	RKI ₁			RKI ₂		
			aus 20 cm	aus 40 cm	aus 60 cm	aus 20 cm	aus 40 cm	aus 60 cm
Fussball	Frauen	56 – 75	15 – 20	16 – 21	13 – 20	17 – 28	28 – 44	33 – 54
	Männer	74 – 88	16 – 23	16 – 24	14 – 22	19 – 32	32 – 50	38 – 59
Kunstturnen	Frauen	44 – 58	16 – 23	15 – 24	13 – 24	23 – 38	37 – 62	39 – 81
	Männer	62 – 71	20 – 28	20 – 27	18 – 25	28 – 43	46 – 63	53 – 74
Leichtathletik*	Frauen	53 – 66	15 – 22	15 – 23	12 – 22	19 – 31	31 – 55	34 – 67
	Männer	71 – 85	18 – 29	17 – 28	15 – 28	22 – 44	36 – 64	42 – 83

Anmerkungen. Angaben stellen den Gruppenmittelwert ± 1 Standardabweichung für Schweizer Nationalkaderathletinnen und -athleten dar. t_K : Bodenkontaktzeit. RKI: Reaktivkraftindex (siehe Text für Details). *Werte für Leichtathletinnen und Leichtathleten nur aus Sprint- oder Sprungdisziplinen.

4.5 Grundkrafttest Rumpfmuskulatur

4.5.1 Einleitung

Als Grundkraft bezeichnet man das Mindestniveau an Kraft, welches Voraussetzung für die erfolgreiche Ausführung gewisser sportlichen Tätigkeiten ist. Bei der Grundkraft wird angenommen, dass ein gewisses Grundniveau erforderlich ist, dass aber beliebige Steigerungen über dieses Grundniveau hinaus nicht zwingend einen sportlichen Mehrwert haben. Aussagen über das Grundkraftniveau haben einen genügend / ungenügend-Charakter und können daher in Gegensatz zu Tests der maximalen Leistungsfähigkeit die sportspezifische Leistungsfähigkeit nicht vorhersagen.

Ein stabiler Rumpf ist eine Voraussetzung für die effiziente und technisch korrekte Ausführung vieler sportspezifischer Bewegungen. Weiter ist eine gewisse Mindestkraft im Rumpf (in Form von Stabilität und Ermüdungsresistenz) nötig, um Kraftübungen mit Zusatzgewicht (v.a. Langhantelübungen) korrekt und sicher auszuführen. Wie die Erfahrung aus der Praxis weisen auch Studien^{80, 81} auf einen präventiven Nutzen einer gut ausgebildeten Rumpfmuskulatur bezüglich Verletzungen und Beschwerden im Rumpfbereich (v.a. Becken, Wirbelsäule) hin. Aus diesen Überlegungen wurde der Grundkrafttest Rumpf entwickelt^{82, 83}. Der Test besteht aus drei Übungen mit dynamischen und statischen Komponenten. In Gegensatz zu Tests, bei denen es darum geht, das maximale Leistungsvermögen zu bestimmen, ist beim Grundkrafttest Rumpf das Ziel, lediglich eine «genügend / ungenügend»-Beurteilung in Bezug zum geforderten Mindestkraftniveau in den drei Hauptketten der Rumpfmuskulatur zu ermitteln. In diesem Sinn ist es für Athleten, die bereits ein genügendes Niveau haben, in der Regel nicht das Ziel, einen immer höheren Wert zu erreichen. Es wird angenommen, dass Verbesserungen weit über die sportspezifische Grundanforderung nicht über die sportliche Leistung entscheiden. Eine ungenügend ausgebildete Rumpfmuskulatur könnte hingegen einen negativen Einfluss auf die sportliche Leistungsfähigkeit haben und das Verletzungsrisiko erhöhen, wobei deren quantitativer Einfluss je nach Sportart unterschiedlich gross ist⁸³.

4.5.2 Ziele

- Beurteilung der Grundkraft der ventralen, lateralen und dorsalen Rumpfmuskulatur als genügend oder ungenügend
- Lokalisierung der anatomischen Hauptschwachstellen

4.5.3 Methodik

Vor dem Test wird ein Aufwärmen der im Test beanspruchten Muskelgruppen absolviert: Nach einem kurzen globalen Aufwärmen (Dauer ~10 Minuten) eignen sich Übungen des Schultergürtels (z.B. Bankdrücken und Ziehen mit Gewicht oder Schulterübungen mit einem Elastik-Band) und die Testübungen selber (ventral und lateral). Vor allem Testanfänger sollen die Übung der lateralen Kette während des Aufwärmens auf beiden Seiten ausprobieren, um die bevorzugte Seite einzuschätzen.

Die drei Übungen des Grundkrafttests werden jeweils in einem vorgegebenen Rhythmus (mittels Metronom oder einem anderen neutralen akustischen Signal mit einem Einsekundentakt) bis zur Erschöpfung ausgeführt. Die Zeit bis zur Erschöpfung dient als Testresultat. Während den drei Testübungen wird der Athlet weder über die verstrichene Zeit informiert noch verbal motiviert.

Die drei Übungen erfolgen immer in der Reihenfolge ventrale Kette – laterale Kette – dorsale Kette, mit 10 Minuten Pause dazwischen. Zur besseren Standardisierung der Körperposition wird ein Standar-

disierungsgerät mit höhenverstellbaren Querstangen verwendet. Für ein möglichst genaues Einstellen des Standardisierungsgeräts ist es von Vorteil, wenn der Athlet enge Bekleidung trägt. Der Test wird meistens mit Turnschuhen durchgeführt, kann aber auch barfuss absolviert werden.

Vor jeder Testübung stellt die Testleiterin das Standardisierungsgerät auf die Körpermasse des Athleten ein. Zunächst führt der Athlet jeweils einen Probeversuch von maximal 5 Wiederholungen im vorgegebenen Takt durch. Danach, während einer kurzen Erholungspause, informiert die Testleiterin über die genauen Abbruchkriterien. Beim Nichteinhalten eines Kriteriums spricht die Testleiterin zuerst eine klare Verwarnung aus. Die Übungen werden jeweils abgebrochen und die Abbruchzeit bestimmt, entweder, wenn der Athlet freiwillig aufgibt, oder nach Aussprechen der dritten Verwarnung bezüglich korrekter Ausführung. Beim Abbruch gibt der Athlet die Lokalisation der empfundenen Hauptbelastung an (Maximum zwei Angaben, siehe Anhang Testdatenblatt Grundkrafttest Rumpf). Nach jeder Testübung werden die folgende Angaben notiert:

- Abbruchzeit
- Lokalisation der Hauptbelastung
- Allfällige Besonderheiten, z.B. Abbruch wegen Schmerz, Lokalisation und Intensität (von 1–10) der Schmerzen, Bemerkungen über Bewegungsqualität wie einseitige Beckenrotation um sagittale Achse, subjektive Asymmetrie bei der Hauptbelastung der Ischios
- Geräteeinstellung
- Getestete Seite (nur bei der lateralen Kette)
- Uhrzeit beim Testabbruch (zwecks Einhalten der 10 Minuten Pause)

4.5.4 Ventrale Rumpfkette

Einstellung

Es werden eine dünne Turnmatte (Dicke ~1 cm) und ein Schwedenkastenelement wie in Abbildung 4–13 aufgestellt. Es kann auch ein kleines Handtuch (wegen Schweißstropfen) auf die Matte gelegt werden. Die Matte dient der Polsterung der Unterarme wie auch der Stabilisierung des Schwedenkastenelements. Der Athlet liegt auf der Matte in der Bauchlage, und die Testleiterin geht bei der Einstellung die folgenden Kontrollkriterien Punkt für Punkt durch.

- Der Scheitelpunkt des Kopfs hat Kontakt mit dem Schwedenkastenelement.
- Die Oberarme sind vertikal, die Unterarme sind parallel und auf Schulterbreite, die Daumen sind nach oben gerichtet.
- Während der Athlet das Becken hebt und den Kopfkontakt behält, verschiebt die Testleiterin das Standardisierungsgerät, so dass die Querstange über den beiden *Spinae iliacae posterior superior* liegt (palpiert mit den Daumen), und fixiert danach das Gerät zum Boden.
- Danach wird die Höhe der Querstange so eingestellt, dass das Schultergelenkzentrum, der *Trochanter major* und der äussere Knöchel eine gerade Linie bilden (Abbildung 4–13 links), wenn der Athlet das Becken anhebt. Zur Kontrolle palpiert die Testleiterin gleichzeitig das Schultergelenkzentrum und den *Trochanter major* und lokalisiert den Knöchel visuell.



Abbildung 4-13. Ausgangsstellung (links) und Ausführung (rechts) beim Test der ventralen Rumpfmuskelkette.

In der Ausgangsstellung, mit Kontakt zum Schwedenkastenelement und zur Querstange (Abbildung 4-13 links), führt der Athlet einen kurzen Probeversuch von maximal fünf Wiederholungen aus und ruht sich danach bis zum Testbeginn in der Bauchlage aus.

Ausführung

Die Ausführung des Tests beinhaltet wechselseitiges Abheben eines Fusses um ~2–5 cm, im Einsekundentakt pro Fuss, mit gestreckten Knien (Abbildung 4-13 rechts). Beim Test gelten die folgenden Standardisierungspunkte:

- Instruktion: **Die Füße wechselseitig und im Takt leicht anheben. Behalte immer den Kontakt zum Schwedenkasten und zur Querstange. Bei einem Fehler wird zwei Mal verwarnet. Beim dritten Mal wird der Test abgebrochen.**
- Startkriterium: Die Zeitmessung beginnt, wenn das Becken die Querstange berührt und ein Fuss zum ersten Mal angehoben wird.
- Abbruchkriterium: Der Kontakt zwischen Becken und Querstange wird trotz zwei Verwarnungen zum dritten Mal deutlich verloren.

4.5.5 Laterale Rumpfkette

Für die laterale Rumpfkette wird nur die vom Athleten bevorzugte Seite getestet, da Untersuchungen gezeigt haben, dass links-rechts-Seitendifferenzen bei diesem Test in der Regel klein sind, selbst bei asymmetrischen Sportarten^{84, 85}. Bei einer Testwiederholung zu einem anderen Zeitpunkt kann (muss aber nicht) auf die andere Seite gewechselt werden. Ein Seitenwechsel könnte vor allem vernünftig sein, wenn eine Verletzung der bevorzugten Seite vorliegt, nach Rehabilitation einer Verletzung der anderen Seite oder bei Verdacht auf einseitiges Trainieren. Die getestete Seite wird in der Auswertung notiert.

Einstellung

Es werden eine dünne Turnmatte (Dicke ~1cm) und ein Schwedenkasten wie in Abbildung 4-14 an einer Wand aufgestellt. Der Schwedenkasten dient als Abstützfläche für die Füße und muss gut fixiert sein (eventuell mit Zusatzgewicht beladen). Als Alternative kann der Test in einer Hallenecke mit der Benutzung der beiden Wände durchgeführt werden. Der Athlet liegt auf der Matte in der gewählten Seitenlage, und die Testleiterin geht bei der Einstellung die folgenden Kontrollkriterien Punkt für Punkt durch.

- In der Seitenlage sind die Füße aufeinander gestellt mit den Fusssohlen gegen den Schwedenkasten oder die Wand gestützt. Die Fersen berühren ebenfalls die Wand.
- Die Sprunggelenke sind in einer neutralen Stellung. Die laterale Fusskante des unteren Fusses stützt aktiv auf die Matte.
- Die Knie sind gestreckt.
- Während der Athlet aus dieser Position das Becken hebt, verschiebt die Testleiterin das Standardisierungsgerät, bis die Querstange über dem *Trochanter major* (palpiert mit den Fingern) liegt, und fixiert danach das Gerät zum Boden.
- Beide Fersen, das Gesäss und beide Schulterblätter berühren die Wand.
- Der Oberarm der stützenden Seite ist vertikal, der Ellbogen etwas von der Wand entfernt.
- Die freie Hand ist auf dem Beckenkamm abgestützt.
- Die Höhe der Querstange wird so eingestellt, dass die Körpermitellinie (Linie durch die inneren Malleolen, die Symphyse, den Bauchnabel und die *Incisura jugularis*) eine gerade Linie bildet, wenn der Athlet das Becken anhebt (Abbildung 4-14 links).



Abbildung 4-14. Ausgangsstellung (links) und Ausführung (rechts) beim Test der lateralen Rumpfmuskulatur.

In der Ausgangsstellung, mit Kontakt zur Wand (Abbildung 4-14 links), führt der Athlet einen kurzen Probeversuch von maximal fünf Wiederholungen aus und ruht sich danach bis zum Testbeginn in der Rückenlage aus.

Ausführung

Die Ausführung des Tests beinhaltet das seitwärts Runterlassen und Anheben des Beckens, von der Ausgangsstellung (Berührung der Querstange, Abbildung 4-14 links) runter, bis das Becken den Boden leicht berührt (ohne Absetzen; Abbildung 4-14 rechts) und zurück in die Ausgangsstellung. Dabei bleiben die Schulterblätter, das Gesäß und die Fersen immer in leichtem Kontakt mit der Wand. Ein kompletter Bewegungszyklus dauert **zwei Sekunden**. Beim Test gelten die folgenden Standardisierungspunkte:

- Instruktion: **Das Becken im Takt anheben und runterlassen. Berühre jeweils die Querstange oben und den Boden unten, ohne den Körper am Boden abzusetzen. Den Körper nicht von der Wand wegdrehen. Bei einem Fehler wird zwei Mal verwarnt. Beim dritten Mal wird der Test abgebrochen.**
- Startkriterium: Die Zeitmessung beginnt, sobald das Becken das erste Mal die Querstange berührt.
- Abbruchkriterien:
 1. Nicht komplette Bewegungszyklen (keine Berührung der Querstange)
 2. Athlet stützt sich zur Erholung auf dem Boden ab
 3. Kontakt mit der Wand verloren

4.5.6 Dorsale Rumpfkette

Einstellung

Ein Schwedenkasten mit vier Elementen wird vor einer Sprossenwand wie in Abbildungen 4-15 und 4-16 aufgestellt. Eine Sprosse ~8-10 cm über der Schwedenkastenoberfläche wird mit einer Polsterung (z.B. einem gerollten Handtuch) versehen. Ein fünftes Schwedenkastenelement steht wie abgebildet frei auf seiner langen Seite. Bei der Einstellung geht die Testleiterin die folgenden Kontrollkriterien Punkt für Punkt durch.

- In der Bauchlage auf dem Schwedenkasten kann sich der Athlet mit den Armen auf das freistehende Schwedenkastenelement abstützen (Abbildung 4-15 rechts).
- Die Füße liegen unter der gepolsterten Sprosse mit den Fersen satt an der Polsterung, so dass das Vorwärtsrutschen während des Tests vermieden wird.
- Der Schwedenkasten steht so, dass die *Spinae iliacae anterior superior* des Beckens 5 cm hinter der vorderen Kante der Schwedenkastenoberfläche liegen, wenn die Fersen satt an der Sprossenpolsterung liegen.
- Die untere Stellung wird bei 30° Rumpfflexion festgelegt (Abbildung 4-15 links). Der Flexionsgrad wird mit einem auf einer Latte fixierten Winkelmessgerät bestimmt, während die Latte (am besten von einem Testhelfer) gleichzeitig auf das Sakrum und die Brustwirbelsäule des Athleten gedrückt wird. Bei 30° Flexion stellt die Testleiterin das Standardisierungsgerät so ein, dass die untere Querstange bzw. der Gummizapfen den *Angulus sterni* (Testleiterin palpiert) berührt, und fixiert danach das Gerät zum Boden.
- Für die Einstellung der oberen Stellung (Abbildung 4-15 rechts) stützt sich der Athlet auf den Händen bei 0° Rumpfflexion (Körper horizontal gerade, wie oben mittels Winkelmessgerät bestimmt). Die Latte wird zurückgezogen und die obere Querstange so eingestellt, dass sie bzw. der Gummizapfen den Dornfortsatz eines Brustwirbels berührt.



Abbildung 4-15. Einstellen der unteren (links) und oberen Stellung (rechts) beim Test der dorsalen Rumpfmuskulaturkette.



Abbildung 4-16. Obere (links) und untere Stellung (rechts) beim Test der dorsalen Rumpfmuskulaturkette.

Aus dieser Ausgangsstellung führt der Athlet einen kurzen Probeversuch von maximal fünf Wiederholungen aus, stützt sich danach bis zum Testbeginn auf die Unterarme ab (Abbildung 4-15 links) und entlastet ebenfalls die Fersen.

Ausführung

Die Ausführung des Tests beinhaltet das Runterlassen und das Heben des Oberkörpers, zwischen 0° (obere Stellung, Abbildung 4-16 links) und 30° Rumpfflexion (untere Stellung, Abbildung 4-16 rechts). Die obere und die untere Querstange werden jeweils leicht berührt. Die Arme sind verschränkt, die Finger liegen auf der Clavicula. Die Ellbogen bleiben immer vor der unteren Querstange. Ein kompletter Bewegungszyklus dauert **zwei Sekunden**. Beim Test gelten die folgenden Standardisierungspunkte:

- Instruktion: **Den Oberkörper im Takt anheben und runterlassen. Berühre jeweils die obere bzw. die untere Querstange, ohne dich auf der unteren abzustützen. Bei einem Fehler wird zwei Mal verwart. Beim dritten Mal wird der Test abgebrochen.**
- Startkriterium: Die Zeitmessung beginnt, sobald der Athlet zum ersten Mal die obere Querstange berührt.
- Abbruchkriterien:
 1. Nicht komplette Bewegungszyklen (keine Berührung der oberen Querstange).
 2. Athlet stützt sich zur Erholung auf die untere Querstange ab.

4.5.7 Auswertung und Interpretation

Für die Auswertung und Besprechung der Ergebnisse ist es wichtig, dass Testleiterin und Athlet sich der Testabsicht bewusst sind. Der Test hat primär keinen sportartspezifischen, sondern einen generellen Charakter und beurteilt lediglich eine Voraussetzung für einen sicheren und effizienten Umgang mit Krafttraining und anderen Trainingsbelastungen. Der Test gibt Auskunft, ob der Athlet ein gewisses Mindestkraftniveau besitzt oder nicht. Dafür werden Testergebnisse mit Richtwerten verglichen und einem Bereich (**genügend, grenzwertig** oder **ungenügend**) zugeteilt (Tabelle 4-6). Die Richtwerte stützen sich auf die Studie von Bourban et al.⁸³, Tschopp et al.⁸² und Marti⁸⁶ sowie eine aktuelle Datenanalyse («Swiss Olympic Medical Center» Magglingen). Da der Test einen sehr globalen Charakter hat und mit dem eigenen Körpergewicht ausgeführt wird, hängen Richtwerte kaum von der Sportart oder dem Alter ab.

Tabelle 4–6

Richtwerte für die Beurteilung der Grundkraft in den verschiedenen Rumpfmuskelketten

	ventrale Kette		laterale Kette		dorsale Kette	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen
genügend	≥ 118	≥ 106	≥ 66	≥ 59	≥ 92	≥ 100
grenzwertig	99–117	87–105	54–65	47–58	73–91	81–99
ungenügend	≤ 98	≤ 86	≤ 53	≤ 46	≤ 72	≤ 80
Messfehler	9 %		12 %		9 %	

Anmerkungen. Richtwerte sind in Sekunden angegeben und gelten als sportartübergreifend. Die Daten stammen aus über 20 verschiedenen Ausdauer-, Spiel- und technisch-kompositorischen Sportarten. Die Messfehler-Werte basieren auf der Arbeit von Marti ⁸⁶.

Neben der quantitativen Beurteilung ist eine qualitative Einschätzung wichtig, um allfällige Schwächen oder Risiken zu erkennen. Die subjektive Lokalisation der Hauptbelastung gibt Hinweise über das schwächste Glied der belasteten Körperkette und ermittelt bei ungenügendem Testresultat den Schwerpunkt im Rumpfkrafttraining. Steht die Lokalisation der Hauptbelastung in Zusammenhang mit Beschwerden im Alltag, so sollten durch eine klinische Untersuchung allfällige pathologische Hintergründe abgeklärt werden.

Sind Defizite vorhanden, wird der Athlet mit einer grenzwertigen oder ungenügenden Beurteilung sensibilisiert, dass seine Rumpfstabilität eine Schwachstelle ist, die eventuell sein Verletzungsrisiko erhöht und seine sportliche Leistung limitiert. Neue Reize und Schwerpunkte im Training sind zu empfehlen, die die Rumpfkraft und –stabilität sowie die motorische Koordination der Rumpfmuskulatur verbessern. Dabei sind Trainingsübungen aber nicht auf die im Test verwendeten Übungen beschränkt. Ein abwechslungsreiches

Programm, mit Bezug auf die im Test notierten Schwachstellen (Lokalisierung der Hauptbelastung), sollte konsequent durchgeführt werden. Weiter wird dem Athleten empfohlen, diese Schwachstellen auszugleichen, bevor er ein Kraftaufbautraining mit Zusatzgewichten beginnt oder eine deutliche Steigerung der Trainingsbelastung unternimmt. Damit sollen Verletzungen und Beschwerden im Rücken und Rumpfbereich möglichst vermieden werden.

Sind bereits Beschwerden vorhanden, sind Informationen über die Situationen, in denen diese auftreten, hilfreich. Diese Informationen geben Hinweise, welche Trainingsbelastungen vermieden und welche Kräftigungsübungen am sinnvollsten durchgeführt werden sollten. Bei Athleten mit Defiziten oder nach einem Reha-Programm wird empfohlen, den ganzen Test oder einzelne Teile davon nach mindestens sechs Wochen zu wiederholen.

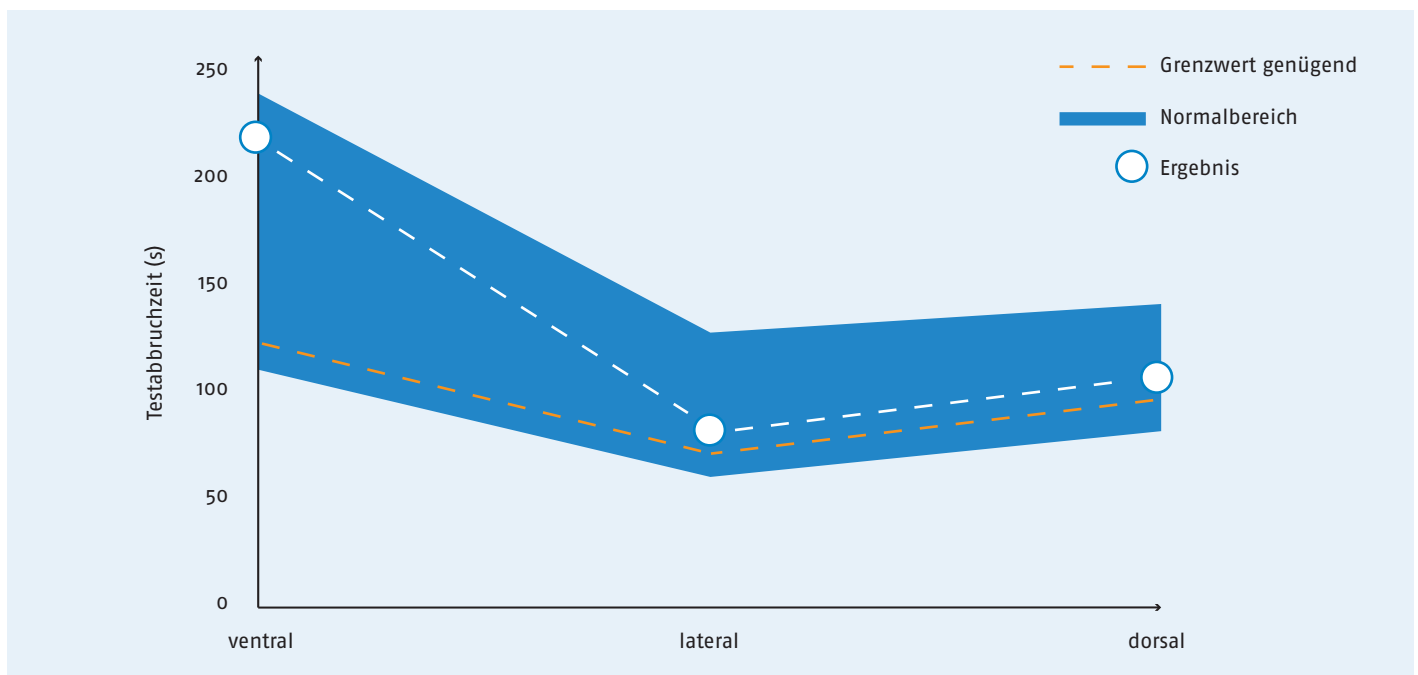


Abbildung 4–17. Beispielauswertung von einem Athlet, der ein Missverhältnis zwischen den drei getesteten Muskelketten aufweist (siehe Text für Interpretation).

Erreichen alle Testergebnisse mindestens das genügende Niveau, ist der Athlet, zumindest von der Rumpfkraft her, in der Lage, ein Training mit Gewicht und Langhantel zu beginnen. In dieser Situation reicht eine Testperiodizität von maximal einmal jährlich.

Auch bei genügendem Niveau in den drei Übungen können die Ergebnisse Missverhältnisse zwischen den Muskelketten aufzeigen. Abbildung 4-17 zeigt eine Beispielsituation, in der ein Missverhältnis zwischen der ventralen Kette einerseits und der lateralen und dorsalen Kette andererseits besteht. In dieser Situation wäre es zu empfehlen, im Rumpfkrafttraining speziell die laterale und die dorsale Kette zu betonen, um das Missverhältnis auszugleichen.

4.5.8 Referenzwerte

Angesichts des Ziels dieses Grundkrafttests sind sportartspezifische Mittelwerte als Referenzwerte generell nicht sinnvoll. Sportartspezifische Mittelwerte können in einzelnen Fällen im ungenügenden Bereich oder auch weit über dem genügenden Niveau liegen und sind daher ungeeignet als Richt- oder Zielwerte. In erster Linie gelten die Richtwerte in Tabelle 4-6 für die Testbeurteilung. Als Richtlinie für das Einordnen der drei Ergebnisse im Verhältnis zueinander dienen die geschlechtsspezifischen Normalbereiche in Abbildung 4-18.

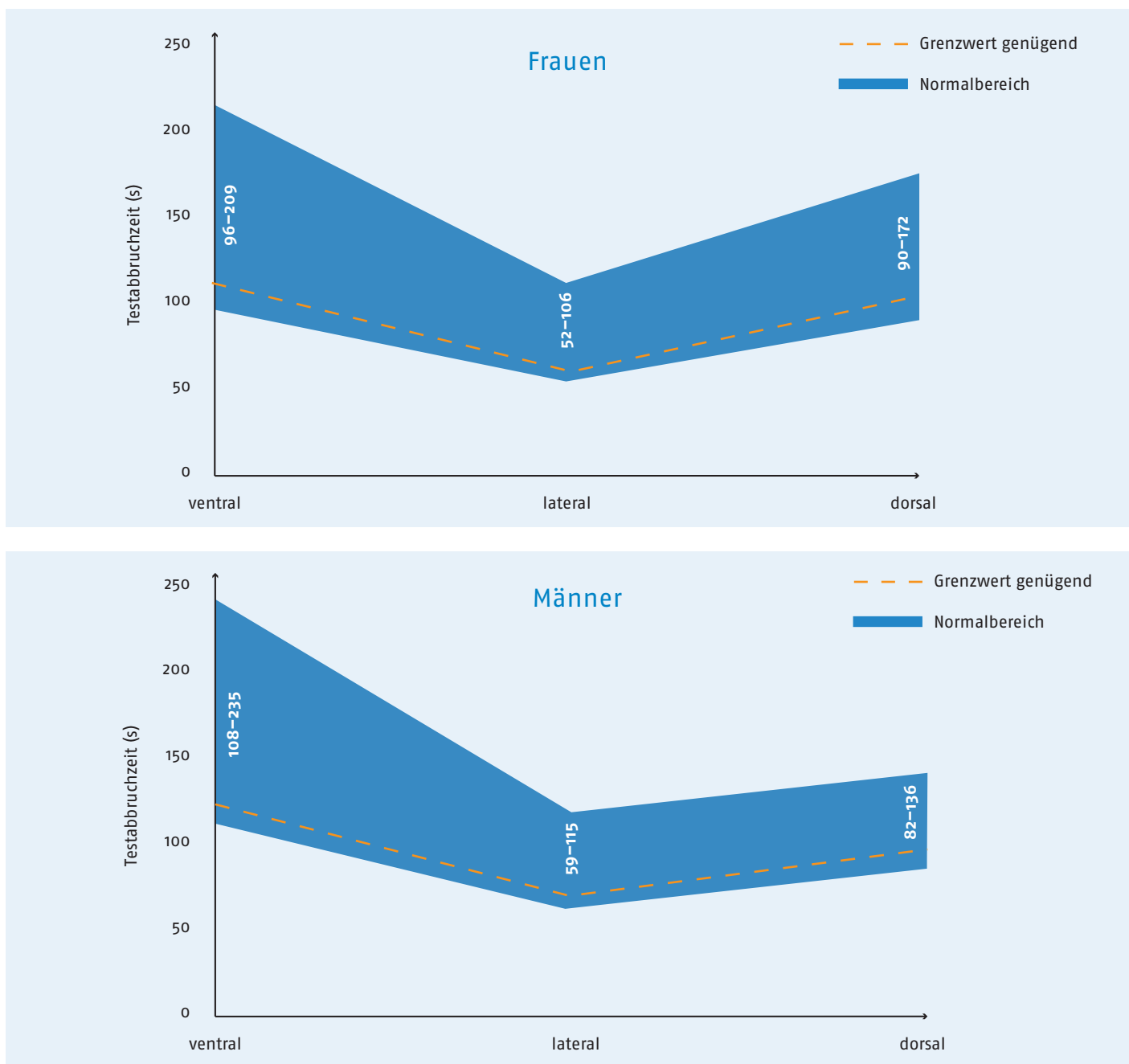


Abbildung 4-18. Normalbereiche für die drei getesteten Muskelketten nach Geschlecht. Die Daten stammen aus über 20 verschiedenen Ausdauer-, Spiel- und technisch-kompositorischen Sportarten (Frauen $n > 1300$; Männer $n > 4000$, «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen). Die Bereiche repräsentieren jeweils den Mittelwert \pm eine Standardabweichung.

4.6 Referenzen

1. Ehlenz, H., Grosser, M. & Zimmermann, E. Krafttraining: Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteigerung, Trainingsprogramme, (BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 1998).
2. Haff, G.G., et al. Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *J Strength Cond Res* 19, 741–748 (2005).
3. Young, K.P., Haff, G.G., Newton, R.U. & Sheppard, J.M. Reliability of a novel testing protocol to assess upper-body strength qualities in elite athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 9, 871–875 (2014).
4. Haff, G.G., Ruben, R.P., Lider, J., Twine, C. & Cormie, P. A comparison of methods for determining the rate of force development during isometric midhigh clean pulls. *J Strength Cond Res* 29, 386–395 (2015).
5. Radlinger, L., Bachmann, W., Homburg, J., Leuenberger, U. & Thaddey, G. Rehabilitatives Krafttraining, (Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1998).
6. Aagaard, P., et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol* 534, 613–623 (2001).
7. Hübner, K. & Schärer, C. Relationship between the Elements Swallow, Support Scale and Iron Cross on rings and their specific preconditioning strengthening exercises. *Science of Gymnastics Journal* 7, 59–68 (2015).
8. Sale, D.G. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20, S135–145 (1988).
9. Aagaard, P. Training-induced changes in neural function. *Exerc Sport Sci Rev* 31, 61–67 (2003).
10. Hubal, M.J., et al. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 37, 964–972 (2005).
11. McGuigan, M.R., Winchester, J.B. & Erickson, T. The importance of isometric maximum strength in college wrestlers. *J Sports Sci Med* 5, 108–113 (2006).
12. Bojsen-Moller, J., Larsson, B. & Aagaard, P. Physical requirements in Olympic sailing. *Eur J Sport Sci* 15, 220–227 (2015).
13. Salmon, D.M., Handcock, P.J., Sullivan, S.J., Rehrer, N.J. & Niven, B.E. Reliability of repeated isometric neck strength and endurance testing in a simulated contact posture. *J Strength Cond Res* 29, 637–646 (2015).
14. Young, K.P., Haff, G.G., Newton, R.U., Gabbett, T.J. & Sheppard, J.M. Assessment and monitoring of ballistic and maximal upper-body strength qualities in athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 10, 232–237 (2015).
15. Haff, G.G., et al. Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J Strength Cond Res* 11, 269–272 (1997).
16. Duss, R. & Hobi, N. Der prozentuale Anteil der konzentrischen Maximalkraft an der isometrischen Maximalkraft. Eidg. Technische Hochschule Zürich (2003).
17. Bazyler, C.D., Beckham, G.K. & Sato, K. The use of the isometric squat as a measure of strength and explosiveness. *J Strength Cond Res* 29, 1386–1392 (2015).
18. Blazevich, A.J., Gill, N. & Newton, R.U. Reliability and validity of two isometric squat tests. *J Strength Cond Res* 16, 298–304 (2002).
19. Nuzzo, J.L., McBride, J.M., Cormie, P. & McCaulley, G.O. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *J Strength Cond Res* 22, 699–707 (2008).
20. Peterson, M.D., Alvar, B.A. & Rhea, M.R. The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. *J Strength Cond Res* 20, 867–873 (2006).
21. Hübner, K. Veränderung der Explosivkraft der unteren Extremitäten in Abhängigkeit vom Widerstand. Universität Leipzig (2009).
22. Zawieja, M. Leistungsreserve Hanteltraining: Handbuch des Gewichthebens für alle Sportarten, (Philippka-Sportverlag, Münster, 2008).
23. Van Dieen, J.H., Ogita, F. & De Haan, A. Reduced neural drive in bilateral exertions: a performance-limiting factor? *Med Sci Sports Exerc* 35, 111–118 (2003).
24. Taniguchi, Y. Lateral specificity in resistance training: the effect of bilateral and unilateral training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75, 144–150 (1997).
25. Taniguchi, Y. Relationship between the modifications of bilateral deficit in upper and lower limbs by resistance training in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 78, 226–230 (1998).
26. Kibele, A., Müller, K.J. & Bührle, M. Bilaterale Defizit bei willkürlichen Maximalkontraktionen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 40, 120–134 (1989).
27. Mangine, G.T., et al. The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men. *Physiol Rep* 3 (2015).
28. Cormie, P., McGuigan, M.R. & Newton, R.U. Developing maximal neuromuscular power: Part 1—biological basis of maximal power production. *Sports Med* 41, 17–38 (2011).
29. Mackala, K., Fostiak, M. & Kowalski, K. Selected determinants of acceleration in the 100m sprint. *J Hum Kinet* 45, 135–148 (2015).
30. Terzis, G., Kyriazis, T., Karampatos, G. & Georgiadis, G. Muscle strength, body composition, and performance of an elite shot-putter. *Int J Sports Physiol Perform* 7, 394–396 (2012).
31. Lawton, T.W., Cronin, J.B. & McGuigan, M.R. Strength, power, and muscular endurance exercise and elite rowing ergometer performance. *J Strength Cond Res* 27, 1928–1935 (2013).

32. Lauver, J.D., Cayot, T.E. & Scheuermann, B.W. Influence of bench angle on upper extremity muscular activation during bench press exercise. *Eur J Sport Sci*, 1–8 (2015).
33. Ransdell, L.B. & Murray, T. A physical profile of elite female ice hockey players from the USA. *J Strength Cond Res* 25, 2358–2363 (2011).
34. Speranza, M.J., Gabbett, T.J., Johnston, R.D. & Sheppard, J.M. Muscular Strength and Power Correlates of Tackling Ability in Semiprofessional Rugby League Players. *J Strength Cond Res* 29, 2071–2078 (2015).
35. Pearson, S.N., Hume, P.A., Cronin, J.B. & Slyfield, D. Strength and power determinants of grinding performance in America's Cup sailors. *J Strength Cond Res* 23, 1883–1889 (2009).
36. O'Conner, B., Simmons, J. & O'Shea, P. *Weight Training Today*, (West Publ., St. Paul, MN, 1989).
37. Buskies, W. & Boeckh–Behrens, W.–U. Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. *Leistungssport* 3 / 99, 4–8 (1999).
38. Sakamoto, A. & Sinclair, P.J. Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *J Strength Cond Res* 20, 523–527 (2006).
39. Kraemer, W.J. & Fleck, S.J. *Optimizing Strength Training – Designing Nonlinear Periodization Workouts.*, (Human Kinetics, Champaign, 2007).
40. Seo, D.I., et al. Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *J Sports Sci Med* 11, 221–225 (2012).
41. Stoggl, T., Muller, E., Ainegren, M. & Holmberg, H.C. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scand J Med Sci Sports* 21, 791–803 (2011).
42. Schnabel, G., Harre, H.D. & Krug, J. (eds.). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf*, (Meyer & Meyer, Achen, Deutschland, 2008).
43. Bührle, M. & Schmidtbleicher, D. Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. *Sportwissenschaft* 11, 11–27 (1981).
44. Frost, D.M., Cronin, J.B. & Newton, R.U. Have we underestimated the kinematic and kinetic benefits of non-ballistic motion? *Sports Biomech* 7, 372–385 (2008).
45. Lake, J., Lauder, M., Smith, N. & Shorter, K. A comparison of ballistic and nonballistic lower-body resistance exercise and the methods used to identify their positive lifting phases. *J Appl Biomech* 28, 431–437 (2012).
46. Mackenzie, S.J., Lavers, R.J. & Wallace, B.B. A biomechanical comparison of the vertical jump, power clean, and jump squat. *J Sports Sci*, 1–10 (2014).
47. Dal Pupo, J., et al. Physiological and neuromuscular indices associated with sprint running performance. *Res Sports Med* 21, 124–135 (2013).
48. Smirniotou, A., et al. Strength–power parameters as predictors of sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 48, 447–454 (2008).
49. Marques, M.C., Gil, H., Ramos, R.J., Costa, A.M. & Marinho, D.A. Relationships between vertical jump strength metrics and 5 meters sprint time. *J Hum Kinet* 29, 115–122 (2011).
50. Young, W., McLean, B. & Ardagna, J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 35, 13–19 (1995).
51. Marques, M.C., Pereira, A., Reis, I.G. & van den Tillaar, R. Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength–Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *J Hum Kinet* 39, 157–166 (2013).
52. Sedano Campo, S., et al. Effects of lower-limb plyometric training on body composition, explosive strength, and kicking speed in female soccer players. *J Strength Cond Res* 23, 1714–1722 (2009).
53. McMaster, D.T., Gill, N., Cronin, J. & McGuigan, M. A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Med* 44, 603–623 (2014).
54. Werstein, K.M. & Lund, R.J. The effects of two stretching protocols on the reactive strength index in female soccer and rugby players. *J Strength Cond Res* 26, 1564–1567 (2012).
55. Talpey, S., Young, W. & Beseler, B. Effect of instructions on selected jump squat variables. *J Strength Cond Res* (2014).
56. Bobbert, M.F., Gerritsen, K.G., Litjens, M.C. & Van Soest, A.J. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sports Exerc* 28, 1402–1412 (1996).
57. McBride, J.M., Kirby, T.J., Haines, T.L. & Skinner, J. Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *Int J Sports Physiol Perform* 5, 484–496 (2010).
58. Crewther, B.T., McGuigan, M.R. & Gill, N.D. The ratio and allometric scaling of speed, power, and strength in elite male rugby union players. *J Strength Cond Res* 25, 1968–1975 (2011).
59. Markovic, G. & Jaric, S. Is vertical jump height a body size-independent measure of muscle power? *J Sports Sci* 25, 1355–1363 (2007).
60. Samozino, P., Morin, J.B., Hintzy, F. & Belli, A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech* 41, 2940–2945 (2008).
61. Suchomel, T.J., Sole, C.J. & Stone, M.H. Comparison of methods that assess lower body stretch-shortening cycle utilization. *J Strength Cond Res* (2015).
62. McGuigan, M.R., et al. Eccentric utilization ratio: effect of sport and phase of training. *J Strength Cond Res* 20, 992–995 (2006).
63. Hawkins, S.B., Doyle, T.L. & McGuigan, M.R. The effect of different training programs on eccentric energy utilization in college-aged males. *J Strength Cond Res* 23, 1996–2002 (2009).

64. Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P.E., Belli, A. & Morin, J.B. Force-velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Med Sci Sports Exerc* 46, 107–114 (2014).
65. Bobbert, M.F., de Graaf, W.W., Jonk, J.N. & Casius, L.J. Explanation of the bilateral deficit in human vertical squat jumping. *J Appl Physiol* (1985) 100, 493–499 (2006).
66. Rejc, E., Lazzer, S., Antonutto, G., Isola, M. & di Prampero, P.E. Bilateral deficit and EMG activity during explosive lower limb contractions against different overloads. *Eur J Appl Physiol* 108, 157–165 (2010).
67. Suchomel, T.J., Bailey, C.A., Sole, C.J., Grazer, J.L. & Beckham, G.K. Using reactive strength index-modified as an explosive performance measurement tool in Division I athletes. *J Strength Cond Res* 29, 899–904 (2015).
68. Debaere, S., Jonkers, I. & Delecluse, C. The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *J Strength Cond Res* 27, 116–124 (2013).
69. Nummela, A., Keranen, T. & Mikkelsen, L.O. Factors related to top running speed and economy. *Int J Sports Med* 28, 655–661 (2007).
70. Seeley, M.K. & Bressel, E. A Comparison of Upper-Extremity Reaction Forces between the Yurchenko Vault and Floor Exercise. *J Sports Sci Med* 4, 85–94 (2005).
71. Lindinger, S.J., Holmberg, H.C., Muller, E. & Rapp, W. Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *Eur J Appl Physiol* 106, 353–363 (2009).
72. Zoppirolli, C., et al. The effectiveness of stretch-shortening cycling in upper-limb extensor muscles during elite cross-country skiing with the double-poling technique. *J Electromyogr Kinesiol* 23, 1512–1519 (2013).
73. Chelly, S.M. & Denis, C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc* 33, 326–333 (2001).
74. Kubo, K., et al. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med Sci Sports Exerc* 39, 1801–1810 (2007).
75. Komi, P.V. Stretch-Shortening Cycle. in *Strength and Power in Sport* (ed. Komi, P.V.) 184–202 (Blackwell Science Ltd, Oxford, 2003).
76. Bissas, A.I. & Havenetidis, K. The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. *J Sports Med Phys Fitness* 48, 49–54 (2008).
77. Sands, W.A., et al. Exploratory relationship of drop jump performance with gymnastics vaulting and floor exercise scores. in *11th Annual Congress of the European College of Sport Science* (Lausanne, Switzerland, 2006).
78. Young, W.B., Pryor, J.F. & Wilson, G.J. Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *J Strength Cond Res* 9, 232–236 (1995).
79. Markwick, W.J., Bird, S.P., Tufano, J.J., Seitz, L.B. & Haff, G.G. The Intraday Reliability of the Reactive Strength Index (RSI) Calculated From a Drop Jump in Professional Men's Basketball. *Int J Sports Physiol Perform* (2014).
80. Goertzen, M. & Zinser, W. Langzeitanalyse der Prävalenz und «Life-time»-Inzidenz von Wirbelsäulenbeschwerden nach Beendigung des Hochleistungssports. *Deutsche Z Sportmedizin* 49, 9–17 (1998).
81. Ruckstuhl, L., Richner, R., Mancini, S., Conzelmann, A. & Clénin, G.E. Rückenbeschwerden und Rumpfkraft im Schweizer Spitzenradsport. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumat* 56, 122 (2008).
82. Tschopp, M., Bourban, P., Hübner, K. & Marti, B. Messgenauigkeit eines 4-teiligen, standardisierten dynamischen Rumpfkrafttests: Erfahrungen mit gesunden männlichen Spitzesportlern. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumat* 49, 67–72 (2001).
83. Bourban, P., Hübner, K., Tschopp, M. & Marti, B. Grundkraftanforderungen im Spitzensport: Ergebnisse eines 3-teiligen Rumpfkrafttests. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumat* 49, 73–78 (2001).
84. Pasquier, J., Repond, R.M. & Bourban, P. Evaluation de l'asymétrie des chaînes latérales du tronc chez le sportif: Analyse à l'aide du test de la force de base du tronc SOMC. Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen (2010).
85. Heyder, S., et al. Leistungsdiagnostisches Profil von Schweizer Spitzen-Degenfechtern und -fechterinnen unter besonderer Berücksichtigung von Alter und Lateralität. (ed. BASPO, B.f.S.) (Magglingen, Schweiz, 2005).
86. Marti, A. Grundkrafttest-Rumpf bei gesunden Spitzensportlerinnen: Richtwerte und Reliabilitätsaspekte. Eidg. Hochschule für Sport Magglingen (2006).

05



Anwendung nach Sportart

Anwendung nach Sportart

5.1 Kunstturnen

Das Kunstturnen der Männer (M) und Frauen (F) gehört zu den technisch-kompositorischen Sportarten. An sechs (M) (Boden, Pferd-pauschen, Ringe, Sprung, Barren und Reck) respektive vier Geräten (F) (Sprung, Stufenbarren, Balken, Boden) muss an den Wettkämpfen eine Übung präsentiert werden, welche durch die Kampfrichter nach Schwierigkeit und Ausführung bewertet wird.

Die laufende Verbesserung der Federeigenschaften der Turngeräte und im Speziellen die Abschaffung der Höchstnote «zehn» im Jahr 2006 hat im letzten Jahrzehnt zu einer markanten Erhöhung der Schwierigkeit und der Dauer der Übungen geführt¹. Die Wettkampf-übungen haben heute eine Dauer von 3 s (Sprung) bis maximal 70 s (Boden) bei den Männern respektive 90 s (Boden und Balken) bei den Frauen. Mit den Anforderungen sind auch der Trainingsumfang (bis 30 h / Woche) und insbesondere die Belastung auf die Gelenke im Training und im Wettkampf angestiegen (Kräfte bis 16 g wirken z.B. bei Absprüngen am Boden)².

Jedes Gerät hat ein eigenes, spezifisches Anforderungsprofil. Dieses verändert sich durch die alle vier Jahre vorgenommenen Anpassungen der Wertungsvorschriften leicht. Generell ist das Niveau der Technik an allen Geräten und somit die Ausführungsqualität der Elemente der kritische Erfolgsfaktor. Leistungsphysiologische Aspekte erfüllen aber wichtige Zubringerfunktionen für die Umsetzung der Technik. Parameter der Explosivkraftfähigkeit der unteren Extremitäten sind die leistungsrelevanten Kenngrößen beim Boden^{3,4}, Sprung^{5,6} und Balken, um eine grössere Sprung- oder Flughöhe zu erreichen. Mehr Flugzeit bedeutet für die Athletinnen, dass mehr Zeit für Drehungen in der Längs- und Breitenachse zur Verfügung steht. Dadurch können schwierigere Sprünge gezeigt werden, was sich positiv auf den Ausgangswert der Übung auswirkt. 75% der Varianz des Schwierigkeitswertes am Gerät Sprung lassen sich durch die Anlaufgeschwindigkeit erklären (Datenanalyse «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen). Ebenfalls ein enger Zusammenhang besteht zwischen der maximalen Sprunghöhe beim Bodenturnen und Explosivkraftparametern ($r = 0.54$)⁴.

Parameter der relativen Maximalkraft der oberen Extremitäten sind die wichtigsten leistungsrelevanten Kenngrößen am Pferd-pauschen, Barren und an den Ringen. Während sie am Barren und Pferd als Grundvoraussetzung für die Kraftausdauer im Stütz bezeichnet werden kann, ist die relative Maximalkraft an den Ringen entscheidend, um schwierige Kraftelemente die geforderten 2 s in Perfektion halten zu können. Das Stemmen von 67–73% des Körpergewichts bei spezifischen Langhantelübungen mit gestreckten Armen wurde dafür als Mindestvoraussetzung berechnet⁷.

Am Reck und Stufenbarren sind Parameter der Schnellkraftfähigkeiten im Arm-Rumpf-Winkel- und Mittelkörperbereich die leistungsrelevanten Kenngrößen, um optimale Beschleunigungen für die geforderten Flug- und Hangelemente zu generieren.

Aufgrund der Komplexität der kritischen Erfolgsfaktoren konzentriert sich die Leistungsdiagnostik im Kunstturnen im Wesentlichen auf die Bestimmung von Explosiv- und Reaktivkraftparametern (Quattro- und Drop Jump) sowie den Vergleich zwischen der Anlaufgeschwindigkeit, Schrittfrequenz, Schrittlänge und Bodenkontaktzeit beim Pferdsprung mit denselben Parametern bei maximalen Sprints (Opto Jump und Laser). Die daraus folgenden Trainingsempfehlungen geben ein detailliertes Bild darüber ab, ob die Technik am Pferdsprung trainiert oder die Sprinttechnik respektive die physischen Voraussetzungen zum Optimieren der Anlaufgeschwindigkeit verbessert werden sollte.

5.2 Langlauf/Biathlon

Der Langlaufsport wie auch der Biathlonsport umfassen viele Disziplinen und Wettkampfformen, die sich in den Anforderungsprofilen an die Athletinnen unterscheiden. So sind im Langlauf Wettkämpfe von rund 3 min (Sprint) bis 2 h 30 min (50 km) im Programm. Unabhängig von der Wettkampfform sind damit Parameter der aeroben Leistungsfähigkeit und Kapazität die leistungsrelevanten Kenngrößen⁸. Dementsprechend dienen $\dot{V}O_2\text{max}$ - und Stufen-Tests mit Bestimmung der aeroben und anaeroben Schwelle als wichtige Basisdiagnostik, evtl. erweitert um Tests der anaeroben Kapazität und der Sprintfähigkeit für die Sprinter. Die Tests erfolgen möglichst sportartspezifisch, i.d.R. mit Rollskis auf einem genügend grossen Laufband. Aufgrund des damit erreichten hohen Anteils an aktiver Muskelmasse während der Belastung weisen Langläuferinnen und Langläufer bei sportartspezifischen Tests im Vergleich mit anderen Ausdauerathletinnen in der Regel die höchsten $\dot{V}O_2\text{max}$ Werte auf⁸. Während im Langlauf darauf geachtet wird, möglichst allen Techniken (klassisch vs. freie Technik) gerecht zu werden, erfolgen die Tests im Biathlonbereich v.a. in der freien Technik (Skating). Aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen der aeroben Leistungsfähigkeit des Oberkörpers und der Wettkampfleistung in allen Techniken sowie der Entwicklung der Wichtigkeit der Oberkörperleistung im Langlaufsport in den letzten Jahren⁹ wird bei Leistungstests auch ein Fokus auf die spezifische Oberkörper-Leistungsfähigkeit gelegt. So kann z.B. die spezifische Leistungsfähigkeit mit einem Kapazitätstest evaluiert werden, bei dem die Athletinnen während rund 20–30 min in der Doppelstosstechnik möglichst viel Weg absolvieren. Die erbrachte Distanz bei einem solchen Kapazitätstest zeigt einen sehr engen Zusammenhang mit der Wettkampfleistung im folgenden Winter¹⁰. Die Leistungstests im Langlauf erfolgen grundsätzlich immer mit Steigung im Laufband, um der Wichtigkeit einer körpergewichtsbezogenen Leistungsfähigkeit gerecht zu werden. In der Regel werden Langlaufrennen auch in Steigungen entschieden oder mindestens vorentschieden. Die Zeitpunkte für die Leistungstests werden in der Regel zu Beginn der Aufbauphase (Frühjahr) und vor der Wettkampfphase (Herbst) angesetzt.

5.3 Laufsport (Mittel- und Langstreckenlauf)

Im Mittel- und Langstreckenlauf (800 m bis Marathon) sind je nach Distanz leicht andere physiologische Qualitäten zentral. Bei Mittelstreckenläufen (800 und 1500 m) spielen neben den aeroben auch die anaeroben Stoffwechselsysteme eine mitentscheidende Rolle^{11,12}. Bei längeren Distanzen sind Parameter der aeroben Ausdauer die leistungsrelevanten Kenngrößen¹². Die Erfassung der aeroben Komponente mittels Laktatstufen- und $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test ist somit die Basis der Leistungsdiagnostik bei Mittel- und Langstreckendisziplinen. Darauf aufbauend werden disziplinspezifisch weitere Leistungstests durchgeführt. Die Wettkampfkapazität kann mittels spezifischer Kapazitätstests erfasst werden. Diese sollten möglichst standardisiert und wettkampfnah gestaltet sein. Für Bahndisziplinen (800 m bis 10000 m), bei denen taktische Rennen und Sprintentscheidungen vorkommen, empfiehlt sich zusätzlich ein Test der anaeroben Kapazität (z.B. 400 m-Lauf) sowie der Sprintfähigkeit. Um die Entwicklung der erwähnten leistungsrelevanten Kenngrößen zu erfassen, machen zwei bis vier Testzeitpunkte pro Jahr Sinn. Diese sollen individuell auf die Saisonplanung einer Athletin abgestimmt sein. Trainiert eine Athletin beispielsweise für eine Sommersaison mit mehreren Wettkämpfen, werden die Zeitpunkte für die Leistungstests vor der Aufbauphase und vor der Wettkampfphase angesetzt. Optimalerweise werden zu diesen Zeitpunkten alle relevanten Leistungstests durchgeführt (z.B. Stufen-, $\dot{V}O_2\text{max}$ - und Kapazitätstest).

5.4 Orientierungslauf

Orientierungslauf ist ein im Gelände stattfindender Ausdauersport. Auf einer für diese Sportart aufgenommenen Spezialkarte ist eine Reihe von Posten eingezeichnet, die möglichst schnell in der vorgegebenen Reihenfolge angelaufen werden müssen. Die Sportart vereint somit eine technische (Orientieren) wie auch eine physische Komponente (Laufen). Die im OL-Sport bekannten Disziplinen teilen sich auf in Sprint (Wettkampfdauer 15 min), Mitteldistanz (30–40 min) und Langdistanz (90–100 min).

Als Basistests sind im Orientierungslauf der Laktatstufentest auf dem Laufband als Labortest und der 3000-Meter-Lauf im Juniorenalter bzw. der 5000-Meter-Lauf im Elitealter sowie der 4 · 1000-Meter Test als Feldtests etabliert. Aufgrund der langjährigen Tradition dieser Tests existieren breit abgestützte sportartspezifische Referenzwerte¹³.

Steigungstest: Die Fähigkeit, gut bergauf laufen zu können, ist im Orientierungslauf ein kritischer Erfolgsfaktor. Dies konnte in Untersuchungen mit dem Schweizer OL-Kader gezeigt werden. Entsprechend wurde der Steigungstest als Labortest mit 22% Steigung auf dem Laufband entwickelt¹⁴. Um die Fähigkeiten Flachlaufen versus Steigungslaufen einander gegenüber zu stellen, werden die beiden Tests zusammen durchgeführt, wobei der minimale Testabstand 3 Stunden beträgt. Der Flachtest wird zuerst durchgeführt. In der Auswertung werden die aktuellen Testresultate der Laktatstufentests flach und bei 22% Steigung, die Leistungsentwicklung, besonders aber das Leistungsvermögen im Steigungslaufen gegenüber dem Laufen im Flachem diskutiert. Dies soll einerseits in die Trainingsplanung einfließen und andererseits auch eine Grundlage darstellen für Routenwahlentscheide während des Wettkampfes.

Feldkapazitätstest: Mit dem Feldkapazitätstest soll ähnlich wie beim 3000- bzw. 5000-Meter-Lauf die Kapazität bestimmt werden, allerdings im Gelände und somit sportartnahe. Er eignet sich als

Vorbereitung auf einen bestimmten Zielwettkampf mit einer entsprechenden Geländewahl. Der Test wird als Rundkurs unterteilt in Teilabschnitte unterschiedlicher Geländetypen (z.B. Weg, Steigung, Sumpf) durchgeführt. Die Anzahl der Runden und somit die Testlänge wie auch die Anzahl der Teilabschnitte können je nach Fragestellung variiert werden. Es wurde eine Software entwickelt, in der die verschiedenen Testanordnungen variabel eingegeben werden können. Der Test soll im Verlauf wiederholt und als Team durchgeführt werden. Die Testauswertung gibt Auskünfte über die Kapazität, über die Geschwindigkeitskonstanz und über geländespezifische Fähigkeiten. Sie liefert zudem den Vergleich mit dem Team und im Längsverlauf auch die Dokumentation der Leistungsentwicklung.

5.5 Radsport

Die verschiedenen Disziplinen im Radsport sind durch unterschiedliche kritische Erfolgsfaktoren charakterisiert. Alle Disziplinen profitieren für die Diagnostik von dem in keiner anderen Sportart möglichen Einsatz von mobilen Leistungsmesssystemen. Neben der Labordiagnostik vielfältig einsetzbar ist dadurch das Power Profiling^{15,16}: die Bestimmung der maximal möglichen Durchschnittsleistung über verschiedene Belastungsdauern von 5 s bis 1 h. Für die Ausdauerdisziplinen bietet eine Critical Power Modellierung der Leistungsfähigkeit¹⁷ weiterführende Möglichkeiten. Am sinnvollsten sind Tests zu Beginn der Aufbauphase für eine erste Standortbestimmung und unmittelbar vor der Wettkampfphase, um die aktuelle Leistungsfähigkeit zu dokumentieren.

Die korrekte Skalierung von leistungsrelevanten Kenngrößen ist im Radsport besonders wichtig, da der Fahrwiderstand je nach Geschwindigkeit, Bodenbeschaffenheit und Steigung von unterschiedlichen Faktoren abhängt¹⁸ (siehe 2.4.2 Analyse). Daher werden in allen Disziplinen regelmässig jeweils entscheidende Anthropometriedaten erhoben (Grösse, Körpergewicht, Körperzusammensetzung, c_dA -Wert^{19,20}).

Die Disziplinen Mountainbike XC und Radquer zeichnen sich durch ein variables Belastungsmuster aus²¹. Daher können hier neben den klassischen Ausdauer Tests (Laktatstufentest, $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test) auch Sprinttests und Tests der anaeroben Kapazität interessant sein²². Die wichtigste leistungsrelevante Kenngrösse ist aber die Durchschnittsleistung in einem spezifischen variablen Ausdauerkapazitätstest, skaliert auf das Körper- oder Systemgewicht (Körper- + Fahrradgewicht)^{23,24}.

In der Disziplin Rennrad machen je nach Zielwettkampf und Fahrerprofil unterschiedliche Tests Sinn. Laktatstufen- und $\dot{V}O_2\text{max}$ -Tests dienen als Basisdiagnostik, evtl. erweitert um Tests der anaeroben Kapazität und der Sprintfähigkeit. Die spezifische Leistungsfähigkeit wird in Kapazitätstests ermittelt (z.B. 20 min Zeitfahren am Berg oder in der Fläche). Um die Erfolgchancen von Bergfahrern einzuschätzen, werden die leistungsrelevanten Kenngrößen auf das Körper- oder Systemgewicht skaliert, für die Chancen eines Zeitfahrers auf den gemessenen oder geschätzten c_dA -Wert.

Auf der Bahn unterscheiden sich die verschiedenen Unterdisziplinen deutlich in ihrem Anforderungsprofil²⁵. Für die Ausdauerwettbewerbe eignen sich die gleichen Basistests wie bei Strassenfahrern. Besonders wertvoll sind Kapazitätstests direkt auf der Bahn (z.B. 5 min Zeitfahren mit fliegendem Start). Leistungsrelevante Kenngrößen werden primär auf den c_dA -Wert skaliert.

Im Gegensatz zu den Ausdauerdisziplinen sind im BMX sowie beim Bahnsprint die entscheidenden Kenngrößen Parameter der Explo-

sivkraft und der anaeroben Kapazität. Tests der Maximal- und Explosivkraft der unteren Extremitäten sind daher sinnvoll. Weil auf dem Rad die maximale Beschleunigung und die Maximalleistung entscheidend sind, wird auch mit Sprinttests gearbeitet^{26,27}. Diese können in Form von Einzelsprints²⁸ oder repetitiven Sprints²⁹ durchgeführt werden.

5.6 Rudern

Rudern gehört als zyklische Ausdauerdisziplin mit einer Wettkampfdauer von 5:20–8:30 min (2000 m, Fahrzeit variiert je nach Kategorie, Bootsklasse und äusseren Einflüssen) zu den Mittelzeitausdauersportarten. Charakteristisch sind hohe Anforderungen an die aeroben und anaeroben energetischen Prozesse, wobei die aerobe Energiegewinnung deutlich dominiert. Ebenfalls sind eine ausgeprägte Säureverträglichkeit, eine hohe psychische Durchhaltefähigkeit und Mobilisationsfähigkeit im Endspurt gefordert³⁰.

Leistungsdiagnostische Untersuchungen im Rudern werden bei Feldtests auf dem Freiwasser, im Labor auf dem Ruderergometer oder im Ruderbecken (Wasser strömt in einem Kreislauf und wird vom Ruderer angetrieben) eingesetzt³¹. International hat sich bei den führenden Rudernationen (Grossbritannien, Neuseeland, Australien, Deutschland) die Laktatdiagnostik mit einer Stufenlänge von jeweils 4–8 min und Pausenlänge von 30–60 s beim Laktatstufentest durchgesetzt. Die Schlagzahlen werden hierbei teilweise vorgegeben. Der Drag Faktor (Einstellung des Luftwiderstandes des Windrades am Ruderergometer) wird in der Regel nach Altersklasse, Gewichtsklasse und Geschlecht festgelegt. Die Laktatstufentests werden mehrfach im Jahresverlauf wiederholt, um Entwicklungen in der Laktat-Leistungskurve zu kontrollieren und Vorgaben für die Trainingssteuerung zu erhalten.

Weiterhin werden folgende spezifische Tests eingesetzt: Maximaltest mit Renndistanz (2000 m Freiwasser und Ergometer), mit Überdistanz (Langstrecke 6 km Freiwasser, 5 km Ergometer) und mit Unterdistanz (Ergometer z.B. 5 maximale Ruderzüge, 100 m, 500 m). Dadurch ist die Darstellung der Leistungsfähigkeit in einer sogenannten «power-duration-curve», oder auch «power profile» genannt, möglich^{31,32}. Ebenfalls findet die Spiroergometrie (in Ergänzung zum Laktatstufentest oder als eigenständiges Rampenprotokoll) auf dem Ruderergometer und Messbootfahrten auf dem Freiwasser (möglich mit Messgeräten zur direkten Leistungsmessung) Anwendung.

Als klassische Kraftausdauerdisziplin ist im Rudern neben der Ausdauerdiagnostik auch die Kraftdiagnostik relevant^{31,32}. Maximalkraft und Kraftausdauer sowie die Übungsauswahl werden dabei von Nation zu Nation unterschiedlich gewichtet.

5.7 Schwimmen

Die im Schwimmsport ausgetragenen Wettkämpfe gehen vom 50 m Sprint bis zum 25 km Langstreckenschwimmen und werden in vier verschiedenen Techniken (Lagen) abgehalten. Ab einer Wettkampfdistanz von 200 m (Dauer ca. 2 min) sind aerobe Energiebereitstellungsmechanismen dominant³³. Für Athletinnen, die solche Rennen bestreiten, empfehlen sich daher Leistungstests ähnlich wie beim Strassenradfahren oder beim Langstreckenlauf. Da die spezifischen Schwimmbewegungen nur sehr schlecht im Labor wiedergegeben werden können und Alternativen wie ein Strömungskanal selten zur Verfügung stehen, müssen die gängigen Testverfahren (wie der Laktatstufentest) fürs Schwimmen leicht angepasst und direkt im

Schwimmbecken durchgeführt werden. Mit einem 7 · 200 m Stufentest^{34,35}, bei dem sieben 200 m-Stufen mit immer höherer Geschwindigkeit geschwommen werden, sind sehr ähnliche Aussagen bzgl. aerober Fitness und Trainingssteuerung möglich wie bei einem Stufentest auf dem Laufband. Da die Bedingungen bei Schwimmwettkämpfen fast perfekt standardisiert sind (kein Gegnereinfluss, konstante Temperatur, kein Wind, etc.), eignen diese sich optimal als distanz- und lagenspezifische Kapazitätstests. Nur für Langstreckenwettkämpfe (5 bis 25 km), die im offenen Wasser durchgeführt werden, lohnt sich ein zusätzlich durchgeführter Kapazitätstest (z.B. 3000 m oder 30-min-Test im Becken³⁶). Für Sprintdisziplinen (50 und 100 m), bei denen anaerobe und neuromuskuläre Prozesse leistungsrelevant sind, wurden Testformen wie ein 8 · 100 m-Test vorgeschlagen^{32,37}.

Um die Entwicklung der leistungsrelevanten Kenngrössen zu erfassen, machen zwei bis vier Testzeitpunkte pro Jahr Sinn. Diese sollen individuell auf die Saisonplanung einer Athletin abgestimmt sein. Trainiert eine Athletin beispielsweise für eine Sommersaison mit mehreren Wettkämpfen, werden die Zeitpunkte für die Leistungstests vor der Aufbauphase und vor der Wettkampfphase angesetzt.

5.8 Ski alpin/Snowboard

Die alpinen Rennsportarten Ski und Snowboard verlangen eine komplexe Mischung aus Kraft, Technik, Koordination und Stehvermögen. Nicht nur für die Wettkampfleistung kommt es auf diese Fähigkeiten an, sondern auch für die Verletzungs- und Ermüdungsresistenz im Training und Wettkampf. In beiden Sportarten werden den Beinen sehr hohe Kräfte aller Art (exzentrisch, isometrisch, konzentrisch) abverlangt³⁸ und dies bei einem stabilen, möglichst ruhigen Oberkörper. Daher sind isometrische und / oder dynamische Tests der Maximalkraft in Kniebeugen sinnvoll sowie explosive Sprungtests mit einer elastischen (exzentrischen) Komponente. Da Knieverletzungen in den alpinen Sportarten häufig Probleme bereiten, ist aus prophylaktischer Sicht eine Dysbalance zwischen Kniestrecker und -beuger zu vermeiden. Dazu dienen isokinetische Tests am besten. Entsprechend der üblichen Zeitdauer eines Wettkampflaufs (ca. 40–150 s) ist aus energetischer Sicht eine gute anaerobe Kapazität ein kritischer Erfolgsfaktor. Tests der anaeroben Leistungsfähigkeit wie zum Beispiel kontinuierliche Sprungserien oder der Wingate-Test auf dem Fahrradergometer helfen, die Ermüdungsresistenz zu charakterisieren und allfällige Defizite zu erkennen. Ein ski-ähnlicher Leistungstest der anaeroben Kapazität stellt der 90-Sekunden-Box-Jump dar³⁹. Diese Tests können auch der disziplinspezifischen Belastungsdauer (von Parallel-Slalom Snowboard bis Abfahrt Ski) angepasst werden. Zuletzt ist bei Spitzenathletinnen mit grossen Trainingsvolumen oder bei längeren Aufenthalten in der Höhe eine gute aerobe Ausdauerfähigkeit von Vorteil, um die langfristige Trainingsqualität zu unterstützen und Übermüdung zu verhindern. Um das nötige Grundniveau im Ausdauerbereich zu testen, könnte ein Laktatstufentest (z.B. auf dem Fahrradergometer), in Ergänzung zu den obengenannten Tests, sinnvoll sein. Im Allgemeinen werden die ausgewählten Tests als Testbatterie zwei, maximal drei Mal pro Jahr durchgeführt.

5.9 Spielsport (Basketball, Eishockey, Fussball, Handball, Tennis, Volleyball)

Spielsportarten besitzen einen intermittierenden Belastungscharakter. D.h. Aktionen von hoher bis maximaler Intensität wechseln sich mit Phasen von tiefer Intensität ab. Dabei unterscheidet sich das zeitliche Belastungs-/ Erholungsverhältnis je nach Sportart. In der Regel sind die Aktionen und Phasen von hoher bis maximaler Intensität die kritischen Erfolgsfaktoren. Dementsprechend nehmen leistungsrelevante Kenngrössen dieser Faktoren und deren beeinflussende Variablen einen herausragenden Stellenwert in der Leistungsdiagnostik bei Sportsportarten ein.

Die Erfassung der Sprintschnelligkeit ist bei der Diagnostik in praktisch allen Sportsportarten ein zentrales Element. Dabei kommt der linearen Sprintleistung über kürzere Distanzen (zw. 5–20 m), der sog. Antrittsschnelligkeit, besondere Bedeutung zu. Zur Erfassung der maximalen Geschwindigkeit, welche bei einigen Sportarten ebenfalls wichtig ist (Bsp. Fussball), sind in der Regel Distanzen bis 40 m nötig. In der Praxis haben sich Sprinttests über 3 m bzw. 40 m etabliert, bei welchen mit der Erfassung von 10 m-Abschnittzeiten die unterschiedlichen Komponenten der Sprintleistung ermittelt werden können. Neben der linearen Sprintleistung ist bei praktisch allen Sportsportarten die Sprintleistung mit Richtungswechsel wichtig. Dabei existiert eine Vielzahl von Testformen, welche Richtungswechsel von unterschiedlichem Ausmass (45°–180°) und Bewegungsformen (z.B. seitlich beim Tennis) je nach Anforderung der Sportart beinhalten⁴⁰.

Eine wichtige beeinflussende Variable der Sprintleistung, aber auch von anderen Aktionen mit hoher bis maximaler Intensität (Bsp. Vertikalsprünge beim Volleyball), ist die Explosivkraft⁴¹. Explosivkrafttests der Streckerkette der unteren Extremitäten wie unter 4.3 beschrieben sind daher ein wichtiger Bestandteil der Leistungsdiagnostik bei Sportsportarten. Tests zur Erfassung der Reaktivkraft (Niedersprungtest siehe 4.4), welche sowohl die Sprintleistung als auch sogenannte Stop-and-Go-Bewegungen beeinflusst, können ergänzend eingesetzt werden.

Die Erfassung der Schrittlänge und Schrittfrequenz (v.a. Bodenkontaktzeit) während des Sprinttests kann zusätzlich wichtige Informationen für ein optimiertes Schnelligkeitstraining bei Sportsportlern liefern⁴².

Ausdauer tests dienen bei Sportsportarten primär der Analyse der Erholungsfähigkeit zwischen den intensiven Aktionen. Im Gegensatz zu den Schnelligkeitsindikatoren, für welche eine möglichst maximale Ausprägung verlangt wird, werden bei den Ausdauer tests in der Regel zu erreichende Mindestanforderungen definiert, welche je nach Anforderungen der Sportart u. der Spielpositionen unterschiedlich hoch sein können. Bei repetitiven Sprinttests (Bsp. Repeated Ice Shuttle Sprint Test im Eishockey⁴³) wird die Erholungsfähigkeit über den Abfall der Sprintleistung direkt und sehr sportartspezifisch gemessen. Auf der anderen Seite des Spektrums erhebt man mit einem Laktatstufentest oder $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test eine allgemeine Ausdauerleistung, welche als Basis der Erholungsfähigkeit angeschaut werden kann. Dazwischen existiert eine grosse Anzahl v.a. von Feldtests, welche in der Regel sportartspezifische Merkmale wie intermittierende Belastungsform und typische neuromuskuläre Belastungen (z.B. Richtungswechsel) beinhalten. Dabei hat sich der sog. Yo-Yo intermittent recovery test bei vielen Sportsportarten besonders etabliert⁴⁴.

Der unter 4.5 dargestellt Grundkrafttest der Rumpfmuskulatur hat in Sportsportarten seinen Platz, da die Rumpfmuskulatur bei der Übertragung der Kräfte von komplexen Bewegungsformen (Bsp. Schussbewegungen, Zweikampf, Richtungswechsel) wichtig ist⁴⁵ und folglich die dabei involvierten Strukturen einer hohen Belastung mit erhöhter Verletzungsanfälligkeit ausgesetzt sind.

Neben diesen in der Regel Sportsportart-übergreifenden Testformen kann eine Testbatterie durch sportartspezifische Tests ergänzt werden, die beispielsweise auch technische Komponenten mit einbeziehen oder besondere Anforderungen isoliert betrachten. So werden z.B. beim Handball und Eishockey Krafttests der oberen Extremitäten (Bsp. 1-RM Bankdrücken (siehe 4.2) oder isometrische Unterarmkraft sog. Handgrip-Test) zusätzlich durchgeführt⁴⁶.

Da bei Sportsportarten häufig gesamte Teams getestet werden, haben ökonomische (zeitlich, finanziell) Feldtests gegenüber Labortests oft eine höhere Bedeutung. Umso wichtiger ist die Standardisierung u. Qualitätskontrolle, da Feldtests in der Regel höhere typische Messfehler als Labortests aufweisen. Leistungstests können in Sportsportarten zu unterschiedlichen Zwecken durchgeführt werden (Talentedwicklung, -selektion, Ermittlung von individuellen Trainingsschwerpunkten, Trainingsintensitätssteuerung, etc.). Entsprechend sollte der Zeitpunkt der Testdurchführung gewählt werden (z.B. vor und nach Saisonvorbereitung, Wettkampfphase).

5.10 Triathlon

Der Triathlon ist der Zusammenschluss dreier separater Ausdauersportarten: Schwimmen, Radfahren und Laufen. Es existieren verschiedenste Rennformate mit Wettkampfzeiten von ca. 30 min bis über 8 h. Auch die verhältnismässige Aufteilung der drei Teildisziplinen ist verschieden. Alle Wettkampf formate haben aber die aerobe Ausdauer als kritischen Erfolgsfaktor gemeinsam⁴⁷.

Für eine detaillierte Leistungsanalyse einer Triathletin sollten für alle drei Teildisziplinen separate Leistungstests durchgeführt werden. Für jede Teildisziplin gelten dabei die gleichen Prinzipien wie für ihre Ursprungssportart (z.B. für das Laufen im Triathlon gilt das Gleiche wie für den Langstreckenlauf). So empfehlen sich für die Trainingssteuerung Laktatstufentests sowohl beim Radfahren als auch beim Laufen und eine entsprechende Testform beim Schwimmen (z.B. 7 x 200 m Schwimmtest^{34,35}). Auch ein Kapazitätstest für den Triathlon wird am Besten in den einzelnen Teildisziplinen durchgeführt (z.B. 400 m Schwimmtest, 20 min MMP Radtest und 5000 m Lauf test an separaten Tagen). Dies, weil ein Koppeltest (Teildisziplinen unmittelbar nacheinander) sehr schwer standardisierbar und die unmittelbare Koppelungsfähigkeit (z.B. Übergang von der Rad- zur Laufbewegung) weniger leistungsrelevant ist als die Kapazität in den Einzeldisziplinen. Die Wahl der Kapazitätstests in den Einzeldisziplinen sollte auf das Format des Zielwettkampfes ausgerichtet sein (z.B. längere Testformen für Langdistanz-Triathletinnen).

Um die Entwicklung der leistungsrelevanten Kenngrössen zu erfassen, machen zwei bis vier Testzeitpunkte pro Jahr Sinn. Diese sollen individuell auf die Saisonplanung einer Athletin abgestimmt sein. Trainiert eine Athletin beispielsweise für eine Sommersaison mit mehreren Wettkämpfen, werden die Zeitpunkte für die Leistungstests vor der Aufbauphase und vor der Wettkampfphase angesetzt. Optimalerweise werden zu diesen Zeitpunkten alle nötigen Leistungstests durchgeführt (z.B. Stufen- und Kapazitätstest für alle Teildisziplinen).

5.11 Referenzen

- Naundorf, F., Fetzer, J. & Brehmer, S. Entwicklungstendenzen im Gerätturnen bis zu den Olympischen Sommerspielen 2008 in Peking (CHN). Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft 16, 137–146 (2009).
- Kruse, D. & Lemmen, B. Spine injuries in the sport of gymnastics. Curr Sports Med Rep 8, 20–28 (2009).
- McNeal, J.R., Sands, W.A. & Shultz, B.B. Muscle activation characteristics of tumbling take-offs. Sports Biomech 6, 375–390 (2007).
- Schärer, C. Standardisierte Bodenübung im Kunstturnen. (Eidgenössische Hochschule für Sport, Magglingen, 2012).
- Naundorf, F., Brehmer, S., Knoll, K., Bronst, A. & Wagner, R. Development of the velocity for vault runs in artistic gymnastics for the last decade. In XXVI International Symposium of biomechanics in sports 481–484 (2008).
- Koperski, A., Kochanowicz, A. & Słodkowski, C. Gymnasts' Special Quickness-Force Abilities and the Indicators of Jump from a Springboard. Baltic Journal of Health and Physical activity 2, 139–143 (2010).
- Hübner, K. & Schärer, C. Relationship between the Elements Swallow, Support Scale and Iron Cross on rings and their specific preconditioning strengthening exercises. Science of Gymnastics Journal 7, 59–68 (2015).
- Rusko, H. Cross Country Skiing, (Blackwell Publishing, Malden, MA, 2003).
- Holmberg, H.C. Physiology of Cross-Country Skiing – with special emphasis on the role of the upper body., (Karolinska Institutet, Stockholm, 2005).
- Naef, N., Steiner, T., Müller, B. & Wehrlin, J.P. Prediction of cross-country ski season performance on a linear regression model of laboratory roller ski capacity and $\dot{V}O_{2\max}$ test. In 14th Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS, Oslo, 2009).
- Brandon, L.J. Physiological factors associated with middle distance running performance. Sports Medicine 19, 268–277 (1995).
- Jones, A. The physiology of the world record holder for the women's marathon. International Journal of Sports Science and Coaching 1, 101–116 (2006).
- Züst, P., Wehrlin, J. & Marti, B. Leistungsentwicklung im Spitzenorientierungslauf zwischen 18. und 21. Lebensjahr. Schweizerische Zeitschrift für « Sportmedizin und Sporttraumatologie 50, 134–139 (2002).
- Zürcher, S., Clénin, G. & Marti, B. Uphill running capacity in Swiss elite orienteers. Swiss Federal Institute of Sport, Magglingen, Switzerland. LIITE 2 (2005).
- Allen, H. & Coggan, A. Training and racing with a power meter, (VeloPress, Boulder, Colo., 2010).
- Quod, M.J., Martin, D.T., Martin, J.C. & Laursen, P.B. The power profile predicts road cycling MMP. Int J Sports Med 31, 397–401 (2010).
- Hill, D.W. The critical power concept. A review. Sports Med 16, 237–254 (1993).
- Olds, T.S., et al. Modeling road-cycling performance. J Appl Physiol (1985) 78, 1596–1611 (1995).
- Lim, A.C., et al. Measuring changes in aerodynamic / rolling resistances by cycle-mounted power meters. Med Sci Sports Exerc 43, 853–860 (2011).
- Debraux, P., Grappe, F., Manolova, A.V. & Bertucci, W. Aerodynamic drag in cycling: methods of assessment. Sports Biomech 10, 197–218 (2011).
- Stapelfeldt, B., Schwirtz, A., Schumacher, Y.O. & Hillebrecht, M. Workload demands in mountain bike racing. Int J Sports Med 25, 294–300 (2004).
- Baron, R. Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. Med Sci Sports Exerc 33, 1387–1393 (2001).
- Gregory, J., Johns, D. P. & Walls, J. T. Relative vs. absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. The Journal of Strength & Conditioning Research 21, 17–22 (2007).
- Müller, B., Steiner, T., Maier, T. & Wehrlin, J. P. Treadmill-based cycling time trial better predicts seasonal cross-country mountain bike performance than traditional parameters in laboratory tests. Journal of Science and Cycling 3, 85 (2014).
- Craig, N.P. & Norton, K.I. Characteristics of track cycling. Sports Med 31, 457–468 (2001).
- Gardner, A.S., Martin, J.C., Martin, D.T., Barras, M. & Jenkins, D.G. Maximal torque- and power-pedaling rate relationships for elite sprint cyclists in laboratory and field tests. Eur J Appl Physiol 101, 28–7292 (2007).
- Martin, J.C., Wagner, B.M. & Coyle, E.F. Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout. Med Sci Sports Exerc 29, 1505–1512 (1997).
- Bertucci, W.M. & Hourde, C. Laboratory Testing and Field Performance in BMX Riders. J Sports Sci Med 10, 41–7419 (2011).
- Louis, J., et al. Physiological demands of a simulated BMX competition. Int J Sports Med 34, 491–496 (2013).
- Schnabel, G., Harre, D. & Krug, J. Trainingslehre-Trainingswissenschaft (2. aktualisierte Auflage). Aachen: Meyer und Meyer (2011).
- Altenburg, D., Mattes, K. & Steinacker, J. Handbuch Rudertaining. Technik-Leistung-Planung: Wiebelsheim. (Germany: Limpert Verlag, 2008).
- Tanner, R.K., Gore, C.J. & Australian Institute of Sport. Physiological tests for elite athletes, (Human Kinetics, Champaign, IL, 2013).

33. Gastin, P.B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine* 31, 725–741 (2001).
34. Anderson, M.E., Hopkins, W.G., Roberts, A.D. & Pyne, D.B. Monitoring seasonal and long-term changes in test performance in elite swimmers. *European Journal of Sport Science* 6, 145–154 (2006).
35. Pyne, D.B., Lee, H. & Swanwick, K.M. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 33, 2912–2917 (2001).
36. Smith, D.J., Norris, S.R. & Hogg, J.M. Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Med* 32, 539–554 (2002).
37. Pansold, B., Zinner, J. & Gabriel, B. Zum Einsatz und zur Interpretation von Laktatbestimmungen in der Leistungsdiagnostik. *Theorie und Praxis des Leistungssports* 23, 98–120 (1985).
38. Berg, H.E. & Eiken, O. Muscle control in elite alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc* 31, 1065–1067 (1999).
39. Gross, M., Hoppeler, H. & Vogt, M. Quantification of the Metabolic and Physical Demands of the 90-Second Box Jump. *J Athl Enhancement* 3 (2014).
40. Lockie, R.G., Schultz, A.B., Callaghan, S.J., Jeffriess, M.D. & Berry, S.P. Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT). *J Sports Sci Med* 12, 88–96 (2013).
41. Young, W., McLean, B. & Ardagna, J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 35, 13–19 (1995).
42. Debaere, S., Jonkers, I. & Delecluse, C. The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *J Strength Cond Res* 27, 116–124 (2013).
43. Tschopp, M., Zryd, A., Gassmann N., Bolszak, S. & Reinhard, A. Repetitive sprint ability in elite ice hockey players. Book of abstracts 17th annual Congress of the European College of Sport Science Bruges 280 (2012).
44. Bangsbo, J., Iaia, F.M. & Krstrup, P. The Yo-Yo intermittent recovery test : a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med* 38, 37–51 (2008).
45. Sasaki, S., Nagano, Y., Kaneko, S., Sakurai, T. & Fukubayashi, T. The Relationship between Performance and Trunk Movement During Change of Direction. *J Sports Sci Med* 10, 112–118 (2011).
46. Chelly, M.S., Hermassi, S. & Shephard, R.J. Relationships between power and strength of the upper and lower limb muscles and throwing velocity in male handball players. *J Strength Cond Res* 24, 1480–1487 (2010).
47. Sleivert, G.G. & Rowlands, D.S. Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Medicine* 22, 8–18 (1996).

06



Anhang

Checkliste Laborausstattung

Die folgende Checkliste enthält die wichtigsten Eigenschaften und Gerätschaften für ein Leistungsdiagnostiklabor. Zusätzlich ist an weiteres Kleinmaterial und gerätespezifisches Zubehör zu denken.

- ☐ Genügend Platz vorhanden
- ☐ Helle, angenehme Beleuchtung
- ☐ Sichtschutz gegen neugierige Blicke
- ☐ Arzt, Notfallequipment, Defibrillator in der Nähe
- ☐ Notfall / Evakuationsplan

- ☐ Typisches Büromaterial (Schreibtische, Computer, Telefon usw.)
- ☐ Werkzeugkiste
- ☐ Uhr, Stoppuhr
- ☐ Thermo- , Hygro- und Barometer
- ☐ Lüftung, Klimagerät, Ventilatoren
- ☐ Kühlschrank
- ☐ Hygienematerial (Handschuhe, Tupfer, Desinfektionsmittel, Waschbecken, Abfallbehälter)
- ☐ Haushaltspapier, Handtücher

- ☐ Personenwaage, Stadiometer
- ☐ Fahrradergometer (inkl. gängigen Klickpedalen)
- ☐ Laufband
- ☐ Borgskala
- ☐ Herzfrequenzmessgeräte
- ☐ Laktatmessgerät (zusätzlich: Stechhilfen, Kapillaren, Reaktionsgefäße ...)
- ☐ Spiroergometrie (zusätzlich: Masken, Schläuche, Sensoren ...)
- ☐ Kraftmessplatte
- ☐ Langhantel mit Bank, Ständer und Gewichtsscheiben, Goniometer
- ☐ Grundkrafttest Rumpf: Standardisierungsgerät und Zusatzmaterial (Sprossenwand, Schwedenkasten, Matte usw.)

Checkliste Testablauf

Die folgende Checkliste fasst den typischen Ablauf von Leistungstests zusammen. Je nach Gegebenheiten wird die Liste um gewisse Punkte ergänzt oder gekürzt und die Reihenfolge sinnvoll angepasst.

- ☐ Testumgebung / Labor kontrollieren
- ☐ Risikomanagement aktuell und dokumentiert?
- ☐ Klimagerät einschalten, konst. Bedingungen abwarten (18–23 °C, LF < 70 %)
- ☐ Testgeräte kalibrieren
- ☐ Messungen vorbereiten (Material, Testblätter ...)
- ☐ Zeitplan aufhängen bei mehreren Tests

- ☐ Testperson füllt Checkliste inkl. PAR-Q aus / absolviert med. Check
- ☐ Vorbereitungsgespräch mit Testperson
(Checkliste, Testablauf ...)

- ☐ Anthropometrische Messungen (Grösse, Gewicht)
- ☐ Aufwärmen, Einstellen der Testgeräte
- ☐ Testgeräte überprüfen (Herzfrequenz, Spiroergometrie, Kraftmessplatte ...)
- ☐ Testdurchführung nach Protokoll
- ☐ Verbales und visuelles Feedback an die Testperson
- ☐ Testperson gegen Testende motivieren (Ausnahme: Grundkrafttest Rumpf)
- ☐ Besonderheiten notieren

- ☐ Test auswerten
- ☐ Ergebnisse besprechen
- ☐ Schriftliche Testauswertung abgeben

Checkliste Testperson inkl. PAR-Q

Name: _____ Testdatum, -zeit: _____

Geburtsdatum: _____ Sportart, Kader: _____

Grösse: _____ Gewicht: _____

TRAINING

Phase: ☐ Aufbau ☐ Vorwettkampf ☐ Wettkampf ☐ Reha

normaler Trainingsumfang (h / W): _____ Trainingsfrequenz (Einheiten / W): _____

Art Dauer Intensität

Heute: _____

Gestern: _____

Vorgestern: _____

Dominante Seite für Krafttests Sprungbein: ☐ L ☐ R Schussbein: ☐ L ☐ R Wurfarm / Spielhand: ☐ L ☐ R

ERNÄHRUNG

☐ normal ☐ Spez. Diätmassnahmen: _____

letzte Mahlzeit Wann: _____ Was: _____

Koffein / Alkohol (letzte 12 h): _____ Supplemente: _____

GESUNDHEIT

Krankheit (letzte 14 T): _____ Regelm. Medikamente: _____

Hat Ihnen jemals ein Arzt gesagt, Sie hätten «etwas am Herzen» und Ihnen nur unter medizinischer Kontrolle Bewegung und Sport empfohlen?

☐ ja ☐ nein

Hatten Sie im letzten Monat Schmerzen in der Brust in Ruhe oder bei körperlicher Belastung?

☐ ja ☐ nein

Haben Sie Probleme mit der Atmung in Ruhe oder bei körperlicher Belastung?

☐ ja ☐ nein

Sind Sie jemals wegen Schwindel gestürzt oder haben Sie schon jemals das Bewusstsein verloren?

☐ ja ☐ nein

Haben Sie Knochen- oder Gelenkprobleme, die sich unter körperlicher Belastung verschlechtern könnten?

☐ ja ☐ nein

Hat Ihnen jemals ein Arzt ein Medikament gegen hohen Blutdruck oder wegen eines Herzproblems oder Atemproblems verschrieben?

☐ ja ☐ nein

Kennen Sie irgendeinen weiteren Grund, warum Sie heute keinen maximalen Leistungstest machen sollten?

☐ ja ☐ nein

Wurde in den letzten 1–2 Jahren ein EKG durchgeführt und war das Ergebnis unauffällig?

☐ ja ☐ nein

Verletzungen letzte 6 Monate: _____

Beschwerden am Testtag: _____

Allg. Befindlichkeit: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Testmotivation: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

WEITERE EINFLUSSFAKTOREN (Schlaf, Reisen, Höhengenaufenthalt, Hitzeexposition usw.)

Ich habe diesen Fragebogen wahrheitsgemäss ausgefüllt.

Unterschrift: _____

Information Leistungsdiagnostik

Sie absolvieren demnächst einen oder mehrere leistungsdiagnostische Tests. Nachfolgend finden Sie die wichtigsten Informationen dazu.

ZWECK:

Wir untersuchen Ihre aktuelle Leistungsfähigkeit, um Sie in Ihrem Trainingsprozess zu unterstützen.

ABLAUF:

Vor den Tests werden Sie einen Fragebogen zu Ihrer körperlichen Verfassung ausfüllen. Danach werden die für die Tests relevanten anthropometrischen Daten wie z.B. Körpergrösse und Körpergewicht gemessen. Im Falle eines Ausdauertests werden wir Sie sportartspezifisch (Fahrradergometer, Laufband) bis zur Erschöpfung belasten und dabei relevante Messwerte erheben. Bei einer Kraftdiagnostik absolvieren Sie standardisierte Kraftübungen oder Sprünge mit maximalem Einsatz. Nach den Tests werden wir die Resultate und deren Bedeutung mit Ihnen besprechen.

RISIKEN:

Die Tests können mit einer grossen körperlichen Anstrengung verbunden sein, wie Sie sie aus intensiven Trainings kennen. Das gesundheitliche Risiko ist klein und vergleichbar mit einer maximalen Belastung in einem Wettkampf.

MITZUBRINGEN:

Bringen Sie ihre Sportkleider und Duschutensilien mit, ebenso bereits vorhandene Testergebnisse, Trainingstagebücher und allenfalls Ihre Krankengeschichte.

VORBEREITUNG:

Damit die Testresultate möglichst aussagekräftig sind, müssen Sie im Vorfeld Folgendes beachten: Kommen Sie angemessen erholt zu den Tests (keine Wettkämpfe und belastende Trainings in den 48 h davor). Nehmen Sie genug Flüssigkeit zu sich, aber verzichten Sie am Vorabend auf Alkohol. Kaffee und andere koffeinhaltige Getränke können Sie im gewohnten Umfang konsumieren. Falls nicht anders kommuniziert, behalten Sie ihre gewohnte Ernährung bei.

Melden Sie sich frühzeitig, falls die Testdurchführung aufgrund einer Krankheit oder einer Verletzung nicht möglich ist. Kontaktieren Sie uns, falls Sie noch Fragen haben.

Borgskala

Dtsch Arztebl 2004; 101: A 1016–1021 (Heft 15)

6	Überhaupt nicht anstrengend
7	Extrem leicht
8	
9	Sehr leicht
10	
11	
12	Leicht
13	
14	Etwas anstrengend
15	
16	
17	Anstrengend, schwer
18	
19	
20	Sehr anstrengend
	Extrem anstrengend
	Maximale Anstrengung

INSTRUKTION (gekürzt aus dem Original):

Wir wollen Ihr Anstrengungsempfinden während der Belastung bestimmen. Das Anstrengungsempfinden hängt von der Beanspruchung und Ermüdung der Muskulatur ab, ferner von Atemlosigkeit (beziehungsweise Luftnot) oder Brustschmerzen.

Versuchen Sie, Ihr Anstrengungsempfinden so spontan und ehrlich wie möglich anzugeben, ohne über die aktuelle Belastung nachzudenken. Versuchen Sie, die Anstrengung weder zu über- noch unterschätzen. Schauen Sie auf die Skala und die begleitenden Worte und geben Sie eine Zahl an.

Testdatenblatt Laktatstufentest

Name: _____

Testzeit, Datum: _____

Sportart: _____

Kader: _____

Ort: _____

Gerät: _____

Temperatur: _____

Luftfeuchtigkeit: _____

Stufe	Leistung / Geschwin- digkeit	HF	Laktat	RPE	Dauer / Abbruch	Bemerkungen
Ruhe						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
Nachbel.						

Weitere Bemerkungen:

Grundkrafttest Rumpf/

Test de la force de base du tronc

Name / Nom

Test-Datum / Date du test

Vorname / Prénom

Test-Zeit / Heure du test

Geb.datum / Date de naissance

Sportart / Sport

Grösse / Taille

Kader / Cadre

Gewicht / Poids

Tester / Examineur

Sprache / Langue (d, f, i)

Wieviel Krafttraining für die Rumpfmuskulatur (Bauch/Rücken) absolvierst du wöchentlich?

Combien de minutes par semaine entraînes-tu la musculature du tronc (abdominaux, dorsaux)?

(durchschnittlich im letzten Jahr, in Min.): _____ Min./Woche / Moyenne annuelle actuelle: _____ min/sem.

Leistungsfähigkeit heute

☐ normal

☐ eingeschränkt, Grund: _____

Ta forme aujourd'hui

☐ normale

☐ limitée, raison: _____

Ventrale Rumpfkette / Chaîne ventrale du tronc



Zeit (Min./Sek.) / Temps (min/s): _____

Hauptbelastung / Charge principale

☐ Bauch / Ventre

☐ Leiste / Aine

☐ Rücken / Dos

☐ Schultergürtel / Ceinture scapulaire

☐ anderes / autres: _____

Einstellung / Réglage: _____

Bemerkungen / Remarques: _____

Laterale Rumpfkette / Chaîne latérale du tronc



Zeit (Min./Sek.) / Temps (min/s): _____

Hauptbelastung / Charge principale

☐ Seite-Becken / Côté-Bassin

☐ Schultergürtel / Ceinture scapulaire

☐ gesamt / partout

☐ anderes / autres: _____

Seite/Côté: ☐ rechts/droit ☐ links/gauche

Einstellung / Réglage: _____

Bemerkungen / Remarques: _____

Dorsale Rumpfkette / Chaîne dorsale du tronc



Zeit (Min./Sek.) / Temps (min/s): _____

Hauptbelastung / Charge principale

☐ Ischios / Ischios

☐ Gesäss / Fesses

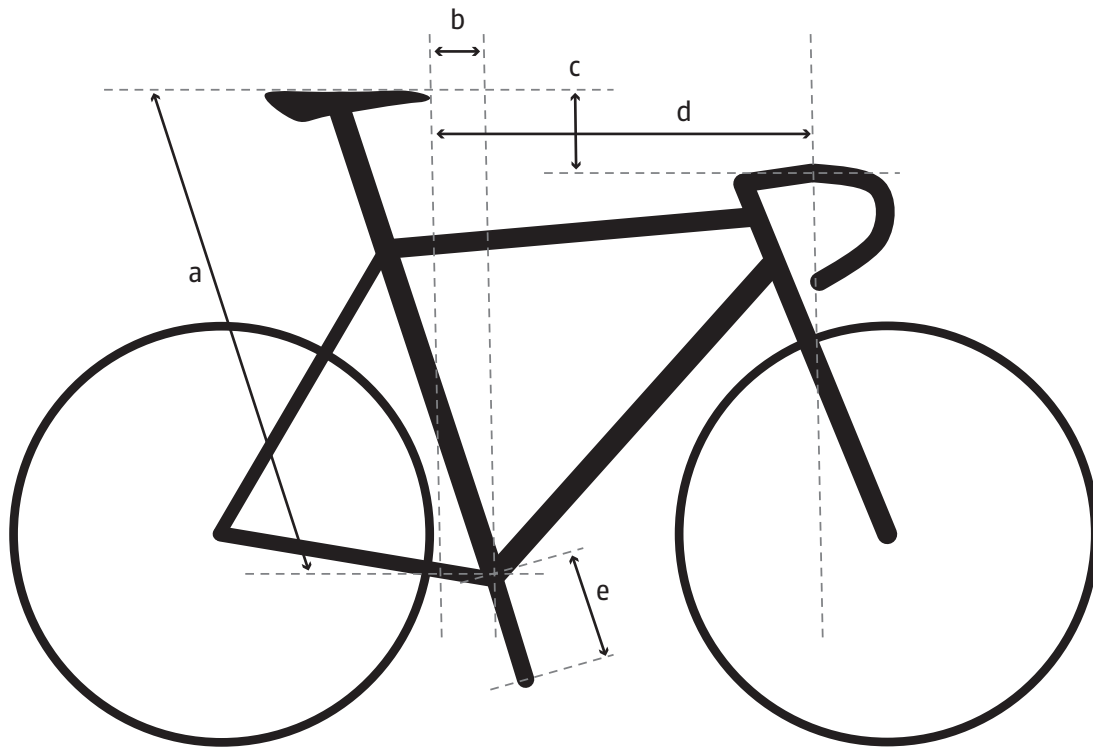
☐ Rücken / Dos

☐ anderes / autres: _____

Einstellung / Réglage: _____

Bemerkungen / Remarques: _____

Fahrradausmessung



a Sattelhöhe:

b Sattelversatz:

c Lenkerüberhöhung:

d Lenkerdistanz:

e Kurbellänge:

Laktatmessung am Ohrläppchen

BENÖTIGTES MATERIAL:

- Saubere Unterlage
- Datenblatt und Schreibzeug
- Handschuhe
- Desinfektionsmittel
- Zellstoffwatte
- Stechhilfe
- Abfallbehälter
- Abfallbehälter für Stechhilfe
- Kapillaren, Reaktionsgefäße / Messstreifen
- Analysegerät



VORBEREITUNG:



- Falls nötig frühzeitig mit einer hyperämisierenden Creme die Durchblutung lokal stimulieren
- Geplante Einstichstelle desinfizieren
- Mit einer Lanzette / Stechhilfe die Haut punktieren (im Idealfall nur einmal pro Test)
- Blutfluss kontrollieren, mit trockener oder feuchter (Wasser) Zellstoffwatte reinigen

PROBENENTNAHME:



- Reinigen der Einstichstelle mit trockener oder feuchter (Wasser) Zellstoffwatte (Schweiss verfälscht die Messwerte).
- Mit massierender Bewegung und minimalem Druck etwas Blut herausdrücken (übermäßiger Druck erhöht den Blutplasmaanteil und verfälscht die Messwerte)
- Den ersten Bluttröpfchen mit Zellstoffwatte abwischen
- Ab zweitem Tropfen das Blut sammeln (mittels Kapillare oder Messstreifen)
- Kapillare in Hämolyse-Lösung geben, Reaktionsgefäß verschliessen und schütteln

Rahmenbedingungen

Vorname Name

05.02.2015

Person

Geburtsdatum:	13.10.92	Alter:	22.3 Jahre
Grösse:	175 cm	Sportart:	Rad Strasse
Gewicht:	66 kg	Kader:	U23 Herren

Testbedingungen

Testzeit:	11:00 Uhr	SRM Ergometer Einstellungen	
Ort:	Magglingen	Kurbellänge:	17.5 mm
Höhe:	950 m.ü.M.	Sattelhöhe:	14 cm
Temperatur:	19.5 °C	Nachsitz:	9 cm
Luftfeuchtigkeit:	45%	Lenkerhöhe:	22.5 cm
Ventilator:	ja	Vorbaulänge:	11.5 cm

Einflussfaktoren Testperson

Ernährung: normal

Genussmittel (Koffein / Alkohol): keine

Letzte Mahlzeit: 7:00 Uhr Brot mit Honig, Fruchtsaft

Vorbelastung (letzte 48 h): normal

Zeitpunkt: Aufbau

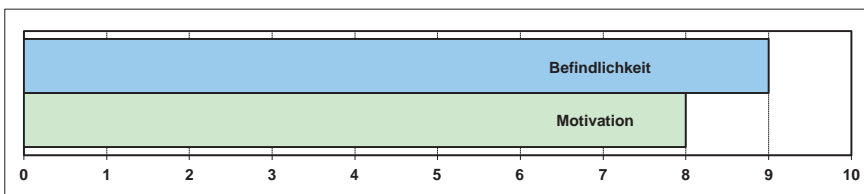
Gesundheit (letzte 14 Tage): gesund

Medikamente / letzte Einnahme: keine

Supplemente / letzte Einnahme: keine

Befindlichkeit (ich fühle mich heute: 1=katastrophal bis 10=super)

Motivation (wie stark bin ich für den Test motiviert: 1=überhaupt nicht bis 10=maximal)



Beurteilung der Rahmenbedingungen

Test durchgeführt von: T. Maier

Testbedingungen: optimal

Bemerkungen

Kontakt:

Laktatstufentest

Vorname Name

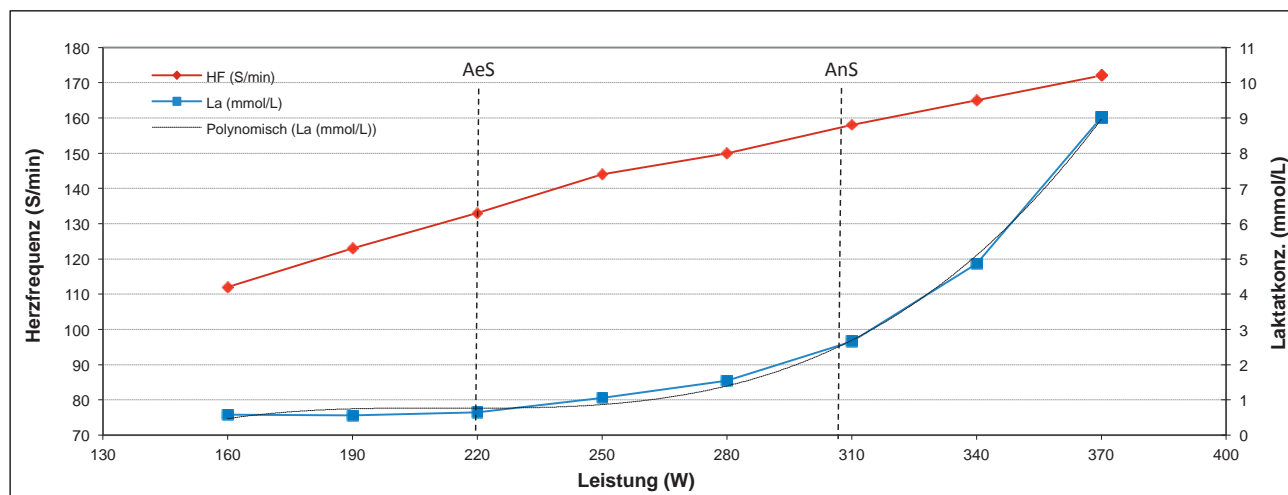
05.02.2015

Testprotokoll

Anfangsbelastung: **160 W** Laktatanalysegerät: **Biosen, C_line**
 Inkrement: **30 W** Blutentnahmestelle: **Ohrläppchen**
 Stufendauer: **3 min** Auswertung: **mod. Dmax, typischer Messfehler $\pm 2-3\%$**

Rohdaten

Stufe	Leistung (W)	Dauer (min:s)	HF (S/min)	La (mmol/L)	Borg (6-20)	Trittf. (U/min)
1	160	05:00	112	0.6	7	100
2	190	05:00	123	0.6	9	101
3	220	05:00	133	0.7	11	101
4	250	05:00	144	1.1	13	100
5	280	05:00	150	1.6	14	102
6	310	05:00	158	2.7	16	102
7	340	05:00	165	4.9	17	103
8	370	05:00	172	9.0	20	107



Schwellenbestimmung

Trainingsbereiche

	P (W)	P_{rel} (W/kg)	P/c_dA (W/m ²)	HF (S/min; % v_{max})	Bereich	HF (S/min)	Leistung (W)
AeS	220	3.3	787	133; 77	Akt. Regeneration	< 120	< 170
AnS	307	4.7	1099	157; 91	Ausdauer	120 - 135	170 - 220
P_{max}	370	5.6	1324	172; 100	Tempo	135 - 150	220 - 280
					Laktatschwelle	150 - 160	280 - 315
Interpolation	P (W)	P_{rel} (W/kg)	P/c_dA (W/m ²)	HF (S/min; % v_{max})	VO ₂ max	> 160	315 - 370
2 mmol/l	296	4.5	1059	154; 90	Anaerobe Kapazität		370 - 460
4 mmol/l	328	5.0	1174	162; 94	Neuromuskuläre Leistung		> 460

Vergleich Mittelwerte Männer

Alter (Jahre)	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	>23
AeS (W/kg)	2.9	2.8	2.9	3.1	3.1	3.5	3.5
AnS (W/kg)	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.5	4.6
P_{max} (W/kg)	4.8	4.8	4.9	5.1	5.2	5.3	5.4

Bemerkungen

Deine rel. Abbruchleistung liegt ca. 4% über dem Elite-Mittelwert. Bezogen auf deinen geschätzten c_dA -Wert liegst du leicht unter dem Mittel. Dies erklärt deine guten Ergebnisse in hügeligem und die schlechteren Resultate in flachem Gelände. Zum Vorjahr konntest du dich um ca. 6% steigern, was überdurchschnittlich viel ist. Ich empfehle dir daher, das Training ähnlich weiterzuführen.

$\dot{V}O_2$ max-Test

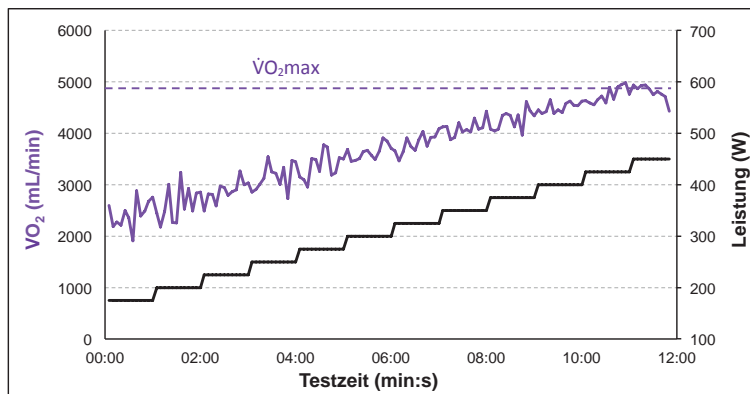
Vorname Name

05.02.2015

Testprotokoll

Anfangsbelastung: **175 W**
 Inkrement: **25 W**
 Stufendauer: **1 min**

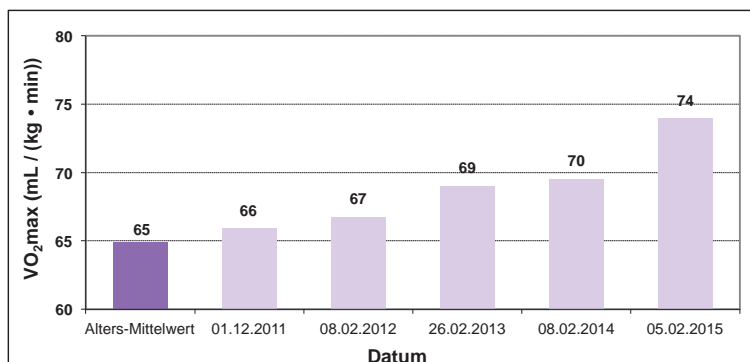
Laktatanalysegerät: **Biosen, C_line**
 Ergospirometriegerät: **Jaeger Oxycon Pro**
 Auswertung: **max 30-s-Mittel, Messfehler \pm 4-5%**

Rohdaten

Zeit (min:s)	Leistung (W)	$\dot{V}O_2$ mL/min
01:00	175	2435
02:00	200	2626
03:00	225	2871
04:00	250	3158
05:00	275	3368
06:00	300	3633
07:00	325	3807
08:00	350	4107
09:00	375	4260
10:00	400	4506
11:00	425	4741
11:45	444	4881

Testresultate inkl. Vortests

Datum	01.12.2011	08.02.2012	26.02.2013	08.02.2014	05.02.2015
Gewicht (kg)	63.1	65.1	65.4	66.7	66.0
Abbruchzeit (min:s)	10:00	10:07	10:45	11:30	11:45
$\dot{V}O_2$ max (mL/min)	4161	4344	4512	4636	4881
relative $\dot{V}O_2$ max (mL/(kg min))	66	67	69	70	74
Abbruchleistung (W)	417	420	436	438	444
relative Abbruchleistung (W/kg)	6.6	6.5	6.7	6.6	6.7
VE_{max} (L/min)	200	203	213	217	232
maximale Herzfrequenz (S/min)	178	179	177	178	176
Abbruchlaktat (mmol/L)	8.2	8.6	8.7	8.1	8.8
2 min Nachbelastungslaktat (mmol/L)	9.9	9.3	10.5	12.1	9.3

Verlauf relative $\dot{V}O_2$ max**Vergleich Mittelwerte Männer**

Alter	$\dot{V}O_2$ max (mL/(kg min))	Abbruchleistung (W/kg)
17-18	64	5.9
18-19	65	6.0
19-20	66	6.2
20-21	67	6.3
21-22	66	6.3
22-23	65	6.3
>23	69	6.5

Bemerkungen

Deine relative Abbruchleistung und relative $\dot{V}O_2$ max liegen deutlich über dem Alters-Mittelwert und sogar über dem Elite-Mittelwert. Du scheinst somit sehr gute Voraussetzungen bezüglich deines Herz-Kreislaufsystems mitzubringen. Die stetige Entwicklung über die letzten Jahre liegt im oberen Erwartungsbereich. Ich empfehle dir daher, das Training ähnlich weiterzuführen.

Inventar Laborausstattung

[illegible]

Risikomanagement-Matrix

Die folgende Matrix hilft bei einer systematischen Analyse der möglichen Risiken und der Dokumentation der ergriffenen Vorkehrungen:

[illegible]

Kalibration Testgeräte

Laufband (Geschwindigkeit v)

Läufer?	Gurtlänge G	Umläufe U	Zeit t	$v = G \cdot U / t$	v Einstellung	Fehler absolut	Fehler relativ
Ohne	8 m	32	60 s	4.27 m / s	4 m / s	0.27 m / s	7%

Ergometer (Drehmoment M , statisch)

Gewicht m	$F = m \cdot 9.81 \text{ m / s}^2$	Hebel d	$M = F \cdot d$	M Einstellung	Fehler absolut	Fehler relativ
20 kg	196.2 N	0.175 m	34.3 Nm	35 Nm	-0.7 Nm	-2%

Laktatmessgerät (Laktatkonzentration)

Testlösung	Messung	Fehler absolut	Fehler relativ
2 mmol / L	2.1 mmol / L	0.1 mmol / L	5%
4 mmol / L	3.8 mmol / L	-0.2 mmol / L	-5%

Spiroergometrie (Sauerstoffaufnahme, $\dot{V}O_2$)

$\dot{V}O_2$ bei 100 W	$\dot{V}O_2$ bei 150 W	$\dot{V}O_2$ bei 200 W	$\dot{V}O_2$ bei 250 W	Steigung $\dot{V}O_2 / P$	Achsenabschnitt
1860 mL / min	2240 mL / min	2830 mL / min	3270 mL / min	10 mL / (min · W)	800 mL / min

Swiss Olympic
Haus des Sports
Talgut-Zentrum 27
3063 Ittigen b. Bern

Tel. +41 31 359 71 11
info@swissolympic.ch
www.swissolympic.ch

National Supporter

SPORT-TOTO



SWISSLOS

Leading Partners



amag

**OCHSNER
SPORT**

