

Leistungs- und Funktionsdiagnostik

1. EINLEITUNG	3
2. ALLGEMEINE DEFINITION DER LEISTUNGSDIAGNOSTIK	3
3. SPORTLICHE LEISTUNGSFAKTOREN	4
4. VERSCHIEDENE METHODEN DER ZUR DIAGNOSTIK VON SPORTLICHER BEWEGUNG	5
4.1 Klassifizierungsebenen	6
4.2 Gütekriterien	8
4.3 Test zur Bestimmung der Kraft	8
4.3.1 Biomechanische Tests zum Ermitteln von Kraft (Feindiagnose)	9
4.3.2 Bestimmung der Muskelleistungsschwelle (MLS)	9
4.3.3 Kraftbestimmung anhand von Kraft-Zeit-Kurven	11
4.4 Sportmotorische Tests zum Ermitteln der Kraft (Grobdiagnose)	12
4.4.1 Schnellkrafttests	12
4.4.2 Maximalkrafttests	14
4.4.3 Kraftausdauerests	14
4.5 Tests zur Bestimmung der Schnelligkeit	15
4.6 Biomechanische Messverfahren zum Ermitteln der Schnelligkeit (Feindiagnose)	16
4.6.1 Kasseler Beschleunigungstest	16
4.7 Sportmotorische Testverfahren zum Bestimmen der Schnelligkeit (Grobdiagnose)	16
4.7.1 4x9m Pendellauf	17
4.8 Tests zur Bestimmung der Beweglichkeit	17
4.8.1 Sit and Reach (COUNCIL OF EUROP, COMMITTEE FOR THE DEVELOPMENT OF SPORT, 1988)	19
4.9 Tests zur Bestimmung der Koordination	19
4.9.1 Balancieren rückwärts (SCHILLING, 1974)	19
4.9.2 Kasten-Bumerang-Lauf (TÖPEL, 1972)	20
4.10 Tests zur Bestimmung der Technik	20
4.11 Tests zur Bestimmung der Taktik	21
4.12 Tests zur Bestimmung der Ausdauer	21
4.12.1 Coopertest	21
4.12.2 Conconi-Test	22
4.12.3 Leistungs- und Trainingssteuerung mithilfe der maximalen Herzfrequenz	24
4.12.4 Leistungsdiagnostik im Labor	24
4.12.5 Felddiagnostik oder Feldtest	27
5 LAKTATBESTIMMUNG IN DER LEISTUNGSDIAGNOSTIK	28

5.1	Laktatschwellenkonzepte	29
5.2	Die Trainingsbereiche ergeben sich aus den verschiedenen Schwellen.	31
5.3	Weitere laborchemische Kenngrößen	33
6.	SPIROERGOMETRIE	34
7.	KOMPLEXE LEISTUNGSDIAGNOSTIK	37

Literatur:

De Marrés, H. (1994/2004). *Sportphysiologie*. Köln: SPORT und BUCH Strauss.

Hollmann, W., Hettinger Th. (1990). *Sportmedizin*. Stuttgart, New York: Schattauer.

Föhrenbach, R. (1990): Leistungsdiagnostik, Trainingsanalyse und –steuerung im Triathlon. *Leitungssport 20* (3), 35-40.

Jeschke, D., Lorenz R. (Hrsg.) (1998). *Sportartspezifische Leistungsdiagnostik. Energetische Aspekte*. Bundesinstitut für Sportwissenschaft. Köln: SPORT und BUCH Strauss Verlag.

Martin, D., Carl, K., Lehnertz, K. (1994) *Handbuch der Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann

Neumann, G. (1994). *Sportmedizinische Funktionsdiagnostik*. Erlangen: Spitta.

Neumann, G., Pfützner, A., Berbalk, A. (2005). *Optimiertes Ausdauertraining*. Meyer & Meyer: Aachen.

Pohl, R, Scheid, V (2001). *Bewegungslehre*. Wiebelsheim: Limpert.

Weineck, J. (2004). *Optimales Training*. Erlangen: Spitta.

1. Einleitung

Jedem Handeln des Lehrers oder Trainers geht eine diagnostische Information voraus. Neben einer Informationsfunktion hat die Diagnostik auch Klassifikations- und Selektionsfunktion. Dies erkennt man zum Beispiel in der Schule anhand der Schulnoten, bei der Talentsichtung oder bei sportlicher Kontrolle zum Steuern- und Überprüfen von Leistungszuständen.

Hierzu wird ein empirisches Relativ (die Körpergröße oder der Weitsprung) einem numerischen Relativ zugeordnet und letztendlich mit einer Normskala verglichen. Es handelt sich dabei um eine Statusdiagnose die einen Zustand bestimmen. Veränderungsdiagnosen versuchen mittels Wiederholbarkeit die Veränderung von Statuszuständen festzustellen und auf die Einflussgröße zu beziehen. So ist eine Einflussgröße ein standardisiertes Trainingsprogramm von der die Wirkung auf den Leistungszustand ermittelt werden soll.

- Jeder Handlung von Trainer, Lehrer geht eine Diagnose voraus
- Ziel: Information, Klassifikation und Selektion
- Empirisches Relativ wird numerischen Relativ zugeordnet und mit Normen verglichen
- Statusdiagnosen und Veränderungsdiagnosen

2. Allgemeine Definition der Leistungsdiagnostik

Die Leistungsdiagnostik ist ein zentrales Element der Trainingssteuerung. Anhand von Tests kann jeder Sportler seine momentane Leistung überprüfen und sein weiteres Training steuern. Zudem können Vergleiche zu früheren Tests Veränderungen des Trainingszustandes feststellen. Jedoch lässt sich gerade in Mannschaftssportarten das Wettkampfergebnis anhand von einem Test nicht voraus sagen, da hier mehrere Faktoren eine Rolle spielen. Deshalb führt man häufig mehrere Tests durch, um sich ein Gesamtbild des Sportlers und der komplexen Leistungsfähigkeit zu machen. In den Einzelsportarten ist das Gesamtbild häufig von einer athletischen Hauptbeanspruchungsform geprägt, was nur einen Test möglich macht.

- Leistungsdiagnostik Element der Trainingssteuerung
- Bestimmen von Leistungszustand und Veränderung

- In Mannschaftsportarten meist mehrerer Test, in Einzelsportarten meist ein Tests, da nur eine Hauptbeanspruchungsform.

3. Sportliche Leistungsfaktoren

Die Fertigkeiten und die Fähigkeiten stellen die grundlegenden sportlichen Leistungsfaktoren dar. Wobei die Fertigkeiten direkt messbar durch eine Ortsveränderung der Körpermasse in Raum und Zeit charakterisiert sind. Man unterscheidet zwischen Basisfertigkeiten (Laufen, Springen, Werfen) und komplexe Fertigkeiten (Dribbeln, Schwimmen, Klettern).

Jede Bewegungshandlung liegt motivale Ursachen, physiologische Prozesse und motorische Steuerungs- und Regelungsprozesse zugrunde. Die **Bewegungshandlung** teilt sich in eine Orientierungsphase, in eine Antriebsphase und eine Regulationsphase (Kraft und Tempo einsetzt). Zusätzlich entscheiden die motorischen, psychischen, somatischen und sozialen Fähigkeiten über die Qualität und Quantität der Bewegungshandlung. Die informationsorientierte Voraussetzung bilden die **motorischen Fähigkeiten** aufgeteilt in die **koordinativen Fähigkeiten** (Planung, Komposition und neuromuskuläre Feinabstimmungen) und die **konditionellen Fähigkeiten** (energetische Voraussetzung, für den Umfang, die Intensität und die Dauer des muskulären Einsatzes).

- Fähigkeiten (Steuerungs- und Regelungsprozesse) & Fertigkeiten (Bewegungsvollzug) sind grundlegende Faktoren die sportliche Leistung ausmachen
- Basisfertigkeiten (Laufen, Springen, Werfen) & komplexe Fertigkeiten (Dribbeln, Schwimmen, Klettern)
- Fähigkeiten unterteilen sich in Konditionelle Fähigkeiten (Kraft (Kraftausdauer, Maximalkraft, Schnellkraft), Beweglichkeit (anatomisch bedingt), Ausdauer (Kraftausdauer, Aerobe Ausdauer, Anaerobe Ausdauer) Schnelligkeit (Aktionsschnelligkeit, Reaktionsschnelligkeit)) und koordinative Fähigkeiten (Orientierungsfähigkeit, Gleichgewichtsfähigkeit, Umstellungsfähigkeit, Rhythmusfähigkeit, Differenzierungsfähigkeit)
- Fähigkeiten bestimmen die Fertigkeiten (Automatisierung) welche anhand von Test überprüft werden können.

Mit der Verbesserung der Fertigkeiten optimiert man gleichzeitig die nicht direkt beobachtbaren Fähigkeiten.

Motorische Fähigkeiten sind nicht direkt Beobachtbar und stellen den Innenaspekt einer Bewegung dar. Sie können nur aus beobachtbaren Indikatoren erschlossen werden. Fertigkeiten stellen somit den sichtbaren Außenaspekt von Fähigkeiten dar.

4. Verschiedene Methoden der zur Diagnostik von sportlicher Bewegung

Unter Diagnose versteht man die Erfassung des körperlichen oder psychischen Ist-Zustandes. Die Diagnose stellt die Ausgangssituation jeglicher Art von Therapie oder Training dar. Es werden bestimmte seelische und körperliche Verhaltensweisen erfasst. Nur wenn der aktuelle Zustand ermittelt worden ist, kann auf einen angestrebten Soll-Zustand hingearbeitet werden.

Es gibt mehrere Verfahren zur Diagnose sportlicher Bewegung:

- Alltagsdiagnose (von Laien oder Selbstdiagnose, wird nicht näher eingegangen)
- Apparative Messverfahren (Mechanische, elektronische und optische Messverfahren)
- Sportmotorische Tests

Aparative Messverfahren werden eingesetzt zum Erfassen von sportlicher Leistungsfähigkeit vom Experten und nur bedingt zur Selbstdiagnose. Das gilt auch für Biomechanische Merkmale wie z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung, Frequenz, die sich in mechanische, elektronische und optische Verfahren aufspalten:

Mechanische Messverfahren sind heute von elektronischen Verfahren abgelöst worden. Die Messung mit einem Messband oder die Kraftmessung mittels einer Feder- oder Balkenwaage gehören zu den mechanischen Messverfahren. Nur die Messung von Schrittlängen und Fußstellungen in der Leichtathletik geschieht mechanisch.

Elektronische Messverfahren werden heute zur Messung von Zeit (Lichtschranken/Doppellichtschranken), von

- **Geschwindigkeiten** (auch Lichtschranken in Verbindung mit der Strecke), bei der
- **Winkelmessung** (Goniometrie, dabei wird für die Bestimmung des Winkels ein Drehpotentiometer in den beiden Achsen des Winkels befestigt), bei der
- **Beschleunigungsmessung** (hierbei wird die Kraft gemessen und mit der Masse in Verbindung gebracht; $\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$) und bei der Messung von
- **Reaktionskräften** (mit Dehnungsstreifen oder nach dem piezoelektrischen Prinzip (Piezoquarz), bei beiden Verfahren werden die Druck oder Zugbewegung durch das Material in elektrische Spannung umgewandelt) eingesetzt.

Bei den **optischen Messverfahren** unterscheidet man zwischen den

- fotografischen und den (Serienfotos, Chronofotographie, Stroboskopie, Videoanalysen Selspottechnik)
- fotometrischen Messverfahren.

Bei dem fotografischen Verfahren werden **Serienfotos**, teils mit 100-500 Bildern pro Sekunde abgelichtet. Bei der **Chronofotographie** werden die Bewegungsphasen auf einem Bild abgelichtet und dadurch die Bewegung sichtbar. Das bekannteste Lichtbildverfahren ist die **Stroboskopie** bei der das Objekt mehrfach angeblitzt wird.

Zu den fotografischen Verfahren kommen noch **Videoanalysen**, die eine sofortige Rückmeldung mittels Zeitlupe oder Standbildfunktion geben.

Bei der **Selspottechnik** werden an dem Objekt Lichtstrahler angebracht die von Kameras aufgenommen und direkt an den Computer aufgenommen werden, es kann jedoch nur der/die Punkte analysiert werden, nicht die Gesamtbewegung.

Sportmotorische Testverfahren bilden einen Mittelweg zwischen den kostenaufwendigen apparativen Verfahren für den Leistungssport und den Alltagsdiagnosen des Laien. Hierbei steht ein Testergebnis für eine motorische Fähigkeit und wird mit der Normtabelle verglichen, so kann man das Ergebnis in Gut, mittel oder schlecht einteilen.

4.1 Klassifizierungsebenen

Dabei gibt es 4 Klassifizierungsebenen:

1. Zielgruppe

Der Test muss der Zielgruppe angemessen sein. Eine Fußballgruppe benötigt für ihre sportmotorischen Fähigkeiten einen anderen Test als der allgemeine Fitnesssportler. Dabei würde man zB. den Fußballer eine Dribblingaufgabe lösen lassen und den Freizeitsportler eher einen allgemeinen Fitnesstest (Walkingtest nach BÖS) absolvieren lassen.

- Leistungssport
- Allgemeine Bevölkerung

2. Gegenstandsbereich

Es muss zwischen allgemeiner sportmotorischer Fähigkeit oder spezieller sportmotorischer Fähigkeit unterschieden werden.

- Sportmotorische Fähigkeit
- Spezielle sportmotorische Fähigkeit

3. Konstruktionsmerkmal

Tests die eine motorische Fähigkeit ermitteln sind homogene Tests.

Tests die verschiedene Fähigkeiten ermitteln werden meist in Testbatterien ermittelt und können Schwachstellen im Gesamtprofil ermitteln. Sie können auch für die Ermittlung der allgemeinen Leistungsfähigkeit verwendet werden.

- Homogene Tests für die Ermittlung von einer motorischen Fähigkeit
- Heterogene Tests für die Ermittlung eines sportmotorischen Profils mittels einer Testbatterie

4. Standardisierungsgrad

Ein standardisierter Test kann mittels Normtabellen verglichen werden. Es handelt sich dabei um ein formelles Verfahren.

Bei einem informellen Verfahren sind dagegen Durchführung, Auswertung und Interpretation nicht völlig festgelegt. Für Einzelanalysen kann man sie verwenden. Zum Beispiel werden informelle Verfahren zum Feststellen von Entwicklungsrückständen bei Kleinkindern verwendet.

- Formelle Verfahren können verglichen werden, müssen den Gütekriterien (Objektivität, Reliabilität und Validität) folgen.
- Informelle Tests sind nicht völlig festgelegt und dienen zur Einzelfallanalyse

4.2 Gütekriterien

Um Tests standardisiert ablaufen zu lassen gelten die allgemeinen Gütekriterien:

- **Objektivität**
 - Durchführungsobjektivität ist gegeben wenn mehrere Personen eine Gruppe von Personen untersuchen und ihre Ergebnisse anschließend miteinander vergleichen.
 - Auswertungsobjektivität liegt vor wenn mehrere Personen die Ergebnisse in Rohwerte umwandeln
 - Interpretationsobjektivität ist gegeben wenn inhaltliche Normwerte existieren, und mehrere Personen die gleichen Ergebnisse und Rohwerte interpretieren
- **Reliabilität**
 - Überprüft die Zuverlässigkeit eines Testes, Beispiel Test-Retestmethode, Paralleltestmethode (zwei Tests die das gleiche ermitteln), Halbierungsmethode
- **Validität**
 - Drückt die Gültigkeit eines Testes aus. Die inhaltliche Validität wird durch den Experten beurteilt. Die kriterienbezogene Validität vergleicht Messergebnisse verschiedener Tests.
 - **Ökonomie**
 - Kosten –Nutzen-Relation
 - **Normierung**
 - Man unterscheidet zwischen kriterienbezogener Norm (vorgegebene und feste Vergleichsmaßstäbe) und sozialen Normen (statistische Vergleichswerte von Bezugsgruppen)
 - **Nützlichkeit**
 - Praktische Anwendbarkeit
 - **Vergleichbarkeit**
 - Mit anderen Tests die dasselbe Persönlichkeitsmerkmal messen und ähnliche Aussagen zulassen

4.3 Test zur Bestimmung der Kraft

Die Bestimmung der Kraft hat folgende Aufgaben:

- Das Bestimmen des gegenwärtigen Leistungszustandes, zum individuellen Leistungsvergleich oder zum Vergleich innerhalb der Trainingsgruppe

- Das Analysieren der Veränderung von Komponenten des Leistungszustandes im zeitlichen Verlauf des Trainings, um die Leistungsentwicklung zu dokumentieren
 - Das Erkennen von Wechselwirkungen einer Einflussgröße des Leistungszustandes, zB. um zu Erkennen welchen Einfluss die Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur auf die Sprint oder vertikalen Sprungleistung hat.
 - Zur Bestimmung der genauen Widerstandslast (Belastungsintensität) für die unterschiedlichen Trainingsmethoden
- (MARTIN; CARL; LEHERTZ, 1993, 118)

4.3.1 Biomechanische Tests zum Ermitteln von Kraft (Feindiagnose)

4.3.2 Bestimmung der Muskelleistungsschwelle (MLS)

Als MLS wird der Kumulationspunkt in der Leistungs- (Gewichts)- Kurve bezeichnet. Die Last (das Gewicht) mit der die **maximale Leistung** erreicht wird, heißt Schwellenlast (-gewicht).

Die maximale Leistung ist definiert als die Arbeit (Kraft x Weg) pro Zeiteinheit: Leistung in Watt. In der Muskelleistungslastkurve ist das Gewicht auf der x-Achse (horizontal) eingetragen und auf der y-Achse die Ns (Impuls= Masse (kg) x Geschwindigkeit in m/s).

Der Impuls ist ansteigend mit dem Gewicht bis zu einem Umschlagpunkt (MLS), andern die Hubzeiten solange werden, dass der Impuls trotz höherem Gewicht wieder abnimmt.

Näher bedeutet dies: die maximale Muskelleistung wird bei einem optimalen Verhältnis von zu bewältigender Last und der Geschwindigkeit der bewegten Last erreicht.

Bei den meisten Sportarten kommt es nicht darauf an eine größtmögliche Last zu bewältigen , sondern die optimale Muskelleistung (Watt) zu entwickeln (Schnellkraft) oder ein mittleres Gewicht so lange wie möglich zu halten (KA/Ausdauersportarten). Deswegen hat es sich erwiesen, dass das Messen der Muskelleistung auch als die wichtigste Messgröße zur Bestimmung der Krafftähigkeit und zur Bemessung der Belastungsintensität bei Methoden des Kraftrainings ist.

LEHNERTZ/AMPUS (1988) haben ein Verfahren zu Ermittlung der MLS vorgestellt.

Dabei wird beim Bankziehen eine Infrarotlichtschranke aufgestellt die die Zeit der zurückgelegten Wegstrecke ermittelt. Es werden 6 Versuche gestartet und ein Mittelwert der 5 Besten Versuche berücksichtigt. Anhand der Zeit und der Last wird der Impuls ermittelt ($\text{Impuls} = \text{Masse} \times \text{Geschwindigkeit}$). Aus den ermittelten Impulsveränderungen für jede Last kann man die MLK ermitteln und feststellen mit welcher Last der höchste Impuls erreicht wird. Die Ermittlung der MLS im Verlauf des Trainingsprozesses gibt Aufschluss über Entwicklung über die Muskelleistung (der gestesteten Muskulatur) (MARTIN, CARL, LEHNERTZ, 1993, 120).

- Als MLS wird der Kumulationspunkt in der Leistungs- (Gewichts)- Kurve bezeichnet
- Die Last (das Gewicht) mit der die maximale Leistung erreicht wird, heißt Schwellenlast (-gewicht).
- Der Impuls von einem maximal schnell angehobenen Gewicht ist ansteigend mit dem Last (kg) bis zu einem Umschlagpunkt (MLS), indem die Hubzeiten solange werden, dass der Impuls trotz höherem Gewicht wieder abnimmt.
- die maximale Muskelleistung wird bei einem optimalen Verhältnis von zu bewältigender Last und der Geschwindigkeit der bewegten Last erreicht.
- In Schnellkraftsportarten auf die höchste Leistung an und in Ausdauersportarten auf die höchste Leistung die in einem Zeitraum aufrecht erhalten werden kann.
- Messen der Muskelleistung auch als die wichtigste Messgröße zur Bestimmung der Krafftähigkeit und zur Bemessung der Belastungsintensität bei Methoden des Krafttrainings ist.
 - **Methode nach LEHNERTZ /AMPUS (1988)**
 - Bankziehen mittels Lichtschranke und Wegstrecke in cm
 - Last und Zeit ermitteln den Impuls ($\text{Impuls} = \text{Masse} \times \text{Geschwindigkeit}$).
 - Aus den Versuchen kann die Muskelleistungskurve MLK ermittelt werden und feststellen mit welchem gewicht der höchste Impuls erzeugt wird.
 - Möglichkeit für die MLS ist das Mitteln aus 5 Bestversuchen

4.3.3 Kraftbestimmung anhand von Kraft-Zeit-Kurven

Innerhalb von Kraft-Zeit-Kurven lassen sich folgende Kraftverhalten oder Muskelleistung bestimmen:

- Isometrische Maximalkraft (Beinstreckung)
- Kraftstoß (Beinstreckung)
- Startkraft und Explosivkraftverhalten (Beinstreckung)
- Exzentrischer Maximalkraftwert
- Kraft-Zeit-Verläufe im D-V-Z (Tiefsprung)
- Absprunggeschwindigkeiten (m/s)
- Kraftspitzen der konzentrischen Maximalkraft (F_{max}) (Bankziehen)
- Kraftausdauer (Impulserhaltung an der MLS)

Kraftdiagnosen mittels Kraft-Zeit-Kurven sind deshalb so bedeutsam, weil bei sportlicher Bewegung die Kraft während ihrer dynamischen Wirkung niemals konstant bleibt. In diesen Kraft-Zeit-Kurven werden Beziehungen zwischen der aufgewendeten Kraft und den beiden Zeitpunkten sichtbar gemacht und damit die Verläufe der Kraft in der Zeit registriert.

Z.B. Bei einem Strecksprung mit Auftaktbewegung ist eine Linie in das Koordinatensystem eingezeichnet die dem Eigengewicht entspricht. Auf der x-Achse sind die Zeitpunkte der Kurve eingetragen auf der Y-Achse die Kraft (F). Zu Beginn der Kurve entspricht die Kraft dem Eigengewicht, beim in die Hocke gehen nimmt die Kraft ab (durch die Abwärtsbewegung des KSP). Beim Strecken steigt die Kraft schneidet das Linie des Eigengewichts und schießt dann mit zunehmender Beschleunigung über das Eigengewicht hinaus zum Abheben des Körpers ist die Kurve bei 0.

Isometrische Maximalkraft in einem **Beinkraftmessgerät**, unter statischen Bedingungen gegen einen unüberwindbaren Widerstand. Hierbei können die realisierte Kraftspitzenwerte (KMI), die größte Anstiegssteilheit (EXI) als Indiz für die Explosivkraft und der Kraftwert nach 50 ms nach Kontraktionsbeginn für die Startkraft (STI) ermittelt werden.

Die Messung der isometrischen Maximalkraft beschreibt den höchsten realisierten Kraftwert bei maximaler Willkürkontraktion. Startkraft kennzeichnet die Fähigkeit des neuromuskulären Systems (Ansteuerung des ZNS über die Motoneurone des Knochenmarks bis zur motorischen Endplatte), vom Anfangsmoment der Anspannung an eine möglichst große Kraft in kürzester Zeit zu entwickeln.

Reaktivkraft wird über den Absprung aus einer Höhe von 1,10m oder 0,50m auf eine Kraftmessplatte mit sofortigem Absprung (unter weitgehendst gestreckten Gelenken) ermittelt.

Dabei werden aus dem Kraftverlauf die exzentrische, die konzentrische Kraftspitze und die Kontaktzeiten auf dem Boden ermittelt.

Kraftausdauer ist die Kraftfähigkeit die eine definierte Muskelleistung (z.B. indiziert über die Impulshöhe) über einen bestimmten Zeitraum, mit bestimmter Übungsfrequenz bei möglichst kleiner Verringerung der Impulshöhe aufrechterhalten werden kann.

Hierzu dient der Zweiphasentest:

In der ersten Phase wird die MLS errechnet und dann das Gewicht an der MLS über 24mal in einem Intervall von 2,5 sek wieder bewegt, dabei wird versucht der Impulsverringern entgegenzuwirken. Die Verringerung wird deutlich durch die abfallende Geschwindigkeit innerhalb des Intervallverlaufs. Ermittelt werden innerhalb dieses Testaufbaus der Arbeitsweg (m), das Gewicht (kg) und die Geschwindigkeit (m/s), daraus ergibt sich die prozentuale Verringerung der Impulse. Übungen sind z.B. das Bankziehen, Bankdrücken oder Beinpresse/ausstoßen.

In Vergleichen konnte eine Differenz zwischen der Maximalkraft und eine ähnliche MLS bei zwei Pbd. Ermittelt werden. Gleichzeitig war die Impulsverringern bei dem Pbd. mit der relativ höheren MLS geringer als bei dem mit der der hohen maximalen Kraftleistung. Gründe dafür können evtl. eine bessere neuromuskuläre Qualität sein und dass die Kraftausdauer vermutlich eine eigene Muskeleigenschaft /Qualität wie die Schnellkraft darstellt, wobei die Maximalkraft nur eine Komponente ist.

4.4 Sportmotorische Tests zum Ermitteln der Kraft (Grobdiagnose)

4.4.1 Schnellkrafttests

Medizinballwurf

- Testinhalt: Schnellkraft der Arm-, und Schultermuskulatur
- Testaufbau: Medizinball (2kg), Messband
- Testbeschreibung: Medizinball von einer Linie über den Kopf mit beiden Händen so weit wie Möglich nach vorne zu werfen.
- Messwertaufnahme: Gemessen wird die Wurfweite in cm
- Normtabellen (aus BECK/BÖS, 1995, n=2268)

Standweitsprung

- Testinhalt: Schnellkraft der Beinmuskulatur (Sprungkraft)
- Testaufbau/Material: Maßband, Kreide
- Testbeschreibung: Ziel ist es, aus dem Stand mit beiden Beinen so weit wie möglich zu springen
- Messwertaufnahme: Sprungweite in cm
- Normtabelle (aus BECK/BÖS, 1995, n: 55676)

Jump and Reach Test

- Testinhalt: Schnellkraft der Beinstreckmuskulatur
- Testaufbau: Tafel mit markierten Höhen, Magnesia
- Testbeschreibung: Ziel ist es aus dem Stand so hoch wie möglich zu springen
- Messwertaufnahme: Gemessen wird die Differenz aus der Standhöhe und der Sprunghöhe markiert durch das Magnesia aus dem seitlichen Sprung.
- Normtabelle: (aus BECK/BÖS, 1995, n: 26322)

Tiefsprung mit Jump and Reach

- Aus der Kopplung von Reaktivkraftmessungen von einem Kasten und einem Jump and Reach Test kann das reaktive Kraftverhalten ermittelt werden

Testname	Testinhalt	Prognosebereich
Jump and Reach	einarmige Reichhöhe an einer Wand markieren; beid- oder einbeinig aus dem Stand hochspringen und möglichst weit oben anschlagen; die Differenz der beiden Marken wird gemessen	vertikale Sprungkraft
Standweitsprung	beidbeiniger Weitsprung aus dem Stand; erzielte Weite wird gemessen	horizontale Sprungkraft
30-m-Sprint	aus den Startblöcken 30 Meter sprinten; gemessen wird die Zeit möglichst unter Abzug der Reaktionszeit	Beschleunigungskraft
Medizinballwurf	beidarmiger Wurf mit Ausholbewegung über dem Kopf; erzielte Weite wird gemessen	Wurfkraft

Medizinballstoß	beidarmiger Stoß des Medizinballes; vorderer Fuß behält Bodenkontakt; erzielte Weite wird gemessen	Wurfkraft
-----------------	--	-----------

4.4.2 Maximalkrafttests

Die konzentrische Maximalkraft ist definiert durch die größtmögliche Kraft die über einen bestimmten Arbeitsweg bewegt bewältigt werden kann.

Geeignete Übungen sind Bankdrücken, Bankziehen, Kniebeuge/presse und andere standardisierte Übungen, allerdings sind solche Tests stark motivationsabhängig. Es wird gemessen, wie viel Gewicht mit einer Wiederholung bewältigt werden kann. Anhand der Ergebnisse lassen sich leicht Trainingsintensitäten berechnen und das Training lässt sich genau steuern. Der Nachteil der genannten Maximalkrafttests ist das hohe Verletzungsrisiko, welches ein Sportler bei der Durchführung der Tests eingeht. Anfänger führen die Test nur mit 85% des maximalen Gewichts und 5 Wiederholungen durch.

Testname	Testinhalt	Prognosebereich
Bankdrücktest	maximal mögliche Last bei einer Wiederholung im Bankdrücken ermitteln	Maximalkraft der Armstreck- und der Brustmuskulatur
Bankziehtest	maximale mögliche Last bei einer Wiederholung im Bankziehen ermitteln	Maximalkraft der Armbeuge- und der oberen Rückenmuskulatur
Kniebeugetest	maximal mögliche Last bei einer Wiederholung in der Kniebeuge ermitteln	Maximalkraft der Beinstreckschlinge
Allgemein: Stoßen/Reißen von Hantelgewichten	immer die maximale Last bei einer Wiederholung	Maximalkraft des jeweils beanspruchten Muskels

4.4.3 Kraftausdauerests

Bei den Kraftausdauerests werden Übungen unter zeitlichem Druck absolviert. Hierbei muss die beabsichtigte Form der Energiebereitstellung berücksichtigt werden. Eine Minute wäre für einen Kraftausdauerest mit anaerob-laktazider Energiebereitstellung geeignet. Für die Kraftleistungen unter aerober Energiebereitstellung sollte der Test mindestens zwei Minuten andauern. Beispiele wären:

<u>Testinhalt</u>	<u>Prognosebereich</u>
Liegestütze in verschiedenen Positionen	Armkraft
Kniebeuge	Beinkraft
Rumpfhalten in einer definierten Position	Bauchmuskulatur

Formen dieser Test können sein:

- Zählen möglicher Wiederholungen pro Zeiteinheit
- Messen der Zeit, die zur Durchführung einer bestimmten Wiederholungsanzahl benötigt wird
- Messen der Übungszeit oder der Wiederholungszahl bis zur Erschöpfung
- Maximale Haltezeit

4.5 Tests zur Bestimmung der Schnelligkeit

Für die unterschiedlichen Erscheinungsformen der Schnelligkeit, wie der Reaktions, Beschleunigungs- und Schnelligkeitsfähigkeiten muss die Leistungsdiagnostik differenzierter arbeiten als bei der Bestimmung der Kraftkomponenten.

Die **Beschleunigungsfähigkeit** wird anhand von Kraft-Zeit-Kurven und anderen biomechanischen Methoden der Kraftanalyse bestimmt (Änderung der Geschwindigkeit durch Kraft -/+) Kraft= m x a./a=f/m)

Die **Reaktionsfähigkeit** ist schwierig zu ermitteln, da sie sehr starken antizipatorischen Charakter hat. Ermittelt wird die Reaktionszeit in sek. mittels Druckmessplatten.

Die **Schnelligkeitsleistung**, die auf der Bewegungsgeschwindigkeit (Aktionsschnelligkeit) basieren können nur mit Präzisionstechnik ermittelt werden. Schnelligkeitsfähigkeiten sind eng mit den Krafftfähigkeiten verbunden. Daher werden viele

4.6 Biomechanische Messverfahren zum Ermitteln der Schnelligkeit (Feindiagnose)

4.6.1 Kasseler Beschleunigungstest

In einer Halle mit standardisierten Bedingungen wird eine 30m Strecke mit 10m Lichtschranken auf Kopfhöhe präpariert. Es wird aus dem Stand losgelaufen. Und die Zeiten zwischen den Schranken gemessen. Dieser Test gibt Aufschluss über die größtmögliche lokomotorische Geschwindigkeit (20-30m in s) und der Beschleunigungsfähigkeit (0-10,10-20m). Es wird aus zwei Versuchen der bessere gewertet.

Differenzdiagramme von einem zu einem anderen Sportler mit der graphischen Darstellung positiver, negativer, maximaler Bewegungsbeschleunigung, maximaler Bewegungsgeschwindigkeit und der Sprintausdauer (Halten der km/h).

4.7 Sportmotorische Testverfahren zum Bestimmen der Schnelligkeit (Grobdiagnose)

Solche Tests können nur einen grobdiagnostischen Aussagewert erbringen. Zum erfassen des sportartspezifischen Schnelligkeitskomplex werden Testbatterien konzipiert. Für die

- **Reaktionsfähigkeit** wird der „Boxtest“ und der „Fallstabtest“ empfohlen, für die
- **Schnelligkeit (Aktionsschnelligkeit) der “20m Hochstart“**
- **Sportspiele und „30m Fliegend“ für die Leichtathletik**, den
- **7x 30m** Pendelsprint und der Dribblingtest für Sportspiele und der
- „Japantest“ für Volleyball, sowie der „Test 9-3-6-3-9“ für VB und Tischtennis.
- **„Skipping-Test“ für die Leichtathletik.**

Testname und Testinhalt	Prognosebereich
Standweitsprung	Startkraft (cm)
Zehnersprung	Explosivkraft (cm)
30-m-Lauf	Explosivkraft (sek))
30-m-Lauf mit fliegendem Start	Maximale Fortbewegungsgeschwindigkeit (sek)
60-m-Lauf	Sprintleistung ohne Laktatbelastung (sek)
100-m-Lauf	Wettkampfleistung (sek)
150-m-Lauf	Schnelligkeitsausdauer (sek)
200-m-Lauf	Wettkampfstrecke (sek)
300-m-Lauf	Sprintleistung unter hoher Laktatbelastung (sek)

Bei allen Tests muss auf die Standardisierung auf die Gütekriterien geachtet werden.

4.7.1 4x9m Pendellauf

- Testinhalt: Schnellkraft der Beinmuskulatur sowie Aktionsschnelligkeit (Schnelligkeit in der Bewegung)
- Testmaterial: Stoppuhr
- Testbeschreibung: Ziel ist es die Strecke von 4x9m in möglichste kurzer Zeit zu durchlaufen.
- Messwerte: Gemessen wird die Zeit in sec.
- Normtabelle (aus BECK/BÖS, 1995, n: 1202)

4.8 Tests zur Bestimmung der Beweglichkeit

Bei der Bestimmung der Beweglichkeit besteht eine gewisse kritische Grundhaltung, da die Tests mit dem Hintergrund eventueller falscher Ergebnisse von Laien betrachtet werden müssen. Zur eindeutigen Diagnostik sollten

- profunde **anatomische Kenntnisse des Bewerter**s vorliegen, da die Tests vielfach mehrere Systeme gleichzeitig erfassen.
- Außerdem könnten **Haltungsschwächen**, z.b. eine schwaches Bindegewebe als eine hohe Beweglichkeit interpretiert werden.
- Es muss vielfach darauf hingewiesen werden dass eine Vielzahl von Faktoren (Beckenstellung, Stellung benachbarten gelenke etc.) einen Einfluss auf die „**Normalstellung**“ und auf Testergebnisse haben können.
- Weitere Faktoren sind das **Alter**, wie auch der **Entwicklungszustand**, aufgrund besserer Protortionsverhältnisse und Plastizität der Gelenke.

Die Tests sollten wie immer standardisiert (Haltezeit, Ausführung) zur Bestimmung der allgemeinen Beweglichkeit und der speziellen sportartspezifischen Beweglichkeit durchgeführt werden. Im Folgenden soll auf die

Muskelfunktionsdiagnostik nach JANDA (1979) und KANDELL-MC CREARY (1988) hingewiesen werden.

1. Feststellung der komplexen Rumpfbeweglichkeit und Beinmuskulatur (Waden, OB-Rückseite, WS): Rumpfbeugung vorwärts, gemessen wird die Entfernung der Fingerspitzen zum Bullpunkt der Füße und über den Nullpunkt hinaus. Die Rumpfbeugefähigkeit nimmt mit zunehmenden Alter ab.
2. Feststellung der kombinierten WS-und Hüftgelenksbeweglichkeit (wie oben + Mm adduktoren): Im Grätschsitz nach vorne beugen, gemessen wird der Abstand zum Boden der Brust..
3. Feststellung der Grätschfähigkeit der Beine (Kraft Und Dehnfähigkeit der Adduktoren): Oberkörper aufrecht im Grätschsitz, gemessen wird der Beinwinkel, oder Abstand der beiden Innenknöchel (kein intraindividuellem Vergleich, nur interindividuell).
4. Feststellung der seitlichen Rumpfbeweglichkeit (gerade und schräge Bauchmuskelbeweglichkeit und Rumpfbeweglichkeit): gemessen wird die Differenz aus der Nullstellung in die Seitneigung in °. Tests beidseits durchführen.
5. Feststellung der Verwringungsfähigkeit der WS (Rumpf- und Bauchbeweglichkeit): Rumdrehung seitwärts, gemessen wird die Drehung in Grad.
6. Feststellung der isolierten Hüftgelenksbeweglichkeit: Seitspagat, gemessen wird der Abstand zwischen Symphyse (Schambeinfuge) und Boden in cm. Querspagat, gleiche Messung.
7. Schultergelenksbeweglichkeit: Ausschulteren mit einem Stab über Kopf, gemessen wird die Griffbreite in cm- im Kollektiv muss die Schulterbreite Berücksichtigt werden. Vielleicht wäre die Bildung eines Quotienten möglich?

Funktionstests zur Feststellung verkürzter Muskelgruppen (JANDA):

1. Verkürzung der Wadenmuskulatur bei abheben der Ferse während er Hock oder Kniebeuge
2. M. rectus femoris: die Ferse wird zum Gluteus gezogen, erreicht die Ferse den Gluteus unter leichten Zug ist der M retus femoris optimal dehnfähig, bei 15cm liegt eine leichte Verkürzung vor, größere Abstände deuten auf eine starke Verkürzung hin.

3. M. iliopsoas wird getestet durch heranziehen des Knies an die Brust, dabei sollte das andere Bein liegen bleiben.
4. Mm adductores wird in der Seitlage das obere Bein abgehoben, dabei sollte der erreichte Winkel 60° betragen, 40-60° deuten auf eine leichte Verkürzung hin und 25-40° auf eine starke Verkürzung.
5. Mm ischiocrurale wird getestet durch Streckung des Beins in die Senkrechte, dabei sind 90° optimal, 80-90° leicht verkürzt und 60-80° stark verkürzt.
6. Mm. erector spinae /trunci: dabei wird die Stirn zu den Knien gezogen, optimal berührt die Stirn bis auf 10cm die Kniescheibe, ein Abstand von 10-15cm ist leicht verkürzt und darüber stark verkürzt.

4.8.1 Sit and Reach (COUNCIL OF EUROPE, COMMITTEE FOR THE DEVELOPMENT OF SPORT, 1988)

- Testinhalt: Beweglichkeit der Wirbelsäule und Dehnfähigkeit der Rumpf und hinteren Beinmuskulatur.
- Testaufbau: Lastenoberteil Magnesia, Zollstock oder Sit and Reach Vorrichtung
- Testbeschreibung Ziel ist es den Oberkörper so weit wie möglich nach vorne zu beugen
- Messwert: Gemessene Distanz zwischen Fingerspitze und Fußsohlenniveau in cm an einer Vorrichtung
- Normatabelle (BÖS, 1996)

4.9 Tests zur Bestimmung der Koordination

Aufgrund der Komplexität der koordinativen Fähigkeiten ergeben sich für die Sportpraxis nicht unerheblich z.T. ungelöste Probleme der objektiven Erfassung des koordinativen Leistungszustandes.

Tests zur Überprüfung der Koordination erfolgen in der Regel sportartspezifisch, die allgemeine koordinative Fähigkeit kann leicht anhand folgender Beispiele überprüft werden:

4.9.1 Balancieren rückwärts (SCHILLING, 1974)

Test für die allgemeine Koordination:

- Testinhalt: Koordination bei Präzisionsaufgaben
- Testaufbau/Material: schmaler Balancierbalken
- Testbeschreibung: Ziel ist es, so lange wie möglich rückwärts zu gehen.
- Messwerte: Schritte die rückwärts gegangen wurden

- Normtabellen: keine verfügbar.

4.9.2 Kasten-Bumerang-Lauf (TÖPEL, 1972)

- Testinhalt: Koordination unter Zeitdruck
- Testmaterial: Ein Medizinball, von dem im Abstand von 2,5m nach den vier Seiten ein Kasten und eine Matte aufgebaut sind.
- Testbeschreibung und Messwert: Ziel ist es in möglichst kurzer Zeit (sek) die Fahnenstange immer wieder zu umlaufen und die Hindernisse zu absolvieren.
- Normtabelle (aus BECK/BÖS, 1995, 2580)
- Vorteil einfacher Aufbau und schon im frühen Schulkindalter anwendbar.
- oder **Wiener Koordinationsparcours- Normtabellen verfügbar!**

Sportartspezifische Koordinationstests leiten sich von den Grundbewegungen der sportartspezifischen Bewegungsstruktur ab.

4.10 Tests zur Bestimmung der Technik

Zur Bestimmung von Technikmerkmalen wird die

- Bewegung entweder im Ganzen betrachte, um damit den Bewegungsrythmus zu analysieren.
- Fehleranalyse in der Technik durch das Zerlegen der Bewegung in Bewegungsabschnitte und im Hinblick auf normierte Bewegungsbeobachtungen
 - standardisierte Videoaufnahmen (gleicher Raum gleiche Bedingungen)
- **Positionen die zu Kontrolle des Bewegungsablaufs dienen nennt man Schlüsselpositionen (vgl. BAUMANN, 1988).**
- Die Visualisierung der Technik in Form von „Vormachen“ eines Trainers oder „Ansehen“ anhand von Video oder Bilder ist wichtig für die Selbstregulation der Technik seitens des Sportlers.
- Ergibt sich dabei das die Technik dem motorischen Idealtypus entspricht und dem individuellen Leistungsniveau entspricht muss die Technik unter dem Aspekt der Quantität (Kraft, Schnelligkeit) weiter entwickelt werden,
- entspricht die Technik dem Idealtypus weicht aber von der Leistungsfähigkeit des Sportlers ab muss die Qualität verbessert werden (Bewegungsablauf).

4.11 Tests zur Bestimmung der Taktik

Taktikanalysen werden vor mit der **Spielbeobachtung, Wettkampfbeobachtung** analysiert. Hierzu gibt es vorgefertigte sportartspezifische Beobachtungsbögen. In Einzeldisziplinen (Rad, Triathlon, Lauf, Schwimmen, Rudern, Leichtathletik), erzielt man durch den Bewegungs- und Erfahrungserwerb die bestmögliche Taktik.

- Zur Überprüfung können nur taktische Situationen mental abgefragt und vorbereitet werden.

4.12 Tests zur Bestimmung der Ausdauer

4.12.1 Coopertest

- Testinhalt: Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit
- Testmaterial: Stoppuhr, Rundbahn mit 50m Abschnitten
- Testbeschreibung: Ziel ist es so weit wie möglich in 12 Minuten zu laufen
- Messwerte: Strecke in 12 Minuten
- Normtabelle (aus BECK/BÖS, 1995, n: 1839)

Cooper verglich die Laufleistung seiner Probanden mit der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂-max.) während der Belastung und erstellte anhand dieser Werte eine fünfstufige Bewertungsskala für einen zwölfminütigen Dauerlauf auf einer Laufbahn mit bekannter Streckenlänge.

Männer							
	bis 30 J.	30-39 J.	40-49 J.	50 J.			
sehr gut	2800	2650	2300	2000			
gut	2400	2250	2100	2000			
befriedigend	2000	1850	1650	1600			
mangelhaft	1600	1550	1350	1300			
unzureichend	weniger Meter als bei mangelhaft						
Frauen							
	bis 30 J.	30-39 J.	40-49 J.	50 J.			
sehr gut	2600	2500	2300	2150			
gut	2150	2000	1850	1650			
befriedigend	1850	1650	1500	1350			
mangelhaft	1550	1350	1200	1050			
unzureichend	weniger Meter als bei mangelhaft						
Jungen							
	11 J.	12 J.	13 J.	14 J.	15 J.	16 J.	17 J.
ausgezeichnet	2800	2850	2900	2950	3000	3050	3100
sehr gut	2600	2650	2700	2750	2800	2850	2900
gut	2300	2350	2400	2450	2480	2450	2400
befriedigend	1900	1850	1900	1950	2000	2050	2100
mangelhaft	1300	1250	1300	1350	1400	1450	1500
unzureichend	weniger Meter als bei mangelhaft						
Mädchen							
200 Meter weniger als Jungen in allen Klassen							

4.12.2 Conconi-Test

- Testinhalt: aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit und Bestimmung der anaeroben Schwelle.
- Testmaterial: Pulsmesser, Stoppuhr, Trillerpfeife, oder Conconi-Uhr mit Signal
- Testbeschreibung: Ziel ist es 12 x 200m nach einer 10min Erwärmung in vorgegebenen Geschwindigkeiten zu laufen. Die ersten 200m werden in 90sec. Gelaufen, die nächsten 200m werden in 0,25m/s weniger gelaufen, so dass die letzte Teilstrecke gesamt in 5m/sek gelaufen wird. Alle 10 m ertönt durch die Trillerpfeife ein akustisches Signal. (aus SCHEID/PROHL, 2001)
- Nach einer Anfangsgeschwindigkeit von ca. 60s auf 200m (für Ausdauertrainierte) wird die 200m Geschwindigkeit successive gesteigert bis zur individuellen Erschöpfung. Alle 200m sollte der Speicherknopf der Pulsuhr gedrückt werden. Den Test kann man am Computer mittels neueren Pulsmessern und Software auslesen.
- Messwerte: Gemessen werden die Pulswerte und die unterschiedlichen Geschwindigkeiten die dann in ein Koordinatensystem (x- Achse V/Y-Achse Puls) eingetragen werden. Der Verlauf der HF zeigt eine lineare Gleichung bis zu einem Knick. Dies ist die anaerobe Schwelle.
- Ein solcher Knick (**Deflektionspunkt = Umschlagpunkt**) entsteht, wenn der Sauerstofftransport über das H-K-System sowie die Sauerstoffumsetzung sich nicht mehr im gleichen Masse steigern lassen wie die Leistung (Muskeln fangen an über ein Sauerstoffdefizit zu arbeiten und produzieren Laktat). Die Werte des Knickpunktes nennt man für den Puls den p_d (Pulsdeflektionspunkt) und für die Geschwindigkeit den v_d -Wert (Geschwindigkeits-Deflektionspunkt). Je dichter der p_d an der Max HF desto besser die aerobe Leistungsfähigkeit. Gleiches gilt für den Bereich 2-4mmol/l: je größer dieser Bereich, desto besser die aerobe Leistungsfähigkeit.
- Die anaerobe Schwelle liegt meist bei 90% der maximalen HF. Für längere aerobe Einheiten wird die HF bei 60-65% empfohlen, für mittellange aerobe Einheiten 70-75% (extensiver DL), 80-90% intensiver Dauerlauf oder auch Schwellentraining (GA2 Intervalle oder Tempodauerlauf) über 90% für intensive Intervalle und WSA Training.

- Interpretation von Veränderungen des Conconitestest:
 - Eine **Rechtsverschiebung** deutet auf eine Verbesserung des Ausdauer-Leistungszustandes hin, eine **Linksverschiebung** eine Verschlechterung des Ausdauer-Leistungszustandes.
 - Zu einem **steileren Anstieg** nach dem pd der Kurve bedeutet dies ein verbessertes anaerobes Leistungsvermögen.
 - Ein **flacher Kurvenverlauf** signalisiert einen Trend zu einer verbesserten allgemeinen Ausdauer (niedrigerer Puls bei höherer Geschwindigkeit).
 - Kann **kein Deflektionspunkt** erkannt werden kann dies an mangelnder Schnelligkeitsausdauer, muskulärer Ermüdung oder mangelnder anaerober Kapazität liegen.

Kriterien:

- Je weiter rechts der Deflektionspunkt liegt, desto höher ist die anaerobe Leistungsfähigkeit der Person
- Je mehr Strecke jenseits des Deflektionspunktes noch absolviert werden kann, desto höher ist die anaerobe Leistungsfähigkeit
- Der Conconitest kann auch auf dem Rad oder bei anderen Ausdauerdisziplinen durchgeführt werden. Auf dem Rad sollte ein Stufenlänge von 3min/800m und Steigerung um 40 Watt (vgl. Neumann/Schüler, 1994, 44)
-

<u>V_d(km/h)</u>	<u>Aerobe Leistungsfähigkeit</u>	<u>Gelaufene Strecke oberhalb der Conconi-Schwelle</u>	<u>Anaerobe Leistungsfähigkeit</u>
9	Untrainiert	< 400	Sehr niedrig
11		400 – 600	Niedrig
13	Ausdauertrainierter Freizeitsportler	600 – 800	Mittel
15		800 - 1000	Ziemlich hoch
17	Ausdauertrainierter Leistungssportler	1000 – 1200	Hoch
19		>1200	Sehr hoch
> 19	Ausdauertrainierter Hochleistungssportler		

(gemessen wird die Strecke unter anaerober Energiebereitstellung)

4.12.3 Leistungs- und Trainingssteuerung mithilfe der maximalen Herzfrequenz

Eine weitere Methode der Leistungs- und Trainingssteuerung ist mithilfe der maximalen Herzfrequenz. **Diese lässt sich an einem Pulsmesser beispielsweise im Endspurt eines Mittelstreckenlaufes ablesen.** So kann man anschließend das **Training über Prozentanteile der maximalen Herzfrequenz steuern.** Dieses Verfahren hilft vor allem bei der Steuerung des Grundlagenausdauertrainings. Eine Leistungsdiagnose ist anhand der Herzfrequenz nicht möglich.

4.12.4 Leistungsdiagnostik im Labor

Die Leistungsdiagnostik im Labor zum Erfassen der Ausdauerleistungsfähigkeit wird in der Regel auf einem **Laufband oder Fahrradergometer** absolviert. Es existieren aber auch noch andere Vorrichtungen für die **spezielle Leistungsdiagnostik** in den Sportarten (Ruderergometer, Strömungskanal, Knauergerometer, Skilanglaufergometer) und Feldtests denen wir uns später widmen.

Meist wird eine Stufenbelastung (standardisiert) absolviert und in den Pausen Kapillarblut zur Bestimmung des Laktates entnommen. Der Laktattest erlaubt eine präzise Planung und Steuerung des Trainings. **Laktat ist ein Salz der Milchsäure** und wird in bestimmten Muskelzellen durch anaerobe Prozesse gebildet. Da die Laktatkonzentration im Blut von der erbrachten Leistung abhängig ist, dient sie als Referenzwert für die Leistungsermittlung und die Trainingsempfehlung.

Die **äußeren Bedingungen** sollten genauso standardisiert ablaufen wie der test selber. Das bedeutet die **Temperatur sollte 18-20c** betragen, mindesten **20m²** sollte der Raum sein, der Proband sollte **ein bis zwei Tage entlastend trainieren** oder Pause machen und die letzte leichte Mahlzeit 1-2 Stunden vorher verspeist werden. Außerdem sollte die **Einnahme von Medikamenten** protokolliert werden und deren Einfluss bekannt sein und rechtzeitig abgesetzt werden.

Zur genaueren Diagnostik dient auch noch die Spiroergometrie zum Bestimmen des Atemgasaustausch.

Bestimmt werden:

- **Sauerstoffaufnahme-fähigkeit (VO₂max)**
- **Relative Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Gewicht (VO₂/kg)**
- **Laktatkinetik (IAS, 4mmol/l)**
- **HF**

- Max HF
- Respiratorischer Quotient ($R1 =$ wenn sich Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe decken)
- AMV
- Atemfrequenz
- CO₂-Abgabe

Laufbanddiagnostik

- **Standarttest nach Neumann** beginnt mit einer Belastung von 3,25m/s für Trainierte ($3,25 \times 3,6 = 11,7\text{km/h}$) und für Untrainierte $W = 2,5\text{m/s}$; $M = 3,0\text{m/s}$
- Steigerung von 0,25m/s alle 5min.
- Sprinter oder Langsprinter bewältigen ohne weiteres eine Steigerung um 0,5m/s bei etwas geringerer Stufenlänge aber höheren Endbelastungen.
- Mit einer Steigung des Bandes kann der Luftwiderstand imitiert werden= 1% Steigung = 0,4m/s Mehrbelastung für den Flachlauf.
- Allerdings kann es bei dem Anstellen des Bandes zu einer Verschlechterung der Lauftechnik kommen.
- Ist kein Band vorhanden das mindestens 4,5m/s realisieren kann muss über die Steigung das Stufenmodell konzipiert werden:
 - Belastung bei 5,5km/h gehalten die Steigung jede Stufe um 0,5 % gesteigert= 0,2 m/s, der Test ist nur unter gleichen Bedingungen reproduzierbar.
 - Die Endsteigung sollte nicht über 10,5% betragen,
 - es können motorische Koordinationsstörungen auftreten.
 - Die Steigungen von 6% und Geschwindigkeiten von 6m/s verursachen auch bei guten Läufern Bewegungskordinationsstörungen und führen zum Belastungsabbruch.
- Die Belastungsstufen können auch auf 8-12min verlängert werden, dies würde LZAIII-IV zugute kommen.
- Es kommt zur Verlagerung der Anaeroben Schwelle nach Links
 - Dies ist mehr auf die realen Trainingsbedingungen reproduzierbar
- Kürzere Stufen als 5min verschieben die Stufe nach rechts und täuschen einen besseren Trainingszustand vor,

- es werden zu schnelle Trainingsgeschwindigkeiten abgeleitet außerdem benötigt das Laktat mindestens 4min zum Einstellen des Gleichgewichts.(Laktat-Staty-State)
- Vorteil der Laborbedingungen ist die Reproduzierbarkeit
- Nachteil teilweise niedrige Affinität zur Sportart.
- Für die Trainingsteuerung im Ausdauerbereich ist die Anaerobe-Schwelle wichtig, da sich die Ausdauerleistungsfähigkeit am besten in einem Intensitätsbereich trainierbar ist, der sich maximales Laktat-steady-state nennt.
- Das bedeutet Laktataufbau ist im Gleichgewicht mit Laktatabbau über mindestens 30min→ max. Laktat-Stady-State
- **Rechtsverschiebung** der Laktatleistungskurve im unteren Bereich (bis etwa 3 mmol/l Laktat) nach rechts, lässt sich auf eine aerobe Leistungsverbesserung schließen.
- Eine **Linksverschiebung** deutet auf eine Verschlechterung der aeroben oder einer Verbesserung der anaeroben Kapazität hin; damit kann man zu wenig umfangreiches, aber auch zu intensives Training erkennen.
- **Rückt der mittlere Abschnitt der Laktat-Leistungskurve (etwa bei 5-7 mmol/l Laktat) nach rechts**, kann man auf den Erfolg intensiverer Trainingsabschnitte oder eines Kraftausdauertrainings schließen.
- Die **Höhe des Endpunktes der Kurve** oder die Steigung des Endabschnittes verrät die Zunahme anaerober Fähigkeiten.

Folglich wäre ein optimales Trainingsergebnis eine Rechtsverschiebung im unteren und mittleren Kurvenabschnitt und eine höhere und steilere Endphase der K

Fahrradergometer

- **WHO eine Anfangsbelastung von 25-50 W gewählt**, bei der sich der Sportler auch noch Warmfahren kann. (Richtwert liegt bei 0,5-1w pro kg)
- Für Leitsungsportler wird eine Anfangsbelastung von 50-100W gewählt.
- Anfänglich kann es zu einem Laktatanstieg von bis zu 3mmol/l kommen die sich nicht auf die übrigen Stufen auswirkt und der sich nach der Warmlaufphase des Körpers (6-8min) wieder abbaut.
- Die Belastungsstufen im Ausbelastungstest (Vita-Maxima) werden auf 3min festgesetzt (HOLLMANN, 1963 aus SCHÜLER/NEUMANN, 1994, 44).

- Für Leistungssportler werden Stufen zwischen 5-10min empfohlen, da die Laborvorgaben die Intensitäten im Training besser treffen, allerdings dienen diese Tests nicht bei Breitensportlern zur Ausbelastung sondern zum überprüfen der Stoffwechselökonomie (Laktatkinetik) und Längsschnittverleiche, bei Hochleistungssportlern kann eine Ausbelastung vorgenommen werden.
- Die Belastungssteigerung liegt bei 25-50W.
- Die Tretfrequenz sollte nicht niedriger wie 60 Umd/min betragen und sich an den 80 Umd/min orientieren.
- Vor jeder Steigerung wird Kapillarblut entnommen

4.12.5 Felddiagnostik oder Feldtest

- Standardisierte Feldtests weisen eine hohe Affinität (besseren Wirkungsgrad der Muskulatur) zu der Sportart auf
- Schwer reproduzierbar durch wechselnde Wetterverhältnisse.
- Mehrstreckentest
- Die Streckenlänge wird von der Wettkampfstrecke abgeleitet
- Für Läufer im Bereich 10km bis Marathon haben sich die 5x 2000m durchgesetzt,
 - es kann bis zur maximalen Erschöpfung gelaufen werden
 - oder bei 4mmol/l abgebrochen werden, dann übernimmt die Computersoftware das ermitteln der Kurve.
- Für Sprinter bis Langsprinter wird eine Stufenlänge von 800m empfohlen, da nur so die höchste lokomotorische Geschwindigkeit in der letzten Ausbelastungsstufe gewährleistet werden kann, da sonst die Ermüdung zu groß wird.
- Für den Triathlon haben sich Stufentests von 4x4000m durchgesetzt, da durch das die vorausgegangenen Disziplinen die Ermüdungssituation imitiert werden soll.
- Nach jeder Stufe wird das Kapillarblut abgenommen und die HF notiert.
- Die Belastungsstufen leiten sich ab von der 100% sportartspezifischen Leistung und beginnen mit 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 100%.
- Dafür kann ein Testwettkampf absolvierte werden.
- Es sollten mindesten 3-6 Stufen absolviert werden.

- Zur Geschwindigkeitskontrolle dienen entweder Timer in Uhren oder Pfliffe des Testleiters.
- Feldtests können in fast allen Ausdauerdisziplinen durchgeführt werden (Schwimmen, Laufen, Radsport, Kanu (Strömungskanal)).

5 Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik

- Laktat ist das Endprodukt der Glykolyse (Salz der Milchsäure) und entsteht bei intensiver Muskelbelastung.
- Laktat wird in der belasteten Muskulatur gebildet und diffundiert in die extrazellulären Kompartiment dort wird es in den Blutkreislauf verteilt, dabei fällt H^+ an, welches das Blut sauer macht.
- Fällt der intrazelluläre pH auf 6,3 ab und der ATP-Gehalt auf 3mmol/kg FG, dann wird die Glykolyse vollständig gehemmt.
 - Diese extremen Übersäuerungen sind bei 400-800m Lauf zu beobachten.
 - Die hohe intramuskuläre Säuerung löst einen „Energetischen Schutzmechanismus“ aus, damit der Muskel vor Zerstörung bewahrt wird.
- Der Abbau des Laktats erfolgt in der weniger belasteten oxidativ arbeitenden Muskulatur, in der Leber, Herz und Niere.
 - Laktat wird zur Energiegewinnung herangezogen.
- Der Anstieg des Laktats im Blut erfolgt bei stufenförmiger Belastung alinear, im Gegensatz zu der HF und der Sauerstoffaufnahme.
- Der Anstieg ist am ehestens mit der Exponentialfunktion zu vergleichen.
- Das Laktat wird während der Stufenbelastung vom Kapillarblute des Ohres mittels enzymatischer Methode in den elektrochemischen portablen Geräten gewonnen.
 - Der Messfehler beträgt 3% und kann sich in den unteren Laktatbereichen bis auf 7% erhöhen.
- In Ruhe liegt der Laktatwert bei 0,4-1,5mmol/l, im mittel bei 0,9 mmol/l und ist nimmt mit der Zunahme der Glykogendplementierung ab.
- Als Ausbelastungskriterium sollten 8mmol/l bei einem Stufentest erreicht werden
 - 7mmol/l = hohe Inanspruchnahme des glykolytischen Stoffwechsels
 - maximaler Glykolyse kann ab 10mmol/l

- Einflussfaktoren für Labor- und Feldtest sind die Bewegungsstruktur,
 - das aerobe Leistungsvermögen,
 - Muskelglykogengehalt,
 - Trainingsalter,
 - Geschlecht
 - Muskelfaserverteilung.

Ein nützliches Bezugsmaß ist die Bestimmung der **Laktatbildungsgeschwindigkeit**, diese ergibt sich aus der Belastungszeit im WK (sportartspezifischen Leistung) und der **Laktatnachbelastungskonzentration**:

400m in 45s Laktat 20mmol/l

= 0,44 Lactat/s

- bei erniedrigtem Gykosespiegel ist die Laktatkonzentration nach der Belastung niedriger als erwartet.
- Die Laktatmessung erfolgt bei neben der Spiroergometrie zur Bestimmung der anaeroben Schwelle bzw. des aerob-anaeroben Übergangsbereich.
- Kriterium für die aerobe Schwelle ist die Laktatkonzentration von 2mmol/l,
- zwischen 2-4 mmol/l befindet sich der aerob-anaerobe Übergangsbereich
- anaerobe Schwelle liegt bei 4mmol/l festgelegt worden (MADER, 1976)

Zu berücksichtigen ist hierbei das diese Laborschwelle nicht tatsächlich mit der Trainingsschelle vergleichbar ist und meistens zu hoch liegt. Sie gilt nur für Kurz- und Mittelzeitausdauer, Spielsportarten und Kampfsportarten.

Für Ausdauersportler (>LZA III) sollte die aerob anerobe Schwelle eher bei 3mmol/l angesetzt werden (vgl. Föhrenbach 1986).

5.1 Laktatschwellenkonzepte

MADER bestimmte 1976 die 4mmol/l Schwelle als fixe anaerobe Schwelle. Überhalb dieses Laktatspiegels arbeitet die Muskulatur vollständig anaerob, was zu einem exponentiellen Anstieg des Laktats im Blut führt. Im Bereich der 4mmol/l Schwelle ist der Körper gerade noch in der Lage die Produktion und die Elimination von Laktat über einen Zeitraum von 30 Minuten im Gleichgewicht zu halten. Dieser Zustand wird **maximales-Laktat-Stady-State** (maxLass) genannt.

Zwei Jahre später (1978) erweiterte KINDERMANN dieses Konzept und führte die aerobe Schwelle bei 2mmol/l, den **aerob-anaeroben Übergangsbereich von 2-4mmol/l** und die anaerobe Schwelle bei 4mmol/l ein.

Nach Keul et al. (1979) wurde die individuelle anaerobe Schwelle entworfen. Sie liegt meist unter 4 mmol/l. Dabei wird die Steigung der Schwelle bei 1,26 bestimmt.

Des Weiteren entwickelte er mit STEGMANN (1981) ein neues Konzept zur Ermittlung der **individuell anaeroben Schwelle (IAS)**. Dabei wird die Laktatleistungskurve um so genannte Erholungswerte komplimentiert. Nach Abbruch des Testes steigt der Laktatspiegel weiter an, da immer noch Laktat von intrazellulärem Raum in den extrazellulären Raum transportiert wird. Anschließend kommt es zum Abfall der Laktatproduktion und damit gleichzeitig des Laktatspiegels. Bei gleichem Laktatwert (Erholungswerte müssen genommen werden) wie bei Abbruch des Testes wird eine parallele Linie zur x-Achse in den Kurvenverlauf gezogen und eine Tangente zum Anstiegs der Laktatleistungskurve gesetzt. An der Schnittstelle der Tangente mit der Kurve befindet sich die individuelle anaerobe Schwelle. Da dieses Verfahren um einiges komplizierter ist als andere findet es wenig Anwendung.

Eine andere Möglichkeit bietet das **DICKHUT-SIMON (1991)** Konzept. Hierbei wird die anaerobe Schwelle durch die Summe von aerober Schwelle (gekennzeichnet durch ersten Laktatanstieg im Blut) und weiteren 1.5mmol/l Laktat ermittelt.

Es existieren noch weitere Laktatschwellenkonzepte, die auch spiroergometerische Messdaten mit einbeziehen, auf diese soll nicht weiter eingegangen werden.

Wie schon erwähnt liegt der Sinn dieser Schwellenkonzepte in der Interpretation der aeroben und anaeroben Ausdauerkapazitäten und damit die Steuerung und Planung des Trainings und der Trainingsinhalte.

Eine Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve bedeutet eine Verbesserung der Grundlagenausdauer (aerober Bereich), während hingegen ein starker Anstieg des Laktats jenseits der 3-4mmol/l Grenze eine schlechte anaerobe Kapazität beinhaltet. Erreicht ein Sportler nicht ein Laktat von 8mmol/l und die Kurve ist zusätzlich durch einen linearen Verlauf gekennzeichnet, kann daraus entweder ein Übertraining oder eine Verarmung der Glykogenspeicher interpretiert werden.

5.2 Die Trainingsbereiche ergeben sich aus den verschiedenen Schwellen.

- **Rekompensatorischer Bereich (kurz REKOM).**
 - Unterhalb der 2mmol/l Schwelle (aerobe Schwelle)
 - 60-65% der maximalen HF
 - Das produzierte Laktat wird von Muskeln und Organen verarbeitet
 - **HOLLMANN (1959) definierte die Dauerleistungsgrenze** innerhalb des REKOM Bereichs, welche charakterisiert ist durch die quantitative Beseitigung der Stoffwechselprodukte unter Belastung, d. h. alle energiereichen Verbindungen werden aerob verarbeitet.
 - Der REKOM-Bereich dient dem Sportler zur Unterstützung der Wiederherstellung nach intensiven Wettkampf oder Trainingsbelastungen, oder zur Erhöhung der Mobilisationsfähigkeit für nachfolgende Trainingsbelastungen.
 - Praktiziert wird der REKOM-Bereich in der Dauermethode, wobei sich die Dauer auf 45 Minuten beschränken sollte.

- **Grundlagenausdauerbereich I.**
 - 70-80% der maximalen HF.
 - 2 und 3mmol/l Laktat
 - Der Energiebedarf wird noch aerob abgedeckt, wobei ein bereits bestehender Ruhelaktatwert durch Anstieg des Laktatspiegels überschritten wird.
 - Der Grundlagenbereich gilt als Grundgerüst für intensivere Ausdauerfähigkeiten.
 - Entwicklung der allgemeinen Ausdauerfähigkeiten bei über 45 min.
 - leichtes Fahrtspiel, welches anaerobe Leistungsbereiche nur alaktazid abdecken sollte und nicht zu sehr in Richtung anaerober Schwelle tendiert.

- **Grundlagenausdauerbereich II,** (Schwellenbereich oder Entwicklungsbereich)
 - zwischen 3-4 mmol/l
 - 80- 90% der maximalen HF
 - baut die aerobe Kapazität für intensivere Einheiten aus.

- Man spricht dann von einer Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve, wenn die Energieversorgung trotz stetig ansteigender Belastung lange Zeit aerob gedeckt werden kann.
 - Zum Vergleich beanspruchen Untrainierte schon bei Belastungen von 60% der maximalen Sauerstoffaufnahme zusätzlich die anaerobe Energiebereitstellung, hingegen Trainierte erst bei 80% der maximalen Sauerstoffaufnahme energiereiche Verbindungen anaerob verstoffwechseln.
 - innerhalb des Übergangsbereichs auch das maximale-Laktat-Stady-State (maxLass), bei dem ein Laktatwert mindestens 30 Minuten ohne weiteren groben Anstieg gerade noch gehalten werden kann.
 - Überhalb dieses maxLass steigt der Laktatspiegel exponentiell, welches ein Übersäuern der arbeitenden Muskulatur und damit Leistungseinbußen zur Folge hat.
 - extensive und intensive Intervalle, Fahrtspiel oder wechselhafte Dauerperiode empfohlen.
- **Spitzenbereich (WSA)**
 - Laktat 4mmol/l oder der IAS
 - Über 90% der max. HF
 - wichtig um höhere Intensitäten über einen längeren Zeitraum halten zu können (z.B. Langstreckenlauf 10000m). D
 - vollständig anaerobe Stoffwechsellage und damit eine Einschränkung der Energieversorgung auf die energiereichen Verbindungen im Muskel, da die Fette als Energielieferanten nicht mehr in Frage kommen.
 - Rekrutierung weiterer Muskelfasern (FT) und deren physiologischen Energiebereitstellung.
 - Stehvermögen wird mit Wettkämpfe, intensive Intervalle oder der Wiederholungsmethode trainiert
 - 90% der max. HF.
 - vereinzelt Intervalle im supramaximalen Bereich absolviert.

Man muss jedoch berücksichtigen das vor allem Ausdauersportler nicht vollständig anaerob ihren Energiebedarf decken, sondern einen Bereich anstreben der

maximale Leistung bei ökonomischer Energiebereitstellung gewährt. Hingegen im Schnellkraftbereich, z.B. beim Sprinten viele Strecken nur unter anaerober Stoffwechsellage schnellstmöglich bewältigt werden können. Hier treten auch die höchsten Laktatkonzentrationen auf, da die Muskelfaserzusammensetzung eine glykolytische Energiebereitstellung vorsieht, sprich die Muskulatur besteht größtenteils aus Fast-Twitch-Fasern (FTF), die erst bei einer Beanspruchung von 95% des maximalen Leistungsniveaus rekrutiert werden. Hier geht es darum so viel Energie wie möglich in kurzer Zeit zu produzieren.

Anteile der Trainingsbereich am Gesamttrainingsumfang:

- 50% im REKOM- Grundlagenbereich I (1-2mmol)
 - Erhöhung des HKS und des aeroben Stoffwechsles
 - Große Bedeutung für alle Trainingsziele
- 30-40% Im Grundlagenbereich I-II (2-3mmol)
 - Verbesserung des aerob und anaeroben Stoffwechsels
- 25-30% im Grundlagenbereich II (3-5mmol/l)
 - Anaerober Energiestoffwechsel
 - Steigerung der Pufferkapazität
- 5-10% im Spitzenbereich (über 5mmol/l)
 - Erhöhung der Säuretoleranz

5.3 Weitere laborchemische Kenngrößen

Zur den leistungsdiagnostischen **kurzfristigen und mittelfristigen Maßnahmen** zur Bestimmung des Leistungszustandes gehören auch die Parameter **Harnstoff, Kreatinkinase oder Kreatinin**. Harnstoff dient dabei zur Überprüfung des Leistungszustandes (anabol oder katabol) und steht im starken Zusammenhang mit der Ernährungssituation des Athleten. Eventuelle Defizite im Eiweiß und Kohlehydratehaushalt können hier ermittelt werden. Außerdem gibt der Harnstoff eine Aussage über die Glykogendepotierung der Leber. Grenzwerte liegen bei 50mg/dl für Frauen und 60-70mg/dl für Männer. Überhalb dieser Grenzwerte sollte eine regenerativ trainiert werden oder eine komplette Pause eingelegt werden, um den Leberstatus und die Muskelglykogenspeicher nicht voll zu entleeren und damit in ein Übertrainig zu geraten.

Kreatinkinase und Kreatinin geben eine Auskunft über den Grad der Muskelzerstörung und Belastung.

6. Spiroergometrie

Die Ventilationsgrößen **AMV, AZV und AF werden** neben der **O₂ Aufnahme** bei der spiroergometrischen Untersuchung gemessen. Für das Messen der O₂ Aufnahme ist die AMV-Bestimmung neben der Konzentration der Atemgase entscheidend. Die einfachste Messung erfolgt über den **Dougals-Sack**, andere Diagnostiken sind über das „Windradprinzip“ oder den **Pneumotachographen** möglich.

Das **AMV** setzt sich aus dem AZV und der AF zusammen. Wobei erst die Steigerung des AZV zu Beginn körperlicher Arbeit und auf submaximalen Belastungsstufen das AMV steigen lässt. Untrainierte erreichen dabei ein AZV von 2,5l/min und Trainierte bis zu 4,8 l/min. Nach Erreichen des maximalen AZV versucht der Körper den Mehrbedarf an Sauerstoff über die Erhöhung der AF zu erreichen. Die Atemfrequenz kann bis auf 70-90/min steigen. Bei übersteuerter Atmung bzw. zu hoher AF sinkt das AZV ab und im Endeffekt auch das AMV. Nach Erreichen einer aerob-anaeroben Stoffwechsellage wird der Anstieg des AMV alinear, das heißt ersteigt steiler an. WASSERMAN und MCLLROY (1964) beschrieben dies als erste als Schwellenkriterium. Diese Schwelle steht im engen Zusammenhang mit stärkerer Laktatanhäufung, pH-Abfall und Hypokapnie.

Das **Atemäquivalent** ergibt sich aus dem AMV (l/min) / O₂ Aufnahme (l/min). Das AÄ zeigt an wie viel Liter Luft für 1 Liter Sauerstoff aufgenommen werden müssen. Dieser optimale Wirkungsgrad (PoW), das niedrigste AÄ; steht ebenfalls im engen Zusammenhang mit dem Exponentialanstieg der Laktatkonzentration. Die Verbesserung der Atmungsökonomie kommt in der Rechtsverschiebung des AÄ zum Ausdruck, ähnlich wie die Laktatleistungskurve.

Die **max. Sauerstoffaufnahme** gilt als Bruttokriterium für die Ausdauerleistungsfähigkeit und spiegelt sich in der höchsten Sauerstofftransportfähigkeit wieder. Die Sauerstofftransportfähigkeit kann durch Training wesentlich beeinflusst werden. Durch Verbesserung des Wirkungsgrades der Muskulatur sinkt die O₂-Aufnahme auf vergleichbaren Belastungsstufen. Von

Bedeutung ist auch die vielseitige Trainiertheit der Muskulatur, so kann sich die Maximale Sauerstoffaufnahme von Rad zu Laufergometerbelastung unterscheiden, da die Muskeln bei einer Belastung eine höhere Trainiertheit und somit besseren Wirkungsgrad aufweisen. Die $VO_2\text{max}$ kann über das Jahr hinweg um 20% differieren. Die $VO_2\text{max}$ kann bei männlichen Spitzenathleten bis zu 80 bis 85 ml/kg x min, bei weiblichen Sportlerinnen bis zu 75ml/kg x min betragen. Kinder können sehr hoch $VO_2\text{max}$ Werte erreichen, da sie ein geringeres Körpergewicht aufweisen.

Als Einflussfaktoren gelten:

- **Subjektive Trainingsbereitschaft** (bei ungenügender Motivation kann es zu einem frühzeitigen Belastungsabbruch kommen der nicht mehr repräsentative für die $VO_2\text{max}$ ist)
- **Trainingsmethodische Einflussfaktoren** (die $VO_2\text{max}$ kann nur mittels überschwelliger Reize der anaeroben Schwelle ausgebaut werden > 90%; wird längere Zeit bei 70% der $VO_2\text{max}$ trainiert kann die Grundlagenausdauer ökonomisiert werden. Die Verbesserung der Technik, oder das gewöhnen an ein Sportgerät bringt ebenfalls eine Abnahme der $VO_2\text{max}$ auf unteren Belastungsstufen, aber eine höhere $VO_2\text{max}$ bei Ausbelastung).
- **Aerob Leistungsgrundlagen der Skelettmuskulatur** (die Muskulatur benötigt bis zu 95% der aufgenommenen O_2 bei intensiven Ausdauerbelastungen, davon 15% die Atemmuskulatur. Die Abnahme der VO_2 Aufnahme bei submax Belastungen kann auch aufgrund der Verbesserung der Atmungsökonomie sein).
- **Strukturelle Veränderungen der Mitochondrien** (Ausdauertraining führt zur Veränderung der Struktur und Funktion der Mitochondrien). Der wachstumsfördernde Reiz für die Mitochondrien ist der ständige hohe Energieumsatz. Zwischen der Höhe der $VO_2\text{max}$ und der Mitochondrienzahl sowie der Mitochondriendichte besteht ein gesicherter Zusammenhang (HOLLOSZY, 1975). Die Zunahme der mitochondrialen Veränderungen um 50% ergibt eine $VO_2\text{max}$ Zunahme von 20%. Bei Langezeitausdauerbelastungen oder bei Höhenttraining können sich die Mitochondrien sogar Richtung Kapillarwand verlagern um einen besseren Antransport von Sauerstoff und Substraten zu gewährleisten.)

- Zusammenwirken der Funktionssysteme (Z.B. Kann die Sauerstofftransportkapazität durch Zunahme von HB zunehmen, die Systeme nehmen 50% der O₂ Aufnahme ein (HOLLESZY, 1975).
- Wirkungsgrad der Muskelarbeit (Die O₂ Aufnahme ist vom Wirkungsgrad der Muskulatur abhängig. Der respiratorische Quotient ist die Grundlage für die Beurteilung der Stoffwechsellage. Das Energieäquivalent für Sauerstoff ist vom aktuellen RQ abhängig:
 - Bei RQ 1,0 = 5,05kcal/min
 - Bei RQ 0,90 = 4,93 kcal/min
 - Bei RQ 0,85 = 4,87 kcal/min
 - u.sw.

Der Leistungsgrad der Muskulatur kann wie folgend errechnet werden

Leistung auf dem Ergometer in W

Energieäquivalent für VO₂ bei aktuellen RQ X 100

Der Wirkungsgrad verändert sich im Verlauf des Trainingsjahrs und kann um 10-20% schwanken. Bei Verbesserung der Bewegungsökonomie und Zunahme der allgemeinen Muskelkraft nimmt die O₂ Aufnahme auf vergleichbaren Stufen ab, jedoch bei entsprechendem Training die VO₂max zu.)

- Untersuchungstechnologische Fehler (der Fehler des Laufbandes, Radergometer und Gasanalyse kann sich bis auf 5% aufsummieren).

Quotienten der Sauerstoffaufnahme

Die absolute o₂-Aufnahme ist für die Vergleiche zwischen den Sportlern ungeeignet. Deshalb setzt man die Sauerstoffaufnahme in Bezug auf das KG.:

$$VO_{2\text{relativ}} = \frac{Vo_{2\text{ml/min}}}{\text{Kg Körpergewicht}} = Vo_{2\text{ml/min}} \times \text{kg}$$

Respiratorischer Quotient

Der RQ dient bei 1,1 als Ausbelastungskriterium bei der Spiroergometrie. Er ist definiert durch:

CO₂ Ausscheidung (ml/min)

O₂ Aufnahme (ml/min)

- Bei RQ 1,0 = 5,05kcal/min nur KH Verbrennung
- Bei RQ 0,90 = 4,93 kcal/min teils KH teils Fettverbrennung
- Bei RQ 0,8 = 4,81 kcal/min teils Fett teils KH Verbrennung

- Bei RQ 0,7 = 4,60 kcal/min nur Fettverbrennung

Sauerstoffpuls

Quotient aus O₂ Aufnahme und HF.

Prozentuale O₂ Aufnahme bei anaerober Schwelle

WASSERMANN (1973) kennzeichnete die anaerobe Schwelle als das Belastungsniveau, bei dem es unter höchstmöglicher O₂ Aufnahme zu keinem weiteren Anstieg des Laktates im Blut kommt. Damit informiert die anaerobe Schwelle über den nutzbaren Anteil der maximalen O₂ Aufnahme in noch aerober Stoffwechsellage. Der Anteil der Ausnutzung der Vo₂max in aerober Stoffwechsellage kann durch Ausdauertraining erhöht werden. Die Prozentualen Angaben der VO₂max können nicht einheitlich angewandt werden, so arbeitet ein Spitzenathlet bis 85% teilweise aerob, dagegen überschreitet ein Untrainierter die aerobe Schwelle schon bei 50% der VO₂max.

7. Komplexe Leistungsdiagnostik

Eine gezielte Trainingsteuerung ist nur möglich durch das Erfassen mehrerer und unterschiedlicher Parameter des komplexen Leistungszustandes. Diese Mehrfachdiagnostik wird als „komplexe Leistungsdiagnostik“ bezeichnet, da der Begriff „komplex“ erstens auf mehrere Testverfahren verweist, zweitens die Verfahren nicht aufeinanderzurückführbare Parameter messen, drittens dass die gewonnen Ergebnisse durch andere Verfahren abgesichert werden.

Im Biathlon könnte das folgendermaßen aussehen:

- Am Vortag regeneratives Training
- Am Morgen des Untersuchungstages: Harnstoff, Ammoniak, Ruhe-Laktat und einen 800m Lauf in 5min, um die Durchschnitts-HF zu ermitteln. Die biochemischen Kenngrößen zeigen den Befindlichkeitszustand der Athleten, andere Werte können auf diesen Werten relativiert werden.
- Conconi-Test, mit anschließender Laktat und (Ammoniak Messung zur Beurteilung des Zustandes/ eventuell Harnstoff). Die letzte Stufe gibt Auskunft über die Sprintausdauerleistung und ferner über die Schnelligkeitsleistung in einem Auslastungszustand.
- Eine Stunde später einen 5x1000m Laktatstufentest; zur Absicherung des Conconi-Testes

- 30m Sprint (fliegend), Jump-and Reach, und Medizinballweitwurf zur Bestimmung der Lokomotorischen Schnelligkeit, der Sprungkraft und Schnellkraft in den Armen. Hier können Versäumnisse der Kraft und Schnelligkeit aufgedeckt werden, da diese häufig in Ausdauerdisziplinen vernachlässigt werden.
- Grundlage bilden die Gespräche mit dem Trainer, um die Ergebnisse auf das aktuelle Training und den Jahresverlauf zu beziehen.