

Georg-August-Universität Göttingen  
Institut für Sportwissenschaften  
Aus der Abteilung Sportmedizin  
(Univ.Prof. Dr. med. et. Dr. rer. nat. A. Niklas)

Die Aussagefähigkeit leistungsdiagnostischer Verfahren für  
die Trainingsmethodik und die Prognose von Wettkampfergebnissen im  
Sportschwimmen  
- Eine zusammenfassende Betrachtung aus trainingsmethodischer Sicht.

Dissertation

zur Erlangung des sozialwissenschaften Doktorgrades  
der Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität  
Göttingen

vorgelegt von

**Usama El-Sayed Ashmawi Ali**

aus

Kairo-Ägypten

Göttingen

2003

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. André Niklas

2. Gutachter: Prof. Dr. Arnd Krüger

Tag der mündlichen Prüfung: 23.04.2003

## Inhaltsverzeichnis

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| -          | <b>Abbildungsverzeichnis.....</b>  | <b>4</b>  |
| -          | <b>Tabellenverzeichnis.....</b>  | <b>6</b>  |
| <br>       |  |           |
| <b>1.0</b> | <b>Einleitung.....</b>   | <b>7</b>  |
| 1.1        | Zur Begründung der wissenschaftlichen Notwendigkeit und<br>Bedeutsamkeit der Arbeit..... | 7         |
| 1.2        | Einordnung in umfassendere Probleme und Arbeiten .....                                   | 12        |
| 1.3        | Wissenschaftliche Fragestellung und Hypothesen.....                                      | 15        |
| <br>       |  |           |
| <b>2.0</b> | <b>Relevante Theorieposition der Leistungsdiagnostik.....</b>                            | <b>17</b> |
| 2.1        | Komplexe Leistungsdiagnostik.....  | 18        |
| 2.1.1      | Biochemische Funktionsdiagnostik.....  | 25        |
| 2.1.1.1    | Biochemische Veränderungen im Blut bei Muskeltätigkeit..                                 | 26        |
| 2.1.1.2    | Biochemische Veränderungen im Muskel unter dem<br>Einfluss des Trainings .....           | 28        |
| 2.1.2      | Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik.....   | 31        |
| 2.1.2.1    | Herzfrequenz (Hf) bzw. Pulsfrequenz (Pf) .....   | 31        |
| 2.1.2.2    | Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_2$ .....  | 35        |
| 2.1.3      | Biomechanische Funktionsdiagnostik .....   | 36        |
| 2.1.3.1    | Untersuchungsziele der Sportbiomechanik.....   | 37        |
| 2.1.3.2    | Untersuchungsziele der präventiven und<br>rehabilitiven Biomechanik .....                | 38        |
| 2.1.3.3    | Mechanische Grundlagen des Schwimmens .....  | 39        |
| 2.2        | Die Beziehung von Leistungsdiagnostik und<br>Trainingssteuerung .....                    | 41        |
| 2.2.1      | Grundlagen der Trainingssteuerung.....   | 41        |
| 2.2.2      | Regelkreis der Trainingssteuerung.....   | 42        |
| 2.2.3      | Leistungs- und Trainingsplanung.....   | 42        |
| 2.2.4      | Leistungsdiagnostik und Wettkampfanalyse.....  | 43        |
| 2.2.5      | Trainingsanalyse.....  | 43        |
| 2.2.6      | Trainingsentscheidung.....   | 45        |
| 2.2.7      | Trainingsbereiche der Belastungssteuerung.....   | 48        |
| 2.3        | Leistungsdiagnostik im Schwimmen.....  | 49        |
| 2.3.1      | Grundlagen und Besonderheiten.....   | 51        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 2.3.1.1    | Wasserwiderstand des Körpers.....  | 51         |
| 2.3.1.2    | Wasserlage, Auftrieb und spezifische Körperdrehmoment .                    | 52         |
| 2.3.1.3    | Güte der Schwimmtechnik.....   | 53         |
| 2.3.1.4    | Schwimmgeschwindigkeit.....  | 54         |
| 2.3.2      | Trainingssystem im Sportschwimmen.....                                     | 56         |
| 2.3.2.1    | Trainingssteuerung und ihre Notwendigkeit<br>im Sportschwimmen.....        | 56         |
| 2.3.2.2    | Strukturierungen der Schwimmleistung .....                                 | 58         |
| 2.3.2.3    | Methoden im Land- und Wassertraining .....                                 | 61         |
| 2.3.2.4    | Planungsgrundlagen des Trainings .....                                     | 62         |
| 2.4        | Die Laktat-Leistungsbeziehung .....  | 65         |
| 2.4.1      | Zur Wahl des Funktionsansatzes.....  | 67         |
| 2.4.2      | Zur Gestaltung von Stufentest.....   | 69         |
| 2.4.3      | Kenndaten der Laktat-Leistungsbeziehung .....                              | 72         |
| 2.4.4      | Typisierung von Laktat-Leistungskurven .....                               | 75         |
| 2.5        | Spiroergometrie.....   | 80         |
| 2.5.1      | Vorrichtung zur Kraftübertragung .....                                     | 85         |
| <b>3.0</b> | <b>Das Untersuchungskonzept.....</b>                                       | <b>87</b>  |
| 3.1        | Probanden.....   | 87         |
| 3.2        | Die Untersuchungsmethoden.....   | 87         |
| 3.2.1      | Laboruntersuchung .....  | 87         |
| 3.3        | Die Durchführung der Untersuchungen .....                                  | 90         |
| 3.3.1      | Berechnungsverfahren der Ergometerleistung<br>in der Gegenstromanlage..... | 90         |
| 3.3.2      | Kinemetrische Analyse .....  | 95         |
| 3.3.3      | Spiroergometrie.....   | 98         |
| 3.3.4      | Untersuchungsmethodisches Vorgehen .....                                   | 99         |
| <b>4.0</b> | <b>Ausgewählte Untersuchungsergebnisse<br/>und Diskussion .....</b>        | <b>100</b> |
| 4.1        | Die Beziehung von Sauerstoffaufnahme und<br>Ergometerleistung .....        | 100        |
| 4.2        | Vergleichende Untersuchungen über den aktiven<br>Schwimmwiderstand .....   | 104        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 4.3        | Beziehungen der mechanischen Schwimmleistung<br>zu weiteren Parametern .....                                 | 107        |
| 4.3.1      | Zusammenhang von Kraft und kinematischen<br>Kenngrößen aus linearer Sicht.....                               | 110        |
| 4.3.2      | Zusammenhang zwischen Belastung und<br>Bewegungskoordination aus nichtlinearer Sicht .....                   | 115        |
| <b>5.0</b> | <b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....</b>   | <b>122</b> |
| <b>6.0</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>   | <b>128</b> |
| <b>7.0</b> | <b>Anlagen .....</b>   | <b>144</b> |
| 7.1        | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern/innen.....   | 144        |
| 7.2        | Methodische Hinweise zu den Tests und Kontrollstandards<br>im Sportschwimmen für Ägyptischen Schwimmverband. | 158        |
| <b>8.0</b> | <b>Danksagung.....</b>   | <b>167</b> |
| <b>9.0</b> | <b>Erklärung .....</b>   | <b>168</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Anteil der einzelnen Formen der Energiebereitstellung bei unterschiedlicher Belastungsdauer.....   | 21 |
| 2.  | Schematische Darstellung des Zusammenhangs Faserverteilung und Sportart. ....  | 22 |
| 3.  | Schematische Darstellung der prozentualen Inanspruchnahme der $\dot{V}O_2$ max. beim Laktatwert 3 mmol. l <sup>-1</sup> bei Untrainierten und Ausdauersportlern ( Kurz-,Mittel-, und Langzeitausdauer) ..... | 24 |
| 4.  | Widersatnd und Antrieb .....   | 40 |
| 5.  | Darstellung des Gesamtprozesses der Trainingssteuerung .....   | 42 |
| 6.  | Die Wirkung von Schwerkraft und Auftriebkraft auf den Kraulschwimmer im Sinne eines Drehmoments.....   | 53 |
| 7.  | Die wichtigsten motorischen Fähigkeiten und ihre Bedeutung für das Sportschwimmen. ....  | 59 |
| 8.  | Strukturierung des Trainings in Perioden. Der Leistungsaufbau erfolgt über die Vorbereitungsperioden VP 1-2 und Wettkampfperioden WKP. Den Trainingsabschluss bildet die Übergangsperiode ÜP.....            | 62 |
| 9.  | Schematische Darstellung des Zusammenhangs von Laktatkonzentration und Belastungsintensität (Geschwindigkeit) bei einem Stufentest (n = 4) mit Pausen. ....  | 66 |
| 10. | Darstellung von zwei Kompartimenten der funktionellen Beziehung Laktat = f (Geschwindigkeit) bei einem 10 x 100-m-Stufentest im Schwimmen. ....  | 68 |
| 11. | Die Laktat-Intensität-Beziehung zur Belasungssteuerung in den Trainingszyklen.....   | 70 |
| 12. | Schematische Darstellung der Kenndaten der Laktat-Leistungskurve .....   | 73 |
| 13. | Typisierung der Laktat- Leistungskurve: Verbesserung der Leistung (Teilabb. 2-6) durch Rechtsverschiebung und Abflachung der Kurve sowie Änderung der maximalen Laktatwerte.....                             | 78 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 14. | Ausgewählte Beispiele zur Bestimmung der biomechanischen Leistung zweier Sportler für die Sportschwimmtechnik Kraul, obwohl zwischen Test und Retest deutliche Unterschiede in den Sauerstoffaufnahmen bestehen, sind die Beträge für die ermittelte biomechanische Leistung praktisch gleich. .... | 82  |
| 15. | Anordnung der Elemente der Messvorrichtung in der Gegenstromanlage.....   | 85  |
| 16. | Polynomanpassung an die experimentellen Wertepaare $\dot{V}O_2 = f(F_d + F_z)$ bei $v = \text{const.}$ sowie die Ermittlung der integrierten Kraftgrößen für alle Teststufen über die 1. Ableitung der Funktion und die Ermittlung der Anstiegsgeraden. ....  | 91  |
| 17. | Horizontale intrazyklische Geschwindigkeitsschwankungen (reproduziert aus den Bewegungen der kardanischen Aufhängung der Schwimmerin).<br>.....   | 94  |
| 18. | Figurren in der einleitenden Phase.....   | 96  |
| 19. | Schematische Darstellung des "Measuring Active Drag systems"(MAD). 105  |     |
| 20. | Untersuchungsergebnisse einer Probandin (D.H.) im Training. ....  | 109 |
| 21. | Untersuchungsergebnisse einer Probandin (S.H.) im Training.....   | 110 |
| 22. | Ergebnissen. ....   | 111 |
| 23. | Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf der Hände und Hüfte im Zyklus.....  | 113 |
| 24. | Trenddarstellung der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Hüfte im Zyklus. ....   | 115 |
| 25. | Veränderung der b-Werte im Verlauf eines Trainingsjahres mit akzentuiertem Kraft-Ausdauer und Techniktraining.....  | 120 |
| 26. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen. ....  | 143 |
| 27. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen.....   | 144 |
| 28. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen.....   | 145 |
| 29. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen.....   | 146 |
| 30. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen.....   | 147 |
| 31. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen.....   | 148 |
| 32. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen.....   | 149 |
| 33. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen.....   | 150 |
| 34. | Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen.....   | 151 |
| 35. | Ergebnisse der Schwimmergeometrie.....  | 152 |

|   |     |
|---|-----|
| 36. Ergebnisse der Schwimmergometrie.....   | 153 |
| 37. Ergebnisse der Schwimmergometrie.....   | 154 |
| 38. Ergebnisse der Schwimmergometrie.....   | 154 |
| 39. Ergebnisse der Schwimmergometrie.....   | 155 |
| 40. Ergebnisse der Schwimmergometrie.....   | 156 |
| 41. Autokorrelationsanalyse der durchschnittlichen<br>horizontalen Hüftgeschwindigkeit auf der 3. Belastungsstufe. .... | 156 |
| 42. $v_x$ -t-Diagramm der Füße mit Zuordnung der Phasenzonen.....   | 157 |
| 43. Phasenmodell des Brustschwimmens mit abgeleiteten mechanischen<br>Parametern.....                                   | 157 |

### Tabellenverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| 1. Beanspruchung von Funktionssystemen bei Ausdauerbelastungen.<br>.....   | 19  |
| 2. Sportartspezifische Ergometer in Ausdauersportarten. ....   | 45  |
| 3. Leistungsstruktur Schwimmen (Wettkampf). ....   | 50  |
| 4. Anforderungsprofil an Fähigkeiten in Abhängigkeit von<br>der Streckenlänge.....   | 59  |
| 5. Entscheidungskategorien und Entscheidungsvariablen von<br>Trainingsplanung und Trainingsvollzug.....                                | 60  |
| 6. Überblick über die wichtigsten Methoden im Konditionstraining.....  | 61  |
| 7. Probanden.....  | 87  |
| 8. Vorgaben für einen Belastungstest in einer Gegenstromanlage. ....   | 90  |
| 9. Der Test erfolgt unter den Bedingungen einer Gegenstromanlage unter<br>Zugrundelegung der individuellen Bestzeiten über 200 m. .... | 93  |
| 10. Dargestellt ist die fraktale Dimension in Bezug<br>auf die Hüftgeschwindigkeit.....  | 94  |
| 11. Testergebnisse beim Schwimmen mit Zusatzmassen, die auf den ruhenden<br>Schwimmer keine Kraftwirkung ausüben. ....                 | 102 |
| 12. Zusammenstellung der Widerstandswerte. ....  | 103 |
| 13. Zusammenstellung ausgewählter Untersuchungsergebnisse. ....  | 106 |
| 14. Vergleich zwischen b-Werten der Laktat-Leistungskurve und den<br>Widerstandskräften. ....  | 107 |

## **1.0 Einleitung**

### **1.1 Zur Begründung der wissenschaftlichen Notwendigkeit und Bedeutsamkeit der Arbeit**

Das Ziel der trainingswissenschaftlichen Leistungsdiagnostik besteht vor allem darin, die Richtungen und die Dynamik der inneren Beanspruchung in enger Wechselwirkung zu sportmethodisch vorgegebenen Belastungen zu erfassen und die Übereinstimmung zwischen der trainingsmethodischen Zielstellung und ihrem aktuellen Ergebnis sowie der biologischen Realisierung qualitativ und quantitativ zu überprüfen.

Von der Leistungsdiagnostik werden praxiswirksame Aussagen erwartet zu:

1. Wirkung und Richtung des absolvierten Trainings
2. Qualität und Struktur der aktuellen sportlichen Leistung
3. Prognose der möglichen Wettkampfleistung
4. Schlussfolgerungen für das weitere Training besonders hinsichtlich Umfangs, Intensität und motorischen Hauptbeanspruchungsformen.  
(NIKLAS, 1996)

Dabei sind die motorischen Hauptbeanspruchungsformen (Ausdauer, Schnelligkeit und Krafteigenschaften) und Technik/ Koordination als Zielgrößen zu betrachten.

Eine Leistungsüberprüfung setzt mindestens drei wesentliche Kriterien voraus:

- adäquate motorische Anforderungen
- adäquate biotische und biomechanische Messgrößen und
- adäquate Einordnung der Daten in Normbereiche bzw. Modelle

Der Begriff Trainingsbelastung im sportlichen Ausbildungsprozess umfasst als dialektische Einheit sowohl die äußere als auch die innere Seite der Belastung. Die äußere Seite wird durch Umfang, Intensität, Häufigkeit und Art der Belastung charakterisiert. Zur inneren Seite gehören physiologische, biochemische und morphologische Antwortreaktionen des Organismus.

Zwischen beiden besteht eine enge Wechselwirkung.

Gegenstand der trainingswissenschaftlichen Leistungsdiagnostik im Schwimmen ist die schwimmart- und streckenspezifische Analyse und Bewertung des

trainingsabhängigen Leistungsniveaus mit dem Ziel der Abteilung praxisrelevanter Informationen für eine optimale individuelle Trainingssteuerung, zur prognostischen Einschätzung der Leistungsentwicklung und für Auswahlentscheidungen. (CLASING, 1994)

Die Leistungsdiagnostik im Sportswimmen wurde in der Vergangenheit in zwei Richtungen geführt:

1. Komplexe Leistungsdiagnostik (KLD)- zentral und dezentral
2. Kurzfristige Trainingssteuerung und Trainingsmitteluntersuchung im Verein.  
(NEUMANN, 1984)

Nach der Wiedervereinigung Deutschlands haben sich sowohl die wirtschaftlichen als auch die territorialen Gegebenheiten verändert, so dass aus grundsätzlichen Erwägungen heraus diese Strukturierung der Leistungsdiagnostik nicht mehr sinnvoll und in vielen Fällen nicht durchführbar erscheint.

Aufgrund der zwischenzeitlich fortgeschrittenen trainingswissenschaftlichen Erkenntnisse über die Leistungsstruktur im Schwimmen muss auch die KLD einer inhaltlichen Veränderung unterworfen werden.

Eine KLD umfasst neben der Untersuchung des psychophysischen Zustandes der Sportler vor allem:

- die Diagnose der Leistungsentwicklung und
- die Bestimmung der Hauptleistungskomponenten.

Im Deutschen Schwimmverband fand lange Zeit nur der leistungsdiagnostische Schwimmtest nach SIMON(1978) Verwendung.

Mit der Vereinigung beider Schwimmverbände von Ost und West übernahm man auch den Stufentest nach PANSOLD (1985).

Dieser Test trägt spezifischer den Besonderheiten der jeweiligen Schwimmdisziplin und dem aktuellen Leistungsniveau des Sportlers Rechnung, stellt aber sehr hohe Anforderungen an die jeweilige Belastungsdosierung, um die vorgegebenen physiologischen Bereiche zu testen.

Für die leistungsdiagnostischen Beurteilungskomplexe aerober und anaerober Leistungsfähigkeit hat er wesentlich zu einer wissenschaftlichen Begründung des Trainings und zur Aufstellung auch biologisch begründeter "Trainingsmittelkataloge" geführt.

Geringe Beachtung fand bisher das Anstiegsverhalten der Laktat-Leistungskurve (LLK).

Nach *PANSOLD (1993)* wird die Verlaufscharakteristik b-Wert\* der Laktat-Leistungskurve durch das Niveau der Krafftigkeiten des Sportlers und (durch) sportartspezifische bzw. individuell bedingte Einflussgrößen der Bewegungsstruktur bzw. Technik beeinflusst. Dies äußert sich besonders im Anstiegsverhalten der Kurve.

Das Ansteigverhalten der Laktat-Leistungskurve bestimmt die Art und Weise, wie die maximale Laktatauslenkung ( $L_{\max}$ ) zur aeroben Leistungsfähigkeit ( $V_{4.0}$ ) in Beziehung tritt, und damit zugleich die Höhe der bei  $L_{\max}$  realisierbarer Leistung. Diese Kenngröße ist weniger aufgeheilt als die anderen Parameter ( $P_4$ ,  $P_{\max}$ ) und wird deshalb bei Interpretationen wenig berücksichtigt.

Aus Untersuchungen (Deutscher Schwimmsportverband der DDR (DSSV), (*NEUMANN, 1984*) ist aber ersichtlich, dass der Anstieg mit zunehmender Streckenlänge steigt ( 5.1 - 7.9..... ), besonders dort klein ist, wo ein hoher Krafteinsatz erforderlich ist ( Sprint, Schmetterling 2.6 – 3.7 ), bei Männern niedriger ist als bei Frauen ( 5.6 – 8.2 ), wegen des größeren Kraftanteils an der Leistungsstruktur bei Erwachsenen niedriger ist als bei Kindern, von der Motorik beeinflusst ist ( höchste Werte im Brustschwimmen) und individuell geprägt ist.

Eine leistungsorientierte Belastungsuntersuchung (Spiroergometrie) ist wesentlicher Bestandteil der sportmedizinischen Diagnostik (Fahrradergometrie). Die diagnostische Methode der Ergometrie hat seit langem Eingang in die praktische Kardiologie gefunden und ist in den letzten Jahren auch weitgehend standardisiert worden. (*JAEKEL 1994*)(*LE. GALLAIS, 1999*)(*PADILLA, 2000*) Voraussetzung für eine exakte Bewertbarkeit der registrierten physiologischen Antwortreaktionen ist die präzise Vorgabe oder Ermittlung der jeweiligen Ergometerleistung in Watt. (*NIKLAS, 1989*)

Für die Fahrradergometrie ist diese Fragestellung durch Einsatz unterschiedlicher Bremssysteme für die Bedingungen der praktischen Medizin weitgehend gelöst worden.

---

\*Niveau der Krafftigkeit und/oder der sportlichen Technik, Koeffizient b der Funktion  $y = a \cdot e^{bx}$ . S 65-78

Im Falle des Schwimmens ist die Entwicklung von geeigneten Verfahren zur leistungsbasierten Belastungsuntersuchung im Wasser nach wie vor im Fluss.

Das Hauptproblem besteht in einer bisher fehlenden Möglichkeit, die mechanische Gesamtleistung (Ergometerleistung) bzw. deren wesentliche Komponenten für die Trainingswissenschaft praktikabel und hinreichend präzise zu erfassen.

Dabei gilt folgende Beziehung zwischen Leistung und Schwimmgeschwindigkeit:

$$P_{\text{mech}} = F \cdot v$$

$P_{\text{mech}}$  mechanische Leistung, Ergometerleistung

$F$  aufgewandte Kraft in oder entgegen der Schwimmrichtung

$v$  lokomotorische oder Schwimmgeschwindigkeit (NIKLAS, 1996)

Aus sportmethodischer Sicht ist die Kraft eine Leistungsvoraussetzung, um durch Muskeltätigkeit äußere Widerstände zu überwinden bzw. äußeren Kräften entgegen zu wirken. Prinzipiell erfordert jede motorische Handlung Kraft.

Kraft und Ausdauer sind ebenfalls vereinbar. Überschreitet jedoch die trainingsbedingte Ausprägung einer dieser beiden konditionellen Fähigkeiten ein hohes Niveau, so wird die andere Fähigkeit zurückgedrängt; es kommt offensichtlich zu Konkurrenzreaktionen. (ISRAEL-BADTKE, 1999)

Die vorliegende Arbeit befasst sich vorwiegend mit der Bestimmung des Funktionszustandes im Bereich der Hauptleistungskomponenten von Sportschwimmern auf der Grundlage mechanischer Schwimmleistungen und biomechanisch-kinematischer Parameter in der individuellen Ausprägung der sportlichen Technik des Leistungssportlers aus trainingsmethodischer Sicht.

Gegenstand der Arbeit ist die Effektivierung leistungsdiagnostischer Verfahren und ihre praktische Anwendung für die Trainingsmethodik und die Sicherung von Prognosen von Wettkampfergebnissen im Sportschwimmen.

Der gegenwärtige Entwicklungsstand in der Leistungsdiagnostik für das Sportschwimmen wird durch drei Hauptrichtungen geprägt:

1. Biochemische Funktionsdiagnostik (Laktat)
2. Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik (Spiroergometrie)
3. Biomechanische Diagnostik (Kinemetrie)

Eine Verbindung zwischen biochemischer, kardiopulmonaler und biomechanischer Diagnostik konnte bisher nicht hergestellt werden, obwohl dies ein wesentliches Ziel der KLD sein sollte.

Insbesondere ist noch wie vor völlig ungeklärt, in welchem Bezug die b-Werte der Laktat-Leistungskurve (Test im Schwimmbecken nach (*SIMON, 1978* oder *PANSOLD, 1985*) zur mechanischen Schwimmleistung und damit letztlich zur sportlichen Technik stehen.

Die Aussage von (*PANSOLD* und Mitarb, 1993), dass die b-Werte Auskunft über die Entwicklung von Kraft / Technik-Fähigkeiten geben, beruht auf rein statistischen Untersuchungen über die Ergebnisse der Laktat-Diagnostik im Vergleich zu Trainings- und Wettkampfleistungen.

Der Bezug zur individuellen Leistungsfähigkeit eines Sportlers ist folglich sehr lose und für den Trainer nur wenig befriedigend. Diese Tatsache wird bereits durch den Terminus "Kraft-/ Technik-Fähigkeiten" dokumentiert, der ohne sachlich-logische Begründung dynamische, kinematische und neuromuskuläre Faktoren begrifflich integriert.

Seit vielen Jahren steht der Begriff des "Wirkungsgrades" in der internationalen Schwimmsportforschung im Mittelpunkt. Der Wirkungsgrad wird je nach fachlicher Herkunft der Autoren unterschiedlich definiert. Für die sportmedizinische Diagnostik im Schwimmen hat sich bisher der so genannte Gesamtwirkungsgrad bewährt. Seine Beziehung zu den physischen Leistungsvoraussetzungen muss Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Bearbeitung werden. (*NIKLAS, 1984*)

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung in Magdeburg wurden erste Erkenntnisse über die mechanische Umsetzung sportartspezifisch-spiroergometrischer Daten im praktischen Trainingsprozess gewonnen. Gegenwärtig gilt es, die Verbindung zwischen den einzelnen mechanischen Leistungskomponenten, den b-Werten und dem disziplinspezifischen Krafttraining im Wasser zu verifizieren.

## 1.2 Einordnung in umfassendere Probleme und Arbeiten

Bei der Analyse der Genese sportlicher Leistungsfähigkeit ist die Beachtung der Teil- Ganzheit- Dialektik und die damit verbundenen Probleme von Stabilität und Variabilität der Leistung von großer Bedeutung. (BLASER, 2000)

Die Auffassung, dass das Ganze nicht die einfache Summe seiner Teile ist, wurde bereits in den zwanziger und dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts durch KLEMM, (1930) und BERNSTEIN, (1988) aus dem methodologischen Konzept der Gestaltpsychologie bzw. Ganzheitstheorie entliehen und auf die empirische und experimentelle Analyse der menschlichen Motorik übertragen.

Die Ablehnung der "Summativität" und der rein phänomenologischen Betrachtung des Ganzen und seiner Teile erfordert.

Daher die Frage nach der Kausalität des Ganzen und seiner Teile mit ihren charakteristischen Wechselwirkungen in den Rahmen realer Leistungen zu stellen.

Diesbezüglich bestätigen eine Reihe empirischer Belege sportwissenschaftlicher Forschung selbst, dass die summative Zusammenfassung getrennt ermittelter Teile ganzheitlicher Leistungen diese nur in der Tendenz näherungsweise und damit unvollständig widerspiegeln.

Erinnert sei in diesem Zusammenhang an eine Zahl von Modellvorstellungen, insbesondere zum Fähigkeitssystem, die aus der Sicht des Ganzen mehr auseinanderdriften als Integration zu leisten. Zu begrüßen sind daher empirische Befunde, die die Anteile von Wechselwirkungen determinierender Komponenten motorischer Leistungsfähigkeit aufdecken und spezifizieren. (BÖS-MECHLING, 1983)

Aus der Sicht der Kausalität des Ganzen und seiner Teile kann abgeleitet werden, dass das Ganze aus sich bedingenden Teilen besteht. Dabei treten sowohl Erscheinungen einer relativen Unabhängigkeit und Konstanz gegenüber den Teilen, als auch umgekehrt deren Beeinflussung auf. Beispielweise sind sportliche Leistungen durch die Möglichkeiten aktueller Leistungsfähigkeit als Ganzheit determiniert. Einen Ansatz von HIRTZ-HUMMEL (1990) folgend, weist sich Leistungsfähigkeit durch die Teile **Kondition**, **Koordination**, Kognition und Emotion/Motivation aus.

Für den Leistungsaufbau von Sportlern ist daher von Interesse, wie die "Systemsgenese" der Leistungsfähigkeit sowohl individual- als auch gruppenspezifisch verläuft. Aus der Sicht der Leistung hat der Ausprägungsgrad der Teile **Kondition** und **Koordination** sowie das Niveau der Beziehungen zwischen den Teilen einen besonderen Stellenwert, da die Steuerbarkeit der Bewegung nur in Einheit informationeller und energetischer Prozesse möglich ist. Die schwimmerische Leistung wird maßgeblich durch die Leistungsfaktoren "Kondition" sowie "Technik / Koordination" mitbestimmt.

Als Parameter der "Kondition" dient das Verhältnis zwischen der aufgewandeten und der theoretischen Leistung, das anhand der Schwimmergometrie im Schwimmkanal ermittelt werden kann.

Als Parameter der "Technik / Koordination" kommt ein Dimensionsmaß\* zur Anwendung, das die intrazyklischen Geschwindigkeitsschwankungen von Schwimmerinnen und Schwimmern quantifiziert.

Beide Parameter ergänzen sich sinnfälligerweise, da sie in Bezug aufeinander die notwendigen Referenzwerte liefern. (BLASER, STUCKE, WITTE, 1997)

Die schwimmerische Leistung wird durch Leistungsfaktoren bestimmt, die untereinander vernetzt sind und deren ganzheitliche Wechselwirkungen mit Hilfe der Theorien der Selbstorganisation beschrieben werden können. (BLASER, 1994)

Die Leistungsgenese entwickelt sich ausschließlich aus der inneren Dynamik des Systems. Sie ist ständigen qualitativen Sprüngen unterworfen, die sich infolge quantitativer Anreicherungen sowohl in Bezug auf die Leistungsfaktoren als auch durch die Wechselwirkungen zwischen den Faktoren ergeben. Qualitative Sprünge bedeuten hierbei Zustände neuer Geordnetheit. Die quantitativen Anreicherungen gehen mit Ungeordnetheit einher. (BLASER-NIKLAS, 1998)

Aus der Sicht eines trainingswissenschaftlichen Anspruchs haben in Bezug auf das Sportschwimmen der konditionelle und der technisch-koordinative Faktor bestimmenden Einfluss auf die schwimmerische Leistung. Parameter beider Faktoren können als Systemrepräsentanten herangezogen werden.

In Abgrenzung zu anderen, auch in Gegenstromanlagen (Leipzig, Berlin, Hamburg) durchgeführten Untersuchungen/Testverfahren enthält das Projekt in

---

\* Dimensionsmaße sind Werkzeuge der Physik der nichtlinearen Dynamik. Diese Richtung der Physik verfügt über quantitative Möglichkeiten zur Beschreibung des Systemverhaltens mit Hilfe von Attraktormerkmalen, die in Bezug auf die Bewegung des Sportlers durchaus geeignet erscheinen, koordinative Besonderheiten aus der Sicht von Stabilität und Variabilität der Bewegung aufzuklären. BLASER, et. al. 2000

Magdeburg Messverfahren der Dynamik bzw. Ergometrie, d.h. Leistungsmessungen im Sinne der Mechanik und das zeitgleiche Erfassen von intrazyklischen räumlichen und zeitlichen Verläufen kinematischer Parameter.

Entscheidend für einen adäquaten Einsatz der Laktatkonzentrationsbestimmung im Blut innerhalb der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik ist die richtige Wahl des Belastungsprofils. (COEN, 1997)

Weit verbreitet sind solche Prüfprofile, die auf stufenförmig ansteigenden Belastungen unter Einschluss einer maximalen Stufe beruhen. Sie werden als Stufentest bezeichnet. Das Sportschwimmen selbst wird zu den trainingsintensiven Ausdauersportarten gezählt, in denen die Leistungsfähigkeit des Stoffwechsels die sportliche Leistung in hohem Maße mitbestimmt. Direkt messbar ist die aerobe Stoffwechselleistung über die O<sub>2</sub>-Aufnahme während des Schwimmens. Der anaerobe Anteil der Energiebereitstellung ist dagegen nur indirekt bestimmbar, z.B. über die Bestimmung der Laktatkonzentration im Ohrkapillarblut vor und nach der Schwimmbelastung.

Bei der Konzipierung von Stufentests wird vom prinzipiellen Zusammenhang zwischen der Laktatkonzentration im Blut und der Intensität der Belastung ausgegangen.

Dabei kann die Belastung sportartspezifisch, semi- bzw. unspezifisch durch unterschiedliche Intensitäten für die einzelnen Stufen vorgegeben und durch verschieden lange Pausen unterbrochen werden (der Stufentest auf dem Fahrradergometer wird stufenförmig steigend z.B. ohne Pausen gestaltet). (SIMON, 1978)

Bei spezifischen Stufentests wird als Belastungsintensität im Wesentlichen die Geschwindigkeit über eine konstante Streckenlänge verwendet, die mehrfach – meist auch mehrmals für eine Stufe – absolviert wird. Beispiele hier für sind der 100m, 200m und 400m Stufentest im Schwimmen. Die Stufendauer wird so gestaltet, dass sich das Laktatniveau jeweils der höheren Intensität anpassen kann und der Test als Ausbelastungstest durchgeführt wird. (PANSOLD, 1984)

Mit Hilfe des vorgestellten Verfahrens ist es möglich, eingesetzte Mittel und Methoden der Trainingssteuerung innerhalb der Periodisierung auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen, eine verbesserte KLD im Sportschwimmen dem DSV und dem ägyptischen Schwimmverband anzubieten und für die Trainingsgestaltung im Mikro-, Meso- und Makrozylus zu nutzen.

### 1.3 Wissenschaftliche Fragestellung und Hypothesen

#### - Allgemeine Fragestellung

Aus dem Problemkreisen und theoretischen Überlegungen abgeleitet, wird der Arbeit folgende allgemeine Frage vorangestellt:

- Welche Aussagen ermöglichen neue komplexe Messplätze (*NIKLAS, BLASER, ACKERMANN*), um das Zusammenwirken zwischen den Komponenten Kondition und Koordination bei unterschiedlichen psychophysischen Beanspruchungen widerzuspiegeln / aufzuhellen?

#### - Spezielle Fragestellung und Hypothesen

#### - Spezielle Fragestellung

Für die Untersuchungen ergeben sich folgende spezielle Fragestellung:

1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Komponenten Kondition und Koordination in unterschiedlichen Beanspruchungen bei Leistungssportlern im Sportschwimmen?

#### - Hypothesen

Konditionelle und koordinative Aspekte einer Bewegung stehen in einem Wechselverhältnis.

In Abhängigkeit vom jeweiligen Trainingszustand und der damit einhergehenden Beanspruchungstoleranz des Schwimmers in spezifischen Belastungssituationen ergeben sich entsprechende Konsequenzen für die Bewegungskoordination.

Bei relativ geringen Beanspruchungen (z.B. langsames Schwimmen) entstehen andere koordinative Strukturen als beispielsweise beim Schwimmen in mittleren, submaximalen und maximalen Beanspruchungen.

Aus der Sicht der Schema-Theorie nach *SCHMIDT(1988)* benutzt der Schwimmer während des "langsamen" Schwimmens ein anderes Bewegungsprogramm als beim Schwimmen in höheren Intensitätsbereichen. (*ROTH, 1989*)

Folglich verändern sich mit steigender Belastung nicht nur die variablen Größen eines Bewegungsprogramms, sondern die relationale Konstanz wird zeitweilig aufgehoben. Es besteht die Möglichkeit eines "Programmwechsels" mit neuen

“Dimensionen” der Invarianten Sequencing, relatives Timing, relative Kräfteinsätze.

Wie oft und zu welchem Zeitpunkt “Programmwechsel” erfolgen, ist abhängig vom Trainings- und Lernstand des Sportlers und ggf. von den eingesetzten Trainingsmethoden.

Der “Programmwechsel” lässt sich durch eine Reihe von Indikatoren bestimmen. In Abhängigkeit von ihrer Wertigkeit (invariable oder variable Parameter) in bezug zur Gesamtleistung könnten ggf. Programmwechsel abgelesen und prognostisch bestimmt werden.

2. Inwiefern ändert sich der Zusammenhang zwischen den Komponenten Koordination und Kondition während unterschiedlicher psychophysischer Beanspruchungen im Sportschwimmen?

### - **Hypothesen**

Sportliches Training führt infolge einer Adaptation an höhere Belastungen zu einem Umbau der spezifischen Leistungsstruktur, die sich auch in den Komponenten KOORDINATION und KONDITION und der Qualität des Zusammenhanges zwischen denselben abbildet. In bezug auf die Komponente KONDITION nimmt im Vergleich zwischen den Trainingsperioden bei gleicher Belastung die Laktatkonzentration im venösen Blut ab.

In bezug auf die Komponente KOORDINATION kommt es zu extra- und intrazyklischen Veränderungen der Bewegungsstruktur. Mit Hilfe der Dimensionsmaße und anderer synchron erfasster Indikatoren ist es möglich, dass Systemniveau darzustellen bzw. eine Prognose vorzunehmen.

## 2.0 Relevante Theorieposition der Leistungsdiagnostik

Leistungsdiagnostik ist als ein Kernstück der Trainingssteuerung zu bezeichnen. Leistungsdiagnostische Maßnahmen haben in der Sportwissenschaft entscheidend dazu beigetragen, das Leistungsprofil der Sportarten aufzuhellen. Mit ihrer Hilfe wird die Ist- Zustandanalyse vorgenommen, die zu Konsequenzen in der weiteren Planung des sportlichen Trainings führt.

Im Wesentlichen werden nach *MARTIN (1982)* fünf Typen der Leistungsdiagnostik unterschieden:

1. Sportmotorische Leistungsdiagnostik
2. Biomechanische Leistungsdiagnostik
3. Sportmedizinische Leistungsdiagnostik
4. Standardisierte Wettkampfbeobachtung
5. Psychologische Leistungsdiagnostik

Mit Hilfe dieser einzelnen Verfahren soll vor allem der momentane Leistungszustand und /oder in Teilbereichen bestimmt werden.

Weiter können mit leistungsdiagnostisch gewonnenen Daten Leistungsnormen (z. B. Höhe der  $\dot{V}O_2$  bei geg. Belastung) erstellt werden, die zur Sollwert-Bildung dienen.

Primäre Funktion ist aber die Bestimmung des momentanen Leistungs- und Trainingszustand als Ausgangspunkt für den Steuerungsprozess. Der Einsatz der Leistungsdiagnostik soll dem Sportler eine zielgerichtete Leistungsentwicklung ermöglichen, Fehler im Einsatz von Trainingsinhalten erkennbar machen und eine sichere Korrektur falscher Trainingsplanung und Gestaltung gewährleisten

## 2.1 Komplexe Leistungsdiagnostik

Grundlage und Ausgangspunkt einer hochqualifizierten Trainingssteuerung ist die komplexe Leistungsdiagnostik.

Diese folgt trainingsmethodischen, medizinischen, physiologischen, biochemischen, biomechanischen, anthropometrischen, psychologischen u. a. Leitlinien. Sie prüft alle stichhaltigen Einflüsse auf die Leistungsentwicklung.

Das gewählte Diagnostikprofil hängt einmal von den gegebenen materiell-technischen Voraussetzungen ab, es wird aber maßgeblich bestimmt durch die Untersuchungsabsicht.

Im Leistungssport bestimmt die Sportart das untersuchungsmethodische Vorgehen; für einen Sprinter sind andere Versuchsversionen aktuell, ein Langstreckenläufer, ein Turner benötigt andere Tests als ein Schwimmer. (*BADTKE-ISRAEL, 1999*)

Die Leistungsdiagnostik ist ein weit gefächerter Untersuchungskomplex, der auf fachspezifischen Untersuchungsstrategien aufbaut. Entsprechend der Definition wird darunter eine Untersuchung auf Belastungsgeräten (Ergometern) verstanden, die mit gleichzeitiger Erfassung biologischer Messgrößen kombiniert wird. Die Belastung umfasst alle motorischen Hauptbeanspruchungsformen: Ausdauer, Kraft, Koordination und Schnelligkeit. (*NEUMANN, 2000*)

Für die Überprüfung dieser konditionellen Fähigkeiten hat jede Sportart oder Disziplin eigene Vorstellungen entwickelt. Inzwischen besteht Einigkeit darüber, dass im Leistungssport die sportartspezifische oder semispezifische Belastungsprüfung zu bevorzugen ist. Die Sportwissenschaften und die Sportmedizin im Spitzensport waren die innovativen Kräfte, die zur Weiterentwicklung der sportartspezifischen Ergometrie anregten. Da durch die Prüfung einer sportartspezifischen Fähigkeit (z.B. Ausdauerfähigkeit, Kraftausdauerfähigkeit, sportartspezifische Koordinationsfähigkeit) nicht die Gesamtheit der Leistungsvoraussetzungen beurteilt werden kann, wurden die Testbatterien ständig erweitert. (*NEUMANN-SCHÜLER, 1994*)

Nach Irrtümern in der diagnostischen Fähigkeitserfassung, besonders in ihrer Bedeutung für die Wettkampfleistung, haben sich schließlich die Tests behauptet, deren Ergebnisse in Beziehung zur Wettkampfleistung gesichert werden konnten. Sie stellen aus diagnostischer Sicht zugleich wichtige Komponenten der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit dar und haben im Training eine Vorrangstellung.

Die biologischen Beanspruchungen einer Wettkampfleistung dienen als Maßstab für die Belastung in den einzelnen Trainingsbereichen z.B im Schwimmen. Der Energieaufwand bei Trainingsbelastungen mit geringerer Intensität (Geschwindigkeit) verschiebt sich mehr auf die aerobe Seite. (NEUMANN, 2000) Dieses Verhalten im Stoffwechsel wird noch dadurch verstärkt, dass die Dauer der Trainingsbelastung (Trainingsstreckenlänge) in den Kurz- und Mittelzeitausdauerdisziplinen ein Vielfaches der Wettkampfdauer bzw., Wettkampfstreckenlänge beträgt. (Tab.1)

Tab.1: Beanspruchung von Funktionssystemen bei Ausdauerbelastungen verändert nach NEUMANN (1991)

| Funktion-Größen          | Messgrößen             | KZA<br>35s-2(min) | MZA<br>>2-10(min) | LZA 1<br>>10-35(min) | LZA 2<br>>35-90(min) | LZA 3<br>>90-360(min) | LZA 4<br>>360 (min) |
|--------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| Herzkreis-Lauf           | Hf. Schl./min          | 185-200           | 190-210           | 180-190              | 175-190              | 150-180               | 120-170             |
| VO <sub>2</sub> Aufnahme | %-VO <sub>2</sub> Max. | 100               | 95-100            | 90-95                | 80-95                | 60-90                 | 50-60               |
| Energie-Wandlung         | %-Anteil<br>aerob      | 20                | 60                | 70                   | 80                   | 95                    | 99                  |
|                          | anaerob                | 80                | 40                | 30                   | 20                   | 5                     | 1                   |
| Energie-Verbrauch        | Kj/min                 | 250               | 190               | 120                  | 150                  |                       |                     |
|                          | Kj Ges.                | 380-460           | 460-1680          | 1680-3150            | 3150-9660            | 9660-27000            | >27000              |
| Glycogen-Abbau           | %-Muskel glycogen      | 10                | 30                | 40                   | 60                   | 80                    | 95                  |
| Lipolyse                 | FFS (mmol/l)           | 0,50              | 0,50              | 0,80                 | 1,0                  | 2,0                   | 2,5                 |
| Glycolyse                | Laktat (mmol/l)        | 18                | 20                | 14                   | 8                    | 4                     | 2                   |

KZA = Kurzzeitausdauer    MZA= Mittelzeitausdauer    LZA = Langzeitausdauer

In den kurzen Zeiträumen der Wettkampfbelastung werden zur Sicherung höchster Renngeschwindigkeit ausschließlich lokale Energiespeicher in der sportartspezifisch belasteten Muskulatur eingesetzt.

Diese lokalen Energiespeicher sind das ATP (Adenosintriphosphat), das Kreatinphosphat und das Muskelglykogen. (BADTKE, 1999)

Eine hohe Bewegungsgeschwindigkeit über einen Zeitraum von 35 Sekunden bis 2 Minuten aufrecht zu erhalten, kennzeichnet die KZA.

Das Niveau von Schnelligkeit und Kraft spielt bei dieser Ausdauerart eine erhebliche Rolle.

Hohe Motivation und optimales Zentralnervales Aktivierungsniveau (dazu Mobilisation von Stresshormonen) sind Voraussetzungen für gute KZA-Leistung.

Nach KZA-Belastungen werden im Blut Laktatwerte von 16 bis 18 mmol/l zwischen der 3. und 10. Minute der Erholung erreicht. (NEUMANN, 2000)

Die Funktionsbreite des Herzes-Kreislauf-Systems wird kurzzeitig nahezu ausgeschöpft. (NEUMANN, 2000)

Es werden ausschließlich in der Muskelzelle vorhandene Energieträger (Phosphagene, Glykogen) energetisch genutzt.

Der aerobe Energiestoffwechsel wird bereits in die Absicherung der Leistung einbezogen.

Die zentrale Kreislauffunktion kommt in diesem Zeitbereich, beurteilt an den gemessenen Werten der Herzschlagfrequenz (Hf.), noch nicht zur vollen Beanspruchung.

Hingegen ist die periphere Kreislauffunktion in den KZA-Disziplinen von besonderer Bedeutung, da sie den Abtransport von Stoffwechselschlacken (Laktat) beeinflussen kann. (SIMON, KEUL, 1978)

Deshalb muss bereits vor Beginn von Kurzzeitbelastungen die Durchblutung in den sportartspezifisch beanspruchten Muskelgruppen voll angeregt sein, damit es nicht durch einen "Kaltstart" zu einem vorzeitigen Anstau von Laktat in der Muskulatur kommt. (BADTKE, 1999)

Als Ausdruck der Mobilisationsfähigkeit des anaeroben Stoffwechsels durch den Sportler kann im Blut eine erhöhte Laktatkonzentration nachgewiesen werden, die nach Kurzzeitbelastungen erst einen bestimmten Erholungszeitraum erfordert. (NEUMANN, 2000)

Besonderes Trainingsziel in den Kurzzeit-Disziplinen ist die Erhöhung der Speicher für die alaktazide Energiewandlung (Kreatinphosphat) und die Erhöhung der Laktatbildungsgeschwindigkeit (erhöhter glykolytischer

Energiedurchsatz aus Glykogen bzw. Glukose). Das Vertragen hoher Säuerungen (Laktatverträglichkeit) wird durch ein hohes Niveau der aeroben Leistungsfähigkeit und die bereits erwähnte gut entwickelte lokale Muskeldurchblutung ermöglicht. Das Training eines hohen anaeroben Energiedurchsatzes kann nur durch höchste motorische Beanspruchungen (hohe sportartspezifische Bewegungsfrequenz) erfolgen.

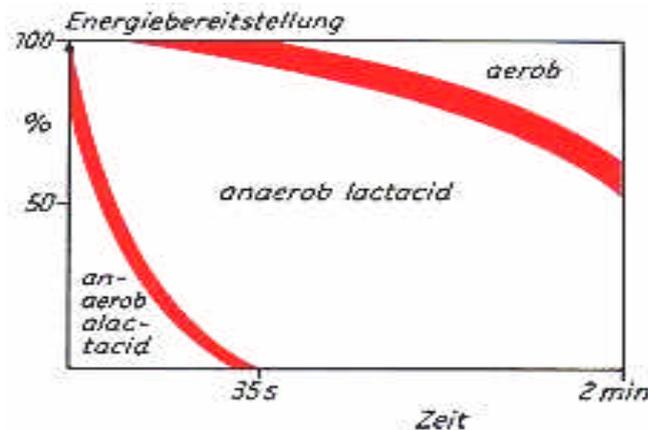


Abb.1 Anteil der einzelnen Formen der Energiebereitstellung bei unterschiedlicher Belastungsdauer. Nach *BADTKE (1999)*

Über zellbiologische Leistungsgrundlagen weist der Sportler in den KZA-Disziplinen eine große Variation in der Verteilung der schnell und langsam kontrahierenden Muskelfasern auf, obgleich hohen Anteil von schnell kontrahierenden Fasern (FT-Fasern) für hohe Leistung in diesem Zeitgleich vorteilhaft sind. (*PANSOLD, 1984*)

Offensichtlich besteht ein Zusammenhang zwischen der Frequenz der sportartspezifischen Bewegungszyklen und der Anteiligkeit schneller Fasern. (Abb. 2).

Die individuelle Anlage (Anteiligkeit) der Fasern verändert sich durch das Training nicht, jedoch passen sich die Stoffwechselprozesse in diesen Fasern an die Trainingsanforderungen an. (*STEGEMANN, 1984*)

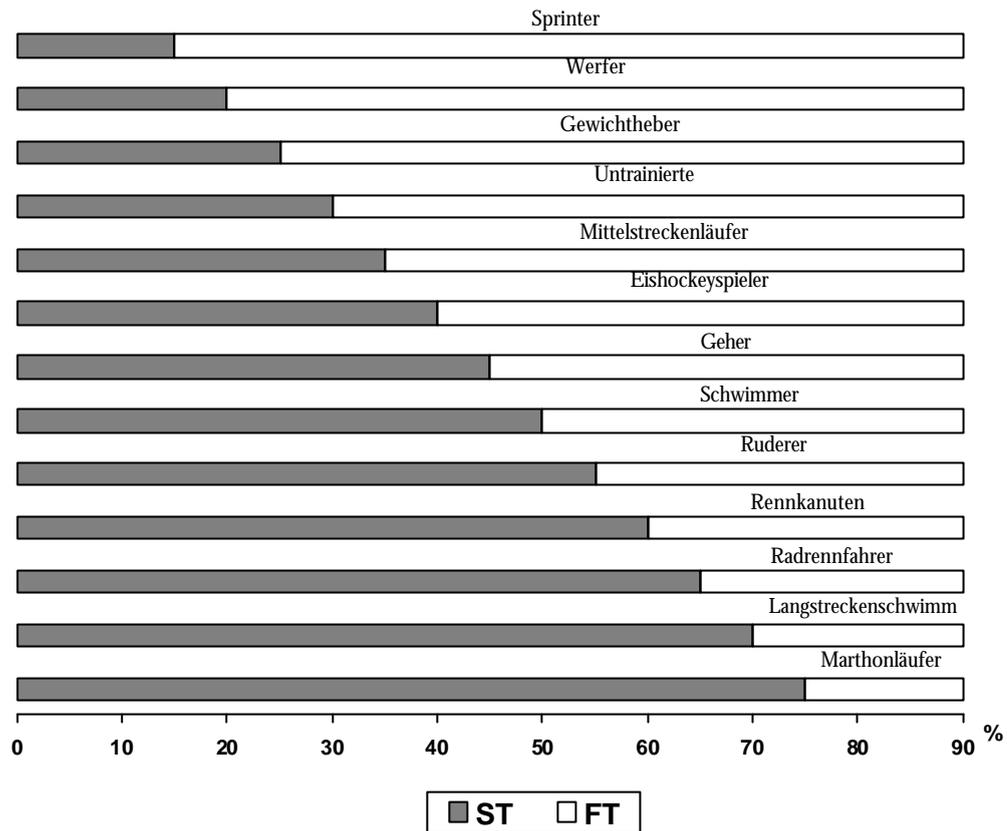


Abb. 2 Schematische Darstellung des Zusammenhangs Faserverteilung und Sportart. Nach *BADTKE (1999)*

Für KZA-Leistungen ist die Ausprägung der glykolytischen Stoffwechselleistung vorteilhaft, zumal diesem den FT-Fasern anlagebedingt besser entwickelbar ist, Sportler mit hohen Anteilen FT-Fasern weisen meist eine höhere neuromuskuläre Beweglichkeit (schnelle Sportler) als jene mit hohen Anteilen langsam kontrahierender Fasern (ST-Fasern) (langsame Sportler). Erfolgreiche Sportler haben dickere schnelle Fasern, d. h. die Fläche der FT-Fasern ist im Verhältnis zu den ST-Fasern etwa 30% größer (Trainingsanpassung). (*NEUMANN, 1991*) (Abb.2)

Abb.1 zeigt eine schematische Darstellung eines gut trainierten Sportlers. Je nach Dauer der Belastung liegt der Anteil des anaeroben Energiestoffwechsels zwischen 60 und 90 Prozent. Es kommt zu maximalen Laktatkumulationen in der Zelle und nachfolgend auch im Blut. Beide Muskelfasertypen sind in die Bewegungsleistung einbezogen. Bei Leistungssportlern übersteigt der Energieverbrauch  $4000 \text{ J} \cdot \text{S}^{-1}$  (*PAHLKE, BADTKE, 1999*).

Die Mittelzeitausdauer beinhaltet Wettkampfbelastungen von 2 bis 10 min Dauer. Der Energiebedarf für Mittelzeitbelastungen wird hauptsächlich aus lokalen Energiequellen (Muskelglykogen und energiereiche Phosphate) abgedeckt. Jedoch ist die zusätzliche Verbrennung von Glykose, die aus dem Leberglykogen stammt, wahrscheinlich. (NEUMANN, 1984)

Während der Mittelzeitausdauer beträgt der Gesamtenergieumsatz 550 bis 1700 kJ (130 bis 400 kcal.) und in der Zeiteinheit beträgt der Energieumsatz 160 bis 260 kJ/min (35 bis 60 kcal./min). Im Bereich der Mittelzeitbelastungen befindet sich eine Übergangszone der Energiewandlung, d. h. für den anaeroben und aeroben Anteil der Energiegewinnung können jeweils 50 % beansprucht werden. (NEUMANN, 2000)

Aus der Sicht der Energiewandlung dominiert zwischen Belastungen von 2 bis 4 min Dauer der anaerobe Anteil der Energiewandlung mit etwa 70 %, während bei 7 bis 10 min Belastung dieser nur noch 40% beträgt. (HOLMÉR, 1972)

Diese Erkenntnisse aus energischer Sicht können einen maßgeblichen Einfluss auf Trainingsgrundkonzepte ausüben, weil es in diesem Mittelzeitbereich durchaus möglich ist, die Leistung mit höheren aeroben und auch höheren anaeroben Anteilen aufzubauen.

Die Leistung des alaktaziden Stoffwechsels ist gesamtenergetisch der glykolytischen und aeroben Form der Energiewandlung untergeordnet. Jedoch ist das Niveau der alaktaziden Energiegewinnung für die Startphasen von größerer Wichtigkeit, da es für eine Leistung von etwa 15 min ausgelegt sein muss. Hinzu kommt die alaktazide Energiewandlung bei Zwischen- und Endspurtsituationen.

Das Herz-Kreislauf-System wird auf höchstem Funktionsniveau beansprucht, dies betrifft sowohl die zentrale Förderleistung als auch die Durchblutung in der spezifisch belasteten Muskulatur. Letztere ist für den raschen Abtransport der sauren Stoffwechselprodukte bedeutsam, da bei Mittelzeitbelastungen die absolut höchsten Laktatkonzentrationen im Muskel entstehen (über 24 mmol/l). Die maximale O<sub>2</sub> Aufnahme, die meist höher als bei Sportlern in den KZA-Disziplinen ist, wird bei ihrer verzögerten funktionellen Verfügbarkeit über die gesamte Wettkampfzeit voll eingesetzt. (BADTKE, 1999)

Allerdings reicht die so gebildete Energie vor allem bei intensiver Belastung nicht aus, um den Bedarf der Skelettmuskelzelle zu decken. Eine zunehmende Entleerung des ATP-Pools ist die Folge, sobald eine Regeneration des ATP wegen Erschöpfung des Kreatinphosphatvorrats nicht mehr möglich ist. (PANSOLD, 1993)

Ohne aerobe Stoffwechselleistung ist daher eine längere intensive Arbeit auch der Skelettmuskel nicht denkbar.

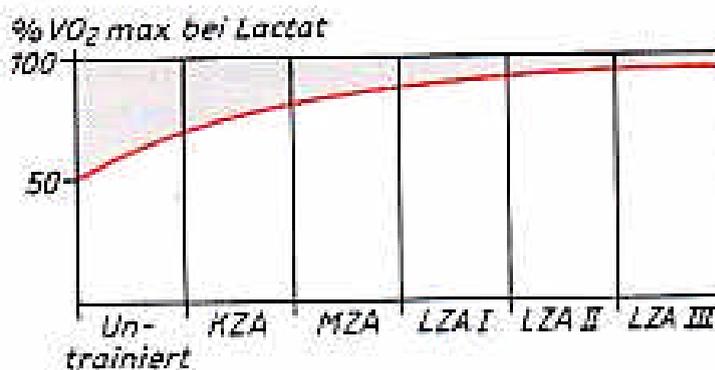


Abb.3 Schematische Darstellung der prozentualen Inanspruchnahme der  $\dot{V}O_2$  max. beim Laktatwert  $3 \text{ mmol}^{-1}$  bei Untrainierten und Ausdauersportlern (Kurz-, Mittel-, und Langzeitausdauer) nach NEUMANN (1984)

Annähernd gleichmäßig hohe Bewegungsgeschwindigkeit unter Nutzung von Bewegungstereotypen (Ökonomie) in einer Zeit von 10 Minuten bis zu Stunden kennzeichnen die LZA (Langzeitausdauer).

ST-Muskelfasern sind die Leistungsträger. Die energetische Absicherung erfolgt weitgehend aerob. In der Zelle (Mitochondrienzahl und -größe) und in der Umgebung der Zelle (Kapillarisation) kommt es zu markanten Veränderungen. Die aerobe Energiebereitstellung und -wandlung dominiert.

Das Herz-Kreislauf-System wird dauerhaft stark, jedoch hinsichtlich seiner Funktionsamplitude nicht mehr maximal beansprucht.

70 bis 80 Prozent der notwendigen Energie werden über den aeroben Stoffwechselweg erbracht. Die Einbeziehung des anaeroben Stoffwechsels führt zu Laktatkonzentrationen-Muskelglykogen und in geringem Umfang Leberglykogen. (BADTKE, 1999)

### 2.1.1 Biochemische Funktionsdiagnostik

Gegenstand der Biochemie sind der Ablauf und die Regulation des Stoffwechsels, d.h. jener chemischen Umwandlungen, die allen physiologischen Funktionen des Organismus in seiner Anpassung an die sich ändernden Existenzbedingungen zugrunde liegen.

Der Stoffwechsel stellt ein ganzheitliches, in komplizierter Weise integriertes System dar, das beim Fehlen eines seiner Elemente ständig dem Gesamtsystem unterworfen ist.

Die Einzelreaktionen des Stoffwechsels sind zu streng geordneten Stoffwechselzyklen vereinigt, zwischen denen weitgehende Abhängigkeiten bestehen. (*HOLMÉR, 1979*)

Der Ursache hierfür liegt in der Strukturiertheit der Stoffwechselprozesse und in ihrem engen Zusammenhang mit den übermolekularen subzellulären Strukturen, d. h. aber mit der streng fixierten räumlichen Anordnung der Enzyme und Koenzyme, welche die verschiedenen Multienzymsysteme bilden. Diese Multienzymsysteme befinden sich auf den Protein-Lipid-Membranen, die 50 bis 80 % der lebenden Zellmasse ausmachen.

Die Selbstregulationsänderungen der Stoffwechselzyklen erfolgt sowohl durch Konformationsänderungen der eigentlichen Enzymmoleküle\* als auch ihrer strukturellen Träger bzw. durch Konzentrationsänderungen der Substrate der einzelnen Reaktionen und der sich bei diesen Reaktionen bildenden Produkte. (*BADTKE, 1999*)

Die subzellulären Multienzymsysteme ihrerseits werden in der Zelle zu einer neuen strukturell und räumlich geordneten Ganzheit integriert usw.

Derjenige Teil, der in eine neue, komplizierter Einheit eingeht, verliert einen gewissen Teil seiner Eigenschaft, die er gleichsam um der neuen Vorteile willen opfert.

Die Eigenschaften des Teils werden in der einen oder anderen Form in Eigenschaften des Ganzen aufgenommen. Dabei sind die neu erworbenen Eigenschaften des Ganzen nicht mit dem identisch, was der betreffende

---

\* Kleinste Einheit einer Substanz, bestehend aus 2 oder mehr miteinander verbundenen Atomen. (*KENT, 1996*)

Bestandteil eingebüßt hat, sondern sie werden durch die Verbindungen bestimmt, die bei der Einbeziehung des Teils in das Ganze entstanden sind. (*HARALAMBI, 1982*)

Somit finden wir im Organismus eine hierarchische Stufenfolge spezieller Ganzheiten, die in immer komplizierten Ganzheiten integriert sind. In vereinfachter Form kann man sich das als den Weg vom Molekül zu den übermolekularen Komplexen und von ihnen zu den Zellorganellen, zur Zelle, zum Gewebe oder Organ, zum funktionellen System und schließlich zum Organismus vorstellen. (*JAKOWLEW, 1977*)

### **2.1.1.1 Biochemische Veränderungen im Blut bei Muskeltätigkeit**

Aufgrund der allumfassenden nervalen und humoralen Zusammenhänge im Organismus und der Ganzheitlichkeit seiner Reaktion bei den Wechselwirkungen mit der Umwelt treten bei der Muskeltätigkeit biochemische Veränderungen nicht nur in den Muskeln, sondern auch im Blut, in den inneren Organen und im Gehirn auf.

Zu den biochemischen Veränderungen im Blut, die mit der Mobilisierung der Energiequellen zusammenhängen, gehören die Konzentrationsänderungen der Glukose, der Lipide (Glyzeride und Phosphatide) sowie der Lipidmetabolite (freie Fettsäuren und Ketonkörper). (*HARALAMBI, 1982*)

Die bei der Muskeltätigkeit auftretende Aktivitätszunahme der Phosphorylase und Glukose-6-phosphatase in der Leber führt zu Glykogenspaltung und Glukose-1-phosphat- Bildung, das rasch in Glukose-6-phosphat umgewandelt wird.

Der größte Teil des letzteren wird durch Glukose-6-phosphatase in anorganisches Phosphat und Glukose gespalten und in das Blut abgegeben. Der geringere Teil des Glukose-6-phosphats findet durch Oxydation im Pentosephosphatzyklus oder durch glykolytischen Abbau bis zu Pyruvat für die Sicherung des Energiebedarfs in der Leber selbst Verwendung. (*HOLMÉR, 1979*)

Laktat wird in der Leber praktisch nicht gebildet; die Leber nimmt ständig Laktat aus dem Blut auf, gibt aber kein Laktat ab. (*NEUMANN, 2001*)

Die Blutzuckerkonzentration bei Muskeltätigkeit wird durch zwei entgegengesetzt gerichtete Faktoren bestimmt: durch den Übergang von Glukose aus der Leber ins Blut und durch die Glukoseentnahme aus dem Blut durch die arbeitenden Muskeln. (*PANSOLD, 1993*)

Die sich im Laufe des Trainings vollziehende biochemische Adaptation des Organismus an die Muskeltätigkeit beschränkt sich natürlich nicht nur auf das Muskelsystem, sondern breitet sich auf alle Funktionssysteme aus, die mit der Sicherung der motorischen Tätigkeit in Zusammenhang stehen. (*JAKOWOLEW, 1977*)

Die adaptiven Veränderungen in den chemischen Prozessen dieser Systeme und Organe haben die gleiche Genese wie die adaptiven Veränderungen in den Muskeln: Sie werden durch Prozesse in Gang gesetzt, die sich während der Muskeltätigkeit abspielen.

Verstärkt synthetisiert werden die Substanzen, die intensiv verbraucht werden, die Enzyme, die während der Muskelaktivität zerstört werden oder den Geweben verloren gehen, sowie diejenigen, die dabei einen durch die Induktion ihrer Synthese hervorgerufenen verstärkten Substratzufluss erfahren. (*HARALAMBI, 1982*)

Die chemische Zusammensetzung des Blutes weist beim trainierten Organismus praktisch keine Unterschiede gegenüber dem untrainierten auf. (*PADILLA, 2000*) Das ist auch verständlich, weil das Blut in erster Linie eine Transportfunktion erfüllt und seine chemische Zusammensetzung bei Muskeltätigkeit sich aufgrund von Veränderungen der biochemischen Prozesse in anderen Geweben ändert. Trotzdem findet man in der Literatur Angaben, dass sich unter dem Einfluss des Trainings Hämoglobinmenge und Erythrozytenzahl vermehren und die Katalyseaktivität des Blutes erhöht. (*BADTKE, 1999*)

Es gibt jedoch auch zahlreiche andere Arbeiten, in denen nachgewiesen wird, dass sich die Parameter bei hochtrainierten Sportlern im Ruhezustand nicht von denen bei untrainierten Personen unterscheiden. Dafür sprechen auch Trainingsexperimente mit Tieren. (*HARALAMBI, 1982, NEUMANN, 2000, PADILLA, 2000*)

Bis in die jüngste Zeit hinein wurde angenommen, dass sich unter dem Einfluss des Trainings die Laktatverträglichkeit des Blutes erhöht. Dies wurde durch Beobachtungen zahlreicher Autoren bestätigt. (*SIMON-KEUL, 1978, COEN, 1997, NEUMANN, 2000*)

Doch haben Untersuchungen, die in den letzten Jahren an einer großen Anzahl von Sportlern durchgeführt wurden, gezeigt, dass bei ihnen alle Parameter des Säure-Basen-Status unabhängig vom Trainingszustand innerhalb der Grenzen der Normwerte liegen.

Die Ursachen für diese divergierenden Auffassungen sind in den Nachwirkungen der vorangegangenen körperlichen Belastungen zu suchen.

Bei hochtrainierten Personen weisen der Parameter des Säure-Basen- Status bei Muskeltätigkeit geringere Veränderungen auf und kehren rascher wieder zur Norm zurück.

Bei untrainierten Personen dagegen kann die Normalisierung dieser Werte sehr lange Zeit in Anspruch nehmen. Dadurch entsteht der Eindruck, dass die Alkalireserve im Blut hochtrainierter Sportler erhöht ist. (*JAKOWLEW, 1977*)

#### **2.1.1.2 Biochemische Veränderungen im Muskel unter dem Einfluss des Trainings**

Die biochemischen Veränderungen, die sich unter dem Einfluss systematischen Übens in den Muskeln abspielen, betreffen ihr kontraktiles Substrat und die biochemischen Mobilisationsmechanismen, die Ausnutzung und die Wiederherstellung der Energiequellen.

Sie sind wichtige Komponenten, die das Auftreten einer großen Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer bei der Muskeltätigkeit sichern. (*HARALAMBI, 1982*)

Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts stellte man fest, dass Krafttraining zur Zunahme der Trockensubstanz in den Muskeln führt.

Dies ist auf die Zunahme des Gehalts an Strukturproteinen, und zwar in erster Linie an Myosin und Aktomyosin, zurückzuführen, die das Substrat der Muskelkontraktion und das Enzym darstellen, das die chemische Energie des ATP in die Mechanische Energie der Muskelkontraktion umwandelt. (*FRENTSOS, 1997*)

Eine Reihe von Autoren stellte in Übereinstimmung damit auch eine Zunahme der Anzahl der Myofibrillen in den Muskelfasern fest. (*BADTKE, 1999- KLINKE, 2000*)

Durch all dies werden die Voraussetzungen für die Mobilisierung der Energie des ATP bei der Muskelkontraktion verbessert.

Tatsächlich nimmt die ATPase-Aktivität des Muskels –berechnet auf die Gewichtseinheit- Muskel zu. (*PANSOLD, 1993*)

Doch ist dies nur die Folge der Myosinvermehrung\* im Muskel und kein Anzeichen für eine Zunahme seiner Enzymeigenschaften; denn wenn man den ATPase-Gehalt nicht auf den Gesamtmuskel, sondern auf die Gewichtseinheit bezieht, weist diese unter dem Einfluss des Trainings keine Änderungen auf, so wie sich auch der Gehalt des Muskels an freien, mit ATP reagierenden Teilgruppen nicht verändert. (*BADTKE, 1999*)

Unter dem Einfluss des Trainings nimmt auch der Gehalt an Muskelproteinen etwas zu, was eine Verstärkung der mechanischen Komponente der Muskeler schlaffung zur Folge hat. Weiter vermehrt sich auch der Gehalt an sarkoplasmatischen Proteinen, die verschiedene Enzyme, insbesondere die Glykolyseenzyme, umfassen. Was die Elemente des sarkoplasmatischen Retikulums betrifft, so fand eine Reihe von Autoren unter dem Einfluss des Trainings keine Konzentrationszunahme. Doch wenn man die Zunahme der sarkoplasmatischen Proteine und die Hypertrophie der Muskelfasern berücksichtigt, sollte man annehmen, dass auch die absolute Menge der sarkotubulären Gebilde im trainierten Muskel zunimmt. (*BADTKE, 1999*)

Der Gehalt der Muskeln an Mitochondrienproteinen steigt im Verlaufe des Trainings an, Anzahl, Größe und optische Dichte der Mitochondrien nehmen zu. Die Vergrößerung der optischen Dichte hängt vermutlich mit der Zunahme der Anzahl der Kristae zusammen, in denen die Enzymkomplexe der Gewebsatmung und der mit ihr gekoppelten Phosphorylierung strukturell verankert sind. Diese Zunahme der verschiedenen Muskelproteine ist – wenn man sie auf das

---

\* Protein, das sich in den dicken Filamenten der Sarkomere befindet. (*KENT, 1996*)

Trockengewicht des Muskels bezieht – relativ gering, und sie beträgt – bezogen auf den Gesamtproteingehalt in den Muskeln untrainierter Tiere – nicht viel mehr als +5%. (*HARALAMBI, 1982*)

Doch führt systematisches Training zur Hypertrophie der Muskelfasern und zur Zunahme des spezifischen Gewichts der Muskeln. (*HARALAMBI, 1982*)

Wenn wir diesen Umstand berücksichtigen, können wir feststellen, dass das Training zu einer beträchtlichen Verstärkung der Muskelproteinsynthese führt und der Myosingehalt (und damit auch die potentiellen Möglichkeiten zur Mobilisierung der ATP-Energie) im Muskelsystem um 10 % und sogar mehr zunimmt.

Die ATP-Konzentration in den Muskeln weist ebenso wie die Konzentration aller Adennukleotide\* unter dem Einfluss des Trainings keine Veränderungen auf. Zugleich spricht die Zunahme des Muskelgewichts dafür, dass der absolute Gehalt an ATP im Muskelsystem ansteigt. (*NEUMANN, 2000*)

Dabei verläuft der Umsatz der Phosphatgruppen des ATP in den Muskeln des trainierten Organismus sowohl in Ruhe als auch bei Muskeltätigkeit intensiver.

Vor allem nimmt in den Muskeln unter dem Einfluss des Trainings die Kreatinphosphatkonzentration zu, und die Kreatinkinaseaktivität steigt an.

Außerdem führt die höhere Kreatinphosphatkonzentration (höher als bei untrainierten Tieren) auch zu einer Größeren Geschwindigkeit der Kreatinkinasereaktion nach der Seite der ADP-Phosphorylierung: Kreatinphosphat + ADP ? Kreatin + ATP. (*BADTKE, 1999*)

---

\* Nukleotid, das im ATP vorkommt, bestehend aus der Base Adenin und dem Monosaccharid Ribose. (*KENT, 1996*)

## 2.1.2 Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik

Die kardiopulmonale Funktionsdiagnostik ist die Fähigkeit von Herz und Lunge, unter körperlicher Belastung adäquate Mengen an Sauerstoff zur Arbeitmuskulatur zu transportieren.

Die kardiopulmonale Ausdauer ist besonders wichtig, um solche Belastungen möglichst lange durchführen zu können, die den Einsatz großer Muskelgruppen erfordern, wie Laufen, Radfahren oder Schwimmen.

Seit Ende des vergangenen Jahrhunderts wurden, vor allem in den USA, Leistungstests meist als Lauf oder Stufensteig-Test betrieben (Master-Harvard-Schneider-Test, Liane-Test), die die kardiopulmonale Funktionsdiagnostik stimmen.

In Deutschland wurde bereits von *SPECK* (1892) ein erstes Drehkurbel-Ergometer konstruiert.

Mit Erfindung des *DOUGLAS* (1911) -Sackes wurde es möglich, zumindest diskontinuierlich Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidabgabe zu messen.

Mit der Vorstellung des Spirografen von *KNIPPING*, (1924) und *BRAUER* (1940) schlägt die eigentliche Geburtsstunde der Ergospirometrie. Erstmals war es möglich, auch unter laufender Belastung die ergospirometrischen Messparameter kontinuierlich zu registrieren.

Einige wichtige Belastungsparameter wurden teilweise vorher schon definiert, so zum Beispiel die  $\dot{V}O_2\text{max}$ , welche von *HILL* (1922) bereits beschrieben wurde.

Die Erstbeschreibung einer Leistungsgrenze, jenseits welcher die Blutlaktatkonzentration ansteigt, erfolgt durch *DOUGLAS* (1930). Das Konzept der anaeroben Schwelle von *WASSERMAN* (1984) und zur Registrierung dieser Schwelle allein aus Atemparametern wurde erst 1964 aufgestellt.

### 2.1.2.1 Herzfrequenz bzw. Pulsfrequenz

Die Bestimmung der Herzfrequenz (Hf) gilt als Basismethode, um den Trainings- und Leistungszustand des kardio- zirkulatorischen Funktionssystems in Ruhe, unter definierten Belastungsbedingungen und in der Erholungsphase, zu charakterisieren.

Unter der Hf. versteht man die Anzahl der Herzschläge pro Minute, unter der Pulsfrequenz (Pf) die Pulschläge pro Minute.

Beim gesunden Menschen entspricht die Höhe der Pf. der Hf.

Die folgenden Methoden der Pf- bzw. Hf-Erfassung haben in der sportmedizinischen Funktionsdiagnostik praktische Bedeutung erlangt (*BADTKE, 1999*)

#### - **Palpatorische Hf- bzw. Pf-Ermittlung**

Bei sportlichen Belastungen lässt sich die Pf am schnellsten und sichersten durch Palpation der Halsschlagader (Arteria Carotis; Ca. 2 Querfinger seitlich vom Schildknorpel unmittelbar vor dem inneren Rand des Kopfwendermuskels) oder durch Palpation der Speichenarterie (Radiales; Ca. 2 cm oberhalb des Handgelenkes unmittelbar neben dem Speichenknorpelvorsprung kleinfingerwärts) ermitteln.

Sollte bei maximalen Belastungen infolge geringer Füllung der beiden Arterien das Fühlen der Pulswelle schwierig werden, kann durch Tasten des Herzspitzenstoßes im 5. Zwischenrippenraum links in der durch die Mitte des Schlüsselbeines gedachten Senkrechten das Zählen der Hf verlässliche Werte ergeben.

Die Palpation erfolgt mit dem 2., 3. oder 4. Finger, nicht mit dem Daumen.

Das Zählen wird über 15 Sekunden, bei Beherrschung der Methodik auch über 6 Sekunden durchgeführt. Die erhaltenen Werte werden auf jeweils auf 1 Minute umgerechnet. (*NEUMANN, SCHÜLER, 1994*)

#### - **Auskultatorische Hf-Bestimmung (Abhören)**

Die Auskultation der Herzschläge mit einem Stethoskop über der Herzspitze mit anschließendem Auszählen und Berechnen der Hf ist der Methodik der Pf-Ermittlung analog.

#### - **Photoelektrische Pf-Messung**

Bei dieser Methodik werden die durch die Herzaktionen bedingten rhythmischen Veränderungen der Blutfülle in den Kapillaren des Ohrläppchens durch einen photoelektrischen Pulszähler, der aus einer Ohreinheit (Fotozelle und Lichtquelle) und einem Registriergerät mit elektronischer Verstärkereinheit besteht, erfasst und registriert.

#### - **Elektrokardiographische Hf-Messung**

Die Hf wird aus der EKG-Kurve durch Ermittlung der R-R-Zackenabstände und nach der Formel:

$$H_f = \frac{60}{\text{R-R-Intervall in S}} \text{ berechnet.}$$

Kardiotachometer berechnen auf dieser Basis die  $H_f$  elektronisch und zeigen sie an.

Angeschlossene Drucker drucken sie aus. Damit ist eine automatische  $H_f$ -Bestimmung über lange Zeiträume (über Stunden und Tage) möglich.

Bewertung: Auf Grund gesetzmäßiger Beziehungen der Belastungs- $H_f$  zur jeweils aktuellen Stoffwechselsituation im Organismus sind aus der Dynamik des Herzfrequenzverhaltens während ergometrischer Untersuchungen folgende diagnostische Aussagen möglich: (NEUMANN, SCHÜLER, 1994)

Schätzung des Grades der Ausdauertrainiertheit des Herz-Kreislaufsystems aus der Höhe der durch Ausdauertraining bedingter Senkung der Ruhe- $H_f$  (Bradykardie). (BADTKE, 1999)

Ermittlung der maximalen  $H_f$  ( $H_f$  Max) im Vita-maxima-Test, woraus Rückschlüsse auf die maximale Belastbarkeit des Herz-Kreislaufsystems möglich sind, Ermittlung der Schwellenherzfrequenzen ( $H_f$  an der aeroben und anaeroben Schwelle) als Voraussetzung für gezielte Trainingssteuerungen in diesen Stoffwechselbereichen.

Die beim Standardtest am Ende jeder Belastung erfassten submaximalen  $H_f$ -Werte (etwa zwischen 120 und 170 S/min bei untrainierten Erwachsenen) steigt linear mit der Testbelastung an. (BADTKE, 1999)

Beim Conconi-Stufentest lässt sich deshalb aus der leistungsabhängigen Steilheit der linear mit der Testbelastung steigenden Belastungsherzfrequenz die individuelle submaximale Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems schätzen.

Der Beginn des abgeflachten Anstiegs der Belastungsherzfrequenz (Ermüdungsherzfrequenz) im Bereich der anaeroben Schwelle orientiert zugleich auf den Übergang in den anaeroben Stoffwechselbereich. (SIMON, KEUL, 1978)

Leider werden diese Herzfrequenz-Belastungsbeziehungen durch vielfältige Einflussfaktoren modifiziert, so dass mit Hilfe des Conconi-Tests nur eine Überblicksinformation zur Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems möglich ist.

- Berechnung der herzfrequenzbezogenen fahrradegometrischen Leistung als  $PWC_{170}$  (physical working capacity) oder als  $W_{170}$  (working capacity) und die herzfrequenzbezogene Sauerstoffaufnahme, z.B. als  $\dot{V}O_{2\ 170}$ ,

Anhand der Nachbelastungs-Hf können Rückschlüsse auf die Erholungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems gezogen werden. Je rascher die Belastungs-Hf zum Ausgangsniveau zurückkehrt, umso größer ist die Erholungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems.

Dabei ist allerdings zu beachten, dass nach kurzdauernden maximalen Belastungen die Hf rascher (z.B. Schwimmen) zum Ausgangsniveau zurückkehrt als nach extremen Langzeitbelastungen. (BADTKE, 1999)

### 2.1.2.2 Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_2$ (NEUMANN, SCHÜLER, 1994)

#### - Absolute $\dot{V}O_2$

Unter der absoluten Sauerstoffaufnahme versteht man das Volumen an Sauerstoff in ml oder l pro Zeiteinheit, das ein Mensch bei definierten Belastungen aufnehmen kann.

Das maximale Sauerstoffaufnahmevermögen  $\dot{V}O_{2max}$  gilt als Bruttokriterium der maximalen aeroben Energiewandlung im menschlichen Organismus über eine bestimmte Dauer.

$\dot{V}O_{2max}$  drückt damit die aeroben Kapazität (maximaler Ausprägungsgrad der an der aeroben Energiewandlung beteiligten organistischen Substrate aus; Hauptkriterium:  $\dot{V}O_2 max$ ; Kriterien: Maximale Werte für den zellulären aeroben Enzymbesatz, die Herzzeitvolumina, die Durchblutungsgröße der belasteten Gewebe, die arterie-venöse Sauerstoffdifferenz, die Lungen Diffusion u.a.).

$\dot{V}O_2$  und  $\dot{V}O_2 max$  sind Basismessgrößen in der sportmedizinischen Funktionsdiagnostik. Sie spiegeln das Ausmaß der oxydativen Phosphorylierung in den arbeitenden Zellen (Muskulatur) und die kardiopulmonale Leistungsdiagnostik bei definierten Belastungen wider. (BADTKE, 1999)

Mit Hilfe der Spiroergometrie lässt sich die durch Ausdauertraining erreichte Zunahme der  $\dot{V}O_2 max$  sowie die Erhöhung der prozentualen Inanspruchnahme der  $\dot{V}O_2$  im aearob-anaeroben Übergangsbereich sowie die Zunahme der herzfrequenz- und schwellen- bezogenen submaximalen  $\dot{V}O_2$ -Werte objektivieren.

#### - Relative $\dot{V}O_2$ (BADTKE, 1999)

Methodik: Die relative  $\dot{V}O_2$  ist der Quotient aus absoluter  $\dot{V}O_2$  und Körpermasse ( $\dot{V}O_2 / kg$ ).

Bewertung: Diese auf die Körpermasse bezogene  $\dot{V}O_2$  ermöglicht die Beurteilung der allgemeinen aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit exakter als die absolute  $\dot{V}O_2 max$ -Werte.

### 2.1.3 Biomechanische Funktionsdiagnostik

Die Biomechanik ist durch die Entwicklung von Analyseverfahren in der Lage versetzt, trainingsrelevante Aussagen zur Ansteuerung des optimalen sportmotorischen Leistungszustandes zu machen, wie zahlreiche Beispiele aus der Leichtathletik, dem Skispringen, dem Schwimmen, dem Gerätturnen und dem Rudern zeigen. (BALLREICH, BAUMANN, 1996)

Die Bezeichnung „Biomechanische Leistungsdiagnostik“ lässt vermuten, dass sich ihr Spektrum an Untersuchungszielen ausschließlich auf eine Diagnostik des sportmotorischen Leistungszustands aus der Sicht der Biomechanik beschränkt. Diese Vermutung trifft nicht zu, denn einige Untersuchungsziele der biomechanischen Leistungsdiagnostik erstrecken sich auf eine Steuerung des sportmotorischen Leistungszustands (Technikansteuerung, Konditionsansteuerung, Leistungsprognose und Belastungsgestaltung).

Die Zweckmäßigkeit der Bezeichnung „Biomechanische Leistungsdiagnostik“ leitet sich aus dem gegenwärtigen Bearbeitungsschwerpunkt „Diagnostik“ (gegenüber der Zielsetzung „Steuerung“) ab.

Für diese Schwerpunktsetzung spricht zum einen der vorgegebene zeitliche Ablauf, wonach diagnostische Befunde Voraussetzung für die Anwendung fundierter trainingsmethodischer Verfahren sind, und zum anderen das nicht unbeträchtliche Defizit an biomechanischen Diagnostikbefunden.

Eine weitere Einschränkung betrifft den Untersuchungsgegenstand „sportmotorischer Leistungszustand“. (CLARYS, LEWILLIE, 1975)

Am Zustandekommen dieses Zustands sind drei Leistungskomponenten beteiligt: die technomotorische, die konditionelle und die taktische Komponente.

Da sich der Zugriff der Biomechanik – beim derzeitigen Forschungsstand – lediglich auf die technomotorische und konditionelle Leistungskomponente erstreckt, sind diese beiden Komponenten vorläufiger Untersuchungsgegenstand der Biomechanischen Leistungsdiagnostik. (ELLIOTT, 1999)

### 2.1.3.1 Untersuchungsziele der Sportbiomechanik

- **Technikanalyse (Analyse des technomotorischen Leistungszustands)**
  1. Identifikation (Erkennung, Feststellung) von biomechanischen Einflussgrößen des technomotorischen Leistungszustands.
  2. Schätzung der Einflusshöhe biomechanischer Einflussgrößen auf die sportmotorische Leistung.
  
- **Technikansteuerung (Ansteuerung des technomotorischen Leistungszustands)**
  1. Änderung des technomotorischen Leistungszustands bzw. der sportmotorischen Leistung in Richtung eines anzusteuern Sollwertes (Minimierung der technomotorischen Ist-Sollwertdifferenz)
  2. Minimierung der Dauer des Ansteuerungsvorgangs.
  
- **Technikoptimierung ( Fortschreitende Optimierung der sportmotorischen Techniken)**
  1. Analyse der konkurrierenden sportmotorischen Techniken auf ihre Effektivität, um festzustellen, welche dieser Techniken einen höheren Grad der Ansteuerung von Bewegungszielen im Sport (Zeitminimierung, Distanzmaximierung, Treffermaximierung, Fehlerminimierung) aufweisen.
  2. Entwicklung einer – gegenüber bereits verfügbaren – in höherem Maße zielangepassten neuartigen sportmotorischen Technik. (*MILLER, 1975*)
  
- **Konditionsanalyse (Analyse des konditionellen Leistungszustands)**
  1. Identifikation (Erkennung, Feststellung) von validen (diagnostisch eindeutigen) Leistungsindikatoren der konditionellen Komponenten motorische Kraft, motorische Schnelligkeit und Gelenkigkeit.
  2. Bewegungsstrukturelle Affinität zwischen konditionellen Übungen und sportart-(disziplin-) spezifischen Bewegungsabläufen.
  3. Schätzung der Einflusshöhe konditioneller Komponenten auf die sportmotorische Leistung.

- **Konditionsansteuerung (Ansteuerung der konditionellen Leistungskomponente)**
  1. Änderung des konditionellen Leistungszustands in Richtung eines anzusteuernenden Sollwert (Minimierung der konditionellen Ist-Sollwertdifferenz)
  2. Minimierung der Dauer des Ansteuerungsvorgangs. (*REISCHLE, 1988*)

#### **2.1.3.2 Untersuchungsziele der präventiven und rehabilitativen Biomechanik**

- **Belastungs-/Beanspruchungsanalyse (Analyse der mechanischen Belastung und Beanspruchung des Bewegungsapparats)**
  1. Identifikation (Erkennung / Feststellung) von mechanischen Faktoren der Belastung und Beanspruchung des passiven und aktiven Bewegungsapparats.
  2. Analyse der Wirkung (Beanspruchung) von mechanischen Belastungsfaktoren auf den passiven und aktiven Bewegungsapparat.
  
- **Belastungsgestaltung (Abstimmung der mechanischen Beanspruchung auf die Belastbarkeit des Bewegungsapparats)**
  1. Abstimmung der mechanischen Beanspruchung (Druck-, Zug-, Biege-, Scher- und Verdrehbeanspruchung) auf die Belastbarkeit des passiven und aktiven Bewegungsapparats mit dem Ziel einer verletzungsvorbeugenden Belastungsgestaltung.
  2. Entwicklung von sportmotorischen Techniken und Sportgeräten/-böden mit dem Ziel einer Minimierung von Sportverletzungen und Sportschäden. (*REISCHLE, 1988*)

### 2.1.3.3 Mechanische Grunlage des Schwimmens

Die Kenntnis der bei den Wettkampfschwimmarten notwendigen Mechanik muss auf bestimmte mechanische Grundlagen aufgebaut werden, die beim Schwimmen direkte Anwendung finden.

Die meisten falschen Vorstellungen über die Mechanik der einzelnen Schwimmarten resultieren entweder aus einem Missverständnis und einer falschen Anwendung dieser Grundlagen, aus deren völliger Missachtung oder aus mangelnder Kenntnis von ihnen. (*BERGER, 1999*)

#### - Widerstand und Antrieb

Die Schwimmgeschwindigkeit ist immer das Ergebnis von zwei Kräften. Die eine Kraft versucht den Schwimmer zurückzuhalten. Das ist der Widerstand (oder die Abdrift), hervorgerufen durch das Wasser, das der Schwimmer aus seinem Weg drücken oder mit sich ziehen muss. Die andere Kraft, die ihn vorwärts bringt, ist der Antrieb, den er durch seine Beine und Arme erzeugt. (*COUNSILMAN, 1973*)

Die Forschung der Strömungslehre ist vielfältig und beinhaltet viele Begriffe, die eine Kenntnis der Differentialrechnung erfordern. (*DONELAN, 2002*)

In diesem Rahmen sollen jedoch nur einfache Begriffe verwendet werden. Es gibt drei Arten von Wasserwiderstand:

1. Frontalwiderstand ist der Widerstand gegen die Vorwärtsbewegung, verursacht durch das Wasser, das unmittelbar vor dem Schwimmer oder irgendeinem Teil des Körpers ist er wird in Abb.4 durch Pfeile verdeutlicht. Dieser Widerstand ist für die Schwimmtechnik von großer Bedeutung.
2. Hautreibung, verursacht durch den Wasserwiderstand in unmittelbarer Nähe des Körpers, wird in Abb.4 durch gestrichelte Linien dargestellt. Diese Art von Widerstand hat beim Schwimmen nur geringe Bedeutung.
3. Die dritte Art von Widerstand wird als Endsog oder Wirbelwiderstand bezeichnet. Hauptsächlich entsteht er durch das Wasser, das sich nicht auf der Rückseite der stromlinienförmig ungünstigen Körperteile einfüllen kann, so dass der Körper eine bestimmte Zahl von Wassermolekülen mit sich ziehen muss. (*COUNSILMAN, 1973*)

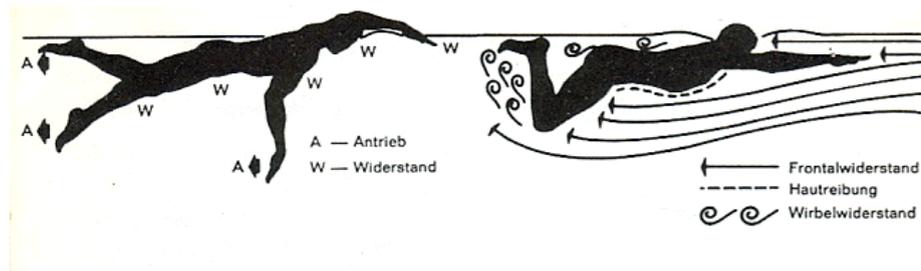


Abb.4 Links: Widersatnd und Antrieb Rechts: Drei Arten von Widerstand

Nach *NEUMANN (2001)*

Der Antrieb ist die Kraft, die einen Schwimmer vorwärts treibt. Er wird durch die Arme des Schwimmens, manchmal auch durch seine Beine erzeugt. Im Grunde wird er durch den Widerstand, den die Hände und Füße im Wasser beim Zurückdrücken erzeugen, hervorgerufen.

Wichtig für die mechanischen Grundlagen der einzelnen Schwimmtechniken ist das Dritte Bewegungsgesetz von *NEWTON*, das Prinzip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung. Wenn zum Beispiel ein Läufer nach vorn läuft, drückt er mit seinem hinteren Fuß den Boden nach rückwärts und nach unten; als Reaktion wird er mit demselben Maß an Kraft nach vorn und aufwärts gedrückt. Dasselbe Prinzip findet auch beim Schwimmen Anwendung. Wenn ein Schwimmer mit einer Kraft von 25 Pfund mit seinen Händen und einer Kraft von 5 Pfund mit seinen Beinen nach rückwärts gedrückt hat, so wird die sich ergebende Kraft von insgesamt 30 Pfund dazu benutzt, ihn nach vorn zu drücken. (*COUNSILMAN, 1973*)

## **2.2 Die Beziehung von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung**

Für die Entwicklung höherer sportlicher Leistungen hat die unterstützende Steuerung der Trainingsbelastung mit Methoden und Messgrößen der Sportmedizin großes Interesse gefunden. Die Trainingssteuerung ist nicht mehr ausschließlich Sache des Spitzensports.

Zunehmend interessieren sich Trainierende im Breiten- oder Freizeitsport für die Möglichkeiten der Belastung- und Trainingssteuerung. Durch die Maßnahmen der Trainingssteuerung kann das Risiko von Fehlbelastungen, Unterforderung oder Übertraining klein gehalten werden. (NEUMANN, SCHÜLER, 1994)

### **2.2.1 Grundlagen der Trainingssteuerung**

Unter Trainingssteuerung wird die zielgerichtete Einflussnahme auf den Prozess des sportlichen Trainings mit Hilfe von Planungs- und Kontrollverfahren verstanden. Die Trainingssteuerung hat die effektive bzw. risikoarme Durchführung eines sportlichen Trainings zum Ziel. (BADTKE, ISRAEL, 1999)

Die Trainingssteuerung ist ein Hauptbestandteil des Trainingsprozesses. Ihre Effektivität entscheidet maßgeblich über das wirksame Umsetzen eines Trainingskonzepts. Unterschieden werden schwerpunktmäßig kurzfristige (aktuelle), mittelfristige und langfristige Maßnahmen der Trainingssteuerung.

#### **- Kurzfristige Maßnahmen**

Die Methoden zur kurzfristigen oder aktuellen Trainingssteuerung dienen dem Trainer und Sportler dazu, die beabsichtigten Belastungsqualitäten in der laufenden Trainingseinheit einzuhalten bzw. zu überwachen. Mit Hilfe geeigneter biologischer Messgrößen können die sportmethodischen Steuermaßnahmen unterstützt werden.

#### **- Mittelfristige Maßnahmen**

Die Mittelfristige Trainingssteuerung beinhaltet Labor- und Feldtest. Die durch Training erreichten Anpassungs- bzw. Leistungszustände werden in größeren Zeitabschnitten (4-6 Wochen) komplex erfasst und beurteilt.

#### **- Langfristige Maßnahmen**

Die langfristige Trainingssteuerung konzentriert sich auf den mehrjährigen Leistungsaufbau, insbesondere auf einen bzw. mehrere Olympiazyklen. In Mittelpunkt steht der Zusammenhang zwischen komplexen Leistungsdiagnostik-Ergebnissen im Längsschnitt, individuellen Jahrestrainingskennziffern, individuellen Entwicklungspotenzen der Athleten sowie den Ergebnissen der Wettkampf- und Weltstandsanalyse. (NEUMANN, 2000)

## 2.2.2 Regelkreis der Trainingssteuerung

Die praktische Erfahrungen unterstreichen, dass Fortschritte in der Trainingssteuerung dann am deutlichsten waren, wenn es gelang, wesentliche Elemente der Trainingssteuerung als geschlossene Wirkungskette unter Beachtung sportartspezifischer Bedingungen konsequent zum tragen zu bringen. Im Spitzensport wurde dafür ein "Trainer-Berater-System" geschaffen, dessen Wirkungsweise auf sportartspezifischen oder individualisierten Informationen aus Wettkampfanalyse, komplexen diagnostischen Verfahren und Trainingsanalysen beruht. Die für den Trainer/Sportler bereitgestellten Ergebnisse müssen verständlich sowie praxis- und zeitbezogen sein. Nur so können Trainings- und Wettkampfentscheidungen beeinflusst werden. (HARRE, 1986)

Der Gesamtprozess der Trainingssteuerung ist in Abb.5 dargestellt.

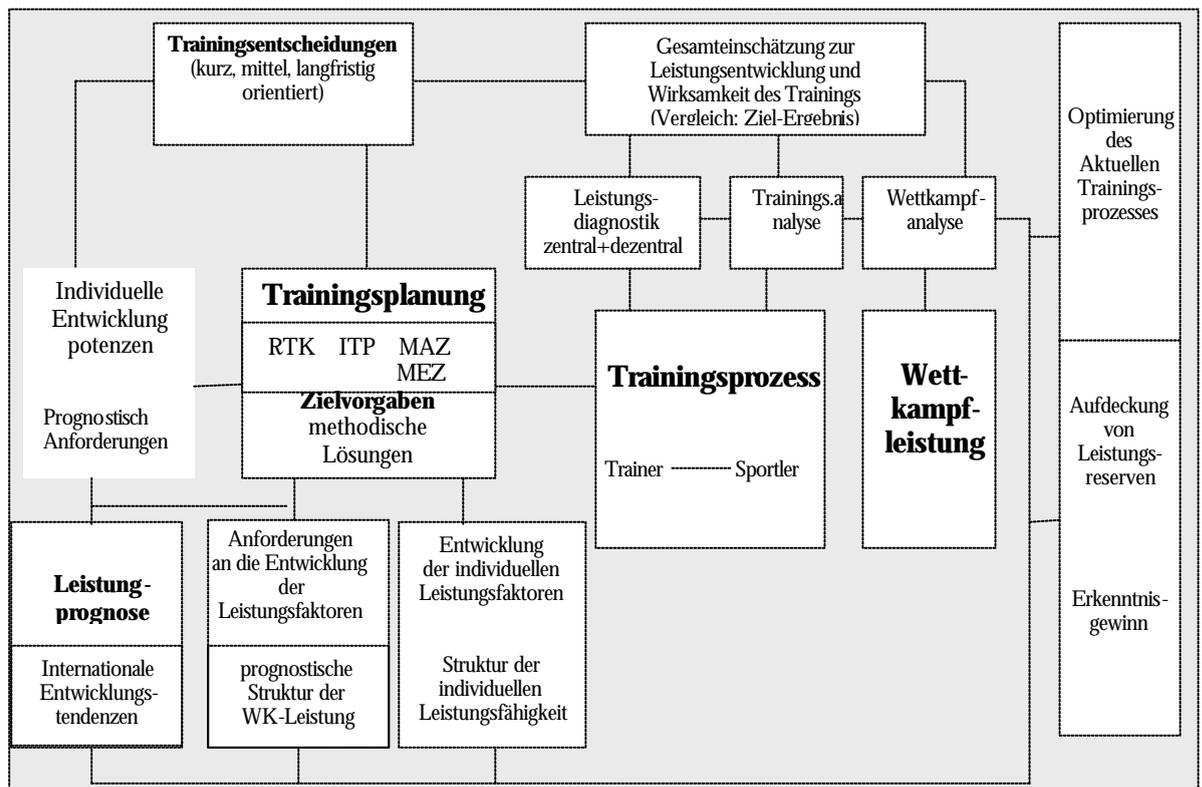


Abb.5 Darstellung des Gesamtprozesses der Trainingssteuerung

(NEUMANN, 2000)

Der Inhalt der Trainingssteuerung besteht:

- in der leistungs- und Trainingsplanung.
- in der Leistungsdiagnostik und Wettkampfanalyse,
- in der Trainingsanalyse sowie
- in der Trainingsberatung. (NEUMANN, 2000)

### 2.2.3 Leistungs- und Trainingsplanung

Eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung der entsprechenden Leistungsfähigkeit ist die Trainingsplanung. Dabei handelt es sich um einen kreativen Prozess, in welchem die Entwicklungsrichtung und das Entwicklungstempo vom Anfänger bis zum Spitzenathleten bestimmt werden.

Die Trainingsplanung basiert auf unterschiedlichen Planungszeiträumen, die von der mehrjährigen Planung bis zur Tagesplanung reicht. Die Trainingsplanung steht mit der Periodisierung im direkten Zusammenhang.

Präzise Kenntnisse über die Strukturen der sportlichen Leistung (Leistungsstruktur) und deren gesetzmäßige Zusammenhänge können dazu beitragen, Vorteile gegenüber der sportlichen Konkurrenz zu erreichen. Auch können Fehlentwicklung beim Aufbau sportlicher Leistungen auf jedem Leistungsniveau vermieden werden. Ausgangspunkt für eine Leistungsplanung ist die Analyse der zu erreichenden Wettkampfleistung. Dazu ist es notwendig, die Leistungen der Weltspitze oder der führenden Sportler in der Alterklasse zu kennen und sie kontinuierlich in ihrer Leistungsentwicklung zu verfolgen. (NEUMANN et. al. 2000)

### 2.2.4 Leistungsdiagnostik und Wettkampfanalyse

Die Leistungsdiagnostik besteht aus drei Hauptformen: (NEUMANN et. al. 2000)

- Die zentrale Leistungsdiagnostik wird als komplexe und interdisziplinäre Untersuchung mit Beteiligung verschiedener Wissenschaftsdisziplinen (Sportmethodik, Sportmedizin, Biomechanik, Psychologie) im Labor durchführt.
- Bei der dezentralen Leistungsdiagnostik werden nur einzelne Leistungsvoraussetzungen mit Hilfe von sportmethodischen, biomechanischen oder biologischen Untersuchungsverfahren überprüft. Oft sind Feldtests der Mittelpunkt dieser Diagnostik.
- Die Wettkampfanalyse ist eine Sonderform der Leistungsdiagnostik. Sie dient zur Bewertung der Umsetzung von Grundlagen der komplexen Leistungsfähigkeit beim Wettkampf. Im Zusammenhang mit weiteren leistungsdiagnostischen Maßnahmen (Labortests) wird der aktuelle Leistungsstand des Sportlers sehr komplexe erfasst. Im Mittelpunkt steht die Beurteilung der Wirkung des absolvierten Trainings und der Fähigkeit der Umsetzung.

Eine erweiterte Form der Analyse ist die Weltstandsanalyse:

- Die Weltstandsanalyse beinhaltet die komplexe und kontinuierliche Objektivierung von Entwicklungstendenzen einer Sportart im Weltmaßstab. Im Mittelpunkt der Analyse, insbesondere bei Olympischen Spielen und Weltmeisterschaften, stehen Länderwertungen, Strukturen der Wettkampfleistung, Leistungsstand und Leistungstrends, Leistungsdichte, Hochleistungsalter, Tendenzen im Wettkampfsystem, Qualifizierungsrichtlinien, Regelwerk, Neuerungen in der Wettkampfausrüstung sowie der Entwicklungsstand der Wettkampf- und Trainingssysteme. Die Weltstandsanalysen sind ein unverzichtbares Mittel, um Entscheidungen zur Vorbereitung von kommenden Wettkampfhöhepunkten (Wettkampfleistungen) durch Trainer und Spitzenverbände zu treffen.

Mit dem Einsatz von Verfahren der Leistungsdiagnostik können die Leistungs- und Fähigkeitsausprägung unterstützt und Zufälligkeiten in der Leistungsentwicklung weitgehend vermieden werden. (*NEUMANN et. al. 2000*) Sportler, die in Sportarten trainieren, die stark von äußeren Bedingungen beeinflusst werden, benötigen eine objektive Hilfe bei der Beurteilung der realen spezifischen Leistungsfähigkeit.

Bei ihnen sind die Ergebnisse aus Feldtests unsicher, sodass standardisierte Labortests bevorzugt durchgeführt werden.

Die Entwicklung von sportartspezifischen Ergometern in den Ausdauersportarten ist ein Ausdruck dafür. (*BADTKE, 1999*)

| Sportart     | Ergometer  |
|--------------|--|
| Lauf         | Laufband mit Modifikationen<br>(Belag, Kippbarkeit, Lauffläche)                                  |
| Rad          | Hochleistungsfahrradergometer  |
| Schwimmen    | Strömungskanal, Armkraftzugerät  |
| Rudern, Kanu | Gegenstromanlage für Messboot, Seilzugergometer für Arme mit verschiedenen<br>Bremsstechnologien |
| Triathlon    | Fahrradergometer, Laufband, Strömungskanal   |
| Skilanglauf  | Kippbare Speziallaufbänder (breit), Armkraftzugerät  |

Tab.2 Sportartspezifische Ergometer in Ausdauersportarten.

(NEUMANN et. al. 2000)

### 2.2.5 Trainingsanalyse

Wenn angestrebte Trainingswirkungen ausbleiben, Fähigkeiten sich nicht entwickeln und letztlich die Wettkampfleistung den Erwartungen nicht gerecht wird, dann ist ein exakt geführtes Trainingstagebuch eine wesentliche Hilfe bei der Suche nach Ursachen.

Viele Sportler investieren viel Zeit in ihre Trainingsaufzeichnungen. Oft bleibt es aber beim Dokumentieren des Trainings, weil Möglichkeiten und Kenntnisse für eine effektive Auswertung fehlen.

Deshalb wurden Verfahren entwickelt, die mit Hilfe des Trainingsprotokolls und eines Rechenprogramms eine individuelle und kontinuierliche Trainingsanalyse ermöglichen.

Um individuelle Trainingspläne aufzustellen und eine differenzierte, fähigkeitsorientierte Planung einzelner Belastungskomponenten, z.B. Trainingsstreckenlängen, Trainingsmethoden und Intensitäten vornehmen zu können, ist ein Mindestmaß an Wissen über die Trainingsmethodik und die Anpassungsprozesse notwendig.

Die Analyse des absolvierten Trainings ermöglicht, begangene Fehler zu entdecken und ihre Wiederholung zu vermeiden. Sie setzt eine sorgfältige Dokumentation des absolvierten Trainings voraus. Dabei ist nach dem Grundsatz zu verfahren, so wenig wie möglich und doch so viel wie nötig an Daten zu erfassen.

Entsprechend muss auch das Trainingsprotokoll aufgebaut sein.  
(NEUMANN et. al., 2000)

### 2.2.6 Trainingsentscheidung

Das Zusammenführen von leistungsdiagnostischen und trainingsanalytischen Ergebnissen und das Treffen von wissenschaftlich fundierter Trainingsentscheidung ist das Nonplusultra der Trainingssteuerung. Beurteilungen von Anpassungen sind ohne detaillierte Kenntnis des Trainings nur unvollkommen bzw. überhaupt nicht möglich. Oftmals liegen Einzelergebnisse der Leistungsdiagnostik vor, wie z.B. Laktat- und / oder Hf-Leistungskurven, Atemgasanalysen, Bewegungsstrukturparameter, differenzierte Krafttestwerte u. a. Demgegenüber stehen dann zur Bewertung der Trainingswirksamkeit oft nur die Analysen der Trainingswochenstunden zur Verfügung. Aussagen zur Fortführung des Trainings sind dann nur unvollkommen.

Ableitungen von Folgerungen für künftige Anforderungen im Training als Ziel der Trainingsentscheidung sind nur möglich, wenn die Teile der Wirkungskette der Trainingssteuerung auf hohem Niveau realisiert werden. (*HARRE, 1986*)

Die Qualität der Trainingsentscheidung hängt davon ab, wie es im Vorfeld gelingt, leistungsdiagnostische und trainingsanalytische Ergebnisse zusammenzuführen und grafisch darzustellen. Auf der Grundlage fasslicher und leicht überschaubarer Grundprinzipien des Trainingsaufbaus, die in der individuellen Trainingsplanung berücksichtigt werden müssen, sollten die Trainingsergebnisse im Sinne des Soll-Istvergleichs besprochen werden.

Dieses notwendige Vorgehen ist immer wieder der größte Schwachpunkt in der Trainingssteuerung. Zeitdruck, mangelhafter Kenntnistand zum Gesamtprozess, unrationelle Abläufe bei der Ergebnisergebnisgewinnung aus Leistungsdiagnostik und Trainingsanalyse sowie Kommunikationsprobleme unter den beteiligten Personen (Trainer, Wissenschaftler oder Arzt) behindern die komplexen Einschätzungen und Festlegungen zum Trainer. (*NEUMANN et. al., 2000*)

Zahlreiche Autoren haben sich mit der Problematik der Trainingssteuerung beschäftigt (*MARTIN et. al. 1992, NEUMANN et al., 1993-2000*)

Die im Folgenden aufgeführten Hauptaspekte haben für das Training in Hochleistungssport, bis hin zum Freizeitsport, allgemein gültige Bedeutung.

1. Eine optimale und individuell leistungswirksame Umsetzung von Trainingskonzeptionen erfordert objektiv eine effektive kurz-, mittel- und langfristige Trainingssteuerung. Damit kann eine gerichtete Orientierung der Trainingsbelastung im Jahresverlauf gesichert werden.
2. Prinzipielle Korrekturen und Veränderungen des Trainingskonzepts sind nicht das Ziel der Trainingssteuerung. Über eine progressive Leistungsentwicklung entscheidet deshalb in erster Linie die wirksame Trainingskonzeption, nicht aber die Trainingssteuerung.
3. Die Effektivität der Trainingssteuerung wird wesentlich von der realen, auf das Jahresleistungsziel bezogenen individuellen Leistungs- und Trainingsplanung bestimmt. Leistungsbezug und Ziel des Trainings hängen davon ab, wie es gelingt:
  - Begründete, abschnittsbezogene, individuelle Zielgrößen für die Entwicklung der leistungsbestimmenden Fähigkeiten zu gestalten.
  - Individuelle Führungsgrößen für die Steigerung der Belastungsanforderungen in den Trainingsbereichen zu haben sowie
  - standardisierte Trainingsprogramme für Trainingseinheiten, Trainingstage, Mikro- und Mesozyklen zu fixieren und anzuwenden.
  - Diese Größen stellen wesentliche Bezüge für die Leistungsdiagnostik und Trainingsanalyse dar.
4. Die Wirksamkeit der Leistungsdiagnostik wird im Hochleistungssport von der Güte der Leistungsdiagnostik und der Wettkampfanalyse, unter Beachtung sportartspezifischer Aspekte, stark beeinflusst. Dabei ist die Leistungsdiagnostik für die Trainingssteuerung umso wirkungsvoller, je besser es gelingt, sie an trainingsmethodisch bestimmten Eckpunkten des Jahresleistungsaufbaus einzusetzen. Die sportartspezifischen Tests haben das Ziel, den Entwicklungsstand der leistungsbestimmenden Fähigkeiten zu objektivieren und beurteilen zu helfen. Darin eingeschlossen ist, dass die Testergebnisse durch den Trainer, mit Unterstützung von Trainingswissenschaftler und Arzt, besprochen werden.
5. Die Trainingsanalyse wird für die Trainingssteuerung dann wirksam, wenn zum Zeitpunkt der Leistungsdiagnostik bzw. Wettkampfanalyse eine differenzierte, methodisch-orientierte Einschätzung der Trainingsschwerpunkte vorliegt und somit die Ursache für Entwicklungstrends der leistungsbestimmenden Fähigkeiten aufgedeckt werden können.

Nur so kann es gelingen, die Richtungen der zu treffenden methodischen Ableitungen für das Training abzustecken.

6. Einen hohen Einfluss auf die Wirksamkeit der Trainingssteuerung hat der Aufbereitungsgrad der differenzierten Leistungs- und Trainingseinschätzungen und daraus abgeleitete, pädagogisch-methodische Folgerungen und Festlegungen für den neuen Trainingsabschnitt. Die Umsetzung der Ergebnisse bedarf einer konstruktiven Diskussion mit den betreffenden Trainern und Sportlern.
7. Die Befähigung der Trainer und Sportler zur Nutzung der Trainingssteuerung und damit zur Mitgestaltung des Trainingsprozesses setzt eine langjährige Zusammenarbeit und kontinuierliche Weiterbildung voraus. (NEUMANN,et. al. 2000)

### **2.2.7 Trainingsbereiche der Belastungssteuerung**

Der Schwerpunkt des Trainings in den Langzeitausdauerdisziplinen ist auf die Entwicklung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit gerichtet. Dieses Training soll den Sportler befähigen, eine hohe Wettkampfgeschwindigkeit in aerober Stoffwechsellage über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten. Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist eine Hauptleistungskomponente für Wettkampfleistungen über 10 min Dauer. Sie ist Voraussetzung für die leistungswirksame Umsetzung von Ausdauer, Kraftausdauer und Schnelligkeit in Wettkampfleistungen.

Das Ausdauertraining vollzieht sich in mehreren Trainingsbereichen. Nachfolgend wird ein Überblick über die Trainingsmaßnahmen zur Entwicklung der konditionellen Grundlagen der Ausdauerleistungsfähigkeit gegeben und ihre Beeinflussbarkeit durch Maßnahmen der Belastungssteuerung.

#### **1. Regenerations- bzw. Kompensationstraining (REKOM)**

Ziel: Unterstützung der Wiederherstellung, Beschleunigung der Regeneration.

Methode: Dauermethode

#### **2. Grundlagenausdauertraining 1 (GA1)**

Ziel: Entwicklung und Stabilisierung der Grundlagenausdauerfähigkeit.

Methode: Dauermethode, Fahrtspielmethode, extensive Intervallmethode

#### **3. Grundlagenausdauertraining 2 (GA2)**

Ziel: Weiterentwicklung der Grundlagenausdauerfähigkeit (höhere Geschwindigkeiten)

Methode: Intervallmethode, Fahrtspielmethode, Dauermethode.

#### 4. Wettkampfspezifisches Ausdauertraining (WSA)

Ziel: Entwicklung der wettkampfspezifischen Ausdauerfähigkeit

Methode: Wettkampfmethode, intensive Intervallmethode, Wiederholungsmethode.

#### 5. Extensives Kraftausdauertraining (KA!)

Ziel: Entwicklung der wettkampfspezifischen Kraftausdauerfähigkeit.

Methode: Extensive Intervallmethode, Wiederholungsmethode mit Widerständen

#### 6. Intensives Kraftausdauertraining (KA2)

Ziel: Entwicklung der maximalen Kraftausdauerfähigkeit

Methode: Wiederholungsmethode, intensive Intervallmethode.

### 2.3 Die Leistungsdiagnostik im Sportschwimmen

Schwimmen ist eine Sportart mit hohen Anforderungen an Ausdauer, Kraft und Technik / Koordination.

Gleichermaßen anerkannt als Leistungs- und Breitensport sowie als sinnvolle Trainings – und Übungsform in der Rehabilitation verwundert es, dass wissenschaftliche Untersuchungen über das Schwimmen im Vergleich zu manch anderen, weniger populären Sportarten nur relativ geringer Zahl vorliegen. (COUNSILMAN, 1955)

Die Mehrzahl sportmedizinischer Analysen beschäftigte sich vorwiegend mit physiologischen Parametern von Schwimmen, die außerhalb des Mediums Wasser erhoben wurden. (HOLMÉR, 1972,1974 BERGER,1997,1999)

Über funktionelle Veränderungen beim Schwimmen selbst finden sich weit weniger Informationen, was durch die erschwerten Untersuchungsbedingungen im Wasser erklärbar ist.

Erst die Entwicklung telemetrischer Maßverfahren in den letzten 30 Jahren hat die Möglichkeiten geschaffen, diese messmethodischen Schwierigkeiten teilweise zu überwinden. (ÅSTRAND, 1972)

| Messgrößen   | KZA              | MZA             | LZA1            | LZA2            | LZA3                 | LZA4            |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|  | 35s-2min         | < 2min-10min    | < 10min-30min   | < 30min- 90min  | < 90min- 360m        | < 360min        |
| <b>Schwimmstrecken</b>                             | 50m-100m<br>200m | 200m 400m       | 800m 1500m      | 5 km            | 10 km 25km           | < 30km          |
| <b>Herzfrequenz</b><br>Schläg/min                  | 180-200          | 180-195         | 170-185         | 150-160         | 120-140              | 100-130         |
| <b>Laktat</b><br>(mmol/l )                         | 13-16            | 10-13           | 8-10            | 4-8             | 2-4                  | 1-2             |
| <b>Energieverbrauch</b><br>% aerob<br>% anaerob    | 20<br>80 (20)    | 40<br>60 (10)   | 80<br>20        | 90<br>10        | 95<br>5              | 98<br>2         |
| <b>Energieverbrauch</b><br>kcal/min<br>kcal gesamt | 60-80<br>50-160  | 45<br>90-450    | 30<br>450-870   | 25<br>870-2.250 | 20-25<br>2.250-6.120 | 15-20<br><6.120 |
| <b>Frei Fettsäuren</b><br>(mmol/l )                | 0,400-<br>0,500  | 0,400-<br>0,500 | 0,600-<br>0,900 | 0,600-<br>1,400 | 0,700-<br>1,900      | 0,800-<br>2,000 |
| <b>Serumharnstoff</b><br>(mmol/l )                 | 4-6              | 4-6             | 4-6             | 5-8             | 6-9                  | 7-11            |
| <b>Cortisol</b><br>(mmol/l )                       | 150-250          | 150-250         | 400-700         | 400-800         | 400-900              | 500-800         |

Tab. 3 Leistungsstruktur Schwimmen (Wettkampf) (NEUMANN, 2000)

Beim Schwimmen herrschen gänzlich andere Grundvoraussetzungen als bei den Fortbewegungsarten an Land.

Der Körper muss durch das Medium Wasser fortbewegt werden, das eine etwa 800-mal höhere Dichte aufweist wie Luft. (JESCHKE, LORENZ, 1998)

Der Körper des Schwimmers wird durch die Arbeit der Arme (und partiell auch der Beine) am Widerlager des Wassers nach vorne geschoben.

Dabei weisen die Arme, Hauptantriebsquelle beim Schwimmen, eine nur etwa halb so große Muskelmasse auf wie die Beine. (BERGER, 1999)

Beim Schwimmen ist der Anteil der Arbeit gegen den Luftwiderstand aufgrund des eingetauchten Körpers und der geringen Fortbewegungsgeschwindigkeit zu vernachlässigen. (KARPOVICH, 1939)

Auch der Einfluss der Schwerkraft ist vergleichsweise eher gering, da die Arbeit gegen die Schwerkraft größtenteils durch den Auftrieb des Körpers im Wasser geleistet wird.

## 2.3.1 Grundlagen und Besonderheiten

### 2.3.1.1 Wasserwiderstand des Körpers (Drag)

Da beim Schwimmen die Größen Luftwiderstand und Schwerkraft zu vernachlässigen sind, muss fast die gesamte benötigte Energie zur Überwindung des Wasserwiderstandes aufgebracht werden.

Der Wasserwiderstand des Schwimmens setzt sich aus verschiedenen Einzelwiderständen zusammen: Maßgeblich sind die Form des Körpers, seine Oberflächenbeschaffenheit (Reibung zwischen Haut und Wasser) und der spezifische Wellenwiderstand (Deformierung der Wasseroberfläche).

Eine qualitative Differenzierung dieser Einzelgrößen ist aufgrund der komplexen Zusammenhänge allerdings nicht möglich. (*DI PRAMPERO, 1974*)

Wasserwiderstandsmessungen im Schwimmen wurden durch Zugwiderstandsmessungen mit passiv am Seil hängenden Schwimmern ermittelt, deren Beine teilweise sogar mit Auftriebshilfe unterstützt waren. (*COUNSILMAN, 1955*)

Bei diesem Messverfahren wird der Körper jedoch in einer optimal günstigen Haltung und damit Stromlinienform gebracht, die in der Schwimmpraxis nicht vorkommt.

Bereits das Tragen der Atemmaske mit ihren Schläuchen, die beim kontinuierlichen Messen der Sauerstoffaufnahme unerlässlich ist, kann den Wasserwiderstand des Schwimmers je nach ihrer Bauart zwischen 10% (Spezialmaske) und 53% (übliche Tauchermaske) erhöhen. (*TOUSSAINT, 1988*)

Auch das notwendige Bewegen der Extremitäten zum Vortrieb und das Drehen des Kopfes zum Atemholen in der Schwimmpraxis erhöhen den Wasserwiderstand je nach Ausführung um bis zu 100%.

Infolgedessen muss eigentlich zwischen passivem Wasserwiderstand (ohne Schwimmaktion) und aktivem Wasserwiderstand (während aktivem Schwimmen) des Körpers unterschieden werden, denn nur das Messen des aktiven Widerstands erlaubt eine Veranschaulichung der Größenordnung, in der der Wasserwiderstand des Körpers auf den Energieverbrauch beim Schwimmen wirkt. (*TOUSSAINT, 1994*)

In einer rechnerischen Methode zur Ermittlung des aktiven Wasserwiderstands wurden an den Schwimmern kleine Zusatzgewichte angebracht, und die Abweichungen in ihrer jeweiligen Sauerstoffaufnahme als Folge der Variation in den auftretenden äußeren Kräften extrapoliert. (HOLMÉR, 1975)

Eine andere Methode nimmt den Ausgleich von Vortrieb und Widerstand bei gleichförmiger Bewegung im Sinne von Newton zum Ansatz. Anhand der Messung der Vortriebskräfte der Person, die im Betrag dem Wirkenden Widerstanden gleich sein muss, kann ihr spezifischer aktiver Wasserwiderstand ermittelt. Auf dieser Basis wurde ein System zur direkten Messung der Vortriebskräfte beim Kraulstil, und damit zur Ermittlung des gleichzeitig wirkenden aktiven Wasserwiderstands entwickelt (MAD = measure active drag vgl. Abb.19) (HOLLANDER-TOUSSAINT, 1994)

Der Wasserwiderstand verhält sich proportional zum Quadrat der Schwimmgeschwindigkeit und lässt sich mit  $A \cdot v^2$  ( $v$  in m/s) berechnen.  $A$  ist eine Proportionalitätskonstante, die sich auf den unterschiedlichen Körperquerschnitt von Mann und Frau bezieht, und für Männer mit dem Wert +30, für Frauen mit +24 angesetzt werden kann. (TOUSSAINT, 1994)

### **2.3.1.2 Wasserlage, Auftrieb und spezifische Körperdrehmoment (torque)**

Das Auftriebsverhalten des menschlichen Körpers im Wasser hängt von seinem Körperfettanteil und dessen Verteilung entlang der Körperlängsachse ab.

Da Fett leichter ist als Wasser, während Muskeln schwerer sind, treiben fette Körper stärker zur Wasseroberfläche auf. (Abb.6)

Wenn ein menschlicher Körper im Wasser liegt, neigt der Brustkorb zum Auftreiben, während die Beine mehr oder weniger absinken. (BARTHELIS, 1977)

Dieses spezifische Drehmoment (torque), das den Körper von der Horizontalen in Richtung Vertikale dreht, hängt ab vom Unterwassergewichte der Füße und der Entfernung von den Füßen zum Volumenmittelpunkt. (DI PRAMPERO, 1974)

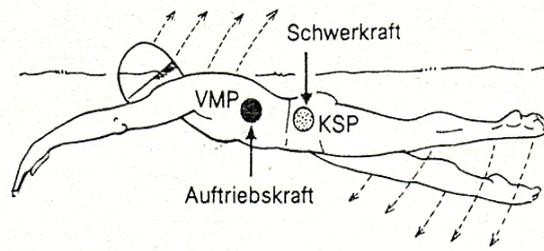


Abb.6 Die Wirkung von Schwerkraft und Auftriebskraft auf den Kraulschwimmer im Sinne eines Drehmoments. (NEUMANN, 1993)

Frauen verfügen allgemein über größere Fettdepots an Hüfte und Po, und gleichzeitig über weniger muskulöse Beine als Männer.

Damit wird ihr geringeres spezifisches Drehmoment erklärt. (MILLER, 1975)

Da Männer zur Überwindung dieses Drehmoments mehr Energie aufwenden müssen, ist ihr Energieaufwand beim Schwimmen insgesamt bis zu 30 % höher.

Dies deckt sich mit der Beobachtung, dass der Quotient aus Energieverbrauch und Drehmoment vom Geschlecht unabhängig ist. (TOUSSAINT, 2000)

DI PRAMPERO (1974) stellt ein Messinstrument zur direkten Ermittlung des Drehmoments vor, das von weiteren Untersuchern CAPELLI (1995) übernommen wurde. Hierbei liegt der Schwimmer auf dem Rücken unter der Wasseroberfläche auf einer Bahre, die auf einem Drehpunkt gelagert ist, der unter den Volumenmittelpunkt der Person platziert wird.

### 2.3.1.3 Güte der Schwimmtechnik (Still)

Es hat sich in zahlreichen Untersuchungen gezeigt, dass Spitzenschwimmer signifikant weniger Energie bei gegebener Geschwindigkeit benötigen als durchschnittliche oder gar schlechte Schwimmer. (KARPOVITCH, 1944, HOLMÉR, 1975, DI PRAMPERO, 1974)

Als Erklärung wurde u.a. ein höherer Wirkungsgrad bei der Umwandlung von metabolischer Energie in mechanische Arbeitsleistung diskutiert. (HOLMÉR, 1975, DI PRAMPERO, 1974)

Andere Untersuchungen ermittelten wiederum keinen unterschiedlichen Wirkungsgrad bei Schwimmen verschiedener Leistungsklassen. (BARTHELIS, 1977, TOUSSAINT, 1988, BALLREICH-BAUMANN, 1996, BERGER, 1997)

Spitzenschwimmer besitzen jedoch in ihrer schwimmspezifischen Vortriebstätigkeit eine höhere Wirksamkeit im Vergleich zu durchschnittlichen Schwimmern, sie verschwenden bei gleicher gegebener Leistung weniger Energie mit vortriebsunwirksamer Bewegung von Wasser. (TOUSSAINT, 1990)  
Anders und populärer ausgedrückt: Könnner schwimmen effektiver als Laien, weil sie ‚über eine bessere Technik verfügen‘.

Hier wird augenscheinlich, dass die Fortbewegungsart Schwimmen aus einem komplizierten Bewegungsablauf besteht.

Der Bewegungstereotyp des Kraulschwimmens erreicht ein Optimum an Wirksamkeit mit einem kurvigen Armzugmuster, bei dem sich dabei in jeder Phase der Anstellwinkel der Hand zur Vortriebsrichtung ändert. (COUNSILMAN, 1955)

Damit wird in jeder Phase die Vortriebsbewegung ein jeweiliges Optimum an Effizienz unter Berücksichtigung der Verhältnisse im Wasser gewährleistet. Hierbei ist insbesondere der hydrodynamische Lift zu nennen, der bei Vortriebsbewegung je nach Anstellwinkel zur Vortriebsrichtung zusätzlichen Vortrieb erzielt. (SCHLEIHAUF, 1983 TOUSSAINT, 2000).

TOUSSAINT (1990) misst nun mit Hilfe eines speziellen Meßsystems (MAD = measure active drag) die Vortriebseffizienz der Schwimmer, indem die aufgewandte Kraft, als Äquivalent der gegebenen Sauerstoffaufnahme, in me0bare Vortriebsleistung und „verschwendete“ Bewegung von Wasser ohne Vortriebswirkung aufgeteilt wird.

Dieses Maß für die Vortriebseffizienz ist z.B. zwischen Triathleten und Schwimmern signifikant unterschiedlich: während die Triathleten bei gegebenen Leistung nur 44% der verfügbaren Energie in effektiven Vortrieb umsetzen konnten, konnten die Schwimmer 61% nutzen, und damit bei gleicher Leistung per Armzug effektiv 31cm Strecke mehr zurücklegen.

### 2.3.1.4 Schwimmgeschwindigkeit

Das Anstiegsverhalten der  $\dot{V}O_2$  zur Schwimmgeschwindigkeit, linear oder kubisch, ist immer noch strittig in der Literatur.

In frühen Veröffentlichungen wurde das Anstiegsverhalten des Energiebedarfs beim Schwimmen im Verhältnis zur Schwimmgeschwindigkeit als exponentiell beschrieben.

Danach folgten einige Veröffentlichungen, die ein lineares Anstiegsverhalten feststellten. (KARPOVICH, 1933, HOLMÉR, 1974)

Die hierbei untersuchten Schwimmgeschwindigkeiten lagen jedoch deutlich unter heutzutage erreichter Wettkampfgeschwindigkeit, so dass diese Aussagen nun mehr für den unteren Geschwindigkeitsbereich aussagekräftig sind. (NIKLAS, 1984)

Untersuchungen, die den gesamten Geschwindigkeitsbereich abdecken, haben differenzierte Aussagen zum Anstiegsverhalten ermöglicht. Bis zu einer Geschwindigkeit von 1 m/s verhält sich das Anstiegsverhalten des Energieverbrauchs dabei linear. (HOLMÉR, 1974, Di PRAMPERO, 1974). Bei höheren Geschwindigkeiten weicht das Anstiegsverhalten des Energieverbrauchs dann ab und wird meistens als kurvilineare Funktion der Geschwindigkeit beschrieben.

Einige wurde allerdings von einem linearen Anstieg bei internationalen Spitzenschwimmern bis zu Werten zwischen 1.2 m/s und 1.5 m/s berechnen. (TOUSSAINT, 1988, HOLMÉR, 1974)

Wenn man anhand der verschiedenen Regressionsgleichungen den Nullwert der Energieaufnahme, also den Ruhewert im Wasser, errechnet, erhält man bei der Verwendung linearer Funktionen, die für den unteren Geschwindigkeitsbereich akzeptable Ergebnisse liefern, als Nullwert negative Werte, die praktisch unmöglich sind, da selbst in Ruhe niemals Energieüberschuss bzw. Energieproduktion stattfinden kann. (TOUSSAINT, 1994)

Funktionen, die auf einer kubischen Beziehung zwischen Energieaufwand und Geschwindigkeit beruhen, liefern dagegen Nullwerte, die mit den Messungen des Ruheumsatzes im Wasser übereinstimmen. Daher scheint das Benutzen von Gleichungen, die auf der kubischen Beziehung beruhen, unerlässlich, um Voraussagen für Geschwindigkeiten außerhalb der linearen Ansteigbereiche zu ermöglichen, so z.B. für den Bereich der Maximalgeschwindigkeit. (TOUSSAINT, 1994)

### 2.3.2 Trainingssystem im Sportschwimmen

Das sportliche Training kann als ein komplexer Handlungsprozess, der auf die planmäßige Entwicklung bestimmter sportlicher Leistungszustände und deren Präsentation in sportlichen Bewährungssituationen, speziell im sportlichen Wettkampf, ausgerichtet ist, verstanden werden. (MALZAHN, et. al., 1993)

Damit fließen handlungstheoretische Aspekte in das Training ein, die überwiegend bewusst den Menschen in seiner Tätigkeit prägen.

Handlungsprozess schließt somit ein, dass eine Zielgerichtetheit dieser Tätigkeit zugrunde liegen muss, also Zufälligkeit weitestgehend auszuschließen ist.

Das Ziel ist die Erhöhung der sportlichen Leistungsfähigkeit. Mit der Anerkennung der Zielgerichtetheit akzeptiert der trainierende auch grundsätzlich eine Planmäßigkeit, um im sportlichen Wettkampf persönlichen oder gesellschaftlichen Normen entsprechen zu können.

Damit wird klar, dass Training auch soziologische, medizinische und sportwissenschaftliche Aspekte einschließt. (MALZAHN, et. al., 1993)

#### 2.3.2.1 Trainingssteuerung und ihre Notwendigkeit im Sportschwimmen

Wenn man Training als eine Menge von Einzelvorgängen und Maßnahmen auffasst, so wird deutlich, dass Training Koordinations- und Abstimmungsfragen einschließt. Es muss klar sein, welche Tätigkeit welche Folge für die Leistung nach sich zieht. Mit dieser Einsicht ist verbunden, dass ein Trainingsreiz, ausgelöst durch die Erfüllung einer bestimmten Trainingsaufgabe, nicht durch eine leistungsphysiologisch entgegenwirkende Reizsetzung herabgesetzt oder gar aufgehoben werden kann. (WILKE, MADSEN, 1983)

Diesem Sachverhalt liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich trainingswirksame Reizsetzungen für den menschlichen Organismus nicht einfach addieren, sondern auch im Extremfall negativ beeinflussen können.

Ein Beispiel dafür sind die im Schwimmen bedeutungsvollen konditionellen Fähigkeiten Ausdauer und Kraft.

Sollen Fähigkeiten trainiert werden, ist die Trainingsbelastung zu planen und ihre Wirkung zu berücksichtigen, wie

- sofortige Trainingswirkungen (z. B. das ausführen einer zu erlernenden Technik),

- verzögerte Trainingswirkungen (z. B. die Zunahme des Muskelquerschnittes) oder
- kumulative Trainingswirkungen, (z. B. erhöhtes leistungsphysiologisches Ausgangsniveau als Folge aufeinander abgestimmter spezifischer Belastungen). (MALZAHN, et. al., 1993)

Unter Trainingsbelastung versteht man dabei die Gesamtheit qualitativer und quantitativer Beschreibungsgrößen.

Qualitative Aspekte der Trainingsbelastung sind:

- Trainingsinhalte,
- Ausführung sportmotorischer Fertigkeiten und Techniken sowie
- Reihenfolge von Übungsformen.

Unter qualitativem Aspekt der Belastung kann man klassifizieren:

- Trainingshäufigkeit,
- Trainingsdauer und
- Dosierung von Belastungsanforderungen, wie z. B. Belastungsumfang, Belastungsintensität, Belastungsdauer und Belastungsdichte. (MATVEEV, 1981)

Diese qualitativen und quantitativen Größen beschreiben jedoch immer nur die äußere Form der Belastung. Als innere Belastung ist die individuelle Reaktion des menschlichen Organismus auf äußere Belastungsnormative zu verstehen, die bei identischer äußerer Reizsetzung variieren kann. Erst der planmäßige Trainingsvollzug als didaktisch-methodischer Prozess zielt auf leistungswirksame Trainingsreize, die aufeinander abgestimmt sein wollen. Soll eine Steuerung und Regelung des Trainings erfolgreich sein, ist äußere und innere Belastung zu erfassen, zu analysieren und zu planen.

Als Messgrößen und Indikatoren innerer Belastung können dabei gelten bzw. gewertet werden:

- nachlassende Aufmerksamkeit, Konzentration und Belastungsbereitschaft des Sportlers,
- Pulsfrequenz,
- Blutlaktatkonzentration,
- Harnstoffkonzentration. (MALZAHN, et. al., 1993)

Sicher wird es nicht möglich sein, vor allem beim Training von Nachwuchssportlern Laktat- und Harnstoffmessungen durchzuführen, aber der Trainer oder Übungsleiter sollte nachlassende Aufmerksamkeit registrieren und anhand von Pulsmessung das Verarbeiten äußerer Belastung in die Trainingssteuerung einfließen lassen.

### 2.3.2.2 Strukturierung der Schwimmleistung

Ausgehend von einer individuellen Leistung im Schwimmen, die das breite Spektrum vom „Seepferchen“ bis zum Leistungsschwimmpass „Gold“ und darüber hinaus umfassen kann, bestimmt die Leistungsstruktur die Vorgehensweise zur Entwicklung der Fähigkeiten für das Schwimmen.

(FREITAG, 1977)

Damit wird sie zur „Zielorientierung“ der Theorie und Praxis des Trainings.

Im klassischen Sinne unterscheidet man:

| <b>Personelle Leistungsfaktoren</b>      | <b>Nichtpersonelle Leistungsfaktoren</b>                                     |
|--|--|
| Gesamtpersönlichkeit Sportler            | Geographische Bedingungen (Höhe über N. N.)                                  |
| Kognitiver Leistungsbereich              | Klimatische Bedingungen (Luftfeuchtigkeit, Wassertemperatur, Lufttemperatur) |
| Konditioneller Leistungsbereich          | Zuschauer, Wettkampatmosphäre  |
| Koordinativ-technischer Leistungsbereich | Schwimmbekleidung  |
| Konstitutioneller Leistungsbereich       | Bauart des Schwimmbeckens  |
| Beweglichkeit                            | Wasserqualität u. ä.   |
| Taktischer Leistungsbereich              |  |

Gilt es Leistung zu entwickeln, muss man wissen, welche Fähigkeiten die Grundlage für die zu entwickelnde Leistung bilden. Vor allem Trainingsalter und bisher erfolgte Trainingsbelastungen führen zwangsläufig zu einer Spezifizierung aller Modelle unter Beachtung der eingehenden bisher entwickelten Fähigkeiten (Abb.7).

Im Training ist zu berücksichtigen, dass nicht nur die konditionellen Fähigkeiten als eine Komponente der körperlichen Fähigkeiten zu entwickeln sind.

Vor allem bei trainingsjungen Sportlern sollte durch Beeinflussung der koordinativen Fähigkeiten versucht werden, die technischen Fertigkeiten bis ins höhere Trainingsalter variabel verfügbar zu halten. (MALZAHN, et. al., 1993)

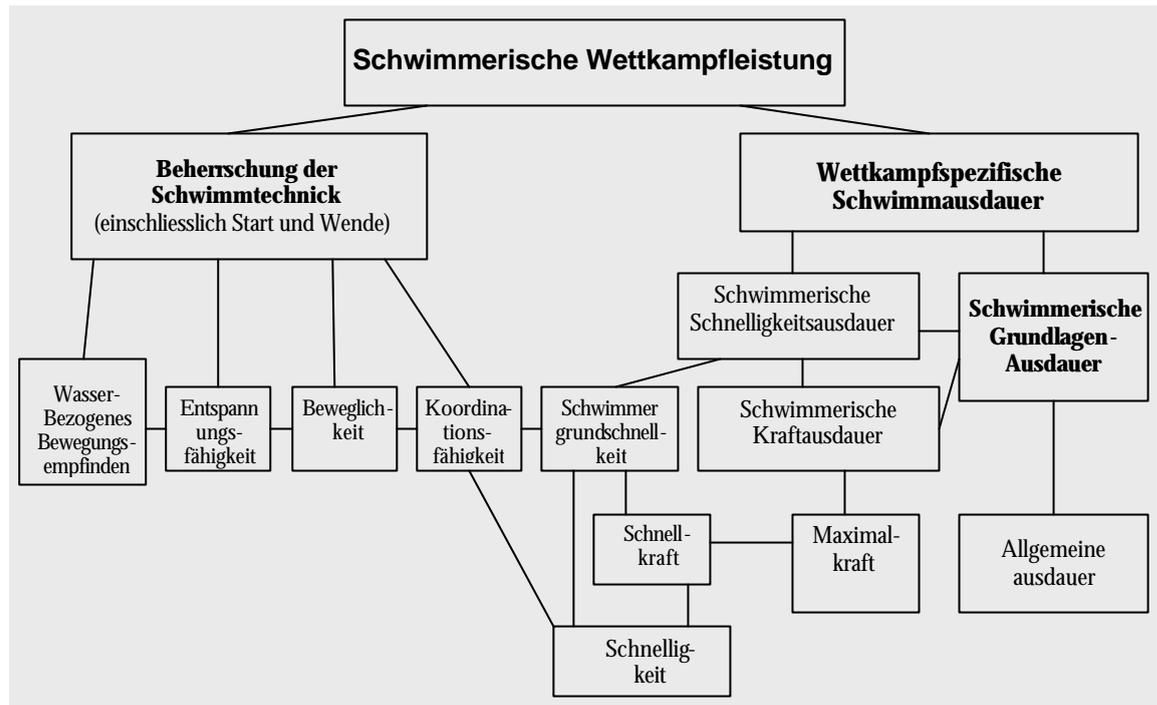


Abb. 7 Die wichtigsten motorischen Fähigkeiten und ihre Bedeutung für das Sportschwimmen.

Nach WILKE, MADSEN (1983) S.46

Unter disziplinspezifischer Sicht und unter Beachtung der Länge der Wettkampfdisziplinen sind die Anforderungen an die körperlichen Fähigkeiten zu differenzieren (Tab.4).

| Fähigkeit   | 100/200 m | 400 m | 1500 m |
|---|-----------|-------|--------|
| Umfangsausdauer   | ++        | ++++  | ++++   |
| Intensitätsausdauer                                     | ++++      | +++   | ++     |
| Lokomotor.Max.-Schnelligkeit und Schnelligkeitsausdauer | ++++      | +++   | ++     |
| Aktionsschnelligkeit                                    | ++++      | ++    | +      |
| Maximalkraft  | ++++      | +++   | ++     |
| Hydrodynamische Gleitfähigkeit                          | +++       | +++   | ++++   |
| Konstanz der Anstrengungsbereitschaft                   | +++       | ++++  | ++++   |
| Mobilisationsfähigkeit                                  | ++++      | +++   | +++    |

Tab.4 Anforderungsprofil an Fähigkeiten in Abhängigkeit von der Streckenlänge

nach SCHRAMM (1987) S. 179.

Daraus ergeben sich Substrukturen für:

- die Geschlechtsspezifik,
- die Altersspezifik (besonders das Trainingsalter und das biologische Alter),
- die Spezifik der Sportschwimmart und
- die Spezifik der Wettkampflänge bzw. –dauer,  
die einen ständigen Wandel unterliegen.

Zum Trainieren und Üben im Schwimmen gelten für verschieden lange Zeiträume differenzierte ebenfalls Strukturen.

Die Trainingsstruktur im engeren Sinn umfasst zeitlich-dynamische und proportionale Ordnungen von ausgewählten Inhalten und Wirkungsfaktoren des Trainings, die innerhalb eines bestimmten Zeitraumes die hohe Trainingseffektivität in einer durch Ziel- bzw. Teilzielstellungen vorgegebenen Entwicklungsrichtung sichern.

Durch die Präzisierung von Teilzielen des Trainings und der Zuordnung von Planungszeiträumen, organisatorischen Maßnahmen, Trainingsinhalten und –methoden können Entscheidungskategorien und Entscheidungsvariablen die Trainingsstruktur modifizieren. Tab.5 (MALZAHN, et. al., 1993)

| Trainingsteilziele                                  | Trainingsaufbau  | Trainingsorganisation   | Trainingsinhalte  | Trainingsmethoden   |
|---|--|---|---|---|
| Sportliche Erfolge-<br>Leistungen                   |  | Trainingsvollzug<br>- Trainingsstätten<br>- Trainingsgruppe<br>- Trainer/Betreuer<br>- Trainingsmittel  | Übungsformen<br>Kontroll- u. Trainings-<br>wettkämpfe                       | Trainingskonzepte<br>Trainingsvollzug im<br>Engeren Sinne |
| Sportliche Leistungs-<br>zustände                   | Mehrfähriger<br>Trainingsaufbau                            |   |   | Organisatorischer<br>Ablauf des Trainings                 |
| Einzelne Komponenten<br>Des Leistungs-<br>zustandes | Zyklen des Trainings-<br>jahres                            | Hilfsmittel der Steuerung<br>und Regelung<br>- Trainingspläne<br>- Leistungsdiagnostik<br>- Trainingsdokumentation<br>- Wettkampfbeobachtung<br>- Trainings- und Wettkam-<br>pfauswertung | Kognitive Themen zur<br>Kenntnisvermittlung                                 | Traineraktionsformen<br>Trainingsauswertung               |
| Trainingsbeanspruch-<br>ungen                       | Mikrozyklen<br>Trainingseinheiten<br>Sportliche Wettkämpfe | Talentsuche und<br>Talentauswahl  | Trainingsbegleitende<br>Maßnahmen (Physio-<br>therapie, Ernährung<br>u. a.) |   |
|   |  |   | <b>Trainingsformen</b>  |   |

Tab.5 Entscheidungskategorien und Entscheidungsvariablen von  
Trainingsplanung und Trainingsvollzug. nach MARTIN (1991) S.31

Aus der Sicht der Schwimmpraxis sind folgende Trainingsarten als Teilziele voneinander abgrenzbar:

1. Techniktraining,
2. Konditionstraining,
3. wettkampfspezifisches Training. (SCHRAMM, 1987)

### 2.3.2.3 Methoden im Land- und Wassertraining

Trainingsmethoden nehmen unter dem Aspekt der Entwicklung von Leistungen entsprechend des Anspruchsniveaus eine zentrale Position ein. Durch angewandte und realisierte Trainingsmethoden wird unmittelbar eine Adaptation des menschlichen Organismus hervorgerufen, die eine individuelle Leistungsentwicklung begründet. (MALZAHN, et. al., 1993)

Der Einsatz und die Auswahl von Trainingsmethoden und Trainingsmitteln sind abhängig von der zeitlichen Lage im Trainingsaufbau und der konkret beabsichtigten Zielstellung. Land- und Wassertraining im Sportschwimmen sind dabei einander bedingende Trainingsformen. Dabei ist aber klar, dass eine schwimmerische Leistung letztendlich nur im Wasser entwickelt werden kann.

Allgemeine Grundlagen der konditionellen Fähigkeiten im zyklischen Trainingsaufbau können an Land entwickelt werden, sind aber immer durch zunehmend spezifischere Trainingsübungen im Wasser für konkrete Leistungsanforderungen zu vervollkommen. Tab.6

| Ausdauertraining  | Krafttraining  | Schnelligkeitstraining  | Beweglichkeitstraining  |
|---|--|---|---|
| Dauermethoden<br>Wechselmethoden<br>Intervallmethoden<br>Wiederholungs-<br>methoden<br>Wettkampfmethoden<br>Kontrollmethoden<br>Spielformen | Methoden kurzzeit-<br>iger maximaler<br>Krafteinsätze<br><br>Methoden der wieder-<br>holten submaximalen<br>Belastungen<br><br>Schnellkrafttrainings-<br>methoden<br><br>Trainingmethoden<br>zur Reaktivkraftent-<br>wicklung<br><br>Kraftausdauer-<br>methoden<br><br>Methoden des speziellen<br>Krafttrainings u. a. | Intensive Intervallmethoden<br>Wiederholungsmethoden<br>Reaktionstrainingmethoden<br>Spielformen<br>Wettkampfmethoden | Methoden der Gelenk-<br>beweglichkeitsgymnastik<br><br>Dehnungsmethoden<br>(Stretching) |

Tab. 6 Überblick über die wichtigsten Methoden im Konditionstrainings.

(MARTIN, 1991) S.99

### 2.3.2.4 Planungsgrundlagen des Trainings

Alle Planungsgrundlagen zur Gestaltung des Trainings bauen auf die Theorie zur Periodisierung auf und sind in der Literatur ein aktueller Diskussionsgegenstand. Die grundlegende Idee ist dabei, dass die sportliche Form nicht über längere Zeit konstant haltbar und deshalb in Perioden auf ein ansteigendes Niveau zu bringen ist. Auf Perioden der Vorbereitung von Leistung folgen Perioden hoher und höchster Leistungen und Perioden des Übergangs mit Inhalten der aktiven Erholung. (MALZAHN, et. al., 1993 – MARTIN, 1991, S.49)

Die Entwicklung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit vollzieht sich in kürzeren und längeren Abschnitten des Trainings, die auch als Zyklen bezeichnet werden. Der Inhalt der Zyklen stellt eine Folge von Belastungs-Beanspruchungs-Regulationen dar, die von Wiederherstellungszeiträumen unterbrochen werden. Nur der planmäßige Wechsel von Belastung und Erholung ermöglicht die Ausschöpfung des individuellen Anpassungspotenzials. (NEUMANN, et. al. 2001)

In den Ausdauersportarten beeinflusst die Wettkampffolge eindeutig die Zyklisierung der Trainingsbelastung. Damit das Training überschaubar wird, erfolgt eine sportmethodische Untergliederung des Trainingsjahres in Abschnitte unterschiedlicher Dauer (Zyklen) und Inhalte.

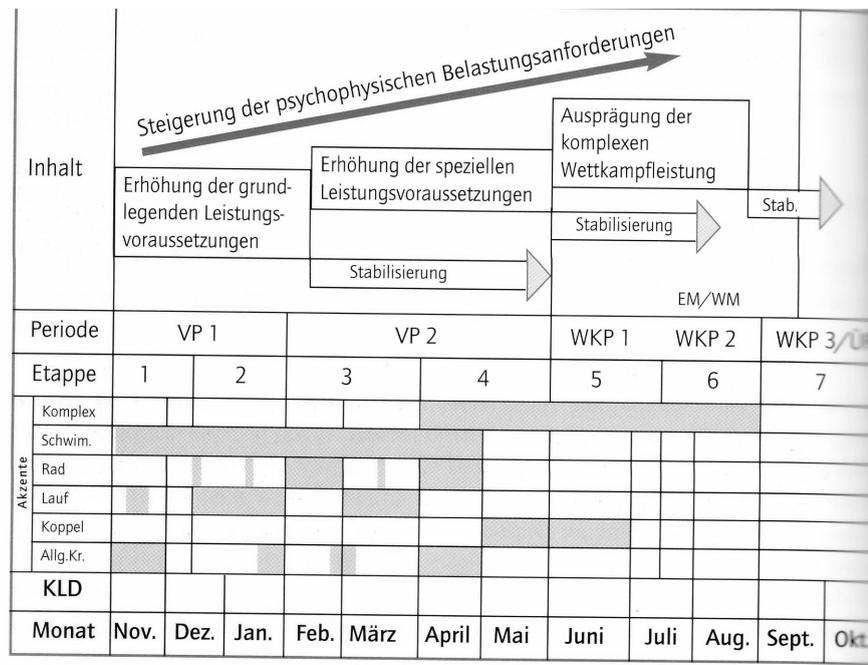


Abb.8 Strukturierung des Trainings in Perioden. Der Leistungsaufbau erfolgt über die Vorbereitungsperioden VP 1-2 und Wettkampfperioden WKP. Den Trainingsabschluss bildet die Übergangsperiode ÜP. (NEUMANN, et. al. 2001)

### - Jahreszyklus

Der Jahresaufbau des Trainings wird als Jahreszyklus (Makrozyklus) bezeichnet, der über mehrere Jahre unterschiedlich gestaltet wird. Um Höchstleistungen zu erreichen, unabhängig von Leistungskategorien und Alter, ist ein Trainingsprozess zu planen und zu gestalten.

Das Training sollte immer auf einen Jahresleistungshöhepunkt ausgerichtet werden. Für den systematischen Leistungsaufbau im Jahr wird das Training in Perioden strukturiert, die ein Kalenderjahr überschreiten können. Abb.8

Der Trainingsjahreszyklus besteht überwiegend aus:

- drei Vorbereitungsperioden,
- einer Wettkampfperiode und
- einer Übergangsperiode. (NEUMANN, et. al. 2001)

### - Mesozyklus

Der Mesozyklus umfasst einen Zeitraum von mehreren Wochen (2-4 Wochen).

In ihm vollziehen sich entscheidende Anpassungen an die Trainingsbelastung. Inhaltlich wird er noch in Mikrozyklen unterteilt, die den Zeitraum von einer Woche umfassen.

Im Zeitbereich des Mesozykluses vollziehen sich Abschnitte von Belastung und Erholung und damit ist ausreichend Zeit vorhanden, die sportartspezifischen Fähigkeiten im Komplex herauszubilden.

Sportmethodisch hat es sich bewährt, die Abfolge von Meso- und Mikrozyklen zu standardisieren, da sie die kleinere und noch überschaubare Reihung von Trainingseinheiten hintereinander darstellen.

### - Mikrozyklus

Der Mikrozyklus ist der kleinste Trainingszyklus. Er besteht aus mehreren Trainingseinheiten und wird meist als Wochenzyklus geplant. Der betonte Einsatz eines Trainingsmittels steht im Mittelpunkt des Wochentrainings.

Im Mikrozyklus treffen Reihungen hoher Belastung und nachfolgender Ermüdung eng aufeinander und müssen sportmethodisch gelöst werden.

Der aktuelle Leistungszustand entscheidet, in welscher Folge Belastung und Entlastung sich abwechseln. Der bevorzugte Belastungsrhythmus ist der 3:1-Rhythmus. Bei intensiver Belastung kann auch ein 2:1-Rhythmus zur Anwendung kommen.

Die Mikrozyklen sind, wie bereits erwähnt, die Bausteine für die Mesozyklen und repräsentieren meist das Training innerhalb einer Woche. Entsprechend werden Mikrozyklus zur Entwicklung der Ausdauer (GA1 und GA 2), Kraftausdauer(KA) und Wettkampfspezifischen Ausdauer (WSA) unterschieden. Mischungen sind Möglich.

Im Mikrozyklus kommt es zu individuellen Grenzbelastungen, die sich summieren. Zur Reizverarbeitung sind Entlastungen, die in bestimmten Rhythmen vorzuplanen sind, besonders notwendig.

Die Sportler unterschätzen oft die Notwendigkeit der Entlastung, auch zu Zeitpunkten, wo sie sich körperlich noch wohl fühlen. Das subjektive Urteil zur Notwendigkeit der Entlastung trügt oft. Nach unterlassender Belastungsverminderung folgt meist ein plötzlicher Leistungszusammenbruch, der dann längere Pausen zur Überwindung benötigt. Dadurch sinkt die Gesamtbelastung, der Leistungsaufbau wird unterbrochen.

Die Mikrozyklen, die einen höheren Leistungszustand vorbereiten helfen sollen, werden als Transformationsmikrozyklen bezeichnet.

Durch sie wird die energetische Superkompensation vorbereitet, indem eine deutliche Entlastung stattfindet. Vom gewohnten Gesamtumfang erfolgen Belastungsminderungen von 30-40%. Die Belastungsintensität ist davon nicht betroffen. (NEUMANN, et. al. 2001)

## 2.4 Laktat-Leistungsbeziehung

Das in den letzten Jahren an Umfang und Tiefe gewachsene Wissen um die Struktur sportlicher Leistungen im Allgemeinen und die Energiebereitstellung im Muskel im besonderen sowie- andererseits- die Erfahrungen beim praktischen Einsatz unterschiedlicher Objektivierungstechnik bzw. die immer einfachere Verfügbarkeit des Parameters Laktatkonzentration im Blut haben einen sich ständig verbreiterten Nutzerkreis für die Problematik des Verhältnisses „äußere Belastung und innere Beanspruchung“ sensibilisiert und Möglichkeiten der Quantifizierung dieses Verhältnisses aufgezeigt. (PANSOLD, 1993)

Nachdem der Parameter Laktatkonzentration zur Schätzung der inneren Beanspruchung seit einigen Jahren aus dem Leistungssport nicht mehr wegzudenken ist, hat nun auch im Freizeit- und Breitensport und sogar im Fitnesstraining die Bestimmung der Laktatkonzentration im Blut zur biologischen Intensitätskontrolle und zur Trainings- und Leistungssteuerung Einzug gehalten. Dabei war- und vor allem ist- dieser Prozess damit verbunden, dass sich das Nutzer- und Anwenderprofil mehr und mehr über die Sportmediziner hinaus ausgedehnt hat und heute Sportwissenschaftler, Trainer, Rehabilitationspädagogen, Sportlehrer, Übungsleiter u. a.umfasst. (COEN, 1997)

- Die Laktat- Leistungskurven auf der Grundlage von Stufentests in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik:

Entscheidend für einen adäquaten Einsatz der Laktatkonzentrationsbestimmung im Blut innerhalb der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik ist die richtige Wahl des Belastungsprofils. (PANSOLD, 1985-1993, COEN, 1997, BADTKE, 1999)

Weit verbreitet sind solche Prüfprofile, die auf stufenförmig ansteigenden Belastungen unter Einschluss einer maximalen Stufe beruhen. Sie werden als Stufentest bezeichnet.

Bei der Konzipierung von Stufentests wird vom prinzipiellen Zusammenhang zwischen der Laktatkonzentration im Blut und der Intensität der Belastung ausgegangen (Abb.9)

Dabei kann die Belastung sportartspezifisch, semi- bzw. unspezifisch durch unterschiedliche Intensitäten für die einzelnen Stufen vorgegeben und durch

verschieden lange Pausen unterbrochen werden (der Stufentest auf dem Fahrradergometer wird stufenförmig steigend z.B. ohne Pausen gestaltet).

Bei spezifischen Stufentests wird als Belastungsintensität im Wesentlichen die Geschwindigkeit über eine konstante Streckenlänge verwendet, die mehrfach-meist auch mehrmals für eine Stufe- absolviert wird. Beispiele hierfür sind die 100 m, 200 m und 400 m Stufentests im Schwimmen.

In verschiedenen Sportarten haben sich semispezifische Stufentests und unspezifische Stufentests bewährt, bei denen die Belastungsintensität in unterschiedlicher Weise vorgegeben und gemessen wird (z. B. Fahrradergometer in der Sportart Radsport, ergometrischer Messplatz im Rudern, Laufband in der Leichtathletik, „Stationsbetrieb“ in den Sportarten Judo, Ringen).

Die Intensität ist jeweils in Stufen veränderbar, die Stufendauer wird so gestaltet, dass sich das Laktatniveau jeweils der höheren Intensität anpassen kann und der Test als Ausbelastungstest durchgeführt wird. (PANSOLD, 1993)

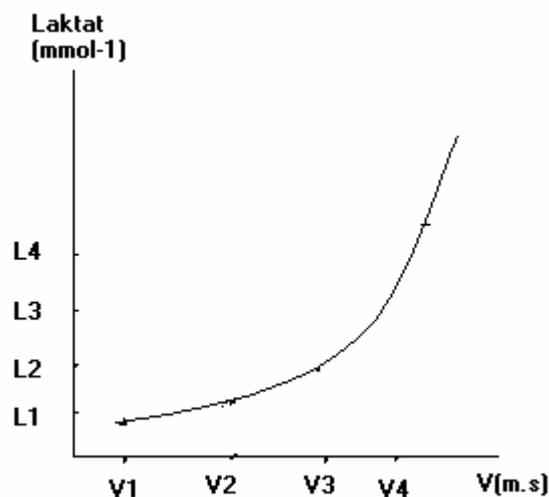


Abb.9 Schematische Darstellung des Zusammenhangs von Laktatkonzentration und Belastungsintensität (Geschwindigkeit) bei einem Stufentest (n = 4) mit Pausen nach (PANSOLD, 1985)

### 2.4.1 Zur Wahl des Funktionsansatzes

Zur mathematischen Beschreibung des Zusammenhangs Laktat ( $y$ ) – Belastungsintensität ( $x$ ) wird die Funktion  $y = a \cdot e^{bx}$  verwendet und für die Berechnung der Regressionskoeffizienten  $a$  und  $b$  eine einfache quasilineare Regressionsanalyse (Methode der kleinsten Quadrate) durchgeführt. (PANSOLD, 1993)

Eine Modellierung des Verlaufs der Laktat-Leistungskurve durch die Funktion  $y = a \cdot e^{bx}$  ist nicht von vornherein gegeben. Sie wird in erster Näherung verwendet, weil die ( $e$ ) Funktion die Eigenschaft aufweist, viele natürliche Prozesse, die von mehreren Einflussfaktoren überlagert werden, gut zu repräsentieren.

Weitergehende Überlegung, beispielsweise über die Wirkungsweise der Mechanismen des Energiestoffwechsels oder über die Repräsentationsfähigkeit der  $e$  – Funktion für den gesamten Verlauf einer Laktat- Leistungskurve oder aber die Ermittlung und Bewertung der Praxisrelevanz und Zuverlässigkeit der aus dem Modell gewonnener Ergebnisse sind Anlass dazu, dem Typ der Ausgleichsfunktion immer wieder kritisch gegenüberzustehen.

Wie aus (Abb.10) erkennbar ist, lassen sich z. B. im Anstiegverhalten einer Laktat-Leistungskurve, die auch im Bereich geringer Belastungsintensität mehrere Messung aufweist, deutlich zwei verschiedene Teilabschnitte, Kompartimente, unterscheiden.

Sie sind in der Abb.10 durch zwei  $e$ -Funktionen mit unterschiedlich steilen Anstiegen gekennzeichnet. (PANSOLD, 1993)

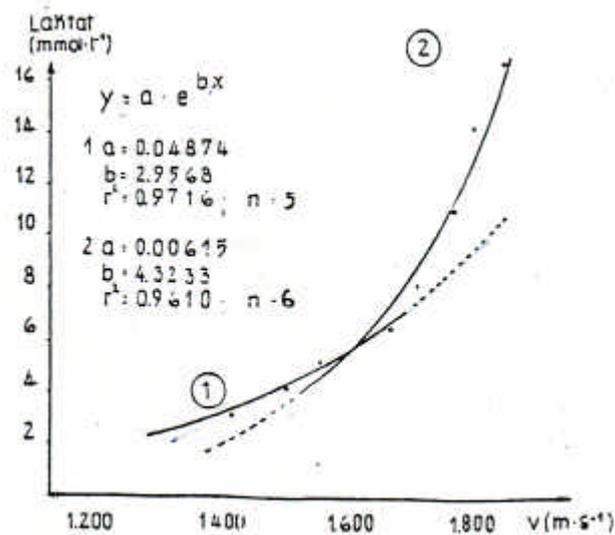


Abb. 10 Darstellung von zwei Kompartimenten der funktionellen Beziehung Laktat = f (Geschwindigkeit) bei einem 10 x 100-m-Stufentest im Schwimmen.

Nach ( PANSOLAD, 1993)

An mehrfach abgestuften Belastungstest ( je 4 Fahrradergometer- und 100m Freistil-Tests; Stufenzahl N=9) wurde deshalb geprüft, ob sich aus dieser Überlegung eine verallgemeinerungsfähige, ebenso praktikable, aber genauere Funktionsanpassung ergibt als bisher. (PANSOLD, 1985)

Dazu wurden neben der e-Funktion einige weitere, zweckmäßig erscheinende Funktion; modifizierte Exponentialfunktion; Polynom 2. Grades ) geprüft und miteinander verglichen.

Daüberhinaus wurde die Gesamtmenge der Meßwertpaare um die Meßpunkte in niedrigen Belastungsstufen reduziert, und nur die verbleibenden Meßpunkte der höheren Belastungsstufen wurden zur Anpassung an eine e-Funktion herangezogen.

Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigte folgendes: Insgesamt gesehen bewirken alle Funktionen gute Anpassungen ; die Reststreuung erreichte Werte von 0,4 mmol/l bis 2 mmol/l. (PANSOLD, 1985)

Die besten Anpassungen lieferten bei den einzelnen Sportlern jeweils verschiedene Funktionstypen, so dass sich keine dieser Funktionen als "die Richtige" unter dem Gesichtspunkt der Einbeziehung eines nahezu vollständigen Kurvenzuges auszeichnet.

Dagegen erweist sich die einfache e-Funktion für die Messpunkte ab einer bestimmten Intensität an aufwärts als sehr gut zur Beschreibung des Zusammenhangs Laktat – Leistung geeignet.

Alle Bestimmtheitsmaße liegen über 0,98, die Reststreuung beträgt von 0,4 mmol/l bis 2 mmol/l.

An die Bedingungen der Praxis gemessen sind diese Ergebnisse bedeutungsvoll, weil die Stufentests insbesondere auf der Realisierung trainingsmethodisch wichtiger submaximaler sowie maximaler Belastungsintensitäten beruhen und deshalb auch in diesen Bereichen ihre höchste Aussagekraft gefordert wird. (PANSOLD, 1993)

Zur Beschreibung die Laktat-Leistungskurve wird damit die Funktion  $y = a \cdot e^{bx}$  als ausreichend genaue und mit vertretbarem Aufwand realisierbare Methode angesehen.

Wir benutzen darüber hinaus diese Funktion  $y = a \cdot e^{bx}$  insbesondere wegen ihrer Wachstumseigenschaft, ihrer überschaubaren algebraischen Zusammenhänge, der Existenz von nur 2- anschaulich interpretierbaren – freien Parametern sowie der mit ihr möglicher Abschätzung von Zuverlässigkeit und Gültigkeit gewonnener Ergebnisse und sehen eine weiter Verbesserung der Arbeit mit dem Parameter Laktat weniger in einer akademisch exzellenten Kurvenanpassung der Messdaten an eine Funktion als vielmehr in der Nutzung der aus einer Vielzahl – hinreichend genau ermittelter und systematisch gesammelter –Laktat-Leistungskurven stammenden Informationen und deren multiplen, strukturierten Bezug zur maximalen Leistung. (PANSOLD, 1993)

## 2.4.2 Zur Gestaltung von Stufentest

Beim Einsatz des Parameters Laktatkonzentration im Rahmen der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik auf der Grundlage von Stufentest ist zu beachten, dass dieser Parameter zahlreichen Einflussfaktoren unterworfen ist. (Abb. 11)

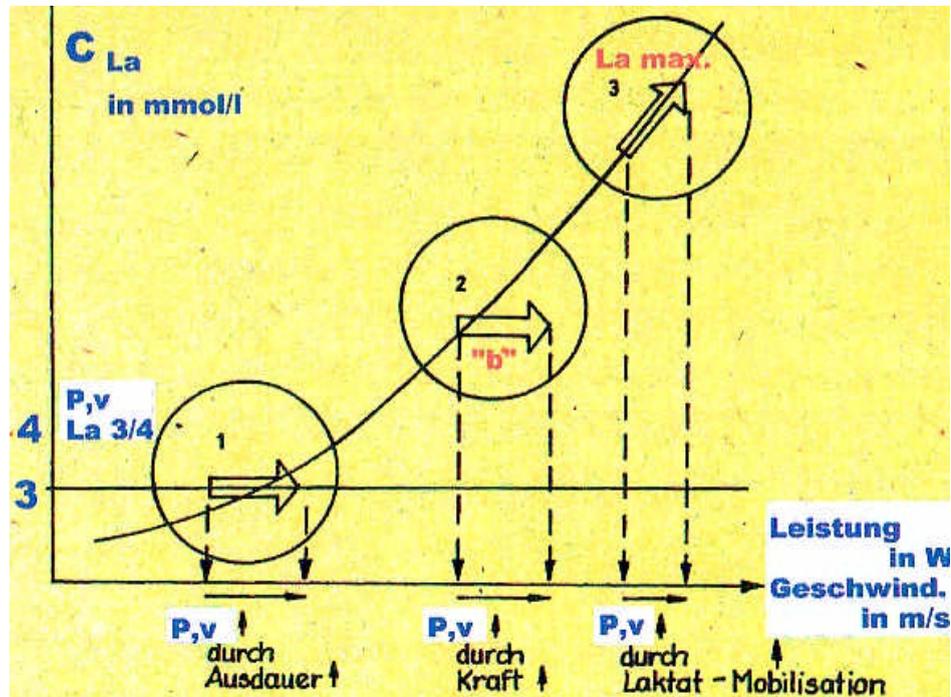


Abb. 11 Die Laktat-Intensitäts-Beziehung zur Belastungssteuerung in den Trainingszyklen

Neben der biologischen Schwankungsbreite und dem gesamtmethodischen Fehler der Bestimmung sind die folgenden Einflussgrößen von ausschlaggebender Bedeutung für die Qualität der aus einer Laktat-Leistungskurve gewonnenen Ergebnisse und damit für die Zuverlässigkeit und Praxisrelevanz der diagnostischen Aussage:

### - Die Stufenzahl

Die Stufenzahl bei Stufentest erweist sich als wesentliche Einflussgröße, da sowohl die Belastungsvorgabe und deren Einhaltung durch den Sportler, der organisatorische Aufwand für den Trainer, die ökonomischen Fragen der Laborkapazität, die Praxisrelevanz der Ergebnisse und die Zuverlässigkeit der Aussage gleichermaßen betroffen sind.

Alle diese Aspekte bedingen sich gegenseitig und führen zwangsläufig zu einem von der Zielstellung der Untersuchung abhängigen Kompromiss, auch in der Festlegung der Stufenzahl. Ganz allgemein lässt sich feststellen, dass Stufentest mit weniger als 4 Stufen vor allem im Längsschnitt praktisch keine zuverlässige Diagnostik leistungsbestimmender Merkmale erlauben.

#### - **Die Belastungsvorgabe (Intensität, Dauer, Steigerungsrate)**

Je nach Zuordnung des Stufentests zu einer trainingsmethodischen Kategorie (z.B. Kurzzeitausdauer, Mittelzeitausdauer) hat sich eine Stufendauer von 1min bis 15min bewährt.

Bei sportartspezifischen Stufentest werden –ausgehend von der Maximalleistung –in Abstufungen der Intensität von 5 Prozent bis 10 Prozent Stufen mit variabler Dauer bei konstanter Streckenlänge absolviert.

Die Wahl der Belastungsstufen sollte so vorgenommen werden, dass auf den submaximalen Stufen Laktatwerte von 2,0 mmol/l bis 7,0 mmol/l erreicht werden.

Dieses Vorgehen würde die biologischen Bezugsgrößen aerobe Schwelle (Laktat 2mmol/l), aerob/anaerober Übergangsbereich (Laktat 2 bis 4 mmol/l) und anaerobe Schwelle (Laktat 4 mmol/l) einschließen und trainingsmethodischen im Wesentlichen dem Kompensation, Ökonomisierungs- und Entwicklungsbereich im Ausdauertraining entsprechen.

Dabei sollte das an der anaeroben Schwelle beginnende Training im Entwicklungsbereich Intensitäten bis maximal 7 mmol/l Laktat einschließen.

#### - **Die Pausendauer und –Gestaltung**

In den meisten Sportarten wird der Testablauf nur durch kurze Pausen zur Bestimmung der Laktatkonzentration unterbrochen.

Aus unterschiedlichen Gründen, vor allem zur Sicherung der Vergleichbarkeit, werden in den einzelnen Sportarten Pausen von 1 min bis 10 min verwendet.

### - Die Abnahmezeitpunkte für die Belastung der Laktatkonzentration

Der richtige Zeitpunkt der Laktatbestimmung wird von der Intensität, der Dauer der Belastung und vor allem von der Inanspruchnahme des jeweiligen energieliefernden Mechanismus bestimmt.

Nach Wettkampfbelastung im Kurzzeit- und Mittelzeitbereich liegt das Maximum jedoch deutlich später als in der 3min. (PANSOLD, 1985)

### - Die Vorbelastung des Sportlers

Die Vorbelastung des Sportlers übt einen für die Diagnostik zu berücksichtigenden Einfluss auf die Höhe der Laktatkonzentration im Blut bei definierten Testbelastungen aus. Ernährung, Intensität und zeitlicher Abstand der Vorbelastung bestimmen den Zustand des Substratspeichers Muskelglykogen und die Aktivitäten der Enzyme der anaeroben Glykolyse und damit auch die Laktatbildung.

Mit steigender Belastungsintensität tritt Laktat im Blut bei Sportler mit vergleichbarer maximaler Sauerstoffaufnahme umso früher auf, je höher die muskuläre Glykogenkonzentration ist. (CLASING, et. al. ,1994- PANSOLD, 1993)

### 2.4.3 Kenndaten der Laktat-Leistungsbeziehung

Als Kenndaten der Laktat –Leistungskurve werden folgende Größen, die zur Beschreibung der jeweiligen komplexen Leistungsvoraussetzung dienen, ausgewählt und definiert (Abb.12).

|             |   |  |                        |
|-------------|---|--|------------------------|
| Kenngroße 1 | Leistung beim Laktat-Grenzwert 4 mmol/l           | Niveau der aeroben Leistungsfähigkeit                        | <b>V<sub>4.0</sub></b> |
| Kenngroße 2 | Koeffizient b der Funktion $y = a \cdot (e)^{bx}$ | Niveau der Kraftfähigkeit und / oder der sportlichen Technik | <b>b</b>               |
| Kenngroße 3 | Maximale Laktatkonzentration im Blut(mmol/l)      | Niveau der anaerob-laktaziden Energiebereitstellung          | <b>L<sub>max</sub></b> |

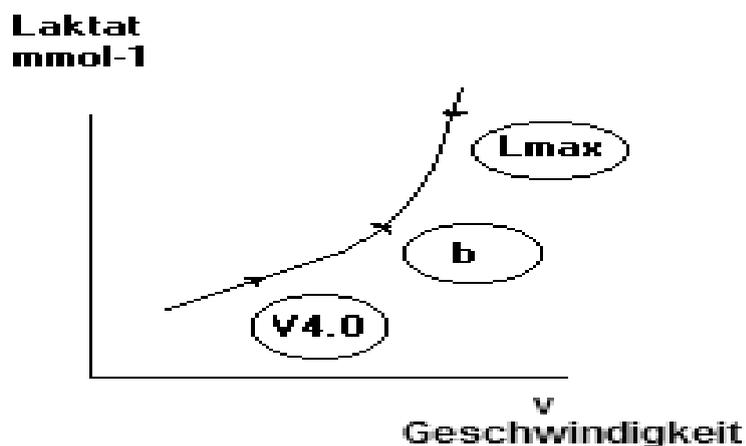


Abb. 12 Schematische Darstellung der Kenndaten der Laktat-Leistungskurve.  
Nach PANSOLD (1993)

Die Laktat-Leistungskurve dient der Stabilisierung der Interpretationsqualität von Einzellaktatwerten und erlaubt eine komplexe Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Energiebereitstellung (aerob/anaerob) und Energieverwertung, des Wirkungsgrades aus der Verknüpfung beider Prozesse und der quantitativen bioenergetischen Beschreibung der Zielgröße maximale sportliche Leistung.

Die durch die Kenndaten abgrenzbaren, vor allem konditionellen Leistungsvoraussetzungen sind nicht losgelöst von ihrer integrativen neural-bioenergetischen Regulation zu beurteilen, zumindest muss diese Regulation bei der Bewertung von leistungsdiagnostischen Ergebnissen zur Vermeidung einer einseitigen phänomenologischen Interpretation immer berücksichtigt werden.

Die Kopplung des chemischen und des zentralnervösen Signals auf verschiedenen Ebenen hat die Übereinstimmung zwischen neuralen Ansteuerungsprogramm und metabolischer Regulation zum Ziel.

Das Ergebnis besteht in einer verbesserten Nutzung und in einer Erweiterung von Regulationsbereichen der Funktionssysteme (Ökonomisierung und Maximierung). Davon ausgehend sind die Kenndaten der Laktat-Leistungskurve als extrem verdichtete und gleichzeitig auch stark vereinfachte Information zur Ökonomisierung und Maximierung der Energiebereitstellungsmechanismen anzusehen, deren trainingspraktische Relevanz als gesichert gelten kann. Anpassungen des Organismus-hervorgerufen durch gezielte Trainingsreize-manifestieren sich in den Kenndaten der Laktat-Leistungskurve in folgender Weise nach PANSOLD (1993):

### - **KenngroÙe 1**

Die KenngroÙe  $V_{4.0}$  erfasst unter den gegebenen Bedingungen des jeweiligen Stufentests eine ganz bestimmte Form aerober Leistungsfähigkeit und ist eine durch die quasilineare Ausgleichsfunktion rechnerisch ermittelte standardisierte GröÙe. Sie stellt jedoch nicht die einzig mögliche Form des Ausdrucks der aeroben Leistungsfähigkeit dar, wie die vielfältigen Trainingsmittel zu ihrer Entwicklung innerhalb einer Sportart praktisch belegen.

### - **KenngroÙe 2**

Die Verlaufsscharakteristik der Laktat-Leistungskurve wird durch das Niveau der Krafftähigkeit des Sportlers und sportartspezifisch bzw. individuell bedingte EinflussgröÙen der Bewegungsstruktur bzw. Technik beeinflusst.

Das Ansteigverhalten der Laktat-Leistungskurve bestimmt die Art und Weise, wie die maximale Laktatauslenkung ( $L_{max}$ ) zur aeroben Leistungsfähigkeit ( $V_{4.0}$ ) in Beziehung tritt, und damit zugleich die Höhe der bei  $L_{max}$  realisierbarer Leistung (abb.13).

Auch zwischen Krafftähigkeiten und Muskelfasertypenverteilung als biologisches Korrelat bestehen entsprechende Zusammenhänge.

Am Exponenten  $b$  wird bei der Analyse unterschiedlich ermittelter Laktat-Leistungskurven erkennbar, dass neben der Beschreibung der inneren, an der Ausprägung der Leistungsstruktur beteiligten Faktoren (hämodynamisch-respiratorisch, metabolisch, neuromuskulär) auch eine Berücksichtigung der sportartspezifischen Kraft-Zeit-Verläufe erfolgen sollte. (PANSOLD, 1993)

### - **KenngroÙe 3**

Die gemessene maximale Laktatkonzentration im Blut als Ausdruck der maximalen Kapazität des Systems gilt für die jeweils gewählten Prüfverfahren. Aber auch in diesem Zusammenhang bestehen vielfältige Beanspruchungsformen zum Erreichen der maximalen Auslenkung des Laktats. Bei Sicherung des erforderlichen Mindestzeitbedarfs der anaeroben Glycolyse und der notwendigen Bewegungsfrequenz (nervales Ansteuerungsprogramm der Muskelzelle) können vergleichbare Daten gewonnen werden. Ähnlich wie bei der aeroben Leistungsfähigkeit sind viele praktische Möglichkeiten vorhanden, die maximale anaerobe Kapazität zu ermitteln. Bedeutungsvoll erscheint jedoch die im Vollzug höchster sportartspezifischer Leistungen mögliche Ausprägung.

#### 2.4.4 Typisierung von Laktat-Leistungskurven (PANSOLD, 1993)

Unter Berücksichtigung der Bedeutung der Dynamik und der erkennbaren Wechselwirkungen zwischen den Kenndaten sollen nachstehend –bei partiellem Bezug fünf wesentliche Möglichkeiten für Leistungsverbesserungen dargestellt werden.

##### 1.0 Möglichkeit

Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungskurve bei steilerem, eventuell auch gleichem Ansteigverhalten und gleichen, höheren oder niedrigeren maximalen Laktatwerten.

Die Verbesserung der sportlichen Leistung kann im Wesentlichen auf die Erhöhung der aeroben Leistungsfähigkeit zurückgeführt werden (Wirksames Ausdauertraining im Entwicklungsbereich). Beachtet werden sollte dabei aber, dass die Verbesserung der aeroben Geschwindigkeit nur auf Grund einer Erhöhung der Laktatbildungsgeschwindigkeit möglich wird.

In der Trainingspraxis und insbesondere bei der Interpretation der beschriebenen Kurvenveränderung ist der Dualismus zwischen aerober und anaerober Energiebereitstellung stärker zu berücksichtigen.

Kurvenveränderungen dieser Art sind in vielen Sportarten vor allem das Ziel des Trainings im so genannten 1.Abschnitt eines Trainingsjahres, in dem die Ausbildung der generellen aeroben Leistungsfähigkeit Hauptzielgröße ist und durch mesozyklusbezogene Vorgabewerte auch bereits disziplinspezifisch bewertbar gestaltet werden kann.

Im Aufbautraining ist mit einem wirksamen aeroben Training eine ähnliche Leistungsentwicklung sogar im Mehrjahresverlauf anzustreben. Trainingsmethodisch vorgezogene Belastungsakzente, die zur Ausprägung der Kenngrößen 2 und 3 – also  $b$  und  $L_{\max}$  führen, hemmen oftmals die weitere Perspektive. Darüber hinaus wäre mit dieser Variante, bei entsprechender Einhaltung der Testvorgaben durch die noch sehr jungen Sportler, auch bereits im Grundlagentraining eine Möglichkeit gegeben, die Durchsetzung vor allem der aeroben Ausbildungsziele in dieser Entwicklungsstufe zu kontrollieren. Die richtige Interpretation des Kurvenverlaufs kann in entsprechenden Fällen die Leistungsentwicklung jedoch auch als Folge eines zu frühzeitigen Einsatzes laktazider Trainingsmittel erkennen lassen. (Abb. 13Teil.2)

## 2.0 Möglichkeit

Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungskurve bei Abflachung und gleichen, höheren oder niedrigeren maximalen Laktatwerten.

Die Verbesserung der sportlichen Leistung ergibt sich aus einer Zunahme der aeroben Leistungsfähigkeit, die mit einer Ökonomisierung der anaerob-laktaziden Energiebereitstellung bzw. Verwertung verbunden ist. Sie kann durch wettkampfspezifisches Ausdauertraining bei gleichzeitiger Sicherung des disziplinspezifischen Kraft-Zeit-Verlaufs in der Bewegungsstruktur durch Unterdistanz- und Intervallbelastungen mit Laktatwerten von 4 mmol/l bis 8 mmol/l und besonders sorgfältige Pausengestaltung erreicht werden. Die Veränderung der Laktat-Leistungskurve ist bei gleichzeitiger Anhebung bzw. zumindest gleichzeitigem Erhalt der maximalen Laktatauslenkung ( $L_{\max}$ ) als Optimalvariante aufzufassen, wenn es gelingt, sie zeitpunktgerecht zu erreichen. Damit lässt sich in anschaulicher Form die prinzipielle Zielstellung der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung vor allem in Kurzzeit- und Mittelzeit- und Mittelzeitausdauerdisziplinen verallgemeinert darstellen. (Abb.13 Teil 3)

## 3.0 Möglichkeit

Abflachung der Laktat-Leistungskurve bei konstanter aerober Leistungsfähigkeit mit gleichen, höheren oder niedrigeren maximalen Laktatwerten.

Bei genügend ausgeprägter aerober Leistungsfähigkeit kann durch Ökonomisierung der anaerob-laktaziden Energiebereitstellung ebenfalls eine Zunahme der maximalen sportlichen Leistung erzielt werden. Zu beachten ist dabei, dass die Leistung des glycolytischen Systems zunimmt (Laktatbildungsgeschwindigkeit). Trainingsmethodisch ist dieser Effekt durch maximale Belastungen bis zu einer Dauer von etwa 30 s mit entsprechender Wiederholung zu erreichen. (Abb.13 Teil 4)

#### 4.0 Möglichkeit

Abflachung der Laktat-Leistungskurve bei Linksverschiebung der aeroben Leistungsfähigkeit und gleichen, höheren oder niedrigeren maximalen Laktatwerten.

Die Verbesserung der sportlichen Leistung beruht auf einer Ökonomisierung der anaerob-laktaziden Energiebereitstellung bei gleichzeitiger Rückläufigkeit der aeroben Leistungsfähigkeit. Hierbei wird die in bewissen Sinne kontroverse Beziehung in der Ausprägung der aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit besonders deutlich: Die Rückläufigkeit der aeroben Leistungsfähigkeit hat zu einem Optimum der für die Leistungsstruktur notwendigen aeroben Leistungsfähigkeit geführt, und damit wurde eine nicht adäquate aerobe Dominanz zugunsten der anaeroben Leistungsfähigkeit aufgehoben. Dieses Verhalten kann besonders bei Disziplinen des Kurzzeitausdauer- und Mittelzeitausdauerbereiches nachgewiesen werden, bei denen der Ausprägungsgrad und die Proportionen zwischen aerober und anaerober Leistungsfähigkeit gleichermaßen für die Ausprägung einer zeitpunktgerechten maximalen sportlichen Leistung von Bedeutung sind. Häufig wird dieses Verhalten der Laktat-Leistungskurve durch eine Abnahme der maximalen Sauerstoffaufnahme ergänzt. (abb.13 Teil 5)

#### 5.0 Möglichkeit

Keine Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungskurve und keine Änderung der Krümmungscharakteristik, jedoch höhere maximale Laktatwerte.

Eine Verbesserung der sportlichen Leistung ergibt sich aus einer Zunahme der maximalen Auslenkung (höchste individuelle Laktatkonzentration im Blut). Leistungen, die auf diese Weise realisiert werden, erweisen sich in der Regel als instabil und ungenügend reproduzierbar, da die hierfür erforderliche Motivation des Sportlers eine wichtige, aber nur ungenau steuerbare und störanfälligen Einflussgröße darstellt. Trainingsmethodisch gesehen ist diese Form der Leistungsverbesserung ein "Notfallkonzept". (Abb. 13 Teil 6)

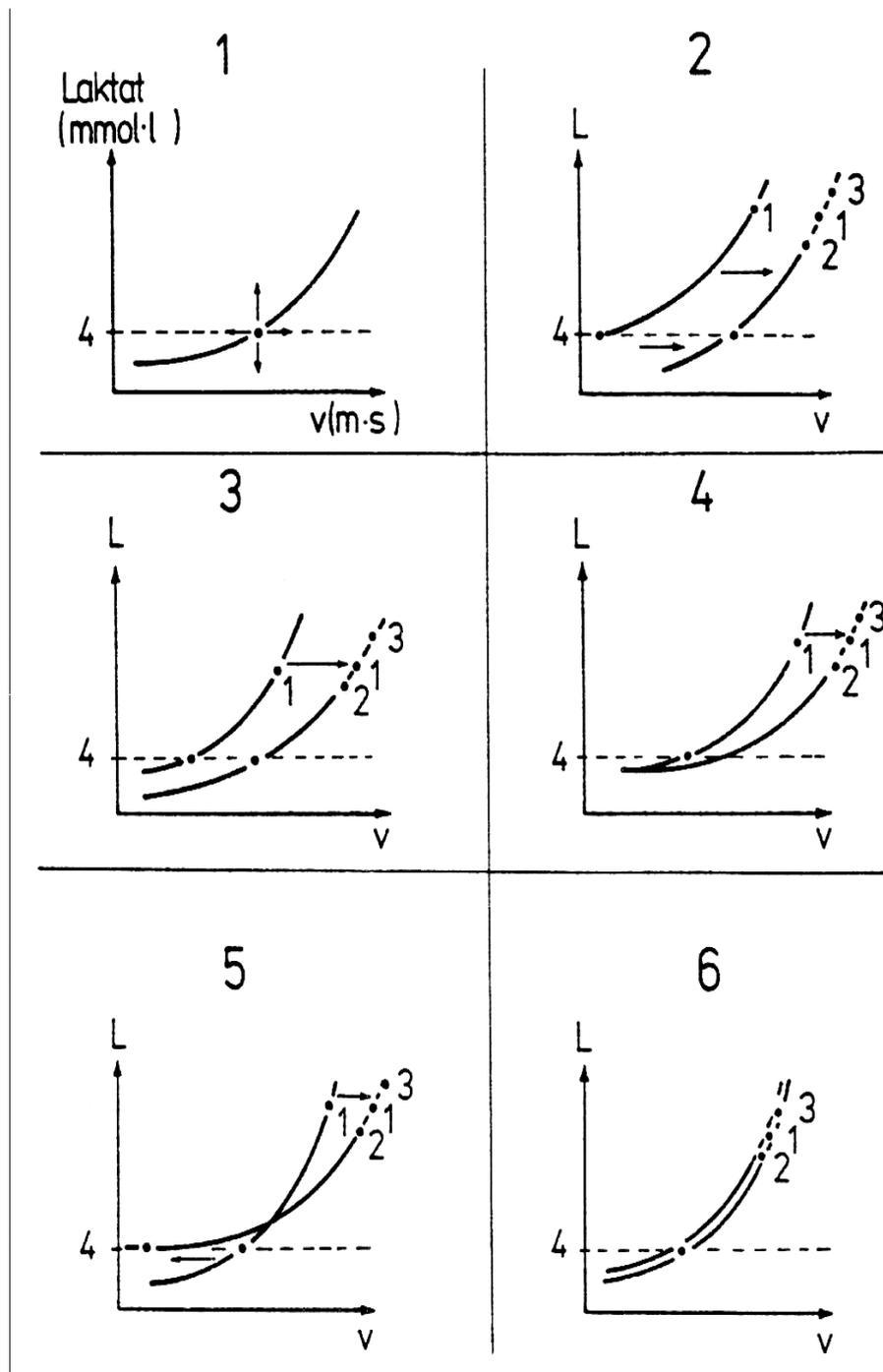


Abb.13 Typisierung der Laktat-Leistungskurve: Verbesserung der Leistung (Teilabb. 2-6) durch Rechtsverschiebung und Abflachung der Kurve sowie Änderung der maximalen Laktatwerte. Nach PANSOLD (1993)

## 2.5 Spiroergometrie

Die Spiroergometrie ist eine Untersuchungsmethode der Sportmedizin zur Prüfung der allgemeinen körperlichen Leistungsfähigkeit, der Funktion des kardiopulmonalen Systems und des Stoffwechsels unter definierten Belastungsbedingungen. (NIKLAS, 1984)

Unter dem Begriff der Spiroergometrie wird eine Kombination von Untersuchungen verstanden, die sich aus der körperlichen Belastung mittels Ergometer und der Gasstoffwechseldiagnostik (Spiroergometrie) zusammensetzt. (NEUMANN, 1991)

Eine leistungsorientierte Belastungsuntersuchung (Spiroergometrie) ist wesentlicher Bestandteil der sportmedizinischen Diagnostik.

Die diagnostische Methode der Ergometrie hat seit langem Eingang in die praktische Kardiologie gefunden und ist in den letzten Jahren auch weitgehend standardisiert worden. (?STRAND, 1972, BÖHME, 1981, NIKLAS, 1984, JAEKEL, 1994)

Voraussetzung für eine exakte Bewertbarkeit der registrierten physiologischen Antwortreaktionen ist die präzise Vorgabe oder Ermittlung der jeweiligen Ergometerleistung in Watt. (NIKLAS, 1996)

Für die Fahrradergometrie ist diese Fragestellung durch Einsatz unterschiedlicher Bremssysteme für die Bedingungen der praktischen Medizin weitgehend gelöst worden.

Im Falle des Schwimmens ist die Entwicklung von geeigneten Verfahren zur leistungsorientierten Belastungsuntersuchung im Wasser nach wie vor im Fluss.

Das Hauptproblem besteht in einer bisher fehlenden Möglichkeit, die mechanische Gesamtleistung (Ergometerleistung) bzw. deren wesentliche Komponenten für die Sportmedizin praktikabel und hinreichend präzise zu erfassen. (NIKLAS, 1998)

Grundlage einer jeden Spiroergometrie ist die Vorgabe oder Bestimmung der vom Probanden zu erbringenden mechanischen Leistung mittels eines geeigneten Ergometers.

Die Eignung eines Ergometers wird einerseits durch seine Mess-, Anzeige- bzw. Funktionsgenauigkeit und andererseits durch die Art des geforderten Bewegungsablaufes charakterisiert.

Für eine Spiroergometrie, die zu Zwecken der sportmedizinischen Diagnostik erfolgen soll, werden im zunehmenden Maße Ergometer gefordert, die einen weitergehend sportartspezifischen Bewegungsablauf gestatten (sportartspezifische Spiroergometrie).

In jeden Fall sind bei der Ermittlung kardiopulmonaler Antwortreaktionen des menschlichen Organismus auf eine ergometrische Belastung von der physikalischen Leistung als Eingangsgröße auszugehen.

Gestattet eine Belastungsvorrichtung nur die Vorgabe einer lokomotorischen Geschwindigkeit (Laufband, Gegenstromanlage), so ist die tatsächliche Eingangsgröße (mechanische Leistung) über ein geeignetes Verfahren im Nachhinein zu ermitteln.

Dabei gilt folgende Beziehung zwischen Leistung und Schwimmgeschwindigkeit:

$$P_{\text{mech.}} = F \cdot v$$

$P_{\text{mech.}}$  mechanische Leistung, Ergometerleistung

$F$  aufgewandte Kraft in oder entgegen der Schwimmrichtung

$v$  lokomotorische oder Schwimmgeschwindigkeit (NIKLAS, 1996)

Die mechanische Leistung  $P_{\text{mech.}}$  eines Schwimmers kann nicht direkt gemessen werden, weil die nach  $P_{\text{mech.}} = F \cdot v$  zur jeweiligen lokomotorischen Geschwindigkeit  $v$  gehörige Kraft  $F$  nicht messbar ist. (NIKLAS, 1996)

An einem Dynamometer können lediglich Vortriebskräfte  $F_{\text{TO}}$  bei so genannter Nullgeschwindigkeit (d. h. an der Longe), Widerstandskräfte  $F_{\text{R}}$  beim passiven Schleppen (nicht nur in Gleitlage) und diejenigen Kräfte, die der Schwimmer beim aktiven Schwimmen mit submaximaler Geschwindigkeit über die Überwindung seines eigenen hydrodynamischen Widerstandes hinaus zur Wirkung bringen kann (Restkräfte), erfasst werden. (NIKLAS, 1996)

Für die Berechnung der mechanischen Leistung des Schwimmers darf aber nur die hydrodynamische Widerstandskraft  $F_{Ra}$  oder die Vortriebskraft  $F_T$  unter den Bedingungen des freien, aktiven Schwimmens herangezogen werden, wobei im Falle der gleichförmigen (lokomotorischen) Bewegung des Schwimmers in Vortriebsrichtung  $F_{Ra} = F_T$  gilt.

Zur Ermittlung der für eine Leistungsberechnung erforderlichen Kraftgröße kann die aus der Technik und der Biologie bekannte Methode der Zusatzkraftbeaufschlagung herangezogen werden, wenn es gelingt, diese Zusatzkräfte so zur Wirkung zu bringen, dass sie die Schwimmlage des Probanden (die Position des Körpers zur Wasseroberfläche) nicht verändern und somit Rückwirkungsfreiheit erreicht wird. (NIKLAS, 1998)

Zwischen der Bruttoleistung eines Individuums und seiner Sauerstoffaufnahme gilt die Beziehung:

$$P_{\text{brutto}} = K \cdot \dot{V}O_2,$$

wobei  $\dot{V}O_2$  die Sauerstoffaufnahme und  $K$  das kalorische Äquivalent bezeichnen. Entsprechend gilt im Falle der Zusatzkraftbeaufschlagung

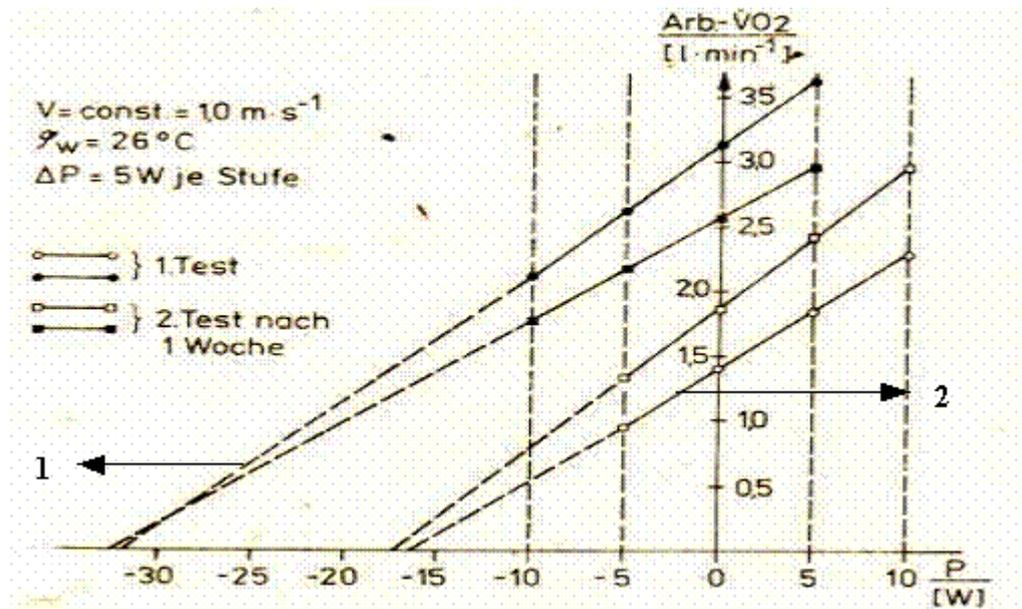
$$\Delta P = \Delta \dot{V}O_2,$$

In diesem Fall ist  $\Delta P_{\text{mech}} = \Delta F \cdot v$  genau bekannt.

Aufgrund des eindeutigen Zusammenhanges zwischen  $P_{\text{brutto}}$  und  $P_{\text{mech}}$  bzw. der in hinreichend weiten Grenzen zwischen  $P_{\text{mech}}$  und  $\dot{V}O_2$  bestehenden linearen Beziehung kann die biomechanische Leistung eines Schwimmers ermittelt werden.

Weil der Wirkungsgrad  $\eta = P_{\text{mech}} / P_{\text{brutto}}$  des schwimmenden Menschen sehr klein ist und die Differenzkräfte ebenfalls klein gewählt werden, ist eine hohe Annäherung der Funktion

$$\Delta \dot{V}O_2 = f(\Delta F) \text{ an eine Gerade gewährleistet (} r^2 = 0,97 \dots 1,00 \text{).}$$



1. Breitensportler
2. Leistungssportler

Abb. 14 Ausgewählte Beispiele zur Bestimmung der biomechanischen Leistung zweier Sportler für die Sportschwimmtechnik Kraul, obwohl zwischen Test und Retest deutliche Unterschiede in den Sauerstoffaufnahmen bestehen, sind die Beträge für die ermittelte biomechanische Leistung praktisch gleich.

(NIKLAS, 1996)

Beide Sportler besitzen ähnliche anthropometrische Parameter und eine verfestigte individuelle sportlichen Technik.

Auf Grund des Alters und des Trainingszustandes der Sportler lag keine messbare Variabilität in der sportlichen Technik vor.

In der Praxis hat sich ein besonderes Versuchsregime bewährt: Der Sportler befindet sich in einer Gegenstromanlage zunächst in Gleitlage. Über ein Schnorchelsystem wird bei vorgegebener Strömungsgeschwindigkeit  $v$  seine „Ruhesauerstoffaufnahme bestimmt.“

Praktisch handelt es sich mehr um eine ‚Vorstart-Sauerstoffaufnahme‘.

Anschließend kommen Zusatzkräfte von 10 und 5 N nacheinander in Vortriebsrichtung zur Wirkung, wobei der Schwimmer aktiv gegen die Strömung schwimmt und infolge der Zusatzkräfte „entlastet“ wird.

Es wird jeweils die Sauerstoffaufnahme bestimmt. In weiteren Teststufen schwimmt der Schwimmer ohne Zusatzkräfte bzw. mit 5 und 10 N Beaufschlagung in Widerstandsrichtung („Belastung“) gegen das mit gleichbleibender Geschwindigkeit strömende Wasser des Strömungskanals. Durch Abzug der zur jeweiligen Teststufe gehörenden „Ruhe“ Sauerstoffaufnahme von den Gesamtsauerstoffaufnahmen erhält man die den fünf Teststufen zuzuordnenden Arbeitssauerstoffaufnahmen.

Mittels eines geeigneten Rechnerprogramms (CPX von Med. Graphics) werden die Abszisse Arbeitssauerstoffaufnahme gleich 0, berechnet. (vergl. Tab.11 und Abb. 27-41)

Ein dementsprechend über die Extrapolation ermittelter Kraftwert muss im Betragformat der über die Teststufendauer integrierten hydrodynamischer Widerstandskraft (bzw. Vortriebskraft) gleich sein.

Der Begriff „hydrodynamische Widerstandskraft“ darf hier nur unter Bedingungen des Schwimmens eines Menschen von denjenigen des Schleppens eines starren Körpers im Wasser deutlich abweichen. (NIKLAS, 1996)

### 2.5.1 Vorrichtung zur Kraftübertragung

Gegenstromanlagen, wie sie in der ehemaligen DDR, Japan, Schweden und in jüngster Zeit auch in Rom im Centro di Medicina dello Sport sowie in Colorado Springs / USA, dem Untersuchungszentrum des US-Schwimmsports, gebaut wurden, sind technische Anlagen, in denen die Geschwindigkeit des umlaufenden Wassers durch Pumpen reguliert werden kann.

In einem gesonderten Bereich, der Messstrecke, befindet sich der Schwimmer und bewegt sich auf der Stelle ohne angebunden zu sein. Er erfüllt damit im Prinzip die Gesetzmäßigkeit „ $actio=reactio$ “, indem er gerade soviel Kraft auf das Wasser anwendet, wie sein Körperwiderstand erfordert. (UNGERECHTS, 1995)

Um Kräfte unter den Bedingungen des Schwimmens rückwirkungsfrei auf einen Probanden zu übertragen bzw. bei Schwimmbewegungen auftretende Kräfte zu ermitteln, ist eine kraftschlüssige Kardanische, d.h. in drei orthogonalen Raumkoordination frei bewegliche Ankopplung des Probanden erforderlich. (NIKLAS, 1988)

Durch den Einsatz einer orthopädisch angepassten Tragschale sowie eines geeigneten Gurtsystems ist es dem Schwimmer möglich, bei voller Kraftschlüssigkeit und unbeeinträchtigten Atemexkursionen in allen Sportschwimmtechniken gegen Strömung und Differenzkräfte zu schwimmen.

Die vertikale Kraftwirkung der Apparatur auf den Schwimmer infolge ihres Eigengewichtes wird durch eine Zugfeder kompensiert.

Die Differenzkräfte werden über ein Seil-Rolle-System rechtwinklig umgeleitet, und somit wird deren Wirkrichtung in Übereinstimmung mit der Wirkrichtung der Widerstands- bzw. Vortriebskraft gebracht. (Abb.15)

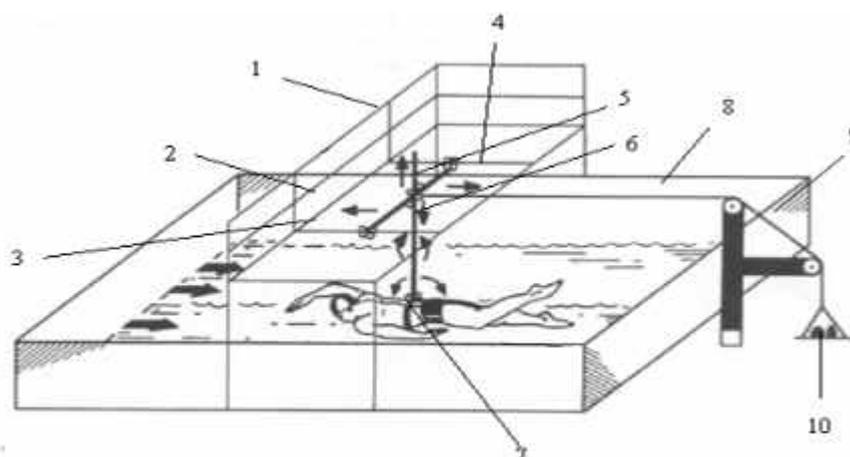


Abb.15 Anordnung der Elemente der Messvorrichtung in der Gegenstromanlage  
 1. hydromechanische Messrinne (offenes Gerinne) 2. Brücke für Gasstoffwechselmeßgeräte 3. Lager 4. Scheinen 5. Messwagen 6. vertikale Säule 7. Kardanische Aufhängung 8. Seil 9. Rolle 10. Differenzgewichte.  
 Nach NIKLAS (1988)

## 2.5.2 Gasstoffwechselformung

Zur Kennzeichnung der Leistungsvoraussetzungen, des Wirkungsgrades der Belastung und als biologisches Bezugsmaß für Stoffwechselprozesse ist die  $\dot{V}O_2$  bzw. die  $\dot{V}O_{2\max}$ , eine Basismessgröße in der Leistungsdiagnostik. (NEUMANN, 1981)

Der vielfach nachlesbare Schluss:  $\dot{V}O_{2\max}$  gleich aerobe Leistungsfähigkeit, ist nicht mehr zutreffend. Vielfach wird die Formulierung: "Die  $\dot{V}O_{2\max}$  ist ein Maß der aeroben Leistungsfähigkeit" so ausgelegt.

Bereits einfache Beobachtungen in der Sportpraxis können bei einer gleichen  $\dot{V}O_{2\max}$  /kg z.B. 75ml/kg/min sowohl Spitzenleistungen in der Mittelstrecke als auch im Marathonlauf gebracht werden. (NEUMANN, 2000)

Auch ist zu beobachten, dass, obwohl die Weltbestleistungen in den Ausdauersportarten zunehmen, die  $\dot{V}O_{2\max}$  gleich bleibt.

Um die Atemarbeit möglichst gering zu halten, erfolgt die Gasstoffwechselformung mittels eines offenen, ventilgesteuerten Messsystems.

Der Volumenstrom  $A$  wird über einen Pneumotachografen nach *FLEICH* erfasst und über wählbare Taktzeiten integriert.

Zur Berechnung der Sauerstoffaufnahme des Schwimmers wird das Sauerstoffdefizit der Expirationsluft gegenüber der Umgebungsluft mit dem Volumenstrom verrechnet. (*NIKLAS, 1984*)

Die Erfassung der Sauerstoffkonzentration geschieht mit einer Festelektrolyt-Sensorzelle, deren spezieller Aufbau auch im Bereich physiologischer Sauerstoffkonzentration eine störungsarme Signalgewinnung ermöglicht.

Die Kohlendioxidkonzentrationsmessung wird durch den Einsatz des nach dem Infrarotabsorptionsprinzip arbeitenden Infralyt realisiert. (*NIKLAS, 1988*)

Für beide Gasanalysatoren gelten nichtlineare Zusammenhänge zwischen Gaskonzentration und elektrischem Ausgangssignal. Die notwendige Linearisierung erfolgt über einen Analogrechner. (*NIKLAS, 1988*)

Der Proband atmet während des Tests durch einen Schnorchel, der über einen Atemschlauch mit dem Gassstoffwechselmeßgerät verbunden ist.

Das gesamte Gasanalyseesystem hat nur minimale Rückwirkungen auf den Probanden zu den Erfolgen.

Im Einzelnen zeichnet sich der Schnorchel durch

- geringen Atemwiderstand,
- geringen hydrodynamischen Widerstand,
- geringer Gesichtsfeldeinschränkung und
- gute Tragfähigkeit aus. (*NIKLAS, 1989*)

### 3.0 Das Untersuchungskonzept

#### 3.1 Probanden

Für die Studie stellten sich internationale 10 Sportler im Alter von 14 bis 20 Jahren aus dem Bundesstützpunkt Schwimmen des Sportclubs Magdeburg zur Verfügung.

Es handelte sich dabei um 5 weibliche und 5 männliche Athleten, die zum deutschen Schwimmverband gehörten. (Tab.7)

Tab.7 Folgende Sportler wurden analysiert:

| Sportler | Schwimmart | Anströmgeschwindigkeit im Strömungskanal (m/s)<br>anhand des Schwellenwertes 2-3 mmol/l |
|----------|------------|---|
| D. H.    | Rücken     | 0.9   |
| K. M.    | Kraul      | 1.0   |
| K. D.    | Brust      | 0.9   |
| N. K.    | Kraul      | 1.1   |
| N. O.    | Rücken     | 0.9   |
| K. A.    | Kraul      | 1.1   |
| S. M.    | Kraul      | 1.0   |
| A. T.    | Brust      | 1.0   |
| S. H.    | Brust      | 1.0   |
| D. W.    | Brust      | 0.9   |

#### 3.2 Untersuchungsmethoden

##### 3.2.1 Laboruntersuchungen

###### 3.2.1.1 Blutlaktatkonzentration (mmol/l)

Vor Beginn, nach der dritten Minute jeder Belastungsstufe sowie eine und drei Minuten nach Belastungsende wurde Blutproben aus dem Ohrläppchen entnommen.

Das Kapillarblut (0.05 ml) wurde sofort in eiskalter Perchlorsäure enteintweißt, abzentrifugiert, und das Laktat mit Hilfe der "TESTKOMBINATION LAKTAT" bestimmt. (PANSOLD, 1985)

Dabei muss mit einem Fehler von zwei Prozent gerechnet werden.

###### 3.2.1.2 Die Leistungsmessung im Schwimmen

###### - Diagnostik und Analytik des Gasstoffwechsels

Untersuchungen zum Gasstoffwechsel von Schwimmern sind seit nahezu 100 Jahren Gegenstand wissenschaftlicher Arbeiten *DuBOIS-REYMOND (1905)* *LILJESTRAND-LINDHARD (1919)* und *HOLMÉR (1979)*.

In meisten Fällen wurde die Sauerstoffaufnahme beim Schwimmen im Becken mittels DOUGLAS-Sack-Methode bestimmt. Dadurch ist der Diagnostiker unabhängig von ortsständiger Gasanalysetechnik. (DOUGLAS, 1911)

Der Nachteil besteht in

- der Diskontinuität der Erfassung,
- den von den Bedingungen des Sackes abhängigen Integrationsintervallen,
- dem durch off-line-Analytik fehlenden direkten Bezug zur Sporttechnik (Kinematik)

Für die Bedingungen des Schwimmens hat sich eine kontinuierliche Gasstoffwechsellmessung mittels mit hinreichend kleiner Zeitkonstante arbeitender Gasstoffwechselmeßsysteme als notwendig erwiesen.

Diese Meßsysteme sind bereits marküblich (z.B. CPX von Med Graphics, Oxycon von *JAEGER*, *MIJNHARD* (1937) u.a., weisen jedoch einige Unterschiede hinsichtlich der Sensor konstruktion und der Software auf.

Keines der angebotenen Grätesysteme ist für die sportmedizinische Diagnostik im Schwimmen ohne Anpassungen und Umbauten einsetzbar.

Das betrifft in der Reihenfolge ihrer Bedeutung:

- Softwarefehler bezüglich der Berücksichtigung von instationären Strömungsverhältnissen, Diskontinuitäten und Einschwingfunktionen.
- Die Verbindung Sportler-Apparatur (Atemmaske/Schnorchel).
- Die Differenz der Zeitkonstanten der Sensoren ( $O_2$ ,  $C O_2$ ,  $\dot{V}$ )
- Den Einfluss von Vertikal- und Horizontalbeschleunigung am Sportler auf die Atemgassäule
- Die Einberechnung von Kondenswasserverlusten bzw. den Einbau einer Schlauchheizung
- Die elektrische Sicherheit und den Korrosionsschutz unter Schwimmbadbedingungen
- Die softwareseitige Einbeziehung spezieller Parameter für die Leistungsdiagnostik (z.B. Zusatzkräfte, Ergometerleistung im Wasser neben der Schwimmgeschwindigkeit, Vertrauensintervalle für errechnete Parameter, kinematische Größen.

Wesentlich ist der Einsatz so genannter „schneller“ Sensoren, d.h. Messzellen mit geringer Einschwingzeit bzw. Zeitkonstante (nicht Totzeit). (NIKLAS, 1996)

Für die Sauerstoffanalytik können Messzellen auf Basis sauerstoffionenleitender Festelektrolyte empfohlen werden, während für die CO<sub>2</sub>-Messung Zellen nach dem Prinzip der IR-Absorption gegenwärtig ohne Alternative sind.

Für die Zukunft sind auch Festelektrolyte auf Carbonatbasis in Betracht zu ziehen, um zur RQ-Berechnung in Bereichen außerhalb der Ergostasi Sensoren mit gleicher Einschwingkinetik einsetzen zu können.

Zur Volumenstrommessung sind sowohl Pneumotachographen (Blendensysteme mit Zwangslaminarisierung) als auch Impellersysteme handelsüblich.

Als brauchbarer Integrationszeitraum für die Atemgasanalyse gelten die 10 s-Takt.

Eine Einzelatemzuganalyse ist nur sinnvoll über eine Differenzbildung von zwei über einem solchen Zeitraum integrierten Werten (z.B. CPX von Med. Graphics).

Der externe Atemwiderstand lässt sich durch geeignete Maske-Schnorchel-Systeme in Verbindung mit adäquaten Gebersystemen minimieren.

- **Inspirations- und Expirationswiderstände von Schnorchelsystemen (BÖHME, 1981)**

Die Leistungsdiagnostik erfordert rückwirkungsarme Gasstoffwechselmeßsysteme, um sowohl die Atemarbeit als auch die Atemform gegenüber der freien Atmung möglichst wenig zu beeinflussen.

Für die Diagnostik auf dem Fahrrad oder dem Laufband gibt es Atemmasken und Ventilmundstücke; für das Schwimmen wurden bisher Masken- und Schnorchelsysteme erprobt.

Unter den Bedingungen des Schwimmens gilt es, ein Optimum zwischen

- dem Atemwiderstand,
- dem Wasserwiderstand und
- dem Totraum
- des Schnorchels zu finden. (NIKLAS, 1984)

Diese Forderung schränkt die Möglichkeiten im Hinblick auf unterschiedliche Bauformen deutlich ein. Gegenwärtig sind international nur zwei Bauformen bekannt, die das geforderte Optimum hinreichend realisieren:

1. Variante Amsterdam *TOUSSAINT et. al. (1992)*
2. Variante Magdeburg *NIKLAS et. al. (1996)*

### 3.3 Die Durchführung der Untersuchung

Die Untersuchungen wurden in einer Gegenstromanlage durchgeführt. (*Niklas, 1996*)

Die Belastungsvorgaben sind in Tab.8 wiedergegeben. Die Untersuchungen beim Schwimmen erfolgten in der Gegenstromanlage Magdeburg bei einer Wassertemperatur von jeweils 28° Celsius und einer relativen Luftfeuchtigkeit des Raumes von 60-65%.

| Belastungsstufen  | Belastungsstärke                      | Belastungsdauer | Belastungshäufigkeit | Kenngrößen  |
|---|---------------------------------------|-----------------|----------------------|---|
| -5 N Entlastung<br>±0 N + 5N Belastung<br>+ 10 N Belastung für<br>v = stant | Bei 2-3 mmol/l<br>Laktatkonzentration | 3 Minuten       | 1 Minute             | Sauerstoffaufnahme,<br>Kohlendioxidabgabe,<br>Herzschlagfrequenz,<br>kinemetrische<br>Analyse |

Tab. 8 Vorgaben für einen Belastungstest in einer Gegenstromanlage

#### 3.3.1 Berechnungsverfahren der Ergometerleistung in der Gegenstromanlage

##### - Nichtlinearer Ansatz zur Bestimmung der Ergometerleistung im Wasser

Weil weder der hydrodynamische Widerstand noch die mechanische Leistung zur Überwindung des hydrodynamischen Widerstandes eines Schwimmers beim aktiven Schwimmen direkt gemessen werden kann, muss die Ergometerleistung indirekt ermittelt werden. (*LILJESTRAND, STENSTRÖM, 1919*)

Das bisher übliche Verfahren, mittels Zusatzkraftbeaufschlagung über den linearen Zusammenhang zwischen mechanischer Leistung und Sauerstoffaufnahme diese Leistung zu bestimmen, ist für die Bedingungen des Leistungssports nicht hinreichend. (*WEBB, 1971, DIPRAMPERO, 1974*)

Auch in einer Reihe von Fällen, vorwiegend im Bereich des Behinderten- und Rehabilitationssports, erweist es sich als praktisch günstig und theoretisch fundiert, die Berechnung der Ergometerleistung bzw. der integrierten Widerstandskraft über eine Polynomannpassung vorzunehmen (Beispiel Abb.16)

- Kurvenanpassung an eine Polynomfunktion z.B.  $\dot{V}O_2 \sim F$  oder  $\dot{V}O_3$
- Bildung der 1. Ableitung / Differentiation des Polynoms in allen interessierenden Punkten

$$(\dot{V}O_2; ?G \text{ einschl. } ?G = 0).$$

- Berechnung der Anstiegsgraden und ihres Schnittpunktes mit der Geraden

$$\text{Arb.-} \dot{V}O_2 = 0$$

(Je nach rechentechnischem Ansatz ist das die Abszisse oder die Ordinate).

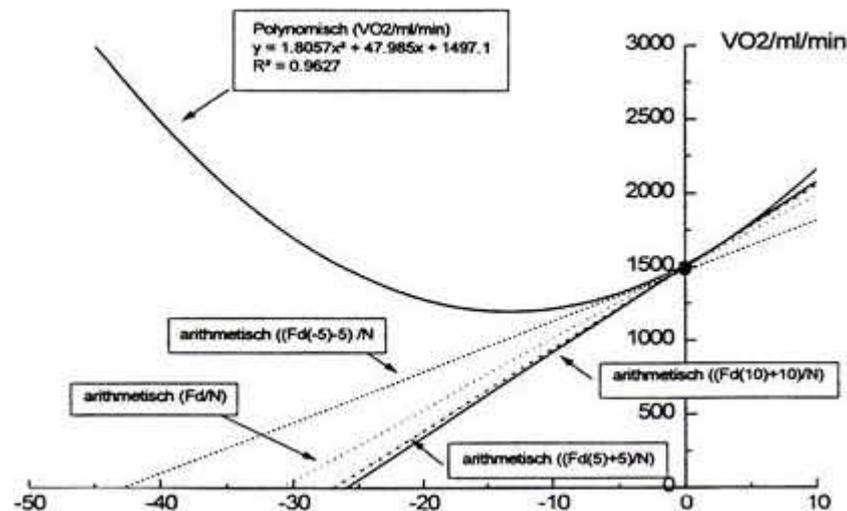


Abb.16 Polynomannpassung an die experimentellen Wertepaare  $\dot{V}O_2 = f(F_d + F_z)$  bei  $v = \text{const.}$  sowie die Ermittlung der integrierten Kraftgrößen für alle Teststufen über die 1. Ableitung der Funktion und die Ermittlung der Anstiegsgeraden.

Nach (NIKLAS, 1996)

Die experimentell-theoretisch Begründung für diese Untersuchung liegt in der Tatsache, dass das Gesamtsystem durch sehr kleine Zusatzgewichte („um den Nullpunkt herum“) am geringsten gestört ist, und damit der Anstieg ( $\tan \alpha$ ) im Punkt ( $\dot{V}O_2; ?G=0$ ) am ehesten den „wahren Wert“ charakterisiert.

Für die praktische Bewertung ist dabei folgendes zu berücksichtigen:

- Die Abweichung von der Linearität beruht nicht auf energetischen Ursachen sondern auf der *biomechanisch-koordinativen Anpassung* des Schwimmers an die veränderten Belastungsbedingungen infolge der Zusatzkraftbeaufschlagungen  $\Delta G$ . Wobei auch hier bisher nicht hinreichend geklärt ist, ob es sich um eine Änderung des Widerstandes, des Wirkungsgrades ( $\eta_p$ ) oder des Quotienten  $P_d / \eta_p$  handelt.
- Die durch die Nichtlinearität bedingten Veränderungen der Differenzleistungen („Wattstufen“) können über die Projektion der Polynomkurve auf die über die Differentiation ermittelte Ansteiggrade für  $\Delta G = 0$  numerisch bestimmt oder über die Extrapolation der Anstiegsgraden für  $\Delta G \neq 0$  berechnet werden, so dass im Ergebnis ein Stufentest höchster Präzision vorliegt, der zudem noch Aussagen über Stabilität oder Flexibilität der individuellen und aktuellen sportlichen Technik liefert.
- Durch simultane kinematische Bewegungsanalysen werden die sporttechnisch bedingten Veränderungen des Schwimmwiderstandes sichtbar und gestatten einen trainingsmethodischen Zugriff. (NIKLAS, 1996)

Die Berechnung der Fraktalen Dimension\* erfolgte bei einer Belastung der Schwimmerin von 0 Watt sowie bei einer Zusatzbelastung von 5 Watt. (BLASER, 1997)

Die Fraktale Dimension betrug

- im ersten Fall (0 Watt) 1.94 und
- im zweiten Fall (5 Watt) 1.84

bei einer Einbettungsdimension von  $m = 5$  und  $\tau = 1$ . (Tab.10)

Des Weiteren wurde ein zweiter Test mit der gleichen Schwimmerin in der Gegenstromanlage unter Ausschluss der Schwimmergomerie durchgeführt.

---

\* Die Fraktale Dimension gibt die Anzahl der paarweise unabhängigen Variablen bzw. Freiheitsgrade an, die die Bewegung auf dem Attraktor beschreiben. Sie kennzeichnet das geometrische Verhalten auf dem Attraktor. (BLASER, 1997-2000)

In diesem Fall entfielen eine kardanische Aufhängung und ein Anschluss an das Atemgasanalysegerät.

Ziel der Untersuchung war die Aufklärung der Frage, inwieweit durch die Verkopplung der Sportlerin mit der Analyseeinheit die Tendenz der Messergebnisse in Bezug auf die Koordinationsstruktur der Bewegung verändert werden könnte.

Unter Einbeziehung der Gegenstromanlage wurde der in Tab.9 dargestellte Drei-Stufen-Test absolviert.

| Belastungsstufe | Belastungsstärke | Belastungsdauer | Belastungshäufigkeit | Belastungsdichte |
|-----------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------|
| 1               | 85 Prozent       | 2 Minuten       | 1 x                  | 4 Minuten        |
| 2               | 90 Prozent       | 2 Minuten       | 1 x                  | 4 Minuten        |
| 3               | 95 Prozent       | 2 Minuten       | 1 x                  | 4 Minuten        |

Tab.9 Der Test erfolgt unter den Bedingungen einer Gegenstromanlage unter Zugrundelegung der individuellen Bestzeiten über 200 m

Als Parameter des Leistungsfaktors „Technik/Koordination“ wurde die horizontale Hüftgeschwindigkeit verwendet. (BLASER, NIKLAS 1998, BLASER, 1997)

Über sie sind in Bezug auf das Brustschwimmen die horizontalen intrazyklischen Geschwindigkeitsschwankungen, die infolge der zeitversetzten Antriebe durch die Extremitäten entstehen, erfassbar (Abb.17). Diese sind in erster Linie koordinativ bedingt. Eine Optimierung der intrazyklischen Raum-Zeit-Strukturen der Extremitätenbewegungen im Sinne eines optimalen Verhältnisses zwischen Stabilität und Variabilität der Bewegung erhöht die Effizienz des Leistungsfaktors „Technik/Koordination“. Die Geschwindigkeitsschwankungen in ihrer räumlich-zeitlichen Charakteristik können auf einem Attraktor abgebildet werden, und mit Hilfe von Dimensionsmaßen ist die geometrische Charakteristik der Geschwindigkeitsschwankungen quantitative beschreibbar. (BLASER, 2000)

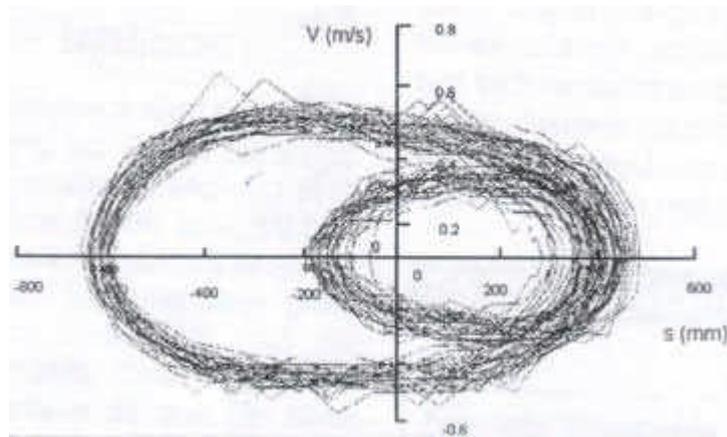


Abb.17 Horizontale intrazyklische Geschwindigkeitsschwankungen (reproduziert aus den Bewegungen der kardanischen Aufhängung der Schwimmerin)  
Nach (BLASER, NIKLAS, 1998)

Auch hier erfolgte eine Analyse der horizontalen Hüftgeschwindigkeit auf der 3. Belastungsstufe, diesmal jedoch mit Hilfe der Videoanalyse.

Des Weiteren wurde durch die Berechnung der Autokorrelationsfunktion das Verhalten der Hüftgeschwindigkeit überprüft.

Die Autokorrelationsfunktion geht in der Tendenz gegen Null. Das deutet an, dass entweder ein stochastischer oder chaotisch determinierter Prozess vorliegt. BLASER, 1997 (Abb. 40)

Die Berechnung der Fraktalen Dimension zeigt in der Tendenz eine Veränderung in der Koordinationsstruktur, die den Aussagen unter den Bedingungen der Schwimmergeometrie entsprechen (Tab.10).

|                      | Belastungsanfang | Belastungsende |
|----------------------|------------------|----------------|
| Fraktale Dimension   | 1.49             | 1.41           |
| Einbettungsdimension | 4                | 4              |
| Menge der Daten      | 1200             | 1200           |

Tab.10 Dargestellt ist die fraktale Dimension in Bezug auf die Hüftgeschwindigkeit nach (BLASER, NIKLAS, 1998)

Eine Möglichkeit ergibt sich in der Nutzung der aus der Schiffstechnik und der Biologie bekannten Methode der Zusatzkraftbeaufschlagung für die Gestaltung eines spiroergometrischen Stufentests im strömenden Wasser. (NIKLAS, 1996)  
Diese Methode gestattet durch gezielte Anwendung physiologischer und physikalisch-chemischer Gesetzmäßigkeiten, die mechanische Leistung zur Überwindung des hydrodynamischen Widerstandes beim aktiven Schwimmen zu berechnen, wenn durch die Nutzung eines Schwimmkanals einerseits die Schwimmbewegungen weitgehend dem originalen Schwimmen im Becken angenähert sind und andererseits die für eine Spiroergometrie wesentlichen kardiopulmonalen Antwortreaktionen möglichst rückwirkungsarm zu registrieren sind. (NIKLAS, 1996)

Die erhaltene Messwerte konnten lange Zeit weder bestätigt noch widerlegt werden, weil kein geeignetes Referenzverfahren zur Verfügung stand.

Genutzt wurde eine Gegenstromanlage in Verbindung mit einer kardanischen Ankoppelungsvorrichtung, die eine rückwirkungsarme Einleitung der Zusatzkräfte in Wirkung der hydrodynamischen Widerstandskraft bzw. der Antriebskraft des Schwimmers gestattet. (ÅSTRAND, ENGLESSON 1972)

### **3.3.2 Kinemetrische Analyse**

Für die Analyse der mittels Videotechnik registrierten Bewegungen im Schwimmen wurde Bewegungsanalysesystem „Motodiag“ verwendet. (BLASER, STUCKE & WITTE, 1997) (Abb.41)

Die kinemetrische Analyse der Bewegungen basierte auf einer 2-dimensionalen Videoaufnahme.

Interessierende Körperbaumerkmale werden am Sportler markiert und stehen dann im digitalisierten Einzelbild für die computergestützte Analyse zur Verfügung.

Auf der Grundlage einer sportspezifischen „Modellierung“ der Schwimmbewegung nach JÄHNIG, WÜNSCH & WIEGEND (1973) erfolgte die weitre Bearbeitung interessierender Körper- und Gelenkpunkte. (Abb.42)

Ausgangspunkte für die Modellbildung sind das Verhältnis von Extremitäten- und Rumpfgeschwindigkeit. (Abb. 23)

Aus diesem Verhältnis leitet sich die Phasenstruktur für einen Zyklus der Schwimmbewegung ab. Bei der Einleitung der Phasen wird die relativ horizontale Geschwindigkeit der Extremitäten in Beziehung zur absoluten horizontalen Geschwindigkeit des Rumpfes gesetzt (in Vorbereitung: Analyse des KSP).

Diese Beziehung geht von der Vorstellung aus, dass der Vortrieb des Körpers in erster Linie dann entwickelt wird, wenn sich die Extremitäten schneller entgegen der Vortriebsrichtung bewegen als der Körper in Vortriebsrichtung.

Berechnet werden die relativen horizontalen Extremitätengeschwindigkeiten mittels gleitender Koordinatentransformation (Koordinatenursprung = Hüftpunkt).

Vortriebswirksame Extremitätenbewegungen werden mit einem positiven, bremsende Extremitätenbewegungen mit einem negativen Vorzeichen versehen.

Die daraus abgeleiteten geschwindigkeit-Zeit-Diagramme bilden die Grundlage für die Bestimmung der Bewegungsphasen:

- Einleitende Bewegungsphase. (EPH) (Abb.18)
- Haupt- / Vortriebsphase. (HPH)
- Überleitendephase. (ÜPH)
- Vorbereitendephase. (VPH)

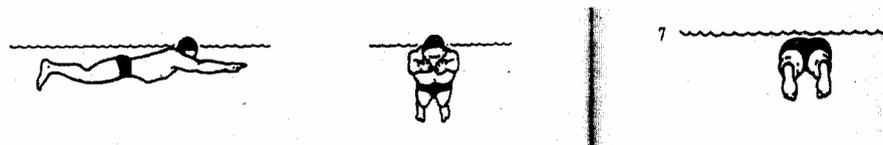


Abb.18 Figuretten in der einleitenden Phase. *Nach (NEUMANN, 1984)*

Diesen Phasen können weitere Indikatoren in Form von zyklusbezogenen Wegen, Zeiten Geschwindigkeit und Winkel zugeordnet werden. (Abb.23) Des Weiteren stehen entsprechende Kennlinien zur Verfügung: Zeichenkinogramme, Wegverläufe, Weg-Zeit-Diagramme, Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme (X-Y-Komponente oder Resultierende).

Im Rahmen der vorliegenden Pilotuntersuchungen wurde per Belastungs-/Entlastungsstufe ein Schwimmzyklus kinemetrisch analysiert. Es wurde bei allen Probanden und Belastungsstufen jeweils der Zyklus nach 50 % der jeweiligen Belastungsdauer gewählt.

Gestellt wurden folgende Kennwerte / Kennlinien je Belastungsstufe zur Verfügung:

Kennlinien:

- Wegverläufe der Extremitäten und der Hüfte
- Geschwindigkeits-Zeitdiagramm der Hüfte und Extremitäten ( $V_x$ ) (Abb. 23)

Kennwerte:

- Bewegungsfrequenz
- Zyklusgeschwindigkeit
- Zyklusweg
- Dauer der einzelnen Bewegungsphasen
- Phasenstrukturquotient
- Winkel zwischen Körperlängsachse und Wasseroberfläche (Beginn und Ende der Vortriebsphasen)
- Vertikaler und horizontaler Weg der Extremitäten in den Vortriebsphasen
- Maximale Geschwindigkeit der Hüfte im Zyklus
- Minimale Geschwindigkeit der Hüfte im Zyklus
- Geschwindigkeitsdifferenz
- Geschwindigkeitsmaxima und –Minima der Extremitäten

### 3.3.3 Spiroergometrie

Mit der Spiroergometrischen Untersuchung können allgemeine Trainingsanpassungserscheinungen (Grundlagenausdauer, Bewegungseffektivität...) und die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems beurteilt werden.

Eine einmalige Spiroergometrische Untersuchung ist nicht repräsentativ, nur Längsschnittuntersuchungen vermögen die Änderungen in der körperlichen Leistungsfähigkeit infolge Trainings ausreichend zu charakterisieren.

Das Außerachtlassen der biologischen Schwankungsbreite der Auswerte und Fehlerquellen der Methode (offenes Meßsystem) kann zur falschen Annahme von Leistungsverbesserungen oder Verschlechterungen führen.

Die Größe der maximalen Sauerstoffaufnahme (max. O<sub>2</sub>-Aufnahme) ist ein objektives Kriterium für die aerobe Kapazität der Organismus.

Der Wert für die max.O<sub>2</sub>- Aufnahme wird aber nur erreicht, wenn alle oder der größte Teil der Muskelgruppen des Körpers über eine Untersuchungsdauer von 2 bis 10 Minuten maximal arbeiten. (S. Test Beschreibung, Kanalergetriebe 4 x 3 bei Konst. V<sub>S</sub> und Zusatzkraftbeaufschlagung, Untersuchungsdesign nach (NIKLAS, 1996 )

Im Belastungsuntersuch stieg die Sauerstoffaufnahme annähernd linear mit der Belastung an. Trainierte und untrainierte zeigten bei unspezifischen Belastungen (Handkurbel-Fahrrad-Spiroergometrie) in der Sauerstoffaufnahme keine wesentlichen Unterschiede.

Bei sportartspezifischen Belastungen benötigten die der gut trainierten Sportler (Schwimmer des Sportclubs Magdeburg SCM) auf einer standardisierten Belastungsstufe aufgrund einer Höheren aeroben Leistungsfähigkeit, weniger Sauerstoff als die schlechter trainierten oder untrainierten (Sportstudenten).

Die aerobe Leistungsfähigkeit ist nicht allein durch die maximale Sauerstoffaufnahme zu charakterisieren. Die Erhöhung der aeroben Leistungsfähigkeit ist mit funktionellen Anpassungen, mit strukturellen Veränderungen und mit einer höheren Effektivität des Nervs-Muskel-Systems verbunden. (NIKLAS, 1998)

### 3.3.4 Untersuchungsmethodischen Vorgehen

Schwimmergometrie nach dem Untersuchungsdesign nach (NIKLAS, 1996).

- Belastungsstufen:    -5 N            Entlastung
- +/- 0N        Be- / Entlastung
- +5 N            Belastung
- +10 N         Belastung

- Strömungsgeschwindigkeit:

Wurde individuell anhand des Schwellwertes 2-3 mmol/l eingestellt.

- Belastungsdauer

3min Belastung, 1min Pause

- erfasste Kennwerte:

1.  $\dot{V}O_2$  -Aufnahme sowie  $CO_2$ -Abgabe (Grundlage für Berechnung der Kraft)
2. Laktat
3. Herzschlagfrequenz
4. Kinemetrische Analyse. nach (BLASER, et. al., 1997-2000)

Am Beispiel einer Hochleistungsschwimmerin wurden folgende Resultate erzielt, die in der Tendenz auch für die anderen in den Anlagen gelten:

Durch den Einsatz der Verfahren der Schwimmgometrie konnte ein Vergleich zwischen der aufgewendeten mit der theoretisch bestimmten mechanischen Leistung vorgenommen werden (Abb. 22).

## 4.0 Ausgewählte Untersuchungsergebnisse und Diskussion

### 4.1 Die Beziehung von Sauerstoffaufnahme und Ergometerleistung

Aus der Leistungsphysiologie *STEGEMANN (1984)* ist der lineare Zusammenhang zwischen Sauerstoffaufnahme und Ergometerleistung hinlänglich bekannt.

Das Verfahren zur Diagnostik energetischer Bedingungen der Reaktion des Organismus auf äußere Belastungen wird als indirekte Kalorimetrie bezeichnet.

$$P_{\text{brutto}} = k \cdot \dot{V}O_2 \quad (\dot{V}O_2 = d \dot{v}o_2 / dt)$$

Die Bruttoleistung in Watt wird durch Multiplikation der Sauerstoffaufnahme mit dem Kaloriechen Äquivalent  $k = 21 \text{ J.ml}^{-1}$  (für aerob-glykolytische Stoffwechsellage) ermittelt und variiert mit dem RQ (respiratorischer Quotient).

Für die Beziehung zwischen Bruttoleistung und Ergometerleistung existiert ein Gesamtwirkungsgrad, der auch als Gesamtwirkungsgrad bezeichnet werden kann: "overall efficiency" (*NIKLAS, 1996*)

$$? = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{brutto}}}$$

Wird die Größe  $P_{\text{brutto}}$  lediglich die Arbeitssauerstoffaufnahme

$$\text{Arb.} - \dot{V}O_2 = \dot{V}O_2 - \text{Ruhe-} \dot{V}O_2$$

zugrunde gelegt, erhält man den Gesamtwirkungsgrad. "overall efficiency"

Für Ergometer mit Leistungsvorgabe (Fahrrad, Rudern) ist eine Berechnung der Wirkungsgrade in Abhängigkeit von der Belastung unkompliziert.

Im Falle des aktiven Schwimmens bestehen hingegen bereits im Ansatz Schwierigkeiten, die Ergometerleistung zu definieren.

Folglich ist auch eine Bewertung der Sauerstoffaufnahme als leistungsdiagnostische Funktionsgröße im Schwimmen problembehaftet. (*HOLMÉR, 1979*)

Für die Trainingssteuerung wird daher die biochemische Diagnostik (Laktat) von vielen Fachvertretern bevorzugt. (SIMON,KEUL, 1979, PANSOLD, 1982, NIKLAS, 1998)

Die Laktat-Geschwindigkeitsbeziehung bietet aufgrund statistischer Gesetzmäßigkeiten die Möglichkeit zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit unter Verzicht auf die Erfassung einer Ergometerleistung.

Nachteilig wirkt sich außer dem blutigen Vorgehen insbesondere die Tatsache aus, dass keine direkte Kombination der biochemischen Diagnostik mit biomechanischen Untersuchungsmethoden möglich ist und somit für den Trainer kein unmittelbarer Zugriff auf sporttechnische Parameter realisierbar wird.

Diese Problematik wird noch durch die off-line-Analytik bei der Laktatbestimmung verstärkt.

Die Sauerstoffaufnahme reagiert jedoch mit einer vertretbaren Zeitkonstante bereits auf scheinbar geringe Veränderungen der Schwimmtechnik während eines Tests. (NIKLAS, 1980)

Wird diese Schwimmtechnik kinematisch registriert und gelingt es, einen brauchbaren Wert für die entsprechende mechanische Schwimmleistung zu ermitteln, kann ein methodischer Zugriff für eine Optimierung der individuellen Schwimmtechnik realisiert werden.

Die physikalisch-physiologischen Ursachen für diese leistungsdiagnostischen Möglichkeiten sind:

- Der Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{\text{ges}}$  beim Schwimmen ist gegenüber demjenigen auf dem Fahrradergometer gering, weil die physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften (Viskosität, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität u.a.) des Wassers die Effektivität der Bewegung des Organismus gegenüber den Bedingungen in der Luft stark herabsetzen ("großer analytischer Faktor" führt zur Erhöhung der Präzision). (NIKLAS, 1996)
- Die Zeitkonstante  $\tau$  einer Sprungantwortfunktion der Sauerstoffaufnahme auf eine Belastungsänderung ist deutlich kleiner als diejenige der Laktatbildung, wobei letztere aufgrund der physiologischen Überlagerung von Laktatbildung und Abbau ohnehin nur schwierig zu erfassen ist (es werden Standardisierungsvereinbarungen erforderlich).

- Die Sauerstoffaufnahme als energetischer Parameter reagiert auf energetische Änderungen (Belastungen), d.h. auf Änderungen der mechanischen Schwimmleistung bzw. Ergometerleistung. Diese Änderungen der mechanischen Schwimmleistungen müssen nicht zwangsläufig mit Änderungen der Schwimmgeschwindigkeit einhergehen.
- Die mechanische Schwimmleistung ist eine Funktion folgender Einzelparameter:
  - \* anthropometrische Verhältnisse des Schwimmers,
  - \* individuelle Ausprägung sportlicher Techniken (Stil),
  - \* Schwimmgeschwindigkeit und Sportschwimmtechnik,
  - \* Stoffwerte und aktuelle Zustandsgrößen des Wassers (Temperatur, Dichte, Viskosität usw.),
  - \* hydromechanische Bedingungen in der Umgebung des Schwimmers (Turbulenzen; Reflexionsverhältnisse u.a.m.) (NIKLAS, 1996)

| Prob. | Zusatzmasse | Techn. | v (m/s) | $\dot{V}_{O_2}$ | $f_H$ (min <sup>-1</sup> ) |
|-------|-------------|--------|---------|-----------------|----------------------------|
| 1     | Ruhe        | -      | 0,8     | 367             | 99                         |
|       | Ohne Vorr.  | B      | 0,8     | 2.212           | 170                        |
|       | mit Vorr.   | B      | 0,8     | 2.121           | 122                        |
|       | + 1.979g    | B      | 0,8     | 2.249           | 146                        |
|       | + 1.279g    | B      | 0,8     | 2.277           | 146                        |
| 2     | Ruhe        | -      | 0,9     | 686             | 74                         |
|       | Ohne Vorr.  | B      | 0,9     | 4.019           | 141                        |
|       | mit Vorr.   | B      | 0,9     | 3.743           | 96                         |
|       | + 1.979g    | B      | 0,9     | 3.977           | 131                        |
|       | + 1.279g    | B      | 0,9     | 3.937           | 129                        |
| 3     | Ruhe        | -      | 0,8     | 479             | 75                         |
|       | Ohne Vorr.  | B      | 0,8     | 2.482           | 131                        |
|       | mit Vorr.   | B      | 0,8     | 2.488           | 123                        |
|       | + 1.979g    | B      | 0,8     | 2.580           | 103                        |
|       | + 1.279g    | B      | 0,8     | 2.580           | 121                        |
| 4     | Ruhe        | -      | 0,8     | 454             | 69                         |
|       | Ohne Vorr.  | B      | 0,8     | 3.220           | 165                        |
|       | mit Vorr.   | B      | 0,8     | 2.758           | 114                        |
|       | + 1.979g    | B      | 0,8     | 2.875           | 150                        |
|       | + 1.279g    | B      | 0,8     | 2.777           | 148                        |

Tab.11 Testergebnisse beim Schwimmen mit Zusatzmassen, die auf den ruhenden Schwimmer keine Kraftwirkung ausüben.

Masse der Vorrichtung 5.951g

Nachfolgend sind die Ergebnisse den messwerten am MADs gegenübergestellt. Wesentliche Unterschiede zwischen linearer und Polynom-Regression sind gekennzeichnet. (Tab.12)

| Prop. Nr. | v    | Lin. Reg | $x^2$ | Korr.   | M.A.D   | $d_{min}$ |
|-----------|------|----------|-------|---------|---------|-----------|
|           | m/s  | F/N      | F/N   | F/N     | F/N     | N         |
| 1. K      | 1,00 | 27,38    | 26,85 | 29,00*  | 21,06   | 5,8       |
| 2. K      | 1,00 | 27,56    | 29,57 |         | 26,57   | 1,0       |
| 3. K      | 1,00 | 22,04    | 21,53 |         | 24,60   | 2,0       |
| 4. K      | 1,10 | 35,05    | 28,23 | 28,79*  | 26,80   | 2,0       |
| 5. K      | 1,00 | 36,22    | 45,10 | 20,12*  | 22,80   | 2,7       |
| 6. B      | 1,10 | 100,14   | 98,99 |         | K 29,30 | *,*       |
| 7. B      | 0,80 | 75,31    | 83,23 |         | K 18,05 | *,*       |
| 8. B      | 0,80 | 25,50    | 25,86 |         | K 18,45 | *,*       |
| 9. B      | 0,90 | 13,62    | 13,87 | 38,00** | K 27,05 | *,*       |
| 10. B     | 0,80 | 46,41    | 39,74 |         | 15,72   | *,*       |

Tab.12 Zusammenstellung der Widerstandswerte

\* = letzter, nicht eingeschw. Messwert wurde gestrichen.

\*\* = nicht auswertbar (Es wurden nur 2 Messwerte zur Berechnung genutzt).

Die Probanden 1 bis 5 sind im Kanal Kraul und am MADs Kraul-Armbewegung geschwommen.

Die Probanden 6 bis 10 sind im Kanal Brustschwimmen und am MADs Kraul-Armbewegung geschwommen.

## 4.2 Vergleichende Untersuchungen über den aktiven Schwimmwiderstand

Die Bestimmung des aktiven Schwimmwiderstandes erfolgte zur Validierung des weiterhin in Entwicklung befindlichen Verfahrens zur sportartspezifischen Spiroergometrie im Schwimmsport.

### A) Test in der Gegenstromanlage

- Methode der Zusatzkraftbeaufschlagung (Abb.15)
- Einleitung der Kräfte über Kardanische Ankoppelung exakt in Wirkrichtung von Antriebs- bzw. Widerstandskraft
- Testansatz  $P_{\text{mech}} = f(F_d + \Delta G) v = \text{const.}$

$$? \dot{V}O_2 = f(P_{\text{mech}})$$

- Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde die Sportschwimmtechnik Kraul gewählt.

Grundsätzlich können jedoch alle Schwimmtechniken vermessen werden.

### B) Test am MAD-System (Measuring Active Drag) (TOUSSAINT et. al. 1992)

- Das Untersuchungssystem gestattet nur eine der Sportschwimmtechnik Kraul ähnliche, artifizielle Bewegungsform. (Abb.19)
- Testansatz:

$$P_{\text{mech}} = f(F_A ; V) \quad \text{mit} \quad V = f(s_z ; t ; f_z)$$

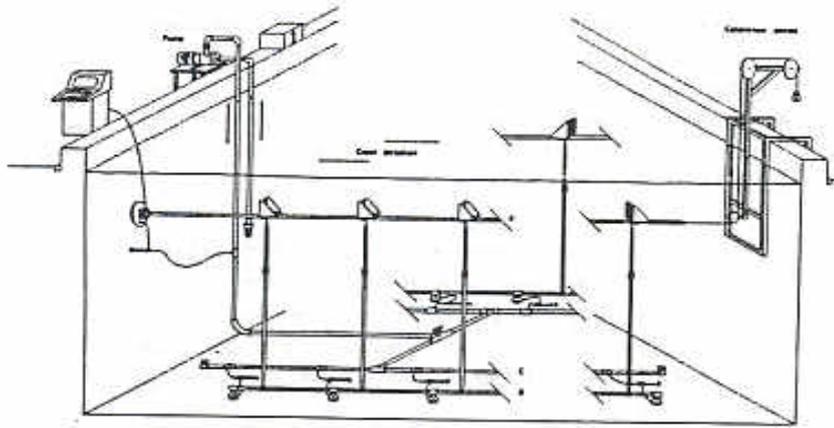


Abb.19 Schematische Darstellung des "Measuring Active Drag systems"(MAD).

Nach (TOUSSAINT, 1988)

Die Ergebnisse müssen zwangsläufig aufgrund der systembedingten Abweichung in der Ausprägung der Sportschwimmtechnik Kraul differieren.

Andererseits muss die Größenordnung identisch sein, weil der Schwimmer in jedem Fall seinen eigenen (zum großen Teil auch anthropometrisch bedingten) hydrodynamischen Widerstand überwinden muss.

Zu berücksichtigen ist weiterhin ein mit hoher Wahrscheinlichkeit unterschiedlicher mechanisch-hydrodynamischer Wirkungsgrad:

$$\eta_{ges} = \eta_g \cdot \eta_p$$

$\eta_{ges}$  Gesamtwirkungsgrad ( overall Efficiency)

$\eta_g$  metabolischer Wirkungsgrad ( gross Efficiency)

$\eta_p$  mechanischer Wirkungsgrad ( propelling Efficiency) (TOUSSAINT, 1988)

Die ermittelte Ergometerleistung  $P_{mech}$  dürfte somit dem Quotienten aus der mechanischen Leistungsabgabe zur Überwindung des Widerstandes und  $\eta_p$  entsprechen. (Tab. 13)

Tab.13 Zusammenstellung ausgewählter Untersuchungsergebnisse

| Prob. Nr. | v<br>m-s-1 | F lin<br>N | F quar.<br>N | F mad<br>N |
|-----------|------------|------------|--------------|------------|
| 1         | 1,20       | 27,3       | 32,3         | 35,9       |
| 2         | 1,14       | 32,5       | 35,8*        | 37,5       |
| 3         | 1,00       | 30,0       | 42,0         | 39,4       |
| 4         | 1,10       | 22,3       | 20,0         | 27,0       |
| 5         | 1,15       | 26,0**     | 26,2         | 26,0       |

\* Kurvenanpassung  $X^3$

\*\* aus 3 Messwerten um  $*F= 0$ ; quadratische Anpassung.

#### 4.3 Beziehungen der mechanischen Schwimmleistung zu weiteren Parametern

Die Ermittlung der mechanischen Schwimmleistung bietet die Möglichkeit, wertvolle Aussagen über die Entwicklung bzw. Stabilisierung der sportlichen Technik in Abhängigkeit vom Trainingszyklus zu gewinnen.

Konditionelle und koordinative Aspekte einer sportlichen Bewegung stehen in einem Wechselverhältnis, das z.B. durch den b-Wert der Laktat-Leistungskurve summativ dargestellt werden kann. (NIKLAS, 1996)

In Abhängigkeit vom jeweiligen Trainingzustand und der damit einhergehender Beanspruchungstoleranz des Schwimmers in spezifischen Belastungssituationen ergeben sich entsprechende Konsequenzen für die Bewegungskoordination.

Während geringer Belastungsstufen im schwimmergemetrischen Test (z.B. Entlastung durch ( $\Delta G = -5$  N) entstehen andere koordinative Strukturen als bei submaximalen und maximalen Belastungsstufen (z.B. Zusatzbelastung durch  $\Delta G = +10$ N).

Der Schwimmer wird entweder im Rahmen seiner eigenen Widerstand verringern (Programmwechsel) oder es wird infolge mangeln der Kompensation metabolischer Veränderungen ein Bewegungs- oder Testabbruch induziert.

Wie oft und zu welchem Zeitpunkt „Programmwechsel“ erfolgen, ist vom Trainings- und Lernzustand des Sportlers und ggfs. von den eingesetzten Trainingsmethoden im Trainingszyklus abhängig. Wie Tab.14 deutlich zeigt, besteht zwischen dem b-Wert und der mechanischen Schwimmleistung keine Korrelation.

Die Ursache besteht in der Integration von Kraftausdauer und Technikeigenschaften im b-Wert die eine Aufgliederung in beide Komponenten prinzipiell nicht ermöglicht.

Tab.14 Vergleich zwischen b-Werten der Laktat-Leistungskurve und den Widerstandskräften

$$F_d = P_{\text{mech}} / v \text{ im Trainingsjahr.}$$

| Test | D.H.  |        | S.H.  |        |
|------|-------|--------|-------|--------|
|      | Fd/N  | b-Wert | Fd/N  | b-Wert |
| 1.   | 28,7  | 8,93   | 52,6  | 6,87   |
| 2.   | 31,2  | 5,13   | 45,9  | 5,2    |
| 3.   | 27,91 | 5,99   | 51,8  | 6,02   |
| 4.   | 28,86 | 6,93   | 49,22 | 7,82   |

$y = 0,5662 x + 23,259$   
 $r^2 = 0,2418$

$y = 0,1604 x - 1,5231$   
 $r^2 = 0,1853$

In Bezug auf die Ergebnisse der Schwimmer/innen wird ersichtlich, dass bei einer Entlastung um ca. 5.0W die aufgewandte Leistung sich erhöht, allerdings bei einer Zusatzbelastung von 5W bzw. 10W und 15W die aufgewandte Leistung unter der theoretisch errechneten Leistung liegt (Abb.20-21)

Dieses Faktum deutet darauf hin, dass die Mehrzahl der Schwimmer/innen die erhöhte Belastung kraftmäßig kompensierte, indem sie aus der Sicht des Leistungsfaktors „Technik / Koordination“ variabel reagierten.

Auslenkungen des koordinativen Profils infolge der Ent- oder Belastung werden unterschiedlich kompensiert.

Im Falle einer Zusatzbelastung nahm infolge der größeren energetischen Beanspruchung auch die Variabilität bei der Bewegungsausführung ab.

Man kann davon ausgehen, dass mit zunehmender Beanspruchung die Schwimmer/innen eine Zone der optimalen Bewegungsvervielfältigung erreichten, in der eine effektive Bewältigung der Belastungsanforderungen erfolgt.

Das lässt die Vermutung zu, dass sowohl eine große Bewegungsvervariabilität einschränkt, als auch eine relativ stabile ineffektive Bewegungsausführung begrenzt, die schließlich zum Bewegungsabbruch zwingt.

Die Ergebnisse der Schwimmergometrie lassen den Schluss zu, dass die Schwimmer/innen, deren Steigerung des Kraftaufwandes bei Zusatzbelastung unter dem theoretischen Wert liegt, diese erhöhte Belastung mittels einer variablen Bewegungskoordination ausgleichen.

Diese Sportler kompensieren die Zusatzbelastung mit einer hohen Bewegungseffektivität in der Zone der „Optimalen Variabilität“.

Die mechanische Schwimmleistung kann hingegen sowohl Aussagen über erforderliche Krafftfähigkeiten (in Relation zur Strömungs- oder Schwimgeschwindigkeit) als auch Technikeigenschaften sowie über Variabilität oder Stabilität der aktuellen koordinativen Fähigkeiten durch die Funktion  $F_d = f(F_z = ?G)$ .

Je geringer die mechanische Leistung eines Schwimmers zur Überwindung seines eigenen Wasserwiderstandes ist, desto größer sind die Leistungsvoraussetzungen für den Wettkampf. (NIKLAS, 1998)

Die Interpretationen der Abb.20 und 21 sollen dies anhand eines praktischen Beispiels erläutern:

Die von der Sportlerin in der Abb.20 gezeigten Testergebnisse im Laufe der Untersuchungen ergeben bei jeweils gleichen Testbedingungen ( $v$ ,  $?G$ ,  $T$ )

- eine sehr hohe Bewegungseffektivität bei Zusatzkraftbeaufschlagung
- gleiche bzw. geringfügig höhere organistische Beanspruchung.
- gute Leistungsvoraussetzungen für das Rückenschwimmen.

Technikeinschätzung:

- Das Eintauchverhalten der Arme war fehlerfrei, jedoch wiesen einige Zyklen einen zu tiefen Ellenbogen auf.
- Der optimal lange Antriebsweg wurde nicht immer realisiert (Hüfte)

Trotz der koordinativen Anpassungsfähigkeit und der guten körperbaulichen Voraussetzungen der Sportlerin gibt es noch Reserven im Umsetzen der vorhandenen Kraft

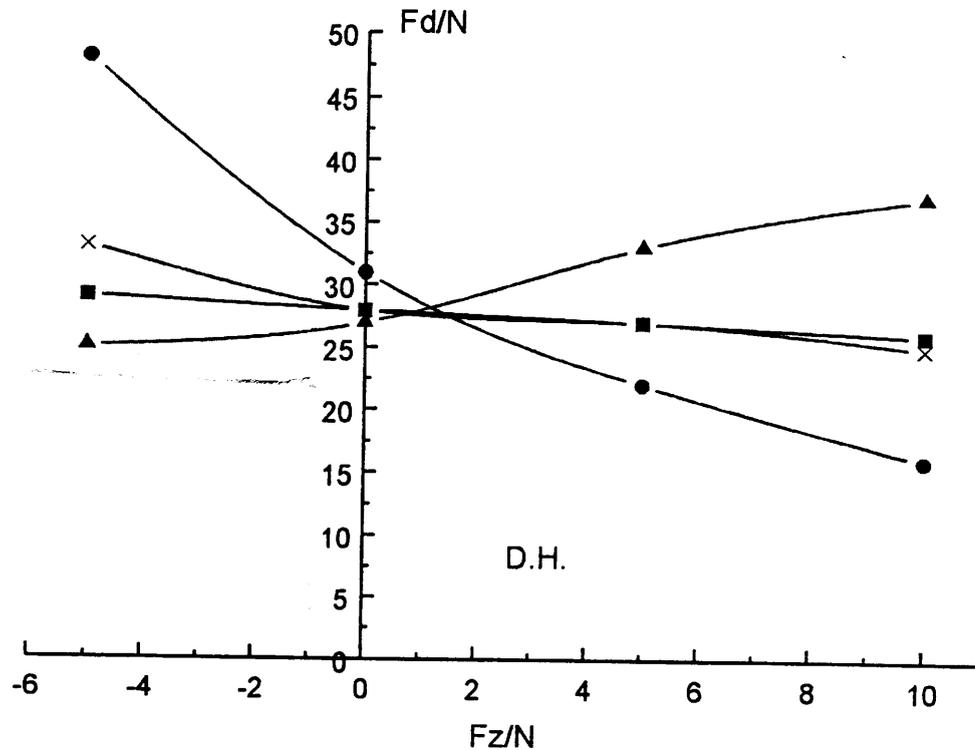


Abb. 20 Untersuchungsergebnisse einer Probandin (D.H.) im Training

Die Sportlerin in der Abb. 21 zeigt trotz identischer Untersuchungsbedingungen

- eine insgesamt höhere mechanische Schwimmleistung
- geringe Bewegungseffektivität bei Zusatzkraftbeaufschlagung
- eine insgesamt höhere organistische Beanspruchung infolge ungünstigerer Körperbaumerkmale und geringerer Technikrentabilität
- nicht ausreichende Leistungsvoraussetzungen für das Rückenschwimmen.

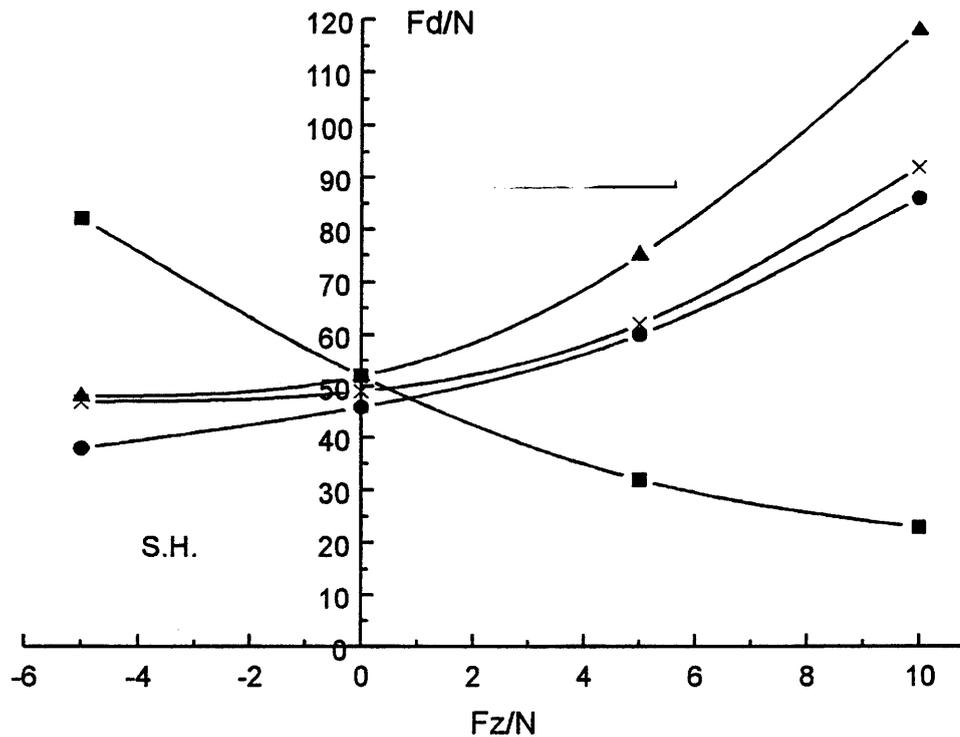


Abb. 21 Untersuchungsergebnisse einer Probandin (S.H.) im Training

#### 4.3.1 Zusammenhang von Kraft und kinematischen Kenngrößen aus linearer Sicht

##### - Analyse der aufgewandten Kraft (*Probandin: D.H.*)

Ausgangspunkt der Betrachtungen bildet die mittels Ergometrie bestimmte Kraft ohne und mit Be- bzw. Entlastung.

*D.H.* benötigte für die Bewältigung von 0.9 m/s mittels des Rückenkraultschwimmens eine Kraft von 28.78 N. Bei einer Entlastung von 5N setzt sie eine Kraft von 24.12N ein.

Die geringere Belastung wird mit einem vergleichsweise „hohen“ Kraftaufwand realisiert. Demgegenüber erfolgt die Realisierung der Belastungsstufen +5 N bzw. +10 N sehr; ökonomisch.

*D.H.* benötigt für die 1. Belastungsstufe eine Kraft von 34.51 N für die 2. Belastungsstufe 39.5 N. (Abb.22)

**D. H.** $R v = 1 \text{ m/s}$  $F_R = 28.76 \text{ N}$     $P = 28.76 \text{ W}$ **S. H.** $R v = 1 \text{ m/s}$  $F_R = 29.80 \text{ N}$     $P = 29.80 \text{ W}$ 

| F (N) | $F_R$ (N) | P (W) | $F_R$ (N) | P (W) |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| -5    | 24.12     | 24.12 | 43.60     | 43.60 |
| 0     | 28.76     | 28.76 | 28.80     | 28.80 |
| 5     | 34.51     | 34.51 | 25.50     | 25.20 |
| 10    | 39.25     | 39.25 | 24.20     | 24.20 |

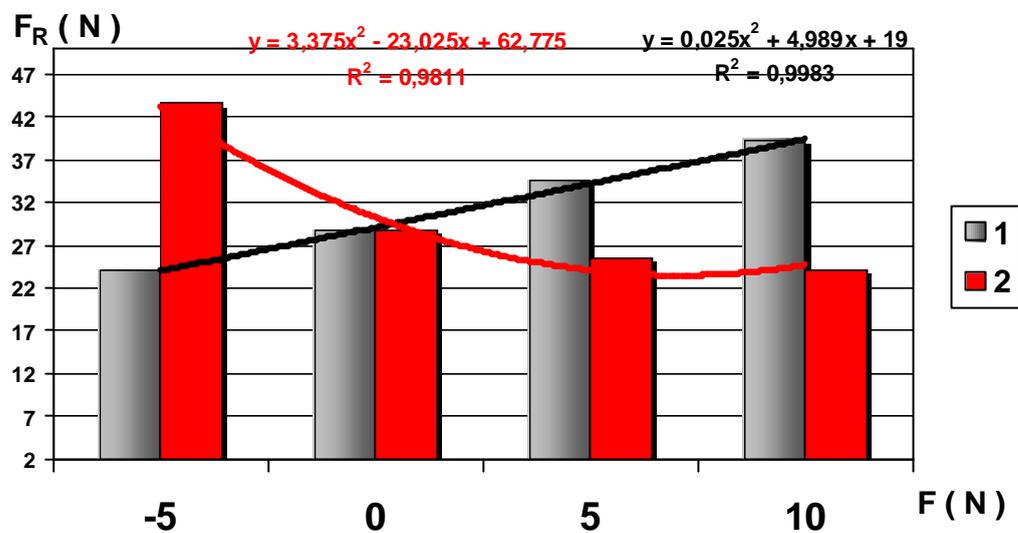


Abb. 22

Daraus ergeben sich nun folgende Fragestellungen:

1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den mittels Ergometrie analysierten Kraftaufwand und ausgewählten kinematischen Kenngrößen?
2. Inwieweit lassen sich ein individuell-typischer und / oder ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Kraftaufwand und Bewegungskoordination nachweisen und welche methodischen Schlussfolgerungen ergeben sich daraus?

- **Vergleich des Kraftaufwandes mit ausgewählten kinematischen Kenngrößen (D.H.)**

- Beispiel Bewegungsfrequenz

Mit zunehmender Beanspruchung (+ 5N, +10N) erhöht sich die Bewegungsfrequenz.

Dieser Zusammenhang konnte bei fast allen Probanden der Pilotuntersuchung nachgewiesen werden. (Abb. 22)

Auch im Rahmen der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass ab einem bestimmten Beanspruchungsgrad eine Erhöhung der Bewegungsfrequenz eintritt.

Die vermutlich notwendige Frequenzerhöhung wird von der Probandin *D.H.* mit einer relativ geringen Erhöhung des Kraftaufwandes realisiert.

- Beispiel Zyklusweg

Mit zunehmender Beanspruchung (- 5N, +10N) verkürzt sich der Zyklusweg.

Auch dieser Zusammenhang konnte bei allen Probanden nachgewiesen werden.

Die Wegverkürzung wird durch die Probandin *D.H.* mit geringer Steigerung des Kraftaufwandes realisiert. (Abb.23)

- Beispiel Phasenstrukturquotient

$$RSQ = \frac{t_{PHB,A}}{t_{PHB,A} + t_{UPHB,A} + t_{VPHB,A}} \cdot 100\%$$

Der Phasenstrukturquotient gibt Auskunft über die Effektivität bezüglich der zeitlichen Gestaltung der vortriebswirksamen Phase im Verhältnis zu den Hilfsfunktionsphasen.

Bei der Probandin *D.H.* konnte kein Zusammenhang zwischen zunehmender Belastung und zeitlicher Gestaltung der Vortriebsphase festgestellt werden.

Bei Erhöhung der Belastung um +5 N verkleinerte sich zunächst der Phasenstrukturquotient, bei der Erhöhung der Belastung um +10 N vergrößert er sich.

- Beispiel Geschwindigkeitsschwankungen der Hüfte im Zyklus

Auch die Kenngröße „Geschwindigkeitsschwankungen“ zeigt kein konsistentes Verhalten bei Zunahme der Belastung.

Bei Erhöhung der Belastung um + 5N nahmen die Geschwindigkeitsschwankungen zunächst ab. Bei Erhöhung um +10N jedoch wieder zu. (Abb.23)

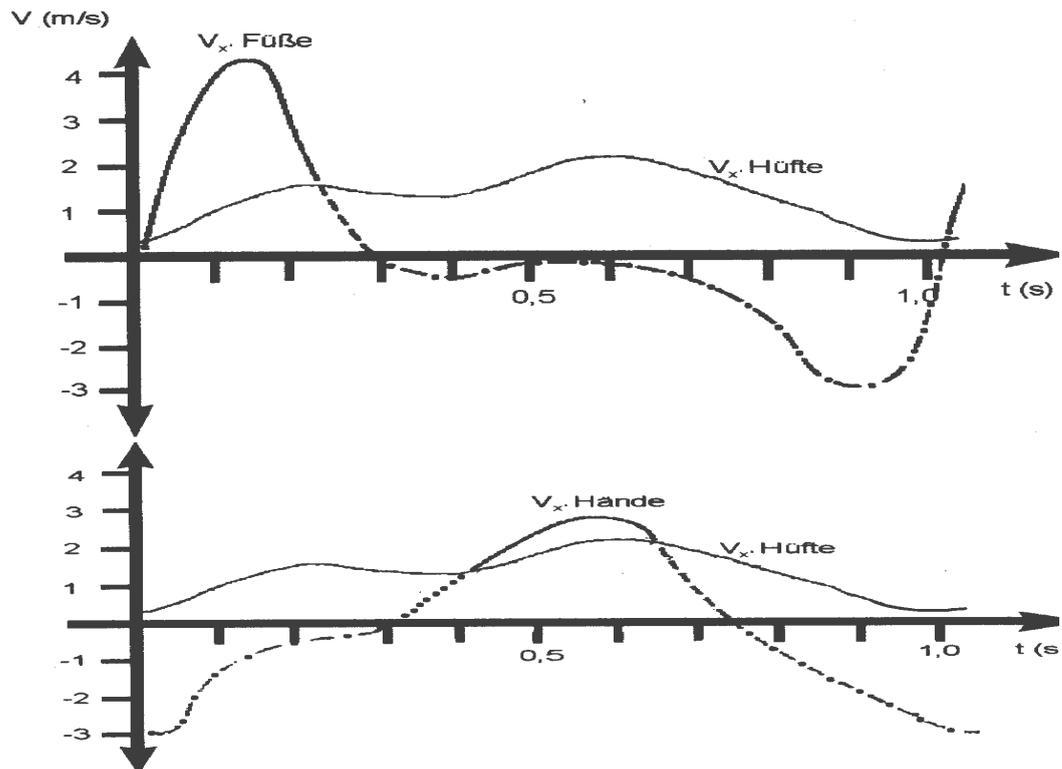


Abb. 23 Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf der Hände und Hüfte im Zyklus.  
Nach (BLASER, et. al. 2000)

### Schlussfolgerung:

Aus der Sicht einer Probandin (D.H.) zeigten ausgewählte kinemetrische Kenngrößen (Bewegungsfrequenz, Zyklusweg) bei Erhöhung der Belastung um + 5N und um + 10N ein konsistentes Verhalten. Dies lässt einen Zusammenhang zwischen Kraftaufwand und einen beschriebenen Kennwerten vermuten.

Ein Ursache-Wirkungsgefüge kann jedoch nicht aufgezeigt werden.

Des Weiteren verändern sich eine Reihe von kinemetrischen Kennwerten (vermutlich die Mehrzahl!) Unabhängig von der Belastungsgestaltung.

Bleibt die Frage offen, ob dieses Verhalten kinemetrischer Kenngrößen bei allen untersuchten Probanden in ähnlicher Art und Weise auftritt.

- **Veränderungen kinematischer Kenngrößen bei einer Zunahme der Belastung um +5N**

Es fällt auf den ersten Blick auf, dass die Belastungszunahme individuell mit unterschiedlichen „Koordinationsstrategien“ realisiert wird.

Lediglich eine Verkürzung des Zyklusweges und bis auf eine Ausnahme die Erhöhung der Bewegungsfrequenz tritt bei den Probanden im Zuge der Belastungserhöhung auf.

Bei allen anderen kinematischen Kenngrößen können interindividuell keine Gemeinsamkeiten festgestellt werden.

Beispielsweise nahmen bei drei Kraulschwimmern die Geschwindigkeitsschwankungen der Hüfte im Zyklus ab, bei einem weiteren dagegen zu.

*D.H.* als Rückenschwimmerin realisiert die Belastungszunahme mit einer Verringerung der Geschwindigkeitsschwankungen, *N.O.* dagegen mit einer Erhöhung. (Abb.24)

Vergleicht man die prozentuale Kraftzunahme bei der Belastungserhöhung um +5N, so realisieren diese die Schwimmerinnen *D.H.* und *S.M.* in ähnlich effektiver Art und Weise (Zunahme um 5.3% bzw. 6.5%).

Bei den kinematischen Kennwerten verhalten sich die max. Geschwindigkeit der Arme (Abnahme), die Geschwindigkeitsschwankung (Abnahme), die Maxima (Abnahme) und Minima (Zunahme) der Hüftgeschwindigkeit zumindest in ihrer Tendenz ähnlich.

Die prozentuale Zu- bzw. Abnahme der Kennwerte im Zuge der Belastungserhöhung ist jedoch wiederum sehr unterschiedlich.

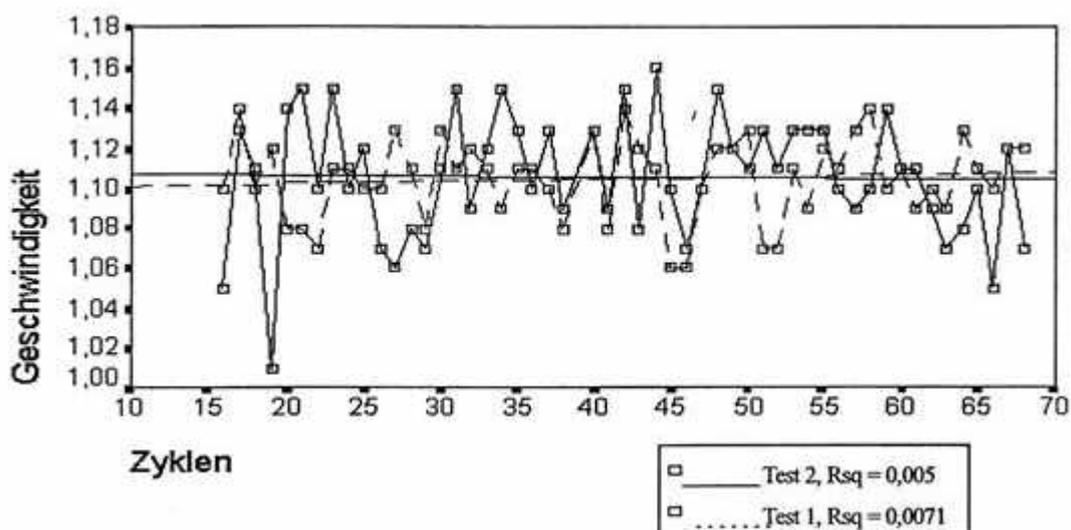


Abb. 24 Trenddarstellung der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Hüfte im Zyklus.

### Schlussfolgerung:

Die Analyse ausgewählter Kenngrößen eines Bewegungszyklus ermöglicht keine Aussagen darüber, inwieweit die aufgewandte Kraft durch Besonderheiten der Bewegungskoordination bedingt ist (und umgekehrt).

So bleibt die Frage offen, welche Besonderheiten der Bewegungskoordination dazu führen, dass beispielsweise *D.H.* die zusätzliche Belastung von + 5N mit einer nur relativ geringen Steigerung des Kraftaufwandes realisieren kann

### 4.3.2 Zusammenhang zwischen Belastung und Bewegungskoordination aus nichtlinearer Sicht

Die durchgeführten Untersuchungen, zeigten ähnliche Ergebnisse.

Mittels der bisher bevorzugten reduktionistischen Sicht anhand einzelner Kennwerte konnten Veränderungen in der Bewegungskoordination infolge der Belastungserhöhung nur unzureichend beschrieben werden.

Eine andere Betrachtungsperspektive schien daher angebracht.

Nach (*BLASER, STUCKE & WITTE ,1997*) gingen wir von folgender Trainingswissenschaftler Annahme aus:

Hinsichtlich der Leistung als inhomogene Ganzheit scheinen vernetzte Kausalketten zu bestehen, die nicht aus den Eigenschaften der einzelnen Leistungsfaktoren herleitbar und kausal erklärbar sind, die aber dennoch allein in den Wechselwirkungen der Leistungsfaktoren bestehen und somit die

schwimmerische Leistung als Ganzheit charakterisieren und mit dem modernen Begriff „Selbstorganisation“ umschrieben werden können.

Unter methodischem Aspekt wurden Zeitreihen einzelner Kenngrößen aus ca. 200 einzelnen Zyklen pro Belastungsstufe analysiert. (Abb. 43)

Diese Kenngrößen zeigten bei den Probanden, die eine Belastungserhöhung problemlos bewältigten, eine gewisse Variabilität auf.

Dies führte zu der Annahme, dass beispielsweise *D.H.* die erhöhte Belastung dadurch kraftmäßig kompensiert, indem sie aus der Sicht der Bewegungskoordination variabel reagiert.

Sie bewegt sich also auch bei einer Belastungserhöhung in Bezug auf die Bewegungskoordination weiterhin in einer Zone optimaler Variabilität.

Für den Begriff „Optimale Variabilität“ nach (*BLASER, STUCKE & WITTE, 1997*) sahen wir in Auffassungen der Synergetik den Sinninhalt, dass die Makrostruktur des Koordinationsmusters bei kontinuierlicher Änderung eines Kontrollparameters zwar erhalten bleibt, aber infolge der mikrostrukturellen Wechselwirkungen auf hierarchisch unteren Ebenen eine gewisse Variabilität der Bewegung für eine metabolisch günstige Leistungsabgabe erhalten bleiben muss.

*ACKERMANN (1996)* wählte dafür treffend den Begriff „Schlauch“. Das Problem besteht darin, den empirisch erkundeten „Schlauch“ auch mit quantifizierenden Untersuchungsmethoden beschreibbar und erklärbar zu machen.

Gewählt wurde einen phänomenologischen Ansatz, der funktionelle Merkmale beschreibt, ohne die strukturelle Basis dieser Merkmale zu hinterfragen.

Der Theorieansatz ist von der Ähnlichkeit zwischen Erscheinungen der Bewegungskoordination und eine Erscheinungen in physikalischen Prozessen ausgegangen, die in komplexen dynamischen Systemen mit vielen Einzelmerkmalen abgelaufen.

Diese Prozesse organisierten sich selbst und bedürften keines äußeren Ordners.

Für die Beschreibung dieser Prozesse wurden mathematische Methoden der nichtlinearen Dynamik verwendet.

Die Bewegungskoordination wurde als ein nichtlineares System verstanden, dass mit Hilfe eines künstlich erzeugten Ersatzphasenraumes beschrieben werden könnte.

Ein oder mehrere Merkmale des Systems „Sportler“ wurden in diesen Ersatzphasenraum eingebettet.

Gewählt wurde die „horizontale Hüftgeschwindigkeit“ als repräsentative Kenngröße des Systems.

Die horizontale Hüftgeschwindigkeit ist nun keine kinematische Kenngröße mehr, sondern in ihr kommt das Verhalten des gesamten Systems als eine komplexe Einheit zum Ausdruck.

So gehen beispielsweise Zeitstrukturen der Extremitäten, Winkelkonstellationen, Wege der Extremitäten sowie auch konditionelle Aspekte in die Hüftgeschwindigkeit ein.

Wurde die Hüftgeschwindigkeit in einem Ersatzphasenraum abgebildet, entstehen unter Umständen sogenannte Attraktoren\*, die beispielsweise in Form von Bahnen dargestellt werden könnten. (BLASER, 1994) (Abb. 41)

Die Attraktoren sind mit Dimensionsmaßen beschreibbar. Diese Dimensionsmaße von fraktalen Attraktoren sind gebrochene Zahlen, die der Zahl der Freiheitsgrade oder auch Wahlmöglichkeiten des Systems angeben und damit Zonen der „Optimalen Variabilität“ quantifizierbar machen. (Abb. 43)

Für die dritte Belastungsstufe wurden die Dimensionsmaße zu Beginn und am Ende (Abbruch) der Belastung berechnet.

#### 1. Auswirkung einer Belastung

In Bezug auf die Auswirkung einer Belastung ist festzustellen, dass sich bei den Probanden (N.K, K.A, K. D) die Korrelationsdimensionen infolge der Belastung verringerten.

Während bei den Probanden (A.T, D.W.) keine bzw. keine nennenswerten Veränderungen auftraten, reagierte der Proband (D.H) mit einer Erhöhung der

---

\* Ein Attraktor ist die geometrische Struktur im Raum, auf dem sich das System von Zustand zu Zustand entlang seiner Bahn im jeweiligen Zustandsraum zubewegt. BLASER, 1997

Dimension. Dies könnte bedeuten, dass eine Steigerung des Beanspruchungsgrades sich in einer Verringerung der Dimension bei den meisten Probanden ausdrückt.

Diese Verringerung der Dimension könnte als eine Verringerung der Freiheitsgrade des Systems interpretiert werden. (Abb. 41)

## 2. Auswirkung der Belastung infolge eines Trainings

Hinsichtlich der Auswirkung der Belastung infolge eines Trainings ist festzustellen, dass nach einer Trainingsperiode eine durchschnittliche Dimensionserhöhung einträgt

**Unter Berücksichtigung der Hypothese und der empirischen Ergebnisse ergeben sich nachstehende Folgerungen.**

- Der Zusammenhang zwischen Kraftaufwand und Bewegungskoordination kann mit einer noch so genauen reduktionistischen kinematischen Analyse eines oder mehrerer Bewegungszyklen nur unzureichend analysiert werden.

Hier sind Verfahren gefragt, die die durch Belastung induzierten koordinativ-energetischen Veränderungen in der Zeit beschreiben und damit Wechselwirkungen der Beanspruchung des Organismus als Ganzes infolge der Belastung sichtbar machen.

Die Verfahren der Schwimmergomerie und der Koordinationsanalyse mit Hilfe von Dimensionsmaßen ergänzen sich dies bezüglich sinnfällig, da sie jeweils in Bezug aufeinander die notwendigen Referenzwerte liefern.

Des Weiteren sind herkömmliche Mittel der linearen mathematischen Statistik wenig geeignet, die nichtlinear determinierte Dynamik der Bewegungskoordination unter Belastung ausreichend zu beschreiben.

- Die Anpassung an veränderte äußere Bedingungen z.B. die Zusatzbelastung von 5 W oder die Erhöhung der Anströmgeschwindigkeit ist nur über ein gewisses Maß an Variabilität (optimale Variabilität) in der Bewegungskoordination bewegungsökonomisch realisierbar.

Eine unzulässige Dimensionserhöhung führt zu einem Attraktorwechsel und damit in ein anderes Bewegungsmuster, das nicht mehr der eingesetzten Technik entspricht.

Eine Verringerung der Dimension kennzeichnet eine Reduzierung der Freiheitsgrade der Bewegungskoordination, die schließlich zum Bewegungsabbruch zwingt.

- Unter Einbindung der Messergebnisse der Schwimmergomerie kann geschlussfolgert werden, dass Schwimmerinnen und Schwimmer, deren Steigerung des Kraftaufwands bei Zusatzbelastung unter dem theoretischen Wert liegt, diese erhöhte Belastung mittels einer variablen Koordination ausgleichen.

Diese Sportlerinnen und Sportler kompensieren die Zusatzlast in Bezug auf die Koordination in der Zone der „Optimalen Variabilität“.

- Für eine Trainingssteuerung im Rahmen der Periodisierung des sportlichen Trainings von Schwimmern ergibt sich durch den Einsatz des vorgestellten Analysesystems eine weitere Möglichkeit der Leistungsdiagnostik.

Der Vorteil liegt in der ganzheitlichen Erschließung des Trainingszustands bei vorrangiger Berücksichtigung der Leistungsfaktoren „Kondition“ und „Technik/Koordination“ in ihrer wechselseitigen Verflechtung.

Der Trainer hat dadurch die Möglichkeit, seine eingesetzten Mittel und Methoden im Rahmen der Periodisierung des sportlichen Trainings auf Praxisrelevanz zu überprüfen.

- Der Einsatz der Schwimmspirometrie im Strömungskanal gestattet eine Effektivierung von Meso- und Makrozyklen bezüglich der inhaltlichen Schwerpunkte (Kraft, Technik, Ausdauer) und eine gleichzeitige Quantifizierung der Trainingsergebnisse gemeinsam mit den Parametern der Laktat-Leistungskurve (Beispiel Abb.13, Abb.25).

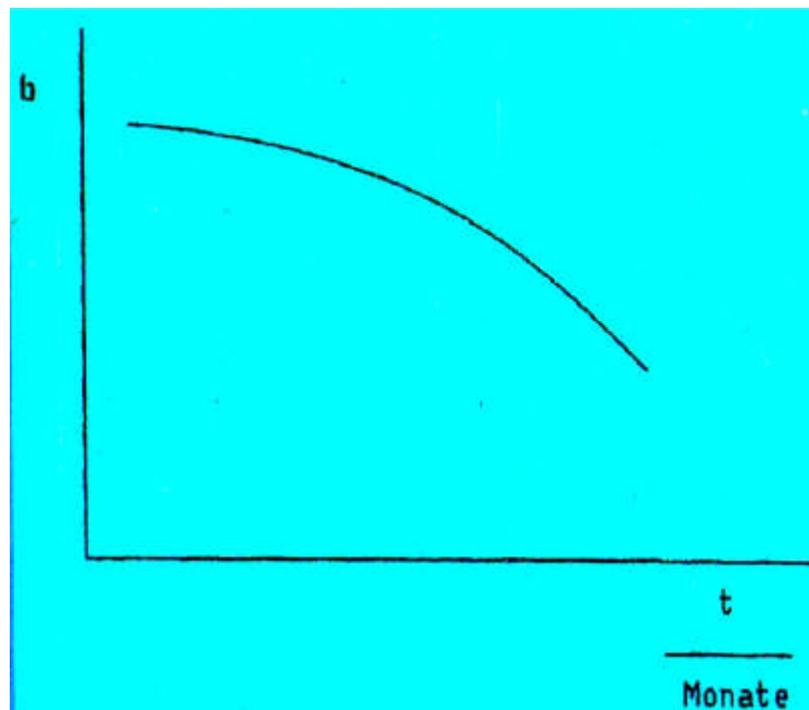


Abb. 25 Veränderung der b-Werte im Verlauf eines Trainingsjahres mit akzentuiertem Kraft-Ausdauer und Techniktraining nach (NIKLAS, 1995)

## 5.0 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

### - Zusammenfassung

Das Ziel der trainingswissenschaftlichen Leistungsdiagnostik besteht vor allem darin, die Richtungen und die Dynamik der inneren Beanspruchung in enger Wechselwirkung zu sportmethodisch vorgegebenen Belastungen zu erfassen und die Übereinstimmung zwischen der trainingsmethodischen Zielstellung und ihrem aktuellen Ergebnis sowie der biologischen Realisierung qualitativ und quantitativ zu überprüfen.

Von der Leistungsdiagnostik werden praxiswirksame Aussagen erwartet zu:

1. Wirkung und Richtung des absolvierten Trainings.
2. Qualität und Struktur der aktuellen sportlichen Leistung.
3. Prognose der möglichen Wettkampfleistung.
4. Schlussfolgerungen für das weitere Training besonders hinsichtlich Umfangs, Intensität und motorischen Hauptbeanspruchungsformen.

Dabei sind die motorischen Hauptbeanspruchungsformen (Ausdauer, Schnelligkeit und Krafteigenschaften) und Technik/Koordination als Zielgrößen zu betrachten.

Mit der Vereinigung beider Schwimmverbände von Ost und West übernahm man dem Stufentest nach *PANSOLD (1985)* in der Laktat-Leistung Beziehung.

Dieser Test trägt spezifischer den Besonderheiten der jeweiligen Schwimmdisziplin und dem aktuellen Leistungsniveau des Sportlers Rechnung, stellt aber sehr hohe Anforderungen an die jeweilige Belastungsdosierung, um die vorgegebenen physiologischen Bereiche zu testen.

Für die leistungsdiagnostischen Beurteilungskomplexe aerober und anaerober Leistungsfähigkeit hat er wesentlich zu einer wissenschaftlichen Begründung des Trainings und zur Aufstellung auch biologisch begründeter „Trainingsmittelkataloge“ geführt.

Je doch geringe Beachtung fand bisher das Anstiegsverhalten der Laktat-Leistungskurve (LLK).

Nach *PANSOLD (1985)* wird die Verlaufscharakteristik b-Wert der LLK durch das Niveau der Krafftfähigkeiten des Sportlers und (durch) sportartspezifische

bzw. individuell bedingte Einflussgrößen der Bewegungsstruktur bzw. Technik beeinflusst.

Eine leistungsorientierte Belastungsuntersuchung (Spiroergometrie) ist wesentlicher Bestandteil der sportmedizinischen Diagnostik.

Die diagnostische Methode der Ergometrie hat seit langem Eingang in die praktische Kardiologie gefunden und ist in den letzten Jahren auch weitgehend standardisiert worden.

Voraussetzung für eine exakte Bewertbarkeit der registrierten physiologischen Antwortreaktionen ist die präzise Vorgabe oder Ermittlung der jeweiligen Ergometerleistung in Watt.

Im Falle des Schwimmens ist die Entwicklung von geeigneten Verfahren zur leistungsorientierten Belastungsuntersuchung im Wasser nach wie vor im Fluss.

Das Hauptproblem besteht in einer bisher fehlenden Möglichkeit, die mechanische Gesamtleistung (Ergometerleistung) bzw. deren wesentliche Komponenten für die Sportmedizin praktikabel und hinreichend präzise zu erfassen.

Die schwimmerische Leistung wird maßgeblich durch die Leistungsfaktoren „Kondition“ sowie „Technik / Koordination“ mitbestimmt.

Als Parameter der „Kondition“ dient das Verhältnis zwischen der aufgewandeten und der theoretischen Leistung, das anhand der Schwimmerergometrie im Schwimmkanal ermittelt werden kann.

Als Parameter der „Technik / Koordination“ kommt ein Dimensionsmaß zur Anwendung, das die intrazyklischen Geschwindigkeitsschwankungen von Schwimmerinnen und Schwimmern quantifiziert.

Beide Parameter ergänzen sich sinnfällig, da sie in Bezug aufeinander die notwendigen Referenzwerte.

Mit Hilfe des vorgestellten Verfahrens ist es möglich, eingesetzte Mittel und Methoden der Trainingssteuerung innerhalb der Periodisierung auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen.

Die schwimmerische Leistung wird durch Leistungsfaktoren bestimmt, die untereinander vernetzt sind und deren ganzheitliche Wechselwirkungen mit Hilfe der Theorien der Selbstorganisation beschrieben werden können.

Aus der Sicht eines trainingswissenschaftlichen Anspruchs haben in Bezug auf das Sportschwimmen der konditionelle und technisch-koordinative Faktor bestimmenden Einfluss auf die schwimmerische Leistung.

Parameter beider Faktoren können als Systemrepräsentanten herangezogen werden.

Die vorliegende Arbeit befasst sich vorwiegend mit der Bestimmung des Funktionszustandes im Bereich der Hauptleistungskomponenten von Sportschwimmern auf der Grundlage mechanischer Schwimmleistungen und biomechanisch-kinematischer Parameter in der individuellen Ausprägung der sportlichen Technik des Leistungssportlers aus trainingsmethodischer Sicht.

Gegenstand der Arbeit ist die Effektivierung leistungsdiagnostischer Verfahren und ihre praktische Anwendung für die Trainingsmethodik und die Sicherung von Prognosen von Wettkampfergebnissen im Sportschwimmen.

Für die Studie stellte sich internationale<sup>10</sup> Sportler im Alter von 14 bis 20 Jahren aus dem Bundesstützpunkt des Sportclubs Magdeburg zur Verfügung.

Es handelte sich dabei um 5 weibliche und 5 männliche Athleten, die zum deutschen Schwimmverband gehörten.

Vor Beginn, nach der dritten Minute jeder Belastungsstufe sowie eine und drei Minuten nach Belastungsende wurde Blutproben aus dem Ohrläppchen entnommen.

Die Leistungsdiagnostik erfordert rückwirkungsarme Gasstoffwechselmeßsysteme, um sowohl die Atemarbeit als auch die Atemform gegenüber der freien Atmung möglichst wenig zu beeinflussen.

Für das Schwimmen wurden bisher Masken und Schnorchelsysteme erprobt.

Unter den Bedingungen des Schwimmens gilt es, ein Optimum zwischen dem Atemwiderstand, dem Wasserwiderstand und dem Totraum des Schnorchels zu finden.

Die Ermittlung der mechanischen Schwimmleistung bietet die Möglichkeit, wertvolle Aussagen über die Entwicklung bzw. Stabilisierung der sportlichen Technik in Abhängigkeit vom Trainingszyklus zu gewinnen.

Konditionelle und koordinative Aspekte einer sportlichen Bewegung stehen in einem Wechselverhältnis, das z.B. durch den b- Wert der Laktat-Leistungskurve summativ dargestellt werden kann.

Die Untersuchungen beim Schwimmen erfolgten in der Gegenstromanlage Magdeburg bei einer Wassertemperatur von jeweils 28° Celsius und einer relativen Luftfeuchtigkeit des Raumes von 60-65%.

Die Untersuchungen wurden in einer Gegenstromanlage durchgeführt. (NIKALS, 1996)

Als Parameter des Leistungsfaktors „Technik/Koordination“ wurde die horizontale Hüftgeschwindigkeit verwendet.

Für die Analyse der mittels Videotechnik registrierten Bewegungen im Schwimmen wurde Bewegungsanalysesystem „Motodiag“ verwendet. (BLASER, STUCKE & WITTE, 1996)

Die kinemetrische Analyse der Bewegungen basierte auf einer 2-dimensionalen Videoaufnahme.

erfasste Kennwerte:

- $\dot{V}O_2$  -Aufnahme sowie  $CO_2$ -Abgabe (Grundlage für Berechnung der Kraft)
- Laktat
- Herzschlagfrequenz
- Kinemetrische Analyse

#### - **Schlussfolgerungen**

Unter Berücksichtigung der Hypothese und der empirischen Ergebnisse ergeben sich nachstehende Folgerungen.

- Der Einsatz der Schwimmspiroergometrie im Strömungskanal gestattet eine Effektivierung von Meso- und Makrozyklen bezüglich der inhaltlichen Schwerpunkte (Kraft, Technik, Ausdauer, Koordination) und eine gleichzeitige Quantifizierung der Trainingsergebnisse gemeinsam mit den Parametern der Laktat-Leistungskurve. Das Verfahren bildet eine Schnittstelle zwischen Biomechanik, Leistungsmedizin und Trainingsmethodik.

- Der Zusammenhang zwischen Kraftaufwand und Bewegungskoordination kann mit einer noch so genauen redaktionischen, kinematischen Analyse eines oder mehrerer Bewegungszyklen nur unzureichend analysiert werden.
- Die Anpassung an veränderte äußere Bedingungen – zum Beispiel die Zusatzbelastung von 5 N oder die Erhöhung der Anströmgeschwindigkeit ist nur über ein gewisses Maß an Variabilität in der Bewegungskoordination bewegungsökonomisch realisierbar.
- Unter Einbindung der Messergebnisse der Schwimmergometrie wird vermutet, dass Schwimmerinnen und Schwimmer, deren Steigerung des Kraftaufwands bei Zusatzbelastung unter dem theoretischen Wert liegt, diese erhöhte Belastung mittels einer Variablen Koordination ausgleichen. Diese Sportlerinnen und Sportler kompensieren die Zusatzlast in Bezug auf die Koordination in der Zone der „Optimalen Variabilität“.
- Diese Zone ist untersuchungsmethodisch nur erfassbar, wenn nicht einzelne Kennwerte eines Bewegungszyklus analysiert werden, sondern das System als Ganzes in seinem zeitlichen Verlauf zugrunde gelegt wird. Dimensionsmaße können diese Zone beschreiben.
- Aus der Sicht der Selbstorganisation scheint es demnach einen Attraktor zu geben, der durch ein Dimensionsmaß gekennzeichnet ist, das sowohl eine zu große Bewegungsvariabilität einschränkt, als auch eine relativ stabile uneffektive Bewegungsausführung begrenzt. Dieser Attraktor wird als ein Modellkonstrukt verstanden, mit dem eine „Optimale Variabilität“ der Bewegungskoordination als Ganzheit beschrieben werden kann.
- Die mechanische Schwimmleistung ( $P_{\text{mech}}$ ) und die Widerstandskraft ( $F_R$ ) sind keine direkt gemessenen Normwerte, sondern trainingsmethodische Hilfsgrößen, mit denen der Stand bei der Herausbildung der Bewegungsleistung charakterisiert werden kann.

- Für eine Trainingssteuerung im Rahmen der Periodisierung des sportlichen Trainings von Schwimmern ergibt sich durch den Einsatz des vorgestellten Analysesystems eine weitere Möglichkeit der Leistungsdiagnostik.

Der Vorteil liegt in der ganzheitlichen Erschließung des Trainingszustands bei vorrangiger Berücksichtigung der Leistungsfaktoren „Kondition“ und „Technik/Koordination“ in ihrer wechselseitigen Verflechtung.

Der Trainer hat dadurch die Möglichkeit, seine eingesetzten Mittel und Methoden im Rahmen der Periodisierung des sportlichen Trainings auf Praxisrelevanz zu überprüfen.

- Es wird deutlich, dass Sportlern mit annähernd gleichen Leistungsvermögen und gleichwertiger anaerob-laktazider Energiebereitstellung die scheinbar gleichen Leistungsvoraussetzungen in unterschiedlicher Weise zur Realisierung der Test- bzw. Wettkampfleistungen nutzen.

Daraus leitet sich die Notwendigkeit einer individuellen Trainingsgestaltung ab, da sich offensichtlich keine eng begrenzte streckenspezifische Differenzierung in den Fähigkeitskomplexen ausgeprägt hat, wie auf Grund der kurzen Belastungszeit vermutet werden könnte. Vielmehr wird innerhalb der Strecken immer noch ein genügend großer Spielraum für die Umsetzung unterschiedlicher Trainingskonzeptionen auf der Grundlage individueller Voraussetzungen erkennbar.

- Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass mit zunehmender Erhöhung des disziplinspezifischen Weltniveaus der sportmethodisch konzeptionell nutzbare Raum eingeengt wird, da bestimmte biologische Voraussetzungen und Mechanismen nicht voll kompensiert werden können.

## 6.0 Literaturverzeichnis

1. **ACEVEDO, EO. , et. al.:** Applying physiological principles and assessment techniques to swimming the English Channel. A case study, *J. Sports. Med. Phys. Fitness.*, 37(1997) 1, 78-85.
2. **ADRIAN, M. J. et. al.:** Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl storke. *J. Appl. Physiol., Bethesda*, 21(1966) 6, 1763-1766.
3. **ALLEY, L. E:** An Analysis of Water Resistance and Propulsion in Swimming the Crawl Stroke. *Res. Quart., Washington* 22(1952), 253-270.
4. **ARREDONDO, S. H. et. al.:** Adaptations to interval training at commen intensities and different work: rest ratio. *Inter. Symp.on biomechanics and medicine in swimming*, Liverpool, 1990.
5. **ÅSTRAND, P. O. / ENGLESSON, S.:** A Swimming Flume. *J. Appl. Physiol.*, 33(1972), 4, 514-519.
6. **BADTKE, G.:** Lehrbuch der Sportmedizin., UTB für Wissenschaft, 4 Auflage, Heidelberg,1999.
7. **BALLREICH, R. / BAUMANN, W. :** Grundlagen der Biomechanik des Sports, Ferdinand Enke, 2 Auflage, Stuttgart,1996.
8. **BALTACI, G., ERGUN, N.:** Maximal oxygen uptake in well-trained and untrained 9-11 year-old children, *Pediatr. Rehab.*, 1(1997), 3,159-162.
9. **BARTHELS, K. M.:** Swimming Biomechanics- Resistance and Propulsion. *Swimming Technique*, 14(1977), 3, 66-71.
10. **BENTLEY, D. J. et. al.:** Correlations between peak power output, muscular strength and cycle time trial performance in triathletes, *J. Sports. Med. Phys. Fitness*, 38(1998), 3, 201-207.
11. **BERGER, M. A. , et. al.:** Technique and energy losses in front crawl swimming, *Med. Sci. Sports. Exerc*, 29(1997), 11, 1491-1498.

12. **BERGER, M. A. et. al.:** Determining propulsive force in front crawl swimming: a comparison of two methods, *J. Sports. Sci.*, 17(1999) 2, 97-105.
13. **BERNSTEIN, N. A. :** *Bewegungsphysiologie*, Leipzig, 1988.
14. **BLASER, P. , NIKLAS, A. :** Die schwimmspezifische Bewegungsanalyse in der Gegenstromanlage., *Leistungssport*, 28(1998) 6, 43-46.
15. **BLASER, P. :** Die Überprüfung der Technikvariabilität im Sportschwimmen in Vorbereitung der Schwimmerinnen und Schwimmer auf sportliche Wettkämpfe, *Leistungssport*, 25(1995)1, 36-39.
16. **BLASER, P. et. al.:** Auswirkungen eines Leistungstrainings im Brustschwimmen auf den Zusammenhang von Bewegungsrepräsentationen und Bewegung, *Bundesinstitut für Sportwissenschaft*, 1. Aufl., Sport und Buch Strauß, Köln, 2000.
17. **BLASER, P., ACKERMANN, P., STUCKE, CH.:** Die Widerspiegelung der Komponenten des motorischen Könnens unter den Bedingungen ansteigender Belastungsgestaltung – eine Einzelfallstudie am Beispiel des Schwimmens. In: *Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft*, Sankt Augustin, 1993, 141-145.
18. **BLASER, P., STUCKE, CH. , WITTE, K.:** Der Einsatz von Dimensionsmaßen für die Trainingsdiagnostik im Sportschwimmen – ein anderes Verfahren der Bewegungsanalyse., *Kölner Schwimmsporttage*, Sport Fahnenmann, Bockenem, 1997, 112-116.
19. **BÖHME, P. , NEUMANN, G., SCHARSCHMIDT, F.:** Zulässiger Atemwiderstand bei Gasstoffwechsellmessplätzen zur Untersuchung Sporttreibender. *Med. u. Sport*, Berlin 21(1981), 239-244.
20. **BOLSTER, D. R., et. al.:** Effects of precooling on thermoregulation during subsequent exercise, *Med. Sci. Sports. Exerc*, 31(1999) 2, 251-257.

21. **BÖS, K. , MECHLING, H. :** Dimensionen sportmotorischer Leistung, wissenschaftliche Schriftenreihe des deutschen Sportbundes, Bd. 17 Schorndorf, 1983.
22. **BRAUER, L. :** Einführung in die Spirographie und Ergometrie, Beitr. Klein. Tuberk, 1940, 94-504.
23. **BRÄUER, T. :** Eine neue Methode zur Leistungsdiagnostik bei Tauchern, Wehrmedizinische Monatsschrift, 38(1994)10, 326-328.
24. **CAPELLI, C. et. al.:** Energetics of swimming at maximal speeds in humans, Eur. J. Appl. Physiol., 78(1998) 5, 385-393.
25. **CARDELLI, C., et. al.:** Analysis of breathing in the crawl as a function of skill and stroke characteristics, Perceptual and motor skills, 90(2000), 3 pt 1, 979-987.
26. **CHATARD, J.C. et. al.:** Performance and drag during drafting swimming in highly trained triathletes, Med. Sci. Sports. Exerc, 30(1998) 8, 1276-1280.
27. **CHOLLET, D., et. al.:** A new index of coordination for the crawl: description and usefulness, Int. J. Sports. Med., 21(2000)1, 54-59.
28. **CHU, DA. :** Athletic training issues in synchronized swimming, Clin. Sports. Med., 18(1999) 2, 437-445.
29. **CLAESSEN, C. et. al.:** Echocardiographic and physiological performance characteristics of triathletes, The Canadian journal of cardiology, 16(2000) 8, 993-1002.
30. **CLARYS, J. P. / LEWILLIE, L. (eds):** Biomechanics in Swimming. Vrije Universiteit, Brüssel, 1975.
31. **CLARYS, J. P.:** An Experimental Investigation of the Application of Fundamental Hydrodynamics in the Human Body, Swimming Medicine IV. Baltimore, Md. 1978, 386-399.
32. **CLASING, D. et. al. :** Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1994.

33. **COEN, B.** : Individuelle anaerobe Schwelle, Sport und Buch Strauß, Köln, 1997, 113-135.
34. **COUNSILMAN, J. E.:** Forces in swimming two Types of Crawl Stroke. Res. Quart. 26(1955), 139 -172.
35. **COUNSILMAN, J.E.** : Schwimmen, Technik, Trainingsmethoden, Trainingsorganisation, Limpert-Verlag, Frankfurt am Main,1973.
36. **COURTEIX, D. et. al.:** Effect of physical training on bone mineral density in prepubertal girls: a comparative study between impact-loading and non-impact sports, Osteoporos. Int., 8(1998) 2, 152-158.
37. **D´AQUISTO, L.:** Longitudinal changes in muscle strength/power of developmental swimmers, Frist world swimming coaches' seminar, Fina, Barcelona, 1990.
38. **DELUCAS, RD. et. al.:** The effects of wet suits on physiological and biomechanical indices during swimming, J. Sci. Med. Sport, 3(2000)1, 1-8.
39. **Di PRAMPERO, P. E., et. al.:** Energetics of swimming man, J.Appl.Physiol. 37(1974), 5 -11.
40. **DICHHUTH, H. H.** : Bedeutung der Leistungsdiagnostik bei Ausdauer- und Spielsportarten, Sportmedizin, 47(1996)1, 183-190.
41. **DONELAN, A.M.:** Gas transfer at water surfaces, Geophysical monograph, Washington, 2002.
42. **DOUGLAS, C. G.:** A method for determining the total respiratory exchange in man, J. Physiol., London 42(1911)17.
43. **DUBOIS-REYMOND, R.:** Zur Physiologie des Schwimmens., Arch. Anat. u. Physiol. 22(1905), 252-278.
44. **ELLIOTT, B.:** Biomechanics: an integral part of sport science and sport medicine, J. Sci. Med. Sport., 2(1999) 4, 299-310.

45. **FALUDI, J., et. al.:** Characteristics influencing changes in aerobic performance of children aged 7-9, *Acta. Physiol. Hung.*, 86 (1999) 3-4, 229-235.
46. **FRANK, G. :** Koordinative Fähigkeiten im Schwimmen: der Schlüssel zur perfekten Technik, Hofmann, Schorndorf, 1998.
47. **FREITAG, W. :** Schwimmen, Reinbek bei Hamburg, 1977.
48. **FRENTSOS, JA. , BAER, JT.:** Increased energy and nutrient intake during training and competition improves elite triathletes. Endurance performance, *Int. J. Sports Nutr.* , 7(1997)1, 61-71.
49. **GRASSBERGER, P. /PROCACCIA, I.:** Measuring the strength of strange attractors, *Physica 9D*, 1983, 189-208.
50. **HABER, P. :** Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung, Springer-Verlag, Wien, 2001.
51. **HARALAMBI, G.:** Einführung in die Sportbiochemie., Bartels & Wernitz, Berlin, 1982, 45-50.
52. **HARRE, D. :** Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings, Sportverlag Berlin, 1986, 105-200
53. **HARTUNG, E.:** Multivariate Statistik., Oldenbourg, 2Auffge, München, 1986.
54. **HAUSSWIRTH, C., et. al.:** Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon, *Int. J. Sports. Med.*, 18 (1997) 5, 330-339.
55. **HECK, H. :** Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik, Hofmann-Verlag Schorndorf, Studienbrief 8, Köln, 1990.
56. **HECK, H.:** Grundlagen der anaeroben Leistungsdiagnostik, *Sportmedizin*, 49(1998)1, 50-56.
57. **HILL, A. V. :** The maximum work and mechanical efficiency of human muscles and their most economical speed, *J. Physiol.*,56 (1922) 19.

58. **HILL, DW.** : Energy system contributions in middle-distance running events, *J. Sports. Sci.*, 17(1999) 6, 477-483.
59. **HOLMÉR, I.:** Oxygen uptake during Swimming in man, *J. Appl. Physiol.* 33(1972) 3, 502-509.
60. **HOLMÉR, I.:** Physiology of Swimming Man. Exercise and Sport Sciences Reviews, Vol.7. Seattle, Wash., 1979, 87-123.
61. **HOLMÉR, I.:** Propulsive Efficiency of Breaststroke and Freestyle Swimming, *Eur. J. Appl. Physiol.* 33(1974), 95-103.
62. **HOOPER, SL. et. al.:** Physiological and psychometric variables for monitoring recovery during tapering for major competition, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 31(1999) 8, 1205-1210.
63. **HUE, O. et. al.:** Ventilatory responses during experimental cycle-run transition in triathletes, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 31(1999)10, 1422-1428.
64. **HUTZLER, Y. et. al.:** Effects of a movement and swimming program on water orientation skills and self-concept of kindergarten children with cerebral palsy, *Percept. Mot. Skills*, 86(1998)1, 111-118.
65. **IVY, JL. , et. al.:** Prevention and treatment of non-insulin-dependent diabetes mellitus, *Exerc. Sports. Sci. Rev.*, 27 (1999), 1-35.
66. **JAEKEL, D.:** Normalwerte für die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit auf dem Ergospirometriesystem EOS-Sprinter. Diss., Uni. Köln, 1994.
67. **JAKOWLEW, N. N.:** Sportbiochemie, Sportmedizinische Schriftreihe DH für Körperkultur, J.A.Barth Verlag, Leipzig, 1977.
68. **JEAGER, L. D.:** Resistance of water as a limiting Factor of speed in Swimming., Master's thesis. State University of Iowa, Iowa City, 1937.
69. **JESCHKE, D. / LORENZ, R.:** Sportartspezifische Leistungsdiagnostik energetische Aspekte, Sport und Buch Strauß, Köln, 1998.
70. **JOST, J.** : Sportmedizinische Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Basketball, *Sports Med.*, 47(1996)1, 3-17.

71. **KARGOTICH, S. et. al.:** The influence of exercise - induced plasma volume changes on the interpretation of biochemical parameters used for monitoring exercise, training and sport, *Sports. Med.*, 26(1998) 2, 101-117.
72. **KARGOTICH, S., et. al.:** Influence of exercise-induced plasma volume changes on the interpretation of biochemical data following high-intensity exercise, *Clin. J. Sports. Med.*, 7(1997) 3,185-191.
73. **KARPOVICH, P. V., PESTRECON, K.:** Mechanical Work and Efficiency in Swimming Crawl and Back stroke, *Arbeitsphysiologie*, 10(1939), 504-514.
74. **KARPOVICH, P. V.:** Water Resistance in Swimming, *Res. Quart.*, Washington, 4(1933) 3, 21-27.
75. **KENT, M. :** Wörterbuch Sport und Sportmedizin, Limpert, Wiesbaden, 1996.
76. **KEUL, J. , KINDERMANN,W. , SIMON, G. :** Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsfähigkeit, *Leistungssport*,18 (1978)1, 22-32.
77. **KLEMM, O. :** Gedanken über Leibesübungen, Neue psychologische Studien, Bd. 5., Berlin,1930.
78. **KLINKE, R. , SILBERNAGL, S. :** Lehrbuch der Physiologie, Thieme, 2Auflage, Stuttgart, 2000.
79. **KNIPPING, H. W. :** Ein einfacher Apparat zur exakten Gasstoffwechselbestimmung, *Z. exper. Med.*, 1924, 41- 363.
80. **KNÖLLER, K.:** Trainingsanalyse im Ausdauersport, Czwalina, Hamburg, 1997, 54-64.
81. **KONSTANTAKI, M. et. al.:** The relationship between blood lactate and heart rate responses to swim bench exercise and women's competitive water polo, *J. Sports. Sci.*, 16(1998) 3, 251-256.

82. **KONSTANTAKI, M., SWAINE, IL.** : Lactate and cardiopulmonary responses to simulated arm pulling and leg-kicking in collegiate and recreational swimmers, *Int. J. Sports. Med.*, 20(1999) 2, 118-121.
83. **LABRIANIDIS, K.:** Über den Einfluss eines 90-minütigen Dauerlaufs auf die Laktat-Leistungskurve sowie auf hämodynamische und metallische Parameter, *Diss.*, Hartung-Gorre Verlag, Köln ,1993, 22-38.
84. **LAMPERT, CP. et. al.:** The effects of swimming and running on energy intake during 2 hours of recovery, *J. Sports.med. phys.Fitness*, 39(1999) 4, 348-354.
85. **LE. GALLAIS, D. et. al. :** Metabolic and cardioventilatory responses during a graded exercise test before and 24 h after a triathlon, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 79(1999) 2,176-181.
86. **LEWIN, G. :** Schwimmsport, Sportverlag Berlin,1972.
87. **LILJESTRAND, G., LINDHARD, J.:** Über das Minutenvolumen des Herzen beim Schwimmen., *Skand. Arch. Physiol.*, 39(1919), 1-63.
88. **LILJESTRAND, G., STENSTRÖM, N.:** Studien über die Physiologie des Schwimmens, *Skand. Arch. Physiol.*, 39(1919), 1-63.
89. **LIU, Y. et. al.:** Effect of « living high-training » on the cardiac functions at sea level, *Int. J. Sports. Med.*, 19(1998), 6, 380-384.
90. **LÖCKEN, M. / DIETZE, R.:** Betreuungssystem im modernen Hochleistungssport, *Philippka, Münster*, 1982, 140-147, 156-178.
91. **MACKINNON, LT., et. al.:** Hormonal, immunological, and hematological responses to intensified training in elite swimmers, *Med. Sci. Sports. Exerc.* 29(1997)12, 1637-1645.
92. **MAGEL, J. R.:** Comparison of the physiological response to varying intensities of sub maximal Work in tethered Swimming and treadmill running, *J. Sport Med. Phys. Fitness*, 11(1971), 203-212.

93. **MAGNIE, MN. et. al.:** Visual and brainstem auditory evoked potentials and maximal aerobic exercise: does the influence of exercise persist after body temperature recovery? *Int. J. Sports. Med.*, 19(1998) 4, 255-259.
94. **MALZAHN, K. -D. / MÖHL, G.:** Zur Bewegungstechnik des Kraulschwimmens, *Körpererziehung*, 32(1982), 332-344.
95. **MALZAHN, K. -D. / STAFENK, W.:** Zur Effektivität verschiedener Bewegungsvarianten im Brust- und Kraulschwimmen., *Theor. u. Prax. Körperkult.*, 22(1973)8, 724-733.
96. **MALZAHN, K. D. et. al. :** Schwimmen : Biomechanik, Technik, Didaktik, Trainingsmethodik, Therapie, Studienmaterial, Halle, 1993.
97. **MARTIN, D. :** Grundlagen der Trainingslehre, Teil 2. Hoffmann-Verlag, Schorndorf, 1982
98. **MARTIN, D. :** Handbuch Trainingslehre, Schorndorf, 1991, 30-249
99. **MARTIN, R. B. et. al.:** A simple analytical model for the crawl stroke, *J. Biomech.* 14(1981), 539-548.
100. **MATSUMOTO, I. et. al.:** Effects of swimming training on aerobic capacity and exercise induced bronchoconstriction in children with bronchial asthma, *Thorax*, 54(1999) 3, 196-201.
101. **MATSUMOTO, T., et. al.:** Bone density and bone metabolic markers in active collegiate athletes: finding in long-distance runners, judoists, and swimmers, *Int. J. Sports. Med.*, 18(1997) 6, 408-412.
102. **MATVEEV, L. P. :** Grundlagen des sportlichen Trainings, Berlin, 1981.
103. **McARDLE, W. D. et. al.:** Metabolic and cardio respiratory response during free Swimming and treadmill walking, *J. Appl. Physiol.*, 30(1971), 733-738.
104. **MILLER, D. I.:** Biomechanics of Swimming, *Exercise and Sport Sciences reviews*, 3(1975), 219-248.

105. **MILLER, JW.** : Injuries and considerations in masters aquatics sports, Clin. Sports. Med., 18(1999) 2, 413-426.
106. **MIURA, H., et. al.:** Characteristic feature of oxygen cost at simulated laboratory triathlon test in trained triathletes, J. Sports. Med. Fitness., 39(1999) 2, 101-106.
107. **MIYASHITA, M.:** An analysis of Fluctuations of Swimming Speed, Inter. Symp. On Biomechanics in Swimming, Vrije Universiteit Brussels, 1971, 53ff.
108. **MOSTERD, W. L. / JONGBLEOND, J.:** Analysis of the stroke of highly trained Swimmers, Int. Z. angew. Physiol. Einsch. Arbeitsphysiol., 20(1964), 288ff.
109. **MÜLLER, E.** : Leistungsdiagnostik im Spitzensport- Bedeutung, Methoden und Anwendungsbereiche, Spectrum der Sportwissenschaften, 10(1998) 2, 47-71.
110. **MÜLLER, E. et. al.** : Leistungsdiagnostik im Spitzinsport – Bedeutung, Methoden und Anwendungsbereiche, Spectrum der Sportwissenschaften, Öster. Sportwissens, Wien,10(1998) 2, 47-71.
111. **MÜLLER, R.:** Sportartspezifische Leistungsdiagnostik im Schwimmen bei Triathleten, Diss., Sportmedizin, Ulm, 1995.
112. **NEUMANN, G. et. al.** : Alles unter Kontrolle Ausdauertraining, Meyer & Meyer, 6Auflage, Aachen, 2000.
113. **NEUMANN, G. et. al.** : Optimiertes Ausdauertraining, Meyer&Meyer Verlag, 3.Aufl.,Aachen, 2001.
114. **NEUMANN, G., SCHÜLER, K-P:** Sportmedizinische Funktionsdiagnostik, Johann Ambrosius Barth, 2Auflage, Leipzig, 1994.
115. **NEUMANN, G.:** Ausgewählte sportmedizinische Beiträge zur Leistungsentwicklung in der Sportartengruppe Ausdauer, Institut für Körperkultur, 1984, Leipzig, 13-39.

116. **NIKLAS, A.** : Entwicklung diagnostischer Verfahren für ein leistungsmedizinisches Untersuchungszentrum für den Behindertensport, Sportmedizin, Göttingen, 1994.
117. **NIKLAS, A.** : Theoretische Erörterungen und erste Untersuchungen zur Einsatzmöglichkeit der dynamischen Ergometrie im Rahmen der Leistungsdiagnostik der Sportmedizin, Diplomarbeit, Medizinische Akademie, Magdeburg, 1980.
118. **NIKLAS, A. et. al.** : Bestimmung der mechanische Schwimmleistung im Strömungskanal eine Methode zur sportartspezifischen Leistungsdiagnostik, Kölner Schwimmsporttage, Sport Fahnemann, Köln, 1996.
119. **NIKLAS, A. et. al.** : Verfahren und Vorrichtung zur Spiroergometrie im Wasser, Med. Sport, 28(1988), 150-153.
120. **NIKLAS, A.**: Empfehlungen zum Einsatz der Parameter Laktat und Kreatinase in der Leistungsdiagnostik, Sportmedizinischer Dienst Magdeburg, 1988.
121. **NIKLAS, A.**: Entwicklungsergebnisse zur Ermittlung der aeroben Kraftausdauer mittels verschiedener Methoden der sportmedizinischen Spiroergometrie, Diss. B, Medizinischen Akademie, Magdeburg, 1989, 52-59.
122. **NIKLAS, A.**: Untersuchungen zur Entwicklung einer sportartspezifischen Spiroergometrie für die Sportarten Schwimmen und Tauchen, Diss. A, Medizinischen Akademie, Magdeburg, 1984.
123. **NIKLAS, A.**: Zum Begriff "Leistung" in der sportmedizinischen Diagnostik, Med. u. Sport, 27(1987) 8, 225-226.
124. **OGITA, F., et. al.**: Effect of hand paddles anaerobic energy release during submaximal swimming, Med. Sci. Sports. Exerc, 31(1999) 5, 729-735.
125. **PADILLA, J., et. al.**: Cardiopulmonary dynamics during a maximal exertion test in Mexican endurance athletes, Ach. Inst. Cardiol. Mex., 70(2000) 3, 268-284.

126. **PANSOLD, B. et. al.** : Leistungsdiagnostik mit Laktat und Mini 8, Berlin, 1993.
127. **PANSOLD, B., ZIMMER, J. , GABRIEL, W.M.:** Zum Einsatz und zur Interpretation von Laktatbestimmungen in der Leistungsdiagnostik, Theorie und Praxis des Leistungssports 23, 1985, 98-120.
128. **PAYTON, C.J., et. al.:** Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming, J. Sports. Sci., 17(1999) 9, 689-696.
129. **PELAYO, P., el. al.:** Swimming performance and stroking parameters in non skilled grammar school pupils: relation with age, gender and some anthropometric characteristics, J. Sports. Med. Phys. Fitness., 37(1997) 3, 187-193.
130. **PENDERGAST, D. R. et. al.:** The influence of selected biomechanical factors on the energy cost of Swimming, Swimming Medicine IV, Baltimore, Md, 1978, 367-378.
131. **REILLY, T., WOODBRIDGE, V.:** Effects of moderate dietary manipulations on swim performance and on blood lactate-swimming velocity curves, Int. J. Sports. Med., 20(1999) 2, 93-97.
132. **REISCHLE, K.:** Biomechanik des Schwimmens, Sport Fahnenmann, Heidelberg, 1988.
133. **RÖCKER, K.** : Spiroergometrische Messgrößen in der sportartspezifischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung, Leistungssport, 26(1996) 6, 44-49.
134. **RODEO, SA., et. al.:** Knee pain in competitive swimming, Clin. Sports. Med., 18(1999), 2, 379-387.
135. **ROTH, K.** : Taktik im Sportspiel, Schriftenreihe des Bundesinstitutes für Sportwissenschaft, Bd., 69, Schorndorf, 1989.
136. **SAUR, P. (Hrsg.)** : Kraft und Stabilität, Symposium Göttingen, Shaker-Verlag, Aachen, 2001.

137. **SCHABORT, EJ. et. al.:** Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32(2000) 4, 844-849.
138. **SCHELTER, T. :** Evaluierung von Parametern zur Präzisierung der Leistungsdiagnostik bei Läufern, Diss. Uni. Tübingen, 2000.
139. **SCHLEIHAUF, R. E. et. al.:** Three-dimensional analysis of swimming propulsion in the sprint front crawl stroke, *Biomechanics and Medicine in swimming*, Champaign, Ill. 1983, 173-184.
140. **SCHLEIHAUF, R. E.:** a hydrodynamic analysis of Breaststroke Pulling Proficiency, *Swimming Technique*, 13(1976) 2,100 -110.
141. **SCHMID, G.:** Leistungsdiagnostik im Schwimmen mit Hilfe ergometrische und sportartspezifischer Belastung, Diss., Medizinischen Fakultät, Tübingen, 1985.
142. **SCHMIDT, R.A. :** Motor control and learning, Chmpaign., 1988.
143. **SCHRAMM, E. :** Sportschwimmen, Sportverlag Berlin, 1987.
144. **SCHUSTER, H. G.:** Deterministisches Chaos. Eine Einführung, New York, 1989.
145. **SIMON, G. :** Prinzipien der aeroben Leistungsdiagnostik, *Sportmedizin*, Sonderh. 49(1998)1, 61-64.
146. **SIMON, G. :** Trainingssteuerung im Schwimmsport, *Leistungssport*, 16(1986) 5, 45.
147. **SPECK, C. :** Physiologie des menschlichen Atmens, Vogel, Leipzig, 1892.
148. **STEGEMANN, J.:** Leistungsphysiologie, New York, 1984.
149. **STEMMLER, R. et. al. :** Statistische Methoden im Sport, Sport Verlag, Berlin, 1980.
150. **STEWART A.M., HOPKINS, WG. :** Swimmer's compliance with training prescription, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 29(1997) 10, 1389-1392.

151. **SWAINE, IL.** : Cardiopulmonary responses to exercise in swimmer using a swim bench and a leg-kicking ergometer, *Int. J. Sports. Med.*, 18(1997) 5, 459-362.
152. **TAIRAR, R. et. al.:** Hydrodynamics optimization in butterfly swimming: position, drag coefficient and performance, *J. Biomech.*, 32(1999) 8, 803-810.
153. **TANAKA, H., SWENSEN, T.:** Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross- training? *Sports. Med.*, 25(1998) 3, 191-200.
154. **TIPTON, M., et. al.:** Immersion deaths and deterioration in swimming performance in cold water, *Lancet*, 35 (1999) 4, 626-629.
155. **TOUSSAINT, H. M. / BEEK, P. J.:** Biomechanics of competitive front crawl swimming, *Sports Medicine*, 13 (1992) 1, 8-24.
156. **TOUSSAINT, H. M.:** differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers, *Med. Sci. Sports exerc.* 22(1990), 40-415.
157. **TOUSSAINT, H.M, VAN DEN BERG, C.:** Comments on "Hydrodynamics optimization in butterfly swimming: position, drag coefficient and performance", *J. Biomech.*, 33(2000) 4, 507-509.
158. **TOUSSAINT, H.M., et. al.:** Simulated front crawl swimming performance related to critical speed and critical power, *Med. Sci. Sports. Exerc*, 30(1998) 1, 144-151.
159. **TOUSSAINT, H.M.:** Mechanics and energetics of swimming, *Diss.*, Vrije Uni., Amsterdam, 1988.
160. **TROUP, JP.** : The physiology and biomechanics of competitive swimming, *Clin. Sports. Med.*, 18(1999) 2, 167-285.
161. **UDO, M.** : Die Bedeutung der modernen kardiorespiratorischen Funktionsdiagnostik für jugendliche Leistungssportler, *Diss.*, Uni. Gießen, 1977.

162. **UNGERECHTS, B. E. , THIESMANN, M. :** Zur Praxis und Theorie des Brustschwimmens, Der Schwimmtrainer, Nr. 34/35/36, 31-39.
163. **UNGERECHTS, B. E. :** Evaluation der biomechanischen Einflußgrößen auf die Schwimmgeschwindigkeit aus hydrodynamischer Sicht, Bielfelder Beiträge zur Sportwissenschaft, 1989.
164. **UNGERECHTS, B. E. :** Leistungsdiagnostische Möglichkeiten für den Schwimmsport, Leistungssport, 22(1992) 2, 27-30.
165. **UNGERECHTS, B. E. :** Über den Nutzen einer Gegenstromanlage für den Schwimmsport, Olympiastützpunkt, Hannover/Wolfsburg, 1995.
166. **UNGERECHTS, B.E.:** Über den Wert der Zugzahlermittlung im Schwimmsport, Leistungssport, 9(1979) 5, 353-356.
167. **URHAUSEN, A. et. al.:** Ergometric and psychological findings overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes, Int. J. Sports. Med., 19(1998) 2, 114-120.
168. **VANDEWALLE, H., et. al.:** Work-exhaustion time relationships and the critical power concept. A critical review, J. Sports. Med. Phys. Fitness., 37(1997) 2, 89-102.
169. **VLECK, VE, GARGUTT, G.:** Injury and training characteristics of male Elite, Development squad, and Club triathletes, Int. J. Sports. Med., 19(1998) 1, 38-42.
170. **WASSERMAN, K. :** Die Messung der anaeroben Schwelle zur Einschätzung der Belastungsfähigkeit, Mikroface-Ausg., Baltimore (Leipzig), 1984.
171. **WEBB, P. W.:** The swimming energetics of trout, J. Exp. Biol., 55(1971), 489-540.
172. **WEIGELT, S.:** Laktatkinetik-Analyseprogramme am Beispiel des Laktat-Explorers, Leistungssport, 28(1998) H6, 37-39.
173. **WILKE, K.- MADSEN, O. :** Das Training des jugendlichen Schwimmers, Verlag Schorndorf, 1983.

174. **WILLIMCZIK, K.** : Statistik im Sport, Czwalina, Hamburg, 1997.
175. **WITTE, K. / STUCKE, Ch. / BLASER, P**: Using Methods of non-linear Dynamics to load-Stress-Test in a Swimming flume, Proceedings XIV, International Symposium on Biomechanics in Sports, Portugal, 1996, 181-184.
176. **YAMAMURA, C. et. al.**: Physiological characteristics of well-trained synchronized swimmers in relation to performance scores, Int. J. Sports. Med., 20(1999) 4, 246-251.
177. **YANAI, T., HAZ, JG.** : Shoulder impingement in front-crawl swimming: Analysis of stroking technique, Med. Sci. Sports. Exerc, 32(2000), 1, 30-40.
178. **ZHOU, S., et. al.**: Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests, J. Sport. Med. Phys. Fitness., 37(1997) 2, 122-130.

## 7.0 Anlagen

## 7.1 Die Ergebnisse von Hochleistungssportlern /innen

K. M.

 $R_v = 1 \text{ m/s}$  $F_z = 78 \text{ N}$  $P = 78 \text{ W}$ 

| <b>F(N)</b>          | <b>Fz(N)</b> | <b>P(W)</b> | <b>F + Fz</b> |
|----------------------|--------------|-------------|---------------|
| -5                   | 76           | 76          | 71            |
| 0                    | 78           | 78          | 78            |
| 5                    | 78           | 78          | 83            |
| 10                   | 80           | 80          | 90            |
| <b><i>b-Wert</i></b> | <b>6,99</b>  |             |               |

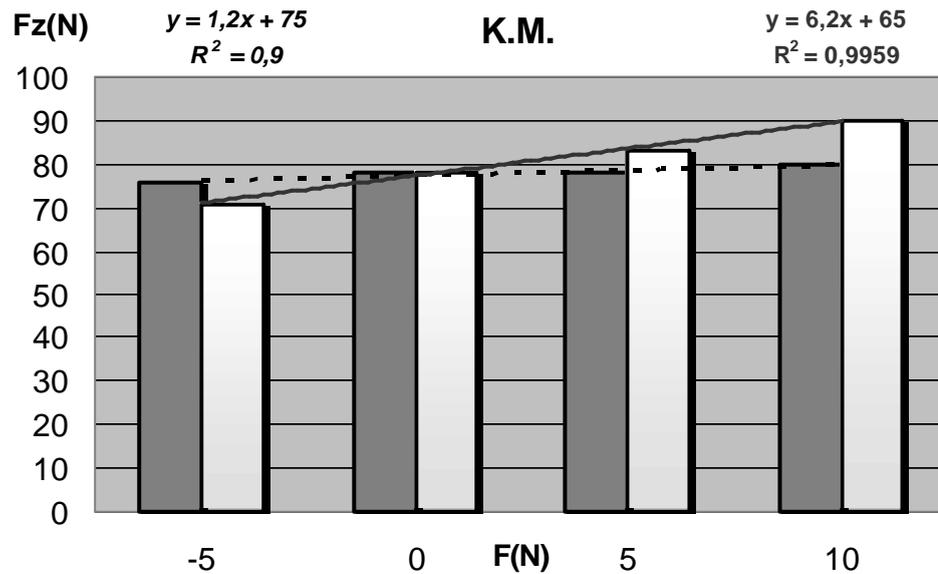


Abb. 27

N. K.

$Rv = 1\text{m/s}$

$Fz = 70\text{ N}$

$P = 70\text{ W}$

| F(N)          | Fz(N)       | P(W) | F + Fz |
|---------------|-------------|------|--------|
| -5            | 68          | 68   | 63     |
| 0             | 70          | 70   | 70     |
| 5             | 72          | 72   | 77     |
| 10            | 79          | 79   | 89     |
| <i>b-Wert</i> | <i>6,67</i> |      |        |

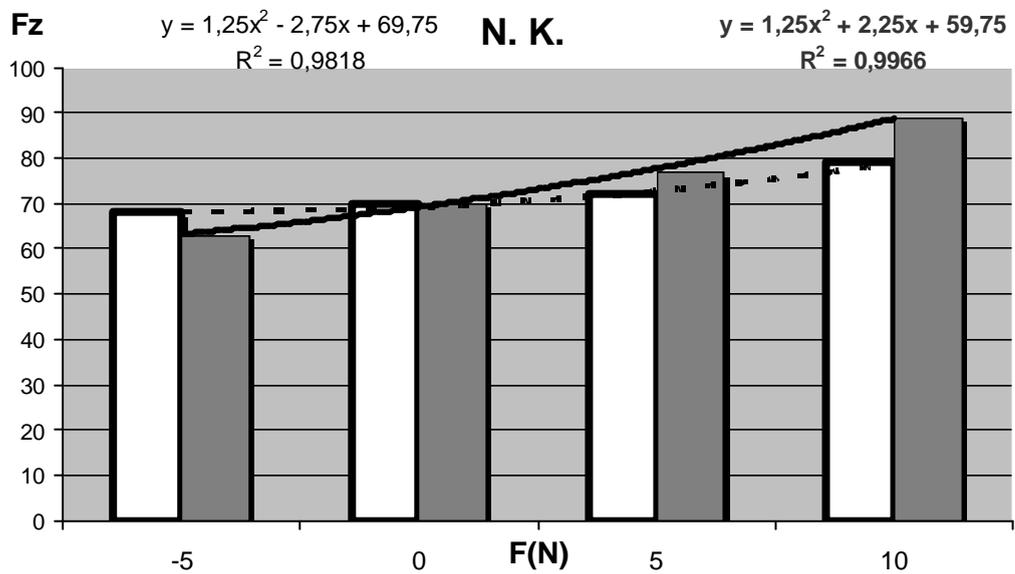


Abb. 28

K. D.

$$Rv = 1\text{m/s}$$

$$Fz = 52\text{ N}$$

$$P = 52\text{ W}$$

| F(N)          | Fz(N)       | P(W) | F + Fz |
|---------------|-------------|------|--------|
| -5            | 49          | 49   | 44     |
| 0             | 52          | 52   | 52     |
| 5             | 60          | 60   | 65     |
| 10            | 68          | 68   | 78     |
| <i>b-Wert</i> | <i>4,27</i> |      |        |

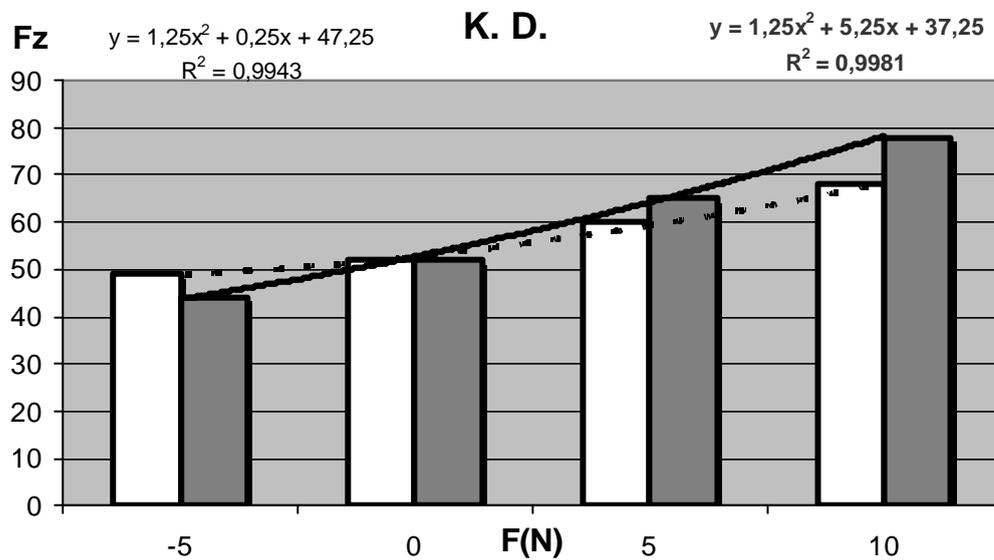


Abb. 29

D. W.

 $Rv = 1\text{m/s}$  $Fz = 50\text{N}$  $P = 50\text{W}$ 

| <b>F(N)</b>          | <b>Fz(N)</b> | <b>P(W)</b> | <b>F + Fz</b> |
|----------------------|--------------|-------------|---------------|
| <b>-5</b>            | <b>53</b>    | <b>53</b>   | <b>48</b>     |
| <b>0</b>             | <b>50</b>    | <b>50</b>   | <b>50</b>     |
| <b>5</b>             | <b>56</b>    | <b>56</b>   | <b>61</b>     |
| <b>10</b>            | <b>60</b>    | <b>60</b>   | <b>70</b>     |
| <b><i>b-Wert</i></b> | <b>5,35</b>  |             |               |

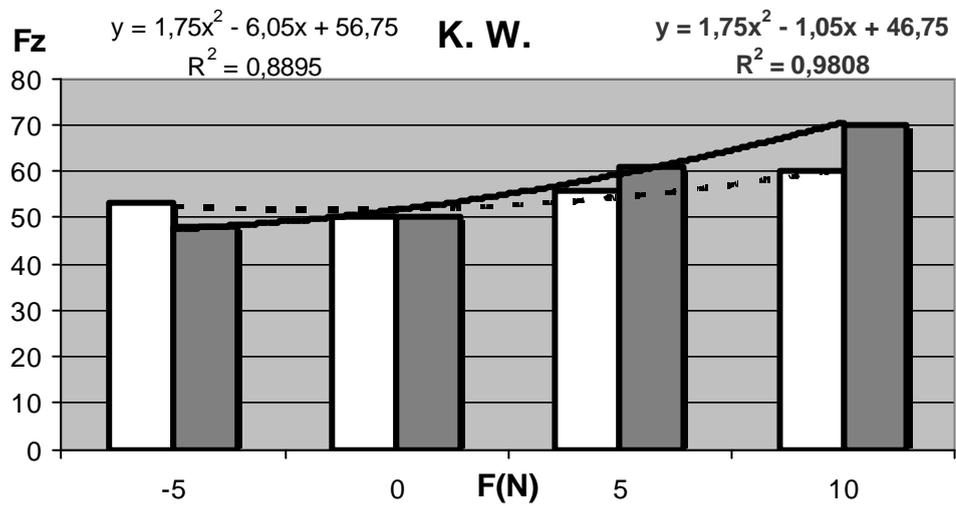


Abb. 30

N. O.

 $Rv = 1\text{ m/s}$  $Fz = 46\text{ N}$  $P = 46\text{ W}$ 

| F(N)   | Fz(N) | P(W) | F + Fz |
|--------|-------|------|--------|
| -5     | 44    | 44   | 39     |
| 0      | 46    | 46   | 46     |
| 5      | 57    | 57   | 62     |
| 10     | 54    | 54   | 64     |
| b-Wert | 2,74  |      |        |

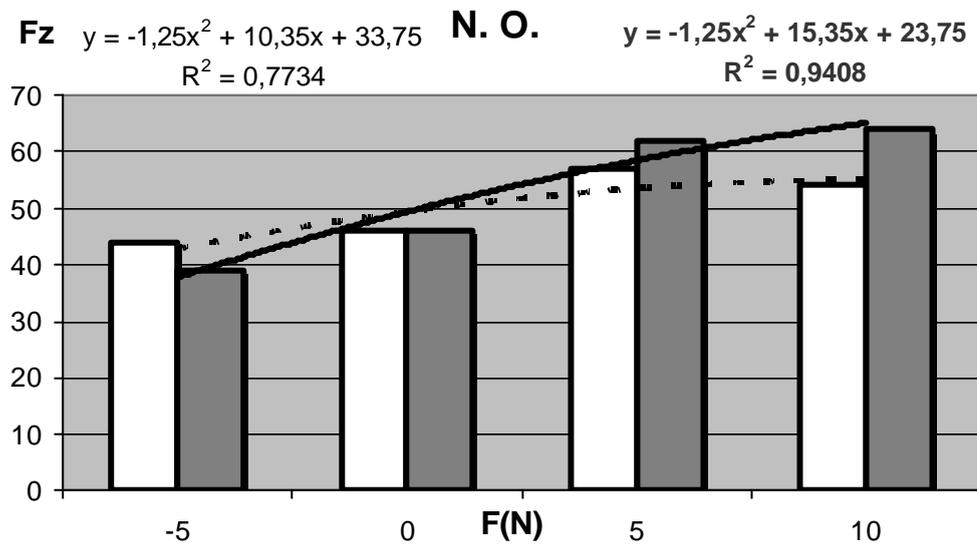


Abb. 31

A. T.

 $Rv = 1\text{m/s}$  $Fz = 53\text{ N}$  $P = 53\text{ W}$ 

| <b>F(N)</b>          | <b>Fz(N)</b>        | <b>P(W)</b> | <b>F + Fz</b> |
|----------------------|---------------------|-------------|---------------|
| <b>-5</b>            | <b>57</b>           | <b>57</b>   | <b>52</b>     |
| <b>0</b>             | <b>53</b>           | <b>53</b>   | <b>53</b>     |
| <b>5</b>             | <b>56</b>           | <b>56</b>   | <b>61</b>     |
| <b>10</b>            | <b>54</b>           | <b>54</b>   | <b>64</b>     |
| <b><i>b-Wert</i></b> | <b><i>12,04</i></b> |             |               |

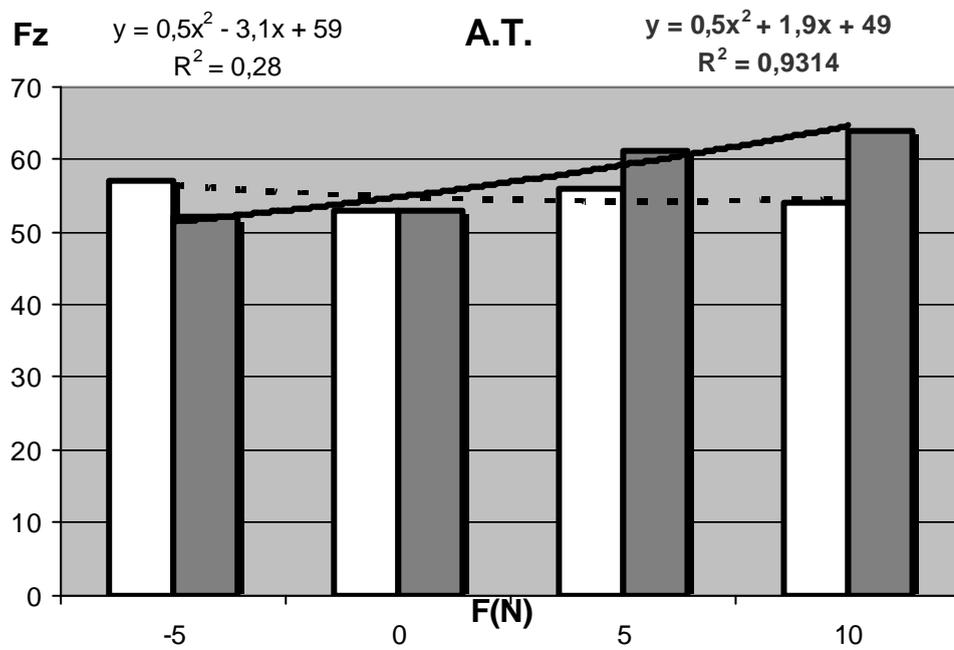


Abb. 32

K. A.

$$Rv = 1m/s$$

$$Fz = 54 N$$

$$P = 54 W$$

| F(N)          | Fz(N)       | P(W) | F + Fz |
|---------------|-------------|------|--------|
| -5            | 49          | 49   | 44     |
| 0             | 54          | 54   | 54     |
| 5             | 60          | 60   | 65     |
| 10            | 59          | 59   | 69     |
| <i>b-Wert</i> | <i>13,3</i> |      |        |

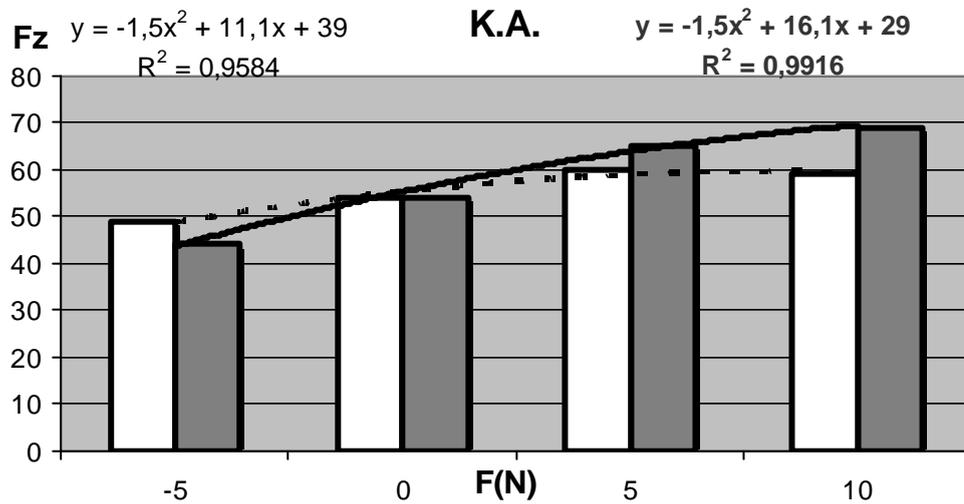


Abb. 33

S. M.

 $Rv = 1\text{m/s}$  $Fz = 60\text{N}$  $P = 60\text{W}$ 

| F(N)          | Fz(N) | P(W) | F + Fz |
|---------------|-------|------|--------|
| -5            | 52    | 52   | 47     |
| 0             | 60    | 60   | 60     |
| 5             | 60    | 60   | 65     |
| 10            | 64    | 64   | 74     |
| <i>b-Wert</i> | 9,96  |      |        |

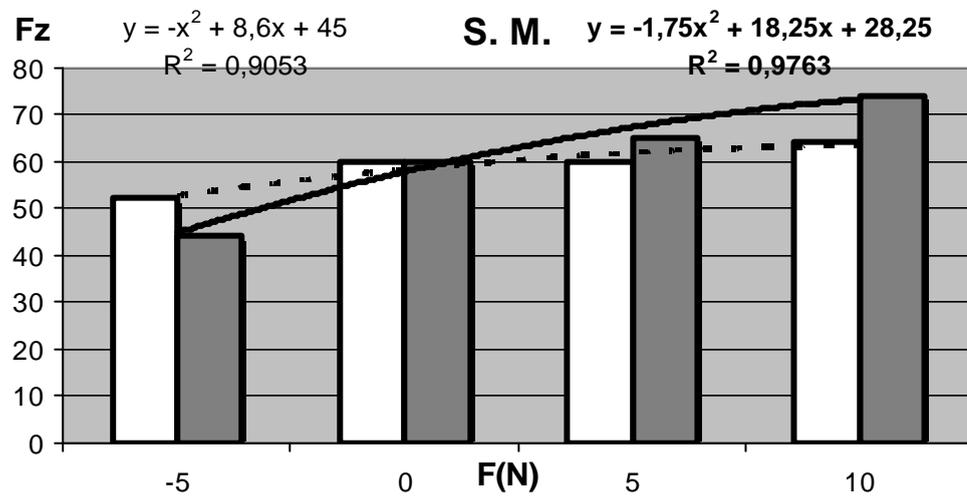


Abb. 34

S. H.

$$Rv = 1m/s$$

$$Fz = 65 N$$

$$P = 65 W$$

| F(N)          | Fz(N)       | P(W) | F + Fz |
|---------------|-------------|------|--------|
| -5            | 61          | 61   | 56     |
| 0             | 65          | 65   | 65     |
| 5             | 70          | 70   | 75     |
| 10            | 78          | 78   | 88     |
| <i>b-Wert</i> | <i>3,75</i> |      |        |

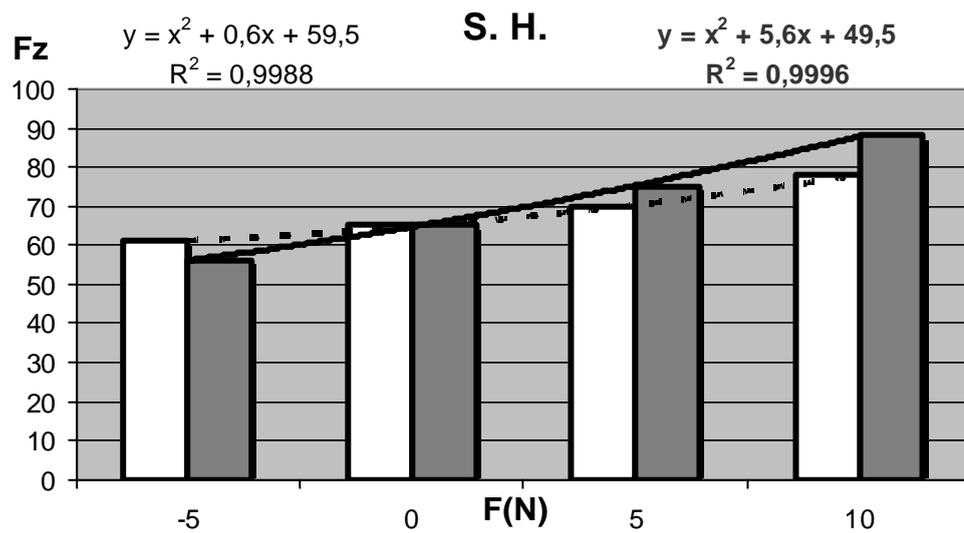


Abb. 35

## Ergebnisse der Schwimmergeometrie

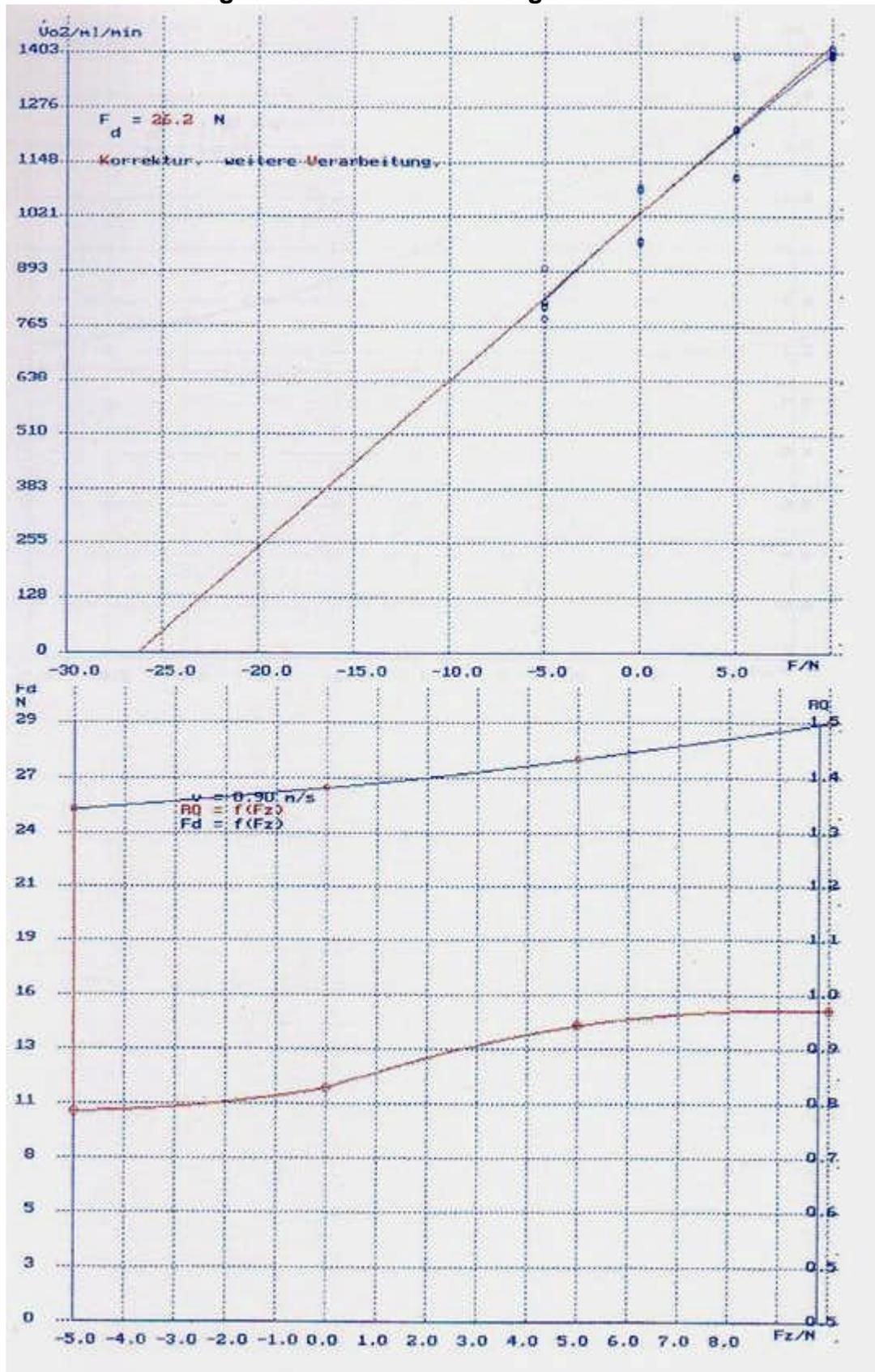


Abb. 36

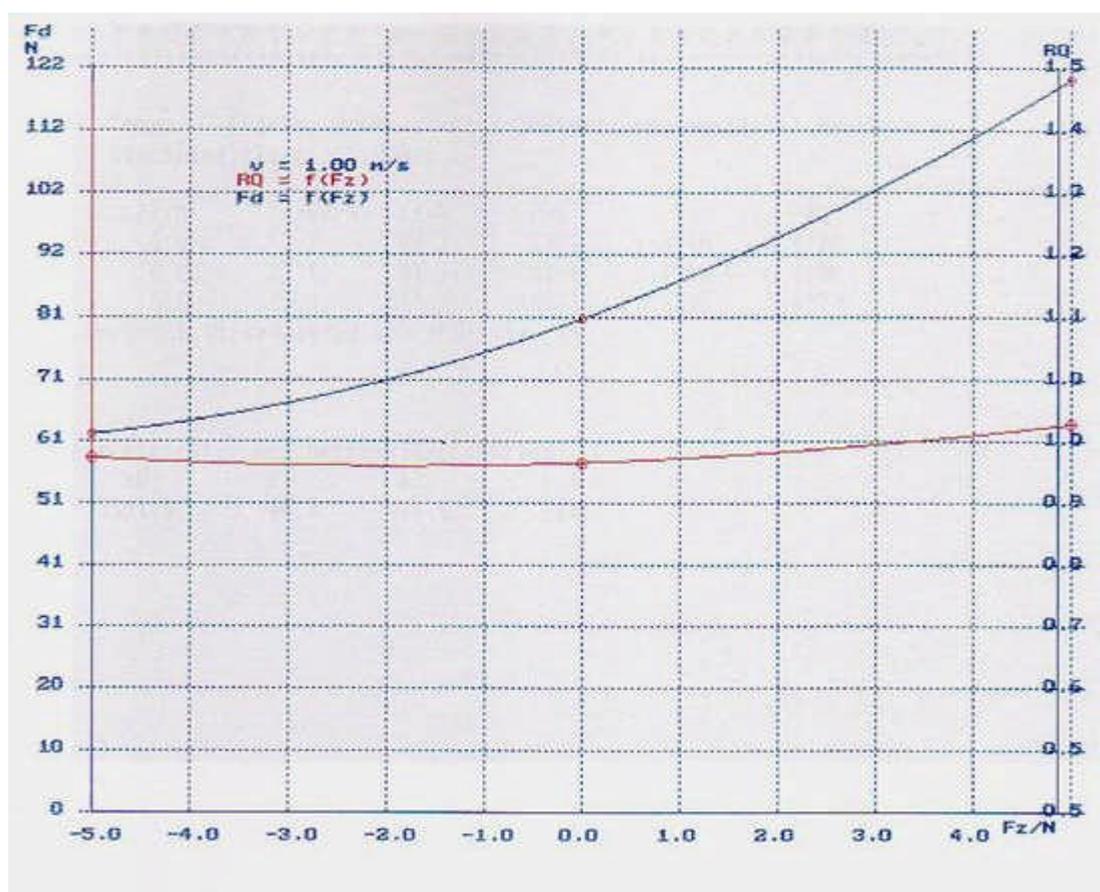


Abb. 37

**ERGEBNISSE der SCHWIMMERMOMETRIE**

---

Name : Mollenhauer      Testart/Schwimmstil : Kraul  
Geschwindigkeit : 1.10m/s

| $Fz/M$ | $Fd+Fz/M$ | $Fd/M$ | $P/W$ | $n$    | $RQ$   |
|--------|-----------|--------|-------|--------|--------|
| -5.0   | 24.3      | 29.3   | 26.7  | 5.2998 | 0.6987 |
| 0.0    | 30.8      | 30.8   | 33.9  | 5.6027 | 0.8081 |
| 5.0    | 37.8      | 32.8   | 41.6  | 5.9423 | 0.9164 |

Koeffizienten der Regressionsfunktion

| $a_0$  | $a_1$ | $a_3$ | $\delta$ |
|--------|-------|-------|----------|
| 1727.7 | 56.1  | -0.3  | 75658.6  |

Abb. 38

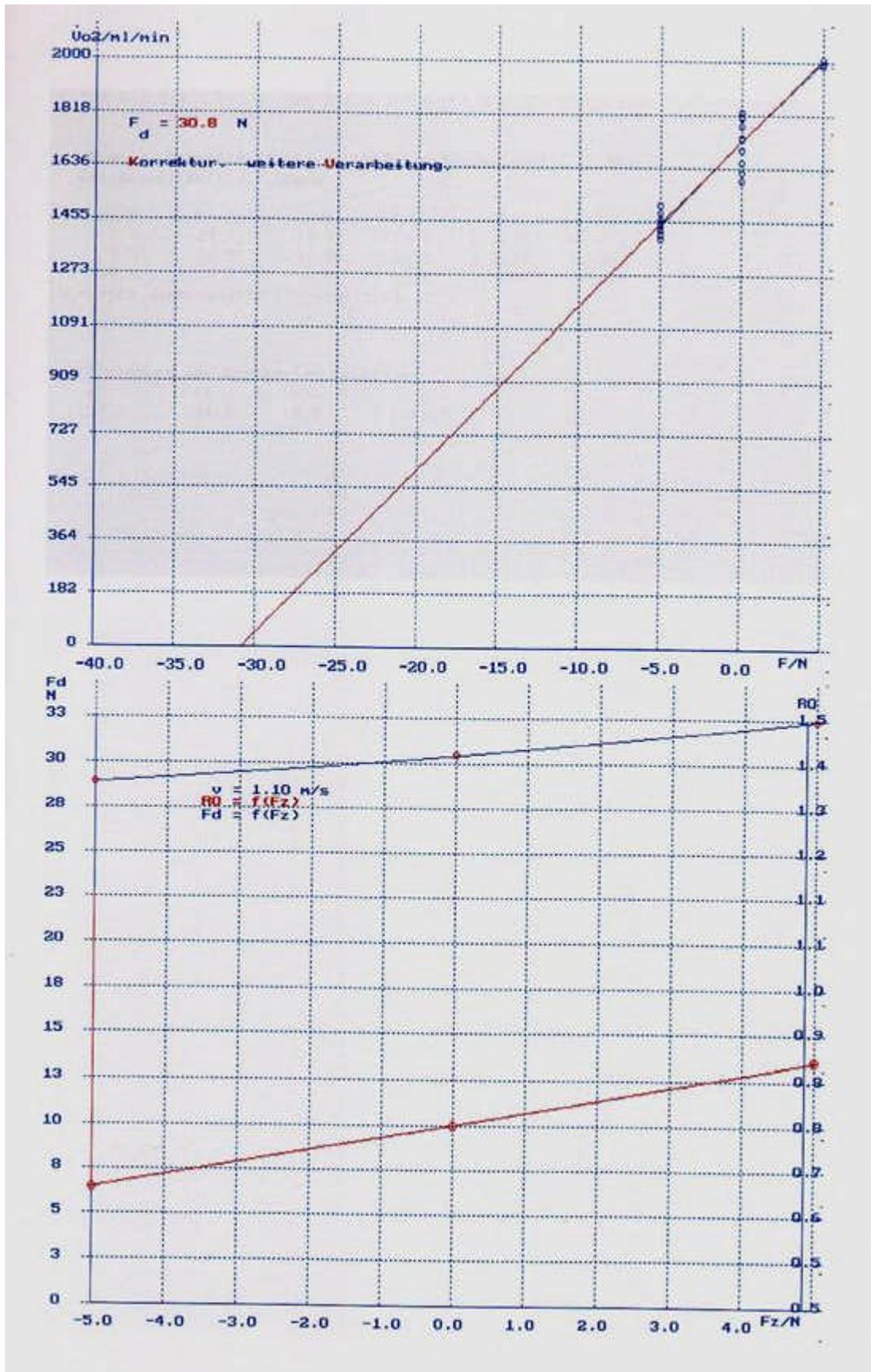


Abb. 39

**ERGEBNISSE der SCHWIMMERGOMETRIE**

---

Name : Kühdeich, Nancy      Testart/Schwimmstil : Kraul  
Geschwindigkeit : 1.10m/s

| Fz/N | Fd+Fz/N | Fd/N | P/W  | n      | RQ     |
|------|---------|------|------|--------|--------|
| -5.0 | 20.8    | 25.8 | 22.9 | 4.4628 | 0.8014 |
| 0.0  | 28.4    | 28.4 | 31.3 | 4.9644 | 0.9358 |
| 5.0  | 37.4    | 32.4 | 41.1 | 5.5931 | 0.9886 |
| 10.0 | 48.1    | 38.1 | 52.9 | 6.4042 | 1.0338 |

Koeffizienten der Regressionsfunktion

| a0     | a1   | a3   | g        |
|--------|------|------|----------|
| 1800.0 | 63.3 | -0.7 | 138005.5 |

Abb. 40

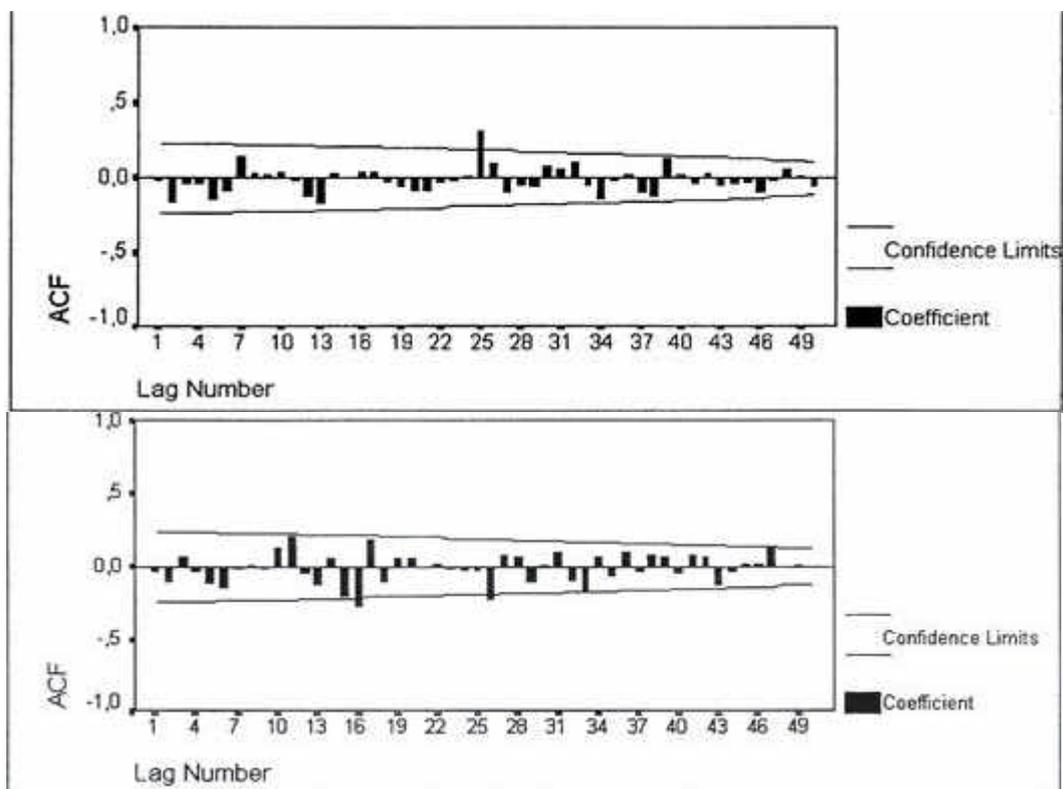


Abb. 41 Autokorrelationsanalyse der durchschnittlichen horizontalen Hüftgeschwindigkeit auf der 3. Belastungsstufe

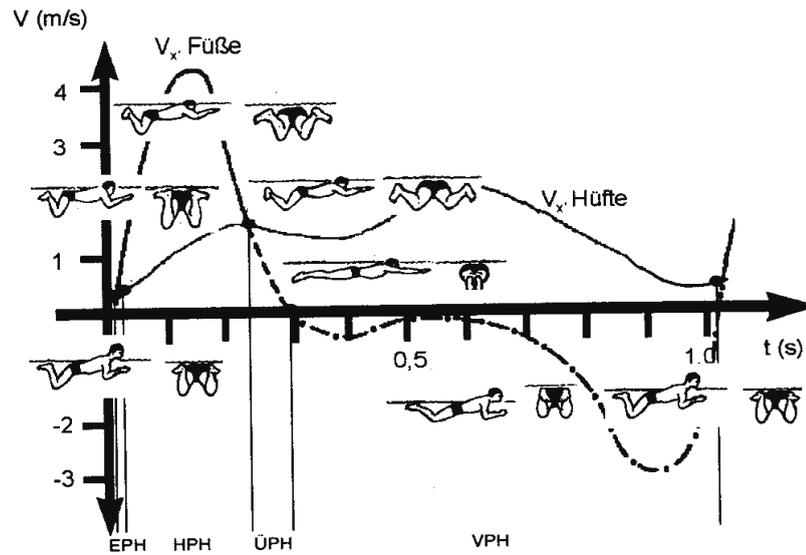


Abb. 42  $v_x$ -t-Diagramm der Füße mit Zuordnung der Phasenzonen Nach BELASER et. Al.(2000)

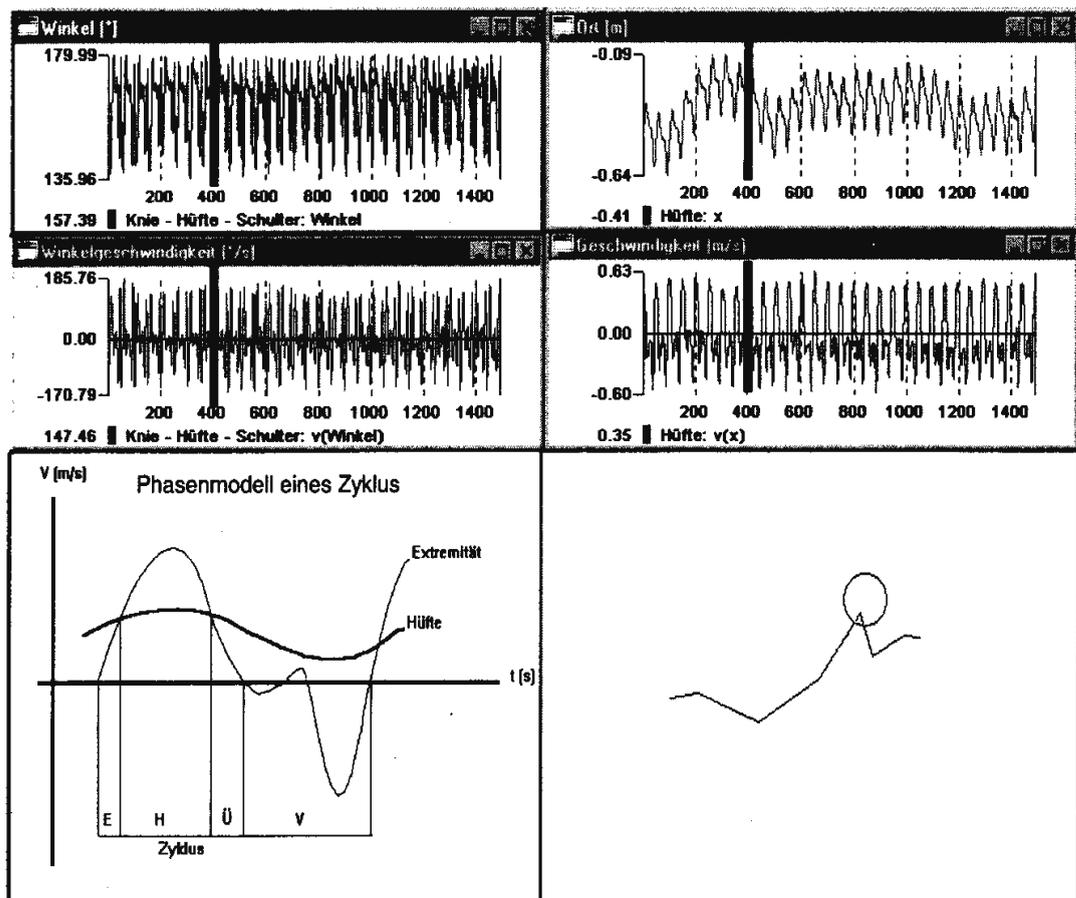


Abb. 43 Phasenmodell des Brustschwimmens mit abgeleiteten mechanischen Parametern Nach BELASER et. Al.(2000)

## 7.2 Methodische Hinweise zu den Tests und Kontrollstandards im Sportschwimmen für Ägyptischen Schwimmverband

Für die Kontrolle des physischen Ausbildungsstandes, aber insbesondere zur Belastungsgestaltung im Training unserer Sportler haben sich in der Trainingspraxis eine Reihe Untersuchungs- und Testverfahren bewährt. Mit dem hier vorliegenden Untersuchungsprogramm soll

- die Einheitlichkeit der Untersuchungen in dem Ägyptischen Schwimmverband gewährleistet werden
- allen Trainern und Übungsleitern eine Anleitung gegeben werden, sich mit Kontrollmethoden vertraut zu machen und sie im Trainingsprozess richtig anzuwenden.

Ergänzung dieses Kontrollstandard durch psychophysiologisch und psychologische Parameter oder Erhebungen, die nicht Gegenstand der Arbeit waren.

### Parameter:

#### 1. Test-Max, GA1, GA2, SA, S

Diese Tests dienen der Überprüfung wesentlicher Leistungsfaktoren im Sportschwimmen. Sie geben dem Trainer Aufschluss über das erreichte Niveau der Formen der Ausdauer (GA1, GA2), der Schnelligkeitsausdauer (SA) und der Grundschnelligkeit. Ergebnisse des Stufentests finden durch diese Überprüfungen ihre bessere Erklärung. Sie sind in der Hauptschwimmart bzw. im Aufbautraining ABT in der Sportschwimmtechnik Kraul zu absolvieren.

Die Teilstreckenlänge wird vom Heimtrainer festgelegt

|     |   |
|-----|---|
| Ma  | 1500/3000m  |
| GA1 | 3 x 1500m<br>3 x 1000m<br>3 x 800 m                             |
| GA2 | 3 x 800 m<br>3 x 400 m  |
| SA  | 100 m ( Für Langstrecker 800/1500 m)<br>50 m                    |
| S   | 25 m (Start auf Kommando vom Startblock, t25 bei Kopfdurchgang) |

## 2. Stufentest 4 x 400 m, 8 x 100 m

Die Testserie dient der Überprüfung der komplexen Leistungsfähigkeit und sollte erst ab ABT und im Hochleistungstraining HLT eingesetzt werden. Die Tests sind in der Hauptschwimmart bzw. im ABT in der Sportschwimmtechnik Kraul zu absolvieren. Die Anzahl der Wiederholungen und die Teilstreckenlänge werden vom Heimtrainer festgelegt.

Die Wahl der TSL ist abhängig von der Länge der Wettkampfstrecke:

KZA = 8 x 100 m

MZA = 8 x 200 m

LZA = 4 x 400 m

Ablauf der Stufentests ist wie folgt:

4 x 400 m

| Stufe | Anzahl der WD. | TSL (m) | Intensität (%) | Pause (min) | Serien-pause (min) | Laktat (mmol/Ltr) | Hf (Schl./min) |
|-------|----------------|---------|----------------|-------------|--------------------|-------------------|----------------|
| 1     | 2              | 400     | 86-90          | 3           | 5                  | 120"/180"         | sofort         |
| 2     | 1              | 400     | 91-94          | -           | 30                 | 180"              | sofort         |
| 3     | 1              | 400     | 100            | -           | -                  | 180"              | sofort         |

(Alle Teilsrecken werden von unten, d.h. mit Abstoß geschwommen)

8 x 200 m

|   |   |     |       |   |                  |                |        |
|---|---|-----|-------|---|------------------|----------------|--------|
| 1 | 3 | 200 | 86-90 | 1 | 3                | innerhalb      | sofort |
| 2 | 2 | 200 | 88-92 | 1 | 3                | d. Serienp.    | sofort |
| 3 | 1 | 200 | 91-94 | 1 | 5                | nach 3 min.    | sofort |
| 4 | 1 | 200 | 94-96 | - | 20 (800 m Komp.) | nach 3 min.    | sofort |
| 5 | 1 | 200 | 100   | - |                  | nach 4, 7u. 10 | sofort |

8 x 100 m

|   |   |     |       |   |                        |                   |        |
|---|---|-----|-------|---|------------------------|-------------------|--------|
| 1 | 3 | 100 | 78-84 | 1 | 3                      | innerhalb         | sofort |
| 2 | 2 | 100 | 83-88 | 1 | 3                      | d.<br>Serienp.    | sofort |
| 3 | 1 | 100 | 87-93 | - | 5                      | nach 3<br>min.    | sofort |
| 4 | 1 | 100 | 92-96 | - | 20<br>(800 m<br>Komp.) | nach 3<br>min.    | sofort |
| 5 | 1 | 100 | 100   |   |                        | nach 4,<br>7u. 10 | sofort |

Die letzte Teilstrecke ist mit Startkommando und Startsprung mit maximaler Geschwindigkeit zu absolvieren.

Eine Pause von 20 bzw. 3 min. vor der letzten Stufe ist zu gewährleisten.

Als Bezugsgröße für geforderte Geschwindigkeit bzw. Intensitäten in den einzelnen

Belastungsstufen gilt die mit 100% angesetzte Bestgeschwindigkeit (Aktuelle Bestzeit) über die Wettkampfstrecke.

### 3. Anthropometrie

Die Bestimmung der Körpermasse (kg) sollte mit einer Vergleichswaage (Laufgewichtswaage, Dezimalwaage) oder einer elektronischen Waage erfolgen.

Aufgrund der hohen Fehlerquote sind Federwaagen nicht geeignet, die Intensität und den Beginn des spezifischen Krafttrainings zu begründen.

Er wird ermittelt:

Körperhöhe (cm) minus 100 minus Körpergewicht (kg)

(Die Zuwachsraten der KH (cm) und der KM (kg) sind grafisch darzustellen)

### 4. Krafttest

Nach zielgerichteter Erwärmung werden auf der Bank liegend simulierte Einzelbewegungen der Sportschwimmarten (annähernd räumlicher Verlauf) ausgeführt.

Für die Schwimmarten Kraul und Rückenraul erfolgt die Messung rechts/links getrennt.

Gemessen werden die vom Sportler an der Biokinetik- Schwimmbank auf unterschiedlichen Grundwiderstandsstufen in der Einzelbewegung und Wiederholung erzielten Arbeitsbeträge

(Leistung in Nm)

MK-0 2 maximale, zügige Einzelzüge auf der Widerstandsstufe 0. Der ermittelte Betrag wird durch 2 dividiert und ergibt den „MK-Wert“

KA-6 Die Summe der Wiederholungen (Nm) von Einzelzügen bei ein Belastungszeit von 1, 2 und 5 bei der Grundwiderstandsstufe 6. Zwischen den unterschiedlichen Belastungszeiten ist eine Pause von 3 einzuhalten.

SK-9 2 maximale schnelle Einzelzüge auf der Widerstandsstufe 9. Der ermittelte Betrag wird durch 2 dividiert und ergibt den „SK-Wert“

SA Es werden 2 maximal zügige Einzelbewegungen auf den Widerstandsstufen 0, 3, 5, 7, und 9 durchgeführt. Nach einer Pause von 10 erfolgt auf den gleichen Stufen die Realisierung von 10 Zyklen. Zwischen den einzelnen Stufen ist eine Pause von 3 einzuhalten.

Der SKA-Wert ergibt sich aus dem Verhältnis des max. Einzelzuges und dem Arbeitswert aus den 10 Wiederholungen.

$$\text{SKA-Wert} = \frac{\text{max, Einzelzug (Nm)}}{10 \text{ Zyklen (Nm)}}$$

z.B.

| Widerstandsstufen | 0    | 3    | 5     | 7    | 9    |
|-------------------|------|------|-------|------|------|
| Einzelzug         | 37   | 30   | 24    | 20   | 17   |
| 10- Zyklen        | 335  | 260  | 230   | 200  | 170  |
| SKA-Wert          | 0,11 | 0,12 | 0,104 | 0,1  | 0,1  |
|                   | 89%  | 88%  | 96%   | 100% | 100% |

Maximalkraft (statisch) Der Sportler liegt bäuchlings auf der Kraftmessbank und die Schultergelenke befinden sich senkrecht über den

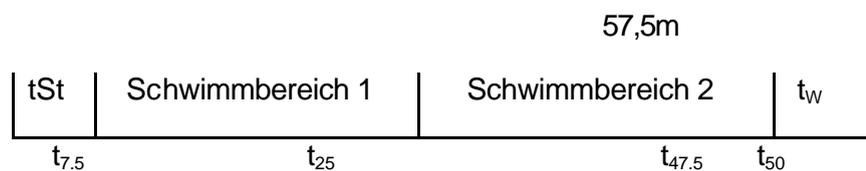
Drehpunkten der Hebelarme. Die Hände werden flach auf die Handbretter gelegt.

Entsprechend der Armlänge wird zwischen Ober- und Untenarm ein Winkel von  $120^\circ$  eingestellt. Der Druck wird dann in entgegengesetzter Richtung vom Messgerät ausgeübt.

Nach drei Wiederholungen wird  $x$  der Maximalwerte gebildet und registriert.

Treibhöhe  $h_T$  (cm) Der Sportler fährt unter Ausnutzung eines Armschwunges einen Vertikalsprung aus, mit dem Ziel, die maximale Sprunghöhe zu erreichen. Von drei durchzuführenden Versuchen wird das beste Ergebnis gewertet (Bandmaß, Sprungkoffer)

### 5. Techniktest 57,5 m



Die Erfassung der Zeiten und Frequenzen innerhalb der festgelegten Schwimmbereiche kann mit Hilfe einer Video-Zeitmessanlage oder durch Handstoppung erfolgen. Mit nachstehendem Schwimmbereich 2 (25 m - 47,5 m) ermittelt werden.

$$s_z = \frac{s \times 60}{f \times t}$$

$s_z$  = Zyklusweg

$s$  = Weg

$f$  = Frequenz

$t$  = Zeit für den Weg

## 6. Trainingsumfang

Die Protokollierung der Trainingskennziffern

- Landtrainingszeit (h)
- Wassertrainingszeit (h)
- Gesamtumfang (km) GA1/GA2
- Anteil am intensiven Bereich (km)

hat in Trainingsabschnitts- und Jahreszusammenfassungen zu erfolgen. Wichtig ist, dass für jeden Trainingsabschnitt die durchschnittlichen Wochenwerte berechnet werden, da besonders sie geeignet sind, über den Belastungsverlauf Auskunft zu geben.

## 7. Ergometrie- Land

### 7.1 Fahrradergometrie

Außer zur ärztlichen Beurteilung der Gesundheits- und Leistungsfähigkeit dient die Fahrradergometrie der Bestimmung der unspezifischen Adaptationen an Ausdauer- und Kraftausdauerbelastungen.

Test 1: *Bestimmung der aeroben Kraftausdauerfähigkeiten*

Stufendauer: 3...4 min.; Belastungssteigerung jeweils 50W

Bestimmung: EKG, Gasstoffwechsel, Blutlaktatkonzentration/  
Laktat-Leistungskurve

Test 2: *Bestimmung der Maximalleistung und der anaeroben Kapazität*

Stufendauer : 1...2 min. ; Belastungssteigerung jeweils 50W

Bestimmung: EKG, Blutlaktatkonzentration/Laktat-Leistungskurve,  
Gasstoffwechsel auf Wunsch möglich.

### 7.2 Armzug-Ergometrie mit der Biokinetik-Bank

Sie dient zur Bestimmung semispezifischer Adaptationen an Kraftausdauerbelastungen und als Vergleichstest zur Schwimmbelastung

Stufendauer: 3 Min., Belastungssteigerung jeweils 25W

Bestimmung: EKG, Gasstoffwechsel, Kontrollaktat auf Wunsch, Wirkungsgrad

## 8. Ergometrie in der Gegenstromanlage

Die Untersuchungen dienen der Bestimmung der sportartspezifischen Kraftausdauerfähigkeiten sowie der Evaluierung von sporttechnischen Trainingsergebnissen durch Erfassung der mechanischen Schwimmleistung bei ausgewählten Schwimgeschwindigkeiten.

|       |              |  |
|-------|--------------|--|
| Test: | Stufendauer: | 3 min., Stufenzahl 4...5, Geschwindigkeit v<br>z.B. $v = 1,1 \text{ m/s}$ konstant |
|       | 1. Stufe     | -10 N (Entlastung)   |
|       | 2. Stufe     | - 5 N (Entlastung)   |
|       | 3. Stufe     | +/- 0 N  |
|       | 4. Stufe     | +5 N (Belastung)   |
|       | 5. Stufe     | +10N (Belastung)   |

Voraussetzung: Die gewählte Schwimgeschwindigkeit kann vom Sportler über 5 x 3 min. geschwommen werden.

Bestimmung: Gasstoffwechsel, mechanische Schwimmleistung in W, Wirkungsgrad Bestimmung des hydrodynamischen Schleppwiderstandes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.

Erfassung der Geschwindigkeitsänderung in allen drei Raumkoordinaten und deren Ableitung zur Bestimmung von:

1. Frequenz
2. Zyklusweg
3. geschätzten Kraftverläufen/Zyklen

## 9. Stufentest in der Gegenstromanlage

Dieser Test dient der Bestimmung der  $v_{La3}/v_{La4}$ -Geschwindigkeit zur Wahl der Strömungsgeschwindigkeit zur Ermittlung der aeroben Kraftausdauer (8.) sowie Bestimmung der sportartspezifischen Maximalleistung.

Test 1: Belastung 5 x 3 min.; 1 min. Pause

|          | z.B. Brust |          | Kraul   |
|----------|------------|----------|---------|
| 1. Stufe | 0,8 m/s    | 1. Stufe | 1,0 m/s |
| 2. Stufe | 0,9 m/s    | 2. Stufe | 1,1 m/s |
| 3. Stufe | 1,0 m/s    | 3. Stufe | 1,2 m/s |
| 4. Stufe | 1,1 m/s    | 4. Stufe | 1,3 m/s |
| 5. Stufe | 1,2 m/s    | 5. Stufe | 1,4 m/s |

Bestimmung: Herzschlagfrequenz, Gasstoffwechsel, Blutlaktatkonzentration/Laktat-Geschwindigkeitsbeziehung

Test 2: Stufendauer: 1...2 min., Steigerung um jeweils 0,1 m/s bis zum Abbruch.

Bestimmung: Herzschlagfrequenz, Blutlaktatkonzentration (max.), Gasstoffwechsel (max.) auf Wunsch.

Abschätzung des Leistungsverlaufes (Kraftverlauf) in Abhängig von der Sauerstoffaufnahme.

Erfassung der Geschwindigkeitsänderung in allen drei Raumkoordinaten und deren Abteilung zur Bestimmung von: 1. Frequenz

2. Zyklusweg

3. geschätzten Kraftverläufen/Zyklen

- **Komplexergebnis der sportmedizinischen Tests**

1. aerobe Kapazität über  $\dot{V}_{O_2}$  max und  $O_2$ -Puls
2. Pufferkapazität über RQ
3. mechanische Leistung zur Überwindung des Schwimmwiderstandes(Technik)
4. Wirkungsgrad Wasser/Land  
Längsschnitt: Ökonomisierung
5. Vergleich der  $\dot{V}_{O_2}$  bei einer Geschwindigkeit zwischen beiden Testformen im Kanal ergibt trainingsmethodische Empfehlung Kraft/Wasser und präzisiert die Aussage über den b-Wert in der Laktat-Leistungskurve aus dem Stufentest im Schwimmbecken.

- **Komplexergebnis der Technikanalyse**

1. Verlauf der intrazyklischen Geschwindigkeitsschwankungen
2. Verlauf der Frequenzen
3. Verlauf der Zykluswege
4. Qualitative Bewegungsanalyse
5. Vergleich zwischen aktiven und passiven Schleppwiderstand

### Testintervalle

| Parameters | Mikrozyklus | Misozyklus | Makrozyklus | Jahre |
|------------|-------------|------------|-------------|-------|
| *L.L.K     |             | •          |             |       |
| 1./2.      |             |            | •           |       |
| 4.         |             |            | •           |       |
| 3.         |             |            |             | •     |
| 5./6.      |             |            | •           |       |
| 7.- 9.     |             |            | •           |       |
| **H.f.     | •           |            |             |       |

\*L.L.K = Laktat-Leistungskurve

\*\*H.f. = Herz Frequenz

## 8.0 Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. Dr. Niklas und Herrn Professor Dr. Krüger für ihr Vertrauen, ihre Unterstützung und ihren Rat bei der Erstellung dieser Arbeit meinen Dank aussprechen.

Besonders möchte ich Herrn Dr. Ackermann, hervorheben, der mein Vorhaben von Beginn mit anregenden Herausforderungen und kritischer Sympathie begleitet und der in vielfacher Weise mein Blick für das Wesentliche geschärft hat.

In diesem Zusammenhang gebührt Herr Hottowitz, Dank, der durch die freundliche technische Unterstützung ermöglicht hat.

Auch Frau Dr. Hillmer-Vogel und Herr Thegeder sind besonders zu erwähnen. Ferner danke ich die Trainern und Schwimmern der Elbaschwimmhalle Magdeburg.

Letztendlich sind Frau Wenisch und Frau Asendorf, Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sportmedizin, hervorzuheben, die immer ein offenes Ohr für aktuelle Probleme hatten.

Schließlich möchte ich meinen speziellen Dank meiner Familie für Geduld, Verständnis und moralische Unterstützung während meiner Studie in Deutschland ausdrücken. Ich danke auch ägyptischer Regierung für die finanzielle Unterstützung

Usama El-Sayed Ashmawi Ali

## **9.0 Erklärung**

Ich versichere, dass ich die eingereichte Dissertation (Die Aussagefähigkeit leistungsdiagnostischer Verfahren für die Trainingsmethodik und die Prognose von Wettkampfergebnissen im Sportschwimmen) selbständig und ohne unerlaubte Hilfsmittel verfasst habe. Anderer als der von mir angegebenen Hilfsmittel und Schriften habe ich mich nicht bedien alle Wörtlich oder sinngemäß den Schriften anstellen habe ich kenntlich gemacht.

Usama El-Sayed Ashmawi Ali

## Lebenslauf

### Persönliche Angaben

Name: Usama El-Sayed Ashmawi Ali  
Geburtsdatum: 16.11.1963  
Nationalität: ägyptisch

### Ausbildung

1981 Abitur, Oberschule, Kairo, Ägypten  
1982-1987 Hauptstudium, Fakultät für Sportwissenschaften der Tanta Universität, Ägypten  
1988-1992 Magisterarbeit in Sportmorphologie, Fakultät für Sportwissenschaften der Suez-Kanal Universität, Port-Said, Ägypten  
1997-2003 Promotion aus der Abteilung Sportmedizin, Institut für Sportwissenschaften der Universität Göttingen, Deutschland.

### Berufspraxis

1989-1992 Assistent am Fakultät für Sportwissenschaften der Suez-Kanal Universität, Port-Said, Ägypten.  
1992-1997 Oberassistent am Fakultät für Sportwissenschaften der Suez-Kanal Universität, Port-Said, Ägypten.

## Summary

### **The effectiveness of performance diagnostic methods for the training methodical and the prognosis of competition results in Swimming sports**

- A summarize study from training-methodical view.

The purpose of the sports medical performance diagnostics consists primarily in including the directions and the dynamics of the inner use in narrow interaction to sports methodically predefined loads in checking the agreement between the training methodical aim position and their current result as well as the biological realization qualitatively and quantitatively.

Practice-effective influences are expected from the performance diagnostics to:

1. Effect and direction of the completed training.
2. Quality and structure of the current sport performance.
3. Prognosis of the possible competition performance.
4. Conclusions for the further training particularly with regard to strength, intensity and motor main require forms.

The motor main require forms (endurance, speed and strength qualities) and technique/coordination are to be measured as declinational entities in this case.

With the union of two swimming associations of east and the west one took the steps test in the lactate performance's relation to *PANSOLD (1985)*.

This test takes more specifically the peculiarities of the respective swimming discipline and the current performances level of the athlete into account, puts very high requests for the respective load dosage, however, in order to test the pre-determined physiological areas.

For the performance-diagnostic evaluation complexes of aerobe and anaerobic efficiency he led substantially to a scientific reason of the training and to the list of also biologically justified training method catalogs.

The low observation found the increase behavior of the Lactate performance curve (LLK).

After *PANSOLD (1985)*, the course characteristics becomes the b-value (LLK) through the level of the strength abilities of the athlete and (through) sport-

specific as well as individually conditional influence variables of the movement structure as well as technique influences.

A performance based load test (spiroergometry) is more fundamentally component of the sports medical diagnostics.

The diagnostic method of the ergometry found entrance into the practical cardiology for a long time and was also standardized largely in the last years.

Prerequisite for an exact valuation of the registered physiological response reactions is the exact example or determination of the respective ergometry performance in watt.

The development of suitable methods to the performance based load test still is in the case of swimming in the water in the flow.

The main problem consists in a possibility being missing till now to include the mechanical overall efficiency (ergometry performance) or their essential components for sports medicine practicably and adequately precisely.

The swim performance is had an influence on by the performance factors "condition" as well as "technique/coordination" substantially.

As parameters of the "condition" the relation serves between the practical and the theoretical performance, which can be determined on the basis the swim ergometry in the swimming flume.

As parameter of the Technique / coordination a dimension measure is used, which quantifies the intra-cyclic speed fluctuations of swimmers.

Both parameters complement themselves transparent, there them in reference one on the other the necessary reference values.

With the help of the introduced method it is possible to check started means and methods of the training control within the periodical for their efficiency

The swimming performance is determined by performance factors, that are connected among each other and can be described their integral interactions with help of the theories of the self organization.

From the view of a training-scientific requirement have regarding the sports swimming the conditional and technical-coordinative factor determining influence on the swimming performance.

Parameters of both factors can be consulted as system representatives.

The work in hand deals mainly with the regulation of the function condition in the area of the main performance components of sports swimmers on the basis of mechanical swimming performances and biomechanical kinematics parameters in the individual markedness of the sporting technique of the competitive athlete from the training methodical view.

Object of the work is the ability of performance diagnostic methods and its practical application of the training methodology and the safeguarding of forecasts of competition results in the swimming.

For the study, 10 athletes placed to the disposal in the age of 14 to 20 years from the federal base of the city Magdeburg.

This was 5 female and 5 male ones athletes who belonged to the German swimming association.

Before beginning, after the third minute of each load step as well as one and three minutes after load end were taken blood samples from the earlobe.

The performance diagnostics requires reaction-poor gas metabolic measuring systems in order to influence both the breath work and the breath form in relation to the free respiration as few ones as possible.

For swimming were tested respiratory valve systems.

Under the conditions of swimming it is necessary to find an optimum between the breath resistance, the water resistance and the dead room of the valves.

The determination of the mechanical swimming-performance offers the possibility to gain value-full statements about the evolution and/or stabilization of the athletic technique depending on the training cycle.

Conditional and coordinative aspects of a sporting movement stand in a change relationship that for the b Value of the Lactate performance curve summative can be represented.

The examinations of swimming were tested in the swimming flume Magdeburg at a water temperature of 28° and a relative atmospheric humidity of the room of 60-65 %.

As parameter of the performance factor "technique / coordination" was used the horizontal hip speed.

For the analysis the movements registered by means of video technique into swimming was used movement analysis system "Motodiag."

*(BLASER, STUCKE & WITTE 1996)*

The kinematics analysis of the movements was based on a 2-dimensional video recording.

Registered ratings:

- $\dot{V}O_2$  uptake and  $CO_2$  release (basis for result of the strength)
- Lactate
- Heart rate frequency
- Kinematics analysis

### **Conclusions**

Under consideration of the hypothesis and the empirical results, following consequences:

- Use of the Swim spiroergometry in the flow flume allows an Effectiveion of meso and macro cycles regarding the main emphases as regards content (strength, technique, endurance, coordination), and a simultaneous Quantification of the training results together with the parameters of the Lactate performance curve. The method forms an interface between biomechanics, performance medicine and training methodology.
- The relationship between power output and movement coordination can be only insufficiently analyzed with kinematics analysis of several movement cycles.
- The adaptation at changed external conditions-for example the addition load of 5 N or the increase of the incident-flow velocity is movement-economically realizable only over a certain measure of variability in the movement coordination.
- Under integration of the results of measurement of the swimming-ergometry it is assumed that swimmers, whose increase of the power output is during addition load under the theoretical value, adjust this increased load by means of a variable coordination. These swimmers compensate the additional load about the coordination in the zone of the "Optimal variability".
- This zone is examination methodically only remittable if single significant Values of a movement cycle are analyzed but the system as a whole is based on in its temporal process. Dimension measures can describe this zone.
- From the view of the self organization, it seems to therefore give an Attractor, which is marked by a dimension measurement, that as well as one to big

movement variability restricts as also a relatively stable ineffective movement execution. This Attractor is understood as a model construct with which an "optimal variability" can be described to the movement coordination as totality.

- The mechanical swimming performance ( $P_{\text{mech}}$ ) and the power of resistance ( $F_R$ ) are no norm Values measured directly but training methodical auxiliary quantities with which the stand at the development of the movement performance can be characterized.
- For a training control in the context of the periodical of the sporting training of swimmers another possibility of the performance diagnostics arises by use of the introduced analysis system. The advantage is in the integrated development of the training condition at priority consideration of the power factors "condition" and "technique/coordination" in their mutual entwinement. The coach has the possibility to check his put means and methods for practice relevance in the context of the periodical of the sporting training through it.
- It gets clear, that the apparently same performance prerequisites are of use for athletes with roughly the same efficiency and equal anaerobic energy provision in different way for the realization of the test or competition performances.

The necessity of an individual training design is deduced since obviously no restricted way specific distinction has developed in the ability complexes as you could suspect due to short load time.

Rather, a sufficiently big room still becomes recognizable within the routes for the realization of different training conceptions on the basis of individual prerequisites.

- It cannot be excluded; that the sport-methodically conceptually usable area is constricted with increasing increase of the discipline-specific world level, there decided biological prerequisites and mechanisms cannot be compensated for fully.