

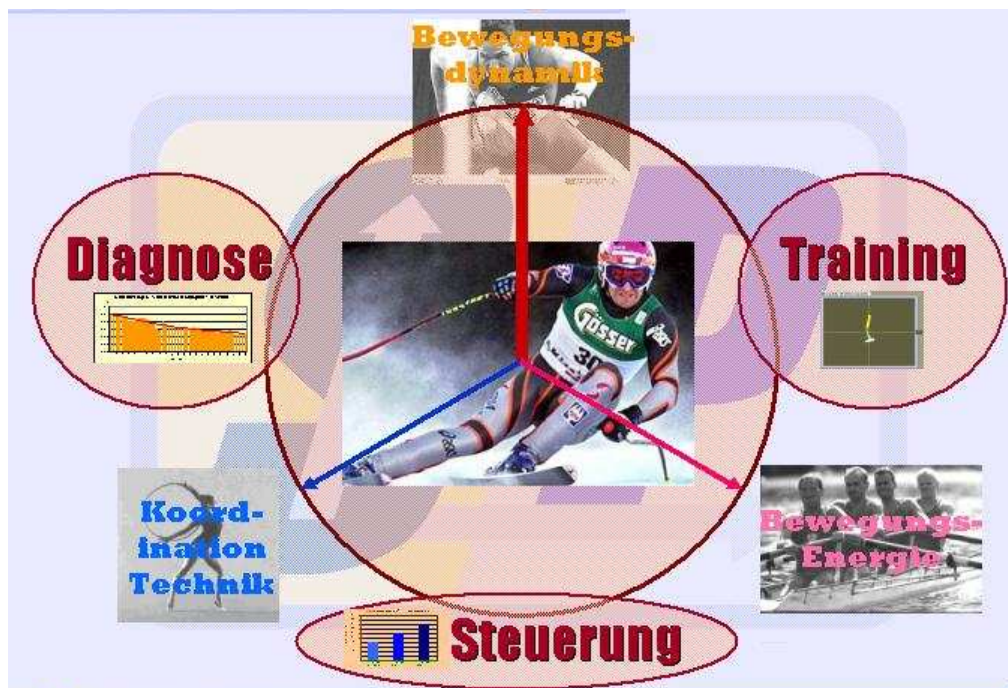
## Das Muskelleistungskonzept

### Ziele, Dimensionen und Anwendungsbereiche

Das Muskelleistungskonzept ist ein methodisches Konzept zur Diagnose und Steuerung von Krafftigkeiten, das sämtliche Dimensionen der Kraft von der Maximalkraft zur Schnellkraft und zur Kraftausdauer in einem komplexen Ansatz erfasst. Ziel ist eine hierarchische Beurteilung von Defiziten bzw. von Entwicklungspotenzialen zur Festlegung individueller Trainingsbelastungen und zur Kontrolle und Dokumentation der Leistungsentwicklung.

Dabei werden die Krafftigkeiten nicht durch voneinander unabhängige Tests nach interindividuellen Normen beurteilt, sondern im komplexen Zusammenhang zueinander betrachtet. Dies ist insbesondere für den Spitzensportbereich eine notwendige Voraussetzung, um individuell leistungsrelevante Entwicklungspotenziale zu erkennen, weil sich eben die Spitze außerhalb von Normen bewegt.

Das Diagnoseprinzip des Muskelleistungskonzeptes ist die Erfassung der komplexen Muskelleistung in ihren dynamischen, energetischen und koordinativen Dimensionen und die anschließende Differenzierung nach ihren physikalischen und physiologischen Teilkomponenten. Dazu werden Leistungsparameter in mehreren Laststufen, unterschiedlichen Aktionsformen und in Abhängigkeit von der Energiebereitstellung gemessen.



*Messdimensionen und Anwendungsbereiche des Muskelleistungskonzeptes*

Das Muskelleistungskonzept wurde in einer Längsschnittstudie mit 28 Spitzenathleten aus den Sportarten Ski alpin, Skisprung und Rudern wissenschaftlich evaluiert.

*Jeder Athlet absolvierte mindestens 2 Testserien, von denen eine am Beginn und eine am Ende einer 4-10wöchigen Trainingsphase stand. Bei jeder Testserie wurden sämtliche Leistungs- und Kontrollparameter (s.u.) erhoben und zusätzlich die elektromyografische Aktivität am M. rectus femoris, M. vastus medialis und lateralis sowie am M. gastrocnemius mittels Oberflächen Elektroden abgegriffen. Nach dem ersten Ausgangstest erhielt jeder Athlet ein individuelles Trainingsprogramm, das auf Basis der Muskelleistungskurve erstellt wurde. Die durchgeführten Trainingsinhalte in diesem Zeitraum wurden mit einem eigens entwickelten*

System zur Trainingsanalyse erfasst und als trainingswirksame Werteinheiten numerisch ausgedrückt.

Die statistische Auswertung der Diagnose- und Trainingsdaten ermöglichte die Definition von quantitative Richtlinien für die Interpretation der Muskelleistungskurve (siehe „Messung der komplexen Bewegungsdynamik, -energie“). Durch Korrelations- und Kovarianzanalysen konnten interne Abhängigkeiten einzelner Diagnoseparameter überprüft werden. Es wurde z.B. die Dehnungsenergie (vgl. „Belastungs- und aktionsformabhängige Differenzierung der Muskelleistung“) als wesentliches Unterscheidungskriterium zwischen elasto- und statodynamischen Aktionsformen identifiziert oder anhand der EMG-Daten Unterschiede zwischen exzentrischen und konzentrischen Muskelaktivitäten berechnet, die auf eine selektive neuromuskuläre Aktivierung bei exzentrischer Tätigkeit schließen lassen.

Die Untersuchung trainingsinduzierter Adaptationen wies für die 3 Sportartgruppen signifikante Unterschiede zwischen den Testterminen aus. Das Ausmaß der Veränderungen der Leistungs- und Kraftparameter war überraschend groß (z.B. betrug die maximale Verbesserung für die konzentrische Gesamtleistung +26,4%, für die Bremsleistung +125,4% und für die exzentrische Maximalkraft +19,8%). Diese bei Spitzensportlern erhobenen Werte können als Indiz dafür gewertet werden, dass die gemessenen Parameter eine hohe Trennschärfe aufweisen und die Veränderungen des konditionellen Zustandes ausreichend auflösen können. Des Weiteren konnten Zusammenhänge zwischen Veränderungen von Leistungsparametern und den absolvierten Trainingsinhalten gezeigt werden und beispielsweise auch Transferwirkungen zwischen verschiedenen Trainingsbereichen nachgewiesen werden.

Inzwischen wird das Muskelleistungskonzept seit mehreren Jahren in verschiedenen Sportarten (Skisprung, Ski alpin, Rudern, Ringen, Judo, Tennis, Volleyball, Leichtathletik,...) erfolgreich zur Trainingssteuerung eingesetzt.

### **Die Muskelleistung als bewegungsdynamischer Diagnoseparameter**

Das Muskelleistungskonzept stellt die Muskelleistung als komplexes Trainingsziel und Steuerinstrument in den Mittelpunkt.

Die Muskelleistung beschreibt die Bewegungsdynamik, in dem durch die Leistung sowohl die auftretenden Kräfte als auch die Geschwindigkeiten erfasst werden. Die mechanische Leistung (P) ergibt sich aus dem Produkt von Kraft (F) und Geschwindigkeit (v):  $P = F \cdot v$

Wenn die mechanische Leistung durch Muskelaktivität verursacht wird, wird sie als Muskelleistung bezeichnet. Bei sportlichen Bewegungen ergibt sich die Muskelleistung aus der Summe aller von (den an der Bewegung beteiligten) Einzelmuskeln produzierten Muskelleistungen.

Die Muskelleistung ist jener Diagnoseparameter, der eine hinreichende Beschreibung der Bewegungsdynamik ermöglicht und ist somit die entscheidende Leistungskomponente in allen Sportarten mit dynamischen Bewegungsanforderungen. Um die Bewegungsdynamik im Allgemeinen zu verbessern kann die Erhöhung der Muskelleistung als Trainingsziel formuliert werden. Zur Optimierung der wettkampfspezifischen Bewegungsdynamik muss die Muskelleistung im sportartspezifischen Belastungsbereich erhöht werden. Dazu ist es notwendig, die Muskelleistung vorerst belastungsabhängig zu differenzieren.

### **Belastungs- und aktionsformabhängige Differenzierung der Muskelleistung**

Aus physikalischer Sicht wird Leistung aufgebracht, indem Massen beschleunigt werden ( $P = F \cdot v$ ). Dabei kann gegen hohe und geringe Massen bzw. Lasten dieselbe Leistung erzeugt werden, wenn das Kraft-/Geschwindigkeitsprodukt konstant

gehalten wird. Das heißt, um die (resultierende physikalische) Leistung mit kontinuierlich steigender Last konstant zu halten, muss die Kraft in jenem Ausmaß gesteigert werden, in welchem die Geschwindigkeit verringert wird. Bleibt die Kraft bei steigender Last konstant oder wird nur in geringerem Ausmaß gesteigert als die Geschwindigkeit verringert wird, reduziert sich das Kraft-/Geschwindigkeitsprodukt und damit die Leistung. Um die Muskelleistung gegen steigende Widerstände konstant zu halten, muss in Analogie zur Kraft die Muskelspannung und damit auch der neuromuskuläre Aktivierungsgrad mit der Erhöhung des Widerstandes steigen, um den Geschwindigkeitsabfall zu kompensieren.

In diesem Sinne kann die Muskelleistung nach dem zu überwindenden Widerstand bzw. dem Lastbereich (= belastungsabhängig) differenziert werden.

Zur belastungsabhängigen Differenzierung der Muskelleistung müssen neben Widerstands-/Geschwindigkeitsparametern auch die muskulären Aktionsformen unterschieden werden.

Prinzipiell können positiv-dynamische bzw. konzentrische Aktionen, bei denen sich der Muskel verkürzt, statische bzw. isometrische Aktionen, bei welchen die Muskellänge konstant bleibt und negativ-dynamische bzw. exzentrische Aktionen, die eine Verlängerung des kontrahierten Muskels beschreiben, unterschieden werden (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 115).

In der Praxis gibt es sehr selten Bedingungen, in denen konzentrische, exzentrische oder isometrische Aktionen in reiner Form realisiert werden (KNUTTGEN/KOMI 1994, 16). Häufig treten Kombinationen der einzelnen Formen auf. Beim Skisprung beispielsweise wird aus einer statischen Phase konzentrisch beschleunigt. Diese Aktionsform wird als **statodynamisch** bezeichnet, um die beiden aufeinanderfolgenden Bewegungsphasen auszudrücken.

Sowohl bei statischen als auch bei konzentrischen Aktionen spielt die willkürliche kortikale Aktivierung der Muskulatur eine bedeutende Rolle. Diese folgt dem Größenordnungsprinzip (HENNEMAN et al. 1965) und zeigt einen linearen Verlauf mit der entwickelten Kraft.

Bei allen Wurf-, Sprung-, Sprintbewegungen folgen exzentrische und konzentrische Phasen unmittelbar aufeinander. Diese Kontraktionsform wird als Dehnungsverkürzungszyklus bezeichnet (KOMI 1994, 173-182). Beim Dehnungsverkürzungszyklus wird in der exzentrischen Phase Dehnungsenergie in den elastischen Elementen des Muskel-Sehnenkomplex gespeichert. Ein Teil dieser Energie wird in der anschließenden Verkürzungsphase frei und verstärkt die muskuläre Leistung. Der Wirkungsgrad für die anschließende konzentrische Aktion steigt, wenn die Vordehnung zunimmt.

Aus praktischer Sicht ist eine Unterscheidung des Dehnungsverkürzungszyklus nach der Ursache der Vordehnung sinnvoll. Beim Tief-Hochsprung wird Dehnungsenergie durch erhebliche negative Geschwindigkeiten, die durch den Niedersprung (kurzer freier Fall) vorgegeben sind und kurzzeitige hohe Kräfte ermöglichen, aufgebaut. Bei Ausholprüngen bleiben die negativen Geschwindigkeiten geringer, sind aber durch antagonistische Muskeltätigkeit willkürlich steuerbar.

Als begriffliche Trennung wird die Unterscheidung in **elastodynamische** ("gesteuerte Vordehnung" durch Ausholbewegung) und **reaktodynamische** ("erzwungene Vordehnung" durch freien Fall) Aktionen vorgeschlagen.

Die resultierende konzentrische Muskelleistung nach einem

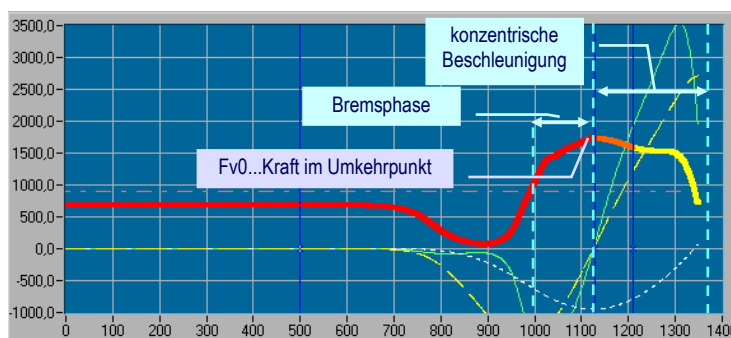
Dehnungsverkürzungszyklus (elasto- oder reaktivdynamische Aktionen) ist aufgrund der zusätzlichen Dehnungsenergie höher als bei vergleichbaren statodynamischen Aktionen.

Die belastungsabhängige Differenzierung der Muskelleistung nach unterschiedlichen Aktionsformen führt in weiterer Folge zur Unterscheidung der zugrunde liegenden physiologischen Muster und eröffnet dadurch wiederum die Möglichkeit einer differenzierten belastungsabhängigen Trainingssteuerung.

Bei exzentrischen Aktionen kommt der Innervierung der Muskulatur über sensorische Mechanismen große Bedeutung zu. Der Dehnungsreflex aktiviert motorische Einheiten und gleichzeitig versuchen Hemmmechanismen, die über Spannungsrezeptoren ausgelöst werden, den Muskel vor zu hoher Spannung zu schützen.

Der Aktivierungsgrad der Muskulatur, ausgedrückt durch die elektromyografische Aktivität, ist bei isolierten exzentrischen Aktionen kleiner als bei isometrischen oder maximalen konzentrischen Aktionen (vgl. MAYER/HORSTMANN/DICKHUTH 1994; ZATSIORSKY 1996; ENOKA 1996). In der exzentrischen Phase des Dehnungsverkürzungszyklus finden sich zwar höhere Aktivierungsgrade als bei isolierten exzentrischen Aktionen (KOMI 1994, 179), diese sind jedoch immer noch geringer als jene bei vergleichbaren isometrischen oder konzentrischen Muskelaktivitäten. VIITASALO/SALO/LAHTINEN (1998) führen die erhöhten exzentrischen Potenziale im Dehnungsverkürzungszyklus gegenüber jenen bei isolierten exzentrischen Aktionen auf spezifische Anpassungsprozesse zurück.

Die generell auftretende geringere exzentrische Muskelaktivität wird von ENOKA (1996) mit einer spezifischen, kortikal gesteuerten Aktivierungsstrategie des Nervensystems für exzentrische Belastungen erklärt. Diese basiert auf einer bevorzugten Innervierung großer, höherschwelliger motorischer Einheiten, die größere Spannungen aufbauen können.



Mit einer Kraftmessplatte gemessener Kraft-, Leistungs-, Geschwindigkeits-, Weg- und Kniewinkel-Zeitverlauf bei einem Dehnungsverkürzungszyklus (Sprung mit Ausholbewegung) mit Markierung der Bewegungsphasen

In Abhängigkeit von der Zeitdauer des Dehnungsverkürzungszyklus kann ein Großteil der aufgebauten Dehnungsenergie wieder verpuffen (indem die Muskellänge nachgeregelt wird) oder in einer nachfolgenden konzentrischen Aktion wieder abgegeben werden.

Die maximale Speicherdauer ist dabei von der Resonanzfrequenz der Muskulatur limitiert, die etwa zwischen 5 und 12 Hz (Schwingungen/s) liegt. Der Zeitraum zur Aufnahme elastischer Energie liegt daher bei etwa 100-40 ms (bei 10 Hz beträgt die Dauer einer Schwingung 0,1 s, die halbe Schwingung entspricht der Aufnahmedauer und liegt daher bei 0,05 s).

Aus dem Vergleich stato- und elastodynamischer Aktionen kann ein "willkürliches Rekrutierungsdefizit" abgeleitet werden. Während bei exzentrischer Vordehnung der Muskulatur höherschwellige Einheiten sensorisch aktiviert werden und für die nachfolgende konzentrische Aktion schon aktiviert sind, müssen diese bei statodynamischen Aktionen ohne Vordehnung willkürlich aktiviert werden. Eine Differenz der Muskelleistung zwischen beiden Aktionsformen ist zum Einen auf die zusätzliche Dehnungsenergie zurückzuführen, zum Anderen auf ein willkürliches Rekrutierungsdefizit.

## **Muskelleistung in Abhängigkeit von der Bewegungsenergie**

Die Muskelleistung ist also ein geeigneter Parameter um die Bewegungsdynamik zu erfassen.

Wird nun die Muskelleistung über einen bestimmten Zeitraum betrachtet, kann die Bewegungsenergie beurteilt werden. Physikalisch ausgedrückt ist die Energie das Produkt aus Leistung und Zeit.

Dabei ist eine Aktionsenergie, die sich nur über die Aktionszeiten errechnet (z.B. die jeweilige Beschleunigungszeit bei Sprüngen) und eine Summenenergie, die sich über die gesamte Belastungsdauer (Beschleunigungszeiten + Entlastungszeiten) errechnet zu unterscheiden. Bei azyklischen Bewegungsabläufen, wie z.B. eine Sprungserie mit kurzen Unterbrechungen (vorgegebenes Intervall) können sich Aktions- und Summenenergie deutlich voneinander unterscheiden.

Je nach Vorgabe von Belastungsdauer, -intervall und -intensität kann die summierte Muskelleistung bzw. die Energie in verschiedenen Energiebereichen untersucht werden.

Bei Vorgabe einer maximaler Aktionsintensität (z.B. jeden Sprung einer Sprungserie mit maximal möglicher Leistung durchführen) wird ATP in den ersten 20-30 Sekunden dominant über den Phosphatmechanismus regeneriert, dann setzen das anaerobe und mit einer weiteren kurzen Verzögerung das aerobe Energiesystem ein. Ab ca. 90-120 Sekunden ist das aerobe Energiesystem dominant (>50 % der Energiebereitstellung). Die Art der Energiebereitstellung wird aber nicht nur über die Intensität sondern auch von dem gewählten Belastungsintervall (bei azyklischen Aktionen) und natürlich der gewählten Zusatzlast bestimmt. Durch Variation der Zusatzlast kann die Bewegungsenergie in unterschiedlichen Lastbereichen bestimmt werden.

Üblicherweise wird zusätzlich zur mechanischen Messung der summierten Muskelleistung auch Laktat als physiologischer Parameter für die Feststellung der Art der Energiebereitstellung mitbestimmt.

Das heißt, dass ausgehend von der Muskelleistung bei einer maximalen Einzelaktion die „Kraftausdauer“ bzw. die Bewegungsenergie sowohl mechanisch als auch physiologisch untersucht werden kann.

Durch die maximale Einzelaktion wird der 100%- Wert der Muskelleistung festgelegt. Anschließend wird die Muskelleistung bei vorgegebener Belastungsdauer, -intervall, -intensität gemessen. Der Verlauf der Muskelleistung kann dann mit dem 100%- Wert verglichen werden und gibt Aufschluss über den Trainingszustand.

Durch systematische Variation der einzelnen Belastungsgrößen kann der gesamte Kraftausdauerbereich sehr präzise in die verschiedenen Last- und Energiebereitstellungsbereiche aufgelöst werden.

## Die koordinativ-technische Komponente der Muskelleistung

Für die zuverlässige Interpretation von Änderungen der Bewegungsdynamik oder der Bewegungsenergie ist bei jeder Bewegung die koordinativ-technische Komponente zu berücksichtigen. Leistungsparameter ändern sich nicht nur in Abhängigkeit von der neuromuskulären Entwicklung sondern auch mit der Technik bzw. der Qualität der Bewegungsausführung.

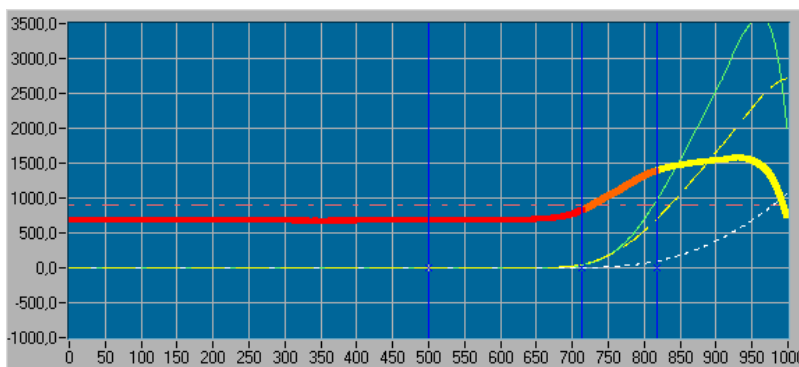
Das Muskelleistungskonzept sieht daher vor, neben den Leistungs-, Kraft- und Energieparametern auch qualitative Parameter über den Kraftverlauf und die plantare Kraftverteilung zu bestimmen.

An der plantaren Kraftverteilung während eines Bewegungsablaufes können z.B. seitliche Ausweichmuster erkannt werden, die in Folge von Beeinträchtigungen des gesamten Bewegungsapparates oder in Folge von neuronalen Störungen auftreten. Wenn sich die plantare Kraftverteilung zwischen 2 Versuchen oder zwischen 2 Testterminen ändert (>5%), dann sind sämtliche erhobene dynamische und energetische Parameter mit Vorbehalt zu interpretieren.



*Beschleunigung während eines Sprunges: orange Kurve – linke Seite, rosa Kurve – rechte Seite, rote Kurve - Gesamtbeschleunigung*

Die Kontrolle des vertikalen Kraftverlaufes bietet die Möglichkeit, Änderungen im Beschleunigungsverlauf zu erkennen, die aus Änderungen der Bewegungskoordination allgemein (z.B. hohe Anfangs- oder hohe Endbeschleunigung) resultieren. Gleichzeitig kann die Einhaltung sportartspezifischer Bewegungsvorgaben kontrolliert werden (z.B. die ruderspezifische Forderung nach einer möglichst gleichmäßig ansteigenden Beschleunigung, die eine optimale Kraftübertragung ausdrückt).

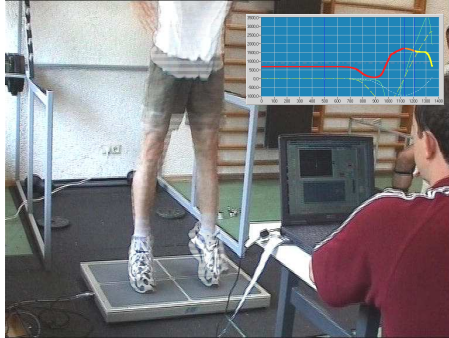


*Verlauf der Vertikalkraft während eines Sprunges mit der Aufgabe gleichmäßig zu beschleunigen*

## Messung der komplexen Bewegungsdynamik, -energie

Für die Messung der komplexen Bewegungsdynamik, -energie mit den technisch-koordinativen Komponenten ist prinzipiell ein Kraftmesssystem mit entsprechender Software notwendig.

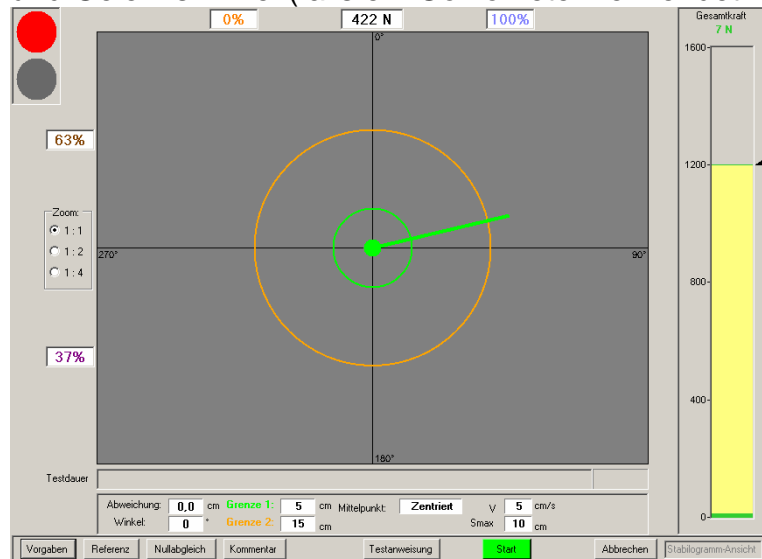
Die MLD-Station Evo2 (SPSport) ist eigens für den leistungsdiagnostischen Einsatz entwickelt und spezialisiert worden. Sie besteht aus 2 Kraftmessplatten, der Elektronik zur Signalverarbeitung und der Diagnosesoftware MLD 2.1. Das System ist für die Analyse sämtlicher dynamischer Vertikalbewegungen, wie z.B. Kniebeugen, Sprünge, Bankzug, Bankdruck etc. geeignet.



MLD-Station Evo2

## Maximalleistungs-Bestimmung

Zur Bestimmung der Maximalleistung werden Einzelversuche in mehreren Laststufen durchgeführt, üblicherweise 5-6 Stufen, die in Abhängigkeit des Körpergewichtes festgelegt werden. Während der Messung werden Kraftzeitverlauf, Kraftansatzpunkt und Gelenkwinkel (falls ein Goniometer verwendet wurde) in Echtzeit dargestellt.

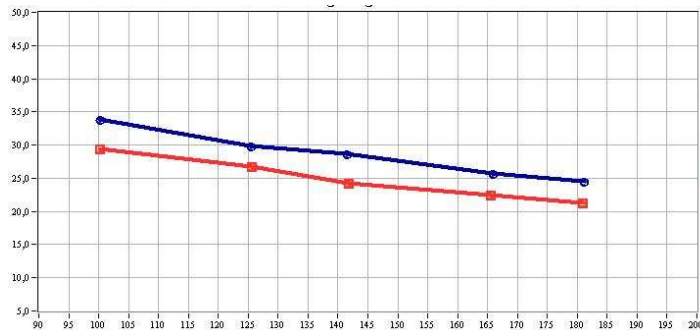


Echtzeitdarstellung von Kraftzeitverlauf, Kraftansatzpunkt und Gelenkwinkel

Die Messwertaufnahme erfolgt kraftgetriggert, das heißt, dass der Proband den Zeitpunkt für seine Aktion selbst wählen kann (ohne Zeitdruck). Die Software erkennt sowohl Aktionsbeginn als auch Aktionsende. Sogar die Art der Aktionsform (stato-, elasto- und reaktivdynamisch) wird von der Software automatisch erkannt. Um die Vergleichbarkeit innerhalb der Versuchsreihe zu gewährleisten, werden Kontrollparameter berechnet, beispielsweise der Beschleunigungsweg zur Kontrolle der Bewegungsamplitude oder die Bremsleistung zur Kontrolle der Ausholbewegung. Als Diagnoseparameter werden Kräfte, Geschwindigkeiten und Leistungen in einzelnen Bewegungsphasen berechnet. Die Ergebnisse stehen sofort nach jeder

Aktion zur Verfügung. Im sogenannten Steuerfenster werden alle Versuche tabellarisch und grafisch dargestellt, wobei aus den ca. 70 berechneten Diagnose- und Kontrollparametern gewählt werden kann.

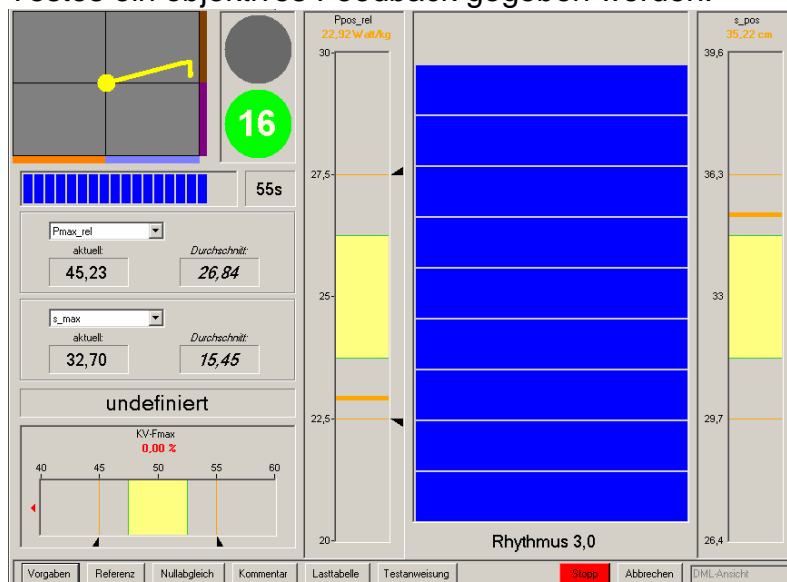
Die Darstellung der gemessenen Muskelleistungsparameter (z. B. die konzentrische Gesamtleistung relativiert auf das Körpergewicht) über die gewählten Laststufen ergibt die Maximalleistungskurve, die im Muskelleistungskonzept die zentrale Grundlage für die Diagnose von Kraftdefiziten ist.



Muskelleistungskurve: auf das Körpergewicht relativierte konzentrische Gesamtleistung von 5 statodynamischen und 5 elastodynamischen Versuchen mit 100/125/140/160/180% Last des Körpergewichtes

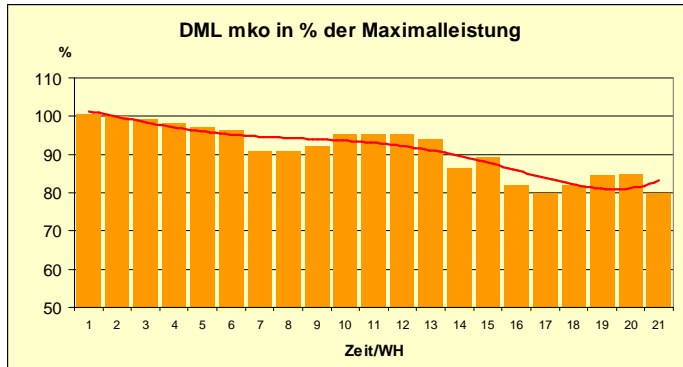
## Dauerleistungs-Bestimmung

Die Dauerleistungs-Bestimmung erfolgt analog zur Maximalleistungsmessung über dasselbe softwaregesteuerte Messdesign mit dem Unterschied, dass statt Einzelaktionen Serienaktionen durchgeführt werden. Die zuvor erhobene Maximalleistung in der entsprechenden Laststufe ist dazu der Vorgabe- bzw. Referenzwert, von dem ausgehend die Bedingungen für die Dauerleistungsmessung definiert werden: Belastungsdauer, Belastungsintervall, Belastungsintensität. Über einen Monitor kann, entweder vom Proband selber oder vom Testleiter, für jede Aktion die Differenz zum Vorgabewert abgelesen werden und so während des Testes ein objektives Feedback gegeben werden.



Dauerleistungsmessung mit Rhythmusvorgabe und Differenzdarstellung zwischen vorgegebenen und aktuellen Kontroll- und Leistungsparametern

Als Testergebnis werden auswählbare Kontroll- und Diagnoseparameter über die Belastungsdauer veranschaulicht. Die Dauerleistungskurve ergibt sich wiederum durch die Darstellung von Leistungsparametern über die Zeit.



Dauerleistungskurve in W/kg über die Zeit in Sekunden

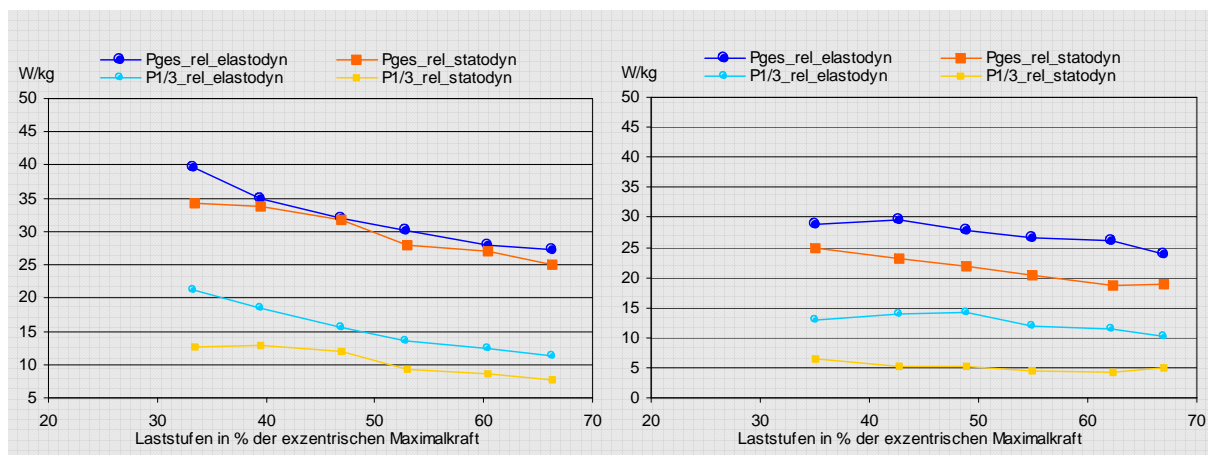
### Diagnose dynamischer Kraft- und Energiedefizite

Zur Analyse **dynamischer Kraftdefizite** (im Sinne von Entwicklungspotenzialen zur Steigerung der Muskelleistung) wird anhand der Maximalleistungskurve die Muskelleistung in mehreren Laststufen und Aktionsformen verglichen.

Betrachtet man die Muskelleistungskurve allgemein, ohne von einem bestimmten wettkampfspezifischen Lastbereich auszugehen, dann ist jeweils eine zweideutige Interpretation zulässig:

- Eine flache Kurve (5-8% Kurvenabfall) bedeutet sowohl ein Schnellkraftdefizit als auch ein vorhandenes (bei niedrigen Lasten ungenutztes) Maximalkraftpotenzial. Man könnte die allgemeine Aussage einer ineffizienten Muskelaktivierung treffen. Mit steigender Last wird dieselbe oder nur eine leicht geringere Muskelleistung erreicht. Dazu müssen mit steigender Last höhere Kräfte aufgebracht werden, die den Geschwindigkeitsabfall kompensieren. Das heißt, es kann zusätzliches Kraftpotenzial aktiviert werden.
- Eine steil abfallende Kurve (Kurvenabfall >16%) weist gleichzeitig auf eine gute Schnellkraftfähigkeit und ein Maximalkraftdefizit hin - die Muskelaktivierung ist im Allgemeinen effizient. Mit steigender Last kann kaum zusätzliches Muskelpotenzial aktiviert werden, aber es kann schon mit geringer Last nahezu das gesamte Potenzial eingesetzt werden.

Die Interpretation der Muskelleistungskurve in Abhängigkeit von der wettkampfspezifischen Belastungsstufe (z.B. 1,2-faches Körpergewicht bei Skispringern oder 2,3faches Körpergewicht bei Skifahrern) ermöglicht zwischen beiden Möglichkeiten zu entscheiden. Ein belastungsspezifisches dynamisches Maximalkraft- oder Schnellkraftdefizit kann festgestellt werden.



Beispiele für steil abfallende und flach verlaufende Muskelleistungskurven mit kleinen und großen elasto-/statodynamischen Differenzen

Der Vergleich der Muskelleistung in unterschiedlichen Aktionsformen gibt Hinweise auf die Ursachen erkannter Defizite. Dazu wird die elasto-/statodynamische Differenz

berechnet, in dem der statodynamische Wert vom elastodynamischen Wert abgezogen und die Differenz in Prozent angegeben wird.

Differenzen kleiner 10% werden mit einer gut ausgeprägten **willkürlichen Aktivierungsfähigkeit** erklärt oder lassen auf eine schlechte sensorische Aktivierung in der negativen elastodynamischen Phase schließen, durch welche nur eine geringe Dehnungsenergie aufgebaut wird. Bei größeren elasto-/statodynamischen Differenzen könnte folglich ein willkürliches Aktivierungsdefizit oder umgekehrt eine sehr gut ausgeprägte sensorische Aktivierung bzw. ein vorhandenes hohes Rekrutierungspotenzial angenommen werden, durch das eine große Dehnungsenergie aufgebaut werden kann.

Die Beurteilung des Rekrutierungspotenzials bzw. der **absoluten Maximalkraft** erfolgt dabei aus der maximalen exzentrischen Kraft im Dehnungsverkürzungszyklus bei elastodynamischen Aktionen. Diese tritt in der exzentrischen Phase des Dehnungs-Verkürzungszyklus, kurz bevor die Geschwindigkeit durch Null geht auf und gilt genau für den Gelenkwinkelbereich, in dem sie gemessen wird. Um sie zu bestimmen, muss die Last bei elastodynamischen Versuchen solange gesteigert werden, bis das auftretende Kraftmaximum nicht mehr erhöht wird bzw. wieder sinkt. Erfahrungsgemäß liegt dieser Bereich zwischen 50% und 60% der Maximallast. Mit höheren Lasten können keine höheren Kräfte mehr erzeugt werden, da die dehnungsrelevante Bremsleistung in den 50 ms vor dem Umkehrpunkt geringer wird und dadurch weniger zusätzliche Dehnungsenergie vom Muskel-/Sehnenkomplex aufgenommen werden kann. Diese exzentrische Maximalkraft im Dehnungs-Verkürzungszyklus ist aufgrund der aufgebauten Dehnungsenergie größer als die isometrische oder konzentrische Maximalkraft. Sie kann als Maß für das maximal rekrutierbare Muskelpotenzial interpretiert werden, wenn vorausgesetzt wird, dass die elastische Energiespeicherfähigkeit des Muskels linear ist (was für den Bereich der sportlichen Belastungen durchaus realistisch ist). Die maximal aufnehmbare Dehnungsenergie ist durch die Speicherkapazität des Muskels limitiert. Die Speicherkapazität des Muskels wird von der Fläche bestimmt, die Energie aufnehmen kann und diese Fläche wird vom Rekrutierungspotenzial gebildet. Das Rekrutierungspotenzial begrenzt also die maximale Muskelspannung. Eine weitere Erhöhung der einwirkenden Kraft würde eine Nachregelung (bzw. ein Nachgeben) der Muskellänge erfordern und die Dehnungsenergie würde zumindest teilweise wieder verpuffen.

Die Interpretation der Dauerleistungskurve erfolgt einerseits in Bezug zur Maximalleistung und andererseits in Abhängigkeit des Leistungsverlaufes über die Belastungszeit.

In Bezug zur Maximalleistung kann entschieden werden, ob der größere Entwicklungsbedarf im Maximal-/Schnellkraft- oder im Kraftausdauerbereich liegt. Wenn ein Skifahrer beispielsweise im Mittel über 60 Sprünge (bzw. 2 Minuten) weniger als 70% seiner Maximalleistung im Einzelsprung bringt, dann liegt sein primäres Defizit im Kraftausdauerbereich.

Anhand des Leistungsverlaufes über die Belastungszeit kann dann weiter differenziert werden, in welchen Energiebereitstellungsbereich das Training vorrangig angesetzt werden muss. Fällt die Kurve sehr steil ab, ohne Plateaubildung im rechten Teil, dann ist es der extensive Kraftausdauerbereich mit dominanter aerober Energiebereitstellung der entwickelt werden muss.

Durch die präzise Kontrolle der mechanischen Bedingungen ist es auch möglich Aussagen zur Ausprägung des Creatinphosphatpools und zur

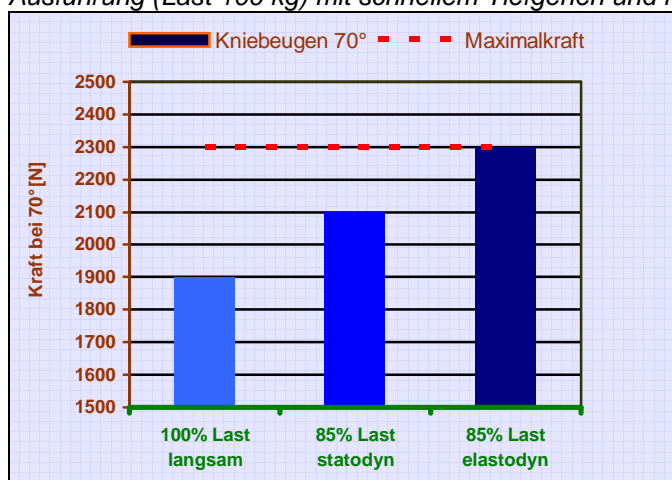
Laktatbildungsgeschwindigkeit (anaerobe Kapazität) zu treffen.

### **Individuelle Trainingskonzeption und -steuerung**

Auf Basis der diagnostizierten Defizite bzw. Entwicklungspotenziale wird unter Berücksichtigung der individuellen Voraussetzungen, der sportartspezifischen Anforderungen und der zur Verfügung stehenden Ressourcen ein Trainingskonzept erstellt. Dazu werden Trainingsbereiche, -umfänge, -intensitäten und -inhalte festgelegt. Mit der individuellen Trainingskonzeption wird die Voraussetzung für die gewünschte Leistungsentwicklung geschaffen, die tatsächliche Entwicklung hängt maßgeblich von der Qualität der Umsetzung des Trainingskonzeptes ab.

Eine hohe Umsetzungsqualität kann durch eine möglichst präzise Steuerung des Trainings erreicht werden, womit die ständige Regulierung und Dosierung des Trainings anhand von physiologischen und/oder biomechanischen Parametern gemeint ist. Die biomechanische Trainingssteuerung erfolgt durch die regelmäßige Durchführung von Leistungsdiagnosen, anhand derer Leistungs- und Entwicklungsprofile erstellt werden. Diese geben Auskunft über den Entwicklungsverlauf und ermöglichen damit regulierend in den Prozess, durch Anpassung von Intensitäten, Umfängen, Änderung der Trainingsmittel etc. einzugreifen. Unter biomechanischer Trainingssteuerung ist auch die unmittelbare Überwachung des Trainings im Sinne von Messplatztrainings mit Sofortfeedback zu verstehen, wobei sich das Feedback auf koordinative Parameter und/oder Leistungsparameter beziehen kann.

Gerade im modernen Krafttraining, das nicht mehr wie im klassischen Ansatz primär über Lasten, sondern über Last und Ausführungsgeschwindigkeit (=Leistung) gesteuert wird, spielt das Trainingsfeedback eine wesentliche Rolle. Die subjektive Kontrolle maximaler Leistungen ist wesentlich schwieriger als Lasten oder Wiederholungszahlen zu kontrollieren. Es ist daher erforderlich, das subjektive Empfinden durch objektives Feedback zu "kalibrieren". Am Beispiel eines dynamischen Maximalkrafttrainings mit einer Kniebeuge kann dies nachvollzogen werden: *Ein 70 kg schwerer Sportler kann maximal 120 kg Last aus der tiefen Kniebeuge heben und erreicht mit dieser Last beim langsamen Aufstehen eine Kraft von 1900 N. Reduziert er die Hantellast auf 100 kg und versucht nach langsamen Tiefgehen aus der tiefen Position möglichst explosiv zu beschleunigen, erreicht er in der tiefen Position eine maximale Kraft von 2100 N. Die absolute Maximalkraft von 2300 N in derselben Position erreicht er aber erst durch eine elastodynamische Ausführung (Last 100 kg) mit schnellem Tiefgehen und möglichst raschem wieder Aufstehen.*



Vergleich der erreichten Maximalkräfte bei unterschiedlichen Lasten und Ausführungsformen

Andere Beispiele für den Bedarf eines Feedbacks im Training wären die Steuerung von Wiederholungen und Serien nach der erbrachten Leistung, die Kontrolle des ermüdungsbedingten Leistungsabfalls beim Kraftausdauertraining usw..