

**Dimensionen und Determinanten
der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten**
Eine theoretisch-methodische Konzeptualisierung des Konstruktes

Inauguraldissertation
der Philosophisch-humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern
zur Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von
Marion Blank
Bundesrepublik Deutschland

Selbstverlag, Stuttgart 2006

Das Dissertationsprojekt wurde von den sportwissenschaftlichen Instituten der Universitäten Tübingen (10/2001 – 9/2003) und Kiel (10/2003 – 9/2005) unterstützt. Des Weiteren erfolgte eine finanzielle Förderung durch das Land Baden-Württemberg im Rahmen des Landesgraduiertenförderungsgesetzes (10/2001 – 9/2003).

Von der Philosophisch-humanwissenschaftlichen Fakultät auf Antrag von Prof. Dr. Achim Conzelmann (Hauptgutachter, Universität Bern) und Prof. Dr. Dr. h.c. em. Klaus Willimczik (Zweitgutachter, Universität Bielefeld) angenommen.

Bern, den 7.4.2006

Der Dekan: Prof. Dr. Norbert Semmer

INHALTSVERZEICHNIS

1	Trainierbarkeit – ein weiterer Blick auf ein altes Thema.....	1
1.1	Begründung der Arbeit	1
1.1.1	Sportpraktische Relevanz	1
1.1.2	Ein erster Blick auf den Forschungsstand	2
1.1.3	Theoretische und methodische Perspektiven	4
1.2	Erkenntnisinteresse.....	6
1.3	Eingrenzung des Gegenstandsbereichs.....	7
1.4	Ansatz und Aufbau der Arbeit	8
2	Der Gegenstand Trainierbarkeit in der sportwissenschaftlichen Auseinandersetzung	10
2.1	Begriffsverständnis.....	10
2.1.1	Lexika, Hand- und Lehrbücher	10
2.1.2	Empirische Studien	11
2.2	Facetten der Trainierbarkeitsforschung	13
2.2.1	Einfluss personinterner und -externer Faktoren.....	14
2.2.2	Einfluss der Trainingsparameter auf den Trainingseffekt.....	15
2.2.3	Varianten der Operationalisierung konditioneller Fähigkeiten.....	16
2.3	Ausgewählte Ergebnisse der Trainierbarkeitsforschung	17
2.3.1	Quantifizierung der Trainierbarkeit	17
2.3.2	Altersabhängigkeit der Trainierbarkeit.....	18
2.3.3	Zusammenhänge von Trainingsparametern und Trainingseffekt.....	19
2.4	Die Trainierbarkeitsthematik in der befundintegrierenden Literatur	21
2.5	Fazit: Forderungen an die Trainierbarkeitsforschung	25
3	Theoretische Überlegungen: Modellierung von Dimensionen und Determinanten der Trainierbarkeit.....	28
3.1	Disziplinäre und theoretische Perspektiven auf den Gegenstand	28
3.2	Verortung der Thematik.....	32
3.2.1	Trainierbarkeit vor dem Hintergrund entwicklungstheoretischer Ansätze...32	
3.2.2	Trainierbarkeit als eine Frage der biologischen Adaptation	39
3.2.3	Präzisierung des Trainierbarkeitsbegriffs	48
3.3	Dimensionalität der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten	49
3.3.1	Komponenten des Plastizitätsbegriffs	49
3.3.2	Präzisierung des Dimensionsbegriffs	50
3.3.3	Theoretische Dimensionierung der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten	54
3.4	Determinanten der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten	59
3.4.1	Konzepte der Plastizität	60
3.4.2	Theoretische Analyse der Determinanten	64

4	Überlegungen zur Operationalisierung des Konstruktes Trainierbarkeit .	78
4.1	Die Operationalisierung von Konstrukten	78
4.2	Untersuchungsdesigns zur Erfassung der Plastizität	79
4.2.1	Einfache Leistungsdiagnostik	79
4.2.2	Querschnittuntersuchung	80
4.2.3	Veränderungsdiagnostik	81
4.2.4	Molekulargenetische Diagnostik.....	84
4.3	Die Operationalisierung der Trainierbarkeitsdimensionen.....	84
4.4	Validitätsoptimierung der Trainierbarkeitsmessung.....	86
4.4.1	Leistungsdiagnose	86
4.4.2	Veränderungsdiagnose	87
4.4.3	Schaffung gleicher Ausgangsbedingungen	88
4.4.4	Störgrößenkontrolle im Rahmen der Intervention.....	88
4.4.5	Untersuchungsdesigns zur Erfassung von Entwicklungsfragestellungen...89	
4.4.6	Auswertung von Gruppenmittelwerten.....	90
4.4.7	Trainierbarkeit im Inter-Studien-Vergleich	90
5	Möglichkeiten und Grenzen einer Befundintegration zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme	91
5.1	Der Parameter „maximale Sauerstoffaufnahme“ (VO_{2max}).....	91
5.1.1	Grundlagen	91
5.1.2	Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme	98
5.2	Die Befundintegration.....	106
5.2.1	Gründe für ein befundintegratives Vorgehen.....	106
5.2.2	Formen und Funktionen der Befundintegration	107
5.3	Dimensionsanalyse im Rahmen einer Befundintegration.....	114
5.4	Präzisierung der Fragestellungen.....	116
6	Methodisches Vorgehen: die Befundintegration.....	119
6.1	Vorentscheidungen	119
6.2	Such- und Selektionskriterien	120
6.3	Moderatorvariablen	122
6.4	Vorstellung der verwendeten Verfahren	124
6.4.1	Metaanalyse zur Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit im Erwachsenenalter	124
6.4.2	Kombinierter Ansatz zur Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit im Kindesalter	134
6.4.3	Kombinierter Ansatz zur Reservekapazität.....	135
6.4.4	Qualitativ orientierte Analyse von Langzeitstudien	137
7	Ergebnisse und Diskussion	139
7.1	Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit	139
7.1.1	Ergebnisse der Metaanalyse zum Erwachsenenalter	139
7.1.2	Ergebnisse des kombinierten Ansatzes zum Kindes- und Jugendalter....	152
7.1.3	Diskussion	162
7.2	Reservekapazität.....	166
7.2.1	Ergebnisse.....	166
7.2.2	Diskussion	174

7.3	Langzeitstudien	178
7.3.1	Ergebnisse und Diskussion zum Erwachsenenalter	178
7.3.2	Ergebnisse und Diskussion zum Kindes- und Jugendalter	187
7.4	Fazit zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme	192
7.4.1	Dimensionalität des Konstruktes	192
7.4.2	Determinanten der Trainierbarkeit.....	193
7.4.3	Einflussfaktoren auf den Trainingseffekt.....	195
7.5	Diskussion der Methodik	196
7.5.1	Möglichkeiten und Probleme der Befundintegration	196
7.5.2	Eignung der Befundintegration für die Zielsetzung „Forschungsüberblick“	200
7.5.3	Eignung der Befundintegration für die Zielsetzung „Theorieentwicklung“	201
8	Trainierbarkeit – ist der Blick nun weiter?	202
9	Literatur	206
10	Anhang.....	228
10.1	Verzeichnis verwendeter Abkürzungen	228
10.2	Erläuterung und Formalisierung der verwendeten Variablen	229

1 Trainierbarkeit – ein weiterer Blick auf ein altes Thema

Die wahrscheinlich meist untersuchte und am besten gesicherte Annahme in der Sportwissenschaft lautet, dass durch bestimmte Formen sportlicher Aktivität die körperlich-motorische Leistungsfähigkeit des Menschen gesteigert werden kann (vgl. im Überblick z.B. Bouchard et al., 1994). Dabei handelt es sich letztlich um die Übertragung und Anwendung der bereits 1895 von Roux erarbeiteten Annahmen zur funktionellen Anpassung von Organ(system)en an den Gebrauch. Die Formulierung des Prinzips der Homöostase (Cannon, 1932) wurde schließlich zum Ausgangspunkt systematisch durchgeführter sportlicher Aktivitäten zum Zweck der Leistungssteigerung. Die grundlegenden Erkenntnisse in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts lösten eine bis heute nicht enden wollende Flut an wissenschaftlichen Untersuchungen aus, die sich mit Training und Trainingseffekten unter den unterschiedlichsten Bedingungen auseinandersetzen. In diesem Zusammenhang kommt dem Begriff der *Trainierbarkeit* eine zentrale Bedeutung zu. Dieser Begriff und der damit verbundene Problemkreis sollen Gegenstand der vorliegenden Arbeit sein. Warum aber eine weitere Studie zu einer Thematik, die bereits so vielfach erforscht worden ist und deren Bearbeitung keinerlei Neuigkeitswert zu versprechen scheint?

1.1 Begründung der Arbeit

1.1.1 Sportpraktische Relevanz

Lange Zeit war die Auseinandersetzung mit der Frage, wie man durch Training die Leistungsfähigkeit steigern kann, ausschließlich dem Wettkampfsport vorbehalten und betraf damit in erster Linie Männer im frühen Erwachsenenalter. Dabei wird bei der Extremvariante des Hochleistungssports sogar der Versuch unternommen, Trainingsaktivitäten so zu optimieren, dass das körperlich-motorische Leistungspotential des Menschen bis an die Grenzen ausgeschöpft wird. Zwischenzeitlich hat sich nicht nur die Zielgruppe des Wettkampfsports erweitert, so dass auch Frauen und andere Altersgruppen in dieser Hinsicht aktiv sind, sondern Sport und Bewegung nehmen für viele Menschen eine wichtige Funktion im Alltagsleben ein (vgl. im Überblick Stephens & Caspersen, 1994): Statistiken machen deutlich, dass der Anteil der sporttreibenden Bevölkerung in den westlichen Industrienationen eine deutliche Zunahme erfahren hat, wobei die Veränderungen insbesondere den Übergang von inaktiven zu moderat aktiven Bevölkerungsgruppen betreffen. Dabei übertrifft die Anzahl sport-

treibender Männer die der Frauen nur noch geringfügig. Was das Alter anbelangt fällt auf, dass insbesondere bei den Älteren der Anteil der sportlich Aktiven zugenommen hat. In Deutschland geben über 70% der Kinder und Jugendlichen (Brinkhoff, 1998) und 55% der Über-18-Jährigen (Nagel, 2003) an, mindestens einmal pro Woche Sport zu treiben. Immerhin 30% der Ruheständler verwenden einen Teil ihrer Freizeit darauf, sich fit zu halten bzw. Sport zu treiben, und 17% haben den Wunsch, dieses häufiger zu tun (Opaschowski, 1998, S. 127). Neben der sozialen Funktion, die das Sportengagement dabei übernimmt, ist es vermutlich durch den zunehmenden Bewegungsmangel im Arbeitsalltag bedingt, dass die Steigerung der organismischen Funktionsfähigkeit zu einer wichtigen Zielsetzung sportlicher Aktivität geworden ist. Dies zeigt sich zum Beispiel darin, dass *Fitness* über alle Altersgruppen hinweg als zentrales Motiv sportlicher Betätigung genannt wird; daneben gewinnt mit zunehmendem Alter das *Gesundheitsmotiv* an Bedeutung (Gabler, 2002, S. 24).

Wettkampf-, fitness- und gesundheitsorientierte Sportaktivitäten haben gemeinsam, dass sie auf der Idee der Trainierbarkeit körperlicher Funktionen aufbauen, was die Bedeutung des Gegenstandes Trainierbarkeit für die Sportpraxis und damit die Sportwissenschaft unterstreicht. Doch inwiefern sind Menschen unterschiedlichen Alters, Geschlechts, Fitness- und Gesundheitszustands überhaupt trainierbar und wie unterscheiden sie sich bezüglich der Trainierbarkeit? Welche Anpassungen sind unter welchen Bedingungen möglich und wo liegen die Grenzen der Trainierbarkeit? Wie lohnenswert ist es also für die verschiedenen Personengruppen, sich entsprechenden Trainingsbelastungen auszusetzen?

1.1.2 Ein erster Blick auf den Forschungsstand

Die Sportwissenschaft hat unzählige Studien hervorgebracht, die der Trainierbarkeitsthematik zugeordnet werden können. Der Forschungsstand lässt sich exemplarisch durch die Gegenüberstellung der Abbildungen 1 und 2 bzw. der ihnen zugrunde liegenden Studien verdeutlichen.

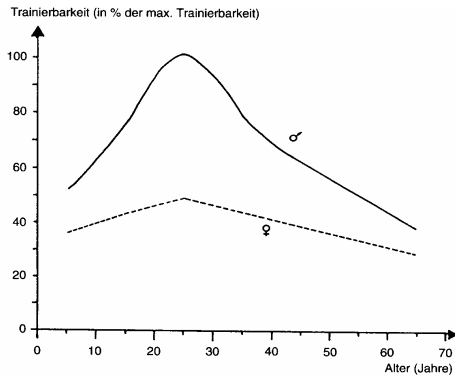


Abb. 1 Abbildung zur „Trainierbarkeit menschlicher Muskeln“ in Anlehnung an Hettinger (Original, vgl. Hettinger, 1958, S. 375)

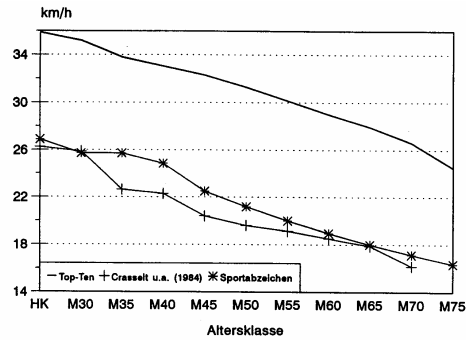


Abb. 2 Abbildung zur Trainierbarkeit im 100m-Sprint nach Conzelmann (1997, S. 255)

In der sportwissenschaftlichen Literatur wird der Erkenntnisstand zur alters- und geschlechtsabhängigen Trainierbarkeit häufig in Anlehnung an Hettinger 1958 dargestellt (z.B. Dickhuth, 2000, S. 311; Weineck, 2000, S. 248; vgl. Abb. 1). Demnach ist die Trainierbarkeit in hohem Maße vom Alter und Geschlecht des Trainierenden beeinflusst: Männer sind während der gesamten Lebensspanne besser trainierbar als Frauen. Der Zeitpunkt der höchsten Trainierbarkeit befindet sich im dritten Lebensjahrzehnt. Danach fällt sie bei Männern – die zu diesem Zeitpunkt etwa doppelt so gut trainierbar sind wie Frauen – rasch ab. Bei Frauen zeigen sich keine signifikanten Veränderungen im Altersverlauf, so dass im höheren Alter eine Annäherung der Trainierbarkeit der Geschlechter zu verzeichnen ist (Hettinger, 1958).

Im Widerspruch zu diesen Erkenntnissen steht eine 40 Jahre später erschienene Studie von Conzelmann (1997), der zu dem Schluss kommt, dass „von einer Altersunabhängigkeit der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten im Erwachsenenalter ausgegangen“ werden kann (S. 260; vgl. Abb. 2).

Die genauere Betrachtung der Studien von Hettinger (1958) und Conzelmann (1997) zeigt Folgendes: Hettinger (1958, S. 371) versteht unter Trainierbarkeit die „Geschwindigkeit der Kraftzunahme“ und nimmt als objektives Maß die „durchschnittliche wöchentliche Kraftzunahme während der Versuchszeit in Prozent der Ausgangskraft“. Er führt ein mehrwöchiges Trainingsexperiment durch und leitet aus den Ergebnissen seine Aussagen zur Trainierbarkeit ab. Conzelmann (1997, S. 250) hingegen bezeichnet die „Differenz zwischen dem Ausprägungsgrad einer konditionellen Fähigkeit eines Individuums im untrainierten und im trainierten Zustand“ als Trainierbarkeit und vergleicht die Wettkampfleistungen von deutschen Topleichtathleten der Altersklassen M20 bis M75 mit der Sportabzeichennorm.

Auch ohne die Kenntnis weiterer Details wird deutlich, dass die beiden Autoren dem Trainierbarkeitsbegriff ein unterschiedliches Verständnis zugrunde legen. Resultat sind voneinander abweichende operationale Definitionen und Studiendesigns. Wie noch zu zeigen sein wird (vgl. Kapitel 2), wird in vielen Studien keine (explizite) operationale Definition des Trainierbarkeitsbegriffs vorgenommen, so dass sich das Begriffsverständnis lediglich aus der Versuchsanordnung erschließen lässt. Die Vielfalt methodischer Vorgehensweisen wiederum zeichnet ein sehr diffuses Bild vom wissenschaftlichen Verständnis des Trainierbarkeitsbegriffes und es kann vermutet werden, dass dies eine Ursache für die Inkonsistenz der Ergebnislage ist:

„Das Nebeneinander verschiedener, einander widersprechender Operationalisierungen ist immer ein sicherer Hinweis darauf, daß sich die Operationalisierungen auf verschiedene Begriffe beziehen und daß damit eine präzisere Bedeutungsanalyse erforderlich ist“ (Bortz & Döring, 2002, S. 68).

1.1.3 Theoretische und methodische Perspektiven

Die Trainierbarkeitsthematik wurde bislang in erster Linie aus trainings-, bewegungswissenschaftlicher oder sportmedizinischer Perspektive betrachtet (vgl. 3.1), wobei Erkenntnisse zu allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der Anpassung gewonnen werden konnten (z.B. Frey & Hildenbrandt, 2002; Hollmann & Hettinger, 2000; Martin et al., 2001). Neuartige theoretische und methodische Ansätze, die in den letzten Jahren in der Sportwissenschaft bzw. ihr benachbarten Disziplinen entwickelt wurden, machen eine Ausweitung der Diskussion um die Trainierbarkeit erforderlich.

Die Lebensspannenperspektive und das Konzept der Plastizität

Ein aktueller Ansatz der Sportpsychologie ist das Forschungsprogramm „Motorische Entwicklung in der Lebensspanne“. Dieses wurde von Willimczik und Conzelmann (1999) in Anlehnung an Baltes „Entwicklungspsychologie der Lebensspanne“ (1987, 1990) erarbeitet. Die Lebensspannenpsychologie eröffnet theoretische Perspektiven für die Bearbeitung von Entwicklungsthemen. Eine Kernannahme, welche entsprechend eine Leitorientierung des sportwissenschaftlichen Forschungsprogramms darstellt, behandelt das Phänomen der Plastizität menschlicher Entwicklungsverläufe. Plastizität „bezieht sich dabei auf die intraindividuelle Variabilität und bezeichnet das Potential, das Individuen zu verschiedenen Verhaltensformen und Entwicklungsverläufen befähigt“ (Baltes, 1990, S. 11). Dabei steht die Frage nach Möglichkeiten und Grenzen der Plastizität im Vordergrund steht: „The key developmental agenda is the

search for the range of plasticity and its constraints“ (Baltes, 1987, S. 613). Die Ausarbeitung eines tragfähigen Plastizitätskonzeptes ist ein zentrales Forschungsinteresse der Entwicklungspsychologie, der die sportwissenschaftlichen Forschungsaktivitäten zur motorischen Entwicklung in theoretischer und methodischer Hinsicht zuzuordnen sind. Die Trainierbarkeitsthematik kann in diesem Sinne als eine Spezifikation der Plastizitätsproblematik betrachtet werden, bei der die Entwicklungsmöglichkeiten und -grenzen der sportlichen Leistungsfähigkeit zum Gegenstand werden (Conzelmann, 1999). Trainierbarkeit ist dann als ein Konstrukt zu begreifen, das einer theoretisch-methodischen Präzisierung bedarf.

Die genetische Perspektive und die Frage nach der Dimensionalität des Konstruktes Trainierbarkeit

Eine alte Frage gilt der Erbllichkeit sportmotorischer Fähigkeiten. Bis ins 20. Jahrhundert hinein galt die Auffassung, dass die sportliche Leistungsfähigkeit weitgehend vererbt wird (vgl. im Überblick Frey & Hildenbrandt, 2002, Kapitel I). Die *wissenschaftliche Auseinandersetzung* mit der Frage nach der Genetik sportlicher Leistungen setzte jedoch erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein (z.B. Fugl-Meyer et al., 1982; Klissouras, 1971). Eine groß angelegte Studie, die HERITAGE FAMILY STUDY (im Überblick Bouchard et al., 1995), untersucht unter anderem die *Genetik der Trainierbarkeit*. Eine zentrale Erkenntnis besteht darin, dass es unterschiedliche Anpassungstypen gibt, die sich durch verschiedene Anpassungsverläufe auszeichnen. Diese Anpassungsverläufe, zu deren Beschreibung mehrere Kenngrößen notwendig sind, können als Hinweis gewertet werden, dass bei der Frage nach der Trainierbarkeit mehrere Dimensionen berücksichtigt werden müssen (vgl. 3.3.3).

Die methodische Perspektive: Dynamische Testdiagnostik

Mit welchem Design lässt sich die Trainierbarkeit eines Menschen erfassen? Die Schwierigkeit besteht darin, ein (Anpassungs-)Potential zu messen, für dessen Entfaltung ein langfristiger Prozess vorausgesetzt werden muss. Zudem wird diese Entfaltung von vielen Faktoren modifiziert, deren Zusammenwirken nur ungenügend bekannt ist (vgl. 2.2.1). Daher werden geeignete Untersuchungsdesigns zur Erforschung dieses Potentials benötigt. In der sportwissenschaftlichen Trainierbarkeitsforschung findet zwar eine große Vielfalt an Untersuchungsansätzen Anwendung (vgl.

Kapitel 2), eine methodentheoretische Betrachtung und Systematisierung dieser Ansätze hat bislang jedoch nicht stattgefunden. Eine fundiertere Auseinandersetzung mit der messmethodischen Erfassung der intraindividuellen Variabilität von Persönlichkeitsmerkmalen (wozu die Trainierbarkeitsfrage zu zählen ist) findet hingegen in der Psychologie im Zusammenhang mit der Intelligenzdiagnostik statt. Unter dem Überbegriff des Dynamischen Testens werden theoretisch-methodische Überlegungen zu veränderungsdiagnostischen Verfahren subsumiert (vgl. Guthke & Wiedl, 1996; Sternberg & Grigorenko, 2002). Die Übernahme dieser Überlegungen wurde bereits mehrfach für die empirische Auseinandersetzung mit motorischen Anpassungs- und Lernprozessen vorgeschlagen (vgl. Conzelmann, 1999; Schack & Guthke, 2001), bislang jedoch kaum umgesetzt.

1.2 Erkenntnisinteresse

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass ein *weiterer* Blick auf die Thematik im doppelten Wortsinne notwendig ist: Nicht nur ein *zusätzlicher* Blick, sondern vor allem die Einnahme einer *erweiterten* Perspektive kann zu neuen Erkenntnissen führen. Dazu wird eine Befundintegration vorliegender Arbeiten angestrebt, der eine *theoretisch-methodische (Neu-)Konzeptualisierung* des Gegenstandes Trainierbarkeit vorausgehen soll: Zunächst ist eine umfassende begriffliche Klärung vorzunehmen, um anschließend Möglichkeiten der Operationalisierung zu diskutieren und weitere methodische Konsequenzen abzuleiten.

„Die meisten allgemeinen Konzepte sind viel zu unklar, als dass direkt Messanweisungen gegeben werden können. Aus diesem Grund beginnt die Operationalisierung eines theoretischen Begriffs meist mit der Klärung, welche theoretischen Aspekte eines bestimmten Gegenstandsbereichs („Dimensionen“) durch den theoretischen Begriff bezeichnet werden, bzw. welche Dimensionen das Konzept anspricht“ (Schnell et al., 1999, S. 122).

Auf dieser Grundlage sollen die Ergebnisse vorliegender Studien einer erneuten Interpretation unterzogen werden sowie Mängel innerhalb und Unstimmigkeiten zwischen den vorliegenden Studien ausgeräumt werden. Ziel ist es schließlich, eine *Quantifizierung* der geschlechts- und altersabhängigen Trainierbarkeit zu ermöglichen.

Vorläufig gelten folgende Fragestellungen:

- Wie viele Dimensionen besitzt das Konstrukt Trainierbarkeit und wie sind diese zu operationalisieren?
- Welche Faktoren determinieren die Trainierbarkeit? Welchen Einfluss haben insbesondere Geschlecht und Alter?

1.3 Eingrenzung des Gegenstandsbereichs

Die Auseinandersetzung mit der sportlichen Trainierbarkeit kann auf unterschiedlichen Ebenen geführt werden: Neben elementaren oder komplexen sportmotorischen Fertigkeiten können abstrakte koordinative und konditionelle Fähigkeiten oder auch konkrete sportphysiologische Parameter bezüglich ihres Anpassungspotentials untersucht werden (vgl. z.B. Roth & Willimczik, 1999). Ziel der sportwissenschaftlichen Trainierbarkeitsforschung sollte dabei sein, den Gegenstand Trainierbarkeit auf einem möglichst hohen Abstraktionsniveau zu erfassen, um einen hohen Verallgemeinerungsgrad zu gewährleisten; gleichzeitig dürfen für eine präzise und differenzierte Bearbeitung des Gegenstandes nicht (zu) heterogene Anpassungsphänomene zusammengefasst werden. Aus dem ersten Grund sollen die Betrachtungen der vorliegenden Arbeit auf der Fähigkeitsebene angesiedelt werden. Einschränkend soll jedoch lediglich die *Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten* in den Blickpunkt gerückt werden. Dies lässt sich folgendermaßen begründen: Gemäß der zwischenzeitlich weithin anerkannten Einteilung und Erläuterung sportmotorischer Fähigkeiten nach Bös (2001) sind unter konditionellen Fähigkeiten energetisch determinierte Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit (in erster Linie Ausdauer- und Kraftfähigkeiten) zu verstehen, während koordinative Fähigkeiten informationsorientierte Fähigkeitsausprägungen, die auf der neurophysiologischen Ebene anzusiedeln sind, umfassen (vgl. auch Bös & Mechling, 1983). Das Verständnis der *Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten* ist eng verknüpft mit der Frage der biologischen Adaptation(sfähigkeit), wobei der Begriff der biologischen Adaptation hier ausschließlich auf Anpassungsprozesse bezogen wird, die zur Aufrechterhaltung des inneren Milieus im

Sinne der Homöostase dienen (vgl. Lamb, 1978).¹ Die Trainierbarkeit koordinativer Fähigkeiten ist dagegen im Sinne des motorischen Lernens auf neuronalem Niveau zu verstehen. Konditionelle und koordinative Adaptationsprozesse sind damit auf unterschiedlichen Organisationsebenen angesiedelt und unterliegen nicht denselben Gesetzmäßigkeiten. Dies macht eine nach Fähigkeitsbereichen differenzierte Betrachtung des Gegenstandes notwendig.

1.4 Ansatz und Aufbau der Arbeit

Da die empirische Forschung zur Trainierbarkeit eine Vielzahl an Studien hervorgebracht hat, die mit unterschiedlichen Fragestellungen auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen und mit unterschiedlichen Untersuchungsansätzen arbeiten, wird zunächst der Forschungsstand zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten aufgearbeitet. Mit einer phänomenologisch-deskriptiv orientierten Beschreibung des Forschungsstandes sollen Probleme aufgezeigt und Konsequenzen für weitere Forschungsaktivitäten abgeleitet werden.

Unter Einbezug aktueller theoretischer und methodischer Strömungen wird anschließend ein Modell zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten entwickelt, das eine differenzierte Betrachtung des Gegenstandes ermöglichen, Inkonsistenzen in der bisherigen Ergebnislage erklären und Forschungsperspektiven eröffnen soll.

Abschließend soll das erarbeitete Modell anhand eines ausgewählten Parameters, nämlich der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) als einer wichtigen Determinante der aeroben Ausdauer, einer ersten Prüfung unterzogen und in diesem Zuge weiter präzisiert werden. Da aus den vorliegenden empirischen Studien sehr viel Datenmaterial vorliegt, soll diese Überprüfung im Rahmen einer Befundintegration vorgenommen werden. Aufgrund der Heterogenität der Fragestellungen und Untersuchungsansätze ermöglichen diese Daten einen umfassenden Blick auf das Trainierbarkeitskonstrukt (zu den Vorteilen von Reanalysen gegenüber Primäruntersuchungen, vgl. Bien, 2002).

¹ Der Begriff der biologischen Adaptation wird nicht von allen Autoren in diesem Sinne verwendet. Conzelmann (1997, 1999), Grosser (1988) und Israel (1999) zum Beispiel gebrauchen ihn nach der hier angeführten Definition, während Hildebrandt und Hensel (1982) sowie Weineck (2000) darunter jegliche anpassungsbedingten phänotypischen Veränderungen *aller* biologischen Funktionssysteme fassen und damit auch Anpassungen auf neuromotorischem Niveau einbeziehen.

Im Einzelnen liegt der Arbeit folgender Aufbau zugrunde: In Kapitel 2 erfolgt ein Überblick über den Forschungsstand, wobei vor allem der Facettenreichtum der vorliegenden Studien aufzuzeigen ist. In Kapitel 3 werden theoretische Überlegungen zum Gegenstand Trainierbarkeit angestellt. Dabei gilt es, die disziplinäre Perspektive festzulegen, um darauf aufbauend die Dimensionalität und determinierende Faktoren des Konstruktes zu diskutieren. Die Frage der Operationalisierung der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten wird in Kapitel 4 bearbeitet. Nach diesen theoretisch-methodischen Auseinandersetzungen dient das 5. Kapitel dazu, Möglichkeiten und Grenzen der Prüfung und Weiterentwicklung des Modells im Rahmen einer Befundintegration zur maximalen Sauerstoffaufnahme aufzuzeigen. Daraus ergeben sich die endgültigen Fragestellungen und Annahmen, die der Befundintegration zugrunde liegen sollen. Kapitel 6 erläutert Einzelheiten des eigenen befundintegrativen Vorgehens. Kapitel 7 dient der Darstellung und Diskussion der Ergebnisse. Eine Zusammenfassung und kritische Auseinandersetzung mit dem Gesamtkonzept der vorliegenden Arbeit sowie ein Ausblick für weitere Forschungstätigkeiten folgt im abschließenden Kapitel 8.

2 Der Gegenstand Trainierbarkeit in der sportwissenschaftlichen Auseinandersetzung

Unter Trainierbarkeitsforschung werden im Weiteren all jene Forschungsaktivitäten subsumiert, die sich mit der Fähigkeit zur Anpassung an sportliche Belastungen auseinandersetzen, wobei der Schwerpunkt auf Forschungsaktivitäten zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten liegen wird. Grundlegende begriffliche Probleme sind jedoch ohne Bezug zu spezifischen Fähigkeiten und Fertigkeiten zu sehen.

Weiterhin besteht nicht der Anspruch auf eine vollständige Erfassung aller vorliegenden Studien, sondern es gilt, *exemplarisch* inhaltliche und methodische Facetten der Thematik zu erfassen und dabei eine vorläufige Systematik der Erkenntnisse zu erstellen.

Dabei wird zunächst das Trainierbarkeitsverständnis in der theoretischen und empirischen Literatur analysiert (2.1), im Weiteren werden die inhaltlichen Facetten aufgezeigt (2.2), um schließlich die Ergebnislage anhand einiger Beispiele zu veranschaulichen (2.3). Zusätzlich werden in 2.4 Vorgehensweise und Erkenntnisse der ebenfalls schon reichlich vorhandenen befundintegrierenden Forschung diskutiert. Die Ausführungen münden in einem Forderungskatalog an die weitere Trainierbarkeitsforschung (2.5).

2.1 Begriffsverständnis

2.1.1 Lexika, Hand- und Lehrbücher

Im Sportwissenschaftlichen Lexikon (Röthig et al., 2003) findet sich erstmals in der 7. Auflage im Jahr 2003 ein Artikel zum Begriff Trainierbarkeit. Das wohl umfassendste deutschsprachige trainingswissenschaftliche Lehrbuch von Schnabel et al. (1997) lässt den Gegenstand Trainierbarkeit gänzlich unberücksichtigt. Auch für weitere Lexika, Hand- und Lehrbücher der Trainings- und Bewegungswissenschaft sowie der Sportmedizin muss festgestellt werden, dass der Begriff Trainierbarkeit kaum eine Rolle spielt: Nur in 13 von 34 betrachteten deutschsprachigen Quellen findet man explizite Definitionen bzw. Erläuterungen zur Trainierbarkeit (Tab. 1). Deren inhaltliche Aussage beschränkt sich jedoch meist darauf, Trainierbarkeit als Fähigkeit oder

Eigenschaft des Organismus zur Anpassung an entsprechende sportliche Trainingsbelastungen zu bezeichnen, was als Ausgangspunkt für die empirische Forschung eine unzureichende Beschreibung darstellt.² In wenigen Fällen werden Kenngrößen genannt, wobei sich alternative Vorschläge finden, wie „Unterschied zwischen trainiert und untrainiert“ (Frey & Hildenbrandt, 1995, S. 122), das „Entwicklungstempo“ (Hollmann & Arndt, 1995, S. 380), „der Grad der Anpassung“ (Weineck, 2000, S. 19) oder „die trainingsbedingte Änderung ... pro Zeit“ (Carl, 2003, S. 606) angegeben.

Tab. 1 Das Vorliegen von Definitionen, Kennwerten und Erläuterungen zum Gegenstand Trainierbarkeit in deutschsprachigen Lexika, Hand- und Lehrbüchern; D=Definition; KW=Hinweis auf Kennwerte; SO=sonstige Erläuterungen; --=nicht bearbeitet

Ahonen, 1994: -- Badtke, 1999: D Baur et al., 1994 (Herausgeberwerk): kein gesonderter Beitrag (tw. in Einzelbeiträgen erwähnt) Beyer, 1992: -- Bös, 2001 (Herausgeberwerk): -- Dickhuth, 2000: D, SO Dieckert & Ahlert, 2002: -- Eberspächer, 1992 (Herausgeberwerk): -- Engelhardt & Neumann, 1994: SO (Adaptabilität) Frey & Hildenbrandt, 2002: SO	Frey & Hildenbrandt, 1995: D, SO Göhner, 1992: -- Göhner, 1999: -- Grosser & Zintl, 1994: -- Hohmann et al., 2002: Kritik wg. mangelhafter Bearbeitung Hollmann & Arndt, 1995: D, SO Hollmann & Hettinger, 2000: D, SO Jonath, 1986 (Herausgeberwerk): D, KW Kent, 1996: SO Letzelter, 1994: SO Martin et al., 2001: SO Martin et al., 1999: D, SO	Meinel & Schnabel, 2004: SO Pickenhain et al., 1993: SO Pöhlmann, 1994: -- Rost & Appel, 2001: D, SO Roth & Willimczik, 1999: -- Röthig et al., 2003: D, KW Scheibe et al., 1990: D, SO Schnabel et al., 1997: -- Schnabel & Thiess, 1993: D, SO Strauzenberg & Badtke, 1990: D Weineck, 2002: SO Weineck, 2000: D, SO
---	---	---

2.1.2 Empirische Studien

Die Suche nach empirischen Studien zur Thematik offenbart eine Flut an Arbeiten, die sich mit Trainingseffekten und Anpassungsprozessen unter verschiedenen Bedingungen beschäftigen. Untersuchungen, die explizit auf den Begriff *Trainierbarkeit* oder semantisch ähnliche Begriffe (Plastizität, Adaptabilität) Bezug nehmen, sind jedoch selten. In diesem Sinne fehlt auch die theoretische Auseinandersetzung mit der Thematik; meist werden Forschungsarbeiten lediglich in den Kontext vorangegangener Studien eingeordnet. Werden theoretische Überlegungen vorangeschaltet, sind diese in erster Linie (sport)medizinisch-physiologischer Natur. Doch wie werden Trainingseffekte und Anpassungsverläufe erfasst? Wie wird Trainierbarkeit gemessen?

² Auch die angloamerikanische Literatur präsentiert keine differenzierteren Auseinandersetzungen mit dem Trainierbarkeitsbegriff (vgl. Anshel et al., 1991; Kent, 2004; Tver, 1986). Anshel et al. (1991) beispielsweise behandeln den Term „trainability“ nicht, „plasticity“ wird (a) mit „adaptability“ und „flexibility“ gleichgesetzt und (b) aus physikalischer und neurophysiologischer Sicht erklärt.

Kennwerte der Trainierbarkeit

Charakteristisch für die *empirische* Forschungslage ist, dass eine *explizite* operationale Definition nur in zwei von ca. 300 durchgesehenen Studien gefunden wurde (vgl. 1.1.2). Kenngrößen für die Trainierbarkeit können jedoch anhand der Ergebnisdarstellung erschlossen werden. Folgende Formen der Operationalisierung finden sich:

- die *absolute* oder *prozentuale Verbesserung* innerhalb des Beobachtungszeitraums bei Prä-Post-Messungen (z.B. Baxter-Jones et al., 1993; Bembien et al., 2000; Boileau et al., 1999; Faigenbaum et al., 2001);
- die *absolute* oder *prozentuale Veränderung pro Zeiteinheit* bei Prä-Post-Messungen (z.B. Hawkins et al., 2001; Hettinger, 1958);
- der *absolute* oder *prozentuale Unterschied* zwischen Gruppen verschiedenen Trainingszustands³ (z.B. Conzelmann, 1997; Rowland et al., 2000);
- der *Anpassungsverlauf*, das heißt, es werden Werte von mindestens drei Erhebungszeitpunkten in Bezug gesetzt (z.B. Govindasamy et al., 1992; Murase et al., 1981);
- die *Dynamik der Reizantwort* bei akuter Belastung (*Umstellungsverläufe*⁴), z.B. der Verlauf der Laktat-Leistungskurve oder der Herzfrequenzsteigerung bei Prä-Post-Messungen oder bei Personen unterschiedlichen Trainingszustands (Babcock et al., 1994; Green et al., 1991);
- die *Regenerationsfähigkeit* nach einer Belastung, d.h. die Rückkehr von physiologischen, aber auch von Leistungswerten zum Ruhe- bzw. Ausgangswert (Cleuziou et al., 2004; Steigerwald, 2004).

Selbst wenn man Trainierbarkeit ausschließlich als positive Anpassung definiert, können Studien, die sich mit *Rückbildungsprozessen* befassen, einen Beitrag zur Trainierbarkeitsforschung leisten. Hier finden sich dieselben Kenngrößen wie bei positiven Anpassungsprozessen (z.B. Faigenbaum et al., 1996; Marti & Howald, 1990).

³ Die Begriffe Trainings-, Anpassungs- und Adaptationszustand werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit synonym verwendet. Zur genaueren Bedeutung des Trainingszustandes in Abgrenzung zum Leistungsniveau vgl. 4.2.1 und 4.4.3.

⁴ Unter Umstellungen werden (im Gegensatz zu Adaptationen in einem langfristigen Trainingsprozess) *akute Reaktionen des Organismus* zur Bewältigung einer aktuellen Störung des inneren Gleichgewichts verstanden, z.B. Steigerung der Herz- oder Atemfrequenzen und Laktatakkumulation (vgl. Israel, 1999; vgl. 3.2.2).

Untersuchungsdesigns

Einen ergänzenden Blick auf das Trainierbarkeitsverständnis eröffnet das Untersuchungsdesign, das einer empirischen Studie zugrunde liegt:

- *Interventionsstudien*: Interventionsstudien führen standardisierte Trainingsprogramme durch, wobei aufgrund einer Vorher-Nachher-Messung der Grad der Veränderung festgestellt wird. Teilweise gibt es mehrere Interventionsgruppen, die sich entweder bezüglich personinterner Faktoren (z.B. Geschlecht, Alter) oder bezüglich der Trainingsparameter (z.B. Intensität, Häufigkeit) unterscheiden. Zusätzlich werden manchmal Kontrollgruppen ohne (sportives) Training geführt.
- *Querschnittstudien*: Hier werden einmalig Daten verschiedener Personengruppen erhoben und verglichen, wobei sich die Personen hinsichtlich einer Variable, die potentiell Einfluss auf den Anpassungszustand nimmt, unterscheiden. Diese Variable kann die Art oder der Umfang der sportlichen Aktivität, aber auch die Alltagsaktivität darstellen (z.B. Fußball vs. Langstreckenlauf; Untrainierte vs. Hochleistungssportler; Handwerker vs. Büroangestellte).
- *Längsschnitt-/Entwicklungsstudien*: Bei diesen Studien handelt es sich um pro- oder retrospektiv erfasste Entwicklungsverläufe, bei denen über einen längeren Zeitraum (bis zu mehreren Jahrzehnten) die sportliche Leistungsfähigkeit erfasst wird. Es liegen Daten von mindestens zwei Messzeitpunkten vor. Die sportliche Aktivität der Probanden wird erfasst (z.B. per Befragung), ist aber nicht oder kaum standardisiert. Umfang und Intensität sportlicher Aktivität können konstant sein, zu- oder abnehmen. Teilweise werden mehrere Personengruppen beobachtet oder es werden bei einer anfangs einheitlichen Gruppe aufgrund veränderter sportlicher Aktivitäten bei späteren Messzeitpunkten separate Gruppenmittelwerte gebildet (z.B. Beibehaltung vs. Beendigung der sportlichen Aktivität).
- *Mischdesigns*: Es existieren Kombinationen aus verschiedenen Designs, wie gemischte Längsschnitte oder ein anfängliches Interventionsprogramm, dem ein mehrjähriger Längsschnitt ohne standardisiertes Trainingsprogramm angeschlossen ist.

2.2 Facetten der Trainierbarkeitsforschung

Beim Versuch, die Forschungsbemühungen zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten zu strukturieren, ergeben sich zwei Problembereiche, denen im Laufe des 20. Jahrhunderts verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet wurde: Ein Fragenkomplex richtet

den Fokus auf personinterne und -externe Einflussfaktoren und ihre Auswirkungen auf den Anpassungsprozess (Trainingseffekt). Zum Zweiten gilt das Erkenntnisinteresse dem Anpassungsprozess bei qualitativ und quantitativ unterschiedlichen Reizkonstellationen, um daraus Konsequenzen für die Trainingsgestaltung abzuleiten. Ein weiteres strukturgebendes Kriterium, welches „quer“ zu dieser Einteilung liegt, ist durch die Betrachtungsebene gegeben: Die Trainierbarkeit „von was“ wird bearbeitet? Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Eingrenzung auf die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten vorgenommen wurde, geht es bei dieser Frage um Operationalisierungsalternativen konditioneller Fähigkeiten.

2.2.1 Einfluss personinterner und -externer Faktoren

Für die Frage nach Einflussfaktoren der Trainierbarkeit lassen sich drei Kategorien unterscheiden (vgl. Tab. 2).

- *Genetisch determinierte personinterne Einflussfaktoren:* Dazu gehören die individuelle Genetik, Geschlecht und Rasse und bedingt einige medizinische Indikationen, wie Asthma bronchiale oder Diabetes mellitus⁵ (z.B. Allen et al., 2002; Ama et al., 1986; Berg & Keul, 1983; Bouchard & Rankinen, 2001; Chen & Bouchard, 1986; Hettinger, 1958; Israel, 1992; Klissouras, 1997; Medau et al., 1985; Skinner et al., 2001).
- *Temporäre bzw. veränderliche Einflussfaktoren:* Dies sind Faktoren, die den aktuellen Zustand einer Person als Ergebnis der kurz- oder langfristigen Person-Umwelt-Wechselwirkungen widerspiegeln. Dazu gehören das biologische Alter, das Trainingsalter, der Anpassungszustand und die psychische und körperliche Befindlichkeit. Im Gegensatz zur ersten Gruppe handelt es sich nicht um konstante, sondern um mehr oder weniger dynamische Größen, wobei das biologische und das Trainingsalter relativ stabile Faktoren darstellen, während der Trainingszustand oder Erkrankungen mittel- oder kurzfristig größeren Schwankungen unterliegen können (z.B. Ades et al., 1996; Conzelmann, 1997; Hettinger, 1958; Letzelter, 1987; Yukithoshi & Katsuta, 1990).

⁵ Der Übergang von genetischen zu aktuellen pathologischen Einflüssen ist fließend, da der Ausprägungsgrad vieler anlagebedingter Erkrankungen von der Lebensführung abhängt.

- *Personexterne Einflussfaktoren:* An personexternen Einflussfaktoren werden zum Beispiel jahres- und tageszeitliche Einflüsse, klimatische Bedingungen, UV-Strahlung, Ernährung sowie die Zufuhr anderer Substanzen (inklusive Dopingmittel) diskutiert (z.B. Baier & Rompel-Pürckhauer, 1978; Hettinger, 1983; Torii et al., 1992).

Tab. 2 In der Literatur diskutierte Einflussgrößen auf die Trainierbarkeit

Personinterne Einflussfaktoren		Personexterne Einflussfaktoren
genetisch bedingt	temporär	
<ul style="list-style-type: none"> • individuelle Genetik • Geschlecht • Rasse 	<ul style="list-style-type: none"> • Trainingsalter • Trainingszustand • umweltbedingte Erkrankungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ernährung • Jahreszeit • Tageszeit • Klima • UV-Strahlung • Medikamente, Hormone, Doping u.a.
<ul style="list-style-type: none"> • biologisches Alter • erblich bedingte Erkrankungen 		

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich um Faktoren handelt, deren Einfluss im Rahmen theoretischer und empirischer Arbeiten diskutiert und geprüft wird. In den meisten Fällen ist eine Einflussnahme auf die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten nicht (eindeutig) nachgewiesen. Was die Anzahl der Untersuchungen angeht, ist das Alter die mit Abstand am häufigsten untersuchte Variable, gefolgt vom Geschlecht und (zunehmend) der individuellen Genetik.

2.2.2 Einfluss der Trainingsparameter auf den Trainingseffekt

Ein Teil der empirischen Untersuchungen variiert gezielt Belastungsmerkmale.⁶ Dabei lassen sich Fragestellungen zu quantitativen und qualitativen Belastungsparametern unterscheiden. Die Quantität der Belastung kann sich auf eine einzelne Trainingseinheit oder auf einen größeren Trainingszeitraum beziehen (vgl. Tab. 3).

- *Quantitativ:* Hier interessieren zum Beispiel Minimalanforderungen und inwieweit Belastungssteigerungen zu einem (lohnenswert) höheren Effekt führen. Auf der anderen Seite stellt sich für den Leistungssport die Frage, mit welchen Trainingsumfängen und -intensitäten langfristig Höchstleistungen erzielt werden können. Auf die Trainingseinheit bezogen geht es um Parameter wie Dauer bzw. Umfang

⁶ Es geht in diesem Zusammenhang nicht darum, komplexe sportartspezifische Trainingsprogramme zu diskutieren, sondern um den experimentellen Aufbau, wie er in wissenschaftlichen Untersuchungen zu Kraft- oder Ausdauerfähigkeiten meist angewendet wird.

der Trainingseinheit, Anzahl der Serien, Wiederholungen pro Serie und Intensität des Einzelreizes. Für den gesamten Trainingszeitraum ergeben sich Fragen nach der Dauer, der Trainingshäufigkeit und der Belastungssteigerung (einen Überblick zu Kraftstudien findet man bei Rhea et al., 2003; Beispiele für Ausdauerstudien: Badenhop, 1983; Foster et al., 1989; Murphy & Hardman, 1998).

- *Qualitativ:* Für die Kraft interessiert hier der Vergleich verschiedener Kontraktionsformen bezüglich ihrer Effekte (z.B. Boyer, 1990; Smith & Rutherford, 1995), während beim Ausdauertraining verschiedene Belastungsqualitäten, wie Laufen, Schwimmen, Aerobic verglichen werden (z.B. Lieber et al., 1989; Melanson et al., 1996).

Tab. 3 In der Literatur diskutierte Trainingsparameter, die auf den Trainingseffekt Einfluss nehmen

quantitative Belastungsmerkmale		qualitative Belastungsmerkmale
Trainingseinheit	Trainingszeitraum	
<ul style="list-style-type: none"> • Dauer, Umfang • Wiederholungen pro Serie • Anzahl der Serien • Intensität • Pausengestaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer • Häufigkeit • Belastungssteigerung • regenerative Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Muskelkontraktionsform • Ausdauersportart

2.2.3 Varianten der Operationalisierung konditioneller Fähigkeiten

Motorische Fähigkeiten sind *latente Konstrukte* im Sinne von *Leistungsvoraussetzungen* und damit nicht direkt erfassbar (z.B. Bös & Mechling, 1983; Roth, 1999). Ihre Definition, Operationalisierung und Systematisierung kann auf der Grundlage empirisch-analytischer Betrachtungen einerseits und theoretischer Erkenntnisse zur menschlichen Anatomie und Physiologie andererseits erfolgen (Roth, 1983, 1999). Grenzt man den Blickwinkel auf die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten ein, stellt sich die Frage, welche der von der Forschung analysierten Anpassungsebenen als Indikator für eine konditionelle Fähigkeit geltend gemacht werden können (vgl. auch Bös, 1987; Conzelmann, 1994; Heck, 1990; Hollman & Hettinger, 2000):

- *Morphologisch-physiologische Verfahren:* Hierzu gehören Belastungstests (Laktatdiagnostik, VO₂-Messung), Ultraschall-, Röntgen- und Biopsieverfahren, aber zum Beispiel auch einfache Messungen des Muskelumfangs.
- *Fähigkeitsorientierte Testverfahren:* Hierbei handelt es sich um sportmotorische Tests, d.h. standardisierte Messverfahren in Form von einfach strukturierten Testaufgaben, die zum Ziel haben, *eine* spezifische Fähigkeit zu messen (vgl. Bös, 1987, 2001; Grosser & Neumaier, 1988). Beispielhaft wären zu nennen der

Jump-and-Reach-Test für die Erfassung der Sprungkraft oder der Cooper-Test als Ausdauerindikator, aber auch biomechanische Verfahren, bei denen mit physikalischen Messvorrichtungen, wie Gewichten, Kraftmessplatten und Geschwindigkeitsmessern gearbeitet wird. Teilweise erfüllen auch Wettkampfformen (z.B. Langstreckenlauf) die notwendigen Voraussetzungen (vgl. z.B. Conzelmann, 1997; Geese, 1997). Mit der Zunahme des (technischen) Komplexitätsgrades einer sportlichen Bewegung steigt jedoch die Anzahl motorischer Fähigkeiten, die am Zustandekommen des Leistungsergebnisses beteiligt sind, wodurch Rückschlüsse auf den Ausprägungsgrad einer Einzelfähigkeit nur noch bedingt möglich sind.

Zu beachten ist, dass die genannten Verfahren immer nur eine Annäherung an das interessierende Konstrukt darstellen, das heißt, die operationale Definition ist nicht gleichzusetzen mit dem übergeordneten Fähigkeitsverständnis. Unterschiedliche Operationalisierungen führen damit nicht notwendigerweise zur selben Aussage über den Ausprägungsgrad einer Fähigkeit (vgl. 4.1).

2.3 Ausgewählte Ergebnisse der Trainierbarkeitsforschung

2.3.1 Quantifizierung der Trainierbarkeit

Dass jeder (gesunde) Mensch trainierbar ist, wird nicht mehr bestritten. Allerdings stellt sich die Frage nach der Höhe des Effektes, der durch ein Trainingsprogramm erzielt werden kann. Die Forschungslage zur Trainierbarkeit zeichnet sich dabei durch Inkonsistenz aus. Dies wird im Folgenden anhand von Studienergebnissen zur prozentualen Verbesserung von Kraft- und Ausdauerfähigkeiten illustriert:

Was die Maximalkraft angeht zeigt eine frühe Studie von Konnych (1955), dass Gewichtheber über sieben Jahre hinweg im Mittel eine Leistungssteigerung von 41-60% der Ausgangskraft erzielen können, wobei selbst nach zehn Jahren noch Steigerungen zu beobachten waren. Der prozentual wesentliche Zuwachs fand jedoch in den ersten drei bis fünf Jahren statt. Sehr viel häufiger finden sich jedoch Kurzzeitexperimente: Lorenz et al. (1995) stellen bereits nach wenigen Tagen für die Ellbogenstrecker Kraftzunahmen um 8% fest. Andere Studien vermerken für die Ellbogenflexoren 22,6% in 8 Wochen (Moritani & deVries, 1980), 8,8% bzw. 48,4% in 12 Wochen bei unterschiedlichen Trainingsmethoden (Brown et al., 1990) und 53% in 12 Wochen (McCartney et al., 1993). Fiatarone et al. (1990) konnten bei Men-

schen im 9. und 10. Lebensjahrzehnt 61- bis 374%ige Kraftgewinne der Kniestrecker innerhalb von 8 Wochen beobachten.

Ähnlich heterogene Aussagen finden sich für Ausdauerfähigkeiten: Hollmann und Hettinger (2000) sprechen von 15-25%igen Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme in 2-3 Monaten und bis zu 40% Steigerung nach mehrjährigem Training. Kurzfristig angelegte Studien (also wenige Wochen bis Monate) erbrachten jedoch bei Personen im mittleren Erwachsenenalter teilweise sehr geringe (6% bei Örländer et al., 1977), teilweise aber auch hohe (44% bei Hickson et al., 1977) Steigerungen. Überblicksartikel finden für Studien zur Ausdauertrainierbarkeit im Kindesalter 1- bis 20%ige Steigerungen der maximalen Sauerstoffaufnahme (Pate & Ward, 1996), bei Über-60-jährigen Erwachsenen 0- bis 38%ige Steigerungen (Ehram, 1997).

Insgesamt streuen die Angaben in einem relativ breiten Bereich – bei den Krafftähigkeiten noch deutlicher als im Ausdauerbereich. Eine Quantifizierung erscheint demnach äußerst schwierig und in allgemeiner Form nicht möglich. Welche Aussagen finden sich, wenn man nach Einflussfaktoren wie dem Alter (2.3.2) und Trainingsparametern (2.3.3) differenziert?

2.3.2 Altersabhängigkeit der Trainierbarkeit

Da die Altersabhängigkeit die mit Abstand am häufigsten bearbeitete Fragestellung der Trainierbarkeitsforschung darstellt, soll die Inkonsistenz des Forschungsstandes anhand einiger Zitate, wie sie aus Lehrbüchern und empirischen Studien entnommen werden können, deutlich gemacht werden. Eine kleine Auswahl von Aussagen zeigt, dass für die Frage nach dem Alter in der Trainierbarkeitsforschung noch ausreichend Forschungsbedarf besteht.

Viel diskutiert zum Beispiel wird die Frage, welche Auswirkungen die Pubertät auf die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten nimmt. Dabei geht es auch um eine Auseinandersetzung mit dem Konzept der „sensiblen Phasen“ (vgl. dazu Asmus, 1995; Baur, 1987; Conzelmann, 2002; Starosta & Hirtz, 1989; Winter, 1980):

„This study, then, does not support the hypothesis that resistive exercise produces greater strength gains during pubescence than during other developmental stages“ (Pfeiffer & Francis, 1986, S. 143). – „Andererseits stellt die Pubertät (...) das Alter der höchsten Trainierbarkeit der konditionellen Eigenschaften dar“ (Weineck, 2000, S. 361).

Eine Vielzahl an Studien setzt sich mit der Trainierbarkeit im höheren Alter auseinander. Doch weder bezüglich der Kraft- noch der Ausdauerfähigkeiten liegen konsistente Ergebnisse vor:

„As age increased, strength trainability appeared to decrease“ (Liemohn, 1975, S. 347). – „A high-intensity weight-training program is capable of inducing dramatic increases in muscle strength in frail men and women up to 96 years of age“ (Fiatarone et al., 1990, S. 3032).

„Die Trainierbarkeit der Kraftausdauer nimmt im mittleren und höheren Lebensalter relativ stark ab“ (Israel & Weidner, 1988, S. 55). – „Die Trainierbarkeit der speziellen Kraftausdauer ist weder vom Alter noch vom Geschlecht abhängig“ (Letzelter & Letzelter, 1986, S. 204).

„One cannot expect to increase the aerobic capacity of healthy old men by undertaking physical training“ (Benestad, 1965, S. 326). – „From this test it was concluded that the younger subjects showed greater effects [in VO_{2max}] of the training than the older ones“ (Itoh et al., 1978, S. 453). – „Thus healthy men and women in their 70s can respond to prolonged endurance exercise training with adaptations similar to those of younger individuals“ (Hagberg et al., 1989, S. 2589).

So gelingt es schließlich nicht, Einigkeit über die Veränderlichkeit der Trainierbarkeit im Altersgang zu erzielen:

„Die Fähigkeit des Muskels, auf Belastungsreize zu reagieren (Trainierbarkeit), ist im Laufe des Lebens erheblichen Veränderungen unterworfen“ (Israel, 1994, S. 315). – „Die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten ist während des Erwachsenenalters unabhängig vom chronologischen Alter“ (Conzelmann, 1997, S. 286).

2.3.3 Zusammenhänge von Trainingsparametern und Trainingseffekt

Für die Frage nach der Auswirkung des Belastungsmusters auf die Leistung fassen Lorenz und Kollegen (1995, S. 126) die Forschungslage zur Kraft wie folgt zusammen:

„Die strukturelle und funktionelle Adaptation der Muskulatur durch Krafttraining hängt von der Art des Trainings (dynamisch, statisch, isokinetisch), der Intensität, der Wiederholungszahl, der Dauer der Einzelbelastung wie der Intervallpause und der Trainingshäufigkeit ab. (...) Sogar nach einmaligem Krafttraining sind Kraftzunahmen beschrieben worden, wobei offen blieb, welcher Anteil auf einen Massenzuwachs des kontraktiven Systems oder auf koordinative Verbesserungen zurückzuführen ist. Nur unzureichend beantwortet ist auch die Frage nach dem optimalen Kraftreiz und nach dem induktiven Reiz innerhalb des Muskels, die zu einer Hypertrophie und dadurch bedingter Kraftzunahme führen. Ebenso fehlen gesicherte Erkenntnisse über den zeitlichen Ablauf von Regeneration und Adaptation nach einem Krafttraining.“

Dass weder im Kraft- noch im Ausdauerbereich Klarheit bezüglich der Frage des Belastungs-Effekt-Verhältnisses herrscht, zeigen folgende Untersuchungsergebnisse: Hollmann und Hettinger (vgl. 2000, S. 202-203) stellen bei einem Training mit einer Belastung zwischen 30 und 70% der maximalen Kraft einen mit der Intensität zunehmenden Trainingseffekt hinsichtlich der Maximalkraft fest. Geringere Intensitäten

erzielen keine Effekte, höhere Intensitäten erbringen keine weiteren Steigerungen. Dons und Kollegen (1979) finden bei einer Trainingsintensität von weniger als 50% der Maximalkraft nur eine Zunahme der Kraftausdauerwerte nicht aber der Maximalkraft. Krafttrainingsempfehlungen differenzieren hingegen meist stärker: So beschreibt Bührlé (1985) allein für die Maximalkraft 13 Trainingsmethoden mit Belastungshöhen zwischen 35 und 180% und die jeweiligen spezifischen Effekte. Andere Untersuchungen machen eine Unterscheidung hinsichtlich des Trainingszustands: So beobachtete Hettinger (1955; zitiert nach Hollmann & Hettinger, 2000, S. 209) eine Mindestintensität bei untrainierten Personen von 20% der Maximalkraft, während Zaciorskij (1968; zitiert nach Hollmann & Hettinger, 2000) für hoch Krafttrainierte bei Trainingsintensitäten von 60-85% der aktuellen Leistungsfähigkeit nach zwei Monaten bereits einen Abfall der Maximalkraftwerte feststellte.

Uneinigkeit herrscht auch hinsichtlich der Wirksamkeit von verschiedenen Kontraktionsformen. Zimmermann (2000, S. 40-41) stellt anhand der Literaturlage fest, dass „nicht von einer eindeutigen Überlegenheit einer bestimmten Trainingsvariante ausgegangen werden kann“, wobei – da es sich um gesundheitsorientiertes Krafttraining handelt – exzentrische Trainingsformen nicht in die Betrachtungen einbezogen wurden. Boyer (1990) sowie Manning et al. (1990) berichten von ähnlichen Befunden. Seliger und Kollegen (1968) finden keine manifestierbaren Unterschiede im Trainingseffekt zwischen konzentrischem und exzentrischem Krafttraining. Ähnliches finden Smith und Rutherford (1995). Während sie für die isometrische Kraft signifikant bessere Werte nach konzentrischem Training feststellten, gab es bei den isokinetischen Kraftwerten keine signifikanten Unterschiede. Deutlich höhere Verbesserungen der Kraftwerte bei exzentrischen Belastungen stellen hingegen Kaminski et al. (1998) sowie Seger und Kollegen (1998) fest.

Für die Ausdauer finden Davies und Knibbs (1971) bei Trainingsintensitäten unter 50% der VO_{2max} keine Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme. Sidney und Shephard (1978) stellen bei einem Ausdauertraining Über-60-Jähriger mit einer Herzfrequenz von 120-130 Schlägen/min bei ein- bis zweimal wöchentlichem, einstündigem Training ebenfalls keine Zunahme fest. Sowohl die isolierte Erhöhung der Herzfrequenz auf 140-150 Schläge/min (also eine Erhöhung der Trainingsintensität) als auch die isolierte Erhöhung der Trainingshäufigkeit auf mehr als zwei Mal pro Woche führten zu einem Effekt; dieser war bei der Erhöhung der Intensität deutlicher als bei der Erhöhung der Häufigkeit. Die meisten Anweisungen für Ausdauertraining

empfehlen eine Belastung von 50% der maximalen Sauerstoffaufnahme und mehr (z.B. Bös & Banzer, 1998; Martin et al., 2001; Zintl, 1990). Ob jedoch grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass unter einer Intensität von 50% keine Effekte auf die maximale Sauerstoffaufnahme zu erwarten sind, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. Hinzu kommt, dass auch hier die relativen Trainingsintensitäten für Trainierte höher zu liegen scheinen als für Untrainierte. Dafür spricht die Lage der aeroben und anaeroben Schwelle bei unterschiedlichen Adaptationszuständen, wie sie Zintl (1990, S. 66) in Anlehnung an Kindermann et al. (1978) darstellt: So liegt die aerobe Schwelle von Untrainierten bei 45-50% der VO_{2max} , bei Trainierten dagegen bei 60-65%; die anaerobe Schwelle untrainierter Personen liegt bei 50-70% der VO_{2max} , bei durchschnittlich Trainierten zwischen 70 und 80% und bei Hochtrainierten zwischen 85 und 95%.

2.4 Die Trainierbarkeitsthematik in der befundintegrierenden Literatur

Die Vielfalt bezüglich Fragestellungen, potentiellen Einflussfaktoren, Untersuchungs- und Trainingsmethoden, die die empirische Forschungslage zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten auszeichnet, sowie die Inkonsistenz der Ergebnisse hat dazu geführt, dass in den letzten zwei Jahrzehnten eine Reihe an Reviewartikeln erschienen ist, die Methodik und Ergebnisse empirischer Studien im Überblick präsentieren (vgl. Tab. 4). Wie gehen diese vor und welche Erkenntnisse wurden damit gewonnen?

Es zeigt sich, dass meist nur Studien zu *einer* spezifischen konditionellen Fähigkeit bzw. *einem* Messparameter herangezogen werden. Häufig beschränkt sich die Studienwahl zudem auf *eine* Altersgruppe, in wenigen Fällen auch auf *ein* Geschlecht. Was das methodische Vorgehen anbelangt, handelt es sich teilweise um Metaanalysen, eher jedoch um traditionelle Reviews.⁷ Einleitende theoretische Überlegungen oder Begriffsklärungen erfolgen nur vereinzelt. Eine Diskussion des Trainierbarkeitsverständnisses wird in keinem Fall geführt.

Grundsätzlich lassen sich unterschiedliche Schwerpunktsetzungen erkennen:

⁷ Die Abgrenzung zwischen den beiden Formen der Befundintegration erfolgt in 5.2.

Tab. 4 Überblick über Reviews zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten. *k*=Anzahl einbezogener Studien; *TR*=traditionelles Review; *MA*=Metaanalyse; *G*=Geschlecht; *m*=männlich; *w*=weiblich; *Def*=Definition vorhanden; *Theo*=theoretische Analyse vorhanden; *Syst*=Systematisierung; *Meth*=methodische Analyse/Kritik; --=keine Angaben. (Die Bezeichnung der abhängigen Variablen und des Alters erfolgt entsprechend der Originalliteratur.)

Autor, Jahr	k (ca.)	Verfahren	Abhängige Variable	G	Alter	theor. Analyse	Schwerpunkt(e)
Bar-Or, 1989a	14	TR	Kraft, Ausdauer, Laufökonomie	mw	Kinder	--	Meth
Bar-Or, 1989b	30	TR	VO _{2max} , metab. Werte, Kraft, Ausdauer	mw	Präpub. Kinder	Def	(Syst), Meth
Berg, 2003	80	TR	Ausdauerwettkampfleistung	--	--	--	Meth
Blimkie, 1992, 1993	24	TR	Kraft	mw	Prä- und frühe Pubertät	--	Syst, Meth
Carpinelli & Otto, 1998	31	TR	Kraft	--	--	--	Syst, Meth
Ehram, 1997	23	TR	VO _{2max}	mw	>60	Def	Syst
Falk & Tenenbaum, 1996	10	MA	Kraft	mw	Kinder, Adoleszente	--	Syst
Fitzgerald et al., 1997	109	MA	VO _{2max}	w	18-89	--	Syst
Fleg, 1994	20	TR	VO _{2max}	mw	Erwachsene (incl. Ältere)	--	(Syst)
Green & Crouse, 1995	29	MA	VO _{2max}	mw	61-78	--	Syst
LeMura et al., 2000	27	MA	VO _{2max}	mw	46-90	--	Syst
Lexell, 1997	21	TR	VO _{2max} , 1RM ⁸	mw	>70	--	Syst
Londeree, 1997	34	MA	Laktat-, ventilatorische Schwellen	mw	--	--	Syst
McDonagh & Davies, 1984	17	TR	MVC ⁹	--	--	--	Syst
Pate & Ward, 1990	15	TR	Ausdauer	mw	<18	--	Syst, Meth
Pate & Ward, 1996	11	TR	Ausdauer	mw	8-16	Def	Syst
Payne & Morrow, 1993	28	MA	VO _{2max}	mw	≤14	--	Syst
Payne et al., 1997	28	MA	Kraft	mw	≤19	--	Syst
Porter et al., 1995	14	TR MA	Kraft	mw	<60	--	Syst
Rhea et al., 2003	140	MA	Kraft	--	--	--	Syst
Rogers, 1994	12	TR	Ausdauer	m	Ältere Erwachsene	--	(Syst)
Rowland, 1997 (1996, 1993, 1992, 1985)	25	TR	VO _{2max}	mw	Kinder	Def, Theo	Meth
Sady, 1986	22	TR	HerzKreislaufvariablen	mw	Kinder	Theo	Syst
Sale, 1989	5	TR	Kraft	mw	Kinder	--	Syst
Shephard, 1992	11	TR	Ausdauer	mw	Kinder	--	Syst, Meth
Starischka, 1992	18	TR	Konditionelle Fähigkeiten	mw	Ältere	Def	Syst
Thompson et al., 2002	20	TR	VO _{2max}	w	Kinder/Jugendliche	--	Syst, Meth
Vaccaro & Mahon, 1987	18	TR	HerzKreislaufvariablen	mw	Kinder	--	Syst
Zimmermann, 2000	--	TR	Kraft	mw	Erwachsene, Ältere	--	Syst

- *Ergebnisorientierte Reviews*: Hier geht es in erster Linie darum, Erkenntnisse zum Ausmaß der Trainierbarkeit und ihrer Abhängigkeit von einzelnen Faktoren

⁸ Das 1RM (1-repetition-maximum) ist das maximale Gewicht, mit dem genau eine Wiederholung der erforderlichen Bewegung durchgeführt werden kann, also eine Form der dynamischen Kraftmessung.

⁹ MVC (maximal voluntary contraction) ist die maximale isometrische Kraft, die gegen einen fixierten Gegenstand ausgeübt werden kann.

wiederzugeben. Dabei werden die Primärstudien anhand verschiedener Kriterien systematisiert, innerhalb einer Klasse werden die Ergebnisse zu einem Mittelwert (Metaanalyse) oder einer Aussagentendenz (traditionelles Review) zusammengefasst.

- *Methodische Betrachtungen*: Hier steht die Intention im Vordergrund, Ursachen für die Inkonsistenz der Forschungslage auszumachen. Dazu wird zum einen das methodische Vorgehen *innerhalb* einzelner Studien kritisch beleuchtet. Zum anderen geht es um den *Inter-Studien-Vergleich* und Probleme, die sich aufgrund der Unterschiedlichkeit der Einzelstudien ergeben. Zentrales Ergebnis dieser Studien ist die Ableitung methodischer Forderungen für die weitere Forschung.

Die methodischen Betrachtungen¹⁰ zeigen im Wesentlichen vier problematische Aspekte: (a) die Probandenauswahl und -erfassung, (b) die Durchführung des Treatments und Gestaltung des Interventionszeitraums, (c) die Wahl der abhängigen Variable(n) und der Testdurchführung und (d) Forschungslücken (vgl. Tab. 5):

- (a) *Probanden*: Ein Hauptkritikpunkt betrifft die mangelnde Kontrolle bzw. Standardisierung von den Trainingseffekt beeinflussenden Größen. Dies betrifft u.a. den Trainingszustand sowie den aktuellen Regenerationszustand. Insbesondere für Kinder wird darauf hingewiesen, dass das im Vergleich zum durchschnittlichen Erwachsenen hohe Aktivitätsniveau im Alltag einen höheren Anpassungszustand mit sich bringt (vgl. Abb. 3). Dieser könnte die Ursache für einen Deckeneffekt bei der Durchführung eines (meist moderaten) systematischen Trainingsprogramms sein, welcher häufig fälschlicherweise als geringere Trainierbarkeit interpretiert wird (vgl. dazu aber auch die Ausführungen von Rowland, 1996, in 5.1.2).

¹⁰ Auf einen detaillierten inhaltlichen Überblick über ergebnisorientierte Reviews wird an dieser Stelle verzichtet. Die inhaltlichen Widersprüche der Primärstudienresultate, auf die in diesen Studien verwiesen wird, wurden bereits im 2.3 veranschaulicht; des Weiteren erfolgt im Rahmen der Ausführungen zur maximalen Sauerstoffaufnahme (vgl. 5.1.2) eine Besprechung einiger der in Tab. 4 aufgeführten Reviews zur aeroben Ausdauer.

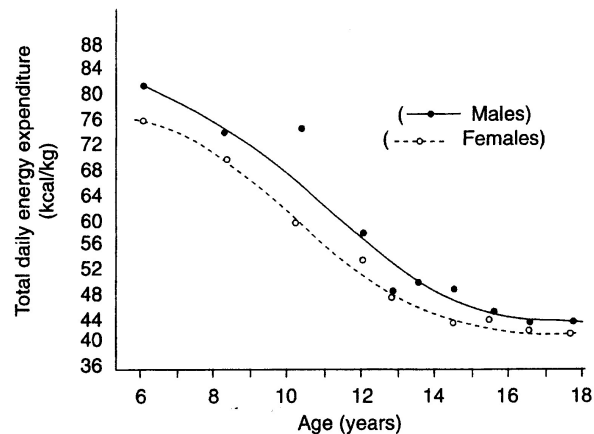


Abb. 3 Täglicher Energieverbrauch im Kindes- und Jugendalter (nach Rowland, 1996, S. 98).

Ein weiterer *Hinweis* zielt darauf ab, bei Kindern die Einteilung nach dem chronologischen Alter zu vernachlässigen und stattdessen den Reifezustand als Kriterium heranzuziehen. Bezüglich der Probandenauswahl wird außerdem das Fehlen von Kontrollgruppen sowie beim Vorliegen von mehreren (Interventions-)Gruppen die fehlende Parallelisierung anhand zentraler Parameter beklagt. Die Heterogenität der Gruppen führt zu unpräzisen Ergebnissen, da potentielle systematische Einflussfaktoren (z.B. Geschlecht, Alter, absolutes Ausgangsniveau) nicht genügend berücksichtigt sind. Eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Studien ist damit nicht gegeben.

- (b) *Treatment/Interventionszeitraum*: Vielfach wird darauf hingewiesen, dass die Trainingsdosierungen zu unterschiedlich für einen Inter-Studien-Vergleich sind. Hinzu kommt, dass Intensitätsangaben anhand *unterschiedlicher* Parameter (z.B. Herzfrequenz vs. VO_{2max} ; 1RM vs. MVC) vorgenommen werden. Auch fehlen in den Untersuchungen Kontrollen bzw. in den Quellen Angaben über Teilnahmehäufigkeiten und Einhaltung der Trainingsanforderungen. Zudem werden die Bewegungsaktivitäten außerhalb des standardisierten Trainings selten ausreichend kontrolliert bzw. dargestellt.
- (c) *Abhängige Variable, Testdurchführung*: Es existiert eine *Vielzahl* von Messmethoden zur Erhebung von Kraft- und Ausdauerparametern, was sich trotz der hohen Technologisierung negativ auf die Vergleichbarkeit auswirkt. Zudem stimmen die abhängigen Variablen nicht überein, was sowohl die Indikatoren für die konditionellen Fähigkeiten als auch die Veränderungsdiagnostik betrifft.
- (d) *Forschungslücken*: Insbesondere wird der Mangel an Untersuchungen mit weiblichen Teilnehmern und an längsschnittlichen Erhebungen beklagt.

Tab. 5 Forschungsmethodische Probleme der Trainierbarkeitsforschung

Probanden	Treatment/Interventionszeitraum	Testmethodik & abhängige Variable
<ul style="list-style-type: none"> • Trainingszustand zu Beginn • Hoher Aktivitätsgrad bei Kindern (Deckeneffekt) • Regenerationszustand, Ernährungszustand, Wasserhaushalt bei Testung • Erkrankungen • Entwicklungszustand: zu starke Orientierung am chronologischen Alter (insbesondere bei Kindern) • Heterogene Gruppen • Fehlende Kontrollgruppe bzw. Parallelisierung von Gruppen 	<ul style="list-style-type: none"> • Konfundierung von Trainings- und Reifungseffekten • Vergleichbarkeit der Trainingsdosierung und -methoden • Einheit der Intensitätsangaben • Bewegungsaktivität im Alltag bzw. Trainingsmaßnahmen außerhalb der interessierenden sportlichen Aktivität • Progressivität der Trainingsmaßnahmen • Berücksichtigung von Aufwärm- und Auslaufphasen • Kontrolle der Einhaltung von Trainingsanforderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Genauigkeit der Testmethodik • Vergleichbarkeit der Testmethodik • Kriterien der Messungen (z.B. VO_{2max} vs. VO_{2peak}) • Verschiedenheit der Indikatoren für Kraft und Ausdauerangaben • Absolute vs. prozentuale, Verbesserungen <p>Allgemeine Anmerkungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mangel an Längsschnittstudien • Mangel an Untersuchungen zu weiblichen Personen

2.5 Fazit: Forderungen an die Trainierbarkeitsforschung

Die Kritik der Sekundärforschung hebt bislang vor allem auf die genannten methodischen Missstände ab. Die vorliegende Arbeit will einen anderen Aspekt in den Blickpunkt rücken: die mangelnde theoretische Durchdringung des Gegenstandes Trainierbarkeit, welche als zentrale Ursache vieler methodischer Probleme und Ungenauigkeiten verantwortlich zu machen ist.

Von dieser Prämisse ausgehend ergeben sich im Einzelnen folgende Kritikpunkte, welche wiederum in entsprechende Forderungen an die zukünftige Trainierbarkeitsforschung münden:

- *Eindimensionalität des Trainierbarkeitskonstruktes – Begriffs- und Operationalisierungsvielfalt:* Die Definitionen zur Trainierbarkeit spiegeln in ihrer Gesamtheit ein unpräzises und theoretisch wenig fundiertes Trainierbarkeitsverständnis wider. Dies wirkt sich dahingehend aus, dass auch in der empirischen Forschung Definitionen, Erläuterungen und Abgrenzungen zentraler Begrifflichkeiten, wie Trainierbarkeit, Trainingseffekt, Belastbarkeit und Adaptationen, fehlen. Daraus resultieren Operationalisierungsprobleme bei der abhängigen Variable verbunden mit dem mangelnden Bewusstsein, dass die alternativen Vorgehensweisen nicht notwendigerweise dasselbe Konstrukt erfassen. Die fehlende Thematisierung und theoretisch-methodische Diskussion dieser Vielfalt deutet darauf hin, dass (implizit) von einem eindimensionalen Trainierbarkeitskonstrukt ausgegangen wird. Notwendig ist jedoch eine differenzierte, möglicherweise mehrdimensionale Definition von Trainierbarkeit, die die explizit und implizit vorhandenen Begrifflichkeiten der bisherigen Forschung einschließt und systematisch voneinander abgrenzt. Um die einzelnen Studien vor einem gemeinsamen Hintergrund inter-

pretieren zu können, darf der Trainierbarkeitsbegriff nicht grundsätzlich mit dem Trainingseffekt gleichgesetzt werden, der unter ganz spezifischen Bedingungen gemessen wird, sondern muss auf einer höheren Abstraktionsebene angesiedelt werden. Dimensionen der Trainierbarkeit müssen durch allgemeine Operationalisierungskonventionen präzisiert werden, damit eine enge Verzahnung von theoretischen Überlegungen und methodischen Ableitungen gewährleistet ist.

- *Einflussfaktoren vs. Störgrößen*: Unabhängig davon, welche Faktoren in welchem Ausmaß *Einfluss* auf den Trainingseffekt *nehmen*, ist bislang nicht geklärt, welche Faktoren *integrativer Bestandteil* des Trainierbarkeitsverständnisses sein sollen und welche als Störgrößen einer Kontrolle unterliegen müssen. Verdeutlicht werden kann diese Problematik am Beispiel des Trainingszustands: Ist der Trainingszustand ein Einflussfaktor auf die Trainierbarkeit oder stellt er eine Störgröße bei der Erfassung derselben dar? Ersteres würde bedeuten, dass sich die Trainierbarkeit in Abhängigkeit vom Trainingszustand ändert. Ein Hochleistungssportler ist nicht trainierbar, ein Untrainierter ist sehr gut trainierbar. Diese Aussagen widersprechen der Intuition, selbst wenn sie bei einer entsprechenden Definition von Trainierbarkeit durchaus korrekt sein können. Eingängiger mag es sein, Trainierbarkeit als überdauerndes Persönlichkeitsmerkmal zu betrachten, bei dessen Erfassung der Trainingszustand zwar kontrolliert werden muss, jedoch im Sinne einer Störgröße und nicht als Bestandteil des Konstruktes. Bislang ordnen unterschiedliche Bearbeiter die potentiellen Einflussfaktoren unterschiedlich ein, was Verwirrungen bezüglich des *Trainierbarkeitsbegriffs*, aber auch bezüglich der empirischen Befundlage hervorruft. Da sich viele Untersuchungen gleichzeitig auf die Ermittlung des Einflusses *einer einzelnen Variablen* beschränken (vgl. Tab. 5), führt die meist geringe Störgrößenkontrolle zu einer Erhöhung der Varianz. Auch die Möglichkeit von Interaktionseffekten zwischen Einflussfaktoren wird bislang vernachlässigt.
- *Konditionelle Fähigkeiten*: Bei der Operationalisierung konditioneller Fähigkeiten zeigt sich ein breites Spektrum. Dabei werden die Aussagen, die sich aus den einzelnen Messungen ergeben, häufig gleichgesetzt bzw. stehen unkommentiert nebeneinander. Meist fehlt die Begründung für die Wahl des Parameters sowie der Messtechnik und das Bewusstsein für darauf beruhende Unterschiede im Anpassungsverhalten. Nur selten findet eine Einordnung und Diskussion der Ergebnisse bezüglich des übergeordneten Konstruktes statt.

- *Reviewforschung*: Das Fehlen einer theoretischen Rahmenkonzeption macht sich auch in der Sekundärforschung bemerkbar. Dies gilt zum einen für die Ergebnisinterpretation und -diskussion, die im Allgemeinen im Review weitergeführt wird: Die Systematisierung der Studien(ergebnisse) erfolgt anhand von „gängigen“ Kriterienkatalogen (Geschlecht, Alter, Dauer, Intensität, Häufigkeit), ohne diesen ein theoretisches Modell zugrunde zu legen, das die Prüfung dieser Faktoren rechtfertigt und die Einteilung von Faktorstufen begründet. Eine theoretisch fundierte Systematik und ein darauf basierender Vergleich wurden bislang nicht vorgelegt. Entsprechend beschränkt sich auch die Kritik auf methodische (Detail-)Aspekte. Dass die Ursache vieler methodischer Probleme in der fehlenden theoretischen Basis liegen könnte, wurde bislang übersehen.

Daher ist für die Reviewforschung zu fordern, dass die Auswahl der Studien theoretisch begründet erfolgen, die Wahl der Analysemethode dem Erkenntnisziel angemessen sein und die Ergebnisse vor dem Hintergrund theoretischer Überlegungen neu interpretiert werden müssen. Dabei sind insbesondere auch Einsatzmöglichkeiten, Stärken und Schwächen verschiedener Reviewverfahren zu diskutieren, um auch in der befundintegrierenden Forschung eine sinnvolle Theorie-Methoden-Verzahnung zu gewährleisten.

Zusammenfassend muss die Entwicklung und Etablierung eines theoretisch-methodischen Rahmenkonzeptes als zentrale Forderung für die weitere Auseinandersetzung mit der Thematik Trainierbarkeit gelten. Ein solches Konzept muss Leitlinien für die empirische Bearbeitung der Thematik bereitstellen, welche wiederum in Einzelstudien in Form von Teiltheorien weiterentwickelt und geprüft werden können. Damit stehen empirische Studien nicht mehr zusammenhangslos nebeneinander, sondern können mit ihren Fragestellungen, Methoden und Ergebnissen im Gesamtkonzept verortet werden und so zu dessen Präzisierung beitragen.

3 Theoretische Überlegungen: Modellierung von Dimensionen und Determinanten der Trainierbarkeit

3.1 Disziplinäre und theoretische Perspektiven auf den Gegenstand

Die Suche nach einem geeigneten theoretischen Bezugsrahmen zeigt, dass der Gegenstand Trainierbarkeit in verschiedenen sportwissenschaftlichen Teildisziplinen verankert ist, deren *Bezug zur Thematik* wie folgt beschrieben werden kann:

- *Trainingswissenschaft*: In der Trainingswissenschaft werden Modelle entwickelt, mit denen auf morphologisch-physiologischer Ebene Anpassungsprozesse an ein systematisches sportliches Training beschrieben und erklärt werden, um in diesem Zuge vornehmlich den leistungsorientierten Trainingsprozess zu optimieren (z.B. Mader, 1990; Mester & Perl, 2000; Tschiene, z.B. 1993, 1996a, 1996b, 1997; Verchoshanskij, 1988; Verchoshanskij, 1991; Verchoshanskij & Viru 1990; Viru, 1993).
- *Motorikforschung*: Im Rahmen der Motorikforschung interessiert die differentielle und altersabhängige Trainierbarkeit. Mit der fähigkeits- und damit konstruktorientierten Betrachtungsweise wird dabei meist die Perspektive der Psychologie eingenommen. Erklärungsansätze entstammen jedoch weitgehend biologischen Theorien (vgl. Baur et al., 1994; Meinel & Schnabel, 2004; Roth, 1999). In aktuellen Arbeiten werden zunehmend die Leitorientierungen der „Lebensspannenpsychologie“, im Besonderen das Konzept der Plastizität zugrunde gelegt, wodurch neue Perspektiven für die theoretisch-methodische Auseinandersetzung eröffnet werden (Baltes, 1987, 1990; Conzelmann, 1999; Willimczik & Conzelmann, 1999).
- *Sportmedizin*: Die sportmedizinische Forschung erhebt physiologische und anatomische Leistungsdeterminanten und versucht Zusammenhänge zwischen Geschlecht, Alter, Trainingsdaten und physiologischen bzw. pathologischen Befunden herzustellen, um daraus einerseits Möglichkeiten der Prävention und Rehabilitation abzuleiten, andererseits aber auch die Auswirkungen eines leistungsorientierten Trainings zu erfassen.
- *Genetik*: Die Genetikforschung analysiert den Gegenstand Trainierbarkeit zum einen anhand der klassischen Verfahren der Familien- und Zwillingsforschung, zum anderen kommen in den letzten Jahren vermehrt molekularbiologische Technologien zum Einsatz.

Die dargestellten Forschungszweige bedienen sich zweier verschiedener *disziplinärer Zugänge*: dem am Innenaspekt orientierten biologisch-physiologischen Zugang, der konkrete biologische Strukturen und Ablaufmechanismen betrachtet, und dem außenorientierten psychologischen Zugang, der sich der Thematik auf der Grundlage latenter Konstrukte annähert (vgl. Abb. 4).

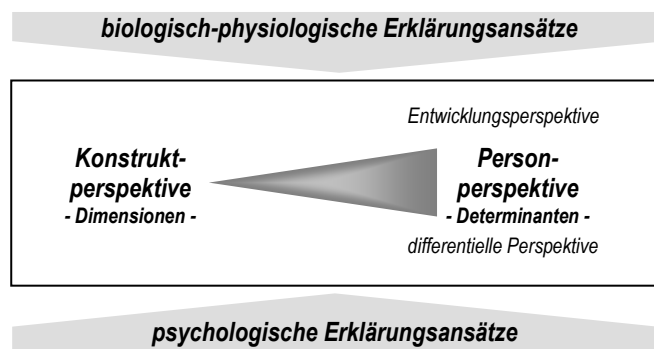


Abb. 4 Disziplinäre und theoretische Einordnung des Gegenstandes Trainierbarkeit

Im Hinblick auf die Ausgangsfragestellungen der Arbeit lässt sich der Gegenstand Trainierbarkeit weiterhin in einem Dreieck aus drei theoretischen Perspektiven ansiedeln: In einer ersten Differenzierung lässt sich die *Konstruktperspektive* mit der Dimensionalitätsfrage von der *Personperspektive* mit der Betrachtung der Determinanten abgrenzen. Letztere kann weiter differenziert werden in die *Entwicklungsperspektive*, welche den Veränderungsaspekt betrachtet und die *differentielle Perspektive*, welche interindividuelle Unterschiede in den Vordergrund rückt. Auch wenn sich die hier verwendeten Begrifflichkeiten an der Psychologie orientieren, können diese theoretischen Perspektiven sowohl aus psychologischer Sicht als auch aus physiologischer Sicht bearbeitet werden:

- *Zur Dimensionierung von Konstrukten*: Die Dimensionierung von Konstrukten ist ein zentrales Forschungsinteresse der psychologischen Persönlichkeitsforschung. Der Zugang zu Dimensionen der Motorik kann allerdings auf der Basis physiologischer Korrelate erfolgen (Roth, 1999; vgl. 3.3.1). Einen wichtigen Beitrag leisten außerdem Erkenntnisse der (differentiellen) Genetik.
- *Entwicklungsperspektive oder der Veränderungsaspekt*: Für die Analyse des Einflussfaktors Alter im Zusammenhang mit dem Konzept der Plastizität ist die Orientierung an psychologischen Konzepten zur Persönlichkeitsentwicklung naheliegend. Es erscheint jedoch angebracht, biologische Betrachtungen zu Rei-

fungs- und Alternsprozessen hinzuzuziehen, da die biologische Adaptationsfähigkeit die physiologische Basis der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten ist.

- *Die differentielle Perspektive oder der Unterschiedsaspekt:* Von herausragender Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Frage nach der Geschlechtsspezifität, doch sind auch individuelle oder rassenspezifische Aspekte zu diskutieren. Der Beitrag, den die differentielle Psychologie in diesem Zusammenhang leisten kann, ist eher als gering einzuschätzen. Als bedeutsam sind hingegen physiologische Erkenntnisse zu erachten.

Die Ausführungen zeigen, dass für eine umfassende, differenzierte und systematische Gegenstandsbeschreibung ein interdisziplinärer Zugang unabdingbar ist. Ein solches Vorgehen ist jedoch auch aus wissenschafts- und methodentheoretischer Sicht zu legitimieren (vgl. zu den folgenden Ausführungen auch Conzelmann, 2001): Bronfenbrenner (2001, S. IX; vgl. auch Geulen, 1987) stellt im Zusammenhang mit Entwicklungsfragen fest, dass sich eine allmähliche Angleichung der Psychologie, Soziologie und Biologie hinsichtlich grundlegender theoretischer Annahmen zur Beschreibung und Erklärung der menschlichen Ontogenese bemerkbar macht („convergence and isomorphism“). Diesem Trend wurde mit der Begründung der interdisziplinären Entwicklungswissenschaft Rechenschaft getragen („Developmental Science“; vgl. Cairns et al., 2001). Für die Frage der motorischen Entwicklung, in deren Zusammenhang schon seit jeher auf physiologische Erklärungen zurückgegriffen wird, ist vor allem die in den 1990er Jahren stattfindende Erweiterung der psychosozialen zu einer bio-psycho-sozialen Perspektive bedeutsam (vgl. Gariépy, 2001, S. 88). Die Annahme von bidirektionalen Wechselwirkungen zwischen individuellem Handeln und Umwelt wird dabei auf eine Gen-Umwelt-Wechselwirkung ausgeweitet. Damit lassen sich die konzeptuellen Überlegungen, wie sie in psychologischen Entwicklungsmodellen verankert sind, mit physiologischen Erklärungsansätzen der Entwicklung verknüpfen.

In der Sportwissenschaft findet sich die Anwendung einer bio-psychologischen Perspektive bei Roth (1999), der motorische Konstrukte als „Mittler oder Bindeglieder ... zwischen den beobachtbaren Leistungsdifferenzen ... und den Theorien über die verhaltensrelevanten Voraussetzungen“ bezeichnet und damit die psychologische Außenperspektive – repräsentiert zum Beispiel durch Ergebnisse motorischer Tests – mit Erkenntnissen der Physiologie und Anatomie verknüpft (näher dazu in 3.3.2).

Angesichts der Zielsetzung, eine erste Modellierung von Dimensionseigenschaften eines bislang unzureichend differenzierten Konstruktes vorzunehmen, hat die vorliegende Studie explorativen Charakter. Eine strenge Hypothesenherleitung und -prüfung zu verfolgen und Forschungsergebnisse „im Sinne schärfster Erkenntnis“ hervorzubringen, wie es nach Heckhausen (1987, S. 139) nur „monodisziplinär im Hinblick auf das theoretische Integrationsniveau des gewählten Fachs“ möglich ist, ist daher kein vorrangiges Interesse. Damit ist die Verknüpfung der physiologischen und psychologischen Perspektive legitim.

Um dennoch nicht dem Vorwurf der „Chimären-Disziplinarität“ (Heckhausen, 1987, S. 139) ausgesetzt zu sein, ist es erforderlich, die Erkenntnisse bei der abschließenden Modellierung in eine einheitliche Perspektive zusammenzuführen. Dazu wird die Ebene der Psychologie gewählt. Diese Entscheidung begründet sich zum einen darauf, dass als übergeordnetes Rahmenkonzept das „Forschungsprogramm Motorische Entwicklung“ mit der Leitorientierung der Plastizität fungiert (vgl. 3.2.1). Zum anderen ermöglicht diese Betrachtungsebene die problemlose Integration der Dimensionsanalyse, der Entwicklungsfragestellung und der differentiellen Fragestellung.

Nach welcher Systematik wird im Weiteren bei der Zusammenführung der Erkenntnisse verschiedener Disziplinen und Theorien vorgegangen?

Den theoretischen Ansatzpunkt für die Trainierbarkeitsfrage bildet in der Psychologie die Entwicklungsthematik mit dem Konzept der Plastizität, in der Physiologie die Frage nach der biologischen Adaptation. In 3.2 wird daher zunächst die Einordnung der Trainierbarkeitsfrage in diese theoretischen Konzeptionen vorgenommen und es werden die jeweiligen Implikationen in Bezug auf den Gegenstand Trainierbarkeit sowie offene Fragestellungen dargelegt. In zwei weiteren Schritten werden theoretische Überlegungen zur Dimensionalität (3.3) und zu den Determinanten (3.4) des Konstruktes Trainierbarkeit jeweils in Integration der Erkenntnisse beider Disziplinen angestellt.

3.2 Verortung der Thematik

3.2.1 Trainierbarkeit vor dem Hintergrund entwicklungstheoretischer Ansätze

Mit der Lebensspannenpsychologie (Life-Span Developmental Psychology) hat sich in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten ein neues Rahmenkonzept für Entwicklungsfragen etabliert (vgl. Baltes, 1987, 1990). Auch wenn Baltes (1987) angesichts der gegenwärtigen Forschungslage nahe legt, bei der Entwicklungspsychologie der Lebensspanne eher von einer theoretischen Perspektive als von einer integrativen Theorie zu sprechen, ist es als zentrale Leistung des Ansatzes zu würdigen, die Tendenzen der modernen Entwicklungspsychologie zu einem Gesamtkonzept zusammengefasst zu haben. Die Implikationen des Ansatzes kommen in sieben Leitorientierungen zum Ausdruck:¹¹ (1) *Lebenslange Entwicklung*: Entwicklung ist ein lebenslanger Prozess und nicht mit dem Erreichen der biologischen Reifung abgeschlossen. (2) *Multidirektionalität*: Die Entwicklungen verschiedener Persönlichkeitsbereiche verlaufen nicht notwendigerweise gleichsinnig. (3) *Gewinn und Verlust*: Entwicklung kann positiv und negativ gerichtet sein. (4) *Plastizität*: Entwicklung ist durch exogene Einflüsse modifizierbar. (5) *Historische Einbettung*: Entwicklung ist im Kontext historisch-kultureller Ereignisse zu betrachten. (6) *Kontextualismus*: Entwicklung vollzieht sich in einer Wechselwirkung von altersbedingten, geschichtlich bedingten und nichtnormativen Entwicklungseinflüssen. (7) *Interdisziplinarität*: Die Betrachtung individueller Entwicklungsverläufe macht die Einnahme einer interdisziplinären Perspektive notwendig.

Das Forschungsprogramm „Motorische Entwicklung“, welches Willimczik und Conzelmann (1999) begründet haben, überträgt die Implikationen der Lebensspannenpsychologie auf den motorischen Persönlichkeitsbereich und bildet damit ein Rahmenkonzept für Fragestellungen zur motorischen Entwicklung (vgl. Tab. 6).

¹¹ 1998 wurden die Leitorientierungen von Baltes et al. in einem „Update“ geringfügig umstrukturiert und erweitert. Da es sich dabei um keine für die vorliegende Arbeit relevanten Veränderungen handelt, wird hier die ursprüngliche Fassung, an die sich das Forschungsprogramm „Motorische Entwicklung“ (Willimczik & Conzelmann, 1999) anlehnt, präsentiert.

Tab. 6 Annahmenkern zum Forschungsprogramm „Motorische Entwicklung“ (nach Willimczik & Conzelmann, 1999, S. 64)

Leitorientierung	Annahme
Motorische Entwicklung als lebenslanger Prozess	Die menschliche Motorik verändert sich ein Leben lang, entsprechend ist sie über die Lebensspanne hin zu betrachten. Keiner Altersstufe aus diesem Kontinuum kommt eine Vorrangstellung zu.
Motorische Entwicklung als Gewinn und Verlust	Motorische Entwicklung wird als Veränderung des Verhaltens und der Verhaltensmöglichkeiten im motorischen Persönlichkeitsbereich über die Zeit verstanden. Sie orientiert sich am Lebensalter. Veränderungen können sowohl positiv (Zunahme, Wachstum, Gewinn) als auch negativ (Abnahme, Abbau, Verlust) in Erscheinung treten.
Einflussssysteme auf die motorische Entwicklung (Kontextualismus)	Die Einflussfaktoren auf die motorische Entwicklung lassen sich einerseits in endogene und exogene und andererseits in altersbezogene, geschichtliche und nicht-normative Entwicklungseinflüsse differenzieren. Die endogenen Einflüsse umfassen die anlagebedingten Person-Merkmale, die exogenen die Umwelt i.e.S. Die altersbezogenen Einflussgrößen gehen auf biologisch vorgegebene (endogen) und von außen an das Individuum herangetragene Erwartungen, z.B. Rollen (exogen), zurück. Die geschichtlichen Einflüsse umschließen den historischen Wandel von Gesellschaft und Kultur. Als nicht-normativ werden alle exogenen Faktoren bezeichnet, die nicht kalkulierbar sind und keine besondere Bindung an den Lebenszyklus oder die historische Zeit aufweisen.
Multidirektionale Entwicklung motorischer Persönlichkeitsmerkmale	Die einzelnen motorischen Merkmale (Fähigkeiten, Fertigkeiten) entwickeln sich multidirektional. Dies bedeutet, dass der Grad der Zunahme bzw. Abnahme zwischen und innerhalb der motorischen Merkmale in den einzelnen Entwicklungsabschnitten (sehr) unterschiedlich, im Extremfall gegenläufig sein kann.
Plastizität der motorischen Entwicklung	Die motorische Entwicklung in der Lebensspanne ist durch eine hohe intra-individuelle Plastizität (Veränderbarkeit innerhalb einer Person) gekennzeichnet. Entsprechend kommt dem Aspekt der Modifizierbarkeit motorischer Entwicklungsverläufe durch die Variation exogener Bedingungen eine große Bedeutung zu.
Einflussfaktoren auf die motorische Entwicklung	Die für die motorische Entwicklung relevanten endogenen und exogenen Einflussgrößen können in direkte und indirekte Faktoren unterschieden werden. Direkte Einflussgrößen – z.B. auf Kraft und Ausdauer – können körperliche Belastungen in Beruf, Alltag und Training sein oder aber biologische Reifungs- bzw. Altersprozesse; als indirekt anzusehen sind Persönlichkeitsmerkmale (z.B. die Motivdisposition) und das soziale Umfeld (z.B. Freundeskreis), die Einfluss auf die direkten Faktoren (z.B. Teilnahme an einem Training) nehmen können. Sowohl zwischen den indirekten als auch zwischen den indirekten und den direkten Einflussgrößen ist eine Interaktion anzunehmen. In einer weiteren Differenzierung der exogenen Faktoren auf die motorische Entwicklung kann zwischen intentionalen und nicht-intentionalen unterschieden werden. Intentional zustande kommen vor allem die Anpassungserscheinungen, die auf Belastungen zurückzuführen sind, wie sie in Trainingsprozessen gesetzt werden, sowie das (sport-)motorische Fertigkeitenrepertoire, das auf gezielte Lernprozesse in Schule und Verein zurückgeht. Nicht-intentional wirken vor allem die Alltagsbelastungen und Alltagserfahrungen im weiten Sinne.

Dem Konzept der Plastizität, welchem die Trainierbarkeitsfrage zuzuordnen ist (vgl. Conzelmann, 1999), kommt unter der Lebensspannenperspektive eine besondere Bedeutung zu: „The life-span view of human development emphasizes the potential for change across life. As such, plasticity is a key idea in this perspective“ (Lerner, 1984, S. 146). Entsprechend war es in den letzten Jahren auch in der Sportwissenschaft Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (z.B. Conzelmann, 2001; Okonek, 2000; Tittlbach, 2002; Voelcker-Rehage & Wiertz, 2004; Wollny, 2002). *Plastizität* bezeichnet dabei „die intraindividuelle Variabilität und (...) [damit] das Potential, das Individuen zu verschiedenen Verhaltensformen und Entwicklungsverläufen befähigt“ (z.B. Baltes, 1990, S. 11). Obwohl das Konzept der Plastizität lebender Organismen nicht neu ist (vgl. Baldwin & Poulton, 1902), wurde es erst mit der Einnahme der Lebensspannenperspektive zu einem zentralen Paradigma entwicklungspsychologi-

scher Forschung. Die Erkenntnis, dass „auch im Alter ein beträchtliches Maß an Kapazitätsreserve, an Plastizität, vorhanden ist“, führte dazu, dass sich „der Schwerpunkt (...) vom Plastizitätsnachweis als solchem auf eine Strategie verlagert, die die Grenzen der Entwicklungsplastizität aufzuzeigen versucht“ (Baltes, 1990, S. 12).

Der von Baltes verwendete Begriff „Entwicklungsplastizität“ macht deutlich, wie eng Begrifflichkeiten und theoretische Vorstellungen der Konzepte *Entwicklung* und *Plastizität* zusammenhängen. Während die Entwicklungsthematik jedoch auf eine lange Forschungstradition zurückblicken kann und in theoretischer Hinsicht bereits sehr gut (wenn auch nicht hinreichend) ausdifferenzierte Theorien vorliegen, hat das Konzept der Plastizität in der Vergangenheit kaum eine Präzisierung erfahren, die über die oben angeführte Definition hinausgeht. Andererseits liegen entwicklungstheoretischen Ansätzen meist implizite Annahmen bezüglich der Plastizität zugrunde. Im Folgenden sollen daher grundlegende entwicklungstheoretische Annahmen vorgestellt und hinsichtlich ihrer begrifflichen, theoretischen und methodischen Implikationen für die Plastizitätsthematik diskutiert werden.

Der psychologische *Entwicklungsbegriff* bezieht sich auf Veränderungen des Verhaltens, der Verhaltensmöglichkeiten und des Erlebens über die Zeit, orientiert am Lebensalter (vgl. Thomae, 1959). Es geht also um *intraindividuelle* Veränderungen im Lebensverlauf. Entwicklung vollzieht sich im biologischen und (sozial)psychologischen Persönlichkeitsbereich und umfasst qualitative und quantitative Veränderungen positiv und negativ gerichteter Art (z.B. Flammer, 2003). Übergeordnetes Ziel der Entwicklungsforschung ist es, Entwicklungsverläufe zu beschreiben, erklären und vorherzusagen (z.B. Montada, 2002).

Für eine Abgrenzung vom Plastizitätskonzept reicht diese allgemeine Definition von Entwicklung nicht aus. Ein Konzept, das sich sowohl aufgrund seiner Strukturmerkmale als auch aufgrund der Einbeziehung biologischer Grundannahmen für die Analyse der Plastizitätsthematik im Rahmen der vorliegenden Arbeit eignet, stammt von Meissner-Pöthig (1988). Sie beschreibt Entwicklung als einen Prozess, der ontogenetische und epigenetische Anteile enthält (vgl. Abb. 5): Der individuelle Genotyp wird in Abhängigkeit vom Wirkungsgrad der beiden Anteile zu jedem Zeitpunkt in einem spezifischen Phänotyp (Ausprägungsgrad seiner Persönlichkeitsmerkmale) ma-

nifest. Dabei stellt der ontogenetische Entwicklungsanteil eine Person-Zeit-Beziehung dar und entspricht dem genetisch determinierten Alternsprozess.¹² Demgegenüber ist der epigenetische Anteil eine Person-Umwelt-Beziehung und äußert sich in Lern- und Adaptationsprozessen, die (schematisch betrachtet) orthogonal zum biologischen Alterungsprozess verlaufen. Die Person-Umwelt-Beziehung bildet die Grundlage des Plastizitätskonzepts. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei der Trainierbarkeitsfrage um einen Sonderfall einer „Person-Umwelt-Beziehung“ handelt: Der Umweltreiz (die objektiv angestrebte Belastung) muss von der Person *aktiv* umgesetzt werden, um tatsächlich als Stimulus (Beanspruchung) wirksam werden zu können. Damit ist die Intensität des Stimulus durch das aktuelle Leistungspotential der Person limitiert. Biologisch betrachtet verursacht der Organismus als Gesamtsystem stimulierende Reize für einzelne Teilsysteme.

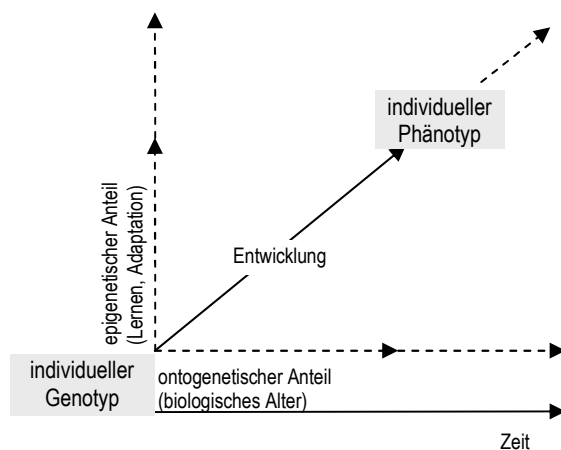


Abb. 5 Modell zur Differenzierung von Entwicklung (leicht modifiziert nach Meissner-Pöthig, 1988, S. 347).

Wie sind ontogenetische und epigenetische Prozesse verknüpft? Antworten auf diese Frage wurden im Laufe des vergangenen Jahrhunderts in verschiedenen Entwicklungskonzepten zu den *Ursachen der Individualentwicklung* modelliert (z.B. Asendorpf, 2004; Flammer, 2003; Lerner, 2002). Die wesentlichen Konzepte dieser auch als Anlage-Umwelt-Kontroverse bezeichneten Diskussion seien im Folgenden

¹² Meissner-Pöthig (1988) verwendet im Original den Begriff des „Biosystems“ statt dem hier verwendeten Terminus „Person“. Sie verweist jedoch darauf, dass sich der Begriff auf „den Sachverhalt des Lebenden sowohl im Sinne des physischen (biologischen) als auch des psychosozialen“ bezieht (S. 343). Eine Ersetzung durch den in der Entwicklungspsychologie gebräuchlicheren Begriff erscheint daher legitim.

skizziert, wobei aufzuzeigen ist, welche Aussagen zur Plastizität damit jeweils verbunden sind. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Darstellung der Entwicklungstheorien in der Sekundärliteratur in Abweichung vom Original häufig einseitig verabsolutierend erfolgt, was insbesondere Konsequenzen für die Plastizitätsfrage hat (vgl. Willimczik, 1993). Die folgenden Ausführungen erfolgen in Anlehnung an Asendorpf (2004, S. 86), der eine differenziertere (und damit gleichzeitig moderatere) Perspektive vertritt:

- Modelle der *Umweltdetermination*, auch als exogenistische Entwicklungstheorien bezeichnet, sehen Umweltbedingungen als Hauptursache von Entwicklungsprozessen an. Der Mensch reagiert passiv, die Reaktion ist erklärbar durch den Umweltstimulus sowie die (umweltbedingte) Lerngeschichte: „Die Entwicklung ist umweltdeterminierte Lerngeschichte: Was und wie gelernt wird, hängt von den Gelegenheiten, Erwartungen und Anforderungen der Umwelt ab. Lernen (als Verhaltensanpassung) und Entwicklung sind identisch“ (Baur, 1994, S. 38-39).
- *Entfaltungsmodelle* oder endogenistische Entwicklungstheorien interpretieren Entwicklung primär als genetisch programmierten Prozess, der lediglich vorübergehend von Umwelteinflüssen überlagert werden kann. Es handelt sich damit um ein Modell der genetischen Determination, das heißt, langfristig setzt sich das genetische Programm durch. Umwelteinflüsse haben demnach über den Zeitraum ihrer Einwirkung hinaus nur begrenzte und reversible Wirkungen, die bei Wegfallen vollständig durch das genetisch vorgegebene Programm kompensiert werden. Dieses Modell wird heutzutage – genauso wie das Modell der Umweltdetermination – im Allgemeinen als überholt betrachtet. Jedoch besteht die Vermutung, dass es im Bereich biologischer Variablen Gültigkeit teilweise besitzen könnte (vgl. Asendorpf, 2004, S. 85).
- In Modellen der *Kodetermination* werden exogenistische und endogenistische Ansätze miteinander verknüpft: Es wird angenommen, dass Umweltwirkungen genetisch gesteuerte Reifungsprogramme beeinflussen können und damit langfristig Änderungen der Entwicklung hervorrufen können. In diesem Sinne hat – wie bereits im Modell der Umweltdetermination – die Lerngeschichte einen entscheidenden Einfluss auf die weitere Entwicklung. Doch hängt die weitere Entwicklung nicht ausschließlich von Umwelteinflüssen ab, sondern genetische Wirkungen haben auch zu späteren Zeitpunkten noch Gültigkeit.

- Die *dynamisch-interaktionistische Entwicklungskonzeption* stellt die derzeit favorisierte Entwicklungskonzeption dar. Hier wird die *aktive* Rolle der Person im Sinne der *Gestaltung der eigenen Entwicklung* hervorgehoben, indem davon ausgegangen wird, dass das Individuum gezielt auf seine Umwelt einwirken bzw. diese auswählen kann. Gleichzeitig wird die Einflussnahme der Umwelt auf die Person geltend gemacht. Daraus resultiert die Annahme einer langfristigen und dynamischen Wechselbeziehung zwischen endogenen und exogenen Einflüssen. Dem hohen Erklärungswert, der dieser Theorie in der modernen Entwicklungspsychologie zugesprochen wird, steht jedoch ein ebenso hoher Abstraktheits- und Komplexitätsgrad gegenüber, dem in der empirischen Umsetzung praktisch nicht entsprochen werden kann (vgl. Conzelmann, 2001, S. 103-106).

Die Zunahme der Komplexität, die Entwicklungsmodelle im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklungsdebatte erfahren haben und die mit der Annahme der dynamisch-interaktionistischen Entwicklungskonzeption einen (vorläufigen) Höhepunkt erreicht haben dürfte, kann als Hinweis gelten, dass auch das Konzept der Plastizität in theoretischer Hinsicht komplex und empirisch schwer zu erfassen ist. Entsprechend formuliert Wachs (1986, S. 163) im Zusammenhang mit dem Plastizitätskonzept: „We are a long way from a ‚unified field theory‘.“ Und fordert: „What may be needed is not less complexity, but rather more complex models, encompassing not only the complexity of the environment, but also the types of individual-difference factors that mediate reactivity to the environment“. Da der Plastizitätsbegriff bis heute unterschiedlich verwendet wird, wobei keine Systematik erkennbar ist, ist eine theoretisch-methodische Präzisierung und Differenzierung dringend erforderlich: „There is so much disagreement about the term because its users give different weights to the issues of environmental influences and individual differences and may confuse the two“ (Scholnick, 1986, S. 131).

Die Problematik im Zusammenhang mit der theoretischen Konzeptualisierung sowie der empirischen Erfassung der Plastizität im Lebenslauf lässt sich in folgenden Punkten zusammenfassen (vgl. dazu auch Kapitel 4):

- *Konfundierung von endogen bedingten (ontogenetischen) und exogen bedingten (epigenetischen) Veränderungen*: Plastizität bezieht sich auf den epigenetischen Anteil von Entwicklungsprozessen. Eine isolierte Betrachtung der Epigenese widerspricht jedoch der Grundidee des dynamisch-interaktionistischen Ansatzes

und ist daher (in Abhängigkeit vom betrachteten Merkmal) nur mit Einschränkungen möglich.

- *Inter- und intraindividuelle Unterschiede in der Reaktionsweise:* Die Anpassung an einen Umweltreiz ist aufgrund des Einflusses der Genetik, des Alters und der Erfahrung zwischen Personen unterschiedlich und im Verlaufe des Lebens Änderungen unterworfen. Diese Faktoren sowie Interaktionen und Konfundierungen sind bei Untersuchungen zur Plastizität zu berücksichtigen.
- *Kumulierung exogener Einflussfaktoren:* Interessiert die Frage nach der Auswirkung von Umwelteinflüssen auf ein Persönlichkeitsmerkmal ist zu berücksichtigen, dass es in zweifacher Hinsicht zu Kumulierungen kommen kann. (a) *Kumulierte Wirkung mehrerer Einflussfaktoren:* Ein Persönlichkeitsmerkmal kann mit mehreren exogenen Faktoren in Wechselwirkung treten. Auch bei der Möglichkeit des Ausschlusses von endogenen Veränderungsprozessen ist eine eindeutige (quantifizierende) Ursache-Wirkungs-Aussage meist nicht möglich. Stattdessen sind mehrfaktorielle Modellierungen notwendig. (b) *Zeitliche Kumulierung von Einflüssen:* Über die Nachhaltigkeit und Reversibilität von Umwelteinwirkungen auf einzelne Persönlichkeitsmerkmale ist wenig bekannt. Zu der kumulativen Wirkung mehrerer Einflussfaktoren gesellt sich – wenn man von irreversiblen Einflüssen ausgeht – die kumulative Wirkung über die Zeit hinweg, so dass im Speziellen der Verlauf von Entwicklung im jeweiligen Kontext diskutiert werden muss.

Wie kann das Konstrukt Plastizität erschlossen und ausdifferenziert werden? Da es um die Veränderbarkeit von Persönlichkeitsmerkmalen geht und eine statusorientierte Betrachtung keinerlei Möglichkeiten hat, den genannten Problemen zu begegnen, bietet sich als Ausgangspunkt der Analyse eine *prozessorientierte* Betrachtung der epigenetischen Anpassung an. Davon ausgehend kann auf das *Potential*, als dem latenten Konstrukt, auf welches sich der Plastizitätsbegriff bezieht, geschlossen werden kann. Ordnet man die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten als Spezifikation der Plastizitätsfrage ein, bedeutet dies, dass eine Auseinandersetzung mit biologischen Adaptationsmechanismen stattfinden muss, um zu einer differenzierten Perspektive auf das Konstrukt Trainierbarkeit zu gelangen.

3.2.2 Trainierbarkeit als eine Frage der biologischen Adaptation

Im Folgenden sollen Begrifflichkeiten und Modelle der biologischen Adaptation diskutiert werden. Dabei ist zu prüfen, welche allgemeinen Aussagen sich für die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten ableiten lassen.

Israel (1999, S. 1) bezeichnet biologische Adaptationen als

„organismische Widerspiegelung von Anforderungen. Sie erfolgen gesetzmäßig; sie sind damit vorhersagbar, und es besteht ein kausaler Zusammenhang mit bestimmten Stimuli. (...) Adaptationen wirken grundsätzlich als stabilisierendes Moment, und sie vergrößern den Spielraum körperlicher Reaktionen.“

Zwei Formen der biologischen Adaptation sind im Weiteren von Relevanz: die epigenetische Adaptation und die metabolische Adaptation. Epigenetische Adaptationen lassen sich aus biologischer Sicht präzisieren als

„länger anhaltende, relativ stabile organismische Veränderungen, die darauf gerichtet sind, das innere Milieu bei wiederholten Anforderungen (...) aufrecht zu erhalten. Sie gehen mit mehr oder weniger ausgeprägten morphologischen Veränderungen (...), wie zum Beispiel Vermehrung (...) oder Vergrößerung (...) von Zellen, einher, die in einem gesetzmäßigen Zusammenhang mit funktionellen Veränderungen (...) stehen und die im Sinne des Adaptationsziels, z.B. der Leistungssteigerung durch Training, zweckmäßig sind“ (Israel, 1999, S. 2).¹³

Um epigenetische Adaptationen durch Sport handelt es sich beispielsweise beim Phänomen der Muskelhypertrophie und -atrophie, bei blutphysiologischen und stoffwechselphysiologischen Veränderungen sowie Veränderungen neuromotorischer Strukturen und Abläufe. Aufgrund der Tatsache, dass es zu strukturellen Veränderungen kommt, wird diese Form der Adaptation auch als *aktiv* oder *produktiv* bezeichnet (Mader, 1990; Meissner-Pöthig, 1988).

Bei der metabolischen Anpassung handelt es sich um

„akute, überwiegend funktionelle Umstellungen zur Bewältigung einer aktuellen Störung des inneren Gleichgewichts. Der Begriff metabol (...) kennzeichnet den Stimulus dieser Adaptationsform; aktuell gesteigerte Stoffwechsellansprüche lösen im Organismus zahlreiche akute Folgeaktionen aus (z.B. gesteigerte Herzschlag- und Atemfrequenz, erhöhte Sauerstoffaufnahme u.v.a.), die in ihrer Gesamtheit als metabolische Adaptation bezeichnet werden. Diese Adaptation an eine aktuelle Steigerung der Belastung bildet sich bei Wegfall des sie bewirkenden Reizes, also in der Wiederherstellungsphase, relativ schnell zurück“ (Israel, 1999, S. 3).

Welche Funktion erfüllt die metabolische Anpassung bei Einwirken eines Belastungsreizes? Festzuhalten ist, dass ihr in der Akutsituation eine kompensatorische Funktion

zukommt, während sie bei systematischer Inanspruchnahme (z.B. in einem sportlichen Training) Auslöser der epigenetischen Anpassung ist.¹⁴ Dabei ist zu fragen, wann und wie der Übergang realisiert wird. Der Zusammenhang zwischen metaboler und epigenetischer Anpassung lässt sich in folgenden Aussagen und Fragen zusammenfassen:

- *Zwischen der metabolen und der epigenetischen Anpassung besteht eine Wechselbeziehung.* Metabole Umstellungen sind die Voraussetzung für epigenetische Anpassungen, wobei nicht jede metabole Umstellung eine epigenetische Anpassung nach sich zieht. Dies bedeutet, dass eine Grenze existiert, an der der Organismus bei Belastung von einer kompensatorischen Reaktion (wie sie die metabole Anpassung darstellt) zu einer strukturaufbauenden Reaktion (wie sie bei der epigenetischen Anpassung gegeben ist) übergeht. Gleichzeitig determiniert und limitiert der epigenetische Adaptationszustand die Ausprägung metaboler Reaktionen. Unter welchen Voraussetzungen lösen metabole Umstellungsreaktionen epigenetische Anpassungsvorgänge aus? Wann reagiert ein Organismus kompensatorisch, wann strukturaufbauend?
- *Mit der Veränderung des Adaptationszustands geht eine Veränderung des Verhältnisses von metaboler zu epigenetischer Adaptabilität einher.* Beispielsweise steigt bei untrainierten Personen die Herzfrequenz während einer progressiven Belastung schneller an als bei trainierten Personen (Abb. 6). Dies heißt wiederum, dass mit zunehmendem Adaptationszustand die metabole Umstellungsfähigkeit zunimmt. Darin liegt vermutlich die Ursache der in Form einer Sättigungskurve verlaufenden Anpassung, die bei einem systematischen Training in Bezug auf konditionelle Fähigkeiten beobachtbar ist. Wie kann diese Wechselbeziehung differenziert werden? Wie wirkt sich die zunehmende metabole An-

¹³ Das Attribut „epigenetisch“ bezieht sich bei Israel (1999) auf denselben inhaltlichen Aspekt wie bei Meissner-Pöthig (1988), nämlich umweltbedingte Veränderungen. Während es sich bei der biologischen Adaptation jedoch um einen physiologischen Begriff handelt, stellt Meissner-Pöthig (1988) den Aspekt in einen entwicklungstheoretischen Zusammenhang.

¹⁴ Meissner-Pöthig (1988) stellt in diesem Zusammenhang die *produktive Beanspruchbarkeit* des Biosystems der *defensiven Beanspruchbarkeit* gegenüber: Produktive Beanspruchbarkeit entspricht weitgehend Israels Begriff der epigenetischen Anpassung und bezieht sich auf die Tatsache, dass der Organismus auf eine Belastung mit Umstrukturierungen reagiert. Defensive Beanspruchbarkeit bedeutet, dass Strukturen von solcher Stabilität sind, dass Veränderungen der Belastungsbedingungen toleriert werden können, ohne dass strukturelle Veränderungen des Organismus erforderlich sind.

passungsfähigkeit (Belastbarkeit) auf den epigenetischen Anpassungsverlauf aus?

- *Was bestimmt letztlich die Anpassungsgrenze?* Es ist anzunehmen, dass die Anpassungsgrenze unmittelbar aus der Veränderung des Verhältnisses zwischen metabolischer und epigenetischer Adaptabilität hervorgeht. Die genaue Bestimmung des Zusammenhangs steht noch aus.

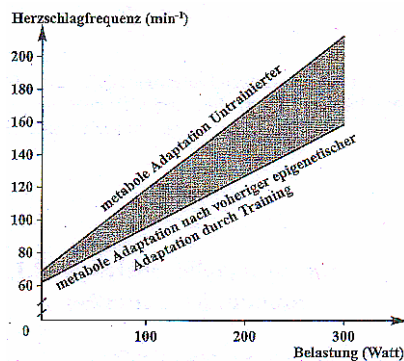


Abb. 6 Schematische Darstellung zum Zusammenhang von metabolischer und epigenetischer Reaktion (nach Israel, 1999, S. 3)

(Teil-)Antworten auf diese Fragen geben sportphysiologische Anpassungsmodelle, die in den vergangenen Jahrzehnten entwickelt wurden. Das traditionelle und bis heute grundlegende Modell ist das Superkompensationsmodell, das in den 1970er Jahren durch Jakowlew (z.B. 1972; 1977) bekannt wurde, der es wiederum auf Embden und Habs (1927) zurückführt. Trotz der in der Zwischenzeit geübten Kritik (vgl. Martin et al., 2001; Olivier, 2001, s.u.) finden sich die Grundannahmen auch in aktuell favorisierten Modellen wieder, die deshalb als Weiterentwicklung und Präzisierung des Superkompensationsmodell gelten können (Mader, 1990; Mester & Perl, 2000).

Das Superkompensationsmodell nach Jakowlew

Im Zentrum des Superkompensationsmodells steht die Annahme, dass der Organismus bestrebt ist, einen Zustand der *Homöostase* aufrecht zu erhalten, also ein dynamisches Gleichgewicht, bei dem sich aufbauende (anabole) und abbauende (katabole) Prozesse die Waage halten und die Konstanz des inneren Milieus gewährleistet ist. Dieses Bestreben führt zu aktiven Anpassungsprozessen, wenn durch Belastungsanforderungen Stoffwechselabläufe aus dem Gleichgewicht geraten, wobei es zunächst zu einer Steigerung des katabolen Stoffwechsels kommt. Der Zustand des metabolischen Ungleichgewichts wird als Heterostase bezeichnet. Der Superkompensationseffekt besteht darin, dass in der anschließenden Wiederherstellungsphase

Energiereserven und Stoffwechselaktivitäten nicht nur zum Ausgangsniveau zurückkehren, sondern dieses sogar überschreiten. Das trainingstheoretische Prinzip der progressiven Belastung leitet aus diesem Modell ab, dass der nächste Belastungsreiz noch in der Phase der Superkompensation gesetzt werden muss, so dass sich derselbe Prozess von einem höheren Niveau ausgehend wiederholen kann. Damit kann eine sukzessive Steigerung der Leistungsfähigkeit erreicht werden (vgl. z.B. Frey & Hildenbrandt, 2001; Hollmann & Hettinger, 2000; Martin et al., 2001).

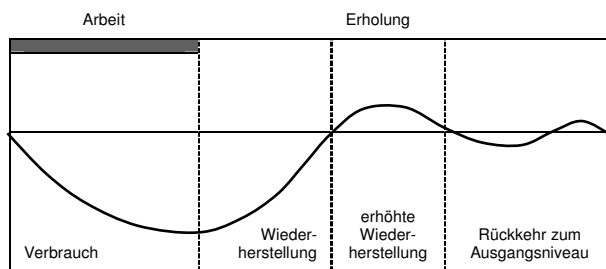


Abb. 7 Der Superkompensationseffekt

Olivier (2001) bündelt die Kritik am Superkompensationsmodell in vier Aspekte: (a) den *überzogenen Geltungsbereich*, der dem Modell zugesprochen wurde, nachdem Jakowlew diesen Effekt lediglich für den Glycogenhaushalt nachweisen konnte; (b) das *Ermüdungsproblem*, welches sich darauf bezieht, dass in Abhängigkeit vom Organsystem mit vermehrter *oder* verminderter Aktivität auf Belastungen reagiert wird; (c) das *Heterochronizitätsproblem*, da die zeitlichen Abläufe in verschiedenen Funktionssystemen sehr unterschiedlich sind, so dass mit diesem Modell keine Aussagen über den Verlauf der sportlichen Leistungsfähigkeit ableitbar sind; (d) das *Linearitäts- und Kontinuitätsproblem*, welches aufgrund seiner Bedeutsamkeit im Zusammenhang mit der Trainierbarkeitsfrage kurz skizziert werden soll: Das Superkompensationsmodell suggeriert die Möglichkeit einer unbegrenzten, linearen Leistungssteigerung, eine Annahme die weder theoretisch noch empirisch haltbar ist. Auch bei kontinuierlich ansteigender Trainingsbelastung ist es nicht möglich, (längerfristig) eine geradlinige Leistungsentwicklung zu erzielen, geschweige denn die Leistungssteigerung unendlich fortzusetzen. Stattdessen wird langfristig von einer Sättigungskurve in Bezug auf die Leistungsentwicklung ausgegangen, welche sich außerdem durch eine wellenförmige Mikrodynamik auszeichnet (vgl. Verchoshanskij, 1988; Verchoshanskij & Viru, 1990). Einige Autoren kritisieren in diesem Zusammenhang, dass dem Superkompensationsmodell kein (systematischer) Regelmechanis-

mus zugrunde liegt, der den langfristigen Adaptationsverlauf hinreichend erklären könnte (vgl. Mader, 1990; Verchoshanskij, 1988; Verchoshanskij & Viru, 1990).

Das Modell der aktiven Belastungsanpassung und Regulation der Proteinsynthese (Mader, 1990)

Ein weiterreichendes Modell stellt Mader (1990) zur Diskussion. Das Modell beruht ausschließlich auf Betrachtungen des Proteinmetabolismus¹⁵. Dabei wird die Proportionalität von Funktion und Masse vorausgesetzt, das heißt, eine Zu- oder Abnahme der Proteinmasse geht mit einem entsprechenden Gewinn bzw. Verlust der (*maximalen*) *Leistungsfähigkeit* einher. Eine Steigerung der *beobachtbaren Leistung* kann auf zwei verschiedene Ursachen zurückgeführt werden: (a) die Nutzung *aktueller Funktionsreserven* bei gegebener Proteinmasse (dies entspricht der metabolen Anpassung nach Israel, 1999); (b) die Nutzung von *Anpassungsreserven* im Sinne eines Aufbaus von Proteinmasse (dies entspricht der epigenetischen Anpassung nach Israel, 1999; vgl. auch Verchoshanskij, 1988; Verchoshanskij & Viru, 1990). Wann und wie kommt es jedoch zum Aufbau von Proteinmasse? Das Modell nimmt an, dass Belastung zu einem gegenüber dem Grundumsatz gesteigerten Proteinturnover führt. Als Regulationsprinzip wird dabei in Anlehnung an Meerson (1969) ein Aktivierungsfeedback-Mechanismus¹⁶ angenommen. Dies bedeutet, dass der Stimulus für die Steigerung der Proteinbiosynthese durch die höhere funktionale Belastung gegeben ist: Durch Verschleiß und Abbau entstehen spezifische Bruchstücke, die die Steigerung der Proteinsynthese stimulieren.

Folgende Effekte können mit dem Modell simuliert werden:

- *Superkompensationseffekt*: Nach anfänglichem belastungsbedingtem Abfall der Proteinmasse kommt es zu einer länger anhaltenden Steigerung der Proteinbildung mit einem ausgeprägten Überschwingen der Proteinmasse.
- *Umgekehrte U-Funktion der Anpassung*: Das Modell passt sich einer chronischen Steigerung der Belastung aktiv an, so lange sie unterhalb derjenigen liegt, die zur Ausschöpfung der *Anpassungsreserve* führt. Mit zunehmender Proteingrundmas-

¹⁵ Dies bedeutet jedoch nicht, dass sich dieses Modell lediglich für die Kraftentwicklung eignet. Da Proteine als Struktur- und Funktionsproteine auch für die Ausdauer eine wichtige Rolle spielen (Enzyme, Mitochondrien usw.), lassen sich hierzu ebenfalls Aussagen ableiten.

se verschlechtert sich dabei das Verhältnis von funktionaler Belastung und dem Anpassungsgewinn, so dass es zu einer Sättigungskurve kommt. Bei Erreichen des maximalen Hypertrophiegrades bleibt über eine gewisse Zeit eine hohe Belastbarkeit (im Sinne der Funktionskapazität) erhalten (Bereich der Überlast), allerdings bei abnehmender Proteingrundmasse. Diese bricht zunächst schleichend, dann beschleunigt zusammen, wobei es schließlich auch zu einem Abfall der Leistungsfähigkeit kommt.

- *Zeitlicher Erhalt des Adaptationszustands:* Bei einer Verringerung der chronischen Belastung, bleibt der Bestand der Proteinmasse noch über einige Zeit erhalten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die mRNA-Moleküle, welche ein wichtiges Zwischenprodukt der Proteinbiosynthese darstellen, eine hohe Halbwertszeit haben. Das heißt, solange diese Moleküle in der Zelle vorhanden sind, wird weiterhin Protein aufgebaut, auch wenn kein Belastungsreiz mehr wirksam wird.

Ein weiterer theoretischer Hinweis des Modells gilt der Steigerung der Proteinsynthese durch moderierende Faktoren: Die Wirkung von Testosteronen oder Östrogenen wird damit erklärt, dass diese mit den Proteinbruchstücken einen Komplex bilden, welcher eine Steigerung der Transkriptionsaktivität zur Folge hat. Funktionale Belastung ist damit zwar die primäre Ursache für Anpassung, jedoch nicht allein determinierend.

Maders Modell reicht im Präzisionsgrad und Erklärungsgehalt über das Superkompensationsmodell hinaus. Insbesondere stellt es für den Proteinmetabolismus den Zusammenhang von metaboler und epigenetischer Anpassung her. Dennoch bleiben unter anderem folgende Fragen offen:

- Wie beim Superkompensationsmodell wird eine kontinuierliche Leistungssteigerung suggeriert. Solange der Organismus die Anpassungskapazität nicht ausgeschöpft hat, ist – bei chronischer Belastungssteigerung – nicht mit (temporären) Verlusten der Leistungsfähigkeit zu rechnen. Dies widerspricht der Beobachtung von wellenförmigen Anpassungsverläufen.

¹⁶ Eine alternative Möglichkeit wäre beispielsweise ein negativer Feedback-Mechanismus, bei dem die Proteinneubildung durch den zunehmenden Proteingehalt gehemmt würde.

- Die Frage, was die (individuelle) Anpassungskapazität letztlich determiniert, wird mit dem Hinweis auf eine genetisch begrenzte Proteinbildungskapazität nur vage beantwortet. Der Zusammenhang von Funktionskapazität und Anpassungskapazität (und damit metaboler und epigenetischer Anpassung) im Grenzbereich der Anpassungskapazität ist damit noch nicht hinreichend beantwortet.
- Das Modell beruht ausschließlich auf Betrachtungen des Proteinmetabolismus. Auch wenn dieser unter Berücksichtigung von Struktur- und Funktionsproteinen, die Grundlage jeglichen Stoffwechsels darstellt, ist der Zusammenhang zu weiteren Stoffwechselprodukten und damit der komplexen organismischen Leistungsfähigkeit zu diskutieren.

LeiPot-Metamodell (Mester & Perl, 2000)

Ein ergänzendes Modell legen schließlich Mester und Perl (2000) mit dem LeiPot-Metamodell¹⁷ vor (vgl. Abb. 8): Zentrales Strukturelement dieses Metamodells ist ein variables Leistungspotential, das in Abhängigkeit von einer Trainingsbelastung verändert wird, wobei die Wirkungen zeitabhängig sind. Die Trainingsbelastung wirkt dabei nicht direkt auf das Leistungspotential, sondern wird in einem negativ (abbauend) wirkenden Belastungspotential und einem positiv (aufbauend) wirkenden Entwicklungspotential zwischengespeichert und wirkt damit indirekt auf das Leistungspotential. Beim Fluss zwischen verschiedenen Potentialen kommt es zu spezifischen zeitlichen Verzögerungen.

Mester und Perl konnten mit diesem Modell Superkompensationseffekte simulieren; diese treten jedoch nicht unter allen Belastungsbedingungen auf, sondern hängen von der Verzögerung ab, die beim Fluss zwischen den Potentialen auftreten. Zudem konnten sie die von Mader bereits simulierte umgekehrte U-Funktion des Leistungsverlaufs bei kontinuierlich linearem Belastungsanstieg nachzeichnen. Über Mader hinausgehend sind mit dem LeiPot-Metamodell auch Kollapssituationen bei *akuter* Überlastung rekonstruierbar (also nicht nur bei Erreichen der *absoluten* Anpas-

¹⁷ Unter einem Metamodell verstehen Mester und Perl abstrakte Abbilder von Modellen in Form von allgemeingültigen und damit interpretationsunabhängigen mathematisch-strukturellen Eigenschaften und Interaktionen. Sie bilden damit vergleichbare, aber unterschiedliche Phänomene in einem übergreifenden Rahmen ab. Das LeiPot-Metamodell bezieht sich damit nicht auf einen spezifischen Parameter, sondern erhebt im Bereich der (physiologischen) Adaptation einen Universalanspruch.

sungsgrenze) und damit der Sachverhalt, dass es auch bei einem weniger hoch ausgeprägten Anpassungszustand zu Übertrainingssymptomen und damit Rückläufigkeit der Anpassung trotz steigender Belastung kommen kann.

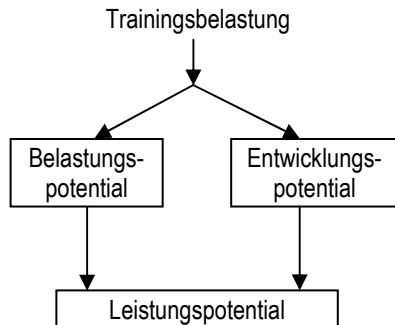


Abb. 8 Das LeiPot-Modell (vereinfacht nach Mester & Perl, 2000, S. 48)

Wie lassen sich die Erkenntnisse zur biologischen Adaptation bezogen auf den Gegenstand Trainierbarkeit zusammenfassen?

- Es fällt auf, dass aktuelle Modelle zur Beschreibung und Erklärung von Anpassung jeweils zwei Komponenten heranziehen: metabolische und epigenetische Anpassung (Israel, 1999), defensive und produktive Beanspruchbarkeit (Meissner-Pöthig, 1988), Reservekapazität und Anpassungskapazität (Mader, 1990), Belastungs- und Entwicklungspotential (Mester & Perl, 2000). Ohne die Modelle parallelisieren zu wollen, handelt es sich dabei durchweg um Gegenüberstellungen einer eher auf die (kurzfristige) Belastbarkeit bezogenen Komponente mit einer Komponente der aktiven Anpassung. Damit wird eine Differenzierung vorgenommen, wie sie der Trainierbarkeitsbegriff bislang nicht widerspiegelt. Möglicherweise können diese Modellierungen als Hinweise gewertet werden, dass eine eindimensionale Darstellung nicht zur Beschreibung und Erklärung von Trainingsadaptationen genügt.
- Trotz der zwischenzeitlich am Superkompensationsmodell von Jakowlew laut gewordenen Kritik spielen Superkompensationseffekte nach wie vor eine zentrale Rolle bei der Beschreibung und Erklärung von biologischen Anpassungsprozessen. Dabei sind sie jedoch weniger im Sinne einer physiologischen Gegebenheit denn als Modell zu verstehen, welches einen zentralen Beitrag zur Erklärung von beobachteten Gesetzmäßigkeiten im Zusammenhang mit Trainingsprozessen leistet.

- Was den Gesamtverlauf anbelangt, muss langfristig von einer in einer Sättigungskurve verlaufenden Anpassung ausgegangen werden, die bei Ausbleiben von Belastung sowie bei Überlastung auf allen Leistungsstufen rückläufig sein kann.
- Für die Frage der Trainingswirksamkeit von Reizen lässt sich ableiten, dass es eine obere Belastungsgrenze gibt, deren Überschreitung langfristig zu einem Abfall der Leistungsfähigkeit führt. Dies betrifft die Belastungsmerkmale Dauer, Häufigkeit und Intensität der Reizsetzung. Keine Aussagen lassen sich hingegen zur Mindestanforderung an einen trainingswirksamen Reiz machen, wie er im Rahmen vieler trainingstheoretischer Konzepte verankert ist (z.B. Frey & Hildenbrandt, 2002; Weineck, 2002). Vielmehr suggerieren alle Modelle einen graduellen Übergang, bei dem eine chronische Belastungssteigerung eine Steigerung der Leistungsfähigkeit bewirkt.
- Aus den Modellen ergeben sich keine konkreten Hinweise hinsichtlich einer Lag-Phase, d.h. eines gewissen Zeitraums bis Adaptationen überhaupt beobachtbar sind. Autoren, die sich an den vorgestellten Modellen orientieren, nennen ausgesprochen lange Zeiträume, die nicht notwendigerweise über die Dynamik der Stoffwechsels erklärt werden können: So spricht Neumann (1993) von vier bis sechs Wochen, Mader und Ullmer (1995) gehen von 90 bis 150 Tagen aus.
- Die Frage, welche Faktoren die epigenetische Anpassungskapazität limitieren, ist ebenfalls weitgehend unbeantwortet. Auf der genetisch-physiologischen Ebene existieren bislang außer der grundsätzlichen Annahme einer genetischen Determiniertheit der Proteinbildungskapazität keine Detailkenntnisse; ebenso sind die Annahmen auf der Prozessebene mit der Betrachtung der Dynamik des Anpassungsverlaufes in den vorgestellten Modellen zu diesem Sachverhalt noch ungenügend. In diesem Zusammenhang steht auch die Frage, inwiefern eine kontinuierliche Steigerung der Leistungsfähigkeit möglich ist bzw. welche Rolle Plateauphasen und ein zyklischer (wellenförmiger) Ablauf für eine langfristige Steigerung des Leistungsvermögens spielen.
- Individuelle Unterschiede bezüglich der Mechanismen und Abläufe sind auf genetische Vorgaben zurückzuführen, die sowohl die Funktionalität der Enzyme als auch die Bildung von Hormonen betreffen. Physiologische Detailkenntnisse wurden bislang nicht vorgelegt.

3.2.3 Präzisierung des Trainierbarkeitsbegriffs

Bislang wurde Trainierbarkeit als Potential zur Anpassung an körperlich-motorische Belastungen definiert. Aus Gründen der theoretischen und sprachlichen Präzision sind im Vorfeld der theoretischen Analyse weitere Festlegungen notwendig:

Der Begriff Trainierbarkeit bezieht sich im Folgenden auf die intraindividuelle Variabilität der Verhaltensmöglichkeiten und bezeichnet das genetisch-physiologische (relativ überdauernde) Potential, das Individuen zu einem bestimmten Zeitpunkt des Lebenslaufes (unabhängig vom Trainingszustand) dazu befähigt, sich an Belastungsreize mit strukturell bedingten Verbesserungen der konditionellen Leistungsfähigkeit anzupassen.

Dies bedeutet im Einzelnen: (a) Der Trainierbarkeitsbegriff wird in seiner endogen und physiologischen Determiniertheit betrachtet. Indirekte Einflüsse, wie psychologische (z.B. Motivationen) und exogene (z.B. klimatische oder ernährungsbedingte) Faktoren werden nicht als integrativer Bestandteil des Trainierbarkeitsbegriffes berücksichtigt. (b) Der Trainingszustand ist kein integraler Bestandteil des Trainierbarkeitsbegriffs. Um eine vergleichende Quantifizierung zu ermöglichen wird der Trainierbarkeitsbegriff auf das Potential, das im untrainierten Zustand vorliegt, bezogen. Aussagen wie „mit dem zunehmend besseren Trainingszustand eines bestimmten Faktors [wird] dessen zukünftige Trainierbarkeit reduziert“ (Kent, 1996, S. 421) verlieren damit ihre Gültigkeit. Der Trainingszustand spielt bei Erhebungen zur Trainierbarkeit lediglich im Sinne eines (einflussreichen!) Störfaktors eine Rolle. (c) Der Trainierbarkeitsbegriff bezieht sich auf willkürliche und unwillkürliche Anpassungserscheinungen. Eine Eingrenzung auf systematische Trainingsprozesse ist problematisch, da bei der Anpassung an gezielte Reizsetzungen dieselben physiologischen Mechanismen ablaufen wie bei nicht intendierten Reizsetzungen. (d) Der Trainierbarkeitsbegriff wird ausschließlich auf positive Anpassungsverläufe bezogen und ist damit im Vergleich zum Plastizitätsbegriff, der positive und negative Anpassung umfasst, eingeschränkt (vgl. Conzelmann, 1999).¹⁸

¹⁸ Aus methodischer Sicht können zur Quantifizierung des (positiv gerichteten) Trainierbarkeitskonzeptes auch Erkenntnisse über den Rückgang von Anpassungserscheinungen in Abwesenheit von Trainingsmaßnahmen (zum Beispiel in Verletzungspausen, in den Schulferien oder nach Beendigung des Hochleistungssports) beitragen, da hierfür vor allem die Abgrenzung von unterschiedlichen Adaptationszuständen von Bedeutung ist (vgl. auch Rowland, 1996, und 5.1.2, 7.3.1).

3.3 Dimensionalität der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten

Der folgende Abschnitt setzt sich mit der Frage der Dimensionalität des Trainierbarkeitskonstruktes auseinander. Dazu soll zunächst ein Blick in die Plastizitätsforschung geworfen werden: In welchen empirischen Zusammenhängen findet der Plastizitätsbegriff Verwendung? Es folgt eine Diskussion des Dimensionsbegriffs (3.3.2), um dann ausgehend von den in 3.2.2 erörterten biologischen Adaptationsmodellen differentielle adaptive Eigenschaften zu diskutieren und das Trainierbarkeitskonstrukt ausdifferenzieren (3.3.3).

3.3.1 Komponenten des Plastizitätsbegriffs

Die theoretische Literatur zur Plastizität zeigt, dass bislang versäumt wurde, Klarheit bezüglich des Begriffsverständnisses einhergehend mit einer eindeutigen Operationalisierungsvorschrift zu schaffen, so dass verschiedene Begrifflichkeiten und Messvorschriften vorzufinden sind. Eine Aussage von Scholnick (1986, S. 132) spiegelt die Variabilität im Begriffsverständnis wider: „Definitions of plasticity have two components: susceptibility to environmental influence and individual variability in the course of and terminal points of development“. Genau genommen handelt es sich sogar um drei Komponenten, die sich folgendermaßen präzisieren lassen:

- *Plastizität als „Susceptibility“*: Wie empfindlich reagiert eine Person auf einen Umwelt- bzw. Belastungsreiz, d.h. wie ist das Verhältnis von Reizstärke und Effekt? Für eine eindeutige Definition und Operationalisierung ist eine weitere Ausdifferenzierung erforderlich. Versteht man Reizstärke in Anlehnung an Fowler (1983) alternativ als Reizfrequenz, Länge einer Trainings- bzw. Lerneinheit oder als Trainingsumfang über einen (festgelegten) Zeitraum, können daraus verschiedene Trainierbarkeitsbegriffe abgeleitet werden. MacDonald (1986) beispielsweise misst die Intensität des Umweltstimulus, der für das Erreichen einer bestimmten Leistung notwendig ist.
- *Plastizität als „Terminal Points of Development“*: Der Plastizitätsbegriff wird im Sinne einer absoluten Ressource verstanden, wie es die von Baltes (1987, S. 613) formulierte Zielsetzung „the search for the range of plasticity and its constraints“ suggeriert. Auch Gollin (1981, S. 231) bezieht den Plastizitätsbegriff auf „the possible range of variations that can occur in individual development.“ Beim Versuch einer Quantifizierung der Plastizität in diesem Sinne kommt es

häufig zu einer Gleichsetzung von Plastizität und der maximalen individuellen Leistungsfähigkeit. Diese Parallelisierung ist jedoch mit Problemen behaftet (vgl. 4.2.1).

- *Plastizität als „Course of Development“*: Eine weitere Perspektive bei der Betrachtung der individuellen Plastizität stellt die Zeit- und Verlaufsstruktur der Anpassung dar. Neben Scholnick verweisen auch weitere Autoren auf die Notwendigkeit einer differentiellen Betrachtung von Anpassungsprozessen hinsichtlich dieses Aspektes der Plastizität: „The time dimension is seen as an important factor in the differential environments and learning processes of young and mature learners“ (Cocking, 1986, S. 96). „Zu schnell gebotener Lernstoff behindert Ältere mehr als Jüngere. Bei Eliminierung des Zeitfaktors nivellieren sich die Altersunterschiede.“ Diese Aussage von Lehr (2000, S. 93) macht auch deutlich, dass je nach Betrachtungsweise verschiedene Interpretationen des Alterseinflusses auf die Plastizität erforderlich sind.

Es zeigt sich, dass die Notwendigkeit einer differenzierten Auseinandersetzung mit dem Phänomen der Anpassung kein spezifisches Problem der Trainierbarkeitsforschung darstellt, sondern in der übergeordneten Plastizitätsforschung verankert ist. Die Unterscheidung von Komponenten der Plastizität verweist implizit darauf, dass das Plastizitätskonzept möglicherweise einen mehrdimensionalen Charakter hat. Da unter dem Plastizitätskonzept verschiedene Anpassungsphänomene subsumiert werden (kognitive, koordinative und konditionelle Plastizität), ist es jedoch notwendig, die Diskussion auf der Ebene des interessierenden Konstruktes – hier also der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten – zu führen.

3.3.2 Präzisierung des Dimensionsbegriffs

Was ist unter einer *Dimension der Trainierbarkeit* zu verstehen? Und mit welchem Vorgehen können Dimensionen der Trainierbarkeit identifiziert werden?

Obwohl die Konstruktion beispielweise von Persönlichkeitsdimensionen seit mindestens einem halben Jahrhundert Gegenstand der psychologischen Forschung ist (z.B. Guilford, 1956; Jäger, 1967), kann bislang nicht von einem einheitlichen Begriffsverständnis und einer grundsätzlich anerkannten Methodik ausgegangen werden. Das *Psychologische Wörterbuch* (Häcker & Stapf, 2004) beschränkt sich auf die unkommentierte Auflistung von sieben psychologischen Verwendungskontexten des Dimensionsbegriffs. Die wahrscheinlich ausführlichste Auseinandersetzung mit der

Definition und Konstruktion von Persönlichkeitsdimensionen stammt von Wottawa (1979), der drei Zugänge voneinander abgrenzt, denen er jeweils mehrere statistische Verfahren zuordnet. Den Konsens der verschiedenen Ansätze sieht er darin, die Anzahl der Dimensionen durch „die Anzahl der Kennzahlen, die jedem Objekt zugeordnet werden müssen“ festzulegen (S. 1). In einer ersten Unterscheidung lassen sich induktive Verfahren, bei denen Dimensionen aufgrund vorliegender Daten erschlossen werden, von deduktiven Verfahren mit einer theoretischen Herleitung abgrenzen. Im Folgenden soll in Anlehnung an Wottawa (1979) der induktive Zugang *Konstrukte als Grundlage von Dimensionen* und der deduktive Zugang *Formalisierte Hypothesen als Grundlage von Dimensionen* vorgestellt werden.¹⁹

Konstrukte als Grundlage von Dimensionen

Unter einem Konstrukt wird bei diesem Ansatz die numerische Zusammenfassung verschiedener Messwerte eines Objektes zu einer neuen Maßzahl verstanden. Die Grundannahme besteht dabei darin, dass implizit oder explizit angenommene Dimensionen die beobachtbaren Messwerte erklären können. Ausgehend von dieser Annahme basiert die Konstruktion der Dimensionen darauf, im Umkehrschluss induktiv von den Messwerten, zwischen denen eine spezielle mathematische Verknüpfung angenommen wird, auf (latente) Dimensionen zu schließen. Auch wenn bei der Erstellung der Erhebungsinstrumente theoretische Vorstellungen einfließen, handelt es sich letztlich um ein induktives Verfahren zur Dimensionsidentifikation. Diesem Zugang ist unter anderem das bedeutsamste Verfahren zur Dimensionsanalyse, die Faktorenanalyse, zuzuordnen. Hier werden Variablen gemäß ihrer korrelativen Beziehungen in voneinander unabhängige Gruppen klassifiziert, wobei zusätzlich Aussagen getroffen werden, wie gut eine Variable zu einer Variablengruppe passt. Ein wesentlicher Kritikpunkt betrifft die Anwendungspraxis dieses Verfahrens, wie sie vor allem mit Einführung der computergestützten Durchführung von Faktorenanalysen Einzug gehalten hat: Die „schnelle Produzierbarkeit“ von Dimensionen innerhalb eines Merkmalsbereichs geht einher mit einer fehlender Überprüfung an den Anforderungen der Praxis sowie der mangelnden Integration in theoretische Konzepte.

¹⁹ Auf den *Vergleich als Grundlage von Dimensionen*, einen zweiten induktiven Zugang, den Wottawa (1979) vorstellt, wird nicht näher eingegangen, da er zum Erkenntnisinteresse der Arbeit nicht beiträgt.

Formalisierte Hypothesen als Grundlage von Dimensionen

Während bei dem eben vorgestellten Verfahren die erhaltenen Dimensionen häufig erst im Nachhinein interpretiert bzw. mit einem Namen versehen werden, steht bei deduktiven Verfahren die theoretische Modellierung am Anfang. Die Beziehungen unter den einbezogenen Größen werden anschließend in entsprechend formalisierte operationale Definitionen umgesetzt. Der Ausprägungsgrad der interessierenden Parameter wird erhoben, um damit die Beschreibungsgüte des Ansatzes zu prüfen. Aus theoretischer Sicht handelt es sich hierbei um den wertvolleren Ansatz. Die Konstruktion eines Modells, das sowohl den inhaltlichen Vorstellungen entspricht als auch einer empirischen Prüfung standhält, gelingt jedoch selten, da der Vorgang der Operationalisierung mit inhaltlichen Reduktionen und Verzerrungen sowie methodischen Schwierigkeiten verbunden ist. Daher können die theoretisch abgeleiteten Dimensionen bei der empirischen Prüfung im Normalfall nicht in der gewünschten Schärfe herausgestellt werden. Mehrdimensionale Modelle beinhalten zudem das Problem, dass es bei einer schlechten Übereinstimmung von Modellvorhersage und empirischen Ergebnissen schwierig ist festzustellen, an welcher Stelle das Modell modifiziert werden muss.

Es stellt sich die Frage, inwieweit diese Ansätze, die der Psychologie entstammen und im Hinblick auf psychologische Konstrukte entwickelt wurden, in der Motorikforschung Umsetzung finden können. Einen Vorschlag dazu entwickelte Roth (vgl. 1999, S. 239, auch 1982), der sich im Rahmen der fähigkeitsorientierten Betrachtungsweise der Bewegungswissenschaft mit der Frage der Ableitung und Dimensionierung motorischer Fähigkeitskomponenten beschäftigt (vgl. Abb. 9).



Abb. 9 Motorische Fähigkeiten als Mittler zwischen der Verhaltensebene und der Ebene der biologischen Voraussetzungen (nach Roth, 1999, S. 239)

Dabei erfolgt die *theoretische Herleitung* (Deduktion) von Dimensionen auf der Prozessebene unter Rückgriff auf anatomische und physiologische Erkenntnisse oder auf psychologische Modellvorstellungen über biologische Mechanismen. Differentielle *physiologische* Merkmale werden dabei in „hypothetische Fähigkeitskomponenten“ (1999, S. 241) übersetzt. Im Vergleich zur Psychologie profitiert die Motorikforschung bei der Deduktion davon, dass motorische Fähigkeitskonstrukte einen engen Bezug zu objektivierbaren morphologischen Strukturen und physiologischen Parametern aufweisen (z.B. die Maximalkraft zum Muskelquerschnitt) und somit als (neuro)physiologisches oder anatomisches „Korrelat“ eines psychologischen Konstruktes betrachtet werden können.²⁰

Bei der *induktiven Herangehensweise* geht es darum, Zusammenhänge zwischen dem Ausprägungsgrad interessierender motorischer Merkmale bzw. Verhaltensweisen zu erfassen. Dies kann einerseits anhand der Beobachtung intraindividuelle Veränderungen geschehen: Merkmale, die einen asynchronen Entwicklungsverlauf vorweisen, präsentieren verschiedene Dimensionen. Andererseits kann der Vergleich mehrerer Personen aufzeigen, ob der Ausprägungsgrad eines Merkmals mit dem Ausprägungsgrad anderer Merkmale korreliert. Sind die Merkmale (in diesem Fall motorische Leistungen) unabhängig voneinander, wäre von einem mehrdimensionalen motorischen Konstrukt auszugehen.

Für den vorliegenden Verwendungszweck soll der Dimensionsbegriff folgendermaßen präzisiert werden:

Beschreibt der Begriff Trainierbarkeit das individuelle Potential zur Anpassung an konditionelle Belastungen, dann stellt eine Dimension der Trainierbarkeit ein Teilkonstrukt dar, das inhaltlich einen Teilaspekt dieses Potentials umfasst und dem ein eindeutig definierter Kennwert zugeordnet werden kann. Die individuelle Ausprägung einer Dimension zu einem bestimmten Zeitpunkt ist dabei unabhängig vom Ausprägungsgrad anderer Dimensionen. Auch Veränderungen über die Zeit vollziehen sich unabhängig voneinander. Eine Mehrdimensionalität

²⁰ Eine Legitimation eines Transfers von physiologischen Erkenntnissen in psychologische Annahmen findet sich im Übrigen bereits bei Schneirla (1957) in der Levels-of-Organization-Hypothese (zitiert nach Lerner, 2002, S. 77), welche besagt, dass der Mensch verschiedene Organisationsebenen aufweist und dass die Gesetze der niederen (z.B. physikalischen, chemischen) Ebenen in denen der höheren (z.B. psychologischen) Ebenen enthalten sind.

des Trainierbarkeitskonstruktes lässt sich zurückführen auf (a) strukturelle Gegebenheiten und Mechanismen im Zusammenhang mit der biologischen Adaptation und (b) mehrere Kennwerte, die zur Beschreibung des Konstruktes herangezogen werden müssen und deren statistische Unabhängigkeit nachgewiesen werden kann.

3.3.3 Theoretische Dimensionierung der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten

Wie kann der Trainierbarkeitsbegriff strukturiert werden? Zunächst muss es darum gehen, *Komponenten*²¹ im Sinne von theoretisch und physiologisch abgrenzbaren Teilaspekten des Trainierbarkeitskonstruktes zu differenzieren. Auf dieser Ebene kann die Unabhängigkeit der Merkmale (als ein wesentliches Charakteristikum des Dimensionsbegriffes) lediglich begründet, nicht aber nachgewiesen werden. Für Letzteres ist eine Prüfung der Annahmen anhand empirischer Daten notwendig, welche in Kapitel 7 im Rahmen einer Befundintegration erfolgen wird.

In der nun folgenden theoretischen Begründung der Mehrdimensionalität des Trainierbarkeitskonstruktes wird also die Frage der biologischen Adaptation aus differentieller Perspektive beleuchtet. Dabei gelten folgende Prämissen:

- Die explizite Intention das Trainierbarkeitskonstrukt zu dimensionieren stellt eine neue Perspektive auf den Gegenstand dar. Dennoch liegen in der Sportwissenschaft bereits Überlegungen und Befunde vor, die die Annahme einer Mehrdimensionalität des Konstruktes stützen. Diese Erkenntnisse sind bei der theoretischen Analyse zu berücksichtigen.
- In Orientierung an der von Roth (1999, vgl. auch Abb. 9) vorgeschlagenen Vorgehensweise sind diese Erkenntnisse im Zusammenhang mit den Mechanismen der biologischen Adaptation zu diskutieren, um möglichst auf der Basis „physiologischer Korrelate“ Komponenten der Trainierbarkeit identifizieren zu können.

²¹ Der Begriff „Komponente“ wird im Folgenden verwendet, wenn es lediglich um die theoretische Differenzierung der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten geht. Wenn hingegen das Modell, dessen Entwicklung und Prüfung im Rahmen dieser Arbeit angestrebt wird, gemeint ist, wird der „Dimensionsbegriff“ verwendet. Letzteres gilt auch, wenn der Nachweis der Unabhängigkeit noch nicht erfolgt ist. Grenzfälle der begrifflichen Verwendung werden dabei jedoch nicht zu vermeiden sein (vgl. im Weiteren auch die Überlegungen in 5.3).

- Angesichts der im Allgemeinen beobachtbaren Schwierigkeiten, theoretisch konstruierte Dimensionen empirisch „wiederzufinden“ (s. 3.3.2), erscheint es sinnvoll, zunächst von einer geringen Anzahl an Dimensionen auszugehen. Existiert ein ausreichendes Maß an Anpassungsgüte empirischer Daten an das Modell, kann in weiteren, spezifisch dafür angelegten Untersuchungen der Versuch unternommen werden, die Dimensionen auszudifferenzieren und zu präzisieren.

In der Sportwissenschaft liegen Überlegungen und Befunde vor, dass es interindividuelle Unterschiede im Adaptionsmuster gibt, was als impliziter Hinweis auf eine Mehrdimensionalität des Konstruktes Trainierbarkeit bewertet werden kann. Beispielsweise stellt Israel fest: „Starke oder geringe anfängliche adaptive Gewinne [lassen] nur bedingt auf den potentiellen finalen Zuwachs schließen“ (1999, S. 8, vgl. Abb. 10). Einen Beleg für die Annahme einer solchen Differenzierung führt Israel jedoch nicht an.

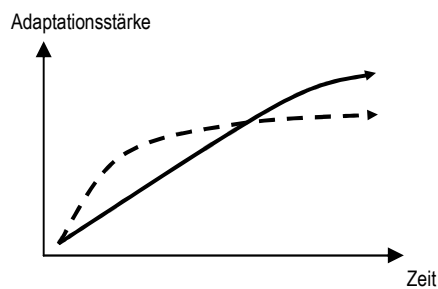


Abb. 10 Adaptionsmuster (nach Israel, 1999, S. 8)

Empirische Unterschiede im Adaptionsmuster findet die Arbeitsgruppe von Bouchard, die sich u.a. mit der interindividuellen Variation in der trainingsbedingten Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme auseinandergesetzt hat (z.B. Bouchard, 1986a; Bouchard, 1986b; Bouchard & Lortie, 1984).

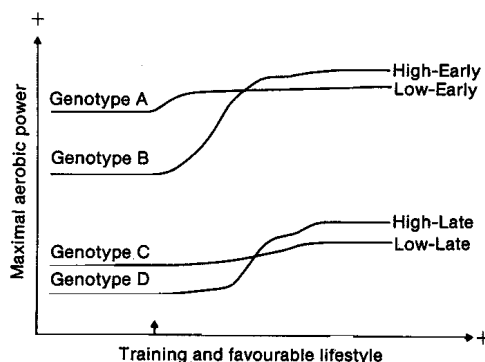


Abb. 11 Reaktionsweisen verschiedener Genotypen auf gleiche Trainingsreize (Bouchard, z. B. 1986a, 1986b)

Abb. 11 zeigt schematisch die vier Reaktionstypen, die ausgemacht werden konnten: Genotyp A weist bereits im untrainierten Zustand ein vergleichsweise hohes Leistungsniveau auf, zeigt eine rasche Anpassung an den Trainingsreiz, doch pendelt sich das Leistungsniveau auf einem geringfügig höheren Niveau ein. Genotyp B hat ein niedrigeres Ausgangsniveau, reagiert ebenfalls rasch auf den Trainingsreiz, passt sich aber langfristig weitaus stärker an. Genotyp C und D weisen ein geringeres Ausgangsniveau auf. Während sich Typ C nur sehr langsam und auch nicht sehr stark anpasst, tritt die Trainingsreaktion bei Typ D erst nach längerer Zeit, dann aber in sehr viel größerem Ausmaß auf. In Anbetracht dieser Verläufe nimmt Bouchard die Unterscheidung zwischen „high“ und „low responder“ einerseits und zwischen „early“ und „late responder“ andererseits vor, wobei alle Kombinationen denkbar sind (high-early, high-late, low-early, low-late).

Die Überlegungen von Israel (1999) bzw. der Arbeitsgruppe um Bouchard (Bouchard, 1986a; Bouchard, 1986b; Bouchard & Lortie, 1984) umfassen nicht die gleichen Komponenten: Israel unterscheidet den Effekt, der in der Anfangsphase einer Intervention erzielt werden kann, vom maximalen Gewinn, der bei einem langfristigen, kontinuierlichen und systematischen Training erreicht wird. Die Modellierung der Anpassungsverläufe von Bouchard beruht auf Trainingsexperimenten mit untrainierten Personen, die eine Dauer von wenigen Monaten nicht überschreiten.²² Die beiden Polarisierungen „early-late“ und „low-high“ könnten demnach als Unterkategorien der Frage nach den „anfänglichen Gewinnen“, wie sie von Israel aufgeworfen wird, betrachtet werden. Unter dieser Prämisse lassen sich die Annahmen von Israel und der Arbeitsgruppe von Bouchard folgendermaßen bündeln:

- Aus der Beobachtung der *early* und *late responder* ergibt sich die Annahme einer interindividuell unterschiedlich langen *Lag-Phase*, also eines Zeitintervalls, bis messbare Anpassungserscheinungen auftreten.
- Die Unterscheidung von *low* und *high respondern* im Rahmen von 15-wöchigen Trainingsexperimenten lässt auf interindividuell unterschiedliche *Anpassungsgeschwindigkeiten* schließen, nachdem der Leistungsanstieg eingesetzt hat.

²² Bouchard (1986a) definiert diejenigen Personen, die innerhalb eines 15wöchigen Trainings ihre maximale Sauerstoffaufnahme um weniger als 5% verbessern als Low-Responder (ca. 5% der Bevölkerung) und diejenigen, die sie um mehr als 60% steigern, als High-Responder (ebenfalls ca. 5% der Bevölkerung).

- Das Schema von Israel weist auf Differenzen im absoluten Leistungslimit hin, die unter der Voraussetzung eines langfristigen, systematischen und intensiven Trainingsprozesses auftreten.

Inwieweit lassen sich die genannten Komponenten auf physiologischer Ebene, das heißt auf der Basis der vorgestellten Modelle zur biologischen Adaptation, unterscheiden?²³

- *Zur Lag-Phase:* Zu Beginn einer Trainingsintervention wird der physiologische Gleichgewichtszustand eines Organismus gestört. Dies bezieht sich nicht nur auf die aktuelle Homöostasestörung durch die metabolische Umstellung, sondern auch auf die Gesamtheit der Regulationsprozesse: Die Beanspruchung von Stoffwechselprozessen verändert sich dahingehend, dass zum einen eine *stärkere* Beanspruchung vorliegt und somit *mehr* strukturelle und funktionelle Kapazität zur Verfügung stehen muss, zum anderen unterliegt der Stoffwechsel im Wechsel von Belastung und Ruhephasen *höheren Schwankungen*, was mehr *Flexibilität* auf der regulatorischen Ebene voraussetzt (nach Mader, 1990, vorwiegend auf der Ebene der Transkription). Aus dieser Sicht lässt sich eine Lag-Phase, wie sie von der Arbeitsgruppe Bouchard (vgl. Bouchard, 1986a, 1986b; Bouchard & Lortie, 1984) beobachtet wird, dahingehend interpretieren, dass der Organismus, der sich vor Aufnahme des Trainings in einem dynamischen *Gleichgewichtszustand* befindet, die Reaktion auf die ungewohnten physiologischen Abläufe „erlernen“ muss, bis er entsprechende Abläufe bereitstellen kann und mit einer systematischen, strukturellen Veränderung (Anpassung) reagieren kann.
- *Zur Anpassungsgeschwindigkeit:* Ist die mit der Annahme einer Lag-Phase implizierte „Trägheit“ der physiologischen Regulationsprozesse überwunden, beginnt die physiologische und strukturelle Anpassung mit der beobachtbaren Steigerung der Leistungsfähigkeit. Die Geschwindigkeit der aktiven Anpassung im Sinne eines systematischen Auf- und Umbaus von Strukturen und damit verbundenen Funktionalitäten kann von mehreren Faktoren abhängen. Geht man von einem Superkompensationsmechanismus aus, sind zwei Determinanten denkbar, die die Anpassungsgeschwindigkeit bestimmen und die individuell unterschiedlich

ausgeprägt sein können: (a) die Amplitude der Auslenkung im Rahmen einer Stimulation und damit die Adaptationsstärke (Abb. 12, links); (b) die Regenerationszeit und damit das Zeitintervall bis zum Erreichen des Höhepunktes der Superkompensation (Abb. 12, rechts).

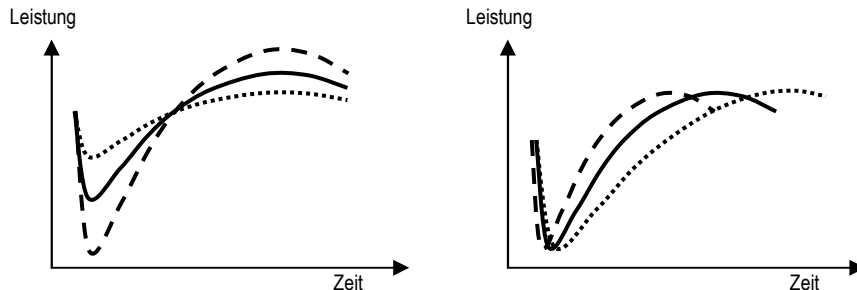


Abb. 12 Potentielle individuelle Unterschiede im Ablauf des Superkompensationsmechanismus. Links: Unterschiede in der Amplitude (der negativen und positiven Auslenkung). Rechts: Unterschiede im Zeitintervall bis zum Erreichen einer erneuten Homöostase²⁴

- *Zum maximal möglichen Gewinn:* Mit zunehmendem Anpassungsniveau nimmt sowohl der *Superkompensationseffekt* als auch die *Regenerationszeit* ab, d.h. bei kontinuierlicher Erhöhung der chronischen Belastung (betrifft Einzelreiz und Reizfrequenz) wird das Ausmaß der Anpassung, mit dem auf einen Belastungsreiz reagiert wird, geringer. Die Steigerung lässt sich nicht beliebig fortsetzen, wie das Modell von Mader (1990) sowie das LeiPot-Modell (Mester & Perl, 2000) deutlich machen. Auch hier kann vermutet werden, dass es individuelle Unterschiede gibt, *wann* in Bezug auf das Verhältnis von Erholung und Belastung die Grenze erreicht ist und keine weiteren Anpassungen erzielt werden können. Mader (1990, S. 55) verweist in diesem Zusammenhang auf die genetisch bedingte maximale Proteinbildungskapazität der Zelle.

Die vorgestellten Überlegungen lassen sich abschließend in einem Modell der Trainierbarkeit mit drei (übergeordneten) Dimensionen zusammenfassen (vgl. Abb. 13):

²³ Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass, wenn im Folgenden von inter- oder intraindividuellen Vergleichen die Rede ist, immer von Personen mit gleichen Voraussetzungen bezüglich des Trainingszustands ausgegangen wird (vgl. dazu die Trainierbarkeitsdefinition in 3.2.3).

²⁴ Zu beachten ist, dass weitere Annahmen möglich sind: So könnte die Reizintensität, bei der die optimale Anpassung erzielt wird, interindividuell variieren oder die Dynamik variiert zwischen Personen nicht zeitlich proportional.

- (1) Die *Umstellungsdynamik*: Diese Dimension bezieht sich auf Anpassungseigenschaften kurzfristiger Anpassungszeiträume und die Frage, wie schnell beobachtbare Anpassungserscheinungen auftreten (gibt es eine Lag-Phase?) bzw. ob in dieser ersten Anpassungsphase Unregelmäßigkeiten zu beobachten sind, die vom späteren kontinuierlichen Anpassungsverlauf abweichen.
- (2) Die *Anpassungsgeschwindigkeit*: Hierbei geht es um das Merkmal, welcher Effekt pro Zeiteinheit im Rahmen der kontinuierlichen Leistungsverbesserung in mittelfristigen Trainingszeiträumen erzielt werden kann. Im Rahmen der Operationalisierung ist noch zu diskutieren, über welche Zeiträume eine Bewertung der Anpassungsgeschwindigkeit sinnvoll ist (vgl. 4.3). In Anbetracht der *physiologischen Ursachen* schneller und langsamer Anpassung lässt sich die Dimension Anpassungsgeschwindigkeit in zwei weitere Subdimensionen unterteilen: (a) die *Sensitivität*, d.h. der Grad der aktiven Anpassung, mit der auf einen Trainingsreiz einer bestimmten Intensität reagiert wird, (b) die *Regenerationszeit*, das heißt, die Geschwindigkeit der Homöostaserückführung.
- (3) Die *Reservekapazität*: Im Vergleich zu den bereits genannten Komponenten stellt die Reservekapazität keine Verlaufseigenschaft dar, sondern bezieht sich auf das absolute Anpassungsausmaß, das sich durch Training erzielen lässt, und damit auf die Differenz zwischen der maximalen Leistungsfähigkeit und der Leistung im untrainierten Zustand. Als *maximal* gilt das Resultat eines langfristigen, systematischen, auf Leistungssteigerung angelegten Trainingsprozesses, wenn keine wesentlichen Verbesserungen mehr möglich sind.

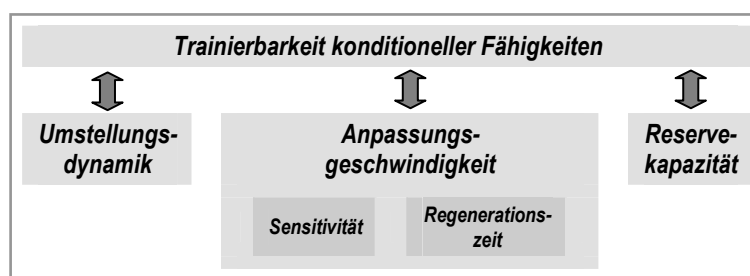


Abb. 13 Trainierbarkeitskonstrukt mit den Dimensionen „Umstellungsdynamik“ und „Anpassungsgeschwindigkeit“ (Subdimensionen „Sensitivität“ und „Regenerationszeit“) und „Reservekapazität“.

3.4 Determinanten der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten

Zentrales Ziel der Plastizitätsforschung ist es, Möglichkeiten und Grenzen sowie Determinanten der Plastizität von Persönlichkeitsmerkmalen zu bestimmen. Obwohl

eine Vielzahl an Untersuchungen vorliegt, die sich mit dieser Frage auseinandersetzen, existiert bislang kein elaboriertes Konzept, das eine systematische, für verschiedene Persönlichkeitsbereiche anwendbare Ableitung zulässt.

3.4.1 Konzepte der Plastizität

Eine bislang unwiderlegte Hypothese lautet, dass das menschliche Genom, als die Gesamtheit der genetischen Information im Zellkern, zeitlebens konstant bleibt (z.B. Asendorpf, 2004, S. 344). Das Genom steuert in einem hierarchisch organisierten System über mehrere Ebenen hinweg das individuelle Verhalten, wobei es zu vielfältigen Interaktionen kommt (vgl. Abb. 14): "Each component affects, and is affected by, all the other components, not only at its own level but at lower and higher levels as well. Thus the arrows ... not only go upward from the gene, eventually reaching all the way to the external environment through the activities of the organism, but the arrows of influence return from the external environment through various levels of the organism back to the genes" (Gottlieb, 2002, S. 143).

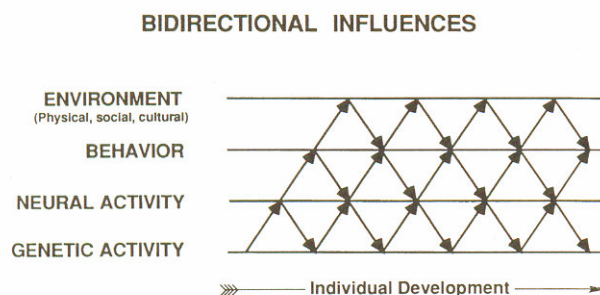


Abb. 14 Modell der Genom-Umwelt-Wechselwirkung (Gottlieb, vgl. 2002, S. 186)

Aufgrund der Interaktivität der Prozesse bleibt die *genetische Aktivität* (im Gegensatz zum Genom!) nicht konstant. Die Möglichkeit einer *umweltgesteuerten Veränderung* der Genaktivität bildet die physiologische Basis des Konzeptes der Plastizität. Ausgehend von diesen Überlegungen sind verschiedene Ansätze denkbar, die zwischen den (theoretischen) Polen einer vollständig restriktiven Entwicklung ohne Plastizität (also keine Einflussmöglichkeit durch die Umwelt) und einer vollständig umweltgesteuerten Entwicklung mit unbegrenzter Plastizität liegen. Zwischen diesen Polen lassen sich drei Konzepte mit ihren spezifischen Annahmen zur Steuerung der genetischen Aktivität ansiedeln, wobei jeweils Aussagen zur Plastizität und ihren Determinanten abgeleitet werden können. Die Annahmen dieser drei Konzepte sind zudem kombinierbar. Prinzipiell ist zu vermuten, dass für verschiedene Persönlichkeits-

merkmale und für verschiedene Dimensionen der Plastizität unterschiedliche Konzepte Gültigkeit besitzen.

Tab. 7 Allgemeine Konzepte zur Plastizität von Persönlichkeitsmerkmalen

	Ansatz	Erläuterung	Determinanten der Plastizität	Plastizitätsmerkmale
	Nonplastizität	vollständige Restriktion der Entwicklung durch das Genom	--	keine Plastizität
	Genomdeterminierte Plastizität	in Abhängigkeit vom Genom mehr oder weniger restriktive Reaktionsnorm	Ind. Genetik, Geschlecht, Rasse usw.	begrenzt, konstant
	Altersdeterminierte Plastizität	Reifungs- und alterungsbedingte Veränderung der Reaktionsnorm	Reifungs-/Altersprozesse	begrenzt, variabel
	Erfahrungsdeterminierte Plastizität	Umwelt beeinflusst nachhaltig weitere Entwicklungsmöglichkeiten	Erfahrung	begrenzt, beeinflussbar
	Unbegrenzte Plastizität	Einfluss des Genoms nur zu Beginn der Entwicklung; Entwicklung wird später ausschließlich erfahrungs- und umweltgesteuert	Erfahrung/Umwelt	unbegrenzt, beeinflussbar

- **Nonplastizität:** Dieser Ansatz beinhaltet die Annahme, dass ausschließlich das Genom zur Ausprägung von Persönlichkeitsmerkmalen führt und keinerlei exogene Einflussnahme möglich ist. Für den körperlich-biologischen Persönlichkeitsbereich besitzt dieses Konzept z.B. bei der Festlegung allgemeiner Körperbaumerkmale oder des Geschlechts Gültigkeit.
- **Genomdeterminierte Plastizität:** Diesem Konzept liegt die Annahme zugrunde, dass die Genaktivität in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen kurz- bis mittelfristigen Veränderungen im Sinne eines Reiz-Reaktions-Mechanismus unterliegt. Aufgrund der Stabilität des Genoms, dem eine regulierende und limitierende Funktion zukommt, ist nach diesem Konzept von einer *zeitlebens konstanten Plastizität* auszugehen. Die merkmalspezifische Ausprägung der Plastizität kann je nach Restriktivität endogener Vorgaben mehr oder weniger groß und individuell unterschiedlich sein. Determinierend ist demnach die individuelle Genetik, zum Beispiel auch das Geschlecht.²⁵
- **Reifungs-/Altersdeterminierte Plastizität:** Es besteht die Annahme, dass die Genaktivität altersbedingten Veränderungen unterliegt. Diese Veränderungen können programmatisch gesteuert oder verschleißbedingt sein. Aus einer solchermaßen gesteigerten oder gedrosselten Genaktivität kann die Annahme abge-

²⁵ Dieser Ansatz entspricht dem bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts unter dem Begriff der Reaktionsnorm bekannt gewordenen Konzept des Entwicklungsgenetikers Woltreck (vgl. Dunn, 1991, S. 95-97; auch Lerner, 2002, S. 102-105).

leitet werden, dass sich die Plastizität über die Zeit verändert. Die Frage einer altersbedingten Veränderung der Plastizität wird unter dem Begriff der sensiblen Phasen diskutiert (z.B. Bischof, 1998; Oerter & Montada, 2002; in der Sportwissenschaft: Asmus, 1995; Baur, 1987; Conzelmann, 2002; Starosta & Hirtz, 1989; Winter, 1980).

- *Erfahrungsdeterminierte Plastizität*: Die bisherigen Ansätze beschränken sich, was die Einflussmöglichkeiten der Umwelt anbelangt, auf einen *reversiblen* Reiz-Reaktions-Mechanismus, bei dem die Umwelt kurz- bis mittelfristige Veränderungen hervorruft, die sich nach Ausbleiben des Umweltstimulus vollständig zurückbilden. Der Begriff der „Erfahrung“, wie er in der Entwicklungspsychologie gebräuchlich ist (vgl. Häcker & Stapf, 2004), impliziert *nachhaltige*, im Extremum irreversible Veränderungen des Verhaltens und der Verhaltensmöglichkeiten. Die Wirkmöglichkeiten des Genoms hängen damit von genetischen Aktivitäten ab, die dem interessierenden Zeitpunkt *vorausgegangen* sind, da sich Einflüsse aus vorangegangenen Entwicklungsphasen anatomisch oder (neuro)physiologisch verfestigen und auch ohne Präsenz des Umweltstimulus weiterwirken können. Asendorpf (2004, S. 345) vergleicht dabei das Genom mit einem Text

„aus dem im Verlauf des Lebens immer wieder kleine Teile abgelesen werden. Der Text begrenzt das, was abgelesen werden kann, legt aber keineswegs von vornherein vollständig fest, was überhaupt oder gar zu einem bestimmten Zeitpunkt abgelesen wird. Was zu einem bestimmten Zeitpunkt abgelesen wird, hängt davon ab, was vorher gelesen wurde und welche Wirkungen dies hatte, eingeschlossen Rückkoppelungseffekte auf das Leseverhalten.“

Letztlich handelt es sich bei diesem Konzept um die Annahme einer „Plastizität der Plastizität“. Eine theoretische Vorstellung, in welcher Weise sich Erfahrungen auf die weitere Verhaltens-, physiologische und anatomische Entwicklung auswirken können, beschreibt Gottlieb (1976) unter dem Begriff „*facilitation*“ (Bahnung²⁶). Demnach können Erfahrungen (A) zu einer beschleunigten Entwicklung, (B) zum Erreichen eines höheren Endniveaus, (C) zu einer Kombination aus beidem führen (vgl. Abb. 15; im Übrigen enthält auch diese Darstellung implizit die Annahme eines mehrdimensionalen Plastizitätskonstruktes!).

²⁶ Der Begriff *Bahnung* bezieht sich in der Neurobiologie auf eine verbesserte Reizleitung des Nervensystems aufgrund summativer oder wiederholter Reizsetzungen (vgl. im Detail z.B. Birbaumer & Schmidt, 2003). Der bei Gottlieb verwendete Begriff geht über diese enge physiologische Perspektive hinaus.

Neben positiven Rückwirkungen sind aber auch Erfahrungen denkbar, die das Entwicklungspotential traumatisch oder schleichend *beeinträchtigen*.

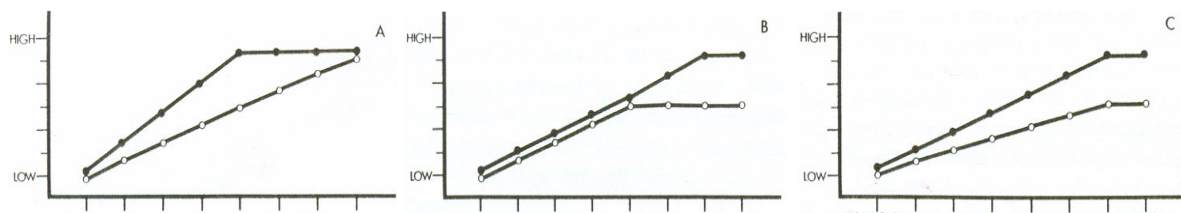


Abb. 15 Alternative Auswirkungen der Bahnung („facilitation“) durch Reizeinwirkungen (nach Gottlieb, 1976, S. 36). Abszisse: Alter; Ordinate: Leistungsniveau

- *Unbegrenzte Plastizität*: Der Vollständigkeit halber sei die Variante einer unlimitierten Plastizität erwähnt. Die Gültigkeit eines solchen Ansatzes würde bedeuten, dass Entwicklung im Laufe der Zeit vollständig unabhängig von genetischen Vorgaben wird und damit ausschließlich erfahrungs- und umweltgesteuert ist. Allerdings ist Lerner (2002, S. 127) zuzustimmen, dass „a notion of complete or limitless plasticity is antithetical to any useful concept of development (...), and is, therefore, unwarranted on philosophical, theoretical, and methodological – as well as on empirical – grounds“. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass über die Grenzen der Plastizität hinsichtlich vieler, insbesondere kognitiver Persönlichkeitsbereiche noch Unklarheit herrscht.

Die dargestellten Konzepte verdeutlichen folgenden Diskussionsbedarf, wenn es um die Frage der Determinierung der Plastizität eines Persönlichkeitsmerkmals geht: Liegt Plastizität vor? Ist diese limitiert? Welche der Faktoren(gruppen) genotypische Faktoren, Reifungs- und Alternsprozesse und Erfahrungen determinieren in welchem Ausmaß die Plastizität des interessierenden Merkmals?

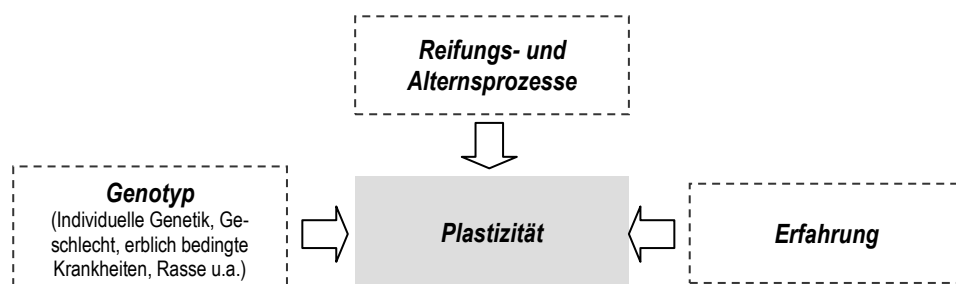


Abb. 16 Grundmodell der Determinanten der Plastizität von Persönlichkeitsmerkmalen

Für die Frage der Trainierbarkeit kann das Nonplastizitätskonzept ausgeschlossen werden, da die Existenz des Begriffes Trainierbarkeit auf der empirischen Evidenz

der Plastizität beruht. Die Gültigkeit des Konzeptes der unbegrenzten Plastizität wird vor dem Hintergrund der vorgestellten biologischen Adaptationsmodelle ebenfalls ausgeschlossen. Als potentielle Determinanten der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten sind genetische Faktoren, der Einfluss von Reifungs- und Alternsprozessen sowie der Einfluss der sportlichen Erfahrung zu diskutieren und zu prüfen.

3.4.2 Theoretische Analyse der Determinanten

Genetische Faktoren

Klissouras (1971) schreibt zu Beginn der 1970er Jahre, die Genetik mache 90% der Variabilität von Ausdauerleistungsparametern aus. Der Anteil wird heutzutage nicht mehr so hoch geschätzt; jedoch wird differenziert zwischen der Genetik der (Ausgangs-)Leistungsfähigkeit und der Genetik der *Trainierbarkeit*. So schlägt z.B. nach Bouchard (1986b) der genetisch festgelegte Anteil der aeroben Leistungsfähigkeit mit 30% zu Buche, während 25-40% der Trainierbarkeit als genetisch determiniert angesehen werden. In der Literatur werden neben der *individuellen* Genetik *gruppenübergreifende* genetische Merkmale diskutiert, die Einfluss auf die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten nehmen (vgl. 2.2.1):

- *Individuelle Genetik*: Der Einfluss der individuellen Genetik wurde bereits im Zusammenhang mit der Dimensionalitätsfrage dargelegt (vgl. 3.3.3) und soll an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden. Hinzuweisen ist darauf, dass dieser Einflussfaktor bei der anschließenden Befundintegration nicht weiter berücksichtigt werden kann, da hauptsächlich Gruppenmittelwerte und nur wenige Einzelwerte vorliegen.²⁷
- *Geschlecht*: Das Geschlecht ist in der Literatur der bislang meist diskutierte genetische Einflussfaktor. Er wird im folgenden Abschnitt gemeinsam mit Alterns- und Reifungsprozessen behandelt, da die Erkenntnisse zur biologischen Entwicklung vermuten lassen, dass es zu Interaktionen zwischen den Faktoren Geschlecht und Alter kommt.
- *Rasse*: Die Frage nach dem Einfluss der Rasse wurde vorwiegend in der Arbeitsgruppe Bouchard untersucht (z.B. Boulay et al., 1988; Skinner et al., 2001). Dabei

²⁷ Dabei wird von einer repräsentativen Verteilung der individuellen Trainierbarkeitstypen in den Stichproben ausgegangen (vgl. auch 6.1.1).

konnten weder in Bezug auf die Leistungsfähigkeit noch auf die Trainierbarkeit signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen menschlichen Rassen nachgewiesen werden. Da in dieser Frage aus physiologischer Sicht noch ein deutliches Forschungsdefizit besteht und der Faktor aufgrund eines Mangels an Studien in der Befundintegration nicht berücksichtigt werden kann, wird nicht weiter darauf eingegangen.

- *Erbkrankheiten*: In der vorliegenden Studie soll ausschließlich die Trainierbarkeit gesunder Menschen betrachtet werden, da eine erste grundlegende Differenzierung des Konstruktes im Mittelpunkt steht. Eine Auseinandersetzung mit dem Einfluss von Erbkrankheiten auf die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten kann darauf aufbauend in weiteren Arbeiten stattfinden.

Der Einfluss von Alter und Geschlecht aus biologischer Sicht

Wie entwickelt sich die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten im Altersverlauf? Wie wirkt sich das Geschlecht dabei aus? Da im Zusammenhang mit der biologischen Entwicklung Interaktionseffekte zwischen Geschlecht und Alter eine Rolle spielen, werden diese beiden Einflussfaktoren im Folgenden gemeinsam abgehandelt.

Eine lebensspannenübergreifende Theorie zur biologischen Entwicklung des Menschen liegt bislang nicht vor, jedoch spielen menschliche Entwicklungsprozesse in verschiedenen Forschungszweigen der Humanbiologie und -medizin eine Rolle, so zum Beispiel in der Entwicklungsbiologie, der Endokrinologie und der (biologischen) Altersforschung. Fasst man deren Erkenntnisse zusammen, lassen sich zwei endogene entwicklungs determinierende Prozesse ausmachen:

- *Genetisch programmierte Entwicklung*: Hierzu zählen sämtliche physiologischen Steuerungsprozesse, die zeitabhängige Veränderungen von Merkmalen bewirken. Das sind genetische, neurophysiologische und hormonelle Ablaufmechanismen einschließlich der Interaktionen auf und zwischen verschiedenen Organisationsebenen (Organe, Gewebe, Zellen, Makromoleküle usw.). Die Entwicklungsbiologie, die sich im Besonderen mit der Programmierung und Induktion von Entwicklungsprozessen auseinandersetzt, legt den Forschungsschwerpunkt bisher auf die frühe Phase der Entwicklung beginnend bei der Konzeption bis zur Geschlechtsreife und dem adulten Habitus. Biologisches Altern findet eher am Rande Erwähnung (zum Überblick über die entwicklungsbiologische Forschung,

vgl. z.B. Müller, 2003). Hier sind die sogenannten Programmtheorien biologischen Alterns anzuführen, die Altern (und Tod) auf genetisch induzierte Prozesse, wozu auch innere Uhren zählen, zurückführen. Als Ursachen des Alternsprozesses werden zum Beispiel eine genetisch begrenzte Anzahl an Zellteilungen, die genetisch bedingte Einstellung bzw. Abnahme der Immunabwehrmechanismen oder der programmierte Zelltod (Apoptose) angenommen. Die spezifisch *menschliche* Entwicklung spielt allerdings bislang in der Entwicklungsbiologie (auch aus forschungsethischen Gründen) nur eine untergeordnete Rolle.

Eine Auseinandersetzung mit der menschlichen Entwicklung findet hingegen in der endokrinologischen Forschung statt. Im Zusammenhang mit der Funktion von Hormon(system)en und der Steuerung von Wachstum und Reifung werden biologische Reifungs- und Alternsvorgänge diskutiert. Von hier stammen Erklärungsansätze für körperlich-physiologische Veränderungen im Lebenslauf, wobei geschlechtsspezifische Besonderheiten eine zentrale Rolle spielen.

- *Verschleißbedingte Entwicklung*: Verschleißerscheinungen auf Organ-, Zell- und subzellulärer Ebene spielen eine zentrale Rolle bei der biologischen Entwicklung. Dabei geht es weniger um durch extreme umweltbedingte Belastung einzelner Organe hervorgerufenen Verschleißerscheinungen als um die „normale“ (physiologische) stoffwechselbedingte Abnutzung. *Stochastische Alternstheorien* sehen Altern als Ergebnis einer der statistischen Wahrscheinlichkeit gehorchenden Folge von schädlichen Verlusten oder einer Ansammlung von Stoffwechselendprodukten (vgl. z.B. Prinzinger, 1996, S. 421). Dazu gibt es eine Fülle detaillierter Erklärungsansätze, die jedoch meist wenig abgesichert sind²⁸ (vgl. im Einzelnen Dandekar, 2004; Ding-Greiner & Lang, 2004; Okonek, 2003; Platt, 1976; Prinzinger, 1996; Schachtschabel, 2004; Schneider & Rowe, 1995). Folge ist in jedem Fall eine Anhäufung von Fehlern, die aufgrund gleichzeitiger Mängel im Reparatursystem des Organismus (die stochastisch oder programmatisch bedingt sein können) im Alter immer weniger behoben bzw. kompensiert werden können. Es kommt zu Degenerationserscheinungen einschließlich Funktionsverlust.

²⁸ Inzwischen wird jedoch davon ausgegangen, dass die verschiedenen Alternstheorien (inklusive der Programmtheorien biologischen Alterns) einander nicht ausschließen sondern ergänzen (z.B. Rusting, 1993).

Programmierte Entwicklungsprozesse werden bislang vorwiegend im Zusammenhang mit Reifungs- und Wachstumsprozessen und damit bezogen auf das Kindes- und Jugendalter diskutiert, während verschleißbedingte Entwicklung schwerpunktmäßig in der Altersforschung Beachtung findet. Letztlich muss jedoch davon ausgegangen werden, dass beide Entwicklungsursachen parallel eine Rolle spielen und sich in ihrer Wirkung überlagern, wobei je nach Lebensphase die eine oder andere Entwicklungsursache dominierend sein kann. Schlussendlich lässt sich anhand dieser Prozesse ein dreiphasiger Entwicklungsverlauf begründen, wie er in der Literatur zur körperlich(-motorisch)en Entwicklung im Allgemeinen beschrieben wird (z.B. Baur et al., 1994; Conzelmann, 1997; Meinel & Schnabel, 2004): Bis zum Erreichen der Geschlechtsreife und der finalen Körpermaße dominieren programmatische Entwicklungsprozesse. Diese verursachen ein rasches Wachstum von Körperstrukturen verbunden mit einer Funktionsverbesserung und einer Ausdifferenzierung der Organe und Gewebe. Doch besteht kein Grund zu der Annahme, dass in dieser Phase nicht auch Verschleißerscheinungen auf zellulärer und subzellulärer Ebene vorliegen. Diese haben möglicherweise aufgrund der vielfachen Umstrukturierungsprozesse keine ersichtlichen und nachhaltigen Auswirkungen; Gewebe erfahren noch Ausdifferenzierungen und werden ohnehin ersetzt.

Nach der vollständigen Ausdifferenzierung von Organen und Geweben verharren Struktur und Funktion auf einem maximal ausgeprägten Niveau. Verschleißbedingte Altersprozesse können aufgrund der hohen Funktionalität der Gewebe und ihrer Reparatursysteme kompensiert werden. Diese Phase wird im Kontext des Sports auch als Höchstleistungsalter bezeichnet. Wenn schließlich die Fehlerquote die Funktionalität der Reparatursysteme übersteigt, kommt es zu einer Abnahme von Funktionsmasse und -volumen. Geht man – wie in den biologischen Alternstheorien angenommen – von *stochastischen* Prozessen aus, ist eine exponentielle Zunahme der Fehlfunktionen und damit der umgekehrte Trend in der Abnahme der Funktionsfähigkeit nahe liegend.²⁹

²⁹ Für einen dreiphasigen Entwicklungsverlauf gibt es auch andere Erklärungsansätze. Zum Beispiel beschreiben Oschütz und Belinova (2003) die Entwicklung biologischer und funktioneller Parameter anhand eines Modells mit einer ersten labilen Phase, die sich durch das Überwiegen des anabolen (aufbauenden) Stoffwechsels auszeichnet, einer weiteren stabilen Phase, in der sich katabole (abbauende) und anabole Stoffwechselprozesse die Waage halten und einer dritten katabol-dominierten Entwicklungsphase.

Eine entscheidende Frage bezieht sich auf die Übergangszeiträume zwischen den Phasen: Wo im Lebensverlauf sind diese angesiedelt? Der erste Übergang ist ohne Zweifel im Alter des Pubertätsendes und des Erreichens der endgültigen Körperproportionen gegeben. Dieser Entwicklungsstand dürfte zwischen dem 15. und 20. Lebensjahr erreicht sein. Uneinig ist sich die Forschung bislang jedoch darüber, ab wann sich die Auswirkungen von Degenerationsprozessen bemerkbar machen. Die Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Zeitpunktes liegen darin begründet, dass es zu starken Konfundierungen von sozialisations- und altersbedingten Auswirkungen auf die körperliche-motorische Leistungsfähigkeit kommt. Während in der Literatur vielfach ab 30 Jahren der Rückgang der Leistungsfähigkeit proklamiert wird (z.B. Dickhuth, 2000; Ding-Greiner & Lang, 2004; Meinel & Schnabel, 2004; Weisser, 2003), sprechen Wettkampfleistungen von älteren Athleten dafür, von einem späteren Zeitpunkt auszugehen (z.B. Conzelmann, 1997).

Die angeführten Annahmen und Erkenntnisse beziehen sich auf den *Entwicklungsverlauf*; dabei sind keine spezifischen Annahmen über Veränderungen der organischen *Anpassungsfähigkeit* an Umweltbedingungen enthalten. Daher ist für die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten zu diskutieren, ob beispielsweise die Annahme eines dreiphasigen Entwicklungsverlaufes ebenfalls zutrifft. Wie in 2.3.2 anhand einiger Zitate veranschaulicht wurde, lässt der aktuelle Forschungsstand keine eindeutigen Aussagen zu dieser Problematik zu: Die Diskussion um sensible Phasen im Kindesalter zeigt, dass für das Kindes- und Jugendalter die Frage der Trainierbarkeit nicht als geklärt gelten kann (z.B. Asmus, 1995; Baur, 1987; Conzelmann, 2002; Starosta & Hirtz, 1989; Winter, 1980). Doch ebenso wenig liegen für den Verlauf der Trainierbarkeit im Erwachsenenalter eindeutige Ergebnisse vor. Da gleichzeitig zur biologischen Determinierung der Trainierbarkeit auf Organ-, zellulärer und subzellulärer Ebene wenig bekannt ist, folgt nun eine kurze Analyse biologischer Veränderungen, die mit der Entwicklung einhergehen und die einen Einfluss auf die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten nehmen könnten; diese werden jeweils an Beispielen erläutert:³⁰

³⁰ Die folgenden Ausführungen orientieren sich weitgehend an Standardwerken der Physiologie und Sportmedizin (z. B. Martin et al., 1999; Prinzing, 1996; Schmidt et al., 2005; Weineck, 2002).

Die biologische Entwicklung geht im Altersverlauf mit Veränderungen der Masse und des Volumens zentraler Funktionssysteme einher. Am offensichtlichsten ist dies im Kindes- und Jugendalter, in denen zum Beispiel eine starke Zunahme der Skelettmuskulatur sowohl in absoluter als auch in relativer Hinsicht (auf das Körpergewicht bezogen) zu vermerken ist. So beträgt zum Beispiel die Muskelmasse bei der Geburt 20-25% der Körpermasse, zu Beginn der Pubertät ca. 30% und beim Erwachsenen ca. 35-50% der Gesamtkörpermasse, wobei der Anteil bei erwachsenen Frauen (nach den hormonellen Umstellungen der Pubertät) ca. 5-10% geringer ist als beim Mann. Die Steigerung beruht ausschließlich auf Hypertrophie und nicht auf einer Zunahme an Muskelfasern (Hyperplasie). Im höheren Alter nimmt die Muskelmasse ab, indem zum einen die Anzahl der Muskelfasern zurückgeht und zum anderen funktionsunfähiges Bindegewebe oder Fett eingelagert wird. Veränderungen von Grundmasse oder -volumen betreffen jedoch auch viele andere Funktionssysteme, so z.B. das Herzkreislaufsystem, das Blutvolumen, die Lunge usw.

Weiterhin treten auch Veränderungen auf, die nicht proportional zum Körperwachstum sind. So verändert sich reifungs- und altersbedingt die Blutzusammensetzung (z.B. der Hämatokrit). Ein weiteres Beispiel ist das Verhältnis von Wanddicke zu Kammerdurchmesser des Herzens: Bis zum Erwachsenenalter bleibt dieses konstant; mit zunehmendem Alter nimmt die Wanddicke jedoch überproportional zu, da aufgrund der abnehmenden Gefäßelastizität eine höhere Belastung gegeben ist, was andere Funktionseigenschaften zur Folge hat: So nimmt die maximale Herzfrequenz im höheren Alter ab, während die Ruheherzfrequenz konstant bleibt.

Ein zentraler entwicklungs determinierender Faktor, der auch für die Trainierbarkeit eine Rolle spielen dürfte, sind Veränderungen im Hormonspiegel, insbesondere des Geschlechtshormonspiegels im Altersgang. Das männliche Geschlechtshormon Testosteron ist als eiweißanaboles Hormon für die Ausbildung der Skelettmuskulatur von Bedeutung, jedoch hat es vermutlich auch auf den gesamten Stoffwechsel eine leistungssteigernde Wirkung. Den weiblichen Östrogenen wird hingegen eine wichtige regenerative Funktion zugesprochen, da sie eine Steigerung der Durchblutung bewirken (Israel, 1992). Wie verändert sich der Hormonstatus im Laufe der Entwicklung? Bis zur Pubertät unterscheiden sich Männer und Frauen diesbezüglich kaum. Der Gehalt des eiweißanabolen Testosterons steigt bei Männern im Verlauf der Pubertät von ~10ng/100ml Serum im Kindesalter auf ~600ng/100ml, bei Frauen lediglich auf ~50ng/100ml an. Bezüglich der Östrogene findet sich während der Pubertät

beim weiblichen Geschlecht ein Anstieg von ~20 auf ~170ng, bei Männern auf ~50ng (Prader et al., 1989; zitiert nach Dickhuth, 2000; vgl. Abb. 17, links). Zur Entwicklung des Hormonspiegels im höheren Alter gilt es als gesichert, dass bei Frauen mit dem Eintreten der Menopause der Östrogenspiegel kontinuierlich abfällt. Bei den Männern gehen Schmidt et al. (2005, S. 714) von einem konstanten Testosteronspiegel bis ins hohe Alter aus, wohingegen Hettinger (1983) die Annahme vertritt, dass es zu einem starken Rückgang der Testosteronausscheidung im Alter kommt (vgl. Abb. 17, rechts).³¹

Weitere Veränderungen betreffen den Grundumsatz³², der bei Kindern im Vergleich zum Erwachsenen um ca. 20-30% erhöht ist. Der Eiweißbedarf eines Kindes (ca. 2,5g pro kg Körpergewicht) entspricht in etwa dem von erwachsenen Kraftsportlern. Die Milchsäurebildungskapazität und damit der anaerobe Stoffwechsel sind im Kleinkindalter noch eingeschränkt (Bar-Or, 1984), hingegen wird von einer höheren oxidativen Kapazität aufgrund eines höheren Anteils an oxidativen Enzymen und einer höheren Anzahl an Mitochondrien ausgegangen als beim Erwachsenen.

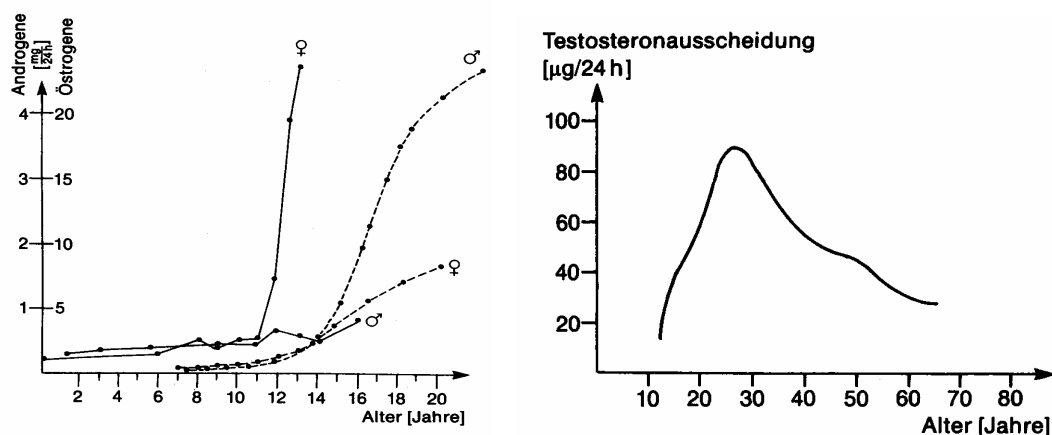


Abb. 17 Links: Die Bildung von Testosteron (-----) und Östrogen (—) bei Jungen und Mädchen im Altersgang (nach Koinzer, 1979, S. 12, modifiziert nach Tanner, 1962); rechts: Testosteronausscheidung in der Lebensspanne bei Männern (nach Hettinger, 1983, S. 140)

³¹ Während im Allgemeinen davon ausgegangen wird, dass altersbedingte Veränderungen des Sexualhormonspiegels einen entscheidenden Einfluss auf die Kraftfähigkeit und -trainierbarkeit haben, geht Bosco (1997) im Gegenzug davon aus, dass der Sexualhormonspiegel durch Krafttraining beeinflusst wird.

³² Als Grundumsatz bezeichnet man den Energieumsatz bei völliger Körperruhe und Muskelentspannung nach Abklingen der Verdauungs- und Resorptionsprozesse bei physiologischer Körpertemperatur (vgl. Weineck, 2000, S. 624; Wirths, 1980, S. 29).

Dem höheren Alter wird ein Nachlassen der nervalen, humoralen und zellulären Steuerungsmechanismen nachgesagt. Als typisches Kennzeichen des Alternsprozesses bezeichnet Schachtschabel die „sich vermindernde Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit auf endogene (im Organismus stattfindende) Änderungen oder Anforderungen („Stressoren“) der Umgebung, was sich in langsam oder/und unvollständig verlaufenden Adaptations- oder Induktionsprozessen bei der Zurückführung der gestörten Parameter in die Normbereiche – der sog. Homöostase – äußert“ (2004, S. 167; vgl. auch Ding-Greiner & Lang, 2004). Als Ursachen können im Zusammenhang mit einer verlangsamten Vermittlung von Nervenimpulsen langsamer reagierende Chemo- und Barorezeptoren gelten (Kuroda, 1989).

Mit der Geschlechtsspezifität der Anpassungsfähigkeit hat sich bereits eine Vielzahl an Autoren auseinandergesetzt, wobei es vorwiegend um hormonell-physiologisch bzw. -strukturell bedingte Unterschiede geht: Grundsätzlich werden die physiologisch bedingten Unterschiede der *konditionellen* Leistungsfähigkeit nicht bestritten. Die Frage nach den Auswirkungen auf die Trainierbarkeit bleibt jedoch bestehen (vgl. 2.3). Insbesondere für die Krafttrainierbarkeit, aber auch allgemein wird auf die Überlegenheit des Mannes verwiesen (z.B. Bausenwein, 1985; Chen & Bouchard, 1986; Dickhuth, 2000; Israel, 1979; Weineck, 2000, 2002). Die Frage nach Geschlechtsunterschieden im Kindesalter wird von der Literatur bislang sehr widersprüchlich beantwortet (zusammenfassend Israel, 1979; Israel & Pahlke, 1981; Israel, 1992). Neben quantitativen Unterschieden werden auch qualitative Geschlechtsdifferenzen im Anpassungsverhalten diskutiert: So verweist Israel (1978, 1999) darauf, dass Frauen durch Training vermehrt die Herzfunktion im *Ruhebereich* verbessern, während bei Männern das *Leistungsverhalten* stärker gesteigert wird. Schmidtbleicher und Reis (1992; vgl. auch Frick et al., 1995; Reis, 1996) machen darauf aufmerksam, dass bei weiblichen Personen eine an der Hormonsituation orientierte Periodisierung des Trainings höhere Zuwachsraten der Kraft zur Folge hat als bei Nichtbeachtung des hormonellen Zyklusses.

Zusammenfassend kann bezüglich der alters- und geschlechtsabhängigen Trainierbarkeit festgehalten werden: Ausgehend von den Ausführungen zu altersbedingten Massen- und Volumenveränderungen sowie der qualitativen Veränderungen in Struktur und Funktion und der Veränderungen in der Stoffwechselregulation ist anzunehmen, dass nicht nur der Ausprägungsgrad von Organmerkmalen und damit die

konditionellen Fähigkeiten selbst, sondern auch die Trainierbarkeit im Entwicklungsverlauf Veränderungen unterliegt. Eine quantitative Spezifikation der Veränderungen ist wegen der teilweise asynchronen Entwicklungsverläufe der betrachteten Merkmalsbereiche, aber auch aufgrund der Notwendigkeit einer Differenzierung hinsichtlich der Dimensionen der Trainierbarkeit und verschiedener konditioneller Fähigkeiten problematisch, so dass diesbezüglich nur Vermutungen aufgestellt werden können:

- Es ist zu vermuten, dass das Höchstleistungsalter die besten Voraussetzungen für eine Anpassung an Trainingsmaßnahmen bietet: Dafür sprechen sowohl die strukturellen Bedingungen (Funktionsmasse und -volumen) als auch der Hormonstatus und seine positiven Auswirkungen auf die biologische Funktionalität.
- Veränderungen im Grundumsatz und in der Homöostasefähigkeit dürften sich eher auf die Umstellungsdynamik und die Anpassungsgeschwindigkeit auswirken, während grundlegende strukturelle Veränderungen vermutlich eher die Reservekapazität beeinflussen. Hormonelle Veränderungen – die wie dargelegt von bedeutendem Ausmaß sind – beeinflussen wahrscheinlich alle Dimensionen der Trainierbarkeit (jedoch nicht notwendigerweise gleichermaßen).
- Eine Geschlechtsspezifität der Trainierbarkeit ist insbesondere während des Höchstleistungsalters zu vermuten, da hier die stärksten Differenzen hinsichtlich des Testosteronspiegels vorliegen. Die Frage nach den Auswirkungen des Geschlechts im späten Erwachsenenalter ist noch zu klären. Ebenso ist zu untersuchen, auf welche Dimensionen das Geschlecht vornehmlich Einfluss nimmt. Hier könnte spekuliert werden, dass aufgrund von unterschiedlichen Massen- und Volumenverhältnissen eher ein Einfluss auf die Reservekapazität vorliegt als auf die Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit.

Die sportliche Vorgeschichte

Welche Rolle spielt die sportliche Vorgeschichte für die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten? Bei dieser Frage geht es um den Begriff der Erfahrung, welche Häcker und Stapf (2004, S. 260) als „das durch (meist wiederholtes) Wahrnehmen (Erleben, Anschauung, Empfindung) gewonnene Wissen“ beschreiben. Für die Bearbeitung der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten ist allerdings ein über psychologische Persönlichkeitsmerkmale hinausgehendes Erfahrungskonzept notwendig. Ein solches findet sich bereits bei Schneirla (1956, S. 40), der Erfahrung allgemeiner als

„the effects of extrinsic stimulation upon development and behavior“ definiert. Gottlieb (1976, S. 27) präzisiert den Erfahrungsbegriff von Schneirla und stellt im Zusammenhang mit der motorischen Erfahrung fest „experience involves sensory or motor function“. Nach Baur (1989, S. 74) schließlich stellen sich „organische Erfahrungen ... über Adaptationsprozesse des Organismus ein“, die dann „als organische Kapazitäten ‚zur Verfügung stehen‘“. In welcher Form und vor allem über welche Dauer werden „konditionelle Erfahrungen“ gespeichert, so dass diese Kapazitäten für weitere Belastungsanforderungen genutzt werden können?

Im Rahmen der aktiven Anpassung kommt es zu strukturell und funktionell bedingten Verbesserungen der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit des betroffenen Funktionssystems. Damit verbunden ist eine veränderte Reaktion bei Einwirken ähnlicher Belastungsreize. Diese Anpassungen sind jedoch in hohem Maße reversibel, d.h. im Gegensatz zu vielen kognitiven und neuromotorischen Erfahrungen (z.B. Spracherwerb, Fahrrad fahren) nähert sich die konditionelle Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit bei (längerfristigem) Aussetzen des Trainingsstimulus wieder dem Ausgangswert an.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob tatsächlich der Ausgangszustand erreicht wird, oder ob auch eine überdauernde Speicherung von Belastungsreizen stattfindet, also ein „konditionelles Gedächtnis“ existiert, wie auch die Existenz eines motorischen (i.S. koordinativ-technischen) Gedächtnisses angenommen wird (z.B. Häcker & Stapf, 2004; Meinel & Schnabel, 2004). In physiologischer Hinsicht ist auf Erkenntnisse der Immunologie hinzuweisen: So genannte Gedächtniszellen erkennen demnach auch nach vielen Jahren einen Krankheitserreger wieder, wodurch eine schnellere Immunreaktion möglich ist als beim Erstkontakt (z.B. Burmester, 2004).

Eine nachhaltige Erfahrungsspeicherung in Bezug auf konditionelle Fähigkeiten ist in verschiedenen Formen denkbar: (a) Die Reversibilität der *strukturellen Anpassung* ist nicht vollständig. Ein gewisser Grad der Anpassung bleibt erhalten, z.B. werden die gebildeten Muskelfaserbestandteile nicht vollständig zurückgebildet. (b) Auf neuronaler oder neurophysiologischer Ebene findet eine Speicherung von Stoffwechselabläufen statt, so dass es nach einer zwar vollständigen Zurückbildung leistungsdeterminierender Strukturen zu einem rascheren Wiederaufbau kommen kann. Hierauf könnte die Alltagsbeobachtung hindeuten, dass bei Spitzensportlern nach verletzungsbedingten Pausen der Wiederaufbau sehr schnell vonstatten geht. (c) Werden vor Abschluss der reifungsbedingten Aufbauprozesse spezifische Anpas-

sungsprozesse induziert, sind Strukturen und/oder Abläufe programmiert, die die Trainierbarkeit auch im höheren Alter begünstigen. Unter dem Begriff „sensible Phasen“ diskutiert die Sportwissenschaft unter anderem diesen Aspekt (vgl. Baur, 1987; Conzelmann, 2002; Starosa & Hirtz, 1989; Winter, 1980). (d) Negative Auswirkungen biologischer Erfahrungen sind ebenfalls denkbar. Beispielsweise proklamiert die Stoffwecheltheorie biologischen Alterns, dass das Produkt aus Stoffwechselrate und Lebensdauer näherungsweise konstant ist (z.B. Prinzinger, 1996). Dies impliziert eine Begrenzung der organismischen Ressourcen (z.B. in Form der Anzahl an Zellteilungen) hat. Eine hohe Stoffwechselrate geht dann mit einer kürzeren Lebensdauer einher. In Anlehnung an diese Theorie sowie an das bereits vorgestellte Modell der aktiven Belastungsanpassung und Regulation der Proteinsynthese (s. 3.2.2) machen Mader und Ullmer (1995) darauf aufmerksam, dass eine langjährige, regelmäßige und intensive sportliche Belastung und damit eine Ausschöpfung der Anpassungsreserve bzw. der Überlasttoleranz auf Dauer eine Minderfunktionalität bewirken kann. Entscheidend ist, dass bei der Analyse der Trainierbarkeit zwischen dem *Trainingszustand* und der *sportlichen Vorgeschichte* unterschieden werden muss. Der Trainingszustand bezieht sich im Weiteren auf die kurz- bis mittelfristig zurückliegenden sportlichen Aktivitäten und die dadurch ausgelösten (reversiblen) Erscheinungen der aktiven Anpassung. Die Frage nach der sportlichen Vorgeschichte impliziert hingegen, dass es *überdauernde* Auswirkungen eines Konditionstrainings gibt. Während der Trainingszustand im Rahmen dieser Arbeit als eine Störgröße bei der Erfassung der Trainierbarkeit aufgefasst wird (vgl. 3.2.3), hat die sportliche Vorgeschichte in der vorliegenden Arbeit den Status einer potentiellen Determinante der Trainierbarkeit.

AKBAA – ein Modell zur Trainierbarkeit in Abhängigkeit vom Alter und der sportlichen Vorgeschichte

Abschließend wird ein Modell zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten vorgestellt, das Conzelmann (1997, 2001) entwickelt und geprüft hat. Das Modell der additiven Kodetermination biologischer Alterns- und Adaptationsprozesse (AKBAA-Modell) geht davon aus, dass der Ausprägungsgrad konditioneller Fähigkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt des Lebensverlaufs durch die beiden direkten Einflussfaktoren „alternsbedingte biologische Auf- und Abbauprozesse“ und „umweltbedingte biologische Adaptationsprozesse“ hinreichend erklärt werden kann. Die Einflussnahme der beiden Systeme diskutiert Conzelmann folgendermaßen: (a) Der Einfluss

des Faktors *biologische Alternsprozesse* auf die Entwicklung konditioneller Fähigkeiten ist aufgrund des Konstruktcharakters einer direkten Ermittlung nicht zugänglich. Allgemeine theoretische Überlegungen legen nahe, von einem höheren Einfluss biologischer Alternsprozesse an den Rändern des Lebensverlaufs auszugehen, wobei aufgrund von Untersuchungen an Untrainierten und an Wettkampfsportlern ein parabolischer Entwicklungsverlauf anzunehmen ist. (b) Die theoretischen und empirischen Aussagen bezüglich der Plastizität im Lebenslauf sind bislang widersprüchlich. Daher wird von der einfachsten Annahme, nämlich der Altersunabhängigkeit der *Plastizität* konditioneller Fähigkeiten ausgegangen. (c) Des Weiteren wird die Annahme einer additiven Wirkungsweise der beiden Einflussysteme formuliert.

Aus dem AKBAA-Modell leitet Conzelmann folgende Hypothesen ab: (a) Die Abnahme konditioneller Fähigkeiten nach dem „Höchstleistungsalter“ verläuft (bei konstantem Adaptationszustand) nonlinear (parabolisch). (b) Die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten ist während des Erwachsenenalters unabhängig vom chronologischen Alter. (c) Der Ausprägungsgrad konditioneller Fähigkeiten in der zweiten Lebenshälfte ist unabhängig von sportlichen Aktivitäten der ersten Lebenshälfte. Die Hypothesen (b) und (c) umfassen damit Fragestellungen der vorliegenden Arbeit.

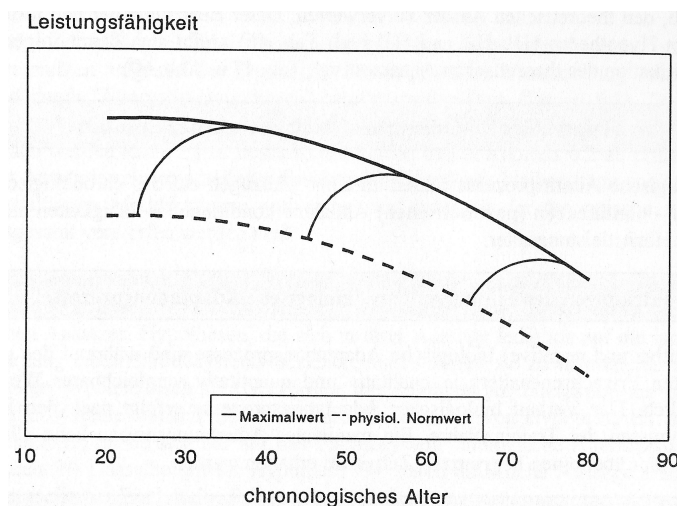


Abb. 18 Schematische Darstellung des AKBAA-Ansatzes zur Entwicklung konditioneller Fähigkeiten im Erwachsenenalter (nach Conzelmann, 1997, S. 282)

In einer ersten Untersuchung (vgl. Conzelmann, 1997) hat sich das Modell (weitgehend) bewährt. Auf einige Einschränkungen bezüglich der Reichweite weist Conzelmann hin: Der AKBAA-Ansatz hat sich (bislang) nur für die energetisch determinierten konditionellen Fähigkeiten als tragfähig erwiesen; je größer der koordinative Anteil an einer Fähigkeit oder Fertigkeit ist (z.B. Aktionsschnelligkeit), desto

weniger treffen die Vorhersagen des Modells zu. Zudem wurde das Modell an einer selektiven Stichprobe – erfolgreichen Seniorenwettkampfsportlern der Leichtathletik – überprüft, die sich gegebenenfalls durch besondere genetische Dispositionen hinsichtlich der Altersleistungsfähigkeit und -trainierbarkeit auszeichnen. Die Verallgemeinerungsfähigkeit des Ansatzes für Frauen, Kinder und nicht oder moderat trainierende Personen bleibt noch zu prüfen.

Welche theoretischen Implikationen enthält der AKBAA-Ansatz für die Trainierbarkeitsthematik? Welche Ableitungen für die vorliegenden Fragestellungen sind möglich? Dazu sollen zwei weitere Aspekte des Modells problematisiert werden:

- *Additive Kodetermination = Entfaltung?* Conzelmann ordnet das von ihm entwickelte Modell als Spezialfall eines Kodeterminationsmodells ein, indem er von der Additivität der Einflüsse von Alterns- und Adaptationsprozessen ausgeht. Die Grundannahmen entsprechen denen des Entfaltungsmodells nach Asendorpf, der erläutert „die Umwelt habe nur zeitlich begrenzte Wirkungen; langfristig setze sich das [genetische] Programm durch“ (vgl. 2004, S. 85). Conzelmann präzisiert dieses Modell, indem er es aus dem Modell der dynamischen Interaktion ableitet und dabei die Konstanz der Trainierbarkeit hervorhebt. Ansonsten konnte Conzelmann zwar zeigen, dass der *Wirkungsgrad* der Umwelt bzw. der Belastung auf die konditionelle Fähigkeitsausprägung sehr hoch ist und es zu starken *Auslenkungen* des genetisch bedingten Entwicklungsverlaufes kommt; aufgrund der Annahme einer *vollständigen Reversibilität* (die durch den Ausschluss des Einflusses der sportlichen Vorgeschichte impliziert ist) verläuft die Entwicklung konditioneller Fähigkeiten jedoch nach dem AKBAA-Modell letztendlich wie im Entfaltungsmodell deterministisch (d.h. bei Ausbleiben des Stimulus setzt sich der altersbedingte Entwicklungsverlauf durch) (vgl. 3.2.1).
- *Trainierbarkeitsverständnis:* Der empirischen Untersuchung Conzelmanns liegt ein präzise definierter und operationalisierter, gleichzeitig aber eingeschränkter Trainierbarkeitsbegriff zugrunde:

„Unter Trainierbarkeit wird der Absolutwert der Differenz zwischen dem Ausprägungsgrad einer konditionellen Fähigkeit eines Individuums im untrainierten und im trainierten Zustand verstanden. ‚Untrainiert‘ kennzeichnet dabei ein Adaptationsniveau, das weder durch Bewegungsmangeleinflüsse, noch durch spezifische Trainingseinflüsse bestimmt wird (‚physiologischer Normwert‘; ...). Unter ‚trainiert‘ wird dagegen ein Zustand verstanden, der sich – als Folge eines langjährigen und umfangreichen Leistungstrainings – durch ein maximales individuelles Adaptationsniveau auszeichnet“ (Conzelmann, 1997, S. 250).

Diese Operationalisierung bildet lediglich *eine* der in 3.3.3 diskutierten Dimensionen der Trainierbarkeit ab, die inhaltlich der oben definierten Reservekapazität entspricht (vgl. 3.3.3). Es ist daher zu prüfen, ob die Reichweite des Modells auch über diese Dimension hinausgeht.

Fazit

Als Determinanten der Trainierbarkeit sind in Anlehnung an die theoretische Analyse individuelle und geschlechtsspezifische genetische Mechanismen sowie Reifungs- und Alternsprozesse anzunehmen. Bezüglich einer Einflussnahme der sportlichen Vorgeschichte besteht bislang die Erkenntnis, dass diese zumindest auf die Reservekapazität keinen Einfluss nimmt. Weitere Untersuchungen stehen noch aus.

Welche Differenzierungen hinsichtlich des Einflusses der Determinanten in Bezug auf die verschiedenen Dimensionen der Trainierbarkeit im Einzelnen erforderlich sind, bleibt zu prüfen.

4 Überlegungen zur Operationalisierung des Konstruktes Trainierbarkeit

Die empirische Erfassung der individuellen Trainierbarkeit ist mit Problemen behaftet, da es sich um ein vergleichsweise komplexes Konstrukt handelt, dem in der Vergangenheit eine Vielzahl von Messoperationen zugeordnet worden ist (vgl. Kapitel 2). Kapitel 3 hat sich deshalb mit der Frage befasst, mit Hilfe welcher Dimensionen das Trainierbarkeitsverständnis präzisiert werden kann. Damit ist das Operationalisierungsproblem zwar ausdifferenziert, jedoch noch nicht gelöst, da auch für die theoretisch modellierten Dimensionen jeweils noch mehrere Messoperationen zur Verfügung stehen. Neben den grundsätzlichen Problemen, die die Operationalisierung von Konstrukten mit sich bringt (vgl. 4.1), besteht die besondere Schwierigkeit in der *Potentialeigenschaft* des Konstruktes Trainierbarkeit. Damit ist die *Veränderlichkeit* ein zentraler Aspekt, was die Notwendigkeit einer dynamischen Testdiagnostik nach sich zieht (vgl. 4.2). Wie im Speziellen bei der Erfassung der *Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten* eine hohe Validität gewährleistet werden kann, ist abschließend zu erörtern (4.3).

4.1 Die Operationalisierung von Konstrukten

Es stellt sich die Frage, wie die in Kapitel 2 aufgezeigten Operationalisierungsvarianten im Rahmen der in Kapitel 3 hergeleiteten Dimensionen einzuordnen sind. Betrachtet man die Kenngrößen und Untersuchungsdesigns innerhalb der Trainierbarkeitsforschung könnte fast jeder Variante ein eigener theoretischer Trainierbarkeitsbegriff zugeordnet werden. Eine solche 1:1-Zuordnung, der die Annahme zugrunde liegt, dass sich theoretische Begriffe vollständig auf Beobachtungsbegriffe zurückführen lassen, wird als „operationale Definition“ bezeichnet (vgl. Bridgman, 1927; nach Gadenne, 1994). In der Wissenschaft besteht heutzutage jedoch Einigkeit darüber, dass die Operationalisierung theoretischer Begriffe nicht streng deterministisch, sondern im Sinne einer „vagen Idee einer nicht-perfekten, ‚ungefähren‘ Korrespondenz zwischen theoretischer und empirischer Größe“ betrachtet werden sollte. Der Operationalisierungsvorgang führt dabei zu einer „bedingte[n] Definition, die eine Äquivalenz von theoretischer und empirischer Größe unter einer empirischen (situativen) Randbedingung behauptet“ (Erdfelder & Bredenkamp, 1994, S. 634; vgl. auch Westmeyer, 1972). Damit wird akzeptiert, dass *verschiedene* Operati-

onalisierungsalternativen für *einen* theoretischen Begriff angemessen sein können und dass eine ungefähre Übereinstimmung der Ergebnisse verschiedener Varianten als ausreichende Annäherung an *ein* Konstrukt gelten kann. Um die Angemessenheit einer Operationalisierung beurteilen zu können, ist jedoch für die einzelnen Varianten zu diskutieren, inwiefern sie der theoretischen Idee, die mit einem Konstrukt verbunden ist, gerecht werden und welche quantitativen und qualitativen Abweichungen von dieser Idee ein Beobachtungswert enthalten kann.

Im Folgenden sollen Probleme, die mit der Operationalisierung des Trainierbarkeitsbegriffes verbunden sind, aufgezeigt und Lösungsvorschläge entwickelt werden.

4.2 Untersuchungsdesigns zur Erfassung der Plastizität

Bezeichnet man mit dem Trainierbarkeitsbegriff das physiologische Potential, auf Belastungsreize mit strukturell bedingten Verbesserungen der konditionellen Leistungsfähigkeit zu reagieren (s. 3.2.3), stellt sich die Frage, wie ein solches Potential erfasst werden kann. Werden zusätzlich *verschiedene* Potentialeigenschaften im Sinne von Dimensionen definiert, sind dabei weitere Differenzierungen vorzunehmen. Grundsätzlich lassen sich vier verschiedene Ansätze unterscheiden, wie man derzeit zu Aussagen über die Plastizität von Persönlichkeitsmerkmalen kommt: die einfache Leistungsdiagnose (4.2.1), querschnittliche Vergleiche (4.2.2), die Veränderungsdiagnostik (4.2.3) und die molekular-genetische Diagnostik (4.2.4).

4.2.1 Einfache Leistungsdiagnostik

Unter einfacher Leistungsdiagnose soll im Weiteren die einmalige Erhebung eines Testwertes in einem Leistungstest verstanden werden. Diese Diagnose wird auch zur Feststellung der Plastizität herangezogen. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass ein hoher Ausprägungsgrad eines Merkmals für eine hohe Plastizität, ein niederer Ausprägungsgrad für eine geringe Plastizität steht. Diese Gleichsetzung bringt jedoch Probleme mit sich: (a) *Konfundierung von Plastizität und Merkmalsausprägung im untrainierten Zustand*: An einem einfachen Beispiel lässt sich zeigen, dass eine Parallelisierung eines so erhobenen Testwertes und der Plastizität zu hinterfragen ist. Kinder reichen in ihren absoluten Kraftleistungen nicht an die Leistungen Erwachsener heran. Dennoch scheint die Schlussfolgerung, dass eine geringere Trainierbarkeit vorliegt, nicht angemessen. Dasselbe gilt beim Vergleich von Frauen und

Männern. Wenn der Plastizitäts- bzw. Trainierbarkeitsbegriffs inhaltlich über den der Leistungsfähigkeit hinausgehen und es nicht zu einer unerwünschten Konfundierung der Trainierbarkeit mit der Merkmalsausprägung im untrainierten Zustand (Ausgangsniveau) kommen soll, muss Letztere bei der Beurteilung der Trainierbarkeit Berücksichtigung finden. (b) *Konfundierung von Trainierbarkeit und Trainingspensum*: Mit einer einmaligen Erhebung kann vergangenen Umwelt- bzw. Belastungseinflüssen nicht Rechnung getragen werden, da der Adaptationszustand unberücksichtigt bleibt. So vernachlässigt zum Beispiel der häufig durchgeführte Vergleich der konditionellen Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen Altersgruppen den Sachverhalt, dass sich die Bewegungsaktivitäten sowohl innerhalb eines systematischen Trainings als auch im Alltag in hohem Maße unterscheiden können. Um die unerwünschte Konfundierung von Trainierbarkeit und dem vorangegangenen Trainingspensum zu vermeiden, muss Letzteres bei der Interpretation von Leistungswerten Berücksichtigung finden.

4.2.2 Querschnittuntersuchung

Eine Möglichkeit, die Nachteile der einfachen Leistungsdiagnose auszugleichen, besteht darin, Querschnittvergleiche zwischen Personen unterschiedlichen Adaptationszustands anzustellen (vgl. Conzelmann, 1999). Dazu werden Differenzwerte von Trainierten und Untrainierten gebildet. Mit diesem Ansatz können die Begriffe Trainierbarkeit und Leistungsfähigkeit inhaltlich voneinander abgegrenzt werden. Folgende Probleme bringt ein querschnittlicher Vergleich mit sich: (a) *Nicht-identische Stichproben*: Da die Stichproben aus unterschiedlichen Personen bestehen, stellen die Differenzwerte keine echten Veränderungswerte dar. Damit kann eine Vielzahl weiterer Faktoren Einfluss nehmen und das Ergebnis verfälschen. (b) *Feststellung des Adaptationszustands*: Der Forschungsstand zeigt, dass die Begriffe „Anfänger“ und „Fortgeschrittener“ oder „Untrainierter“ und „Trainierter“ unterschiedlich verwendet werden. Dabei reicht für die Feststellung des Trainingszustands die Erfassung der absoluten Leistungsfähigkeit nicht aus, sondern es sind eingehende Analysen der erfolgten Umwelt- bzw. Belastungseinflüsse notwendig (vgl. 4.4.3, 4.4.4).³³

³³ Zur Unterscheidung zwischen Trainingszustand und absoluter Leistung bzw. absolutem Ausgangsniveau vgl. auch 4.4.3.

4.2.3 Veränderungsdiagnostik

Verfahren, die auf einer einmaligen Erhebung von Messwerten beruhen und damit der Statusdiagnostik zuzuordnen sind, kann die Veränderungsdiagnose gegenübergestellt werden, die mindestens zwei zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhobene Messwerte an denselben Personen sowie die Bedingungen im Zeitraum zwischen den Messzeitpunkten (Intervention) in Beziehung setzt. Obwohl der Leistungsvergleich vor und nach einer Trainingsintervention in der sportwissenschaftlichen Forschung schon lange praktiziert wird, findet diesbezüglich bislang keine methodentheoretische Auseinandersetzung statt. Eine Diskussion um Möglichkeiten und Grenzen der Veränderungsdiagnostik hat erst die Persönlichkeitspsychologie im Rahmen der Intelligenzforschung eingeleitet. Dem in diesem Zusammenhang bedeutsamen Konzept des Dynamischen Testens liegt die Annahme zugrunde, dass eine einzelne Testleistung nicht ohne Weiteres Rückschlüsse auf die „vergangene“ oder „zukünftige“ Lernfähigkeit erlaubt (vgl. Flammer & Schmid, 1982). In der Psychologie geht es dabei um die Frage nach dem Zusammenhang der Konstrukte Intelligenz und Lernfähigkeit, die sich zur methodischen Frage der Status- vs. Veränderungsdiagnostik ausgeweitet hat (vgl. z.B. Guthke & Wiedl, 1996, S. 68-76; Guthke et al., 2003). Für die vorliegende Thematik entspricht dies der Frage nach dem Zusammenhang von Leistungsfähigkeit und Trainierbarkeit.

Bereits 1950 hatte Zubin, ein klinischer Psychologe und Statistiker, gefordert, für interessierende Merkmale nicht nur einen einzelnen Testwert sondern auch die Variabilität des Merkmals zu erfassen. Dieser Forderung liegen die so genannten Zubinaxiome zugrunde (vgl. Zubin, 1950, S. 3-4; Übersetzung nach Guthke & Wiedl, 1996, S. 39):

- „1. Jedes Individuum wird durch ein gegebenes Performanzniveau charakterisiert, für das der beobachtete Testwert nur eine Zufallsstichprobe darstellt.
2. Jedes Individuum ist durch einen gegebenen Grad an Variabilität um dieses Performanzniveau gekennzeichnet.
3. Veränderungen der internalen und externalen Stimulation führen zu Veränderungen im Performanzniveau, seiner Variation oder in beidem.“

Daraus hervorgehend haben sich im Laufe der Zeit zwei Zielbereiche des Dynamischen Testens herauskristallisiert: Zum einen geht es um eine möglichst biasfreie Abschätzung des Optimums der aktuellen Leistungsfähigkeit und damit um die valide Erfassung des Merkmals, zum anderen geht es um die Veränderbarkeit eines Merkmals, die quasi eine *neue* Eigenschaft darstellt (vgl. Guthke & Wiedl, 1996, S. 8; vgl. aber auch Guthke et al., 2003). Auch wenn für die Erfassung der individuellen Trainierbarkeit

nierbarkeit die Validität der Testdiagnostik (und damit Zielbereich 1) nicht zu vernachlässigen ist (vgl. dazu 4.4), steht als spezifisches Problem der Plastizitäts- und Trainierbarkeitsforschung im Folgenden die Frage nach der Messung der Veränderbarkeit von Merkmalen (also Zielbereich 2) im Vordergrund.

In diesem Zusammenhang sind die so genannten Lerntests zu betrachten. Die Psychologie unterscheidet zwischen Kurzzeitleerntests, die nur eine Sitzung andauern und aufgrund dieser Kurzfristigkeit für biologische Anpassungsprozesse nicht relevant sind, und Langzeitleerntests, die eine "test-teach-test-Struktur" aufweisen und eine explizite Trainingsphase voraussetzen. Die grundlegende Idee besteht darin, durch systematischen Einbau von Trainingsprogrammen, Feedbacks und Denkhilfen in den Testprozess Aufschluss über das Lernpotential zu bekommen. Status quo ist jedoch, dass bei der Konstruktion von Lerntests „sehr pragmatisch, eklektizistisch und wenig theoriegeleitet“ vorgegangen wird (Guthke & Wiedl, 1996, S. 93). Drei grundlegende Auswertungsmethoden lassen sich unterscheiden (ebd. S. 98):

- *Feststellung der Prä-Post-Differenz*: Ein zentrales Problem dabei liegt in der Konfundierung von Treatment-Effekten mit Retest-Effekten (Klauer, 1993). Auch Guthke und Wiedl (1996, S. 360) stellen fest: „Prä-Posttest-Differenzen sind problematisch! Aber auch alle diskutierten Korrekturen der PPD sind ebenso zu problematisieren.“
- *Nur Nutzung des Postwertes bei Langzeit-Lerntests*: Probleme, die sich ergeben, wenn ausschließlich der Postwert einer Interventions- bzw. Langzeitstudie betrachtet wird, wurden bereits im Zusammenhang mit der einfachen Leistungsdiagnostik (4.2.1) diskutiert.
- *Feststellung der Hilfen oder Aufgaben, die notwendig sind, um ein bestimmtes Lernkriterium zu erreichen*: Hier wird ein anderes Kriterium verwendet, indem die Prä-Post-Differenz konstant gehalten und das Treatment (als abhängige Variable) herangezogen wird. Dieses Verfahren kommt bislang selten zur Anwendung. Ein Beispiel im Zusammenhang mit der motorischen Leistungsfähigkeit findet sich bei Wollny (2002), der damit in theoretischer und methodischer Hinsicht fundierte Ergebnisse erzielen konnte.

Ein zentrales Verfahren im Zusammenhang mit dem Leistungsverhalten stellt dabei die Methode des Testing-the-Limits³⁴ (TtL) dar. Zielsetzung dieses Verfahrens ist es, einerseits Leistungsgrenzen zu erheben, zum anderen aber auch valide Aussagen über Moderatorvariablen machen zu können. Nach Schmidt (1971) setzen Mehrfachtestungen im Rahmen dieses Konzeptes eine *nicht zufallsbedingte intraindividuelle Leistungsvariabilität* voraus, die es erlauben soll, Leistungsmöglichkeiten von Individuen abzuschätzen.³⁵ Baltes (1987; 1990) greift den Gedanken der nicht zufallsbedingten Variabilität im Konzept der Plastizität auf und unterscheidet drei Formen der individuellen Leistung: (a) die *Baseline Performance*, die von einer Person ohne Intervention erzielt wird, (b) die *Baseline Reserve Capacity*, die bei optimalen Bedingungen unter Aktivierung aller verfügbaren Ressourcen ausgeschöpft wird und (c) die *Developmental Reserve Capacity* die bei geeigneter Intervention in Anspruch genommen wird (vgl. Baltes, 1987, 1990).³⁶ Für die Erfassung der Developmental Reserve Capacity, die im Zusammenhang mit der Trainierbarkeitsfrage zentral ist, schlägt Baltes (1993) zwei Vorgehensweisen vor: Erstens sollen Personen einem systematischen Lernprozess unterzogen werden. Veränderungen (Prä-Post-Differenzen) werden also in einem prospektiven Ansatz erfasst, wobei eine Analyse des Zusammenhangs von Interventionsparametern und Leistungszuwachs erfolgt. Die zweite Strategie besteht darin, in Anlehnung an die Expertiseforschung Personen, die einen langfristigen Trainingsprozess durchgeführt haben und Spitzenleistungen in einer bestimmten Domäne erbringen, retrospektiv zu betrachten. Es wird also eine langfristige, optimale Intervention vorausgesetzt, um so Aussagen über das Veränderungspotential und den Zusammenhang von Training und Leistung ableiten zu können.

³⁴ An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass der Begriff in der Literatur nicht einheitlich verwendet wird.

³⁵ Diese Grundannahmen sind abweichend von den Axiomen der klassischen Testtheorie, die sich auf die zufallsbedingte Varianz von Messwerten bezieht.

³⁶ Hierbei handelt es sich letztlich um analoge Vorstellungen, wie sie in den biologischen Adaptationsmodellen von Israel (1999) und Mader (1990) formuliert wurden (vgl. 3.2.2).

4.2.4 Molekulargenetische Diagnostik

In den letzten Jahren hat die Molekulargenetik nicht nur für die Vorhersage der sportlichen Leistungsfähigkeit, sondern auch für die Trainierbarkeitsprognose an Bedeutung gewonnen. Hier wird erforscht, ob und welche genetischen Polymorphismen³⁷ für die differentielle Leistungsfähigkeit und Trainierbarkeit verantwortlich gemacht werden können. Innerhalb der sportwissenschaftlichen Forschung lassen sich drei große Studien nennen, die sich mit der Genetik der Leistungsfähigkeit und Trainierbarkeit auseinandersetzen und dabei molekulargenetische Untersuchungen durchführen (vgl. Wolfarth, 2002): (a) In der HERITAGE FAMILY STUDY wurde ein 20-wöchiges kontrolliertes Ausdauertraining mit untrainierten Personen durchgeführt, wobei jeweils mehrere Mitglieder aus zwei Generationen einer Familie teilnahmen. Es handelt sich also um einen kombinierten Ansatz aus dem klassischen Verfahren der Familien- und Zwillingsforschung und gentechnologischen Untersuchungen (vgl. im Überblick Bouchard et al., 1995). (b) Die GENATHLETE STUDY vergleicht Ausdauerleistungssportler mit Normalpersonen (vgl. Wolfarth, 2002). (c) In der BRITISCHEN REKRUTEN STUDIE werden Armeerekruten der Grundausbildung einem zehnwöchigen allgemeinen körperlichen Trainingsprogramm unterzogen (z.B. Montgomery et al., 1998).

Obwohl es bereits zahlreiche Befunde gibt, die einen Zusammenhang zwischen bestimmten Genvarianten und der sportlichen Leistungsfähigkeit bzw. Trainierbarkeit nahe legen, müssen die Ergebnisse aufgrund von Widersprüchen und methodischen Problemen bislang mit Vorsicht interpretiert werden (vgl. Wolfarth, 2002; Bouchard et al., 1989; Dionne et al., 1991). Sollte es gelingen, Genvariationen zu identifizieren, die die Trainierbarkeit determinieren, könnte die molekulargenetische Diagnostik zu einem wichtigen Instrument der Trainierbarkeitsmessung und -prognose werden.

4.3 Die Operationalisierung der Trainierbarkeitsdimensionen

Welches Fazit lässt sich für die Erfassung der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten ableiten? Prinzipiell ist eine Veränderungsmessung im Sinne des Dynamischen Testens anzustreben mit einem Test-teach-test-Ansatz und – soweit möglich – mit

mehreren Zwischenmessungen, um den Verlauf beobachten zu können. Folgende Operationalisierungen werden im Einzelnen vorgeschlagen:

Die Dimension *Umstellungsdynamik* bezieht sich auf den Trainingseffekt oder auch den Anpassungsverlauf im Zeitraum der ersten Tage bis Wochen nach Trainingsbeginn. Es gilt zu beobachten, ab welchem Zeitpunkt nach Beginn der Trainingsmaßnahmen manifestierbare Anpassungserscheinungen auftreten und inwieweit sich der Verlauf vom späteren, erwartungsgemäß kontinuierlichen Leistungsanstieg unterscheidet. Damit geht es zum einen um die Frage nach einer Latenzzeit sowie nach Unregelmäßigkeiten im Verlauf.

Mit der Dimension *Anpassungsgeschwindigkeit* soll dagegen die mittelfristige Dynamik der Anpassung erfasst werden. Hierfür wird die Phase des kontinuierlichen Leistungsanstiegs, welcher im Anschluss an die Umstellungsphase erwartet wird, betrachtet. Es stellt sich die Frage nach dem geeigneten Zeitraum: Dieser sollte länger sein als die Dauer der Umstellungsphase, gleichzeitig jedoch nicht zu lange, da Interventionsmaßnahmen nicht beliebig lange in ausreichend standardisierter Form durchführbar sind. Aus diesem Grunde wird vorgeschlagen, Zeiträume von maximal einem Jahr zu wählen. In diesem Zeitraum scheint eine experimentelle Versuchsanordnung (gerade noch) möglich, da sowohl die Intervention als auch Bewegungsaktivitäten außerhalb der Intervention ausreichend kontrolliert werden können. Bei zunehmender Dauer der Intervention nimmt der Einfluss weiterer Faktoren (z.B. andere Bewegungsaktivitäten, krankheitsbedingte Ausfälle, motivationsbedingte Nichteinhaltung von Trainingsvorgaben) zu und damit die Validität der Messung ab.

Differenziert man die Anpassungsgeschwindigkeit, wie im vorigen Kapitel vorgenommen, nach *Sensitivität* und *Regenerationszeit*, sind im Speziellen die Trainingsparameter Intensität und Häufigkeit zu variieren und die Auswirkungen auf den Anpassungsverlauf zu analysieren.

Für die Erfassung der *Reservekapazität* ist fraglich, inwieweit (prospektive) Veränderungsmessungen dieser Reichweite realisierbar sind. Die Expertiseforschung geht von einem Zeitraum von zehn Jahren aus, um Weltspitzenleistungen zu erzielen (10-Jahres-Regel; vgl. Bloom, 1985). Da dazu ein systematischer und intensiver Trai-

³⁷ Polymorphismus bedeutet, dass unterschiedliche Ausprägungsformen (Allele) eines Gens existieren, die interindividuell unterschiedliche Phänotypen bewirken können.

ningsprozess vorausgesetzt werden muss,³⁸ sind kontrollierte Längsschnittstudien kaum durchführbar, so dass nach sinnvollen Alternativen zu suchen ist. Eine solche stellt der Vorschlag von Baltés dar, die Leistungsentwicklung von Spitzenathleten retrospektiv zu analysieren (vgl. 4.2.3). Problematisch an diesem Ansatz ist jedoch, dass von diesen Personen meist keine Testwerte im untrainierten Zustand vorliegen, so dass diese zum Beispiel mit Hilfe von Normwerten abzuschätzen sind. Meist ist daher für die Frage der Reservekapazität in Ermangelung einer besseren Vorgehensweise ein querschnittliches Design heranzuziehen. Zu beachten ist, dass bei einer selektiven Stichprobe von Spitzensportlern möglicherweise herausragende genetische Dispositionen vorliegen, was die Trainierbarkeit oder die Ausgangsleistungsfähigkeit anbelangt. Die Interpretation solcher Ergebnisse ist daher kritisch vorzunehmen. Dennoch scheint dies beim aktuellen Stand der Forschung die beste methodische Annäherung an das Konstrukt Reservekapazität der Trainierbarkeit zu sein (vgl. z.B. Conzelmann, 1997).

4.4 Validitätsoptimierung der Trainierbarkeitsmessung

Abschließend sollen Aspekte diskutiert werden, die im Spezifischen zu beachten sind, um eine valide Erfassung der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten in einem Veränderungsdesign zu gewährleisten. Es sind aber auch Hinweise für Erhebungen mit der einfachen Leistungsdiagnostik und dem Querschnittsdesign eingeschlossen.

4.4.1 Leistungsdiagnose

Um den Haupttestgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität (z.B. Bühner, 2004; Rost, 2004) zu genügen, ist ein hoher Standardisierungsgrad notwendig, der vor allem die Messtechnologie und die Konstanthaltung der äußeren Bedingungen betrifft. Das Erreichen der *Baseline Reserve Capacity* (des aktuellen Leistungsmaximums, vgl. 4.2.3) ist zu gewährleisten, indem die Voraussetzungen eines ausreichenden Regenerations-, Gesundheits- und Ernährungszustands erfüllt sind, sowie die entsprechende psychische Bereitschaft (Motivation) provoziert wird.

³⁸ In der Expertiseforschung wird die Beschäftigung mit einer Tätigkeit, die auf eine systematische und intensive auf langfristige Leistungsfortschritte ausgerichtete Leistungsverbesserung ausgerichtet ist, unter dem Begriff „Deliberate practice“ geführt (vgl. Ericsson et al., 1993).

4.4.2 Veränderungsdiagnose

Für die Veränderungsmessung sind folgende Kriterien zu beachten:

- Um Retest- von Interventionseffekten zu unterscheiden, muss – insbesondere bei der ersten Testung – eine ausreichende Testgewöhnung (z.B. Geräteeinführung) stattgefunden haben. Gleichzeitig sollte ein Trainingseffekt durch die Testgewöhnung und auch den Prätest ausgeschlossen bzw. kontrolliert werden. Für die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten dürften jedoch – aufgrund der Langfristigkeit der Anpassungsprozesse – Testgewöhnungs- und Prätestauswirkungen relativ unproblematisch sein bzw. kann die Testung selbst als Teil der Interventionsmaßnahme protokolliert werden.
- Als Veränderungsparameter sind zwei Möglichkeiten praktikabel: Die Erfassung (a) der absoluten Veränderung und (b) der Veränderung relativ zum Ausgangswert. Die Absolutveränderung gibt das am wenigsten verfälschte Ergebnis wieder. Sie sollte jedoch durch die Angabe des Ausgangsniveaus ergänzt werden. Die Erfassung der prozentualen Veränderung erscheint ebenfalls nur sinnvoll, wenn zusätzlich das Ausgangsniveau berücksichtigt wird, da bei besonders niederem Ausgangsniveau besonders hohe Zuwächse zu verzeichnen sind und daher die prozentualen Veränderungsdaten überdimensional hoch sind.³⁹
- Wenn der Anpassungsverlauf von Interesse ist, ist zu beachten, dass die in langfristiger Hinsicht stetig ansteigende Leistungsentwicklung kurzfristig einen wellenförmigen Verlauf aufweist (vgl. z.B. Verchoshansij & Viru, 1990). Um einen Aliasing-Effekt⁴⁰ zu vermeiden, müssen diese periodischen Schwankungen bei der Wahl und Anzahl der Messzeitpunkte bzw. der Interpretation der Messwerte berücksichtigt werden.

³⁹ Ein Beispiel für diesen Effekt stellt die Untersuchung von Fiatarone et al. (1990) dar, in der innerhalb von acht Wochen bei Über-80-Jährigen 61- bis 374%ige Kraftgewinne der Kniestreckler beobachtet wurden.

⁴⁰ Der Begriff des Aliasing-Effektes stammt aus der Messtechnik und bezieht sich darauf, dass für die Erfassung einer gegebenen periodischen Funktion mindestens die doppelte Messfrequenz im Vergleich zu derjenigen des Messsignals erforderlich ist (für die Sportwissenschaft vgl. Mester & Perl, 2000, S. 44).

4.4.3 Schaffung gleicher Ausgangsbedingungen

Für den Vergleich zwischen verschiedenen Personengruppen ist es notwendig, gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen. In Bezug auf die Trainierbarkeit sind dabei zwei Möglichkeiten gegeben: Bei den zu vergleichenden Personen(gruppen) kann das *Ausgangsniveau* oder der *Adaptationszustand* gleichgesetzt werden. Unter Ersterem soll die Absolutleistung, die zu Beginn einer Intervention gemessen wird, verstanden werden. Letzteres sei als der Grad der Anpassung definiert, welcher durch die habituellen Bewegungsaktivitäten (welche sowohl sportliches Training als auch Alltagsaktivitäten umfassen) erreicht wird. Dafür ist es notwendig, Art und Umfang der Aktivitäten, die zu einer Veränderung des Leistungsniveaus führen, (wenn notwendig retrospektiv) zu erfassen und anhand dieser Daten eine Einstufung des Adaptationszustands vorzunehmen. Wie lässt sich der Adaptationszustand bestimmen und eine sinnvolle Abstufung zwischen „trainierten“ und „untrainierten“ Personen erreichen? Dazu sind sowohl sportliche Aktivitäten als auch Alltagsaktivitäten zu erheben. Sollten größere Veränderungen des Bewegungsverhaltens stattgefunden haben, sind mehrere zurückliegende Jahre zu berücksichtigen. Zur Erfassung kommen Befragungen, Protokolle sowie technologische Hilfsmittel in Frage (vgl. dazu auch 4.4.4 und Abb. 19). Eine Gleichsetzung von Ausgangsniveau und Adaptationszustand ist fehlerbehaftet. Bei einem Vergleich zwischen Männern und Frauen bzw. verschiedenen Altersklassen, bei denen genetisch bzw. reifungs-/altersbedingt mit unterschiedlichen Absolutwerten bei gleichem Adaptationszustand zu rechnen ist, ist eine Gleichsetzung des absoluten Ausgangsniveaus auf keinen Fall zulässig. Doch selbst bei individuellen Vergleichen innerhalb eines Geschlechts bzw. einer Altersgruppe ist eine solche Gleichsetzung aufgrund der ebenfalls vorhandenen genetischen Unterschiede problematisch.

4.4.4 Störgrößenkontrolle im Rahmen der Intervention

Wie sind die Intervention und der Interventionszeitraum zu standardisieren und zu protokollieren?

- Zur Standardisierung gehört die genaue Festlegung der Trainingsparameter (Dauer, Frequenz, Intensität, Qualität), wobei die Einhaltung des Trainingsprogramms zu kontrollieren ist. Dabei ist eine geeignete technische Ausstattung (z.B. zur Herzfrequenzmessung) empfehlenswert.

- Bei der Gestaltung des Trainingsprogramms ist ein individuelles Trainingsprogramm mit angepassten Intensitäten und Umfängen einem schwer kontrollierbaren und dem individuellen Leistungsniveau weniger gut gerecht werdenden Gruppentraining vorzuziehen.
- Um eine längerfristige Leistungssteigerung zu provozieren, ist eine nach festen Regeln ablaufende progressive Belastung notwendig.
- Bewegungsaktivitäten außerhalb des Trainingsprogramms sind zu erfassen. Hierzu können verschiedene Methoden dienen, die sich hinsichtlich ihrer Praktikabilität und Fehlerfreiheit unterscheiden (vgl. Abb. 19). Zudem sollten die Aktivitäten möglichst konstant gehalten werden.

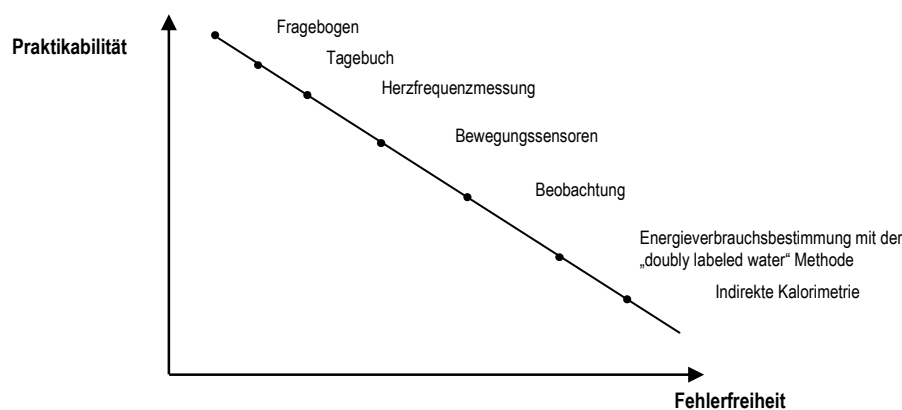


Abb. 19 Praktikabilität und Fehlerfreiheit von Methoden zur Erfassung der habituellen Aktivität (übersetzt nach Rowland, 1996, S. 99).

4.4.5 Untersuchungsdesigns zur Erfassung von Entwicklungsfragestellungen

Für die Beantwortung der Frage nach der Altersabhängigkeit sowie nach dem Einfluss der sportlichen Vorgeschichte auf die Trainierbarkeit gilt es, zwei Veränderungsprozesse voneinander abzugrenzen: biologische Reifungs- und Alternsprozesse vs. Adaptationsprozesse.

In Bezug auf die Altersabhängigkeit ist das von Conzelmann (1999) diskutierte „Doppellängsschnittsdesign“ zu erwähnen, bei dem eine Person in verschiedenen Altersphasen ausgehend vom selben Adaptationszustand dasselbe Interventionsprogramm durchführen sollte. Da ein solches Vorgehen zwar methodisch korrekt, aber kaum realisierbar ist, muss für die Frage der Altersabhängigkeit auf ein Untersuchungsdesign zurückgegriffen werden, wie es für differentielle, z.B. geschlechtsspezifische Fragestellungen auch gilt: Es ist ein Vergleich zwischen Personen

unterschiedlichen Alters vorzunehmen, wobei auf die Schaffung gleicher Ausgangsbedingungen (vgl. 4.4.3) ein besonderes Augenmerk zu richten ist.

Ähnlich verhält es sich mit der Bearbeitung der Frage nach der Bedeutung der sportlichen Vorgeschichte. Erschwerend kommt hier allerdings hinzu, dass die sportliche Vorgeschichte von Personen unterschiedlichen Alters schon aufgrund der unterschiedlichen „Dauer“ der sportlichen Vorgeschichte nicht vergleichbar sein kann. Hier kann lediglich eine (am Einzelfall zu diskutierende) Optimierung der Vergleichbarkeit angestrebt werden.

4.4.6 Auswertung von Gruppenmittelwerten

Nach wie vor werden bei Fragestellungen zur Trainierbarkeit meist Gruppenmittelwerte erfasst. Ein Problem bei diesem Vorgehen stellt dabei die Tatsache dar, dass es nachgewiesenermaßen große individuelle Unterschiede gibt. Dies betrifft sowohl das genetisch bedingte absolute *Ausgangsniveau* bei gleichem Adaptationszustand, als auch die Trainierbarkeit (vgl. 2.2.1, 3.4.2). Damit kommt es zu nicht kontrollierbaren Interaktionen zwischen Person und Treatment (vgl. auch Abb. 11). Studien orientieren sich bei der Auswertung und Interpretation häufig lediglich an der Veränderung des Gruppenmittelwertes. Eine Homogenisierung der Gruppen bezüglich des *Adaptationszustands* wird dabei (soweit es sich nicht um natürliche Gruppen, wie z.B. Schulklassen handelt) meist angestrebt, indem bei der Auswahl der Probanden entsprechende Kriterien geltend gemacht werden.

4.4.7 Trainierbarkeit im Inter-Studien-Vergleich

Aufgrund der vielfältigen Fragestellungen, die allein im Zusammenhang mit der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten bestehen, und den Möglichkeiten, diese zu bearbeiten, ist die Vergleichbarkeit von Ergebnissen verschiedener Studien dringend erforderlich. Für die weitere Trainierbarkeitsforschung wird daher vorgeschlagen, Parameter und Verfahren stärker zu konventionalisieren und eine möglichst exakte Protokollierung und Kontrolle zu gewährleisten.

5 Möglichkeiten und Grenzen einer Befundintegration zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme

Der induktive Zugang zu dem in Kapitel 3 entwickelten Modell findet im Rahmen einer Befundintegration und am Beispiel der maximalen Sauerstoffaufnahme statt. Bevor das methodische Vorgehen im Detail erläutert wird (vgl. 6.4), sollen theoretisch-methodische Grundlagen zur maximalen Sauerstoffaufnahme und deren Erfassung sowie der Forschungsstand zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme vorgestellt werden (5.1), anschließend werden die Entscheidung für ein befundintegratives Vorgehen begründet und Formen der Befundintegration diskutiert (5.2) und schließlich die Möglichkeiten einer Dimensionsanalyse im Rahmen einer Befundintegration betrachtet (5.3). Abschließend können Fragestellungen und Annahmen für die nachfolgende Analyse präzisiert werden (5.4).

5.1 Der Parameter „maximale Sauerstoffaufnahme“ (VO_{2max})

Kapitel 3 hat die Komplexität des Konstruktes Trainierbarkeit veranschaulicht. Es wurde ein „Modell zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten“ entwickelt, das mehrere Dimensionen und Determinanten umfasst. In Kapitel 4 wurde die Frage der Konstruktoperationalisierung diskutiert. Eine Prüfung des Modells für die Gesamtheit des konditionellen Fähigkeitsbereiches wäre zu komplex. Aus diesem Grunde wird exemplarisch die Trainierbarkeit der *maximalen Sauerstoffaufnahme* betrachtet. Im Folgenden werden Begrifflichkeit und Bedeutung dieses Parameters sowie messmethodische Grundlagen und Normwerte erläutert (5.1.1). Abschließend wird der aktuelle Forschungsstand zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme skizziert (5.1.2).

5.1.1 Grundlagen

Die maximale Sauerstoffaufnahme wird häufig als „Bruttokriterium der kardio-pulmonalen Kapazität“ bezeichnet und stellt eine klassische Messgröße zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit dar. Das Kriterium wurde 1924 von A. V. Hill eingeführt und begann sich in der klinischen Diagnostik zu etablieren, nachdem im Jahr 1929 das erste spiroergometrische Verfahren entwickelt worden war, das eine Belastungsdosierung und kontinuierliche Registrierung der Atemgase erlaubte. Der Durchbruch der Spiroergometrie erfolgte jedoch erst in den 1950er Jah-

ren, als die Technologie so weit fortgeschritten war, dass sie auch den wissenschaftlichen Standards genügte. 1974 wurde schließlich das erste vollelektronisierte und computerisierte Fahrradergometer entwickelt (vgl. Hollmann & Hettinger, 2000), ebenso gelangen in den 70er Jahren noch wesentliche Entwicklungen zur Messung des Gasaustausches (vgl. Röcker, 2002).

Unter *Sauerstoffaufnahme* versteht man die Menge an Sauerstoff, die in der Lunge aus der eingeatmeten Luft extrahiert wird. Dabei bildet die spirometrisch gemessene Sauerstoffaufnahme die Differenz zwischen der jeweils in- und expirierten Sauerstoffmenge ab. Die Aufnahme pro Zeiteinheit wird als Sauerstoffaufnahme rate bezeichnet.⁴¹ Die *maximale Sauerstoffaufnahme* ist die höchstmögliche Aufnahme rate, die ein Organismus erzielen kann. Bei spiroergometrischen Belastungstests zeichnet sich der Maximalwert dadurch aus, dass die Sauerstoffaufnahme rate trotz steigender Belastung bzw. Leistung stagniert und damit bei der Aufzeichnung ein charakteristisches Plateau (sog. Leveling-off) erkenntlich wird (vgl. z.B. Löllgen, 2000).

Die Sauerstoffaufnahme fähigkeit ist multifaktoriell limitiert. Hollmann und Hettinger (2000, S. 320; vgl. auch Löllgen, 2000; Meyer & Kindermann, 1999) fassen die in der Literatur genannten Determinanten zusammen: (a) Ventilation, Distribution und Diffusion in der Lunge, (b) Herzzeitvolumen, (c) Blutverteilung, (d) arteriovenöse O₂-Differenz (= periphere Utilisation), (e) Blutvolumen, (f) Total-Hämoglobingehalt, (g) dynamische Leistungsfähigkeit der beanspruchten Muskulatur und (h) Ernährungszustand. Diese Determinanten sind durch Training mehr (z.B. Herzzeitvolumen, Blutphysiologie, Muskelmetabolismus) oder weniger (z.B. Gasaustausch in der Lunge) beeinflussbar. Insbesondere zwischen dem Herzzeitvolumen und der maximalen Sauerstoffaufnahme besteht eine hohe Korrelation ($r=.88$ bis $.91$; nach Hollmann & Hettinger, S. 315).

Die *absolute* maximale Sauerstoffaufnahme wird in Litern pro Minute angegeben. Für Vergleiche zwischen Personen ist der Bezug auf die Körpermasse jedoch sinnvoll ($l/min \cdot kg^{-1}$), da sich einsetzbare Muskelmasse, Herzgröße und Blutvolumen in Ab-

⁴¹ Der *Sauerstoffverbrauch* hingegen bezieht sich auf den tatsächlich in den Geweben des Körpers verstoffwechselten Sauerstoff und entspricht der *Sauerstoffaufnahme rate* der Lunge nur, wenn man davon ausgeht, dass die Speicher für Sauerstoff (z.B. im Blut) konstant sind. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit den zeitlichen Abläufen beim Sauerstofftransport und damit verbunden der Sauerstoffspeicherung findet sich bei Röcker (2002).

hängigkeit vom Körpergewicht unterscheiden; in Sportarten, in denen das Körpergewicht nicht selbst getragen werden muss, können Absolutwerte manchmal aussagekräftiger für die Leistungsfähigkeit sein (z.B. Rudern, Bahnradfahren, Schwimmen) (Meyer & Kindermann, 1999). Einige Autoren verweisen darauf, dass der Zusammenhang zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und der Körpermasse nicht linear ist, und schlagen Exponenten zwischen 0.67 und 0.75 vor, in Abhängigkeit vom Homogenitätsgrad der Gruppe bezüglich Gewicht, Alter, Größe und Trainingszustand (vgl. Berg, 2003). Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Sauerstoffaufnahme auf die fettfreie Masse zu beziehen; so haben beispielsweise Frauen bezogen auf die Körpermasse eine um 10-25%, bezogen auf die fettfreie Masse eine um 1-10% geringere maximale Sauerstoffaufnahme als Männer (Drinkwater, 1989). Diese beiden Alternativen zur Relativierung an der absoluten Körpermasse finden sich bislang jedoch selten in Publikationen.

In der Zwischenzeit hat die maximale Sauerstoffaufnahme als leistungsdiagnostischer Parameter und für die Ableitung von Trainingsempfehlungen zumindest für den Leistungssport an Bedeutung eingebüßt und wird zunehmend durch die Erfassung submaximaler Leistungsparameter (z.B. Laktatschwellen) ersetzt. Diese korrelieren mit der Ausdauerwettkampfleistung besser korrelieren und außerdem auch im Feld erhoben werden können (Kindermann et al., 2001; Meyer & Kindermann, 1999; Röcker et al., 1998). Der Nutzen der maximalen Sauerstoffaufnahme für die Leistungsdiagnostik wird unter anderem durch den Sachverhalt in Frage gestellt, dass der Maximalwert der Sauerstoffaufnahme lediglich für die aerobe Kurzzeitausdauer, d.h. Belastungen von ca. 3-10 Minuten, eine limitierende Größe darstellt. Für längere Ausdauerbelastungen ist hingegen die Dauerleistungsgrenze entscheidend und damit der Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme, der längerfristig genutzt werden kann (vgl. Hollmann & Hettinger, 2000; Meyer et al., 1999; Röcker et al., 1998). Insbesondere im Spitzenbereich kann die Ausdauerleistung bei geeignetem Training zunehmen, ohne dass sich die maximale Sauerstoffaufnahme verbessert. Dennoch stellt die maximale Sauerstoffaufnahme einen Parameter dar, der über die Breite der Bevölkerung hinweg einen hohen Zusammenhang zur aeroben Ausdauerleistung zeigt und aufgrund seiner Nichtinvasivität nach wie vor eine wichtige Rolle in Studien zur Effektivität von Ausdauerprogrammen übernimmt (Borbalk & Neumann, 2000). Für ältere Menschen schätzen Wiswell et al. (2000) die maximale Sauerstoffaufnahme sogar als besseren Leistungsprädiktor ein als die Laktatschwelle.

Die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme erfolgt anhand von Belastungstests. Dabei lassen sich direkte von indirekten Verfahren unterscheiden. Während direkte Verfahren die Sauerstoffaufnahme tatsächlich messen, wobei durch eine entsprechende Belastung das Erreichen des Maximalwertes angestrebt wird, kann die Sauerstoffaufnahme auch anhand von Näherungsformeln aus der maximalen Belastungsstufe oder aus submaximalen Belastungs- bzw. Herzfrequenzwerten berechnet werden. Aufgrund der großen interindividuellen Unterschiede besteht jedoch eine beachtliche Fehlerquote bei indirekten und submaximalen Verfahren, so dass im Allgemeinen eine direkte Messung in einem Maximaltest empfohlen wird (z.B. Eisele et al., 1996; Heck, 1990; Löllgen, 2000; Shephard, 1993). Auf weitere Erläuterungen zu indirekten Verfahren wird daher verzichtet.

Die am häufigsten verwendete Ergometrieform ist die Fahrradergometrie, da hierbei kaum koordinative Anforderungen bestehen, das Körpergewicht eine geringe Rolle spielt und die Belastung gerade bei nicht-sportgewohnten Personen am besten dosiert, reproduziert und verglichen werden kann. Weitere sportartunspezifisch angewandte Formen sind die Laufbandergometrie, Tret- und Drehkurbelergometrie und die Kletterstufe. Zunehmend werden für die Belange des Leistungssports auch sportartspezifische Ergometrieformen (Ruderergometrie, Kajakergometrie, Schwimmergometrie usw.) entwickelt. Zu beachten ist bei der Wahl der Ergometrieform und beim Vergleich von Werten, dass beträchtliche Unterschiede im Wirkungsgrad der einzelnen Belastungsweisen bestehen (Tab. 8). Um individuelle Maximalwerte zu erzielen ist der dynamische Einsatz möglichst großer Muskelgruppen notwendig. In diesem Sinne ermöglicht das (bergauf geneigte) Laufband eine maximale Ausbelastung, wenn die Bewegung koordinativ bewältigt werden kann. Ähnliches gilt für die parallele Arm- und Beinergometrie. Es folgen die Kletterstufe und das Laufen auf der Ebene vor fahrradergometrischen Formen. Die geringsten Werte werden bei der Drehkurbelarbeit mit den Armen erzielt (vgl. Heck, 1990; Hollmann & Hettinger, 2000; Löllgen, 2000). Allerdings gilt für trainierte Personen die Aussage, dass diese im sportartspezifischen Test die jeweils höchsten Werte erzielen (z.B. Meyer & Kindermann, 1999).

In Abhängigkeit von personbezogenen Voraussetzungen sind unterschiedliche Belastungsschemata (im Einzelnen: Belastungsmodus, Belastungssteigerung, Anfangsbelastung) empfehlenswert. Bezüglich des Belastungsmodus wird zwischen kontinuierlich, rampenförmig und stufenförmig unterschieden. Am häufigsten kommt

das Stufenprotokoll zur Anwendung, auch wenn es hinsichtlich des Erreichens maximaler Werte nicht als Ideallösung angesehen wird. Besteht die Möglichkeit in Vor- tests die Leistungsfähigkeit im aerob-anaeroben Übergangsbereich zu bestimmen, sind deshalb kontinuierliche Protokolle zu bevorzugen. Grundsätzlich sollte innerhalb einer Belastungszeit von 8-15 Minuten der Maximalwert erreicht werden (Meyer & Kindermann, 1999).

Tab. 8 Durchschnittlich erreichter Anteil der VO_{2max} bei verschiedenen Formen von Ergometerarbeit (nach Löllgen, 2000, S. 188; Original in Ellestad, 1996)

Art der Belastung	VO_{2max}
aufwärts laufen (>3%) (Laufband)	100%
Laufen auf der Ebene	95-98%
Fahrradergometrie, sitzend, mit 2 Beinen	93-96%
Fahrradergometrie, sitzend, mit 1 Bein	65-70%
Fahrradergometrie, liegend	82-85%
Drehkurbelarbeit mit den Armen	65-70%
Arm- und Bein-Ergometrie	100%
Schwimmen	85%
Stufen-Test (Kletterstufe)	97%

Was die Spirometrie anbelangt, gibt es geschlossene und offene Systeme (vgl. Löllgen, 2000). Bei geschlossenen Systemen atmet der Proband Sauerstoff. Die Sammlung der Ausatemluft erfolgt in so genannten Douglassäcken oder sie wird aus einem Mischgefäß konstant abgesaugt. Hier können nur Mittelwerte über eine Minute ermittelt werden. Bei den zwischenzeitlich fast ausschließlich gebräuchlichen offenen Systemen atmet der Proband atmosphärische Luft und es werden expiratorische O_2 - und CO_2 -Konzentrationen in kürzeren Intervallen bestimmt.

Da ein Leveling-off häufig nicht eintritt (das heißt der Belastungsabbruch erfolgt *bevor* die O_2 -Aufnahmerate stagniert), ein Plateau außerdem von manchen Autoren auch nicht als ausreichendes Kriterium für das Vorliegen der maximalen Sauerstoffaufnahme angesehen wird, sind weitere Abbruchkriterien definiert worden: das Erreichen der maximalen Herzfrequenz, des maximalen Atemäquivalents (Atemminutenvolumen/Sauerstoffaufnahme), des maximalen Respiratorischen Quotienten (VCO_2/VO_2), des maximalen Laktatwerts und das Ausbleiben eines weiteren Anstiegs des Sauerstoffpulses (Sauerstoffaufnahme/Herzfrequenz) (z.B. Duncan et al., 1997; Heck, 1990; Howley et al., 1995; Shephard, 1993). Aus diesem Grund findet sich auch der Begriff VO_{2peak} , der zum Ausdruck bringt, dass es sich lediglich um den testspezifisch erreichten Maximalwert und damit nicht zwingend um die maxima-

le Sauerstoffaufnahmehandlung handelt. Allerdings herrscht zumindest in der empirischen Literatur keine scharfe Trennung der Begriffe VO_{2peak} und VO_{2max} .

Trotz gewisser Einschränkungen wird die maximale Sauerstoffaufnahme unter optimalen Testbedingungen auch heute noch als ausreichend objektivierbarer Parameter angesehen, der sich für die Beurteilung eines geänderten Trainingszustands eignet (Löllgen, 2000). Um dabei eine ausreichende Standardisierung und damit Objektivität der Testung zu gewährleisten, ist neben den bereits genannten technologischen Bedingungen auch die Einhaltung spezifischer Voraussetzungen erforderlich, wie ausreichender Regenerationszustand, Nüchternheit und angemessene klimatische Bedingungen (Shephard, 1993). Was die Reliabilität anbelangt, kommt es nach Kindermann et al. (2001) zu Streuungen aufgrund von Messungenauigkeiten bis zu 5%, was bei Querschnittvergleichen und Längsschnitterhebungen zu berücksichtigen ist. Die wenigen der für die Befundintegration gesammelten Studien, die Reliabilitäten referieren, zeigen Werte zwischen .87 und .99 (vgl. Bouchard et al., 1999; Cunningham et al., 1987; Govindasamy et al., 1992; Kohrt et al., 1991; Poulin et al., 1992; Rowland et al., 1991; Savage et al., 1986; Wilmore et al., 1980; Zauner & Benson, 1981).⁴²

Außer der Leistungsfähigkeit determiniert eine Vielzahl an Einflussgrößen den erreichten Testwert; so zum Beispiel Alter, Größe, Gewicht, Geschlecht, Methodik, Belastungsart, Trainingszustand, Rauchen, Schwangerschaft, Höhe, Klima (Hitze, Kälte, Luftfeuchtigkeit). Die *American Heart Association* legte 1972 ein Schema zur Beurteilung der maximalen Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter vor. Dieses beinhaltet bei Frauen eine geringere körperrgewichtbezogene maximale Sauerstoffaufnahme als bei Männern und eine mit dem Alter abnehmende Sauerstoffaufnahme, wobei zu beachten ist, dass die altersbezogenen Unterschiede deutlich geringer sind als die Differenzen, die aus einem unterschiedlichen Adaptationszustand resultieren (vgl. Tab. 9).

⁴² Eine Ausnahme bildet die Studie von Fenster et al. (1989), in der bei 6- bis 8-Jährigen Werte von .67 gemessen wurden, wobei die Messungen in einem vergleichsweise großen Abstand von 10 Monaten stattfanden.

Tab. 9 Beurteilungshinweise für die VO_{2max} . Als Normbereich gelten die Angaben unter der Rubrik „gut“ (nach Löllgen, 2000, S. 187; Original in American Heart Association, 1972).

VO _{2max} – Frauen (ml/kg*min ⁻¹)						VO _{2max} – Männer (ml/kg*min ⁻¹)					
Alter (J)	niedrig	gering	mittel	gut	sehr gut	Alter (J)	niedrig	gering	mittel	gut	sehr gut
20-29	<24	24-30	31-37	38-48	49	20-29	<25	25-33	34-42	43-52	53
30-39	<20	20-27	28-33	34-44	45	30-39	<23	23-30	31-38	39-48	49
40-49	<17	17-23	24-30	31-41	42	40-49	<20	20-26	27-35	36-44	45
50-59	<15	15-20	21-27	28-37	38	50-59	<18	18-24	25-33	34-42	43
60-69	<13	13-17	18-23	24-34	35	60-69	<16	16-22	23-30	31-40	41

Das Kindes- und Jugendalter wird von der American Heart Association (1972) nicht erfasst. In einer Literaturzusammenfassung von Osório und Portela (1996) finden sich jedoch folgende Angaben (vgl. auch Hollmann, 1986): Überwiegend Konsens besteht darüber, dass die körperrgewichtbezogene maximale Sauerstoffaufnahme bei männlichen Personen ab dem sechsten Lebensjahr bis zum Erwachsenenalter bei konstantem Adaptationszustand weitgehend unverändert bleibt. Nur wenige Autoren gehen von einer im Jugendalter abnehmenden Tendenz und damit den höchsten Werten im Kindesalter aus. Bei weiblichen Personen wird ab der Pubertät von einem Rückgang der körperrgewichtbezogenen maximalen Sauerstoffaufnahme ausgegangen, der im Zusammenhang mit der Vergrößerung des Anteils an Fettgewebe gesehen wird. Als Normwerte finden sich für Jungen 45 bis 55 ml/min*kg⁻¹. Bei den Mädchen nimmt dieser Wert bis zum Erwachsenenalter um 10-20% ab.

Die Normwerte zeigen, dass eine Abhängigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme vom Geschlecht, Alter und Trainingszustand angenommen wird (vgl. Tab. 9). Dabei ist die Streubreite (z.B. die Differenz zwischen einer als „sehr gut“ bewerteten VO_{2max} und einer als „niedrig“ bewerteten VO_{2max}) ungefähr konstant. Dies gilt sowohl für den Geschlechter- als auch den Altersklassenvergleich. Insgesamt kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, inwieweit die dargestellten geschlechts- bzw. altersbedingten Unterschiede in den Normwerten genetisch bedingt sind bzw. auf den normalen biologischen Alternsprozess zurückgeführt werden können und welche Rolle ein unterschiedliches Ausmaß an Bewegungsaktivitäten spielt (welches ebenfalls geschlechts- und altersbedingt variieren kann).

Obwohl die Erfassung der maximalen Sauerstoffaufnahme in der Leistungsdiagnostik zunehmend durch die Schwellendiagnostik ergänzt wird, wird sie als geeignete Größe für die Überprüfung des in Kapitel 3 dargestellten Modells zur Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten angesehen. Dafür sprechen folgende Argumente:

- Die maximale Sauerstoffaufnahme ist für ein breites Leistungsspektrum ein zentraler und aussagekräftiger Parameter für die aerobe Kapazität und damit eine geeignete Operationalisierungsvariante einer prototypischen konditionellen Fähigkeit im Sinne von Bös (2001; vgl. 1.3). Aufgrund der langen Tradition des Verfahrens ist die Messtechnik seit einigen Jahrzehnten in hohem Maße standardisiert und objektivierbar, so dass im Hinblick auf zu analysierende Studien ein ausreichendes Maß an Präzision vorausgesetzt werden kann. Dabei stellt die körpergewichtsbezogene so genannte *relative* maximale Sauerstoffaufnahme ein besseres Vergleichsmaß dar als die *absolute* maximale Sauerstoffaufnahme.
- Wohl kaum ein anderer Parameter wurde in einer so großen Anzahl an Trainingsstudien erhoben, so dass in quantitativer Hinsicht eine ausreichende Datenlage für eine Befundintegration vorliegt. Die Untersuchungsdesigns und damit verbunden die Operationalisierungen sind außerdem so vielfältig, dass die vorgestellten potentiellen Dimensionen und Determinanten damit weitgehend erfasst sind und in der Analyse berücksichtigt werden können.
- Dem Einwand, dass aufgrund unterschiedlicher spiroergometrischer Vorgehensweisen der Vergleich der Absolutwerte zwischen verschiedenen Studien problematisch sei, wird dadurch begegnet, dass primär *Veränderungswerte* (Prä-Post-Differenzen) in die Analyse eingehen. Da davon ausgegangen werden kann, dass bei Messungen *innerhalb* einer Studie nur *ein* Verfahren zur Anwendung kommt, beeinflussen mit der Messtechnik einhergehende *systematische* Fehler der Datenerhebung das Ergebnis nicht.
- Wegen der mangelhaften inhaltlichen und begrifflichen Trennung in der Primärforschung wird im Weiteren keine Unterscheidung zwischen Studien, die von VO_{2max} bzw. VO_{2peak} sprechen, vorgenommen.

5.1.2 Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme

Im Folgenden soll auf der Grundlage vorliegender Literaturreviews ein Überblick über den Forschungsstand zur Trainierbarkeit der an der Körpermasse relativierten maximalen Sauerstoffaufnahme gegeben werden. Dabei werden zunächst Erkenntnisse zum Erwachsenenalter, im Anschluss zum Kindes- und Jugendalter vorgestellt.

LeMura und Kollegen (2000) führen eine Metaanalyse durch mit der Intention, die Auswirkungen verschiedener Trainingsprogramme auf die maximale Sauerstoffaufnahme bei älteren Personen (46 bis 90 Jahre) zu erfassen. Dabei gehen 27 Studien

mit 34 Effektgrößen (720 Probanden) ein. Neben den notwendigen Angaben zur Effektgrößenberechnung – diese entspricht dem Quotienten aus der Prä-Post-Differenz und der gepoolten Standardabweichung – sowie zur Moderatoranalyse wird bei der Studienselektion auf etablierte Kriterien bei der VO_{2max} -Messung geachtet. Die Ergebnisse zeigen eine durchschnittliche Steigerung der relativen VO_{2max} um 16,5%, wobei Studien mit Kontrollgruppe durchschnittlich 13%, Studien ohne Kontrollgruppe durchschnittlich 17,5% Gewinn zu verzeichnen haben (Range: 3,2 – 38%). Als Moderatoren der Leistungssteigerung werden die Trainingsintensität und die Dauer einer Trainingseinheit ausgemacht: So werden in Studien, die mit einer Intensität über 80% der VO_{2max} arbeiten, signifikant bessere Ergebnisse erzielt als bei Intensitäten zwischen 60 und 75% der VO_{2max} . Ebenso erzielt eine Trainingszeit von 30 Minuten und länger höhere Effekte als kürzere Trainingseinheiten. Keinen signifikanten Unterschied bewirken hingegen die Art des Trainings (Walking/Jogging vs. Fahrradergometrie) sowie die Gesamtdauer der Intervention (≥ 15 Wochen vs. <15 Wochen). Das Alter wird aufgrund der großen und ungleichen Streuungen innerhalb der Studien nicht als Moderator berücksichtigt. Ebenso kann aufgrund der vielen gemischtgeschlechtlichen Gruppen und der geringen Anzahl an reinen Frauengruppen keine Analyse der Geschlechtsspezifität vorgenommen werden.

Eine weitere Metaanalyse zur Trainierbarkeit Über-60-Jähriger stammt von Green und Crouse (1995). Auswahlkriterien sind ein Durchschnittsalter von mindestens 60 Jahren, valide Messungen der VO_{2max} vor und nach dem Training einschließlich der Angabe der Standardabweichungen sowie die Darlegung von Dauer, Häufigkeit und Intensität der Trainingseinheiten. Insgesamt 29 Studien (31 Effektgrößen) mit 1496 Personen (inkl. Kontrollgruppen) sind damit umfasst. Als Effektgröße dient die an der Standardabweichung_{prä} relativierte Prä-Post-Differenz. Die durchschnittliche Steigerung der VO_{2max} beträgt 22,8%. Die Trainingsmodalität (hier werden sechs verschiedene Kategorien unterschieden) zeigt keine Moderatoreigenschaft. In einer Regressionsanalyse werden drei Moderatoren signifikant: Die Dauer der Intervention (R: 6 bis 60 Wochen; erklärte Varianz: 39%), das Ausgangsniveau (R: 12,6 bis 33,7 ml/min*kg⁻¹; erklärte Varianz: 12%) sowie die Dauer der Reizsetzung (R: 12,5 bis 60 min; erklärte Varianz: 8%). Nicht signifikant sind die Variablen Alter und Trainingshäufigkeit. Die Korrelation zwischen Alter und absoluter Prä-Post-Differenz zeigt jedoch einen signifikanten Zusammenhang von .56. Die Schlussfolgerung lautet, "an

average 68-yr-old individual exercising for about 30 min three times per week, might expect to improve his/her VO_{2max} by approximately $3,5\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ “ (S. 924).

Ehrsam (1997) beschäftigt sich in einer narrativen Analyse von 20 Trainingsstudien mit der Trainierbarkeit älterer Menschen, wobei Voraussetzung für die Berücksichtigung einer Studie ein Durchschnittsalter >60 Jahre ist. Weitere Kriterien sind ein Screening bezüglich kardio-vaskulärer Erkrankungen, die Durchführung von Maximaltests zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme, ein nachvollziehbar quantifiziertes Trainingsprogramm und das Vorliegen einer Kontrollgruppe. Die Dauer der Studien liegt zwischen fünf Wochen und einem Jahr, wobei unterschiedlichste Trainingsformen zum Einsatz kommen (Gehen/Laufen, Fahrradergometrie, Gymnastik, Ruderergometrie usw.). Trainiert wird zwischen zwei und fünf Mal pro Woche eine Dauer von zehn bis 60 Minuten bei unterschiedlichen Intensitäten. Die Trainingsgewinne liegen zwischen 0 und 38% des Ausgangswertes. Ehrsam führt in Betracht der Ergebnisse den häufig mit einem Prozent pro Jahr proklamierten Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme im Alter zur Hälfte auf Inaktivität zurück.

Zwei weitere Reviews beschäftigen sich mit dem Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme im Altersverlauf. Aufgrund der Vergleiche zwischen Trainierten und Untrainierten tragen diese Analysen ebenfalls zum Erkenntnisstand der Trainierbarkeit bei:

Buskirk und Hodgson (1987) betrachten elf Querschnittstudien und sieben Längsschnittstudien zu Männern sowie sechs Querschnitt- und eine Längsschnittstudie zu Frauen. Frauen zeichnen sich dabei durch eine geringere Rückgangsrates der maximalen Sauerstoffaufnahme aus als Männer ($0,2 - 0,35$ vs. $0,4 - 0,5 \text{ ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ pro Jahr). Die Autoren stellen ihr Fazit in einem Diagramm zu interindividuellen Differenzen im altersabhängigen Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme dar (vgl. Abb. 20).

Sie gehen dabei sowohl bei aktiven als auch bei inaktiven Personen von einem kurvilinearen Rückgang aus. Dabei setzt bei Aktiven der beschleunigte Rückgang erst im höheren Alter ein und kann als Folge von Alternsprozessen und Aktivitätsreduktion gesehen werden, während bei Inaktiven ein beschleunigter Rückgang bereits im frühen Erwachsenenalter stattfindet und auf Gewichtszunahme und Aktivitätsreduktion zurückzuführen ist. Auch bei langfristig Inaktiven wird jedoch von der Möglichkeit der Leistungssteigerung durch Training ausgegangen, die jedoch nicht das Niveau der

lebenslang Aktiven erreichen kann. Im hohen Alter nähern sich die Verlaufskurven von Aktiven und Inaktiven immer mehr an.

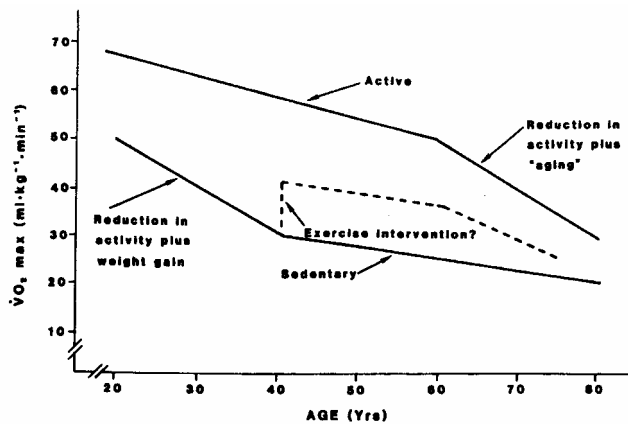


Abb. 20 Mögliche interindividuelle Differenzen im altersabhängigen Rückgang der VO_{2max} (nach Buskirk & Hodgson, 1987, S. 1828).

Fitzgerald und Kollegen (1997) führen zur selben Frage eine Metaanalyse durch, die jedoch ausschließlich Studien mit Frauen berücksichtigt. Insgesamt gehen 109 Studien mit 239 Gruppen und 4884 Personen im Alter von 19 bis 89 Jahren ein. Dabei wird eine Klassifizierung der Gruppen nach „inaktiv“, „aktiv“ und „ausdauertrainiert“ vorgenommen. Die maximale Sauerstoffaufnahme korreliert in allen drei Gruppen signifikant mit dem Alter ($r = -.82$ bis $-.87$). Die Rückgangsrates beträgt bei den Inaktiven $-3,5$, bei den Aktiven $-4,4$ und bei den Ausdauertrainierten $-6,2 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ pro Jahrzehnt. Die Autoren führen den stärkeren Rückgang bei Trainierten auf die hohen Werte im frühen Erwachsenenalter und auf ein größeres Ausmaß an Aktivitätsreduktion zurück.

Der Forschungsstand zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme im Kindesalter soll ebenfalls anhand ausgewählter Reviews rekonstruiert werden:

Payne und Morrow führen 1993 eine Metaanalyse durch, in die sie 28 Studien (70 Effektgrößen) mit bis zu 13 Jahre alten Kindern aufnehmen. Es werden sowohl Querschnitt- als auch Prä-Post-Designs berücksichtigt. Auswahlkriterien sind ein guter Gesundheitszustand der Kinder (nicht übergewichtig, chronisch krank usw.), Laufband- oder Fahrradergometrie als Testverfahren zur Feststellung der maximalen Sauerstoffaufnahme, die notwendigen Angaben zur Effektgrößenberechnung und das Vorliegen einer Kontrollgruppe. Als Effektgröße dient die Prä-Post-Differenz, die durch die Standardabweichung der Kontrollgruppe geteilt wird. Der mittlere Effekt von Studien mit Interventionsdesign beträgt nur die Hälfte des mittleren Effektes aus Querschnittstudien ($0,35$, $SD=0,82$ vs. $0,94$, $SD=1$). Es besteht kein Zusammenhang

der Effektgröße zum Ausgangsniveau bzw. zum Wert der Kontrollgruppe. Da es einen Zusammenhang zwischen Design und Effektgröße gibt und Prä-Post-Designs als die validere Messung von Effekten anzusehen sind, wird eine genauere Analyse der Interventionsstudien (mit 420 Personen) durchgeführt. Hier zeigt sich, dass es keine signifikanten Geschlechtsunterschiede gibt (allerdings ist der mittlere Effekt der – sehr wenigen – Mädchengruppen doppelt so hoch wie bei den Jungengruppen), keine Unterschiede hinsichtlich des Treatments (eingeteilt in „genügend“ oder „unge-nügend“ orientiert an allgemeinen Richtlinien) und keine Unterschiede hinsichtlich der Testform (Laufband- oder Fahrradergometrie). Die Präwerte betragen im Mittel 46,22, die Postwerte 48,39ml/min*kg⁻¹ was eine Steigerung um weniger als 5% bedeutet. Die nicht signifikante Korrelation zwischen der Dauer des Treatments und der Effektgröße beträgt $-0,27$ ($p > 0,05$), was von den Autoren auf eine mögliche Konfundierung mit Reifungseffekten zurückgeführt wird.

LeMura und Kollegen legen 1998 eine ähnlich geartete Metaanalyse vor, in der sie Aussagen zu Kindern und Jugendlichen unter 18 Jahren anhand von 50 Effektgrößen aus 20 Studien ableiten. Bei den Mädchen beträgt der mittlere Effekt 0,71 (SD=0,44), bei den Jungen 0,22 (SD=0,87), was eine signifikante Trainierbarkeit bei Mädchen bedeutet. Weiterhin zeigt sich in Querschnittstudien ein weitaus deutlicherer Effekt (0,89, SD=0,68) als in Längsschnittstudien (0,47, SD=0,77). Bei den Interventionsprogrammen bedeutete dies einen mittleren Gewinn von 2,9ml/min*kg⁻¹. In den Interventionsdesigns kann weder das Trainingsprotokoll noch das Geschlecht als signifikanter Moderator identifiziert werden. Schlussfolgerung ist, dass im Kindes- und Jugendalter nur geringe Effekte eines Ausdauerprogramms auf die maximale Sauerstoffaufnahme zu erwarten sind und insbesondere das Untersuchungsdesign einen wesentlichen Einfluss auf den ermittelten Effekt nimmt.

In einem narrativen Review unterscheiden Pate und Ward (1990) Studien mit Kindern bis zu 13 Jahren von Studien mit älteren Jugendlichen. Bei Ersteren gehen 13 Studien mit 24 Subgruppen ein, wobei lediglich drei Mädchengruppen vorliegen. Die Trainingsinterventionen dauern zwischen vier Wochen und sechs Monaten, bei einem zwei bis fünf Mal wöchentlichen Training von 12 bis 60 Minuten. Sowohl die Inhalte als auch die Intensitäten sind variabel. Die betrachteten Experimentalgruppen verzeichnen durchschnittlich 10,4% Gewinn (R: -8 bis 21%), die Kontrollgruppen liegen zwischen -3 und 10%. Bei den Adoleszenten liegen nur drei Studien mit sechs Gruppen vor. Dabei werden Trainingszeiträume von sieben Wochen bis sechs Mona-

ten umfasst und drei bis sieben Mal pro Woche für acht bis 30 Minuten trainiert. Die Gewinne betragen zwischen 9,7 und 17,3% in der Experimentalgruppe und zwischen 0 und 1,9% in der Kontrollgruppe.

Eine andere Einteilung nimmt Sady (1986) in einem ebenfalls narrativen Review vor: Kurzzeit- vs. Langzeitstudien. Als Kurzzeitstudien gelten Interventionen von sechs Monaten Dauer und weniger. Dem entsprechen 21 Studien mit 51 Gruppen im Alter von fünf bis 21 Jahren. Das Training findet zwischen zwei und fünf Mal pro Woche statt, dauert zwischen 12 und neunzig Minuten und umfasst unterschiedliche Aktivitäten und Intensitäten. Die relative VO_{2max} steigert sich dabei zwischen 0 und 26% in den Experimentalgruppen, in den Kontrollgruppen zwischen 0 und 3%. Bei den Langzeitstudien (15 Studien, 34 Gruppen) mit Personen im Alter von fünf bis 19 Jahren steht ein Gewinn von 0 bis 16% einem Gewinn von 0 bis 7% gegenüber, bei einer Häufigkeit von bis zu elf Trainingseinheiten pro Woche mit einer Trainingsdauer bis zu 90 Minuten.

Abschließend soll ein Artikel von Rowland (1996) vorgestellt werden, der sich sehr ausführlich mit der Plastizität der maximalen Sauerstoffaufnahme im Kindesalter auseinandersetzt und dabei auf einige der bereits genannten Reviews Bezug nimmt. Damit stellt er gleichzeitig eine zusammenfassende Diskussion des Forschungsstandes zur Trainierbarkeit im Kindesalter dar, der auch vergleichende Aspekte zur Trainierbarkeit im Erwachsenenalter berücksichtigt. Rowland betrachtet dazu (a) den Zusammenhang von habitueller Aktivität und maximaler Sauerstoffaufnahme, (b) Effekte von Ausdauertraining und (c) Effekte von Inaktivität. Die zentralen Aussagen lauten:

- Bewegungsaktivitäten nehmen im Zeitraum zwischen sechs und 18 Jahren rapide ab, so dass der tägliche Energieverbrauch auf ca. die Hälfte sinkt (vgl. auch Abb. 5 in 2.4). Kinder weisen durchschnittlich eine vergleichsweise hohe maximale Sauerstoffaufnahme auf. Diese wird häufig als Zeichen dafür gesehen, dass Kinder aufgrund der Alltagsaktivität „self-trained“ sind, weshalb ein zusätzliches Ausdauerprogramm wenig wirksam ist. Diese Annahme ist jedoch zu hinterfragen aufgrund der Tatsache, dass (a) Alltagsaktivitäten von Kindern nachweislich wenig ausdauerwirksame Reize enthalten, (b) bislang kein enger Zusammenhang von Alltagsaktivitäten und maximaler Sauerstoffaufnahme bei Kindern nachgewiesen werden konnte, (c) im Vergleich zu Erwachsenen keine stärkeren Rückgänge bei Bettlägrigkeit zu beobachten sind, was zu erwarten wäre, wenn die

hohe maximale Sauerstoffaufnahme auf einen hohen Adaptationszustand zurückzuführen wäre.

- In Anbetracht der vorliegenden Reviews kommt Rowland zu dem Schluss, dass die maximale Sauerstoffaufnahme bei Kindern durch Training verbessert werden kann, vermutlich aber weniger gut als bei Erwachsenen. Eine klare Antwort auf die Frage nach Unterschieden in der Trainierbarkeit zwischen Kindern und Erwachsenen kann jedoch bislang nicht gegeben werden, da zu große inhaltliche und methodische Unterschiede in den Studien existieren. Offen bleibt also die Frage, wie hoch das Ausmaß der Trainierbarkeit bei Kindern ist und welche Kriterien für die Trainingsgestaltung dieser Altersgruppe zu beachten sind. Vieles weist darauf hin, dass aufgrund einer anderen Physiologie bei Kindern relativ höhere Trainingsintensitäten (gemessen an der Herzfrequenz) notwendig sind. Wenn es sich bei Kindern wie bei Erwachsenen verhält, dass eine hohe Korrelation zwischen Trainingseffekt und Ausgangsniveau existiert (vgl. Abb. 21), dann wäre für die meisten Kinder aufgrund des hohen Ausgangsniveaus (dessen Ursache noch unklar ist, s.o.) nur ein geringer Effekt zu erwarten. Zu biologischen Determinanten der Trainierbarkeit liegen im Kindesalter kaum Untersuchungen vor, wobei über physiologische Auslöser und Moderatoren des Fitnesseffektes auch in anderen Altersgruppen wenig bekannt ist.

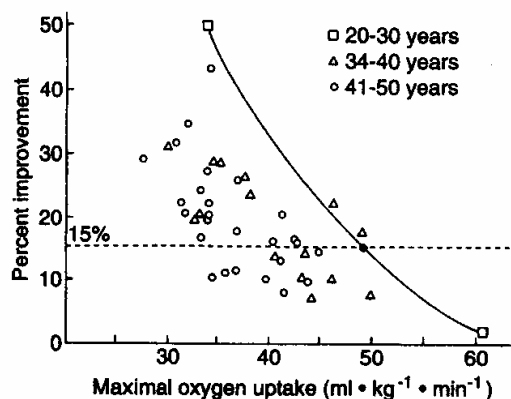


Abb. 21 Zusammenhang zwischen absolutem Ausgangsniveau und prozentualer Verbesserung der VO_{2max} (nach Rowell, 1986; aus Rowland, 1996, S. 102)

- Zehn Studien zu Ausdauerathleten zwischen acht und 17 Jahren zeigen, dass auch bei intensiv Trainierenden Werte von ca. $60 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ kaum überschritten werden. Dabei bleibt jedoch offen, ob es sich um einen Deckeneffekt und damit eine genetisch bedingte Grenze handelt oder ob die um einiges höheren Werte bei ausdauertrainierten Erwachsenen ausschließlich auf ein längerfristiges Trai-

ning, wie es bei Jugendlichen noch gar nicht stattgefunden haben kann, zurückzuführen sind.

- Zu berücksichtigen ist, dass trotz der unterschiedlichen Ursachen die Effekte von Wachstums- und Reifungsprozessen qualitativ nicht von Trainingseffekten zu unterscheiden sind. Dies erschwert die Interpretation von Veränderungen. So verdoppelt sich die absolute VO_{2max} auch bei einem inaktiven Kind zwischen sechs und 12 Jahren. Jedoch lässt sich festhalten, dass die körperlsgewichtsbezogene maximale Sauerstoffaufnahme im Kindes- und Jugendalter ohne Trainingseinwirkung bei Jungen relativ konstant bleibt (s.o.: Osório & Portela, 1996), bei Mädchen eher abnimmt. Dies zeigt die hohe Bedeutsamkeit von Kontrollpersonen bei Studien in dieser Altersklasse.
- Aufschlussreich könnten Studien sein, die den Effekt einer längerfristigen Bettlägrigkeit beobachten. Hierzu liegt bislang kaum Datenmaterial vor. Eine von Rowland selbst durchgeführte Studie mit Kindern, die sich nach einer Oberschenkelfraktur erholen, lässt darauf schließen, dass die Verlustrate bei Kindern geringer ist und es zu einem rascheren Wiederaufbau der aeroben Kapazität kommt als bei Erwachsenen.
- Fazit der Ausführungen ist, dass nach den bisherigen Untersuchungen von einer geringeren Variationsbreite der maximalen Sauerstoffaufnahme bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen ausgegangen werden muss ($\pm 10-15\%$ um Normwert vs. $\pm 20\%$ um Normwert).

Zusammenfassend lässt sich der Erkenntnisstand dahingehend kennzeichnen, dass eine Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme in allen Altersphasen vorhanden ist. Nur in wenigen Fällen kann keine Leistungssteigerung nachgewiesen werden. Dies ist vermutlich eher auf Interventions- als auf personbezogene Parameter zurückzuführen, woraus abgeleitet werden kann, dass (Mindest)Anforderungen erfüllt sein müssen, um Effekte erzielen zu können. Differenzierte, quantifizierende Aussagen zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit vom Geschlecht und Alter gestalten sich schwierig, wofür mehrere Ursachen anzuführen sind:

- Zwar wird eine Vielzahl an Moderatoren geprüft, doch machen auch die Reviews keine konsistenten Aussagen zu deren tatsächlichem Einfluss.

- Es bestehen Häufungen bzw. Forschungslücken zu bestimmten Fragestellungen: So finden sich zum Kindes- und Jugendalter sowie zum späten Erwachsenenalter mehr Studien als zum frühen und mittleren Erwachsenenalter, also dem so genannten Höchstleistungsalter.⁴³ Genauso ist der Anteil an Studien, der sich explizit mit der Trainierbarkeit des weiblichen Geschlechts bzw. einem gezielten Geschlechtervergleich auseinandersetzt, sehr gering.
- Die Studien in den verschiedenen Altersgruppen sind unterschiedlich geartet. Vor dem Hintergrund der theoretischen Analyse in Kapitel 3 setzen sie sich mit verschiedenen Dimensionen der Trainierbarkeit auseinander: Während im Kindes- und Jugendbereich sowie im späten Erwachsenenalter untrainierte bis ambitionierte Freizeitsportler einbezogen werden, finden sich zum Höchstleistungsalter vermehrt Studien an Spitzensportlern, die ein Hochleistungstraining absolvieren.
- Offensichtlich wird, dass sowohl der Metaanalyse als auch dem traditionellen Review Grenzen gesetzt sind. Insgesamt zeichnet sich in Reviews die Tendenz ab, quantitative Aussagen in den Vordergrund zu stellen, welche sich aber beim Vergleich verschiedener Reviews als inkonsistent erweisen.

5.2 Die Befundintegration

5.2.1 Gründe für ein befundintegratives Vorgehen

Für die Entscheidung keine eigene empirische Studie, sondern eine Befundintegration vorliegender Ergebnisse vorzunehmen, sprechen folgende Gründe: (a) In Kapitel 2 wurde gezeigt, dass eine Vielzahl an Studien zur Entwicklung und Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten vorliegen, die jedoch keine konsistenten Ergebnisse hervorgebracht haben. Diese Feststellung gilt auch für die Forschungsaktivitäten zur maximalen Sauerstoffaufnahme (vgl. Kapitel 6). Ein umfassender und systematischer Überblick, einschließlich einer Integration und Diskussion der vorliegenden Befunde, erscheint daher dringend erforderlich. (b) Eine Befundintegration deckt Forschungslücken auf und eröffnet damit Fragestellungen für weitere Forschungsaktivitäten. (c)

⁴³ Die Begriffswahl für die Einteilung des Erwachsenenalter erfolgt in Anlehnung an Winter (2004): Das frühe Erwachsenenalter bezieht sich auf die Phase von ca. 18/20 bis 30/35 Jahre, das mittlere Erwachsenenalter von ca. 30/35 bis 45/50 und das späte Erwachsenenalter auf die Phase ab ca. 45/50 Jahre.

Eine Befundintegration bietet die Möglichkeit, komplexere Fragestellungen zu bearbeiten als dies normalerweise in der Primärforschung geschieht (Bien, 2002; Schlicht, 1999). Die Berücksichtigung mehrerer Dimensionen und Determinanten sowie methodischer Varianten ist in einer einzelnen empirischen Studie kaum möglich, wohingegen in einem befundintegrativen Verfahren vergleichsweise mehr Moderatoren einbezogen werden können und das interessierende Konstrukt aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet werden kann. (d) Es ist hervorzuheben, dass auch die Befundintegration über die Sammlung und Zusammenfassung vorliegender Ergebnisse hinausgehen und parallel zur Primärforschung einen Beitrag zur Theoriebildung und -entwicklung leisten kann (dies wird insbesondere in der Literatur zur Metaanalyse zunehmend hervorgehoben, vgl. Beelmann & Bliesener, 1994, S. 226-227).

5.2.2 Formen und Funktionen der Befundintegration

Wie gestaltet sich das methodische Vorgehen bei einer Befundintegration? Studien, denen eine befundintegrative Vorgehensweise zugrunde liegt, werden im Allgemeinen als (Literatur)Review betitelt. Die American Psychological Association definiert Reviews als „critical evaluations for material that has already been published. By organizing, integrating, and evaluating previously published material, the author of a review article considers the progress of current research toward clarifying a problem“ (2001, S. 7).

Betrachtet man die Form und Vorgehensweise von Literaturreviews aus historischer Sicht, handelte es sich ursprünglich um ein methodologisch nicht näher definiertes Verfahren, das auf deskriptiver Ebene empirische Befunde zu einem Thema zusammenfasst.⁴⁴ Im Laufe der 1970er Jahre entstanden unter dem Begriff *Metaanalyse* verschiedene Methoden zur *statistischen* Integration von Primärstudien, die neben der beschreibenden eine (hypothesen-)prüfende Funktion haben (vgl. im Überblick Bangert-Drowns, 1986). Die anfangs an den jeweiligen Autoren(gruppen) orientierte Typologisierung verschiedener metaanalytischer Verfahren (ebd.) wird zwischenzeitlich in einem Verständnis von Metaanalyse als „Sammlung konzeptioneller und me-

thodischer Verfahren, die relativ frei kombinierbar sind“ aufgehoben (Beelmann & Bliesener, 1994, S. 212). Dieser Trend macht sich insbesondere auch in der aktuellen anwendungsorientierten Literatur bemerkbar (z.B. Lipsey & Wilson, 2001; Rustenbach, 2003).

Seit dem Aufkommen der statistischen Integration von Primärstudienresultaten wird die *traditionelle Form* des Reviews mit Attributen, wie „qualitativ“, „narrativ“, „subjektiv“ oder „vote-counting-Review“ von der Metaanalyse abgegrenzt. Diese Begrifflichkeiten dürfen jedoch nicht im Sinne von methodologischen Zuordnungen verstanden werden, da – wie Beaman bereits 1991 (S. 252) beklagte – keine „well-developed literature“ zum traditionellen Reviewprozess vorliegt. Tatsächlich hat die traditionelle Form der Reviews aus methodentheoretischer Sicht im Laufe der Anwendungsgeschichte keine wesentliche Ausdifferenzierung erfahren. Dennoch übersteigt die Anzahl der veröffentlichten traditionellen Reviews diejenige der Metaanalysen bis heute bei Weitem (vgl. Rustenbach, 2003, S. 6-7). Im Allgemeinen wird dabei eine mehr oder weniger große Anzahl an Primärstudien dargestellt und verglichen. Neben dem einfachen Auszählen signifikanter und nicht-signifikanter Effekte (vote-counting), stehen die Beschreibung und Diskussion der Ergebnisse, der Methodik sowie Hinweise auf Forschungslücken im Mittelpunkt. Die Hauptkritik⁴⁵ am traditionellen Review bezieht sich auf die Missachtung wahrscheinlichkeitstheoretischer Prämissen bei der Interpretation der Ergebnisse; dies kann – wie Hunter und Schmidt (1990) demonstrieren – leicht zu Fehlschlüssen führen. Weitere Kritik betrifft die fehlende Systematik bei der Literatursuche, das nicht-dokumentierte methodische Vorgehen und die daraus resultierende mangelnde Objektivität bei der Ergebnispräsentation und -interpretation. Cook und Leviton weisen jedoch berechtigt darauf hin, dass viele der genannten Mängel nicht als Problem des Verfahrens per se zu gelten haben, sondern als eine Folge von „poor practices“ betrachtet werden müssen (1980, S. 469). Die häufig für die Metaanalyse angeführten Stärken, was die

⁴⁴ Teilweise wird der Reviewbegriff nicht nur auf Zusammenfassungen empirischer Studien, sondern auch auf die Integration theoretischer Erkenntnisse ausgeweitet (z.B. Cooper, 1982; Jackson, 1980).

⁴⁵ Für die detaillierte Auseinandersetzung mit den Stärken und Schwächen beider Formen des Reviews sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (z.B. Beaman, 1991; Beelmann & Bliesener, 1994; Guzzo et al., 1986; Hunter & Schmidt, 1990; Lipsey & Wilson, 2001; Rustenbach, 2003). Auf ausgewählte Aspekte wird zudem in den folgenden Abschnitten näher eingegangen.

systematische Vorgehensweise anbelangt, könnten für das narrative Review ebenso zur Konvention gemacht werden.

Im Gegensatz zur methodologisch kaum weiter definierten und differenzierten traditionellen Form des Reviews wurden und werden zur Frage nach *statistischen* Möglichkeiten der Integration von Studienergebnissen in den letzten Jahren eine Vielfalt an Veröffentlichungen getätigt. Rosenthal (1995, S. 183) bezeichnet – bezugnehmend auf Standardwerke – Metaanalysen als „quantitative summaries of research domains that describe the typical strength of the effect or phenomenon, its variability, its statistical significance, and the nature of the moderator variables from which one can predict the relative strength of the effect or phenomenon“. Um den korrekten Einsatz inferenzstatistischer Verfahren zu gewährleisten, wird für die vorbereitenden Arbeitsschritte (Studiensuche/-selektion, Kodierung, Gewichtung usw.) die Einhaltung strenger Konventionen gefordert (im Überblick z.B. Lipsey & Wilson, 2001; Rustenbach, 2003). Doch auch die Methode der Metaanalyse steht in der Kritik: Problematische Aspekte sind (a) die Frage nach der inhaltlichen Vergleichbarkeit der Einzelstudien („apples and oranges“), (b) die Frage nach der methodischen Qualität der Einzelstudien („garbage-in – garbage-out“), (c) die Frage nach der Ergebnisverzerrung durch Nichteinbeziehung unveröffentlichter Studien („file-drawer“), (d) das Problem der Informationsreduktion und damit -verzerrung durch die Quantifizierung (vgl. z.B. Bortz & Döring, 2002; Hunter & Schmidt, 1990; Lipsey & Wilson, 2001). Die üblicherweise in der Literatur für die Metaanalyse angeführten Schwächen treffen jedoch fast alle auch auf das traditionelle Review zu (vgl. Beaman, 1991; Sharpe, 1997).

Welches Vorgehen eignet sich nun am besten für das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Arbeit? In diesem Zusammenhang ergeben sich folgende Fragen:

- *Stellt das traditionelle Review ein funktionslos gewordenes Relikt dar?* Die methodentheoretische Diskussion hat sich bislang auf die metaanalytischen Verfahren konzentriert, so dass diese vergleichsweise elaborierter sind. Notwendigerweise ist die Frage zu stellen, ob das traditionelle Review neben der Metaanalyse eine eigenständige, d.h. mit spezifischen Funktionen belegte Form des Literaturreviews darstellen kann oder ob es nur ein Relikt aus der „vor-metaanalytischen“ Zeit ist, das zwar ökonomischer aber gleichzeitig minderwertig ist.

- *Ist Theorieentwicklung im Rahmen der Befundintegration möglich?* Die zentralen Funktionen des Reviews liegen in der Darstellung und Diskussion des Forschungsstandes zu einem Gegenstand. Dabei zeigen die Ausführungen, dass im traditionellen Review der Schwerpunkt auf der Deskription und der Methodendiskussion liegt, während die Metaanalyse darüber hinaus auch als theorieprüfendes Verfahren Verwendung findet. In der vorliegenden Arbeit spielt jedoch im Zusammenhang mit einem mehrdimensionalen Trainierbarkeitsmodell die *Theorieentwicklung* eine entscheidende Rolle. Wie kann diese Zielsetzung in geeigneter Weise verfolgt werden?
- *Welche Möglichkeiten der Orientierung am qualitativen Forschungsparadigma bestehen in der Befundintegration?* Die Abgrenzung der beiden Reviewformen erfolgt häufig mit Hilfe der Begriffe quantitativ (Metaanalyse) und qualitativ (traditionelles Review). Was die Metaanalyse betrifft, ist nicht zu bestreiten, dass diese mit ihrem inferenzstatistischen Vorgehen – trotz vorbereitender qualitativer Analyseschritte – prinzipiell dem quantitativen Forschungsparadigma folgt. Hingegen ist in Frage zu stellen, ob die Attribuierung *qualitativ*, welche je nach Autor normativ, beschreibend oder negativ akzentuiert wird, zutreffend ist. Im Sinne einer methodologisch konventionalisierten Paradigmenzuweisung kann sie bislang nicht verstanden werden – weder was die methodentheoretische Auseinandersetzung noch was die Anwendungspraxis betrifft (vgl. z.B. die Diskussion von Cook & Leviton, 1980; Cooper & Arkin, 1981; Leviton & Cook, 1981). Jedoch ist – gerade im Zusammenhang mit dem theorieentwickelnden Erkenntnisinteresse der vorliegenden Arbeit – die Frage zu stellen, ob ein stärker am qualitativen Forschungsparadigma orientiertes Vorgehen im Rahmen des traditionellen Reviewprozesses möglich ist.

Im Folgenden sollen Möglichkeiten und Grenzen quantitativer und qualitativer Forschung im Rahmen der Befundintegration diskutiert werden:

Mit der Metaanalyse liegt in der befundintegrativen Forschungsmethodik ein elaboriertes Forschungsinstrument vor, das dem *quantitativen Forschungsparadigma* folgt. Dabei hat in den letzten beiden Jahrzehnten eine intensive methodentheoretische Auseinandersetzung mit der statistischen Form der Befundintegration stattgefunden und zu kontinuierlichen Weiterentwicklungen im Sinne einer Ausdifferenzierung der Forschungsmethodologie geführt (z.B. Cooper & Hedges, 1994; Glass, 1976; Hedges & Olkin, 1985; Hunter & Schmidt, 1990; Morris & deShon, 2002). Die anfänglich

stark autorenenorientierte Typologisierung hat sich dabei zu einem umfangreichen Methodeninventar entwickelt, mit dessen Hilfe verschiedenste Fragestellungen bearbeitet werden können. Für die Zukunft ist es wünschenswert, diese Entwicklungen weiter voranzutreiben, so dass eine umfassende Methodologie der quantitativen befundintegrativen Forschung, analog bzw. ergänzend zu derjenigen der Primärforschung entstehen kann. Dabei sollte die methodentheoretische Auseinandersetzung vor allem dahingehend ausgeweitet werden, dass neben den bislang fast ausschließlich in der befundintegrativen Forschung verwendeten varianzanalytischen Analysemethoden Möglichkeiten des Einsatzes weiterer Verfahren der einfachen (auch deskriptiven) und komplexen Statistik erörtert werden (vgl. Rustenbach, 2003; Beelmann & Bliesener, 1994). Da im Rahmen des inferenzstatistischen Vorgehens der metaanalytischen Praxis Signifikanztests durchgeführt werden, ist die Frage zu stellen, inwiefern ein solches theorieprüfendes Vorgehen gerechtfertigt ist. Hierzu ist festzustellen, dass eine eigenständige Herleitung von Hypothesen im Rahmen von Metaanalysen bislang kaum vorgenommen wird. Vielmehr werden die geprüften Variablen direkt den Primärstudien entnommen. Hier wäre die Frage zu stellen, ob im Rahmen einer Befundintegration nicht eine erneute Begründung der Hypothesen erfolgen muss. Dies erscheint notwendig, da die eingehenden Studien häufig aus unterschiedlichen Theoriezusammenhängen stammen. Des Weiteren ist die Verzahnung von Theorie und Methode im Rahmen einer Befundintegration meist nicht in gleichem Maße möglich wie in der Primärforschung, da ausschließlich vorliegendes Datenmaterial benutzt wird und somit keine exakte Anpassung der Methodik an die Theorie gewährleistet werden kann. Trägt eine Metaanalyse den Charakter einer theorieentwickelnden Untersuchung – dies ist bislang kaum der Fall, trifft jedoch für die vorliegende Befundintegration in hohem Maße zu – ist darüber hinaus zu diskutieren, ob ein strenges Signifikanzprüfen angebracht ist. Die durchgeführten Signifikanztests wären dann eher als „explorativ“ einzustufen, wie es von Bortz und Döring (2002) als Verfahren der empirisch quantitativen Exploration vorgeschlagen wird. Dabei werden keine a-priori aufgestellten Hypothesen geprüft, sondern beobachtbare Effekte auf Probe getestet, um daraus Hypothesen für weitere, spezifisch dafür angelegte Untersuchungen ableiten zu können. Grundsätzlich ist bei der Durchführung von Signifikanztests darauf zu achten, dass die statistischen Voraussetzungen geschaffen werden. Dazu gehören geeignete Auswahl- und Kodierungs-

verfahren, die Diskussion und Begründung von Effektgröße, Umgang mit Ausreißern, Gewichtung etc.

Von einem *qualitativen Vorgehen* in der Befundintegration kann bislang kaum gesprochen werden. Qualitative Analyseschritte liegen teilweise in den vorbereitenden Schritten zur Metaanalyse vor, so bei der Studienausswahl und -kodierung. Die Vorgehensweise der traditionellen Reviews kann ebenfalls in Ansätzen als qualitativ eingestuft werden, da zumindest teilweise ein ganzheitlicherer Ansatz (im Sinne einer nicht-informationsreduzierenden Vorgehensweise) gewählt wird. Doch genügen diese der qualitativen Forschung entnommenen Verfahrensweisen, um von einer qualitativen Form der Befundintegration zu sprechen? Betrachtet man die zentralen Prinzipien qualitativer Sozialforschung (z.B. Lamnek, 2005), ist festzustellen, dass sich die Voraussetzungen der Befundintegration von der Primärforschung in wesentlichen Punkten unterscheiden und damit die Bedingungen für ein qualitatives Vorgehen nicht erfüllt sind. So ist mit der Orientierung am vorliegenden Datenmaterial der Datenpool bereits festgelegt; Informationen, die über die schriftlich vorgelegten hinausgehen, können nicht gewonnen werden. Damit kann zentralen Prinzipien der qualitativen Forschung, wie Offenheit, Reziprozität und Prozesshaftigkeit nur noch sehr eingeschränkt nachgekommen werden. Dennoch scheint eine Diskussion darüber notwendig, ob in Orientierung an den begrenzten Möglichkeiten sowie spezifischen Zielen der befundintegrativen Forschung nicht auch qualitativ orientierte⁴⁶ Verfahrensschritte einen entscheidenden Beitrag zum Erkenntnisgewinn leisten können. Dabei können über die quantitative Analyse hinaus Informationen ausgewertet, verglichen und interpretiert werden. Dazu sind Auswertungsmethoden der qualitativen Forschung dahingehend zu prüfen, inwieweit sie in der Befundintegration sinnvoll angewendet werden können. Dass zentrale Prinzipien der qualitativen Forschung im Ansatz auch auf die Befundintegration übertragbar sind, soll im Folgenden veranschaulicht werden: Während die Metaanalyse aus allen einbezogenen Studien dieselben Kriterien auswertet, kann in einem qualitativ orientierten Ansatz *Offenheit* für weitere Informationen praktiziert werden, indem alle Informationen auf ihre Bedeutung für den Untersuchungsgegenstand hin überprüft und wenn erforderlich in die

Interpretation einbezogen werden. Im Gegensatz zum datenreduzierenden Vorgehen der Metaanalyse bestehen hier mehr Möglichkeiten für Aussagen und Interpretationen, die qualitativ über das Fazit, das die Autoren der Primärstudie ziehen, hinausgehen. Diese Möglichkeit ist vor allem dann gegeben, wenn auch die Prinzipien der *Prozesshaftigkeit* und der *Reflexivität* Berücksichtigung finden: Während des Analyseprozesses sollte der Untersuchungsgegenstand aus möglichst vielen Perspektiven betrachtet werden. Die Vielfalt an Untersuchungsdesigns und Veröffentlichungsgewohnheiten, die in der Metaanalyse beklagt wird und zu Verzerrungen führt, kann im Rahmen eines qualitativ orientierten Vorgehens eine Analyse einer Textquelle unter verändertem Blickwinkel anregen und sie mit neuer Bedeutung und damit auch neuem Informationsgehalt versehen. Insofern ist eine gewisse Reflexivität zwischen Forscher und dem vorliegenden Informationsgehalt der Primärtexte möglich, indem dieses Verfahren im Sinne eines hermeneutischen Zirkels fortgeführt wird. Was die Studienauswahl betrifft ist dabei weniger eine Vollerhebung als eine begründete Auswahl notwendig, die im Verlauf des Analyseprozesses Veränderungen unterliegen kann. Jedoch ist darauf zu achten, dass keine gezielte Beeinflussung des Ergebnisses stattfindet.

Ausgehend von diesen Überlegungen sind durchaus auch Mischformen aus quantitativer und „qualitativ orientierter“ Befundintegration möglich und sinnvoll.⁴⁷ Eine Ergänzung und Diskussion quantitativer Daten durch nähere Informationen einzelner Studien erscheint im Allgemeinen angebracht. Letztlich hängt die Entscheidung, welche Form des Reviews anzuwenden ist, vom Erkenntnisinteresse ab. Aber auch die Quantität und Qualität der vorliegenden Studien können ein Entscheidungskriterium darstellen.

⁴⁶ Im Weiteren wird von „qualitativ orientierter“ Befundintegration gesprochen, da es sich lediglich um erste, noch sehr unausgereifte Überlegungen handelt, wie das qualitative Forschungsparadigma auch im Rahmen der befundintegrativen Forschung Umsetzung finden kann.

⁴⁷ Eine Mischform stellt auch die von Slavin (vgl. 1986, 1995; auch Treumann, 1996) vorgestellte „Best Evidence Synthesis“ dar, die eine Verbindung der quantitativen Elemente sowie der systematischen Literatursuche der Metaanalyse mit der detaillierten Analyse von Primärstudiencharakteristika anstrebt.

Tab. 10 Ein Vorschlag zur Systematisierung von Methoden zur Befundintegration

Forschungsparadigma	Quantitativ	Qualitativ orientiert
Vorgehen/Zielsetzung	Statistische Integration von Daten, Statistisches Testen	Vergleichende und ganzheitliche Analyse von Einzelstudien, Theorieexploration
Studienauswahl	Berücksichtigung wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlagen der Stichprobenziehung i.S. der Vermeidung von Verzerrungseffekten (Vollerhebung, Zufallsauswahl)	Theoretische Auswahl je nach Forschungsfrage (selektiv, exemplarisch)
Datenverarbeitung	Standardisierung (einheitliches Effektmäß; Moderatoren); Datenreduktion; statistische Integration	Verbale Deskription, Analyse und Vergleich von Einzelstudien bzw. interessierender Aspekte; Berücksichtigung singulärer Studienmerkmale;
Verfahren	Homogenitätstests; Elementarstatistik; Zusammenhangsmaße; t-Test; varianzanalytische Verfahren; komplexe statistische Verfahren	Beschreibung; interpretative und hermeneutische Analyse von Studienmerkmalen
Nachteile	Informationsverlust (Verzerrungseffekte)	Verallgemeinerbarkeit fraglich

5.3 Dimensionsanalyse im Rahmen einer Befundintegration

Der Nachweis von Dimensionen erfolgt im Allgemeinen durch den Nachweis der Unabhängigkeit der empirischen Kennwerte, anhand derer die Dimensionen des Konstruktes operationalisiert worden sind. Wie kann die Unabhängigkeit im Rahmen einer Befundintegration geprüft werden?

Trotz der Kritik an der Anwendungspraxis ist vor allem die explorative Faktorenanalyse nach wie vor das gebräuchlichste Verfahren zur Identifikation von Dimensionen (s. 3.3.2). Insbesondere in Kombination mit der deduktiven Herangehensweise und damit der Voraussetzung, dass der statistischen Konstruktion von Faktoren eine ausführliche theoretische Analyse vorausgegangen ist, ist das faktorenanalytische Vorgehen gerechtfertigt. Dennoch wird die Entscheidung getroffen, dieses Verfahren nicht anzuwenden. Dies sei im Folgenden begründet:

Voraussetzung für die Durchführung einer Faktorenanalyse ist, dass bei *mehreren Untersuchungsobjekten* (meist Individuen), *dieselben Merkmale* erhoben werden, wobei *mindestens zwei Merkmale pro Untersuchungsobjekt* zu erfassen sind (vgl. z.B. Bortz, 2004). Die Datenerhebung geschieht in der Regel mit Hilfe standardisierter Testverfahren. Aufgrund der Höhe der Korrelationen zwischen den Messwerten kann letztlich auf Faktoren (Dimensionen) geschlossen werden.

Im vorliegenden Fall wird eine Befundintegration durchgeführt. Bei den Untersuchungsobjekten handelt es sich also um *Gruppen*, die bezüglich mehrerer Faktoren unterschiedlich zusammengesetzt sind (Gruppengröße, Geschlecht, Alter, Trainingszustand, Heterogenität). Es wird lediglich der durchschnittliche Ausprägungsgrad eines Merkmals über mehrere Personen hinweg erfasst. Für ein faktorenanalytisches Vorgehen ergeben sich folgende Schwierigkeiten:

- Die „Items“ sind sehr komplex: Dem Item eines psychologischen Tests entspricht bei der Trainierbarkeitsmessung die Gesamtheit von Testungs- und Trainingsmaßnahmen (vgl. dazu Kapitel 4).
- Bei den Untersuchungsobjekten werden *keine identischen Items* erfasst: Es gibt keine exakt gleich gestalteten Untersuchungen hinsichtlich der Testung und Intervention.
- Pro Untersuchungsobjekt wird jeweils nur *ein* Item erfasst: Abgesehen von Gruppen mit mehreren Testzeitpunkten, gibt es keine Untersuchungsgruppe, die verschiedene Trainingsinterventionen durchläuft.

Dies hat für die vorliegende Untersuchung zur Folge, dass für die Feststellung von Dimensionen ein alternatives Vorgehen notwendig wird. Dazu gilt folgende Fortführung der Überlegungen zur Faktorenanalyse: Unabhängige Dimensionen liegen genau dann vor, wenn eine *statistische Interaktion* zwischen Untersuchungsobjekt und dem Ausprägungsgrad der erhobenen Merkmale vorliegt. Bezogen auf das vorliegende Beispiel bedeutet dies: Hat eine Personengruppe eines Geschlechts und einer bestimmten Altersgruppe in allen Komponenten (Umstellungsdynamik, Anpassungsgeschwindigkeit, Reservekapazität) einen *vergleichbar höheren oder niedrigeren* Ausprägungsgrad als eine andere Personengruppe mit anderen Merkmalen bezüglich Alter bzw. Geschlecht, kann *nicht* darauf geschlossen werden, dass es sich um verschiedene Dimensionen handelt. Stellt man im Vergleich zwischen den Untersuchungsgruppen hingegen eine *unsystematische Variation* der Merkmalsausprägungen (d.h. weder einen positiven noch einen negativen Zusammenhang) fest, kann dies als Hinweis gewertet werden, dass es sich um verschiedene Dimensionen handelt.

Für die Dimensionsanalyse im Rahmen der nachfolgenden Befundintegration gilt: (a) Es müssen vergleichbare Gruppen bezüglich relevanter personinterner und testmethodischer Kriterien identifiziert werden. (b) Meist liegt pro Untersuchungsgruppe nur ein gemessener Trainingseffekt vor (z.B. Messwert nach acht Wochen eines spezifischen Trainings). (c) Vergleichbare Gruppen können nun als *ein* Untersuchungsobjekt betrachtet werden, bei dem mehrere Messwerte (die Messwerte der Einzelgruppen) erhoben worden sind. (d) Jeder Messwert ist in Abhängigkeit von seinem Zustandekommen (d.h. vom zugrundeliegenden Trainingsprogramm) einer Dimension zuzuordnen. (e) Interaktionen werden schließlich nicht zwischen Individuen sondern zwischen *Gruppenmerkmalen* (z.B. Geschlecht, Alter) und den (potentiell-

len) Trainierbarkeitsdimensionen festgestellt. Dies sei an einem Beispiel verdeutlicht: Wenn Männer bezüglich der potentiellen Dimension Anpassungsgeschwindigkeit einen geringeren Ausprägungsgrad haben als Frauen, hinsichtlich der potentiellen Dimension Reservekapazität jedoch einen höheren Ausprägungsgrad, könnte dies als Hinweis gewertet werden, dass es sich um zwei (unabhängige) Dimensionen handelt. Dies gilt ebenso, wenn ältere Personen sich in Bezug auf die Umstellungsdynamik nur geringfügig von jüngeren Personen unterscheiden, in Bezug auf die Anpassungsgeschwindigkeit jedoch stark.

Zu beachten ist bei dieser Vorgehensweise, dass Dimensionen nur identifiziert werden können, wenn sie geschlechts- oder altersspezifisch ausgeprägt sind. Werden im Rahmen der Befundintegration mit diesem Vorgehen keine Dimensionen identifiziert, kann nur festgehalten werden, dass keine geschlechts- bzw. altersspezifische Ausprägung der theoretisch hergeleiteten Dimensionen vorliegt. Eine endgültige Ablehnung von Dimensionen ist hingegen nicht möglich, da dennoch (nicht geprüfte) *individuelle* Korrelationen bzw. Interaktionen existieren könnten. Der Zugang ist methodisch also problematisch und kann nur eine Annäherung an Dimensionen der Trainierbarkeit darstellen.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich der Einwand, ob dieses Verfahren dem oben definierten Dimensionsbegriff gerecht wird (vgl. 3.3.2). Es sei deshalb darauf verwiesen, dass das vorliegende Projekt einen ersten Schritt darstellt, der zum Endziel – nämlich der Dimensionierung des Trainierbarkeitskonstruktes – führen soll. Die notwendigerweise nur in kleinen Schritten mögliche Annäherung an dieses Endziel könnte nun durch eine ebenso graduelle Abstufung der Begrifflichkeiten veranschaulicht werden. Dies würde jedoch eine Definitionsflut auslösen, die dem Verständnis eher abträglich wäre. Aus diesem Grunde findet im Hinblick auf die Intention, das Konstrukt Trainierbarkeit langfristig in mehrere Dimensionen zu differenzieren, der Dimensionsbegriff von Beginn an Verwendung, selbst wenn noch kein ausreichender empirischer Bewährungsgrad vorgewiesen werden kann.

5.4 Präzisierung der Fragestellungen

Vor dem Hintergrund der Auseinandersetzung mit dem Trainierbarkeitskonstrukt sowie den Überlegungen zur Methodik der Erfassung der maximalen Sauerstoffaufnahme lassen sich die einleitend formulierten Fragestellungen (1.2) folgendermaßen präzisieren:

- Stellen die Trainierbarkeitskomponenten Umstellungsdynamik, Anpassungsgeschwindigkeit und Reservekapazität unabhängige Dimensionen der Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme dar?
- Welchen Einfluss haben die Faktoren Geschlecht, Alter und sportliche Vorgeschichte auf die Dimensionen Umstellungsdynamik, Anpassungsgeschwindigkeit und Reservekapazität?

Es gelten folgende Annahmen bezüglich des Trainingseffektes, der im Rahmen eines Trainingsprogramms erzielt werden kann:

- Die Faktoren Geschlecht und Alter determinieren (teilweise in Interaktion) die Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme und damit den Trainingseffekt.
- Folgende Trainingsparameter nehmen Einfluss auf den Trainingseffekt: Dauer der Interventionsmaßnahme, maximale und durchschnittliche Intensität der Interventionsmaßnahme, Trainingsumfang, Trainingshäufigkeit, Qualität des Trainings.
- Es gibt Interaktionen zwischen den Personfaktoren Geschlecht bzw. Alter und den genannten Trainingsparametern. Dies bedeutet für die konstruktbezogene Betrachtung, dass verschiedene Dimensionen der Trainierbarkeit nicht in gleichem Maße beeinflusst werden. Die Ausführungen zum Hormonstatus sowie der Homöostasefähigkeit lassen vermuten, dass die Dimensionen Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit stärker vom Geschlecht und Alter beeinflusst werden als die Reservekapazität. Interaktionen zwischen dem Faktor Dauer (anhand dessen die postulierten Dimensionen in ihrer Operationalisierung unterschieden werden) und den Faktoren Geschlecht bzw. Alter sind ein Nachweis für die Unabhängigkeit der Komponenten und damit die Mehrdimensionalität des Trainierbarkeitskonstruktes.
- Die Höhe des messbaren Trainingseffektes, der mit einem Interventionsprogramm erzielt werden kann, hängt von weiteren Kriterien ab: der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme zu Beginn des Trainings (Ausgangsniveau), der Progressivität der Trainingsbelastung im Rahmen der Intervention und dem Grad der Übereinstimmung zwischen der Belastungsart des Trainingsprogramms und der Testform.

Um weitere Erkenntnisse zur Trainierbarkeitsthematik zu gewinnen, wird zusätzlich folgenden Fragen nachgegangen:

- Welcher Entwicklungsverlauf der maximalen Sauerstoffaufnahme lässt sich bei Personen unterschiedlichen Adaptationszustands im Altersgang beobachten?

- Welchen Einfluss haben Veränderungen der habituellen Bewegungsaktivitäten (Steigerung oder Abnahme des Trainingspensums) auf die Entwicklung der maximalen Sauerstoffaufnahme im Altersverlauf?

Im Rahmen der in Kapitel 6 noch zu erläuternden Befundintegration kommen statistische Tests zu Anwendung. Diese werden wie in 5.2.2 erläutert im Sinne eines explorativen Signifikanztestens verstanden. Dies ist folgendermaßen zu begründen: (a) Die Dimensionen wurden in Anlehnung an psychologische Erkenntnisse der Plastizitätsforschung und physiologische Modelle zur biologischen Adaptation hergeleitet. Dabei wurde an mehreren Stellen deutlich, dass auch andere Alternativen der Differenzierung des Trainierbarkeitskonstruktes denkbar sind. Die Herleitung der Dimensionen stellt daher keine strenge theoretische Deduktion dar, sondern fasst lediglich theoretische Tendenzen auf, die auf der Grundlage der Daten vorliegender Studien weiterentwickelt werden sollen. (b) Trotz der vielfältigen Möglichkeiten und Vorteile einer Befundintegration sind dieser Grenzen gesetzt. Nicht alle Aspekte, die in der theoretischen Analyse diskutiert wurden, können berücksichtigt werden, da teilweise zu wenige für die Befundintegration geeignete Studien vorliegen. Um die Studienergebnisse integrieren zu können, müssen Informationen reduziert werden und es ist mit Verzerrungen der Ergebnisse zu rechnen. In diesem Sinne sind die Ergebnisse *in ihrer Tendenz* zu diskutieren. (c) Mit der Kombination von quantitativer und qualitativ orientierter Befundintegration, welche in Kapitel 6 erläutert werden wird, wird methodisches Neuland betreten. Eine methodentheoretisch fundierte Hypothesenprüfung ist an vielen Stellen nicht möglich. Aus den genannten Gründen wurde im vorangehenden Abschnitt auch keine Formulierung konkreter Hypothesen vorgenommen, sondern es wurden lediglich Fragen gestellt bzw. sehr allgemein gehaltene Annahmen formuliert.

Der Sachverhalt, dass die in Kapitel 3 und 4 erarbeiteten theoretisch-methodischen Vorstellungen zum Trainierbarkeitskonstrukt im Rahmen einer Befundintegration erprobt und weiterentwickelt werden sollen, stellen neben der Neuartigkeit der theoretischen Modellierung des Konstruktes selbst einen unkonventionellen Zugang dar. Daher soll außer der Bearbeitung der inhaltlichen Fragen zur Trainierbarkeitsthematik eine Bewertung der Möglichkeiten und Grenzen der Befundintegration, insbesondere der in Kapitel 6 noch zu spezifizierenden methodischen Vorgehensweise der eigenen Arbeit, vorgenommen werden.

6 Methodisches Vorgehen: die Befundintegration

Nachdem zunächst einige Vorentscheidungen zur Befundintegration zu treffen sind (6.1) und übergeordnete Such- und Selektionskriterien (6.2) sowie die Moderatorvariablen (6.3) beschrieben werden, erfolgt in 6.4 die Vorstellung der einzelnen Verfahren, die in der vorliegenden Arbeit zur Anwendung kommen.

6.1 Vorentscheidungen

Bei der maximalen Sauerstoffaufnahme handelt es sich um einen Parameter, der in unzähligen Studien meist als einer von mehreren Parametern erhoben wird. Dabei finden sich alle bereits in 2.1.2 für die Trainierbarkeit beobachteten Untersuchungsdesigns: Interventionsstudien mit standardisierten Trainingsprogrammen, Langzeitstudien mit mehr oder weniger sportlich aktiven Personen, querschnittliche Vergleiche zwischen Personen unterschiedlichen Trainingszustands. Teilweise wird auch nur eine Gruppe einmalig untersucht und als Vergleichsgrundlage werden Werte aus der Literatur herangezogen.

Nach einer ersten Durchsicht und Sortierung der Studien werden für das Vorgehen der Befundintegration folgende Entscheidungen getroffen:

- Es wird eine quantitative Integration im Rahmen einer *Metaanalyse* mit *Interventionsstudien* im *Erwachsenenalter* durchgeführt (vgl. 6.4.1).
- Für *Interventionsstudien* im *Kindes- und Jugendalter* werden *quantitative* und *qualitativ orientierte* Analyseschritte kombiniert, da die Anzahl der Studien für eine Metaanalyse nicht genügt (vgl. 6.4.2).
- Die Analyse der Reservekapazität *aller Altersklassen* erfolgt ebenfalls anhand eines kombinierten Ansatzes aus *quantitativen* und *qualitativ orientierten* Analyseschritten (vgl. 6.4.3).
- Da sich die vorliegenden Längsschnittstudien aufgrund des geringen Standardisierungsgrades nicht für einen statistischen Vergleich eignen, findet hier lediglich eine qualitativ orientierte Auswertung ausgewählter Studien statt (6.4.4).

Die Ergebnisse der verschiedenen Analyseschritte sind abschließend zu integrieren, um Aussagen über das übergeordnete Trainierbarkeitskonstrukt machen zu können: über die Abhängigkeit bzw. Unabhängigkeit der Komponenten und damit die Dimensionalität des Trainierbarkeitskonstruktes sowie die Einflussnahme der potentiellen

Determinanten; des Weiteren über Auswirkungen der Variation von Trainingsparametern und weiterer potentiell validitätsbeeinflussender Kriterien.

6.2 Such- und Selektionskriterien

Voraussetzung für eine Befundintegration ist eine nach festen Kriterien ablaufende Studiensuche und -selektion. Was die Studienausswahl anbelangt, die als Datengrundlage dienen soll, wurde im Zeitraum Januar 2002 bis Mai 2003 eine systematische Recherche durchgeführt, bei der folgende Strategien zum Einsatz kamen: (a) Suche in den Datenbanken Spolit und Medline anhand vorab festgelegter Begrifflichkeiten; (b) Durchsicht der aktuellen Jahrgänge sportwissenschaftlicher und sportmedizinischer Zeitschriften (Schwerpunkt Training und Bewegung);⁴⁸ (c) Schneeballverfahren ausgehend von Literaturreviews und Einzelstudien. Als Suchbegriffe dienten Termini wie Trainierbarkeit, Trainingseffekte, Anpassung, Ausdauer und maximale Sauerstoffaufnahme.⁴⁹

Grundsätzlich können für die Aufnahme einer Studie die Verfügbarkeit notwendiger Informationen in den Primärstudien, inhaltliche, methodische, aber auch forschungsökonomische Kriterien von Bedeutung sein. Während für die einzelnen Verfahrenswesen – insbesondere für die Durchführung der Metaanalyse – teilweise noch spezifische Selektionskriterien zu formulieren sind (vgl. 6.4.1-6.4.4 die entsprechenden Abschnitte), gelten für die *übergeordnete* Recherche die folgenden Kriterien:

- *Gegenstand & Fragestellung*: Als inhaltliches Kriterium wird vorausgesetzt, dass die maximale Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit vom Trainingszustand analysiert werden kann. Da die maximale Sauerstoffaufnahme vielfach am Rande von Studien mit anderen Fragestellungen „mit erhoben“ wird, werden nur Studien aufgenommen, bei denen *explizit* Anpassungen der Ausdauerleistungsfähigkeit bzw.

⁴⁸ Von folgenden Zeitschriften wurden die Jahrgänge 2000-2003 manuell gesichtet: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, International Journal of Sports Medicine, Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, Leistungssport, Medicine and Science of Sports and Exercise, Research Quarterly for Exercise and Sport, Sports Medicine, Sportwissenschaft. Von der Zeitschrift Sports Medicine waren die Hefte 2002 (6) und (12) sowie 2003 (1) nicht erhältlich und konnten daher nicht gesichtet werden.

von die Ausdauer determinierenden physiologischen und morphologischen Größen den zentralen Untersuchungsgegenstand bilden.

- *Stichprobe*: Es wurde keine Zufallsauswahl vorausgesetzt. In den meisten Studien handelt es sich um freiwillige Teilnehmer, die teilweise Mitglieder spezifischer Sportinstitutionen oder Teilnehmer von Sportprogrammen waren. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das Merkmal „Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme“ – im Gegensatz zu vielen psychologischen Konstrukten – keinen bedeutsamen selektiven und damit verzerrenden Einfluss nimmt. Damit stellen nichtzufällige Auswahlverfahren die Repräsentativität der Studieneffekte nicht in Frage.
- *Veröffentlichungen*: Es werden ausschließlich veröffentlichte Studien in die Metaanalyse aufgenommen. Diese Vorgehensweise ist nicht unproblematisch, da vielfach davon ausgegangen wird, dass signifikante Ergebnisse eher veröffentlicht werden als nicht signifikante („file-drawer-Problem“, vgl. Begg, 1994; Hunter & Schmidt, 1990). Folgende Gründe lassen vermuten, dass die Studiauswahl dennoch annähernd repräsentativ ist: (a) Der relevante Parameter (maximale Sauerstoffaufnahme) ist meist nur einer von mehreren, die erhoben werden. Daher wird angenommen, dass die Ergebnisse zu diesem Parameter nicht allein ausschlaggebend für die Veröffentlichung sind. (b) Bei der maximalen Sauerstoffaufnahme handelt es sich um einen häufig untersuchten Parameter, dessen Beeinflussung durch ein entsprechendes Ausdauertraining nicht mehr angezweifelt wird. Vielfach geht es „nur“ noch darum, das Ausmaß der Veränderung in Abhängigkeit von einzelnen Faktoren zu bestimmen.
- *Herausgabe ab 1980*: Studien, die vor 1980 veröffentlicht wurden, werden nicht berücksichtigt, da bis in die 1970er Jahre noch wesentliche Weiterentwicklungen bezüglich der Standardisierung von spiroergometrischen Verfahren stattgefunden haben (vgl. 5.1.1).

⁴⁹ Im Einzelnen wurden folgende Suchbegriffe eingegeben: In die Datenbank „Spolit“ unter der Rubrik „Deskriptoren“ Trainierbarkeit/trainability, (Trainings)wirkung(en)/-effekt(e)/(training)effects, Anpassung/adaptation, Entwicklung Ausdauer, Training Ausdauer, maximale Sauerstoffaufnahme; in die Datenbank „Medline“ unter der Rubrik „abstract“ Trainierbarkeit/trainability, (Trainings)wirkung, Trainingseffekt, training effect, training adaptation, Trainingsanpassung, development endurance, train endurance, VO_{2max}.

- *Sprache*: Es werden nur englisch- und deutschsprachige Studien einbezogen. Dabei liegen keine Hinweise vor, dass in Abhängigkeit von ethnologischen, kulturellen oder forschungsmethodologischen Gegebenheiten eine Verzerrung der Ergebnisse zur maximalen Sauerstoffaufnahme zu erwarten ist.

6.3 Moderatorvariablen

Die Moderatorvariablen, die in den einzelnen Analysen betrachtet werden, lassen sich drei Gruppen zuordnen: (a) *Determinanten der Trainierbarkeit*: Geschlecht, Alter und sportliche Vorgeschichte; (b) *Treatmentparameter*: Dauer, Häufigkeit, Intensität, Umfang und Qualität des Trainings; (c) *Einflussfaktoren auf die Validität der Messungen*: absolutes Ausgangsniveau, Progressivität der Trainingsbelastung, Übereinstimmung von Intervention- und Testqualität. Vorgehen und Begründungen bei der Operationalisierung und Kodierung der Moderatoren seien im Folgenden vorgestellt. Ein Überblick über die Kategorisierung findet sich auch in 7.1.1 (vgl. Tab. 13, Tab. 14):

- *Alter*: Das Alter wird anhand des Gruppenmittelwertes (chronologisches Alter) erfasst. Sollte – was nur in wenigen Studien der Fall ist – nur der Range angegeben sein, werden die obere und untere Grenze addiert und anschließend durch zwei geteilt. Eine Kategorienbildung erfolgt im Rahmen der Metaanalyse anhand der in 3.4.2 dargelegten Überlegungen zur Dreiphasigkeit der Entwicklung (Kindheit/Jugend, frühes/mittleres Erwachsenenalter/Höchstleistungsalter bis 45 Jahre und spätes Erwachsenenalter als Phase eines deutlichen Leistungsabfalls ab 46 Jahren). Im kombinierten Ansatz werden Fünfjahresintervalle gebildet (vgl. 6.4.1, 6.4.3). Die Einordnung in die Kategorien orientiert sich dabei am Gruppenmittelwert bzw. dem anhand des Ranges berechneten Wertes.
- *Geschlecht*: Die Zuordnung des Geschlechts erfolgt anhand der Angaben, wie sie in den Primärstudien gegeben sind. Gemischtgeschlechtliche Gruppen werden unabhängig vom Geschlechterverhältnis als „gemischt“ eingestuft.
- *Sportliche Vorgeschichte*: Die sportliche Vorgeschichte wird ausschließlich im Rahmen der qualitativ orientierten Analyse der Langzeitstudien berücksichtigt. Es erfolgt keine Standardisierung und Kategorisierung.
- *Dauer*: Die Dauer der Trainingsintervention wird in Wochen angegeben und nach den geltenden mathematischen Regeln auf ganze Wochen gerundet. Lediglich im

Rahmen der Langzeitstudien werden auch längere Einheiten (Monate, Jahre) verwendet. Die Kategorienbildung erfolgt in Ableitung der Definition der einzelnen Dimensionen.

- *Intensität*: Die Angabe der Trainingsintensität in den Primärstudien erfolgt in Relation zur maximalen Sauerstoffaufnahme ($\%VO_{2max}$), zur maximalen Herzfrequenz ($\%Hfr$), zur Heart-Rate-Reserve ($\%HRR$, d.i. das Intervall zwischen der Ruhe- und der maximalen Herzfrequenz) oder zur anaeroben Schwelle, wobei Ersteres das am häufigsten gewählte Kriterium darstellt. Im Rahmen der Befundintegration werden sämtliche Werte in $\%VO_{2max}$ umgerechnet. Soweit nicht in den Studien selbst Bezugspunkte zwischen den einzelnen Kriterien vorliegen (z.B. indem die VO_2 an der anaeroben Schwelle angegeben ist), werden für die Metaanalyse alle Angaben nach folgender Regel in $\%VO_{2max}$ umgerechnet (vgl. Meyer et al., 1999):

$$\%VO_{2max} = \%HR_{max} - 10 = \%HRR.$$

Bei den Analysen wird unterschieden zwischen der maximalen und der durchschnittlichen Intensität. Während für Ersteres der in einer Studie höchstgenannte Wert gilt, wird die durchschnittliche Intensität anhand der zeitlichen Anteile berechnet. Hierbei werden sowohl die Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche als auch Belastungssteigerungen über den gesamten Zeitraum hinweg anteilig berücksichtigt.

- *Frequenz*: Die Frequenz wird berechnet aus der im Programm *vorgegebenen* Häufigkeit pro Woche multipliziert mit der Anwesenheitsrate (Beispiel: 3x/Woche x 90% = 2,7x/Woche).
- *Umfang*: Der Umfang berechnet sich aus der Frequenz (s.o.) multipliziert mit der Dauer einer Trainingseinheit in Minuten (z.B. 2,7 x 60min = 162min).
- *Qualität*: Die Qualität der Belastung umfasst die Art der sportlichen Aktivität, z.B. Laufen, Walking, Radfahren, Schwimmen etc. Freie Aktivitäten werden nicht von Ergometeraktivitäten unterschieden (z.B. Radfahren = Fahrradergometrie). Dauer- bzw. Intervallmethode werden nicht spezifisch berücksichtigt, sondern in Form der Moderatoren Intensität und Umfang kodiert.
- *Ausgangsniveau*: Als Ausgangsniveau wird der Absolutwert der maximalen Sauerstoffaufnahme zu Beginn der Intervention bezeichnet. Es zählt der Gruppenmittelwert. Dabei wird davon ausgegangen, dass innerhalb einer Gruppe trotz der – wie sich zeigen wird – sehr unterschiedlichen Werte im absoluten Ausgangsniveau derselbe *Adaptationszustand* vorliegt.

- *Progressivität der Trainingsbelastung*: Die Progressivität der Trainingsbelastung wird anhand von drei Abstufungen kodiert: (a) relative Progressivität: interne Belastung wird gesteigert (z.B. von 70 auf 80% der VO_{2max}), evtl. auch Steigerung des Umfangs; (b) absolute Progressivität: interne Belastung bleibt konstant, absolut findet eine Anpassung statt (z.B. es wird immer mit 80% der VO_{2max} belastet), evtl. auch Steigerung des Umfangs; (c) keine Progressivität: interne Belastung nimmt ab (z.B. es wird immer mit der gleichen absoluten Geschwindigkeit gelaufen), evtl. aber Steigerung des Umfangs.
- *Übereinstimmung zwischen Interventions- und Testverfahren*: Die Belastungsqualität von Intervention und Testverfahren werden verglichen. Absolute Übereinstimmung herrscht z.B. bei Lauftraining und Laufbandergometrie. Teilweise Übereinstimmung herrscht bei Lauf- plus Radtraining und Laufbandergometrie. Keine Übereinstimmung bedeutet z.B. Lauftraining, aber Fahrradergometrie.

6.4 Vorstellung der verwendeten Verfahren

6.4.1 Metaanalyse zur Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit im Erwachsenenalter

Versteht man unter Metaanalyse in Anlehnung an Beelmann und Bliesener eine Sammlung verschiedener Verfahren, die frei kombiniert werden können (1994; vgl. 5.1.2), wird ein eng am Problem orientiertes Vorgehen möglich, wobei methodentheoretische Korrektheit zu gewährleisten ist. Abb. 22 zeigt den Ablauf der Metaanalyse im Überblick.⁵⁰

Selektionskriterien

Grundsätzlich ist bei der Festlegung der Kriterien darauf zu achten, dass Verzerrungen vermieden werden, die die Repräsentativität der Studien für die Zielpopulation in Frage stellen. Folgende Kriterien werden für die vorliegende Metaanalyse definiert:

- *Verfügbare Daten*: Für die Effektgrößenberechnung sowie für die Moderatoranalyse werden vorausgesetzt: Angaben zur maximalen Sauerstoffaufnahme vor und

⁵⁰ Bei der Durchführung einer Metaanalyse sind vielfach Rückkopplungsschleifen zu chronologisch vorgeordneten Phasen notwendig (vgl. Abb. 22), da manche Vorentscheidungen nach Durchsicht der Studien revidiert oder ergänzt werden müssen. Darauf wird im Text nicht mehr eingegangen.

nach der Intervention (Gruppenmittelwerte); mindestens eine Standardabweichung (prä oder post); Informationen zu Dauer, Häufigkeit, Umfang und Intensität der Intervention; Anzahl, Geschlecht und Alter (Gruppenmittelwert) der Probanden.

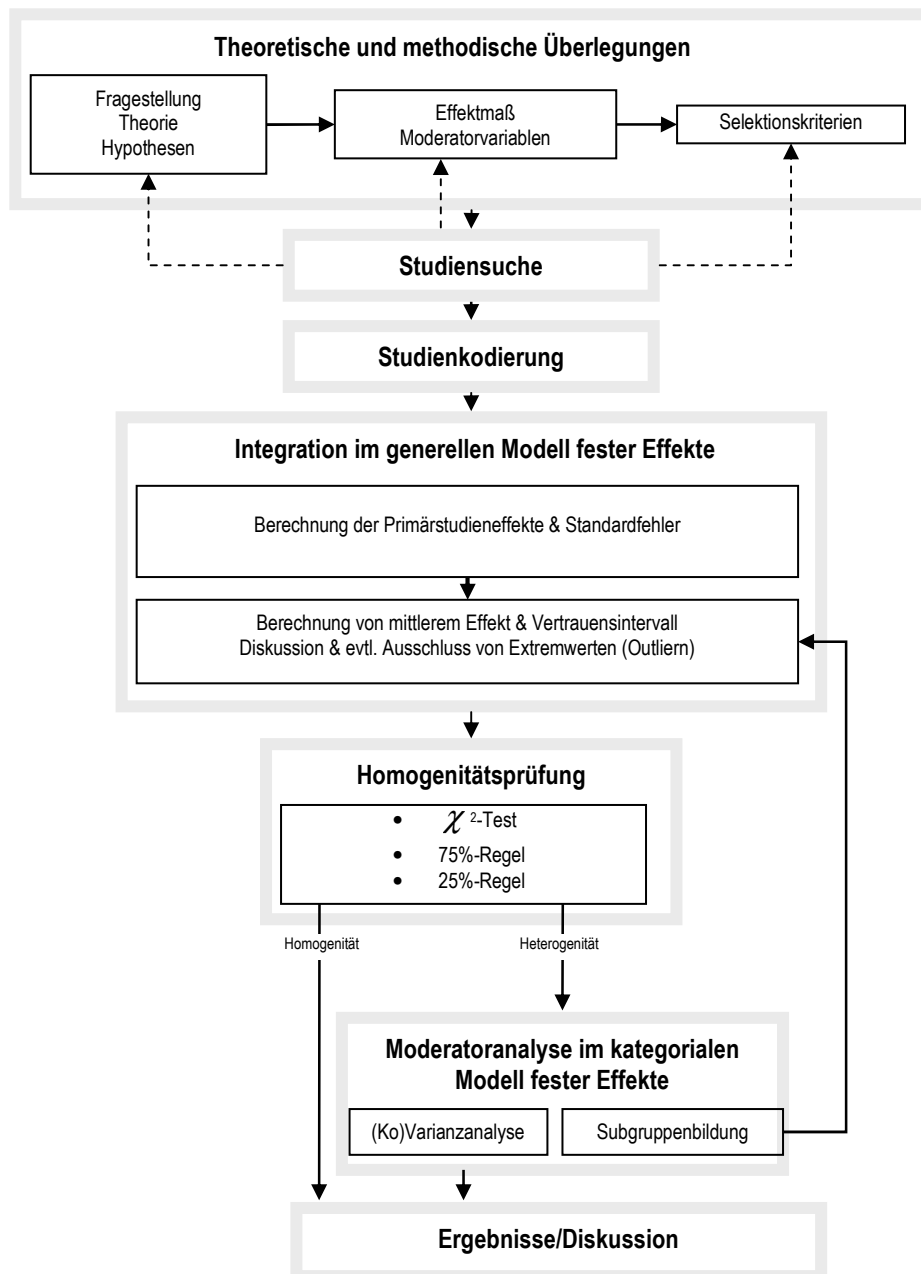


Abb. 22 Schematischer Ablauf der Metaanalyse zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme im Erwachsenenalter

- **Intervention:** Es werden nur Studien herangezogen, in denen ein systematisches Ausdauertrainingsprogramm absolviert wird und keine weitere Einflussnahme auf die maximale Sauerstoffaufnahme angenommen werden muss (z.B. Hormongabe oder zusätzliche nicht quantifizierbare ausdauerwirksame sportliche Aktivitäten).

- *Leistungsdiagnostik*: Es werden nur fahrrad- und laufbandergometrische Verfahren akzeptiert, in denen anhand eines Maximaltests die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max} bzw. VO_{2peak}) spirometrisch ermittelt wird.

Zum Kodiervorgang

Der Kodiervorgang erfolgt anhand einer Handanweisung, welche im Laufe des ersten Kodiervorgangs angepasst wird, um problematische Aspekte einheitlich behandeln zu können. Der Kodiervorgang wurde zweifach durchgeführt. Die Übertragung der Daten in die SPSS-Matrix wurde sowohl anhand der Originalquellen als auch anhand des Kodierformulars kontrolliert. Da es sich fast ausschließlich um objektive Daten handelt, dürfte sich die fehlende Kontrolle durch weitere Kodierer nicht auf die Ergebnisse der Metaanalyse auswirken.

Effektmaß⁵¹, Varianz

4.2 hat gezeigt, dass Trainierbarkeit optimalerweise in Form eines Prä-Post-Differenzmaßes zu operationalisieren ist. Im vorliegenden Fall, in dem nur *ein* Parameter – die am Körpergewicht relativierte maximale Sauerstoffaufnahme – zur Effektgrößenberechnung herangezogen wird, kann die Differenz zwischen den Gruppenmittelwerten direkt als Effektmaß (d_{us}) herangezogen werden. Eine Standardisierung anhand der Standardabweichung, wie sie Cohen (1968) vorschlägt, ist nicht zwingend. Zwar ist die Literaturlage zum Umgang mit unstandardisierten Effektgrößen dürftig und Rustenbach (2003, S. 68) weist darauf hin, dass „selbst im einschlägigen Anwendungsfall (...) eine Standardisierung zu präziseren Integrationsergebnissen führt“, doch auch die Verwendung der standardisierten Effektgröße ist problematisch: *Zwischen* den Studien bestehen große Unterschiede in der *Innergruppen*-Streuung der maximalen Sauerstoffaufnahme. Ursächlich dafür sind systematische Einflüsse (durch Geschlecht, Alter und Adaptationszustand) auf die Heterogenität der individuellen VO_{2max} -Ausgangswerte. Daraus resultieren Standard-

⁵¹ In der Literatur sind verschiedene Begrifflichkeiten in (uneinheitlichem) Gebrauch: z.B. Effektmaß, Effektgröße (effect size) und Effektstärke. Im Folgenden wird der Begriff Effektmaß als übergeordneter Begriff für alle in Metaanalysen gebräuchlichen Maße verwendet (z.B. Korrelationen, t-Werte, F-Werte), während der Begriff Effektgröße (effect size) auf das standardisierte oder unstandardisierte Differenzmaß, wie es von Cohen (1968) definiert wurde, bezogen wird.

abweichungen zwischen 0,7 und 8,97.⁵² Dies führt zu einem hohen Einfluss der Standardabweichung auf den interessierenden Effekt. Die Metaanalyse wird daher mit der unstandardisierten Effektgröße (d_{us}) durchgeführt (vgl. aber die durchgeführten Sensitivitätsanalysen, s.u.). Die Berechnung der Studieneffektvarianz (s_{us}^2) erfolgt nach Lipsey und Wilson (2001, Formel 3.12; auch Becker, 1988, S. 261).⁵³

Die Integration der Studieneffekte zum mittleren Effekt

Für die Integration der Primärstudieneffekte zu einem mittleren Effekt stellt sich die Frage nach dem Umgang mit Extremwerten (Ausreißern), abhängigen Primärstudieneffekten, nach Adjustierungsverfahren und nach der Notwendigkeit einer differenzierten Gewichtung der Studieneffekte:

- *Extremwerte:* Unter Extremwerten werden in Orientierung am verwendeten Statistikprogramm SPSS Werte verstanden, die mehr als das 1,5fache des Interquartilabstandes unter der 25. Perzentile bzw. über der 75. Perzentile liegen.⁵⁴ Die identifizierten Extremwerte werden einzeln auf Möglichkeiten ihres Zustandekommens hin betrachtet, um schließlich über Ein- oder Ausschluss in die Analyse zu entscheiden.
- *Abhängige Studieneffekte:* Abhängige Effekte liegen erstens in Form von mehreren Effektgrößen pro Studie vor, wobei es sich jeweils um separate Personengruppen (z.B. Geschlechts-, Alters-, Treatmentgruppen) handelt. Zweitens können bei mehr als zwei Messzeitpunkten (z.B. VO_{2max} -Wert zu Beginn, nach 4, 8, 12 Wochen) mehrere Effektgrößen für einzelne Personengruppen berechnet

⁵² Es handelt sich hierbei um die gepoolten Standardabweichungen aus der Prä- und Poststandardabweichung (zum Poolen von Standardabweichungen vgl. Hedges & Olkin, 1985, S. 79 sowie Rustenbach, 2003, S. 81).

⁵³ Die für die Varianzberechnung benötigte Prätest-Posttest-Korrelation p , ist nur in wenigen Fällen dokumentiert. Werte aus Studien *mit* entsprechenden Angaben gelten als geeignete Schätzer (Morris & DeShon, 2002). Die Heranziehung aller im Rahmen der Studiensuche gesammelten Studien ergibt eine Schätzung von $\hat{p} = .9$, welche hier für die Berechnung der Varianz herangezogen wird (Bouchard et al., 1999; Cunningham et al., 1987; Fenster et al., 1989; Govindasamy et al., 1992; Kohrt et al., 1991; Poulin et al., 1992; Rowland et al., 1991; Savage et al., 1986; Wilmore et al., 1980; Zauner & Benson, 1981).

⁵⁴ Streng genommen müsste eine Outlier-Analyse stattfinden, bei der die Einzelwerte jeweils mit dem von ihnen bereinigten Residuum verglichen werden (vgl. dazu Rustenbach, 2003). Da es im vorliegenden Fall jedoch ausschließlich Ausreißerwerte nach oben gibt – eine gegenseitige Aufhebung von Verzerrungen also nicht möglich ist – und aufgrund der nachfolgenden Moderatoranalyse der Ausschluss von Extremwerten nur bei großer Auffälligkeit vorgenommen werden soll, bleibt es bei dem „einfachen“ Verfahren, wie es das Statistikprogramm SPSS verwendet.

werden.⁵⁵ Für den Umgang mit abhängigen Effekten gibt es alternative Lösungsansätze (vgl. z.B. Beelmann & Bliesener, 1994; Gleser & Olkin, 1994; Lipsey & Wilson, 2001; Rustenbach, 2003). Während bei separaten Personengruppen die Abhängigkeit vernachlässigt werden kann (vgl. Lipsey & Wilson, 2001, S. 112), ist die Einbeziehung mehrerer Effektgrößen identischer Personengruppen nicht ohne Weiteres zulässig. In diesem Zusammenhang ist jedoch von Bedeutung, dass bei der vorliegenden Metaanalyse die Frage nach Dimensionen und Einflussfaktoren und damit die Moderatoranalyse im Mittelpunkt steht. Es wird daher vorausgesetzt, möglichst genau verschiedene Ausprägungsgrade potentiell Einfluss nehmender Variablen zu erfassen. Mehrere Messzeitpunkte pro Gruppe stellen damit eine Präzisierung der Moderatorvariable „Dauer der Intervention“ dar und werden daher unter Vernachlässigung von Abhängigkeiten berücksichtigt.⁵⁶

- *Adjustierung*: Hunter und Schmidt (vgl. 1990) haben eine Reihe an Korrekturformeln für verschiedene Arten der Verzerrung entwickelt (z.B. Unreliabilität, künstliche Dichotomisierung, Konfundierung durch Drittvariable). Dafür sind jedoch jeweils spezifische Informationen in den Primärstudien notwendig. In der vorliegenden Metaanalyse werden aufgrund mangelnder Angaben und der Strittigkeit dieses Vorgehens wegen der Simulierung perfekter Bedingungen (Rustenbach, 2003, S. 113) keine Adjustierungen vorgenommen.
- *Gewichtung*: Primärstudieneffekte können aus Gründen der methodischen Qualität, der Stichprobengröße, aber auch aus inhaltlichen Gründen ein unterschiedliches Gewicht bei der Berechnung des mittleren Effektes erhalten. Im Allgemeinen wird in Anlehnung an Hedges und Olkin (1985) eine Gewichtung anhand der inversen Varianz der Primärstudieneffekte vorgenommen: Damit wird sowohl der Stichprobengröße (welche in die Berechnung der Varianz eingeht) als auch der Präzision der Einzeleffekte (je genauer ein Einzeleffekt, desto höher seine Gewichtung) Rechnung getragen. Eine Gewichtung mit der inversen Varianz erzielt jedoch im vorliegenden Fall (bei Effektvarianzen zwischen 0,00 und 1,58) ein un-

⁵⁵ In der Literatur werden noch weitere Formen der Abhängigkeit beschrieben, welche auf die vorliegende Metaanalyse jedoch nicht zutreffen.

⁵⁶ Dies scheint auch dahingehend unproblematisch zu sein, als dass davon ausgegangen werden kann, dass in den nachfolgenden Subgruppenanalysen die abhängigen Effekte meist in *separaten* Metaanalysen verrechnet werden, so dass die Abhängigkeit ohnehin keine Rolle mehr spielt.

angemessen hohes Ungleichgewicht. Zur Entschärfung wird daher die *Inverse des Standardfehlers* als Gewichtungsfaktor gewählt. Eine inhaltliche Gewichtung ist aufgrund entsprechender Selektionskriterien nicht notwendig. Die methodische Qualität der Studien wird in Form von Moderatorvariablen berücksichtigt (vgl. folgenden Abschnitt).⁵⁷

Zur methodischen Qualität der Studien

Die empirische Befundlage zur Verzerrung der Integrationsergebnisse durch methodische Qualitätsmerkmale ist bis heute inkonsistent (vgl. Beelmann & Bliesener, 1994). Mit einer gerichteten Verzerrung von Integrationsbefunden ist ausschließlich bei systematischen Verzerrungen der Primärstudienresultate zu rechnen. Solche sind für die bislang in der Literatur diskutierten Verzerrungsursachen nicht nachzuweisen. Daher muss zwar von einer Verbreiterung der Vertrauensintervalle und einer Abnahme der Teststärke ausgegangen werden, eine Verzerrung des mittleren Effektes ist jedoch nicht anzunehmen (Glass et al., 1981, S. 226). Zwei Alternativen zur Lösung des Problems werden diskutiert (vgl. v.a. Bliesener, 1993; Lösel et al., 1987; die Diskussion von Greenwald & Russell, 1991; Russell & Greenwald, 1991 und Rosenthal, 1991): (a) eine Gewichtung der Studien anhand festgelegter Validitätskriterien, wobei diese Variante den Ausschluss qualitativ minderwertiger Studien im Sinne einer „Null“-Gewichtung umfasst, (b) die Berücksichtigung der methodischen Qualität durch Festlegung und Prüfung entsprechender Moderatorvariablen. Während Ersteres die Einflussnahme methodischer Qualitätskriterien als gegeben voraussetzt, stellt Letzteres eine Prüfung eines solchen Einflusses dar.

Aufgrund der geringen Vorkenntnisse, mit welchen Verzerrungen durch welche Studienmerkmale tatsächlich zu rechnen ist, wird hier die Variante (b) bevorzugt.⁵⁸ Das Verfahren bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass aufgrund der ohnehin großen Anzahl an inhaltlichen Moderatorvariablen nur wenige methodische Variablen be-

⁵⁷ Bei der Integration von mehreren Effektstärken pro Studie ist die Anwendung dieses Gewichtungsverfahrens nicht unproblematisch, da gleiche Stichprobenfehler mehrfach berücksichtigt werden (vgl. Hunter & Schmidt, 1990, S. 463-467). Da die Untergruppenbildung jedoch im vorliegenden Fall dazu führt, dass die Effektgrößen einer Studie nicht gemeinsam integriert werden (vgl. Fußnote 56), wird dieses Problem vernachlässigt.

rücksichtigt werden können. In mehreren Schritten wurden daher die von Cook und Campbell (1979), Lösel et al. (1987) und Bliesener (1993) vorgeschlagenen Validitätskriterien an den Gegenstand und die Zielsetzungen der vorliegenden Metaanalyse adaptiert und auf die am notwendigsten erscheinenden Kriterien eingegrenzt.⁵⁹ Schließlich verbleiben drei Kriterien, deren Einflussnahme auf das Effektmaß im Zusammenhang mit der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten geprüft werden soll: das absolute Ausgangsniveau, der Übereinstimmungsgrad der Belastungsqualität von Intervention und Testung sowie die Progressivität der Trainingsbelastung im Untersuchungszeitraum.

Testverfahren: Homogenitäts- und Unterschiedsanalysen

Ein gemittelter Effekt ist nur dann aussagekräftig, wenn davon ausgegangen werden kann, dass er einen *gemeinsamen Populationseffekt* der eingehenden Primärstudieneffekte schätzt. Diese Annahme wird mit Hilfe von Homogenitätstests überprüft. Dabei kommen (wie es in der Praxis der Metaanalyse üblich ist) mehrere Verfahren zum Einsatz:

- χ^2 -Homogenitätstest: Prüfgröße ist die Quadratsumme Q_t (das ist die Summe der an ihrer eigenen Varianz normierten Abweichungen der Primärstudieneffekte vom gewichteten mittleren Effekt). Die Effektvarianz im Nenner macht eine modifizierte Signifikanzprüfung, basierend auf einer χ^2 -Verteilung, erforderlich (Hedges & Olkin, 1985; Statistiken/Tabellen: z.B. Bortz, 2004). Zu beachten ist, dass der Signifikanztest bei kleinen Stichprobenumfängen ($n \leq 10$) und auch bei großer Primärstudienanzahl als konservativ gilt. Die Präzision des Tests steigt mit dem mittleren Effekt und zunehmender Stichprobengröße (Hedges & Olkin, 1985). Ein signifikant ausfallender Test muss dahingehend interpretiert werden, dass *kein* gemeinsamer Populationseffekt vorliegt, die vorliegenden Primärstudieneffekte also heterogen sind.

⁵⁸ Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Selektionskriterien bereits eine erste Eingrenzung hinsichtlich der methodischen Qualität darstellen, z.B. indem eine ausreichende Protokollierung der Treatmentintervention gefordert ist.

⁵⁹ Um eine objektive Auswahl der Kriterien zu ermöglichen, wurden die Kriterien einer zweiten Person zur Beurteilung vorgelegt und ausführlich diskutiert.

- 75%-Regel: Wenn allen Primärstudieneffekten ein gemeinsamer Populationseffekt zugrunde liegt, ist aufgrund von Stichprobenfehlern trotzdem eine Abweichung der Einzeleffekte vom mittleren Effekt zu erwarten; die unsystematische Stichprobenvarianz des mittleren Effektes kann geschätzt werden ($\hat{\sigma}^2$). Die geschätzte Varianz kann zur tatsächlich beobachteten Varianz ($s_{d.}^2$) des mittleren Effektes ins Verhältnis gesetzt werden. Beträgt die geschätzte Varianz mindestens 75% der beobachteten Varianz (im Idealfall müssten es 100% sein) empfehlen Hunter und Schmidt (1990) von homogenen Effekten auszugehen.
- 25%-Regel: Eine von Stoffelmayr und Kollegen (1983) vorgeschlagene Regel besagt, dass die residuale Standardabweichung (s_{res} , das ist die Wurzel aus dem Differenzmaß vom beobachteter und geschätzter Varianz) weniger als 25% der Populationseffektgröße ($d.$) betragen soll, um von homogenen Effekten ausgehen zu können.

In einem weiteren Schritt kann geprüft werden, inwiefern die theoretisch hergeleiteten Moderatoren einen signifikanten Einfluss auf die Effektgröße nehmen, wobei auch Interaktionseffekte zu prüfen sind. Folgende Tests werden dafür eingesetzt:

- Aufgrund des Ausprägungsgrades der interessierenden Moderatorvariablen (Faktorstufen) werden Subgruppen gebildet. Innerhalb der Subgruppen findet eine zu Q_t analoge *Homogenitätsprüfung* anhand der erläuterten Homogenitätstests statt, wobei als Prüfgröße Q_{wi} fungiert.
- Mit kovarianzanalytischen Verfahren werden *Unterschiede* zwischen den Subgruppen (Faktorstufen) geprüft, wobei die intervallskalierten Variablen als Kovariaten herangezogen werden.

Das Signifikanzniveau wird für alle Testungen auf $\alpha = .05$ festgelegt. Die Anwendung mehrerer Testverfahren dürfte eine hinreichende Absicherung gegenüber der Inflationierung des α -Fehlers bilden.

Moderatoranalysen

Kann man von einem gemeinsamen Populationseffekt (homogene Effekte) aller Primärstudieneffekte ausgehen, wird dies als Integration der Studieneffekte im „generellen Modell“ bezeichnet (vgl. Rustenbach, 2003). Heterogenität der Effekte wird auf eine systematische Variation der Studieneffekte durch theoretisch zu spezifizierende Moderatoren zurückgeführt. Dazu findet eine Moderatoranalyse im *kategorialen* Mo-

dell statt. Dieses erlaubt – im Gegensatz zum kontinuierlichen Modell (zum Vergleich von kategorialen und kontinuierlichen Modellen, vgl. Rustenbach, 2003) eine angemessene Prüfung von *Interaktionseffekten*, was Voraussetzung für die Prüfung der postulierten Dimensionen ist. Als potentielle Moderatorvariablen gelten die in 6.3 vorgestellten Variablen mit Ausnahme der sportlichen Vorgeschichte. Die Bildung der Faktorstufen erfolgt in 7.1.1 (Tab. 13, Tab. 14) aufgrund theoretischer (s.o.) und pragmatischer Überlegungen (Intervallbreite; sinnvolle Aufteilung bezüglich der Zellbesetzung).

Bei signifikanten Homogenitätstests sind die Gruppen in einem iterativen Verfahren so lange weiter aufzuteilen, bis homogene Subgruppen vorliegen. Problematisch dabei ist, dass rasch kleine Untergruppen entstehen. Da jedoch nicht zwischen allen Moderatoren Interaktionseffekte vermutet werden, können die Moderatorvariablen auch separat auf ihren Einfluss getestet werden, um ausschließlich die expliziten Interaktionshypothesen iterativ zu prüfen (z.B. Alter*Treatmentdauer). In diesem Fall ist jedoch mit hohen Varianzen innerhalb der Subgruppen zu rechnen, welche durch die jeweils nicht geprüften Moderatorvariablen bedingt sind.

Sensitivitätsanalysen: Weitere Analyseschritte zur Validitätskontrolle

Sensitivitätsanalysen sind eine systematische Bearbeitung der Frage „Wie wirkt es sich aus, wenn hinsichtlich der Datengrundlage oder einer methodischen Entscheidung Veränderungen vorgenommen werden?“ (vgl. Greenhouse & Iyengar, 1994). Da es sich bei der Metaanalyse nicht um ein einschlägiges Verfahren handelt, bei dem jeder Analyseschritt fest vorgeschrieben ist, sind vielfach alternative Vorgehensweisen möglich. Diese wurden teilweise in den vorangegangenen Abschnitten diskutiert. Zur Prüfung der Validität der Ergebnisse werden einige der Alternativverfahren durchgeführt und eventuell auftretende Inkonsistenzen diskutiert, und zwar (a) die Ergebnisse der Metaanalyse unter *Einschluss der Extremwerte*, (b) die Ergebnis-

se der Metaanalyse mit der *standardisierten Effektgröße* d_s ,⁶⁰ (c) die Ergebnisse der Metaanalyse im *Modell zufälliger Effekte*. Letzteres soll kurz skizziert werden: Während im Modell fester Effekte davon ausgegangen wird, dass Abweichungen der Primärstudieneffekte vom Populationseffekt ausschließlich durch den Stichprobenfehler der Primärstudien bedingt sind und weitere Abweichungen auf systematische Einflüsse (Moderatoren) zurückgeführt werden können, geht das Modell zufälliger Effekte von einer zusätzlichen Varianzquelle aus: Danach stellen die berücksichtigten Primärstudieneffekte nur eine Auswahl *aller* in der Vergangenheit und Zukunft potentiell durchführbaren Studien dar.⁶¹ Damit entsteht bereits auf der Ebene der Primärstudienauswahl ein Stichprobenfehler (Second-Order-Sampling-Error, vgl. Hunter und Schmidt, 1990), welcher im Modell fester Effekte vernachlässigt wird.⁶² Die durch diesen Stichprobenfehler bedingte zusätzliche Varianzkomponente (τ^2) wird im Modell zufälliger Effekte rechnerisch approximiert und der berechneten Varianz (s^2) der Studieneffekte additiv zugeschlagen. Daraus resultiert eine konservativere Inferenzstatistik; gleichzeitig steigt die Generalisierbarkeit der Ergebnisse.

Die Anwendung eines Modells zufälliger Effekte ist erst indiziert, wenn der Hinweis auf heterogene Effekte gegeben ist; in der Literatur ist bislang allerdings umstritten,

⁶⁰ Zur Standardisierung wird d_{us} durch die gepoolte Standardabweichung der Prä- und Post-VO_{2max}-Gruppenmittelwerte dividiert und mit dem gängigen Adjustierungsfaktor für kleine Stichproben c (df) multipliziert; dieser Faktor korrigiert die durch die Standardisierung verursachte positive Verzerrung (vgl. Hedges, 1982; Hedges & Olkin, 1985). „ d_s “ sei im Weiteren die biaskorrigierte Effektgröße. Die Berechnung der Varianz des Studieneffektes (s_s^2) erfolgt nach Becker (1988, S. 263: Formel 11). Für die Varianzberechnung der standardisierten Effektgröße wird außerdem die Populationseffektgröße δ benötigt. Hedges und Olkin (1985, Kapitel 6.B, 6.F) schlagen in Abhängigkeit von der Anzahl der Studien und der Stichprobengröße zwei alternative Vorgehensweisen zur Schätzung derselben vor: Für ausreichend große Stichprobengrößen (≥ 10) und Effektgrößen < 1.5 haben Maximum-Likelihood-Verfahren den Studieneffekt (d_s) als geeigneten Schätzer von δ ausgewiesen. Unter der Voraussetzung, dass viele Studien mit kleinen Stichprobengrößen (< 10) vorliegen, wird jedoch vorgeschlagen, δ anhand des *ungewichteten* mittleren Effektes (\bar{d}_s) zu schätzen. Aufgrund der Stichprobengrößen der vorliegenden Primärstudien (vgl. 7.1: Ein Drittel aller Studien hat weniger als 10 Probanden) wurde die \bar{d}_s -Variante angewendet.

⁶¹ Selbst wenn also von dem (unwahrscheinlichen) Fall ausgegangen wird, dass alle jemals zur Fragestellung durchgeführten Studien erfasst sind, muss angenommen werden, dass noch weitere Studien *möglich* sind.

⁶² Dieser Stichprobenfehler kommt dadurch zustande, dass nicht alle einflussnehmenden Variablen in allen möglichen Ausprägungsgraden erfasst sind. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Interventionsdauer der Studien *nicht alle potentiellen* Interventionszeiträume abdeckt. Hingegen liegen bei der Moderatorvariable Geschlecht mit männlichen und weiblichen Teilnehmern *alle* Ausprägungsformen in der Stichprobe vor.

ob und wann inhaltlich gesehen ein Modell zufälliger Effekte angemessen ist (vgl. zusammenfassend Rustenbach, 2003).

Im vorliegenden Fall kommt das generelle Modell zufälliger Effekte zum Einsatz, wenn das generelle Modell fester Effekte keine homogenen Effekte erzielt, und damit parallel zur Moderatoranalyse im Modell fester Effekte. Führt auch das Modell zufälliger Effekte nicht zu Homogenität, kann auf jeder Iterationsstufe des kategorialen Modells fester Effekte die verbleibende Varianzkomponente (τ_{res}^2) berechnet und eine Integration im kategorialen Modell zufälliger Effekte durchgeführt werden.

Zur Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung wird anteilig mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 11.5) durchgeführt: Da dieses Programm keine spezifischen Funktionen für die Metaanalyse bereitstellt, werden für die Subgruppenanalyse in Anlehnung an Rustenbach (2003) entsprechende Syntaxen entwickelt, so dass die deskriptiven Kennwerte sowie Teile der Homogenitätstests ebenfalls mit Hilfe des Datenverarbeitungsprogramms SPSS berechnet werden können. Ergänzende Berechnungen werden manuell (Taschenrechner) durchgeführt.

Die Kovarianzanalyse wird komplett SPSS-gestützt durchgeführt werden. Zu beachten ist allerdings, dass aufgrund der Voraussetzungsverletzungen bezüglich Normalverteilung, Zellbesetzung, Varianzungleichheit und der Gewichtung der Effekte eine modifizierte Ergebnisinterpretation notwendig ist: Die ausgegebenen Signifikanzen der F-Werte bleiben uninterpretiert. Stattdessen werden die Quadratsummenwerte anhand einer χ^2 -Quadratverteilung manuell auf Signifikanz geprüft werden (vgl. dazu Rustenbach, 2003, S. 156-159; Statistiken/Tabellen: z.B. Bortz, 2004).

6.4.2 Kombiniertes Ansatz zur Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit im Kindesalter

Die Befundintegration von Interventionsstudien im Kindes- und Jugendalter verfolgt das gleiche Erkenntnisinteresse wie diejenige zum Erwachsenenalter. Bei der Selektion der Studien gelten daher die einleitend zu Kapitel 6 genannten Kriterien. Da im Kindes- und Jugendalter im Vergleich zum Erwachsenenalter Wachstums- und Reifungsprozesse einen besonders starken Einfluss auf die Veränderung leistungsphysiologischer Größen nehmen können, wird zusätzlich das Vorliegen einer

(nichttrainierenden) Kontrollgruppe verlangt, um damit die Konfundierung von Reifungs- mit Trainingsprozessen kontrollieren zu können.

Es zeigt sich allerdings, dass die Anzahl an Studien, die allen Kriterien genügen, gering ist. Aus diesem Grunde kann keine der Metaanalyse zum Erwachsenenalter vergleichbare Analyse durchgeführt werden. Stattdessen wird eine Mischform aus quantitativer und qualitativer Analyse vorgenommen:

- *Kodierung*: Die Vorgehensweise bei der Kodierung der Studien erfolgt nach den gleichen Gesichtspunkten wie in der Metaanalyse der Erwachsenen (vgl. 6.4).
- *Effektgrößen*: Neben der Berechnung des Effektes für die Experimentalgruppe (d_{usE}) erfolgt die Berechnung des Effektes für die Kontrollgruppe (d_{usK}) analog als Differenzmaß zwischen Post- und Prä-Wert der VO_{2max} -Messung. Zusätzlich wird die Differenz $\Delta d_{us} = d_{usE} - d_{usK}$ berechnet, um daraus die *durch Training* bedingte Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme abzuleiten.
- *Integration*: Für die Betrachtung des mittleren Effektes über alle Studien werden einfache statistische Kennwerte wie Mittelwert, Standardabweichung und Range berechnet. Als Gewichtungsfaktor wird die Stichprobengröße herangezogen.
- *Einfluss der Moderatoren*: Als Moderatorvariablen interessieren dieselben Faktoren wie bei der Metaanalyse (vgl. 6.4). Dabei erfolgt die Betrachtung der Moderatoren anhand einfacher Korrelationsberechnungen zwischen dem Effekt (Δd_{us} bzw. d_{usE}) und dem Ausprägungsgrad der Moderatoren. Bei der Interpretation sind Konfundierungen zwischen den Moderatorvariablen zu berücksichtigen.
- *Studienspezifische Betrachtung*: Zusätzlich zu der vergleichenden Analyse der Studien anhand festgelegter Moderatoren erfolgt eine Betrachtung der Einzelstudien im Hinblick auf weitere Aspekte, die Aufschluss über das Zustandekommen des Trainingseffektes geben können.

6.4.3 Kombiniertes Ansatz zur Reservekapazität

Die Literaturrecherche bestätigt die in 4.3 diskutierte Problematik, dass die Erfassung der Reservekapazität mit methodischen Schwierigkeiten verbunden ist: Es können weder pro- noch retrospektive Längsschnittstudien ausfindig gemacht werden, die Entwicklungsdaten der maximalen Sauerstoffaufnahme vom untrainierten bis hin zum (hoch-)leistungssportlichen Niveau referieren. Selbst querschnittliche Vergleiche von „gut Trainierten“ und „Untrainierten“ liegen nur in geringer Anzahl vor (z.B. Row-

land et al., 2000; Sundberg & Elovainio, 1982; Thorén & Asano, 1984; Heath et al., 1981; Marti & Howald, 1990; Warren et al., 1993; Yerg et al., 1985), wobei zusätzlich der unterschiedliche Gebrauch der Begriffe „trainiert“ und „untrainiert“ einen direkten Vergleich zwischen den Studien problematisch macht. Eine Metaanalyse zur Frage der Reservekapazität ist aus diesem Grund nicht durchführbar. Um dennoch Aussagen zur Reservekapazität machen zu können, werden die Werte verschiedener Studien zu einem „komplexen Querschnittsdesign“ über die Variablen Geschlecht, Alter und Trainingszustand kombiniert:

- *Eingehende VO_{2max} -Werte:* Alle im Laufe der Studienrecherche gesammelten Studien werden berücksichtigt. Pro Untersuchungsgruppe geht jedoch nur *ein* VO_{2max} -Wert ein, es sei denn, die Werte liegen – wie in einigen Längsschnittstudien der Fall – bei Kindern mindestens zwei, bei Erwachsenen mindestens fünf Jahre auseinander. Für die Entscheidung, welcher Wert (z.B. Prä- oder Postwert bei einer Intervention) berücksichtigt wird, gilt, dass derjenige Wert berücksichtigt wird, der (vermutlich) näher an der oberen (hochleistungssportlichen) *oder* unteren (untrainierten) absoluten individuellen Leistungsgrenze liegt. Aus diesem Grunde wird (a) von allen Interventionsstudien, die ein Training mit untrainierten oder moderat trainierten Personen durchführen, der Ausgangswert genommen, (b) bei Studien mit längerfristig, wettkampfsportlich und insbesondere hochleistungssportlich trainierenden Personen der höchste gemessene Werte gewählt.
- *Geschlecht & Alter:* Die Werte werden nach Geschlecht und Alter kategorisiert. Die Faktorstufen für das Alter umfassen Intervalle von fünf Jahren. Ausschlaggebendes Kriterium für die Zuordnung einer Gruppe ist der Gruppenmittelwert.
- *Auswertung:* Für beide Geschlechter werden für jede Altersgruppe jeweils der anhand der Stichprobengröße gewichtete Mittelwert, der Minimal- sowie Maximalwert und jeweils der gewichtete Mittelwert der obersten und untersten Perzentile der Werte einer Altersklasse ermittelt.⁶³ Letztere geben einen Hinweis darauf, inwieweit es sich bei den Minimal- bzw. Maximalwerten um Ausreißerwerte handelt.

⁶³ Dieser Wert wird nur berechnet, wenn mehr als zehn Werte für eine Altersklasse vorliegen. Zur Festlegung der Anzahl der eingehenden Studien wird grundsätzlich aufgerundet. Beispiel: Wenn $k=21$ Werte in einer Altersklasse vorliegen, werden jeweils die drei höchsten bzw. die drei niedersten Werte (an der Stichprobengröße gewichtet) gemittelt.

- *Reservekapazität*: Die Reservekapazität wird anhand der Differenz zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert innerhalb der Altersklasse operationalisiert. Da es trotz der Vielzahl an eingehenden Werten in Bezug auf diese Differenz zu starken, theoretisch nicht begründbaren Schwankungen dieser Differenz im Altersverlauf kommt, wird die Reservekapazität *grafisch* ermittelt. Dazu werden die Werte derjenigen Studien zu einer *Maximumlinie* verbunden, die im Vergleich zu den jeweils benachbarten Altersklassen herausragend sind. Eben solches geschieht mit den unteren Extremwerten, die zu einer *Minimumlinie* verbunden werden. Die Beurteilung der solchermaßen ermittelten Reservekapazität erfolgt im Sinne einer grafischen Abschätzung dieser Differenz, ihrer Veränderung im Altersverlauf sowie geschlechtsspezifischer Unterschiede.
- *Betrachtung einzelner Studien*: Diejenigen Werte, die zur Darstellung der Reservekapazität herangezogen werden, werden hinsichtlich der Frage betrachtet, ob es sich tatsächlich um Werte handelt, bei denen man von einem maximalen bzw. minimalen Leistungsniveau ausgehen kann. Dazu wird insbesondere das Trainingspensum analysiert.

6.4.4 Qualitativ orientierte Analyse von Langzeitstudien

Weitere Fragen zur langfristigen Entwicklung der maximalen Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von (wechselnden) Trainingsgewohnheiten sollen mit Hilfe einer ganzheitlichen Analyse von ausgewählten Studien beantwortet werden. Dazu wird nach den folgenden Gesichtspunkten eine theoretische Auswahl an Studien getroffen:

- Es soll der Entwicklungsverlauf über die gesamte Lebensspanne betrachtet werden.
- Es sollen Männer und Frauen in ihrem Entwicklungsverlauf analysiert werden.
- Es geht sowohl um längerfristige Entwicklungsverläufe von Personen, die mit Beginn der Studie erst ein Training aufnehmen, als auch um Personen, die bereits länger in einen Trainingsprozess involviert sind.
- Es sollen möglichst unterschiedliche Trainingsbedingungen berücksichtigt und in ihren Auswirkungen auf die maximale Sauerstoffaufnahme und vergleichend analysiert werden.

- Die Dauer soll mindestens zwei Jahre betragen. Wünschenswert sind Studien, die möglichst langfristig, d.h. auch über ein bis mehrere Jahrzehnte, angelegt sind.
- Von Interesse sind insbesondere Studien, die eine differenzierte Betrachtung verschiedener Entwicklungsbedingungen beinhalten.

Die Studien werden hinsichtlich aller die maximale Sauerstoffaufnahme betreffenden Informationen hin betrachtet: Im Mittelpunkt steht der Zusammenhang zwischen Training, Geschlecht, Alter und Entwicklung der maximalen Sauerstoffaufnahme. Dabei gilt es, soweit als möglich Wirkungen biologischer Alterns- und Reifungsprozesse von denjenigen der Trainingsprozesse abzugrenzen. Dies gilt sowohl bei positiv als auch bei negativ verlaufenden Entwicklungsprozessen in verschiedenen Altersphasen. Dazu sind langfristige Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme vor dem Hintergrund der Bewegungsaktivitäten, die in den entsprechenden Zeiträumen durchgeführt werden, zu diskutieren.

7 Ergebnisse und Diskussion

7.1 Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit

Das vorliegende Kapitel präsentiert und diskutiert die Ergebnisse der Befundintegration standardisierter Trainingsprogramme. Da diese nur in wenigen Fällen die Dauer von einem Jahr überschreiten, können damit ausschließlich Fragestellungen zur *Umstellungsdynamik* und *Anpassungsgeschwindigkeit* bearbeitet werden. Dazu werden die in 6.3 der Theorie diskutierten Moderatorvariablen einer Prüfung unterzogen. Im Einzelnen geht es um die Fragen, inwiefern (a) eine *Lag-Phase* bzw. andere Unregelmäßigkeiten im Anpassungsverlauf zu Beginn eines Interventionsprogramms zu beobachten sind und damit die Komponenten Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit als (unabhängige) Dimensionen der Trainierbarkeit gelten können, (b) *Geschlecht* und *Alter* die genannten Dimensionen determinieren, (c) die Trainingsparameter *Dauer*, *Intensität*, *Häufigkeit*, *Umfang* und *Belastungsqualität* den Trainingseffekt bestimmen, (d) die Validitätskriterien *Ausgangsniveau*, *Progressivität der Trainingsbelastung* und *Übereinstimmung von Treatment und Testverfahren* einen Einfluss auf den gemessenen Trainingseffekt nehmen.

7.1.1 Ergebnisse der Metaanalyse zum Erwachsenenalter

Deskriptive Statistik

Für das Erwachsenenalter konnten insgesamt 50 Studien mit 102 Effektgrößen ermittelt werden. Schließt man fünf Extremwerte (die ad hoc nicht auf systematische Einflüsse zurückgeführt werden können) aus, verbleiben 97 Effektgrößen aus 47 Studien. Diese liegen zwischen $0,2 \leq d_{US} \leq 9,0$ ⁶⁴ bei einem gewichteten Mittelwert von $d_{\bullet} = 3,2$ und einer Varianz von $s_{d_{\bullet}}^2 = 3,63$. Die Stamm & Blatt-Darstellung (Abb. 23) zeigt eine tendenziell linkssteile Verteilung der Effektgrößen, welche sich nach dem Kolmogorow-Smirnov-Test auf dem 5%-Signifikanzniveau als hinreichend normalverteilt erweist ($p=0,420$).

⁶⁴ Es sei darauf hingewiesen, dass die angegebenen Effektgrößen jeweils die Einheit $\text{ml}/\text{min} \cdot \text{kg}^{-1}$ haben, da keine Standardisierung vorgenommen wurde.

Häufigkeit	Stamm	& Blatt
9	0	224457777
11	1	03355667889
22	2	0000133344445555677888
16	3	12222333444567889
13	4	0113456667777
12	5	012334566779
8	6	11112278
5	7	25666
0	8	
1	9	0
5	Extreme ($\geq 10,3$)	

Abb. 23 Stamm & Blatt-Diagramm der Effektgrößen

Einen Überblick über die in die Metaanalyse einbezogenen Studien sowie eine differenzierte Betrachtung der Anzahl und Stichprobengrößen der Effektgrößen geben Tab. 11 und Tab. 12. 74% der Effektgrößen stammen von Stichproben mit $n \leq 20$ und 44% sogar von Stichproben mit $n \leq 10$. Lediglich vier Effektgrößen beruhen auf Stichproben mit $n \geq 100$. Da teilweise abhängige Effektgrößen vorliegen, basiert die berechenbare Gesamtzahl an Probanden von $N=2294$ auf einer Anzahl von $N=1810$ existenten Personen.

Tab. 11 Überblick über die in der Metaanalyse verarbeiteten Studien; k =Anzahl der Effektgrößen; $N_0-N_1-\dots-N_k$ =Stichprobengrößen der den Effektgrößen zugrunde liegenden Studien (in Klammern hinzugefügte Quellenangaben enthalten Informationen zur selben Erhebung)

Quelle	$k (N_0 - N_k)$	Quelle	$k (N_0 - N_k)$	Quelle	$k (N_0 - N_k)$
Badenhop et al., 1983	2 (10-11)	Henritze et al., 1985	2 (11-12)	Posner et al., 1992	1 (166)
Belman & Gaesser, 1991	2 (8-9)	Jetté et al., 1988	2 (7-6)	Probart et al., 1991	1 (10)
Blumenthal et al., 1991 (1989)	3 (31-28-28)	Kohrt et al., 1991 (Coggan et al., 1992; Ehsani et al., 1991)	14 (24-24-24-24-29-29-29-19-19-19-19-38-38-38)	Schulman et al., 1996	1 (10)
Boileau et al., 1999	2 (13-45)	Laukkanen et al., 2000	2 (25-28)	Seals et al., 1984a (Seals et al., 1984b)	2 (11-11)
Buchner et al., 1997	1 (21)	Malbut et al., 2002	2 (8-9)	Skinner et al., 2001	2 (287-346)
Carroll et al., 1995	1 (29)	Massicotte & Avon, 1981	2 (11-11)	Steinhaus et al., 1990	1 (13)
Carter et al., 1999	1 (16)	McCarthy et al., 1995	1 (10)	Stratton et al., 1994 (Levy et al., 1993)	2 (13-11)
Cress et al., 1991	1 (17)	Melanson et al., 1996	1 (17)	Tabata et al., 1996	1 (7)
Cunningham et al., 1987 (Scott et al., 1985)	1 (100)	Meredith et al., 1989	2 (10-10)	deVito et al., 1997	1 (11)
Denis et al., 1986	1 (6)	Mier et al., 1997	2 (5-5)	deVito et al., 1999	1 (11)
Denis et al., 1984	1 (7)	Morris et al., 2002	2 (10-10)	Warren et al., 1993	2 (14-14)
Foster et al., 1989	2 (9-7)	Murakami et al., 2002	1 (55)	Weir et al., 1997	1 (19)
Golden & Vaccaro, 1984	2 (6-6)	Murphy & Hardman, 1998	2 (12-12)	Weltman et al., 1992	2 (8-9)
Gossard et al., 1986	4 (23-23-20-20)	Phillips et al., 1995	2 (7-7)	Wilmore et al., 1980	2 (9-9)
Govindasamy et al., 1992 (Poulin et al., 1992)	9 (8-8-8-8-8-8-8-8)	Pickering et al., 1997	2 (10-10)	Yoshida et al., 1990	1 (6)
Hagberg et al., 1989	2 (16-16)	Pierce et al., 1990	2 (5-6)		

Tab. 12 Überblick über die den Effektgrößen zugrunde liegenden Stichprobengrößen N ; k =Anzahl der Effektgrößen

N	k	Kumulierte Prozent	N	k	Kumulierte Prozent	N	k	Kumulierte Prozent	N	k	Kumulierte Prozent
5	3	3,1	12	3	56,7	21	1	75,3	38	3	93,8
6	6	9,3	13	3	59,8	23	2	77,3	45	1	94,8
7	6	15,5	14	2	61,9	24	4	81,4	55	1	95,9
8	12	27,8	16	3	64,9	25	1	82,5	100	1	96,9
9	6	34,0	17	2	67,0	28	3	85,6	166	1	97,9
10	10	44,3	19	5	72,2	29	4	89,7	287	1	99,0
11	9	53,6	20	2	74,2	31	1	90,7	346	1	100,0
									gesamt	97	100,0

Die deskriptive Statistik der zu prüfenden Moderatoren zeigen Tab. 13 und Tab. 14. Aufgrund strenger Selektionskriterien können aus fast allen Studien die notwendigen Angaben gewonnen werden: Allerdings können 14 Studien nicht den gewählten Faktorstufen bezüglich des Alters (≤ 45 bzw. ≥ 46 Jahre) zugeordnet werden, 23 Effektgrößen stammen von gemischtgeschlechtlichen Probandengruppen. Aus diesem Grunde verringert sich bei den Analyseschritten, in denen die Faktoren Geschlecht bzw. Alter berücksichtigt werden, die Zahl der Effektgrößen.⁶⁵

Tab. 13 Moderatoren im Überblick: Determinanten der Trainierbarkeit; k =Anzahl der Effektgrößen; Min/Max=minimale und maximale Ausprägung des Moderators; M =durchschnittliche Ausprägung des Moderators; SD =Standardabweichung; KS -Test=Ergebnis des Kolmogorow-Smirnov-Tests

Moderator	k	Min/Max	M (SD)	Normalverteilung (KS-Test)	Kodierung + Zellbesetzung
Geschlecht (G) [Nominalskala]	79				1=männlich 45 2=weiblich 29 (gemischt 23)
Altersdurchschnitt (A) [Jahre]	97	19/83	53,0 (19,3)	$p=0,000$	1=bis 45 24 2=46 u. älter 59 (Schnittmenge 14)

Für die Prüfung des Einflusses eines einzelnen Moderators werden kleinere Faktorstufen („Kodierung für einfache Moderatoranalyse“) gewählt als für die Analyse der Interaktionseffekte („Kodierung für Interaktionstests“), um auch bei Letzterem eine ausreichende Zellbesetzung zu gewährleisten. Nach dem Kolmogorow-Smirnov-Test erweisen sich nur die beiden Intensitätsvariablen (I_d , I_{max}) als normalverteilt.

⁶⁵ In vier Studien lässt sich außerdem der Trainingsumfang nicht exakt feststellen. Aufgrund weiterer Angaben ist jedoch eine Zuordnung zu den Kategorien möglich.

Tab. 14 Moderatoren im Überblick: Trainingsparameter und Validitätskriterien; k =Anzahl der Effektgrößen; Min/Max=minimale und maximale Ausprägung des Moderators; M =durchschnittliche Ausprägung des Moderators; SD =Standardabweichung; KS -Test=Ergebnis des Kolmogorow-Smirnov-Tests

Moderator (Kürzel) [Einheit]	k	Min/Max	M (SD)	Normalverteilung (KS-Test)	Kodierung für Moderatoranalyse (k)
Dauer (D) [Wochen]	97	1/60	17,7 (13,9)	$p=0,000$	1=bis 6 15 2=7-13 41 3=14-38 29 4=39 u. mehr 12 Kodierung für Interaktionstests: 1=bis 13 56 2=14 u. mehr 41
Durchschn. Intensität (I_d) [% der VO_{2max}]	97	40/91	67,9 (9,5)	$p=0,172$	1=bis 50 6 2=50,1-80 84 3=80,1 u. mehr 7
Maximale Intensität (I_{max}) [% der VO_{2max}]	97	40/100	74,2 (13,5)	$p=0,088$	1=bis 50 4 2=50,1-80 67 3=80,1 u. mehr 26
Häufigkeit (F) [Trainingseinheiten/Woche]	97	2/12,8	3,8 (1,4)	$p=0,021$	1=bis 1,9 0 2=2-3,9 53 3=4 u. mehr 44
Umfang (U) [min/Woche]	93	38/720	150,7 (107,0)	$p=0,001$	1=bis 99 30 2=100-199 48 3=200 u. mehr 19
Qualität (Q) (Nominalskala)	97				1=Laufen 9 2=Walken 21 3=Rad fahren 28 4=Aerobic 2 5=Gemischt 37
Ausgangsniveau (An) [$ml/kg \cdot min^{-1}$]	97	12,6/52,9	30,8 (9,8)	$p=0,026$	1=bis 20 11 2=20,1-35 57 3=35,1-50 27 4=50 u. mehr 2
Progressivität (P) (Ordinalskala)	97				Erhöhung ist 1=relativ 18 2=absolut 46 3=keine 33
Übereinstimmung Intervention-Test (IT) (Ordinalskala)	97				Übereinstimmung 1=liegt vor 72 2=liegt tw. vor 19 3=liegt nicht vor 6

Zur Konfundierung von Moderatoreffekten (Tab. 15)

Um bei der Moderatorprüfung Fehlinterpretationen zu vermeiden, sind Konfundierungen des Einflusses verschiedener Moderatoren zu berücksichtigen. Dazu wird *zwischen* den Moderatorvariablen der Zusammenhang nach Spearman berechnet. Zu bewerten ist ausschließlich die *Höhe* des Zusammenhangs: Signifikanzen sind nicht von Bedeutung, da lediglich interessiert, ob *innerhalb* der Stichprobe Konfundierungen vorliegen, beispielsweise ob in Abhängigkeit vom Alter unterschiedlich lange oder intensive Trainingsprogramme stattgefunden haben.

Ein notwendigerweise (durch die Art ihrer Berechnung bedingter, vgl. 6.3) hoher Zusammenhang besteht zwischen den beiden Intensitätsvariablen (I_d , I_{max} ; $\rho = .764$)

sowie zwischen der Häufigkeit (F) und dem Umfang (U) ($\rho = .737$). Des Weiteren fällt der hohe Zusammenhang zwischen den Variablen Geschlecht bzw. Alter und dem Ausgangsniveau auf ($\rho = .812$ bzw. $\rho = .414$). Das heißt, ältere Personen bzw. Frauen haben ein geringeres Ausgangsniveau als jüngere Personen und Männer. Dieses Ergebnis entspricht somit den Tendenzen der Normwerttabellen der American Heart Association (1972; vgl. Tab. 9).

Da im Rahmen der vorliegenden Analyse insbesondere die Frage des Einflusses von Geschlecht und Alter interessiert, werden Konfundierungen dieser Parameter mit anderen Parametern im Folgenden näher betrachtet: Die Korrelationen nach Spearman sind entsprechend allgemeiner Konventionen (vgl. z.B. Zöfel, 2003) durchweg als „sehr gering“ bis „gering“ einzustufen. Ein Zusammenhang zwischen Geschlecht und Alter existiert nicht ($\rho = .072$), d.h. die Verteilung der Geschlechter ist über das Alter hinweg ungefähr konstant. Des Weiteren kann ausgesagt werden, dass Ältere bzw. Frauen tendenziell geringfügig längeren Trainingsinterventionen ($\rho = .217$; $\rho = .212$) mit geringeren Intensitäten ($\rho = -.132$; $\rho = -.334$) und Umfängen ($\rho = -.324$; $\rho = -.141$) unterzogen werden als Jüngere bzw. Männer.

Während Frauengruppen sich eher bezüglich der Trainingsintensität von Männergruppen unterscheiden, treten bei Älteren eher die geringeren Umfänge hervor. Hinsichtlich der Validitätskriterien besteht die Tendenz einer besseren Belastungsanpassung während des Interventionszeitraumes ($\rho = -.168$; $\rho = -.232$) sowie einer geringeren Übereinstimmung zwischen Interventions- und Testbelastung bei Älteren bzw. Frauen als bei Jüngeren bzw. Männern.

Weitere Zusammenhänge $>.30$ bestehen zwischen der Häufigkeit und der Dauer ($\rho = -.344$; d.h. in Studien von längerer Dauer werden geringere Trainingshäufigkeiten realisiert), zwischen der *Dauer* und dem *Übereinstimmungsgrad Intervention-Test* ($\rho = .452$) und *Dauer* und *Belastungsanpassung* ($\rho = -.388$).

Bei der Interpretation signifikanter Moderatoren muss berücksichtigt werden, dass hohe Zusammenhänge zwischen Moderatoren Konfundierungen bedeuten und damit die Ergebnisse verzerren. Da die Zusammenhänge insgesamt eher gering sind, ist von keiner starken Verzerrung der Ergebnisse auszugehen.

Tab. 15 Rangkorrelation nach Spearman zwischen den Moderatorvariablen (Abkürzungen vgl. Tab. 13 und Tab. 14)

	A	G	D	I _d	I _{max}	F	U	An	P	IT
A	1.00	.072	.217	-.132	-.023	-.283	-.324	-.812	-.168	.207
G		1.00	.212	-.334	-.369	-.014	-.141	-.414	-.232	.055
D			1.00	-.080	-.128	-.344	.001	-.370	-.388	.452
I _d				1.00	.764	-.057	-.043	.288	.143	.183
I _{max}					1.00	.143	.063	.262	-.006	.032
F						1.00	.737	.364	.242	-.081
U							1.00	.298	.214	0.84
An								1.00	.250	-.278
P									1.00	-.193
IT										1.00

Zur Prüfung des Einflusses potentieller Moderatorvariablen (Haupteffekte)

Die Annahme, dass der mittlere Effekt von $d_{\bullet} = 3,2$ einen gemeinsamen Populations-effekt aller Effektgrößen darstellt, lässt sich nach den durchgeführten Homogenitätstests (Chi²-Test, 75%- und 25%-Regel) nicht halten. Deshalb erfolgt die Prüfung des Einflusses der Moderatorvariablen. Dazu werden die Effektgrößen nach dem Ausprägungsgrad der jeweils interessierenden Moderatorvariable in Untergruppen eingeteilt, die dann auf *Unterschiede zwischen* den Gruppen (Kovarianzanalyse⁶⁶) und *Homogenität innerhalb* der Gruppen (Homogenitätstests) getestet werden.⁶⁷

Die hohen Standardabweichungen (vgl. Tab. 16 – Tab. 19, Tab. 21) der mittleren Effekte d_{\bullet}^* deuten bereits darauf hin, dass mit ein bis zwei Moderatoren keine hohe Varianzaufklärung erzielt werden kann. Tatsächlich ergeben sich in keiner Subgruppenanalyse homogene Gruppen. Dennoch lassen sich im Rahmen der durchgeführten Kovarianzanalysen signifikante *Unterschiede* im Trainingseffekt zwischen den Untergruppen nachweisen.

⁶⁶ Auf der Grundlage einer Korrelationsanalyse nach Spearman ergeben sich signifikante Zusammenhänge zwischen dem Effekt d_{US} und den (metrisch skalierten) Variablen Altersdurchschnitt ($\rho = -.405$, $p = .000$), Dauer ($\rho = .318$; $p = .002$), durchschnittliche Intensität ($\rho = .205$; $p = .044$) und Umfang ($\rho = .383$; $p = .000$). Aus diesem Grunde werden diese Variablen als Kovariaten in die Kovarianzanalyse aufgenommen.

⁶⁷ Bezüglich der in Tab. 16 – Tab. 19, Tab. 21 referierten Werte d_{\bullet}^* und d_{\bullet} wird jeweils der Wert d_{\bullet} interpretiert. d_{\bullet}^* ist der mittlere Effekt, bei dem der Einfluss der Kovariaten noch nicht berücksichtigt ist. Der Wert d_{\bullet} ist der verbleibende Wert nach Herauspartialisierung der Kovariaten. Dieser wurde graphisch anhand der geschätzten Randmittel des Statistik-Programms SPSS ermittelt.

Tab. 16 Ergebnisse zum Einfluss der Faktoren Geschlecht und Alter; k =Anzahl der Effektgrößen; d_{\bullet}^* =gewichteter mittlerer Effekt ohne Berücksichtigung der Kovariaten; $\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$ =Testwert für 75%-Regel; s_{res} =Testwert für 25%-Regel; d_{\bullet} =gewichteter mittlerer Effekt aus der Schätzung der Randmittel in der Kovarianzanalyse; H-Effekt=Haupteffekt der Kovarianzanalyse; Kovariaten: fettgedruckte Angaben stehen für Signifikanz (Abkürzungen vgl. Tab. 13, Tab. 14)

Variable	Faktorstufen	Deskription		Homogenitätsprüfung			Kovarianzanalyse		
		k	d_{\bullet}^*	Chi ² -Test	$\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$	s_{res}	d_{\bullet}	H-Effekt	Kovariaten
Geschlecht	männlich	45	4,2 (2,9)	p<0.05	0,08	0,43	4,0	p<0.05	D, A
	weiblich	29	2,5 (3,3)	p<0.05	0,04	0,64	2,6		Id, U,
Alter	bis 45J	24	4,6 (3,0)	p<0.05	0,08	0,49	4,6	p<0.05	D, Id, U
	ab 46J	59	2,7 (2,9)	p<0.05	0,06	0,58	2,7		

Der mittlere Effekt von d_{\bullet} =4,0 bei den Männern ist signifikant höher als d_{\bullet} =2,6 bei den Frauen. Gleiches gilt für den mittleren Effekt jüngerer Erwachsener mit d_{\bullet} =4,6 im Vergleich zu dem der älteren Personen mit d_{\bullet} =2,7 (vgl. Tab. 16). Ein Interaktionseffekt zwischen Geschlecht und Alter lässt sich nicht nachweisen (Tab. 17). Demnach erzielen Männer über das gesamte Erwachsenenalter hinweg in gleichem Maße bessere Effekte als Frauen.

Tab. 17 Ergebnisse zum Einfluss der Faktoren Geschlecht und Alter; k =Anzahl der Effektgrößen; d_{\bullet}^* =gewichteter mittlerer Effekt ohne Berücksichtigung der Kovariaten; $\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$ =Testwert für 75%-Regel; s_{res} =Testwert für 25%-Regel; d_{\bullet} =gewichteter mittlerer Effekt aus der Schätzung der Randmittel in der Kovarianzanalyse; H- und IA-Effekte=Haupt- und Interaktionseffekte der Kovarianzanalyse (fettgedruckte Angaben stehen für Signifikanz); Kovariaten: fettgedruckte Angaben stehen für Signifikanz (Abkürzungen vgl. Tab. 13, Tab. 14)

Geschlecht	Alter	Deskription		Homogenitätsprüfung			Kovarianzanalyse		
		k	d_{\bullet}^*	Chi ² -Test	$\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$	s_{res}	d_{\bullet}	H- und IA-Effekte	Kovariaten
Männlich	bis 45J	12	4,9 (3,8)	p<0.05	0,07	0,48	5,4	G, A	D, Id
	ab 46J	24	3,8 (2,5)	p<0.05	0,11	0,38	4,2	AxG	U
weiblich	bis 45J	8	4,3 (2,7)	p<0.05	0,09	0,60	3,6		
	ab 46J	16	2,0 (2,9)	p<0.05	0,04	0,62	2,0		

Hinsichtlich der Treatmentvariablen erweisen sich im Rahmen der Kovarianzanalysen die Variablen *Dauer*, *durchschnittliche Intensität*, *Umfang* und *Qualität* als signifikant (vgl. Tab. 18). Dabei zeigt sich, dass bei einer *Dauer* von weniger als sechs Wochen im Mittel eine Verbesserung der VO_{2max} um $1,6\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ erzielt wird, in Studien, die länger als 38 Wochen andauern im Mittel eine Verbesserung von $4,9\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$. Die Werte der Unterscheidung nach der *durchschnittlichen Intensität*

zeigen für geringe und mittlere Intensitäten (bis 80% der VO_{2max}) höhere Effekte als für hohe Intensitäten.

Tab. 18 Ergebnisse zum Einfluss der Treatmentfaktoren; k =Anzahl der Effektgrößen; d_{\bullet}^* =gewichteter mittlerer Effekt ohne Berücksichtigung der Kovariaten; $\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$ =Testwert für 75%-Regel; s_{res} =Testwert für 25%-Regel; d_{\bullet} =gewichteter mittlerer Effekt aus der Schätzung der Randmittel in der Kovarianzanalyse; H-Effekt=Haupteffekt der Kovarianzanalyse; Kovariaten: fettgedruckte Angaben stehen für Signifikanz (Abkürzungen vgl. Tab. 13, Tab. 14)

Variable	Faktorstufen	Deskription		Homogenitätsprüfung			Kovarianzanalyse		
		k	d_{\bullet}^*	Chi ² -Test	$\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$	s_{res}	d_{\bullet}	H-Effekt	Kovariaten
Dauer	≤6Wo	15	2,5 (2,2)	p<0.05	0,15	0,52	1,6	p<0.05	A, I _d , U
	7-13Wo	41	3,1 (2,7)	p<0.05	0,08	0,52	3,1		
	14-38Wo	29	3,1 (3,9)	p<0.05	0,04	0,67	3,3		
	≥39Wo	12	4,8 (2,3)	p<0.05	0,10	0,29	4,9		
ØIntensität	≤50%	6	2,7(2,7)	p<0.05	0,11	0,54	3,3	p<0.05	D, A U
	51 bis 80%	84	3,3(3,2)	p<0.05	0,05	0,58	3,3		
	≥81%	7	2,7(1,5)	p<0.05	0,16	0,43	1,9		
Max. Intensität	≤50%	4	1,7 (1,6)	p<0.05	0,41	0,36	2,7	p>0.05	D, A U
	51 bis 80%	67	3,2 (3,4)	p<0.05	0,04	0,59	3,2		
	≥81%	26	3,3 (2,4)	p<0.05	0,13	0,49	3,3		
Trainingshäufigkeit	2-3,9TE	53	3,2 (3,5)	p<0.05	0,04	0,60	3,1	p>0.05	D, I _d , A
	≥4TE	44	3,3 (2,7)	p<0.05	0,09	0,52	3,3		
Trainingsumfang	≤99min	30	2,3 (3,0)	p<0.05	0,06	0,65	2,6	p<0.05	D, I _d , A
	100-199min	48	3,6 (2,9)	p<0.05	0,07	0,48	3,7		
	≥200min	19	4,4 (2,9)	p<0.05	0,08	0,46	3,5		
Trainingsqualität	Laufen	9	4,3 (1,9)	p<0.05	0,28	0,27	2,4	p<0.05	D, A I _d , U
	Walken	21	2,0 (3,1)	p<0.05	0,05	0,73	2,6		
	Rad fahren	28	4,0 (3,2)	p<0.05	0,06	0,50	3,6		
	Aerobic	2	1,7 (1,7)	p<0.05	0,51	0,40	2,7		
	Gemischt	37	3,6 (2,5)	p<0.05	0,09	0,43	3,6		

Dies entspricht (weitgehend) den Erkenntnissen der Trainingslehre, dass die maximale Sauerstoffaufnahme am besten bei mittleren Intensitäten trainiert werden kann (z.B. Hollmann & Hettinger, 2000; Schnabel et al., 1997). Andere Ergebnisse referiert jedoch die Metaanalyse von LeMura et al. (2000), die bei Intensitäten über 80% die höchsten Effekte erfasst (vgl. 5.1.2). Aufgrund der sehr unterschiedlichen, in den Randbereichen geringen Zellbesetzungen sowie der Probleme, die bei der Kodierung der durchschnittlichen Intensität für die Metaanalyse auftreten (vgl. 7.1.3), sind die in der vorliegenden Arbeit vorgelegten Ergebnisse jedoch nur unter Vorbehalt anzunehmen. Die geringe Bedeutsamkeit der Trainingshäufigkeit – die das Ergebnis der Metaanalyse von Green und Crouse (1995; vgl. 5.1.2) bestätigt – kann dadurch erklärt werden, dass hier keine breite Streuung vorliegt, sondern in einem Großteil der Studien zwischen zwei und vier Mal pro Woche trainiert wird; entsprechend dürften sich die Effekte in einem mittleren Bereich häufen und damit zwischen den gebildeten Gruppen aufgrund eines Mangels an Extremen keine Unterschiede auftreten. In

Abhängigkeit vom *Umfang* steigert sich der Gewinn von $2,6\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ bei Umfängen mit weniger als 100 Minuten pro Woche auf $3,7\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ bei mittleren Umfängen und stagniert dann auf $3,5\text{ml/kg}\cdot\text{min}^{-1}$ bei Umfängen über 199 Minuten. Dies spricht dafür, dass bei untrainierten Personen mit zu hohen Umfängen keine Erhöhung des Effektes erzielt werden kann.

Die potentiell validitätsmindernden Kriterien zeigen alle einen signifikanten Effekt, dennoch fällt die Interpretation teilweise schwer (vgl. Tab. 19): Das *Ausgangsniveau* nimmt einen geringfügigen Einfluss dahingehend, dass bei höherem Ausgangsniveau höhere Effekte erzielt werden. Hier ist jedoch die starke Konfundierung mit der Variable Geschlecht zu berücksichtigen (Alter wurde herauspartialisiert!), so dass der verbleibende Effekt durch das Geschlecht bestimmt sein kann. Grundsätzlich zeigt das Ergebnis, dass bei untrainierten Personen mit genetisch bedingtem ungleichen absoluten Ausgangsniveau nicht von einer aufgrund eines Deckeneffektes unterschiedlichen Trainierbarkeit ausgegangen werden muss. Das Ausgangsniveau dürfte unter diesen Voraussetzungen keinen störenden Einfluss haben, solange ein homogener Trainingszustand angenommen werden kann. Dies widerspricht den Ergebnissen der Metaanalyse von Green und Crouse (1995) sowie Rowell (1986, nach Rowland, 1996; vgl. Abb. 3), die einen deutlichen Einfluss des Moderators Ausgangsniveau nachweisen konnten.

Bei relativer und absoluter *Belastungsanpassung* werden deutlich höhere Effekte (4,1 und 3,0) erzielt als wenn keine Anpassung vorgenommen wird (1,8). Die Progressivität der Belastung ist also – wie in der Trainingslehre proklamiert (z.B. Frey & Hildenbrandt, 2002; Martin et al., 2001; Weineck, 2002) – ein zentrales Prinzip eines effektiven Trainings. Allerdings zeigt sich hier, dass bei untrainierten Personen kurz- bis mittelfristig eine absolute Anpassung mit gleichbleibender relativer Belastung genügt, um optimale Steigerungsraten zu erzielen. Im Sinne eines Validitätskriteriums ist bei einem Studienvergleich die Unterscheidung von progressivem und nicht progressivem Vorgehen notwendig und hinreichend.

Die Frage nach der *Übereinstimmung von Interventions- und Testverfahren* zeigt, dass bei teilweiser Übereinstimmung die höchsten Effekte erzielt werden, während bei vollständiger Übereinstimmung die geringsten Effekte liegen. Dieses Ergebnis stimmt nicht mit den bisherigen Erkenntnissen zur Messmethodik der maximalen Sauerstoffaufnahme überein (vgl. z.B. Meyer & Kindermann, 1999; vgl. auch 5.1.1) und kann auch aus theoretischer Sicht nicht erklärt werden. Es bleibt anzunehmen,

dass es sich um ein methodisches Artefakt handelt, das eventuell durch die ungleiche Verteilung der Effektgrößen in den Zellen bedingt sein kann.

Tab. 19 Ergebnisse zum Einfluss der Validitätskriterien; k =Anzahl der Effektgrößen; d_{\bullet}^* =gewichteter mittlerer Effekt ohne Berücksichtigung der Kovariaten; $\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$ =Testwert für 75%-Regel; s_{res} =Testwert für 25%-Regel; d_{\bullet} =gewichteter mittlerer Effekt aus der Schätzung der Randmittel in der Kovarianzanalyse; H-Effekt=Haupteffekt der Kovarianzanalyse; Kovariaten: fettgedruckte Angaben stehen für Signifikanz (Abkürzungen vgl. Tab. 13, Tab. 14)

Variable	Faktorstufen	Deskription		Homogenitätsprüfung			Kovarianzanalyse		
		k	d_{\bullet}^*	Chi ²	$\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$	s_{res}	d_{\bullet}	H-Effekt	Ko-variante
Ausgangsniveau	≤20	11	2,2 (1,8)	p<0.05	0,15	0,41	3,0	p<0.05	D, I _d , A U
	20,1-35	57	2,9 (3,0)	p<0.05	0,06	0,56	3,2		
	35,1-50	27	5,1 (2,7)	p<0.05	0,10	0,41	3,8		
	>50	2	2,9 (3,2)	p<0.05	0,14	0,59	1,2		
Progressivität	Relativ	18	3,1 (4,1)	p<0.05	0,03	0,66	3,0	p<0.05	D, I _d , A U
	Absolut	46	3,3 (3,1)	p<0.05	0,06	0,55	4,1		
	Keine	33	3,2 (2,6)	p<0.05	0,09	0,53	1,8		
Intervention/ Test	Trifft zu	72	3,0 (3,1)	p<0.05	0,06	0,60	2,9	p<0.05	D, A I _d , U
	Trifft teilweise zu	19	4,1 (2,8)	p<0.05	0,05	0,37	3,5		
	Trifft nicht zu	6	1,2 (2,6)	p<0.05	0,08	1,28	3,1		

Zur Prüfung der Dimensionsannahmen

Mit Hilfe der Interventionsstudien können aufgrund der maximal mittelfristigen Dauer lediglich die Komponenten Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit hinsichtlich ihrer Dimensionseigenschaften geprüft werden.

Die extremste Variante einer Dimension Umstellungsdynamik wäre, dass eine absolute Lag-Phase existiert, in der keine Anpassungserscheinungen beobachtbar sind. Dazu werden die Primärstudieneffekte bezüglich der Dauer der Interventionsprogramme geordnet, um von Studien gleicher Dauer den (anhand der Stichprobengröße N) gewichteten mittleren Effekt zu berechnen (vgl. Tab. 20). Hierbei lässt sich keine Lag-Phase erkennen. Bereits bei Interventionszeiträumen von einer bis wenigen Wochen werden Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme erreicht. Eine Dimension Umstellungsdynamik im Sinne einer absoluten Lag-Phase mit keinem Leistungsgewinn kann daher nicht bestätigt werden.

Tab. 20 Einfluss des Faktors Dauer (ohne Berücksichtigung weiterer Moderatoren als Kovariaten); d_{\bullet}^* =gewichteter mittlerer Effekt; N =Stichprobengröße

Dauer [Wochen]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	15	16	17	20	24	25	26	28	35	39	50	52	60
d_{\bullet}^*	1,7	1,6	2,0	3,5	1,9	3,0	2,7	4,2	3,8	3,8	3,1	3,0	5,6	1,8	2,9	5,3	1,1	0,2	4,2	4,1	2,1	5,2	3,2	4,5	3,2
N	25	8	8	15	22	74	8	149	46	81	135	126	53	176	44	664	75	21	200	10	28	110	17	171	28

Eine weitere Manifestation einer Umstellungsphase wäre, dass sich der Anpassungsverlauf in den ersten Wochen deutlich vom späteren Verlauf absetzt. Dies kann im Übergang eines unregelmäßigen in einen kontinuierlichen Anpassungsverlauf oder durch einen deutlichen Wendepunkt in der Anpassungskurve zum Ausdruck kommen. Diese Effekte können deskriptiv anhand der Betrachtung des Einflusses der Variable Dauer und entsprechend des in 5.3 erläuterten Vorgehens durch die Prüfung statistischer Interaktionen zwischen der Dauer und den Faktoren Geschlecht bzw. Alter geprüft werden. In Anlehnung an Mader und Ullmer (1995) werden dazu Zeiträume von bis zu 13 Wochen von längeren Trainingszeiträumen >13 Wochen deskriptiv (Tab. 20) und inferenzstatistisch (Tab. 21) verglichen.

Tab. 21 Ergebnisse zur Interaktion zwischen den Variablen Geschlecht bzw. Alter und Dauer; k =Anzahl der Effektgrößen; d_{\bullet}^* =gewichteter mittlerer Effekt ohne Berücksichtigung von Kovariaten; $\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$ =Testwert für 75%-Regel; s_{res} =Testwert für 25%-Regel; d_{\bullet} =gewichteter mittlerer Effekt aus der Schätzung der Randmittel in der Kovarianzanalyse; H- und IA-Effekte=Haupt- und Interaktionseffekte der Kovarianzanalyse (fettgedruckte Angaben stehen für Signifikanz); Kovariaten: fettgedruckte Angaben stehen für Signifikanz (Abkürzungen vgl. Tab. 13, Tab. 14)

		Deskription		Homogenitätsprüfung			Kovarianzanalyse		
		k	d_{\bullet}^*	Chi ² -Test	$\hat{\sigma}^2/s_{d_{\bullet}^*}^2$	s_{res}	d_{\bullet}	H- und IA-Effekte	Kovariaten
Bis 45J	bis 13Wo	20	4,3 (3,0)	p<0.05	0,08	0,50	3,6	A, D, AxD	Id, U
	ab 14Wo	4	7,0 (2,0)	p<0.05	0,28	0,19	6,9		
ab 46J	bis 13Wo	28	2,4 (1,9)	p<0.05	0,15	0,43	2,6		
	ab 14Wo	31	3,0 (3,5)	p<0.05	0,04	0,63	3,0		
Männlich	bis 13Wo	28	3,5 (2,5)	p<0.05	0,11	0,44	3,2	G, D, GxD	A, Id, U
	ab 14Wo	17	5,0 (3,0)	p<0.05	0,07	0,37	4,8		
Weiblich	bis 13Wo	11	2,3 (2,5)	p<0.05	0,08	0,58	2,5		
	ab 14Wo	16	2,6 (3,9)	p<0.05	0,03	0,66	2,9		

Sowohl im Zusammenhang mit der Variable Geschlecht als auch mit der Variable Alter zeigen sich im Rahmen der Metaanalyse Interaktionseffekte. Trotz der statistischen Evidenz der Interaktionen, ist deren Interpretation als Dimension im vorliegenden Zusammenhang jedoch problematisch: Vor Beginn der Intervention ist die Voraussetzung gegeben, dass *keine* Unterschiede im Trainingseffekt existieren ($d_{\bullet, \text{Beginn}}=0$). Im Zeitraum bis zu 13 Wochen zeigen sich bereits starke Unterschiede (Männer vs. Frauen: 3,5 vs. 2,3ml/min*kg⁻¹; Junge vs. Ältere: 4,3 vs. 2,4 ml/min*kg⁻¹), die sich im Zeitraum bis zu 60 Wochen noch verstärken (Männer vs. Frauen: 5,0 vs. 2,6ml/min*kg⁻¹; Junge vs. Ältere: 7,0 vs. 3,0 ml/min*kg⁻¹). Geht man also von einer höheren Anpassungsgeschwindigkeit von Männern bzw. Jüngeren im Vergleich zu

Frauen bzw. Älteren aus, ergibt sich das Bild einer sich immer weiter öffnenden Schere, welche in einem statistischen Interaktionseffekt zum Ausdruck kommt; diese darf jedoch nicht als ein Zeichen für Mehrdimensionalität interpretiert werden. Zudem liefern auch die deskriptiven Werte (Tab. 20) keinen Hinweis, dass bedeutsame Unterschiede zwischen dem frühen und weiteren Anpassungsverlauf existieren. Anhand der vorliegenden Daten kann daher nicht auf eine notwendige Differenzierung des Konstruktes Trainierbarkeit in die Dimensionen Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit geschlossen werden. Diese Erkenntnis widerspricht damit den Modellen von Neumann (1993) sowie Mader und Ullmer (1995), welche von Umstellungsphasen von zwei bis sechs Wochen bzw. 90 bis 150 Tagen ausgehen.

Sensitivitätsanalysen

Die Sensitivitätsanalysen zeigen folgende, von den bisherigen Darstellungen abweichende Ergebnisse:

- *Metaanalyse unter Einbeziehung der Extremwerte:* Aus der Metaanalyse wurden fünf Extremwerte ausgeschlossen. Diese entstammen den Studien von Hurley et al. (1984: $d_{US} = 11,2$), Lieber et al. (1989: $d_{US} = 12,0$) und Ready und Quinney (1982: $d_{US\ 1,2,3} = 11,1; 10,3; 18,5$). Bezieht man die ermittelten Extremwerte in die Analysen ein, erhält man einen um 0,4 erhöhten mittleren Effekt von $d_{\bullet} = 3,6$ und eine Varianz von $s_{d_{\bullet}}^2 = 6,53$. Entsprechend erhöhen sich die Werte in einzelnen Subgruppen. Dies bedingt eine weitere Erhöhung der ohnehin großen Streuung; folglich ergeben sich bezüglich der Signifikanz der Homogenitätstests keine Änderungen. In den Ergebnissen der Kovarianzanalyse ergeben sich bezüglich der Unterschiede zwischen den Gruppen keine abweichenden Ergebnisse zu den Homogenitätsanalysen. Bei der Prüfung der Kovariaten fällt jedoch auf, dass die Variable Umfang meist signifikant wird. Daher könnte schlussgefolgert werden, dass die Ausreißerwerte durch signifikant höhere Umfänge erzielt werden. Diese Annahme kann durch die deskriptive Analyse der entsprechenden Studien jedoch nicht bestätigt werden.

- *Metaanalyse mit der standardisierten Effektgröße d_s .*⁶⁸ Die standardisierten Effektgrößen liegen zwischen $0,04 \leq d_s \leq 6,98$ bei einem gewichteten Mittelwert von $d_s = 0,94$. Das 95%-Vertrauensintervall reicht von 0,85 bis 1,03. Sowohl der χ^2 -Test als auch die 75%- und 25%-Regel zeigen heterogene Effekte an. Genau wie mit der unstandardisierten Effektgröße werden weder in den Einzel- noch in den Interaktionstests homogene Gruppen erzielt. Bezüglich der Kovarianzanalyse kommt es jedoch zu starken Abweichungen in den Ergebnissen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in 9 von 20 geprüften Haupt- und Interaktionseffekten keine Übereinstimmung mit den Ergebnissen der unstandardisierten Effektgröße herrscht; ähnlich verhält es sich mit der Prüfung der Kovariaten.
- *Metaanalyse im Modell zufälliger Effekte:* Der Sachverhalt, dass mit der Moderatoranalyse im Modell fester Effekte keine homogenen Untergruppen entstehen sowie die hohen χ^2 -Werte weisen bereits auf eine hohe Varianzkomponente hin, die sich im generellen Modell tatsächlich auf $\tau^2 = 19,62$ berechnet. Wird diese bei der Homogenitätsprüfung einbezogen, erweist sich bereits das generelle Modell zufälliger Effekte als homogen, so dass keine Moderatoranalysen notwendig werden. Der mittlere gewichtete Effekt im generellen Modell zufälliger Effekte berechnet sich unter Berücksichtigung dieser Varianzkomponente zu $d_s = 3,60$.

Die teilweise deutlich abweichenden Ergebnisse der im Rahmen der Sensitivitätsanalysen durchgeführten alternativen Vorgehensweisen machen ein Dilemma deutlich, das nicht nur die befundintegrative Forschung betrifft: Ein unterschiedliches methodisches Vorgehen – auch auf der Ebene der Statistik – führt zu einer veränderten Ergebnislage. Dies zeigt die Dringlichkeit einer bewusst gewählten und genau zu begründenden Untersuchungsmethodik auf. Im Einzelnen kann abgeleitet werden, dass (wenige!) Ausreißerwerte zwar Einfluss auf die deskriptiven Werte nehmen; im Rahmen der Signifikanzprüfung wirkt sich die Berücksichtigung der Ausreißerwerte jedoch kaum aus. Hingegen ist im vorliegenden Fall ein deutlicher Unterschied zwischen der Verwendung der standardisierten und der unstandardisierten Effektgröße

⁶⁸ Die Analyse der standardisierten Effektgröße (d_s) findet ohne Ausschluss von Ausreißerwerten statt, da hier andere Werte als Ausreißer auffallen als bei Berücksichtigung der unstandardisierten Effektgröße (d_{us}). Aus diesem Grund muss ein Vergleich zwischen den beiden Effektgrößen auf der Gesamtheit der Effektgrößen beruhen.

zu vermerken. In 6.4.1 wurde bereits begründet, warum die unstandardisierte Effektgröße für die repräsentativere Effektgröße gehalten wird. Bezüglich der Berücksichtigung einer Varianzkomponente offenbaren sich zwei Extrema: Während ohne Einbezug derselben selbst im kategorialen Modell keine homogenen Effekte erzielt werden, ergibt sich unter Einbezug der Varianzkomponente bereits im generellen Modell ein homogener Effekt. Beide Lösungen tragen somit nicht zu einer Präzisierung des Trainierbarkeitskonstruktes bei. Dies macht wiederum deutlich, dass komplexere statistische Verfahren wie die Kovarianzanalyse ein sensibleres Instrument darstellen, um differenzierte Ergebnisse zu erhalten, als das klassische Verfahren der Subgruppenanalyse.

7.1.2 Ergebnisse des kombinierten Ansatzes zum Kindes- und Jugendalter

In die Betrachtung der Auswirkungen eines standardisierten Ausdauertrainings auf die maximale Sauerstoffaufnahme bei Kindern und Jugendlichen bis 18 Jahren gehen sieben Studien (zehn Interventionsgruppen) ein, die den Kriterien der Metaanalyse entsprechen und *zusätzlich* die Forderung nach einer Kontrollgruppe erfüllen.

Ergebnisse der quantitativen Analyse

Die Experimentalgruppen umfassen zwischen acht und 33 Probanden; die Kontrollgruppengröße entspricht jeweils weitgehend der Experimentalgruppengröße. Die VO_{2max} zu Beginn der Intervention beträgt zwischen 38,2 und 54,7 und liegt damit im Rahmen der in der Literatur angegebenen Werte für Kinder und Jugendliche (vgl. 5.1.1). Mit Ausnahme der Studie von Burkett et al. (1985), die Jugendliche zwischen 13 und 19 Jahren untersuchen, liegen alle Probandengruppen im Bereich von acht bis 14 Jahren; der Altersdurchschnitt liegt zwischen 9,5 und 12,4 Jahren. Baquet et al. (2002), Mandigout et al. (2002) und Williams et al. (2000) untersuchen explizit ausschließlich präpubertäre Kinder (nach Tanner, 1962); bei den anderen Gruppen muss aufgrund der Altersstruktur hingegen von verschiedenen Reifestadien ausgegangen werden. Sechs Gruppen umfassen ausschließlich männliche, drei ausschließlich weibliche Kinder; eine Gruppe ist gemischtgeschlechtlich.

Die Dauer der Interventionen beträgt zwischen acht und 20 Wochen. Die durchschnittliche Intensität variiert zwischen 73 und 85% der VO_{2max} , die maximale Intensität zwischen 78 und 100%. Sieben Gruppen führen ein kombiniertes Lauftraining aus Dauer- und Intervalltraining durch, während zwei Gruppen auf dem Fahrradergome-

ter ausschließlich nach der Dauermethode trainieren. Eine Gruppe wendet nur die Intervallmethode an. Die durchschnittliche Trainingshäufigkeit beträgt zwischen 1,8 und 4,8 Einheiten pro Woche mit einem Gesamtumfang zwischen 13 und 120 Minuten. Nicht alle Studien verfahren nach dem Prinzip der progressiven Belastung. Wenn doch, wird der Umfang und/oder die Intensität während des Interventionszeitraums sukzessive erhöht. Nur in der Hälfte der Fälle stimmen Training und Test hinsichtlich der Belastungsqualität überein.

Tab. 22 Überblick über die Ergebnisse der Interventionsstudien mit Kindern; die Reihenfolge orientiert sich an der absoluten Verbesserung der Experimentalgruppe (d_{usE}). *=signifikant laut Originalstudie; p=präpubertär nach Tanner (1962); m=männlich; w=weiblich; R=Rad; L=Lauf; D=Dauermethode; I=Intervallmethode; U↑= Umfang gesteigert; I↑=Intensität gesteigert; j=ja; n=nein (zur Einheit der Angaben vgl. Tab. 13, Tab. 14)

Quelle	d_{usE} (abs. Steigerung d. Experimentalgruppe)	Ausgangsniveau Experimentalgruppe	Stichprobengröße Experimentalgruppe	d_{usK} (Steigerung Kontrollgruppe)	Ausgangsniveau Kontrollgruppe	$\Delta d_{us} = d_{usE} - d_{usK}$	Altersspanne	Geschlecht	Dauer	Durchschnittliche Intensität	Maximale Intensität	Trainingsmethode	Trainingshäufigkeit	Trainingsumfang	Progressivität	Übereinstimmung Intervention-Test
Becker & Vaccaro, 1983	8,0 ⁶⁹	39	11	2,3	41,7	5,7 (2)	9-11	m	8	80	80	R: D	3	120	--	J
Mahon & Vaccaro, 1994	5,7*	44,2	13	-1,3	43,0	7,0 (1)	8-12	m	14	83	100	L: D, I	2,8	67	U↑, I↑	J
Burkett et al., 1985	4,3*	45,1	10	0,0	43,2	4,3 (4)	13-19	w	20	80	90	L: D, I	4,8	115	U↑	J
Baquet et al., 2002	3,6*	43,9	33	-0,9	46,2	4,5 (3)	8-11p	gem	7	73	78	L: I	2	13	I↑	J
Mahon & Vaccaro, 1989	3,5*	45,9	8	0,5	45,4	3,0 (7)	10-14	m	8	85	100	L: D, I	4	80	U↑	J
Mandigout, 2002 (w, 3)	3,3*	38,2	18	-1,0	41,1	4,3 (4)	10-11p	w	13	85	90	L: D, I; u.a.	2,7	81	U↑, I↑	N
Williams et al., 2000	2,8	54,7	13	0,3	56,4	2,5 (8)	Ø10,1p	m	8	83	85	F: D	2,9	58	--	N
Mandigout, 2002 (m, 3)	2,4*	46,9	18	-1,0	46,6	3,4 (6)	10-11p	m	13	85	90	L: D, I; u.a.	2,7	81	U↑, I↑	N
Mandigout, 2002 (w, 2)	0,5	40,1	10	-1,0 ⁷⁰	41,1	1,5 (9)	10-11p	w	13	85	90	L: D, I	1,8	32	U↑, I↑	N
Mandigout, 2002 (m, 2)	0,3	45,5	10	-1,0 ⁷¹	46,6	0,7 (10)	10-11p	m	13	85	90	L: D, I	1,8	32	U↑, I↑	N

Im Ergebnis werden von den Experimentalgruppen Steigerungen der VO_{2max} (d_{usE}) zwischen $0,3$ und $8,0 \text{ ml/min}\cdot\text{kg}^{-1}$ erzielt. Im Mittel handelt es sich um einen Gewinn von $3,4 \text{ ml/min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (gewichtet anhand der Stichprobengröße: $3,7$).⁷² Die Kontroll-

⁶⁹ Becker und Vaccaro (1983) führen lediglich für den Vergleich der Zuwächse der Experimental- und Kontrollgruppe einen Signifikanztest durch, während die anderen Autoren die Signifikanz des Prä-Post-Vergleichs prüfen.

⁷⁰ Die Kontrollgruppe entspricht Quelle Mandigout, 2002 (w, 3).

⁷¹ Die Kontrollgruppe entspricht Quelle Mandigout, 2002 (m, 3).

⁷² Nicht alle Veränderungswerte der Experimentalgruppe sind nach Aussagen der Originalstudie signifikant. Da jedoch in keiner Studie a priori optimale Stichprobenumfänge berechnet oder Effektgrößenforderungen gestellt wurden bzw. post-hoc Teststärkeanalysen durchgeführt wurden, sind die Signifikanzen für einen Interstudienvergleich nicht aussagekräftig und werden in der nun folgenden Diskussion nicht berücksichtigt.

gruppenveränderungen (d_{USK}) betragen zwischen $-1,0$ und $+2,3$ $\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zieht man jeweils den Wert der Kontrollgruppe von demjenigen der Experimentalgruppe ab, berechnen sich Effekte zwischen $\Delta d_{US} = 0,7$ und $\Delta d_{US} = 7,0$ $\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei einem Mittelwert von $3,5$ $\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (gewichtet: 3,9). Demnach führt die Kontrolle von Reifungsprozessen durch den Vergleich mit einer nicht-trainierenden Gruppe nicht wie erwartet zu geringeren Effekten im Vergleich zu den reinen Experimentalgruppenwerten. Die Bedeutung der Forderung nach Kontrollgruppen im Rahmen von Trainingsexperimenten (vgl. z.B. Bar-Or, 1989a; Blimkie, 1992; Rowland, 1993) muss vor diesem Hintergrund hinterfragt werden. Dabei weisen die genannten Autoren bereits darauf hin, dass der Einbezug einer Kontrollgruppe alleine nicht genügt, um valide Aussagen zu erhalten. Im vorliegenden Fall könnte die Erklärung in der Kürze der Trainingsintervention liegen: Möglicherweise ist die Überlagerung von Reifungsprozessen mit anderen methodisch bedingten Einflüssen (z.B. messbedingt in der Intervention oder Testung) dabei so stark, dass die alleinige Berücksichtigung von Reifungsprozessen zu keinem verbesserten Ergebnis führt. In den weiteren Analysen werden lediglich die Experimentalgruppeneffekte berücksichtigt.

Für die Frage, inwieweit die potentiellen Moderatoren einen Einfluss auf den Trainingseffekt ausüben, wird im Folgenden der Zusammenhang zwischen den einzelnen Faktoren und dem Trainingsgewinn betrachtet. Aus Tab. 22 werden zunächst kaum Zusammenhänge zwischen den Moderatorvariablen und dem Trainingsgewinn (d_{USE}) offensichtlich. Allenfalls hinsichtlich des Umfangs fällt die Tendenz auf, dass bei höheren Umfängen höhere Gewinne erzielt werden. Des Weiteren erreichen diejenigen Gruppen, bei denen Trainings- und Testaktivität nicht übereinstimmen, ohne Ausnahme geringere Effekte als die Gruppen mit Übereinstimmung. Eine Korrelationsberechnung nach Pearson (alle einbezogenen Variablen erweisen sich nach Kolmogorow-Smirnow als normalverteilt) bestätigt, dass eine einfache Rückführung des Trainingseffektes auf den Ausprägungsgrad eines einzelnen Faktors kaum möglich ist (vgl. Tab. 23). Nur der Trainingsumfang weist eine signifikante „mittlere Korrelation“ zum Trainingseffekt auf ($r=.664$; $p=.036$). Aufgrund von Konfundierungen sind die dargestellten Koeffizienten jedoch unter Vorbehalt zu interpretieren.

Tab. 23 Korrelation nach Pearson (r) zwischen dem Trainingseffekt der Experimentalgruppe (d_{usE}) und den potentiellen Moderatorvariablen; p =Wahrscheinlichkeit; *=*signifikant* (Abkürzungen vgl. Tab. 13; Tab. 14)

		D	I _d	I _{max}	F	U	An	A	G
d_{usE}	r	-.156	-.406	-.140	.460	.664*	-.239	-.217	-.106
	p	.667	.224	.699	.181	.036	.505	.679	.771

Ergebnisse der qualitativ orientierten Analyse (Abkürzungserläuterungen s. Tab. 22)

Im Folgenden werden die Untersuchungen im Einzelnen betrachtet, um eventuell weitere Schlussfolgerungen für die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit treffen zu können. Vorweg erfolgt jeweils eine tabellarische Auflistung der zentralen Daten.

(1) Becker & Vaccaro, 1983

d_{usE} : 8,0 AnE: 39

d_{usK} : 2,3 AnK: 41,7

Alter: 9-11 Jahre (\bar{O}_E : 9,5)

Geschlecht: männlich

Dauer: 8 Wochen

Intensität: 80% VO_{2max}

Umfang: 120min/Woche

Häufigkeit: 3mal/Woche

Intensitätskontrolle: Herzfrequenz

Test: Fahrradergometer

Progressivität: nein

Trainingsinhalte: Fahrradergometer, Dauermethode

Bei Becker und Vaccaro stehen die Auswirkungen eines achtwöchigen Ausdauertrainings auf die anaerobe Schwelle im Forschungsinteresse. Zu diesem Zweck werden unter anderem die Veränderungen der VO_{2max} erhoben. 22 freiwillige „normal, healthy“ (S. 445) Jungen werden zufällig einer Trainings- bzw. Kontrollgruppe zugeordnet. Das Training findet über acht Wochen drei Mal wöchentlich an einem Fahrradergometer statt. Nach dreiminütigem Aufwärmen wird die Belastung soweit erhöht, dass die Herzfrequenz in der Mitte zwischen der Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle und der VO_{2max} liegt. Bei dieser Belastung wird bis zur Ermüdung, maximal aber 40 Minuten gefahren; es kommt also ausschließlich die Dauermethode zum Einsatz. Während zu Beginn keiner der Jungen diese Dauer erreicht, gelingt dies nach zwei Wochen allen Probanden. Die Herzfrequenz wird regelmäßig palpatologisch gemessen; bei Bedarf wird die Belastung angepasst. Die Testung erfolgt anhand eines Stufentests auf dem Fahrradergometer mit direkter Gasanalyse.

In dieser Studie wird die – im Vergleich zu den betrachteten Studien – höchste durchschnittliche Steigerungsrate der VO_{2max} von $8\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ erreicht. Dieser Gewinn wird zwar durch die ebenfalls vorliegende Steigerung der Kontrollgruppe um

2,3ml/min*kg⁻¹ relativiert,⁷³ doch auch unter Berücksichtigung dieses Wertes handelt es sich um den zweithöchsten Gewinn. Dieser Sachverhalt lässt sich weder durch den relativ kurzen Interventionszeitraum, noch durch die sich nicht von den anderen Studien abhebende Trainingshäufigkeit und Trainingsintensität erklären, insbesondere da aufgrund der ausschließlichen Verwendung der Dauermethode keine Belastungsspitzen vorliegen. Herausragend ist jedoch der Trainingsumfang, welcher mit 120 Minuten pro Woche teilweise weit über den Umfängen der anderen Studien liegt. Ebenfalls zu erwähnen ist das vergleichsweise geringe Ausgangsniveau der VO_{2max} von 39 ml/min*kg⁻¹, wobei der Einfluss des Ausgangsniveaus weder in der Metaanalyse der Erwachsenen noch durch die Korrelation bei den Kindern bestätigt wird.

(2) Mahon & Vaccaro, 1994

d_{usE}: 5,7 **AnE:** 44,2
d_{usK}: -1,3 **AnK:** 43,0
Alter: 8-12 (**Ø_E:** 10,6)
Geschlecht: männlich

Dauer: 14 Wochen
Intensität: 83% VO_{2max}
Umfang: 67 min/Woche
Häufigkeit: 2,8 mal/Woche

Intensitätskontrolle: Herzfrequenzkontrolle
Test: Laufband
Progressivität: Umfang↑, Intensität↑
Trainingsinhalte: Lauf, Dauer- & Intervallmethode

Neben den Effekten von Ausdauertraining auf die VO_{2max} sollen insbesondere Veränderungen des Schlagvolumens und der arteriovenösen Differenz bei submaximalen Übungsintensitäten erfasst werden. Von den Jungen, die Mitglieder eines „local youth running team“ sind, nehmen fünf erstmals an einem systematischen Training teil, während drei schon einmal an einem Trainingsprogramm beteiligt waren, jedoch mindestens seit drei Monaten keine Trainingsaktivitäten durchgeführt haben. Die Jungen der Kontrollgruppe werden entsprechend Alter, Größe und Gewicht parallelisiert. In einem 14-wöchigen Ausdauertrainingsprogramm werden in Woche eins bis drei ausschließlich Dauerläufe absolviert, in Woche vier bis neun zwei Dauereinheiten und eine Intervalleinheit und in den letzten Wochen eine Dauereinheit und zwei Intervalleinheiten. Die Dauereinheiten steigern sich von 10-15 Minuten auf 25-35 Minuten, die Intervalleinheiten von 1,5-2,5 auf 2,5-4km pro Einheit. Während Erstere bei einer Intensität von 70-80% der VO_{2max} durchgeführt werden, beträgt die Intensität der Intervalleinheiten 90-100% der VO_{2max}. Zur Kontrolle der Intensität wird in re-

⁷³ An dieser Stelle ist auf einen Widerspruch in den Ausführungen von Becker und Vaccaro aufmerksam zu machen, die von einer Verbesserung der Kontrollgruppe um 4,58ml/min*kg⁻¹ sprechen (S. 448), die allerdings nicht an den referierten Prä- und Postwerten festzumachen ist.

regelmäßigen Abständen während der Dauereinheiten und direkt nach den Tempoläufen die Herzfrequenz gemessen. Die VO_{2max} wird im Stufentest auf dem Laufband mit Gasanalyse erfasst.

Die Verbesserung der VO_{2max} um $5,7\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ ist überdurchschnittlich. Sie lässt sich mit einer relativ langen Dauer des Trainingsprogramms von 14 Wochen sowie Belastungsspitzen mit bis zu 100% der VO_{2max} erklären. Im Rahmen der betrachteten Studien handelt es sich um das Trainingsprogramm mit der stärksten Progressivität der Belastung. Eine zentrale Erkenntnis dieser Studie ist weiterhin, dass keine eindeutigen Unterschiede in der Qualität der Anpassung im Vergleich zu Erwachsenen ausgemacht werden können, was das Schlagvolumen und die arteriovenöse Differenz betrifft.

(3) Burkett et al., 1985

d_{usE}: 4,3	AnE: 45,1	Dauer: 20 Wochen	Intensitätskontrolle: Herzfrequenzkontrolle
d_{usK}: 0,0	AnK: 43,2	Intensität: 80% VO_{2max}	Test: Laufband
Alter: 13-19 (\bar{O}_E : 15,6)		Umfang: 115 min/Woche	Progressivität: Umfang↑
Geschlecht: weiblich		Häufigkeit: 4,8 mal/Woche	Trainingsinhalte: Lauf, Dauer- & Intervallmethode

Burkett et al. untersuchen die Veränderung von physiologischen Ausdauerparametern bei „healthy, untrained“ Teenager-Mädchen im Rahmen eines 20-wöchigen Ausdauertrainings. Die Probandinnen waren ursprünglich ausgewählt worden, um in einem Cross-Country-Highschool-Team zu laufen. Nur eines der Mädchen hat bereits Erfahrung im Cross-Country-Lauf. Diejenigen, die nicht an Laufwettbewerben teilnehmen wollen, werden der Kontrollgruppe zugeordnet. Das Trainingsprogramm der Experimentalgruppe besteht aus Lauftraining, das sich von 9,66km in der ersten Woche auf 32,2 Kilometer in der 20. Woche steigert, wobei die Hälfte der Kilometerzahl in Dauereinheiten mit einer Intensität von 70% der maximalen Herzfrequenz, die Hälfte in Intervalleinheiten mit 90% der maximalen Herzfrequenz absolviert wird. Die Pulsmessung findet palpatorisch direkt im Anschluss an die einzelnen Läufe statt. Die VO_{2max} -Testung erfolgte im Rahmen eines Laufbandstufentests mit Gasanalyse. Die Studie lässt sich nicht direkt mit den anderen vergleichen, da sie mit 13-19-Jährigen eine ältere Gruppe umfasst. Die in der Literatur für Mädchen dieses Alters teilweise proklamierte Rückläufigkeit der VO_{2max} sowie der Ausdauertrainierbarkeit (vgl. Osório und Portela, 1996; s. auch 5.1.1) lässt sich jedoch weder in Bezug auf die Ausgangswerte (die im oberen Normbereich dieser Altersklasse anzusiedeln

sind) noch auf den Trainingsgewinn bestätigen. Im Vergleich zu den betrachteten Studien sind die Gewinne als überdurchschnittlich zu bezeichnen. Allerdings sind sowohl die Dauer der Trainingsintervention als auch Häufigkeit und Umfang im oberen Bereich anzusiedeln, was als Ursache für diese hohen Steigerungsraten verantwortlich gemacht werden kann. Die Autoren selbst stufen den Zuwachs als gering ein und führen dies auf einen zu niedrigen Trainingsstimulus zurück. Beide Bewertungen lassen sich jedoch im Vergleich mit den vorliegenden Studien nicht halten.

(4) Baquet et al. 2002

d_{us}E: 3,6	AnE: 43,9	Dauer: 7 Wochen	Intensitätskontrolle: Zeit/Strecke
d_{us}K: -0,9	AnK: 46,2	Intensität: 73% VO _{2max}	Test: Laufband
Alter: 8-11, präpub. (Ø _E :9,5)	Umfang: 13 min/Woche	Häufigkeit: 2 mal/Woche	Progressivität: Intensität↑
Geschlecht: gemischt			Trainingsinhalte: Lauf, Intervallmethode

Bei den Probanden von Baquet et al. (2002) handelt es sich um „volunteer school children ... from three different classes“. Eine der Klassen fungiert als Kontrollgruppe, die anderen werden einer siebenwöchigen Trainingsintervention unterzogen. Es wird ein Lauftraining absolviert, bei dem ausschließlich die Intervallmethode zur Anwendung kommt. Die Intervalle sind sehr kurz (10 und 20 Sekunden), woraus ein auffallend geringer Wochentrainingsumfang von 13 Minuten resultiert.⁷⁴ Die Belastungsintensität orientiert sich an der maximalen aeroben Geschwindigkeit⁷⁵, welche im Rahmen eines Feldmaximaltests manifestiert wird, bei dem Gasanalysesysteme und Pulsmesser zum Einsatz kommen. Die Belastungsintensität während des Trainings wird nachträglich zu durchschnittlich 66,4% der VO_{2max} bei den langsamsten und 77,8% bei den schnellsten Läufen berechnet. Diese Intensitätsangaben erfolgen anhand von Kontrollen der kardiorespiratorischen Reaktionen im Rahmen einer repräsentativen Trainingseinheit.

Die erzielte Steigerung von 3,6ml/min*kg⁻¹, die den Durchschnitt der vorliegenden Studien repräsentiert, erscheint in Anbetracht der Kürze der Intervention, dem geringen Umfang sowie der niedrigen Intensität der Intervallarbeits (die im Bereich der Dauerintervallmethode anzusiedeln ist) erstaunlich hoch. Insofern ist die Frage zu stellen, ob

⁷⁴ Es ist darauf hinzuweisen, dass dies die einzige Studie ist, in der die Dauer der Intervalle angegeben wird. Zu vermuten ist, dass bei den Intervalltrainingseinheiten der anderen Studien die Dauer der gesamten Trainingseinheit angegeben ist und nicht nur die effektive Laufzeit.

eine Verfälschung der Ergebnisse durch messmethodische Ursachen (es werden lediglich Feldtests absolviert) anzunehmen ist; dies könnte sowohl die Methodik der Intensitätsmessung als auch der VO_{2max} -Messung betreffen.

(5) *Mahon & Vaccaro, 1989*

d_{usE}: 3,5	AnE: 45,9	Dauer: 8 Wochen	Intensitätskontrolle: Herzfrequenzkontrolle
d_{usK}: 0,5	AnK: 45,4	Intensität_d: 85% VO_{2max}	Test: Laufband
Alter: 10-14 ($\bar{\varnothing}_E$: 12,4)		Umfang: 80 min/Woche	Progressivität: Umfang↑
Geschlecht: männlich		Häufigkeit: 4 mal/Woche	Trainingsinhalte: Lauf, Dauer- & Intervallmethode

Mahon und Vaccaro untersuchen „active male children“, deren Zuteilung zur Experimental- und Kontrollgruppe nicht näher erläutert wird. Über acht Wochen hinweg wird an vier Tagen pro Woche ein Lauftraining durchgeführt, welches zur Hälfte die Dauerermethode, zur Hälfte die Intervallmethode umfasst. Das Dauertraining steigert sich von 10-15 Minuten (mit einminütigen Gehpausen) auf 20-30 Minuten kontinuierlichen Laufens bei einer Belastungsintensität von 70-80% der VO_{2max} , die Intervallmethode wird bei 90-100% der VO_{2max} durchgeführt. Die Belastungsintensität wird regelmäßig palpatorisch erfasst. Die Testung der VO_{2max} erfolgt in einem Laufbandstufentest mit Gasanalyse.

Der Gewinn von $3,5\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ ist als durchschnittlich zu bezeichnen. Die Interventionsmaßnahme ist im Ausprägungsgrad der einzelnen Trainingsparameter eher als überdurchschnittlich einzuordnen.

(6) *Williams et al. 2000*

d_{usE}: 2,8	AnE: 54,7	Dauer: 8 Wochen	Intensitätskontrolle: Herzfrequenzkontrolle
d_{usK}: 0,3	AnK: 56,4	Intensität_d: 83% VO_{2max}	Test: Laufband
Alter: präpub. ($\bar{\varnothing}_E$: 10,1)		Umfang: 58 min/Woche	Progressivität: nein
Geschlecht: männlich		Häufigkeit: 2,9 mal/Woche	Trainingsinhalte: Fahrradergometer, Dauerermethode

Zehnjährige Jungen aus drei verschiedenen Schulen nehmen freiwillig an dieser Studie teil. Die Schulen werden per Zufall als Experimental- bzw. Kontrollgruppe ausgewiesen. Im Rahmen eines achtwöchigen Trainingsprogramms wird auf dem Fahrradergometer drei Mal pro Woche trainiert. Dabei wird ausschließlich die Dauerermethode verwendet: Es werden 20 Minuten bei einer Belastungsintensität zwi-

⁷⁵ Das ist die langsamste Geschwindigkeit, bei der die VO_{2max} erreicht wird.

schen 80 und 85% der maximalen Herzfrequenz gefahren. Dabei wird die Herzfrequenz begleitend technologisch gemessen und protokolliert. Der VO_{2max} -Test erfolgt als Laufbandstufentest mit Gasanalyse.

Die durchschnittliche Veränderung beträgt $2,8\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ und liegt damit unter dem Durchschnitt. Die ebenfalls referierten individuellen Veränderungen liegen zwischen -4,4 und +21,8% des Ausgangswertes der VO_{2max} . Vergleicht man diese Studie mit der sehr ähnlich angelegten Studie von Becker und Vaccaro (1983, s.o.), in der fast der dreifache Zuwachs erzielt wird, fällt der Unterschied im Trainingsumfang auf, der bei Williams und Kollegen (2000) ungefähr die Hälfte desjenigen von Becker und Vaccaro (1983) beträgt, sowie die Tatsache, dass die Belastungsqualität während des Trainings (Fahrradergometer) und bei der Testung (Laufband) nicht übereinstimmen. Alle anderen Parameter sind hingegen vergleichbar. Somit kann der geringere Zuwachs sowohl auf die Intervention selbst, als auch auf das methodische Problem der Testung mit einer abweichenden Belastungsqualität zurückgeführt werden.

(7) *Mandigout et al. 2002*

Weiblich, 3x/Woche

d_{usE} : 3,3	AnE : 38,2	Dauer: 13 Wochen	Intensitätskontrolle: Herzfrequenzkontrolle
d_{usK} : -0,1	AnK : 41,1	Intensität_d: 85% VO_{2max}	Test: Laufband
Alter: 10-11, präpub.		Umfang: 81min/Woche	Progressivität: Umfang↑, Intensität↑
Geschlecht: weiblich		Häufigkeit: 2,7mal/Woche	Trainingsinhalte: Lauf, Dauer- & Intervallmethode

Männlich, 3x/Woche

d_{usE} : 2,4	AnE : 46,9	Dauer: 13 Wochen	Intensitätskontrolle: Herzfrequenzkontrolle
d_{usK} : -1,0	AnK : 46,6	Intensität_d: 85% VO_{2max}	Test: Laufband
Alter: 10-11, präpub.		Umfang: 81 min/Woche	Progressivität: Umfang↑, Intensität↑
Geschlecht: männlich		Häufigkeit: 2,7 mal/Woche	Trainingsinhalte: Lauf, Dauer- & Intervallmethode

Weiblich, 2x/Woche

d_{usE} : 0,5	AnE : 40,1	Dauer: 13 Wochen	Intensitätskontrolle: Herzfrequenzkontrolle
d_{usK} : -1,0	AnK : 41,1	Intensität_d: 85% VO_{2max}	Test: Laufband
Alter: 10-11, präpub.		Umfang: 32 min/Woche	Progressivität: Umfang↑, Intensität↑
Geschlecht: weiblich		Häufigkeit: 1,8 mal/Woche	Trainingsinhalte: Lauf, Dauer- & Intervallmethode

Männlich, 2x/Woche

d_{usE} : 0,3	AnE : 46,9	Dauer: 13 Wochen	Intensitätskontrolle: Herzfrequenzkontrolle
d_{usK} : -1,0	AnK : 46,6	Intensität_d: 85% VO_{2max}	Test: Laufband
Alter: 10-11, präpub.		Umfang: 32 min/Woche	Progressivität: Umfang↑, Intensität↑
Geschlecht: männlich		Häufigkeit: 1,8 mal/Woche	Trainingsinhalte: Lauf, Dauer- & Intervallmethode

Bei der Untersuchung von Mandigout und Kollegen (2002) werden zwei verschiedene Ausdauertrainingsprogramme mit Schulklassen durchgeführt. Es werden vier Experimentalgruppen (Mädchen vs. Jungen; 2 vs. 3x/Woche Trainingsprogramm) und zwei Kontrollgruppen (Mädchen vs. Jungen) eingeteilt. Die Probanden sind zusätz-

lich zwischen einer und drei Stunden pro Woche außerhalb der Schule in verschiedenen Sportarten aktiv. Alle Experimentalgruppen führen über 13 Wochen hinweg eine Einheit pro Woche Dauertraining und eine Einheit Intervalltraining durch, jeweils eine Mädchen- und eine Jungengruppe haben eine dritte Trainingseinheit, in der sie an weiteren aeroben Aktivitäten teilnehmen (z.B. Schwimmen, Ballspiele usw.). Bei der Dauermethode wird zwischen 15 und 35 Minuten mit einer Intensität von 80% der maximalen Herzfrequenz gelaufen, bei der Intervallmethode mit einer Intensität von 90% der maximalen Herzfrequenz. Die Kontrolle der Intensität erfolgt in jeder Trainingseinheit anhand technologischer Herzfrequenzmessung bei jeweils acht zufällig ausgewählten Kindern. Die Testung der VO_{2max} erfolgt in einem Stufentest auf dem Fahrradergometer mit Gasanalyse.

Die Steigerung der VO_{2max} ist durchweg relativ gering: 3,3 bzw. 2,4 ml/min*kg⁻¹ bei den Mädchen bzw. Jungen mit drei Trainingseinheiten, 0,5 bzw. 0,3 ml/min*kg⁻¹ bei den Mädchen bzw. Jungen mit zwei Trainingseinheiten pro Woche. Damit zeigt sich ausschließlich bei den höheren Umfängen ein signifikanter Gewinn, der bei den Mädchen höher ausfällt als bei den Jungen. Ob dies durch das höhere Ausgangsniveau der Jungen verursacht ist, kann vor dem Hintergrund, dass weder in der Metaanalyse der Erwachsenen noch bei den Kindern ein Zusammenhang zwischen Ausgangsniveau und Trainingseffekt festgestellt werden kann, nicht gesagt werden. Zwar wird mit dreizehn Wochen eine vergleichsweise langfristige Intervention durchgeführt, doch ist das Trainingspensum eher gering. Dies betrifft im Besonderen die Gruppen mit zweimal wöchentlichem Training, die entsprechend auch keinen (ausgeprägten) Zuwachs zu verzeichnen haben. Hinzu kommt, dass die VO_{2max} mit Hilfe eines Fahrradergometertests erhoben wird, während die Intervention ein Lauftraining umfasst.

Fazit

Die quantitative Analyse zeigt mit Ausnahme des Faktors Umfang keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den theoretisch abgeleiteten Moderatorvariablen und dem Trainingseffekt. Dieses Ergebnis wird durch die qualitativ orientierte Analyse bestärkt, in der herausgestellt werden konnte, dass in jedem Fall von multikausalen Erklärungszusammenhängen der Primärstudienresultate ausgegangen werden muss: Die Anzahl einflussnehmender Faktoren ist so groß, dass keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen *einem* Moderator und dem Trainingseffekt manifest wer-

den. Auffällig ist weiterhin, dass keine Studien vorgelegt wurden, deren Design direkt vergleichbar ist: Immer existieren mehrere Freiheitsgrade, die Unterschiede im Effekt erklären können. Dies zeigt, dass die statistischen Ergebnisse der quantitativen Analysen (also auch die in 7.1.1 vorgestellten Ergebnisse der Metaanalyse) kritisch zu betrachten sind, weil bei der Interpretation der Ergebnisse ein breiter Spielraum herrscht – insbesondere wenn nur ein bis zwei Moderatoren in die statistische Analyse einbezogen werden. Gleichzeitig bedeutet es jedoch, dass die Kombination der qualitativ orientierten mit der quantitativ orientierten Analyse die beste Alternative darstellt, um sich im Rahmen einer Befundintegration einem Gegenstand, der sich durch solch eine diffuse Forschungslandschaft auszeichnet, anzunähern.

7.1.3 Diskussion

Die Ergebnisse der Metaanalyse zu Interventionsstudien im Erwachsenenalter und der quantitativen und qualitativen Analyse der Interventionsstudien im Kindesalter sollen im Folgenden beziehungsweise auf die in 5.3 und zu Beginn von 7.1 formulierten Fragestellungen diskutiert werden. Vorab ist darauf hinzuweisen, dass sich die hier betrachteten Studien vorwiegend mit untrainierten Personen beschäftigen, die an einem breiten- oder gesundheitssportlich orientierten Trainingsprogramm teilnehmen. Verallgemeinerungen sind daher nur für diesen Bereich der sportlichen Aktivität zulässig.

Zur Dimensionsanalyse

Die Analyse der einbezogenen kurz- bis mittelfristigen Interventionsstudien schließt lediglich die Dimensionen Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit ein. Für die Frage nach der Reservekapazität ist eine andere Vorgehensweise notwendig (s. 7.2 und 7.4.1).

Anhand der vorliegenden Primärstudien Daten kann nicht geschlossen werden, dass eine Differenzierung des Konstruktes Trainierbarkeit in die Dimensionen Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit notwendig ist. Der frühe Adaptationsverlauf setzt sich weder in Form einer absoluten Lag-Phase noch durch sonstige Unregelmäßigkeiten im Sinne einer unabhängigen Dimension vom späteren Verlauf ab (vgl. 7.1.1). Die Trainierbarkeit kurz- bis mittelfristiger Zeiträume wird deshalb im Weiteren unter dem Begriff *Anpassungsgeschwindigkeit* zusammengefasst.

Für eine detailliertere Untersuchung dieser Fragen ist in Zukunft die Betrachtung individueller Anpassungsverläufe in den Mittelpunkt zu rücken, wobei gerade in der Anfangsphase der Anpassung möglichst viele Messzeitpunkte in kurzen Intervallen zu wählen sind. Erst aufgrund des Vergleichs individueller Anpassungsverläufe ist eine endgültige Klärung der Dimensionsfrage möglich. Die Frage, inwieweit die Sensitivität (das heißt die Abhängigkeit des Trainingseffektes von der Belastungsintensität) und die Regenerationszeit (d.h. die optimale Dauer, die zwischen zwei Trainingsreizen liegen muss) eigenständige Dimensionen darstellen, kann ebenfalls nur auf der Grundlage der Betrachtung individueller Verläufe, die unter spezifischen experimentellen Bedingungen zustande kommen, beantwortet werden.

Zum Einfluss von Alter und Geschlecht

Das Alter lässt sich im Rahmen des Erwachsenenalters als ein bedeutsamer Einflussfaktor der Anpassungsgeschwindigkeit nachweisen (vgl. Tab. 16). Für einen Vergleich der Anpassungsgeschwindigkeit zwischen Kindern und Erwachsenen ist eine Angleichung der Bedingungen vorzunehmen, indem nur Trainingszeiträume bis 20 Wochen betrachtet werden (soviel beträgt die maximale Interventionsdauer der vorliegenden Kinderstudien) und ein einheitlicher Gewichtungsfaktor zugrunde gelegt wird (hier wird die Stichprobengröße gewählt). Unter diesen Voraussetzungen lässt sich bei den Kindern eine durchschnittliche Steigerung von $3,4\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (gewichtet: 3,7), bei jüngeren Erwachsenen von $4,3\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (gewichtet: 4,6) und bei älteren Erwachsenen von $2,5\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (gewichtet: 2,4) beobachten. Diese Ergebnisse weisen somit das Erwachsenenalter bis in die fünfte Lebensdekade als den Zeitraum der besten Anpassungsgeschwindigkeit aus, während im höheren Alter die Anpassungsgeschwindigkeit *unter* diejenige im Kindesalter absinkt.

Eine *Geschlechtsspezifik* der Trainierbarkeit kann auf der Basis der vorliegenden Studien für das Kindes- und Jugendalter nicht ausgemacht werden, wird jedoch im Erwachsenenalter sichtbar und bleibt bis ins hohe Alter vorhanden. Es ist zu vermuten, dass die Pubertät die entscheidende Altersphase ist, in der mit den hormonellen Veränderungen auch eine Geschlechtsspezifik hervortritt.

Die Ergebnisse lassen sich weitgehend in Anlehnung an die in 3.4.2 diskutierte Literatur erklären: Wie für viele Bereiche der Motorik lässt sich für die Anpassungsgeschwindigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme über das *Lebensalter* hinweg ein dreiphasiger Verlauf bestätigen (z.B. Baur et al., 1994; Meinel & Schnabel, 2004;

Weineck, 2000). Dies spricht dafür, dass der Geschlechtshormonspiegel einen zentralen Einflussfaktor der Trainierbarkeit darstellt: Das Kindesalter ist im Vergleich zum Höchstleistungsalter eine Phase mit geringerer Anpassungsgeschwindigkeit. Die Abnahme der Anpassungsgeschwindigkeit nach dem Höchstleistungsalter *unterhalb* diejenige im Kindesalter lässt sich weiterhin damit erklären, dass sich die Wirkungen der sinkenden Testosteronausschüttung und allgemeiner Verschleißerscheinungen aufsummieren. Dies hat zur Folge, dass Umstellungs- und Anpassungsprozesse aus physiologischer Sicht weniger gut bewältigt werden (vgl. Ding-Greiner & Lang, 2004; Schachtschabel, 2004). Auch die *Geschlechtsspezifität* der Trainierbarkeit lässt sich anhand der Hormonlage erklären. Der Unterschied in der Anpassungsgeschwindigkeit, der erst im Erwachsenenalter beobachtbar wird⁷⁶ und dann konstant vorhanden bleibt, spricht für die Bedeutung hormoneller Gegebenheiten für die Anpassungsgeschwindigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme und bestätigt vorliegende Erkenntnisse zur geschlechtsspezifischen Anpassungsfähigkeit (z.B. Israel, 1979; Rost, 1981).

Zum Einfluss der Trainingsparameter

Eine eindeutige Beurteilung des Einflusses der betrachteten Trainingsparameter ist kaum möglich. Letztlich haben mehrere Parameter einen Einfluss. Entscheidend ist deren Kombination. Folgende Aussagen lassen sich ableiten:

Bezüglich des Einflusses der *Interventionsdauer* lässt sich im Rahmen der Metaanalyse, die Trainingszeiträume bis zu 60 Wochen betrachtet, die Tendenz feststellen, dass – wie zu erwarten – längere Interventionen auch stärkere Gewinne erzielen. Die exakte Betrachtung der wöchentlichen Zunahme (vgl. Tab. 20) und auch die qualitative Analyse der Studien zum Kindesalter zeigen jedoch, dass der Faktor Trainingsdauer allein keine prognosetaugliche Größe für den Trainingseffekt darstellt.

Als besonders problematisch gestaltet sich die Beantwortung der Frage nach dem Einfluss der *Trainingsintensität*: Dies ist auf drei Ursachen zurückzuführen: (a) die Festlegung der Trainingsintensität erfolgt in den Originalstudien anhand unterschied-

⁷⁶ Ab welchem Reifestadium sich die Schere zwischen Frauen und Männern tatsächlich öffnet, lässt sich aufgrund der Datenlage nicht weiter differenzieren. Hier sind Studien notwendig, in denen die Anpassungsgeschwindigkeit in verschiedenen Stadien der Pubertät experimentell erforscht wird.

licher Kriterien ($\%VO_{2max}$; $\%HR_{max}$; $\%HRR$), welche in der Befundintegration auf einen Nenner gebracht wurden; (b) die Kontrolle der Trainingsintensität erfolgt meist nur punktuell und häufig nicht technologisch unterstützt und ist damit ungenügend standardisiert; (c) die Reduzierung eines progressiven Trainingsprogramms auf einen durchschnittlichen und maximalen Intensitätsindex resultiert – zumindest für die durchschnittliche Intensität – in einer geringen Streuung *zwischen* den betrachteten Studien, wobei den Einzelwerten ein hoher Grad an Ungenauigkeit innewohnt. Die Ergebnisse, die aus besagten Gründen kritisch betrachtet werden müssen, machen deutlich, dass die maximale Sauerstoffaufnahme bei niederen bis mittleren Intensitäten die höchsten Steigerungsraten erfährt, während bei durchschnittlichen Intensitäten über 80% der erzielte Effekt geringer ist.

Beide Analysen bestätigen den deutlichen Einfluss der Variable *Umfang*. Der Trainingsumfang bildet bei Untrainierten im Zeitraum bis zu einem Jahr den Haupteinfluss, wenn es um die Höhe des Trainingseffektes geht. Dieser ist bedeutsamer als die Häufigkeit.⁷⁷

Zur Frage nach dem Einfluss der *Trainingsqualität* kann geschlossen werden, dass Lauf- und Radprogramme höhere Effekte erzielen als Walkingprogramme. Dies ist mit dem Beanspruchungsgrad zu erklären, der bei den Walkingprogrammen normalerweise niedriger ist.

Zum Einfluss der Validitätskriterien

Welche methodischen Varianten nehmen Einfluss auf den gemessenen Trainingseffekt und könnten damit Aussagen zur Trainierbarkeit verzerren?

Zum *absoluten Ausgangsniveau* ist vorab festzustellen, dass Kinder ungefähr dasselbe Ausgangsniveau aufweisen wie jüngere Erwachsenen ($\sim 44 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$), während das der älteren Erwachsenen bedeutend niedriger ist ($\sim 24 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$). Die Durchschnittswerte liegen nach der American Heart Association in einem Bereich, der als „mittel“ bis „gut“ einzustufen ist. Allerdings geben die durchgeführten Analysen keinen Hinweis auf einen Einfluss des absoluten Ausgangsniveaus auf den Trai-

⁷⁷ Allerdings ist die Häufigkeit rechnerisch im Umfang enthalten. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass es sich nicht um einen experimentellen Vergleich der Faktoren Umfang und Häufigkeit handelt. So wurden keine Extremvergleiche (z.B. sehr hohe Umfänge bei sehr geringer Häufigkeit und umgekehrt) vorgenommen.

ningseffekt. Dies scheint zunächst dem Trainingsprinzip zu widersprechen, das von einem abnehmendem Effekt mit zunehmendem Leistungsniveau ausgeht (z.B. Frey & Hildenbrandt, 2002; Martin et al., 2001; Weineck, 2002). Hier ist jedoch zu beachten, dass es sich um genetisch und nicht trainingsbedingte Unterschiede handelt, da die Probanden im Allgemeinen als „untrainiert“ gelten. Des Weiteren lässt sich die nicht-vorhandene Bedeutung des absoluten Ausgangsniveaus vor dem Hintergrund der Kurzfristigkeit der betrachteten Studien verstehen: Ein stabiler Ausgangswert von Personen, die bislang keinem systematischen Training nachgegangen sind, kann durch ein an diesem Ausgangswert relativiertes Trainingsprogramm *kurzfristig* in einem gewissen Ausmaß verbessert werden. Erst wenn es um längerfristige Verbesserungen geht, kann sich bei einem höheren absoluten Ausgangsniveau früher ein Deckeneffekt bemerkbar machen. Die Notwendigkeit der in 6.3 ausgeführte Unterscheidung zwischen (absolutem) Ausgangsniveau und Adaptationszustand wird damit nochmals bestätigt.

Was die Bedeutung des Validitätskriteriums *Progressivität* anbelangt, scheint nach den vorliegenden Ergebnissen die einfache Unterscheidung von Trainingsprogrammen nach progressiv und nicht progressiv zu genügen, während genauere Differenzierungen nicht zu präziseren Ergebnissen führen.

Zur Übereinstimmung von *Trainings- und Testmodalitäten* kommen die Metaanalyse und die Analyse zum Kindesalter zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während nach Ersterer kein Einfluss dieses Kriteriums auszumachen ist, fällt bei den Kinderstudien auf, dass die Effektgrößen, welche aus übereinstimmenden Verfahren ermittelt werden, durchweg höher sind, als diejenigen, welche aus nicht übereinstimmenden Verfahren berechnet werden. Dieser Frage ist daher in Zukunft weiter nachzugehen.

7.2 Reservekapazität

7.2.1 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Reservekapazität vorgestellt. Bearbeitet werden die Fragen (a) nach dem Einfluss der Variablen *Geschlecht* und *Alter* und (b) nach dem absoluten Ausmaß der Reservekapazität.

Aus 154 Studien können $k=589$ VO_{2max} -Werte gewonnen werden. Da aufgrund der Frage nach der Geschlechtsspezifität nur geschlechtshomogene Gruppen in die Analysen eingehen können, reduziert sich die Anzahl auf $k=513$ Werte, wobei es sich bei

ca. 25% um Individualwerte, bei 75% um Gruppenmittelwerte handelt. Insgesamt liegen $k=378$ Werte von $N=5222$ männlichen Personen und $k=135$ Werte von $N=1968$ weiblichen Personen vor.

Tab. 24 sowie Abb. 24 zeigen die Ergebnisse der Analyse im Überblick: Dargestellt werden getrennt nach Geschlecht für die einzelnen Altersklassen (jeweils Fünfjahresintervalle) (a) die *Maximalwerte* und *Minimalwerte* (in Abb. 24 durch die *gepunkteten Linien* repräsentiert), (b) die anhand der Stichprobengröße gewichteten Mittelwerte der obersten und der untersten Perzentile (*Max10%*; *Min10%*; nicht in Abb. 24 enthalten) und (c) der anhand der Stichprobengröße *gewichtete Mittelwert* aller Stichproben einer Altersklasse (*durchgezogene Linie* in Abb. 24); außerdem sind (d) in Abb. 24 zusätzlich die Extrema der Minimal- bzw. Maximalwerte zur *Minimum-* bzw. *Maximumlinie* verbunden (*gestrichelte Linien*).

Tab. 24 Überblick über die maximale Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit vom Geschlecht und Lebensalter: Max10% bzw. Min10% = gewichtetes Mittel der obersten bzw. untersten Perzentile der Studien

Altersklassen [Jahre]		1-6	7-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80	81+	
MÄNNER	Anzahl d. Werte (k) Probandenzahl (N)	19 (19)	10 (85)	74 (670)	57 (758)	49 (973)	26 (253)	14 (123)	11 (82)	14 (696)	15 (192)	18 (219)	9 (96)	25 (575)	19 (269)	12 (156)	2 (19)	4 (37)	
	VO _{max} [ml/min*kg ⁻¹]	Maximalwert	59	59	72	80	76	79	74	75	65	63	67	59	63	57	54	42	28
		Max10% (gewichtet)	58	-	68	77	73	77	72	62	61	55	66	-	60	49	54	-	-
		Mittelwert (gewichtet)	50	54	55	56	52	51	44	44	41	36	45	46	35	32	35	39	25
		Min10% (gewichtet)	43	-	41	50	43	28	38	33	33	26	31	-	28	20	23	-	-
		Minimalwert	40	39	38	43	41	27	37	29	27	22	26	32	27	20	22	37	22
FRAUEN	Anzahl d. Werte (k) Probandenzahl (N)	-	1 (5)	22 (324)	21 (646)	19 (170)	5 (31)	9 (76)	3 (7)	12 (145)	6 (41)	4 (44)	3 (43)	10 (141)	3 (94)	12 (140)	2 (16)	3 (45)	
VO _{max} [ml/min*kg ⁻¹]	Maximalwert	-	55	53	73	67	69	65	40	49	57	45	41	39	36	39	14	18	
	Max10% (gewichtet)	-	-	52	62	60	-	-	-	49	-	-	-	-	-	33	-	-	
	Mittelwert (gewichtet)	-	-	48	41	43	51	38	24	35	36	37	30	23	21	21	14	16	
	Min10% (gewichtet)	-	-	37	34	33	-	-	-	19	-	-	-	-	-	17	-	-	
	Minimalwert	-	-	28	31	31	28	29	18	17	25	12	13	17	20	17	13	15	

Die sich ergebenden Kennlinienverläufe zeigen starke zufällige Schwankungen, die bei den Frauen aufgrund der geringeren Anzahl eingehender Werte (k) höher ausfallen als bei den Männern. Die Mittelwertlinie verläuft bei beiden Geschlechtern über das Alter hinweg tendenziell fallend, wobei diese Tendenz bei den Frauen stärker ausgeprägt ist. Vergleicht man die Max10%- bzw. die Min10%-Werte mit den Maximal- bzw. Minimalwerten (Tab. 24), so sind die Unterschiede mit wenigen Ausnahmen gering, so dass die Extremwerte nicht als Ausreißerwerte interpretiert werden müssen. Allerdings erübrigt sich bei den Frauen aufgrund der vergleichsweise geringen Anzahl eingehender Werte (k) in vielen Fällen die Berechnung von 10%-Werten.

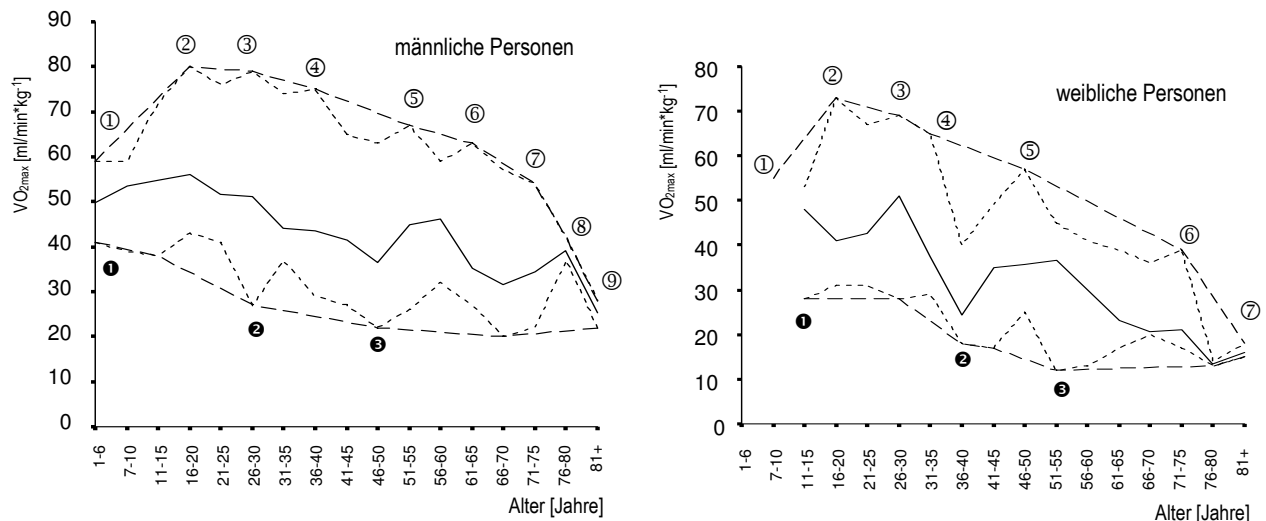


Abb. 24 Schematische Darstellung der Reservekapazität im Altersverlauf (Querschnitt der einzelnen Altersklassen). — gewichteter Mittelwert; Maximal- bzw. Minimalwerte in den Altersklassen; ---- Maximum- bzw. Minimumlinie (die Differenz dieser Linien veranschaulicht die Reservekapazität); mit den Ziffern innerhalb der Abbildungen (schwarze Ziffern auf weißem Grund bzw. weiße Ziffern auf schwarzem Grund) wurden Studien chiffriert, die einen kennzeichnenden VO_{2max} -Wert der Maximum- bzw. Minimumlinie wiedergeben. Die zugehörigen VO_{2max} -Werte sowie die Studien, denen sie entstammen, werden nachfolgend erläutert (s. auch Tab. 25 und Tab. 26).

Die in Abb. 24 für beide Geschlechter veranschaulichte Differenz zwischen der *Maximum-* und der *Minimumlinie* symbolisiert die Reservekapazität in den verschiedenen Altersintervallen. Um die Aussagekraft der so ermittelten Reservekapazität zu prüfen, sind die Maximum- und Minimumlinie im Einzelnen zu diskutieren:

Die *Maximumlinie* weist bei beiden Geschlechtern bis in die dritte Lebensdekade eine deutliche Zunahme auf, um im Weiteren allmählich abzufallen. Dieser Rückgang fällt bei den Frauen stärker aus als bei den Männern.

Die *Minimumlinie* fällt bei den Männern von Beginn an, bei den Frauen ab der dritten Dekade ab, wobei bis zum zehnten Lebensjahr lediglich *ein* Wert vorliegt, der in dieser Darstellung aufgrund seiner Nähe zu den Werten in der männlichen Alterklasse als Maximalwert eingestuft wurde. Ab der sechsten Dekade pendelt sich der Wert bei den Männern bei 20-22, bei den Frauen bei 13-15ml/min*kg⁻¹ ein. Vergleicht man die beobachteten Werte mit den in 5.1.1 dargestellten Normwerten der American Heart Association (1972), sind diese bei beiden Geschlechtern in den Kategorien „gering“ bis „niedrig“ einzustufen. Weiterhin wird ersichtlich, dass bei Kindern nicht so niedrige Werte beobachtet werden wie bei Erwachsenen. Woher das vergleichsweise hohe Niveau von Kindern, die größtenteils keinen systematischen Sportaktivitäten nachgehen, kommt, kann bislang nicht befriedigend beantwortet werden und wurde

bereits in 5.1.2 in Anlehnung an Rowland (1996) diskutiert. Die Reduktion der maximalen Sauerstoffaufnahme wenig bewegungsaktiver Menschen im Laufe der ersten Lebensjahrzehnte kann sowohl durch einen Rückgang der Bewegungsaktivitäten im Alltag als auch durch biologische Reifungs- und Alternsprozesse verursacht sein. Der ab der sechsten Dekade zu beobachtende Bodeneffekt ist dadurch zu erklären, dass zur organismischen Funktionsfähigkeit (und Lebensfähigkeit) eine Mindestausprägung der maximalen Sauerstoffaufnahme notwendig ist. Die Tatsache, dass die Werte höher sind, als von der American Heart Association (1972, vgl. Tab. 9) dargestellt, kann darauf zurückgeführt werden, dass zur Durchführung einer fahrrad- oder laufbandergometrischen Diagnostik diese Werte über dem Minimalwert liegen müssen.

Im Folgenden sollen die Untersuchungsgruppen, denen die Maximum- und Minimumlinie entstammen, eingehender betrachtet werden hinsichtlich der Frage, ob es sich tatsächlich – wie für die Reservekapazität definiert – um Werte des oberen bzw. unteren Leistungslimits handelt. Für die Maximumlinie werden bei den Männern neun, bei den Frauen sieben Studien analysiert, da hier – insbesondere für das späte Erwachsenenalter – die Frage des Leistungslimits noch nicht als geklärt gelten kann und der Begriff „trainiert-sein“, wie er in einzelnen Studien gebraucht wird, genauer betrachtet werden soll. Für die Minimumlinie werden nur jeweils drei Studien betrachtet, da hier keine großen Schwankungen vorliegen. Folgende Leitfragen sind von Bedeutung:

- Inwieweit kann davon ausgegangen werden, dass das obere bzw. untere Leistungslimit repräsentiert ist? Welche sportliche Vorgeschichte und welches Trainingspensum weisen die betrachteten Personen zum Zeitpunkt der Messung auf?
- Handelt es sich um Einzelwerte oder um Gruppenwerte? Falls Letzteres zutrifft sind Range- oder Standardabweichungen zu betrachten, woraus sich höhere bzw. niedrigere Extremwerte ableiten lassen.

Männliche Personen – Maximalwerte:

- Der Wert $59\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (①) stammt von einem Jungen zwischen fünf und sechs Jahren, der Teilnehmer der Kontrollgruppe einer Studie ist und nicht an einem systematischen Training teilnimmt (Yoshizawa et al., 1990). Die Trainingsgruppe trainiert hingegen, indem sie seit ca. 1,5 Jahren sechs Mal pro Woche einen 915m-Lauf absolviert. Dabei zeigt sich, dass die Gesamtstreuung in diesem Alter so hoch ist, dass sich auch ein für diese Altersklasse verhältnismäßig rigores

Training, wie es die Interventionsgruppe durchführt, nicht in besseren Absolutwerten der Trainingsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe niederschlägt.

- Die Studien von Murase et al. (1981; $80\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ von einem 18-Jährigen ②), Martin et al. (1986; $79\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$; Altersdurchschnitt 26 Jahre ③) und Marti und Howald (1990; $75\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$; Altersdurchschnitt 40 Jahre ④) veranschaulichen $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Werte, die mit einem langjährigen, hochleistungsorientierten Ausdauertraining erzielt werden können. Demnach sind bereits in der Jugend (vgl. Murase et al., 1981) hohe Werte zu verzeichnen, die jedoch von Erwachsenen übertroffen werden. Dies zeigt sich darin, dass der Maximalwert bei Murase et al. (1981), der von einem 18-jährigen Athleten erreicht wird, dem Mittelwert der Probanden von Martin et al. entspricht. Die Studie von Marti und Howald zeigt weiterhin, dass (fast ebenso) hohe Absolutwerte bei einem entsprechenden Training auch am Ende der vierten Dekade möglich sind.
- Die Studie von Heath et al. (1981), aus der die Werte $66\text{ ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ von einem 55-Jährigen (⑤), $63\text{ ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ von einem 62-Jährigen (⑥) und $54\text{ ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ von einem 71-Jährigen (⑦) stammen, lassen eine auch in diesem Alter noch hoch ausgeprägte, im Vergleich zu den vorhergehenden Studien jedoch bereits deutlich eingeschränkte $\text{VO}_{2\text{max}}$ erkennen. Es werden hohe Trainingspensens absolviert, die das Maß von Breiten- und Gesundheitssportlern weit übertreffen. Zu vermuten ist jedoch, dass die Zielgerichtetheit, Systematik und auch Intensität des Trainings nicht derjenigen der aktiven Hochleistungssportler im frühen Erwachsenenalter entspricht. Conzelmann (1997) stellt beispielsweise für erfolgreiche Seniorenleistungssportler der Leichtathletik fest, dass über 80% der Probanden nicht nach einem festen (schriftlich fixierten) Trainingsplan vorgehen. Zur Ergänzung und Validierung der Werte von Heath et al. (1981) sollen zwei weitere Studien zu Seniorensportlern skizziert werden: Pollock et al. (1987) finden bei elf Athleten im Alter von 60 (SD 8,6) Jahren einen Durchschnittswert von $53,3$ (SD 5,4) $\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$. Diese Läufer trainieren seit mehr als zehn Jahren durchschnittlich 35 (SD 23) Meilen⁷⁸ pro Woche. Trotz des geringeren Trainingspensens im Vergleich zu Heath et al. (1981) erreichen sie einen hohen Gruppenmittelwert. Maud et al. (1981) untersuchen einen 70-jährigen Langstre-

ckenläufer, der seit 52 Jahren Ausdauersport betreibt. Er erreicht einen VO_{2max} -Wert von $58,6 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$, wobei sein Trainingspensum zum Zeitpunkt der Untersuchung ca. 150km/Woche umfasst. Wenige Wochen vor der Messung hat er den Weltrekord seiner Altersklasse (auf einem schwierigen Kurs) auf 3:06,24 Stunden verbessert.

- Die Studien von Hawkins et al. (2001; $42 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ mit durchschnittlich 76 Jahren ⑧) und Korkushko und Yaroshenko (1994; $28 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ zwischen 80 und 89 Jahren ⑨) präsentieren Werte, die deutlich unter den vorherigen liegen, denen jedoch auch nur geringe Bewegungsaktivitäten (vgl. Tab. 25) zugrunde liegen. Da für diese Altersklassen keine Werte von intensiv trainierenden Personen vorliegen, sind Schlussfolgerungen für Veränderungen der Reservekapazität in der achten und neunten Dekade nicht möglich.

Tab. 25 Erläuterung zu den Studien der Maximum- und Minimumlinie der Männer. Die schwarzen Zahlen auf weißem Grund stehen jeweils für die Maximumlinie; die weißen Zahlen auf schwarzem Grund für die Minimumlinie. SD=Standardabweichung; R=Range; N=Stichprobengröße

Männliche Personen					
	Autor	VO_{2max} (SD bzw. R)	N	Alter (SD)	Trainingsdaten
①	Yoshizawa et al., 1990	59,0	1	Ca. 5,5	kein institutionalisiertes, regelmäßiges Training
②	Murase et al., 1981	80,1	1	17,8	Gewinner der japanischen Juniorenmeisterschaften: seit dem 12./13. Lj. Ausdauertraining, 5-6x/Woche, 2Std./Einheit; Bestzeit im Jahr der Messung: 4:04,02min (1500m), 14:51min (5000m)
③	Martin et al., 1986	79,3 [66,5-90,7]	9	26,1 (2,1)	Eitlangstreckenläufer zwischen 1500m und Marathon in der Vorbereitung auf Olympia 1984
④	Marti & Howald, 1990	75,0 (4,5)	5	39,6 (2,3)	ehemalige Schweizer Nationalmannschaftsmitglieder im Langstreckenlauf, die nach 15 Jahren an einer follow-up-Untersuchung teilnehmen und immer noch als „highly active“ eingestuft werden; 112 (SD 22,5)km/Woche; 15,5 (SD 0,9) km/h
⑤	Heath et al., 1981	66,5	1	55	Wettkampfsport betreibende Ausdauerathleten 8 Jahre Ausdauertraining, ca. 70 Kilometer/Woche, ausschließlich lange und langsame Läufe 11 Jahre Ausdauertraining, ca. 40 Kilometer/Woche, ausschließlich lange und langsame Läufe 56 Jahre Ausdauertraining, ca. 80 Kilometer/Woche, lange, langsame Läufe und Intervalltraining
⑥		62,5	1	62	
⑦		53,5	1	71	
⑧	Hawkins et al., 2001	41,5 (3,1)	8	76,0 (1,7)	Ausdauerathleten, mindestens ein Wettkampf/Jahr, seit 19,5 (SD7,8) Jahren regelmäßiges Training; 49,4 (SD 11,6)km/Woche; 5000m-Zeit: 27:00 (SD 3:00)min; 10000m-Zeit: 55:00 (SD 5:30) min
⑨	Korkushko & Yaroshenko, 1994	27,7 (1,3)	10	80-89	gesundheitsorientierte sportliche Aktivität seit 10-28 Jahren; 45-60Minuten tägliche Gymnastik, 20-42km/Woche; täglicher Energieverbrauch 600-800kcal/Tag
①	Yoshizawa et al., 1990	39,9	1	Ca. 5,5	kein institutionalisiertes, regelmäßiges Training
②	Lübs, 1984	26,9 (7,7)	12	26,5	gesunde, untrainierte Fabrikarbeiter
③	Convertino et al., 1982	21,9 (4,5)	6	50 (4)	gesunde Männer, nach 10 Tagen Bettruhe (habituelle Aktivität nicht bekannt)

⁷⁸ Eine Meile entspricht ungefähr 1,609km.

Männliche Personen – Minimalwerte

- Der Minimalwert von $40\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (❶) stammt aus derselben Studie von Yoshizawa et al. (1990) wie der Maximalwert dieser Altersgruppe (s.o.). Dabei handelt es sich ebenfalls um einen Kontrollgruppenwert. Die Differenz der beiden Werte demonstriert anschaulich die große Streubreite der maximalen Sauerstoffaufnahme innerhalb einer Gruppe von Personen mit ungefähr gleichem Umfang an institutionalisierten Bewegungsaktivitäten. Hierbei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass gerade bei Kindern in diesem Alter – die vermutlich kaum an organisierten Sportprogrammen beteiligt sind – die Bewegungsaktivitäten im Alltag sehr differieren, was in Studien wie der vorliegenden nur selten exakt erfasst ist.
- Der Minimalwert der Alterklasse 26 bis 30 (❷) stammt aus einer Studie von Lübs (1984). Zwölf gesunde, untrainierte Fabrikarbeiter zwischen 22 und 30 weisen einen $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Wert von 27 (SD $7,7$) $\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ auf, bevor sie mit einem Ausdauertrainingsprogramm beginnen. Der tatsächliche Minimalwert ist demnach noch etwas niedriger anzusiedeln.
- Beim Wert von 22 (SD $4,5$) $\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (❸) in der Alterklasse 46-50 handelt es sich um den Mittelwert von sechs Personen, die im Durchschnitt 50 Jahre alt sind, nach zehn Tagen Bettruhe (Convertino et al., 1982). Über die habituelle körperliche Aktivität dieser Männer vor dem durchgeführten Ruhe-Experiment werden keine näheren Informationen gegeben. Angesichts des niedrigen Niveaus ist jedoch davon auszugehen, dass diese im Alltag keinem ausdauerspezifischen Training nachgehen.

Weibliche Personen – Maximalwerte

- Thorén und Asano (1984; ❶) zeigen, dass mit zehn Jahren bei Mädchen bereits hohe $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Werte erzielt werden ($55\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$). Dabei ist das Laufpensum mit zwei bis drei Mal pro Woche zwei bis sechs Kilometer vergleichsweise moderat.
- Bei der 17-Jährigen (Jones, 1998 ❷) mit einem $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Wert von $72,8\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$, den 26-Jährigen (Billat et al., 2003 ❸) mit einem Durchschnittswert von $69\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ und den 34-Jährigen (Billat et al., 2002 ❹) mit einem Wert von $65\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ handelt es sich durchweg um Hochleistungsausdauerathletinnen im Laufbereich. Die geringen Standardabweichungen weisen darauf hin, dass die absolute Leistungsgrenze erreicht ist. Absolut gesehen liegen die Werte deutlich niedriger als die der männlichen Hochleistungssportler.

- Der VO_{2max} -Wert von $57\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Vaccaro et al., 1981b ⑤) von einer 47-Jährigen, die erst seit drei Jahren regelmäßig Lauftraining betreibt, ist herausragend. Es zeigt sich, dass auch Mitte der fünften Lebensdekade bereits nach einer vergleichsweise kurzen Trainingszeit ein hoher VO_{2max} -Wert erreicht werden kann. Von einer deutlichen Abnahme der maximalen Leistungsfähigkeit kann demnach zu diesem Zeitpunkt nicht notwendigerweise ausgegangen werden. Im Gegenteil ist zu vermuten, dass noch höhere Leistungen möglich sind.
- Deutlich niedriger liegen die Werte von Frauen aus der achten und neunten Dekade. Dabei weist zumindest die 71 Jahre alte Schwimmerin aus der Studie von Vaccaro et al. (1981a ⑥) mit $38,7\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ ein vergleichsweise hohes Trainingspensum auf, das allerdings erst mit 65 Jahren begonnen wurde und sowohl hinsichtlich des Umfangs als auch der Intensität nicht mit den Pensum von Hochleistungsschwimmerinnen vergleichbar ist. Der Wert von $18,1\text{ ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Puggaard, 2003 ⑦) stammt von 85-jährigen Frauen, die in der Vergangenheit kein systematisches Training absolviert haben. Damit kann dieser Wert nicht im Sinne des oberen Leistungslimits gelten (vgl. auch Tab. 25).

Tab. 26 Erläuterung zu den Studien der Maximum- und Minimumlinie der Frauen. Die schwarzen Zahlen auf weißem Grund stehen jeweils für die Maximumlinie; die weißen Zahlen auf schwarzem Grund für die Minimumlinie. SD=Standardabweichung; R=Range; N=Stichprobengröße

Weibliche Personen					
	Autor	VO_{2max} (SD)	N	Alter (SD)	Trainingsdaten
①	Thorén & Asano, 1984	54,5 (8,5)	5	10,2 (1,0)	beste 5 Mädchen eines 1700m-Laufs 10-Jähriger von insgesamt 481 Teilnehmerinnen und Teilnehmern; Beginn des Ausdauertrainings mit Ø 7,5 Jahren; 2-3Tage/Woche; 2-6km/Einheit; 2000m-Zeit: Ø 9:33 (R 9:14 - 9:46min)
②	Jones, 1998	72,8	1	17	Weltklasseläuferin; Siegerin der Juniorenweltmeisterschaft im Cross-Country-Lauf; unter den ersten sieben bei Weltmeisterschaft (3000m) und Olympischen Spielen (5000m)
③	Billat et al., 2003	68,6 (1,1)	6	26,3 (3,4)	Kenianische Eliteläuferinnen (Ø 32:32min über 10000m); 127 (SD 8) km/Woche; im Alter von 15 Jahren begonnen
④	Billat et al., 2002	65,0 (0,8)	4	34 (6)	Marathonläuferinnen der portugiesischen und französischen Nationalmannschaft (Ø 2:35,34 Std.), 155 (SD 19) km/Woche
⑤	Vaccaro et al., 1981b	57,0	1	47	seit drei Jahren Lauftraining; seit zwei Jahren Wettkämpfe; 80,5km/Woche; Halbmarathon: 1:33Std.
⑥	Vaccaro et al., 1981a	38,7	1	71	Mitglied im Seniorenschwimmteam All-America; seit 65. Lebensjahr: 5x/Woche, 1 Std., 1350m
⑦	Puggaard, 2003	18,1 (5,1)	16	85	gesund, keine sportlichen Aktivitäten protokolliert
①	Zauner & Benson, 1981	28,5	1	15	Trainierte Schwimmerin bei Laufbandtest(!); Trainingspensum: 2x/Woche, 6000-10000m
②	Cowan & Gregory, 1985	17,5	4	39 (4,3)	inaktive, prämenopausale Frauen
③	Cowan & Grogory, 1985	11,9	4	52 (3,6)	inaktive, postmenopausale Frauen

Weibliche Personen – Minimalwerte

- Beim Minimalwert (❶) von $28\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ handelt es sich um den Wert eines 15-jährigen Mädchens aus der Studie von Zauner und Benson (1981). Hier werden Schwimmerinnen untersucht, die seit einigen Jahren Wettkampfschwimmen betreiben. In diesem Sinne handelt es sich um eine *trainierte* Jugendliche. Der dennoch niedrige Wert ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass ein (sportartenspezifischer) Laufbandbelastungstest durchgeführt wird.
- Von 39(SD 4,3)- bzw. 52(SD 3,6)-jährigen inaktiven Frauen stammen die Werte von 18 (❷) bzw. $12\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (❸). Es handelt sich dabei um Kontrollgruppenwerte bei einem Trainingsexperiment, das die Trainingseffekte von prä- und postmenopausalen Frauen vergleicht (Cowan & Gregory, 1985). Sie entsprechen ungefähr den Normwerten, die von der American Heart Association (1972) als „niedrig“ eingestuft werden (vgl. 5.1.1).

7.2.2 Diskussion

Im *Kindesalter* werden mit vergleichsweise geringem Aufwand und kurzer sportlicher Vorgeschichte hohe $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Werte erzielt. Diese sind jedoch erwartungsgemäß deutlich niedriger als bei Hochleistungssportlern im Erwachsenenalter. Eine Spekulation über theoretisch mögliche Maximalwerte im Kindesalter, d.h. unter hochleistungssportlichen Bedingungen in Bezug auf Trainingsgeschichte und Trainingsprogramm, erscheint wenig sinnvoll. Die Minimumwerte liegen deutlich über denjenigen untrainierter Erwachsener. Doch weisen die Probanden vergleichsweise hohe Bewegungsaktivitäten auf, so dass das untere Limit noch niedriger liegen dürfte.

Die in Abb. 24 veranschaulichte Reservekapazität ist damit im Kindesalter relativ gering. In diesem Sinne bestätigen die vorliegenden Ergebnisse die Erkenntnisse von Rowland (1996, s. 5.2.3). Da jedoch sowohl die Interpretation der Minimumwerte als auch der Maximumwerte mit Schwierigkeiten verbunden ist, darf die Interpretation als eine im Vergleich zum Erwachsenenalter deutlich eingeschränkte Reservekapazität nur als vage Schlussfolgerung gelten. Zu vermuten ist, dass die Reservekapazität höher ist als in Abb. 24 dargestellt. Allerdings ist nicht zu erwarten, dass sie diejenige der Erwachsenen erreicht.

Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen können aufgrund der geringen Studienzahl auf Seiten der weiblichen Probandinnen in diesem Alter nicht festgemacht werden.

Für das *Ende der zweiten bis in die vierte Lebensdekade* liegen Maximalausprägungen der maximalen Sauerstoffaufnahme vor, bei denen aufgrund des Trainingspensums mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden kann, dass sie nahe am absoluten Limit liegen. Da es sich meist um Gruppenmittelwerte handelt, ist die Maximumlinie etwas höher anzusiedeln als dargestellt. Für die Minimumlinie sind niedrigere Werte festzustellen als im Kindesalter. Es ist anzunehmen, dass in diesem Entwicklungsabschnitt das Maximum der Reservekapazität liegt.

Im *späten Erwachsenenalter* liegen hohe VO_{2max} -Werte vor, die mit Trainingskilometerumfängen erzielt werden, die denen der Hochleistungssportler nahezu entsprechen. Dennoch ist davon auszugehen, dass von diesen Probanden kein Hochleistungstraining im trainingswissenschaftlich definierten Sinne absolviert wird (vgl. Conzelmann, 1997; zur Definition des Begriffs „Hochleistungstraining“ vgl. z.B. Schnabel et al., 1997). Nichtsdestotrotz zeigen die Werte, dass bis in die siebte Dekade ein hohes Niveau beobachtbar ist. Im Minimumbereich ist ab der sechsten Dekade ein Bodeneffekt festzustellen. Dieser dürfte durch die erforderliche physiologische Funktionalität bedingt sein. Der Rückgang der Maximumlinie muss zumindest zum Teil auf veränderte Trainingsgewohnheiten zurückgeführt werden. Die Reservekapazität bleibt damit auf einem sehr hohen Niveau, wenn auch die Postulierung einer völligen Konstanz der Reservekapazität, wie sie Conzelmann (1997) für die konditionellen Fähigkeiten im Erwachsenenalter proklamiert, eine zu extreme Position – zumindest für die maximale Sauerstoffaufnahme – zu sein scheint. Feststellungen zur Reservekapazität ab der siebten Lebensdekade sind aufgrund der vorliegenden Daten nicht möglich.

Der Geschlechtervergleich zeigt, dass sich die Reservekapazität der maximalen Sauerstoffaufnahme von Frauen und Männern nur geringfügig unterscheidet, wenn es um die absolute Quantifizierung geht. Dies bestätigt die physiologischen Beobachtungen von Berg und Keul (1983), die im Vergleich von weiblichen und männlichen Kadersportlern gleiche Adaptationseffekte beobachten, wenn sie die Abhängigkeit der Sauerstoffaufnahmefähigkeit vom Herzvolumen berücksichtigen. Im Unterschied zu den Männern zeigt sich bei den Frauen in Abb. 24 jedoch ein rascherer Rückgang sowohl der Minimum- als auch der Maximumlinie. Dies muss nicht notwendigerweise auf altersbedingte physiologische Ursachen zurückgeführt werden, sondern kann auch damit erklärt werden, dass Sportaktivitäten von Frauen in dieser Altersgruppe im Allgemeinen geringer ausgeprägt sind als die der Männer.

Insbesondere finden sich kaum Studien zu Frauen im Seniorenalter, die leistungsorientiert Sport treiben. Eine grobe Abschätzung der durchschnittlichen Reservekapazität anhand der Werte am oberen und unteren Leistungslimit in dieser „konstanten“ Phase ergibt für Frauen *und* Männer einen Wert von ca. 40 bis 45 ml/min*kg⁻¹. Zumindest anhand dieser deskriptiven Ermittlung von Differenzen (die natürlich starke Informationsreduktionen enthalten) ist keine Geschlechtsspezifität anzunehmen.

Diese Interpretationen sind mit folgenden theoretischen und methodischen Schwierigkeiten behaftet und deshalb in Zukunft durch weitere Studien abzusichern:

- Es handelt sich um einen über mehrere Studien hinweg ermittelten Querschnitt. Weder die für die Beobachtung von Trainingseffekten notwendigen Grundsätze des Dynamischen Testens (z.B. Guthke & Wiedl, 1996), noch die für die Beobachtung der Altersabhängigkeit notwendigen Grundsätze der aktuellen entwicklungstheoretischen Überlegungen (z.B. Conzelmann, 2001) haben hier Umsetzung gefunden. Für die Beobachtung der Altersabhängigkeit wäre, wie in 4.4.5 dargelegt, ein Doppel-Längsschnitt-Design notwendig. Aus Ermangelung einer geeigneten Vorgehensweise wurde jedoch statt des *individuellen* Potentials und dessen Veränderung über das Lebensalter hinweg die in der *Bevölkerung* vorhandene Variationsbreite als Anhaltspunkt herangezogen. Dabei ist anzunehmen, dass Letztere größer ist, da die individuelle Genetik der maximalen Sauerstoffaufnahme sehr unterschiedlich ist (z.B. Bouchard, 1986a; 1986b) und die tatsächlich erfasste Populationsvariabilität die individuellen Variabilitäten umfasst. Bei der *absoluten* Quantifizierung der Reservekapazität auf ca. 40-45 ml/min*kg⁻¹ handelt es sich deshalb um die *Populationskapazität*, welche keine Aussagen über die individuelle Kapazität erlaubt. Relative Aussagen zur Alters- und Geschlechtsspezifität sind dennoch möglich, da sich geschlechts- und altersbedingte Unterschiede im individuellen Potential im Populationspotential niederschlagen und nichts gegen die Umkehrung spricht, bezüglich des *relativen* Einflusses von Geschlecht und Alter vom Populations- auf das individuelle Potential zu schließen.
- Ein methodisches Problem, das mit dem komplexen Querschnittsdesign verbunden ist, betrifft die Frage, in welchem Ausmaß messmethodische Unterschiede eine Verzerrung der Ergebnisse hervorrufen (s. 4.4.7). Insbesondere für Frauen liegen zu wenige Werte vor, um zufällige Schwankungen auszugleichen.

- Inhaltlich ist zu beachten, dass es weder im Hochleistungssport noch bei breitenorientierten Interventionsprogrammen darum geht, die maximale Sauerstoffaufnahme zu verbessern, sondern die Ausdauerleistungsfähigkeit bzw. gesundheitsrelevante Parameter. Daher ist die Frage zu stellen, inwieweit die durchgeführten Trainingsprogramme spezifisch der maximalen Sauerstoffaufnahme Vorschub leisten. Insbesondere im Hochleistungssport kann die Wettkampfleistung auch ohne eine Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme verbessert werden (z.B. Jones, 1998). Es ist daher nicht gesichert, ob die durchgeführten Interventionen das geeignete Training für eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme darstellen.
- Beim Training der konditionellen Fähigkeiten muss der Stimulus nicht von der externen Umwelt sondern vom eigenen Organismus produziert werden. Möglicherweise ist der limitierende Faktor für die absolut erreichbare maximale Sauerstoffaufnahme nicht die physiologische *Trainierbarkeit*, sondern die Belastbarkeit. Diese Frage ist insbesondere für das Kindesalter und das späte Erwachsenenalter von Bedeutung, wo stoffwechsel- und bewegungsapparatbedingte Einschränkungen bestehen, die determinierend bezüglich der Trainingsintensität sein können. Eine Betrachtung der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten muss daher auch ganzheitliche Überlegungen einschließen, indem neben der physiologischen Adaptabilität weitere morphologische und physiologische Limitierungen berücksichtigt werden. Wenn also, wie beobachtet, im höheren Alter das Trainingspensum geringer ist als im Höchstleistungsalter, kann nicht ohne Weiteres geschlossen werden, dass ein vergleichbares Training vergleichbare Effekte nach sich ziehen würde. Stattdessen muss auch beachtet werden, dass ein höheres Trainingspensum aus physiologischen Gründen nicht leistbar ist und damit die Trainierbarkeit *indirekt* eingeschränkt ist.
- Die Einbeziehung des Trainingsalters bei der Interpretation der Effekte ist erst ab dem Jugendalter möglich, wenn ein mehrjähriger systematischer Trainingsprozess vorausgesetzt werden kann. Damit ist der Vergleich zwischen Kindern und Erwachsenen nur aufgrund der empirischen Daten, nicht jedoch unter Annahme gleicher Bedingungen möglich.
- Die Studien zu höheren Altersklassen referieren mit wenigen Ausnahmen Werte von Späteinsteigern. Die Auswirkungen einer langjährigen sportlichen Vorgeschichte auf die Reservekapazität im höheren Alter sind in den bisherigen Aus-

führungen nicht berücksichtigt. Die Auswirkungen einer sportlichen Vorgeschichte im Sinne einer gesteigerten oder auch einer reduzierten Reservekapazität können damit nicht diskutiert werden.

7.3 Langzeitstudien

Im Folgenden werden die Ergebnisse ausgewählter Langzeitstudien vorgestellt, um anhand einer vergleichenden Analyse von Entwicklungsverläufen weitere Aussagen zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme abzuleiten. Folgende Fragen sind dabei von Interesse: (a) Welchen langfristigen Entwicklungsverlauf zeigt die maximale Sauerstoffaufnahme auf unterschiedlichen Leistungsniveaus? (b) Wie wirken sich Veränderungen des Trainingspensums aus? (c) Welche Rolle spielen Geschlecht und Alter in diesem Zusammenhang?

7.3.1 Ergebnisse und Diskussion zum Erwachsenenalter

Kasch (1981) begleitet in einer wissenschaftlichen Untersuchung 37 ursprünglich inaktive Männer, die über zwei Jahre an einem Trainingsprogramm teilnehmen. Zehn Männer mit einem Durchschnittsalter bei Beginn von 47,9 Jahren (R: 31-59) schwimmen 2,0 Mal pro Woche 40 Minuten beginnend mit einer Intensität von 60-70% der VO_{2max} , die nach einem halben Jahr 79% erreicht. 27 Männer im Alter von 49,7 Jahren (R: 37-61) laufen 2,3 Mal pro Woche, ebenfalls 40 Minuten mit ungefähr derselben Intensitätsentwicklung wie die Läufer. Die Schwimmer verbessern ihre anfängliche VO_{2max} von 29,9 auf 35,6 ml/min*kg⁻¹, die Läufer von 30,8 auf 38,8 ml/min*kg⁻¹.

Es konnten keine weiteren Studien ausgemacht werden, in denen zu Beginn untrainierte Personen längerfristig im Rahmen eines Trainingsprogramms leistungsphysiologisch begleitet werden. Viele Autoren betrachten hingegen langfristige Entwicklungsverläufe der maximalen Sauerstoffaufnahme von Personen, die bereits zu Beginn der Studie einen mehrjährigen Trainingsprozess hinter sich haben:

Hawkins et al. (2001) legen einen kombinierten Quer-Längsschnitt vor, indem sie 86 Männer und 49 Frauen, die ausdauersportlich aktiv sind, im Abstand von durchschnittlich 8,4 Jahren (Männer) bzw. 8,5 Jahren (Frauen) leistungsphysiologisch untersuchen (Tab. 27). In allen Altersgruppen (eingeteilt nach 10-Jahres-Intervallen orientiert am Alter zu Beginn der Studie) lässt sich ein Rückgang der maximalen

Sauerstoffaufnahme erkennen, der bei den Frauen von $3,5 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ in der fünften Dekade über $5,9$ in der sechsten auf $7,6 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ in der siebten Dekade ansteigt, während die Rückgangsraten der Männer bereits in der fünften bei $8,3 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ liegt und über $7,2$ und $9,8 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ schließlich auf $13,1 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ zwischen dem 76. und 83. Lebensjahr ansteigt. Da sich in dieser Zeit bei allen Gruppen auch das Trainingspensum erheblich reduziert, lässt sich der Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme nicht ausschließlich endogenen Ursachen zuschreiben. Es fällt jedoch auf, dass der Rückgang, den die querschnittliche Betrachtung suggeriert (indem die Werte der verschiedenen Altersgruppen verglichen werden) geringer ausfällt als der Rückgang, wie er sich aus den Längsschnittdaten ergibt. Die Analyse der zugehörigen Trainingspensum zeigt jedoch, dass ein höheres Trainingspensum in einem bestimmten Altersabschnitt mit höheren $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Werten zusammenhängt.

Was die Geschlechtsspezifität betrifft, liegen die Absolutwerte der Männer deutlich höher als die der Frauen. Gleichzeitig ist die Rückgangsraten der Männer in allen Altersgruppen höher als die der Frauen. Bei beiden Geschlechtern nimmt sie im Altersverlauf zu. In der siebten Dekade nähern sich die $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Werte der beiden Geschlechter einander an. Sucht man nach Erklärungen für die Unterschiede, stellt man fest, dass sich die Trainingsumfänge, was die Kilometerzahl pro Woche anbelangt, nur geringfügig zugunsten der Männer unterscheiden. Die 5000m-Leistung der Männer ist jedoch deutlich höher. Ein enger Zusammenhang zwischen der Anzahl absolvierter Trainingskilometer und der maximalen Sauerstoffaufnahme ist damit nicht gegeben. Was den Rückgang der Trainingskilometer anbelangt, ist dieser bei beiden Geschlechtern ungefähr gleich (Ausnahme: Altersklasse 50-59), ebenso der Rückgang der Leistung über 5000m (Ausnahme: Altersklasse 40-49). Die stärkere Rückläufigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme bei den Männern kann ausgehend von diesen Daten nicht mit einem stärkeren Rückgang sportlicher Aktivitäten erklärt werden (wobei zu berücksichtigen ist, dass keine Angaben bezüglich der Intensität der Trainingsaktivitäten vorgelegt werden). Möglicherweise sind die Geschlechtsunterschiede zumindest teilweise auf physiologische Alternsprozesse zurückzuführen und dadurch zu erklären, dass sich die Hormonlage der Geschlechter im Alter einander annähert und damit die Unterschiede in der Leistungsphysiologie aufgehoben werden.

Tab. 27 Hawkins et al. (2001): Eingangs(„prä“)- und Follow-Up-(„post“)Daten von Männern und Frauen unterschiedlicher Altersklassen; N=Stichprobengröße

Geschlecht	Altersklasse (Jahre)	Männer				Frauen		
		40-49 (N=31)	50-59 (N=34)	60-69 (N=13)	70+ (N=8)	40-49 (N=24)	50-59 (N=16)	60+ (N=9)
Alter	prä	44,5 (0,5)	53,9 (0,5)	62,3 (0,8)	76,0 (1,7)	42,8 (0,4)	49,8 (0,7)	64,6 (1,3)
	post	53,5 (0,6)	62,2 (0,6)	71,1 (0,9)	82,8 (1,4)	51,2 (0,5)	58,3 (0,8)	73,2 (1,9)
VO _{2max}	prä	58,7 (1,7)	53,4 (1,4)	46,2 (1,4)	41,5 (3,1)	48,7 (1,6)	46,7 (1,3)	39,4 (1,6)
	post	50,4 (1,5)	46,2 (1,4)	36,4 (2,6)	28,4 (2,7)	45,2 (1,2)	40,8 (1,8)	31,8 (2,8)
	Δ	8,3	7,2	9,8	13,1	3,5	5,9	7,6
Km/Woche	prä	61,8 (7,2)	56,2 (5,2)	43,8 (9,3)	49,4 (11,6)	55,1 (5,5)	57,0 (6,0)	43,6 (7,6)
	post	43,6 (6,8)	43,3 (5,3)	37,5 (9,2)	26,7 (9,8)	37,7 (4,7)	36,7 (5,2)	26,6 (7,2)
5km-Zeit	prä	19,0 (0,4)	19,7 (0,5)	23,5 (2,0)	27,0 (3,0)	22,3 (0,9)	23,4 (1,2)	28,9 (1,5)
	post	21,8 (0,7)	23,8 (0,7)	29,8 (4,5)	36,3 (4,5)	23,5 (0,9)	27,0 (1,5)	--

Um die Frage nach der Ursache der rückläufigen Entwicklung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei trainierenden Erwachsenen zu verfolgen, werden im Weiteren drei Studien vorgestellt, in denen Athleten betrachtet werden, die zum ersten Messzeitpunkt ein sehr hohes Trainingspensum absolvieren, dieses Trainingspensum jedoch im weiteren Verlauf der Studie nicht in gleichem Ausmaß aufrechterhalten. Daraus lassen sich Ableitungen bezüglich der Frage nach altersbedingten und trainingsbedingten Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme treffen:

Im Jahr 1973 untersuchen Marti und Howald (1990) 27 Langstrecken- und Orientierungsläufer (~27 Jahre, SD 5) der Schweizer Nationalmannschaft. Fünfzehn Jahre später werden alle Probanden einer weiteren leistungsphysiologischen Untersuchung unterzogen. Aufgrund des Trainingspensums zum zweiten Messzeitpunkt werden die Läufer in drei Gruppen aufgeteilt: „High Active“, „Active“ und „Former“.

Tab. 28 Marti & Howald (1990): Überblick über die Entwicklung der VO_{2max} ehemaliger Nationalmannschaftsläufer bei unterschiedlichem Aktivitätsgrad; N=Stichprobengröße; SD=Standardabweichung

	High Active (N=5)		Active (N=13)		Former (N=9)		Controls (N=23)	
Alter in Jahren (SD)	24,6 (2,3)	39,6 (2,3)	26,5 (3,9)	41,5 (3,9)	28,1 (5,3)	43,1 (5,3)	19,7 (3,3)	34,7 (3,3)
VO _{2max} (SD)	72,0 (8,6)	75,0 (4,5)	73,5 (4,2)	65,4 (4,9)	71,7 (4,9)	55,0 (8,3)	52,7 (6,6)	44,2 (5,7)
Δ VO _{2max}	3,0		8,1		16,7		8,5	
Km/Woche	104,0 (16,4)	112,0 (22,5)	98,1 (29,1)	46,5 (10,1)	92,8 (34,5)	11,3 (10,1)	3,4 (7,4)	1,1 (3,7)

Während bei den „High Actives“ das Trainingspensum konstant geblieben ist, hat sich das der „Actives“ auf weniger als die Hälfte und das der „Former“ auf beinahe null reduziert. Es zeigt sich, dass die Gruppe der „High Actives“ ihre maximale Sauerstoffaufnahme über die Jahre hält, während sie sich bei den „Actives“ deutlich verringert (-8,1 ml/min*kg⁻¹) (vgl. Tab. 28). Die „Former“ erfahren sogar einen Verlust von

über $16\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$, liegen jedoch mit ihrem durchschnittlichen Absolutwert immer noch $11,2\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ über demjenigen einer Kontrollgruppe, die ebenfalls zu beiden Messzeitpunkten untersucht wird und zu keinem Zeitpunkt sportlich aktiv ist. Vergleicht man die Rückgangsraten der verschiedenen Gruppen, entspricht diejenige der Kontrollgruppe derjenigen der „Actives“.

Pollock und Kollegen (1987) untersuchen 24 Seniorenathleten, die zum ersten Messzeitpunkt im Durchschnitt 52,2 Jahre (SD 9,1) alt sind. Sie sind alle unter den ersten drei in regionalen oder nationalen Sprint-, Langstrecken- oder Gehwettkämpfen platziert und trainieren, indem sie regelmäßig Strecken von mindestens zwei bis drei Meilen absolvieren. In einem Follow-up nach 7,25 bis 12,5 Jahren werden dieselben Athleten nochmals getestet. Dabei werden zwei Gruppen gebildet: Elf Athleten absolvieren nach wie vor ein wettkampforientiertes Training und ihre (tägliche) Laufgeschwindigkeit weicht nicht mehr als 30 Sekunden pro Meile von derjenigen des ersten Messzeitpunktes ab („Competitive“). Dreizehn Läufer führen kein Wettkampftraining mehr durch und laufen ca. 90 Sekunden pro Meile langsamer als zum ersten Messzeitpunkt („Post-Competitive“). Die gelaufene Strecke liegt bei beiden Gruppen im Rahmen des ersten Messzeitpunktes: Bei der Wettkampfgruppe um 35 Meilen pro Woche, bei der Nicht-Wettkampfgruppe um 23 Meilen pro Woche.

Tab. 29 Pollock et al. (1987): Überblick über die Entwicklung der $VO_{2\text{max}}$; N=Stichprobengröße; SD=Standardabweichung

	Competitive (N=11)		Post-competitive (N=13)	
Alter in Jahren (SD)	50,2 (8,3)	60,8 (8,6)	53,9 (9,7)	64,2 (9,4)
$VO_{2\text{max}}$ (SD)	54,2 (7,0)	53,3 (5,4)	52,5 (8,1)	45,9 (6,7)
$\Delta VO_{2\text{max}}$	-0,9		-6,6	

Im Ergebnis verändert sich die maximale Sauerstoffaufnahme der „Competitive“-Gruppe nur geringfügig von $54,2$ (SD $7,0$) zu $53,3$ (SD $5,4$) $\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$, während die der „Post-Competitive“-Gruppe von $52,5$ (SD $8,1$) auf $45,9$ (SD $6,7$) $\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ abfällt (vgl. Tab. 29). Dies könnte als Hinweis gewertet werden, dass der Abfall der Trainingsintensität einen größeren Einfluss auf den Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme nimmt als der Umfang der gelaufenen Kilometer.

Katzel et al. (2001) untersuchen 42 Alterssportler (Durchschnittsalter zum ersten Messzeitpunkt: 63,4 Jahre) und vergleichen sie mit einer Gruppe von nichttrainierenden Personen. Zu Beginn der Studie sind die Athleten durchschnittlich seit 20 Jahren

im Training und trainieren mindestens vier Mal pro Woche „intensiv“. Nach 4,0-12,8 Jahren findet eine Follow-up-Untersuchung statt.

Tab. 30 Katzel et al. (2001): Überblick über die Entwicklung der VO_{2max} ; N=Stichprobengröße; MZP=Messzeitpunkt; SD=Standardabweichung

	High training (N=7)		Moderate training (N=21)		Low training (N=12)		Controle (N=47)	
	MZP 1	Follow-Up	MZP 1	Follow-Up	MZP 1	Follow-Up	MZP 1	Follow-Up
Alter (SD)	61,5 (2,8)	6,3 (1,2)	61,9 (1,1)	8,7 (0,5)	66,0 (1,8)	7,9 (0,7)	61,1 (0,9)	70,4 (0,9)
VO_{2max}	51,3(2,4)	48,6 (1,8)	49,8 (1,1)	38,2 (0,9)	49,4(2,2)	33,8 (1,8)	30,1 (0,8)	25,8 (0,8)
ΔVO_{2max}	2,7		11,6		15,6		4,3	

Zur Beurteilung der Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme werden die Männer in vier Gruppen eingeteilt (Tab. 30). Die „High Training“ Gruppe hat Umfang und Intensität ihres Trainings aufrechterhalten: Die durchschnittliche maximale Sauerstoffaufnahme fällt nur geringfügig von 51,3 (SD 2,4) auf 48,6 (SD 1,8) ml/min*kg⁻¹. Die „Moderate Training“ Gruppe hat das Laufpensum reduziert: Es erfolgt ein Rückgang der VO_{2max} von 49,8 (SD 1,1) auf 38,2 (SD 0,9) ml/min*kg⁻¹. Eine „Low Training“ Gruppe führt zum zweiten Messzeitpunkt kein aerobes Training mehr durch, nimmt aber teilweise noch an Wettkämpfen in verschiedenen Sportarten (Laufen, Schwimmen, Tennis, Golf) teil. In dieser Gruppe fällt die VO_{2max} von 49,4 (SD 2,2) auf 33,8 (SD 1,8) ml/min*kg⁻¹. Die Kontrollgruppe erfährt einen Verlust von 31,1 (SD 0,8) auf 25,8 (SD 0,8) ml/min*kg⁻¹. Dieser liegt im Ausmaß somit zwischen dem Rückgang der „High“ und „Moderate Training“ Gruppe.

Die Studien von Marti und Howald (1990), Pollock et al. (1987) und Katzel et al. (2001) demonstrieren, dass bei Erhalt des Trainingspensums in den verschiedenen Altersabschnitten auch die maximale Sauerstoffaufnahme weitgehend erhalten bleibt. Dennoch ist die Frage zu stellen, über welchen Zeitraum ein solcher Erhalt möglich ist. Dazu wird abschließend eine bislang in ihrem Design vermutlich einmalige prospektive Studie zur Entwicklung physiologischer Variablen bei sportlich aktiven Männern vorgestellt, die der Arbeitskreis um Kasch durchgeführt hat: In einem 33-jährigen Längsschnitt wurden zunächst jährlich (vgl. Kasch und Wallace, 1976) und später in zwei- bis fünf-jährigen Abständen physiologische Variablen erhoben (Kasch & Wallace, 1976; Kasch & Kulberg, 1981; Kasch et al., 1985; Kasch et al., 1988; Kasch et al., 1990; Kasch et al., 1995; Kasch et al., 1999). Probanden der Studie sind zum ersten Messzeitpunkt 15 Männer im Alter zwischen 32 und 56 Jahren (\bar{x} 44,6), die eine durchschnittliche VO_{2max} von 43,7ml/min*kg⁻¹ (R: 32,0 – 55,5) aufwei-

sen. Bereits vor dem ersten Messzeitpunkt sind außer einem Probanden alle regelmäßig sportlich aktiv. Während des 33-jährigen Untersuchungszeitraumes nimmt der Umfang der sportlichen Aktivitäten, welche aus Laufen, Radfahren, Schwimmen und später auch Tennis und Reiten bestehen, leicht zu (von 3,0 auf 4,6 Einheiten pro Woche; von 59 auf 70 Minuten/Trainingseinheit), während sich die Intensität verringert (von 84 auf 77% der VO_{2max} ⁷⁹). Die durchschnittliche VO_{2max} bleibt bis 18 Jahre nach dem ersten Messzeitpunkt weitgehend konstant ($43,1 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$), sinkt dann innerhalb von zwei Jahren auf $38,9$ und in den folgenden 13 Jahren weiter auf $37,0 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$. Die Kontrollgruppe weist zu Beginn einen Wert von $34,2 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ (SD 5,7) auf, der nach 23 Jahren auf $21,4 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ (SD 5,2) sinkt (weitere Werte liegen nicht vor). Damit weist sie nicht nur niedrigere Absolutwerte, sondern auch einen deutlich höheren Rückgang auf. Individuelle Veränderungen, die bei Kasch und Wallace (1976) sowie bei Kasch und Kulberg (1981) präsentiert werden, machen deutlich, dass es im Einzelfall sowohl positive als auch negative Entwicklungsverläufe der maximalen Sauerstoffaufnahme bei diesen durchweg moderat sportlich aktiven Personen gibt. Eine Unterteilung in Personen über 60 (Ø 66; R: 61-71) und unter 60 (Ø 54; R: 48-58) Jahre, die Kasch und Kulberg (1981) vornehmen, zeigt für beide Altersgruppen zwischen dem zehnten und dem 15. Studienjahr einen Rückgang von 12 bzw. 11%. Die Autoren schließen darauf, dass sich im höheren Alter kein stärkerer Rückgang nachweisen lässt. Insgesamt ergibt sich bei diesen sportlich aktiven Männern über den Zeitraum von 33 Jahren eine durchschnittliche Abnahme der VO_{2max} von $7,4 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Wie lassen sich die Ergebnisse dieser Längsschnittstudien im Erwachsenenalter zusammenfassen und welche Schlussfolgerungen zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme ergeben sich daraus?

Kasch (1981) konnte zeigen, dass auch bei untrainierten Personen im späten Erwachsenenalter (mit 50 Jahren) noch deutliche Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme (knapp 6 bis $8 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$) möglich sind. Da das durchgeführte

⁷⁹ Kasch und Kollegen sprechen in ihren Veröffentlichungen vom Prozentsatz der PWC (Physical Working Capacity), welche eigentlich definiert ist als die Leistung, die bei einer bestimmten Herzfrequenz (meist 170) erbracht werden kann (z.B. Heck, 1990). Die Durchsicht der Veröffentlichungen macht jedoch deutlich, dass in den Arbeiten der Arbeitsgruppe von Kasch unter PWC die VO_{2max} verstanden wird.

Training mit zwei bis drei Trainingseinheiten pro Woche vergleichsweise moderat ist, ist zu vermuten, dass sich bei systematischem, langfristigem und intensivem Training noch deutlich höhere Gewinne erzielen lassen und damit auch im späten Erwachsenenalter eine hohe Reservekapazität vorliegt.

Tab. 31 Kasch und Kollegen (1976; 1981; 1985; 1988; 1990; 1995; 1999): Überblick über die Ergebnisse innerhalb der prospektiven Längsschnittstudie; N=Stichprobengröße; R=Range; SD=Standardabweichung; F=Trainingshäufigkeit; TE=Trainingseinheit; I_d =durchschnittliche Trainingsintensität; T_0 , T_{10} , T_{15} usw.=Messzeitpunkt (Indizes stehen für die Anzahl der Jahre seit Beginn der Messungen); E=Experimentalgruppe; K=Kontrollgruppe; die Ausprägung der Trainingsparameter bezieht sich jeweils auf den Zeitraum seit dem letzten Messzeitpunkt

Zeitpunkt	N	Alter (R bzw. SD)	VO _{2max} (SD)	F [TE/Woche]	Zeit/TE [min]	I_d (%VO _{2max})	Literatur	
T ₀	E	15	44,6 (32-56)	44,4 (6,7)	3,0	59	84	Kasch & Wallace, 1976
	K	15	51,6 (6,2)	34,2 (5,7)	3,0	60	76	
T ₁₀	E	15	55,2 (42-66)	45,2 (10,0)	3,0	59	84	Kasch & Wallace, 1976
T ₁₅	E	15	60,0 (48-71)	40,2 (10,0)	3,3	45	77	Kasch & Kulberg, 1981
T ₁₈	E	13	63,1 (50-74)	43,1 (7,4)	3,3	45	77	Kasch et al., 1985
T ₂₀	E	14	65,7 (7,0)	38,9 (10,4)	3,6	61	77	Kasch et al., 1988
T ₂₃	E	15	68 (6,8)	38,6 (10,1)	3,9	66	76	Kasch et al., 1990
T ₂₈	E	12	71,3 (6,7)	39,4 (6,9)	4,2	62	78	Kasch et al., 1995
	K	12	68,8 (4,9)	21,4 (5,2)	-	-	-	
T ₃₃	E	11	76,1 (5,7)	37,0 (5,2)	4,6 (1,3)	70 (14,1)	77 (6,2)	Kasch et al., 1999

Die Studien von Hawkins et al. (2001), Pollock et al. (1987), Marti und Howald (1990), Katzel et al. (2001) sowie Kasch und Kollegen (1976, 1981, 1985, 1988, 1990, 1995, 1999) beschäftigen sich mit der Entwicklung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei trainierenden Erwachsenen bis ins späte Erwachsenenalter und welche Veränderungen sich bei konstanter bzw. abnehmender sportlicher Aktivität ergeben.

Hawkins et al. (2001) zeigen bei sportlich aktiven Männern, die sich in der fünften bis achten Dekade befinden, einen Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme von $8,3\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ bis $13,1\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ mit steigender Rückgangsrate je älter die Probanden sind. Die ebenfalls untersuchten Frauen weisen nur Raten zwischen $-3,5$ und $-7,6\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ auf, wobei ebenfalls die älteren höhere Rückgangsraten zu verzeichnen haben als die jüngeren Frauen. Da bei allen untersuchten Gruppen eine Einschränkung der Trainingsaktivitäten vorliegt, kann die Abnahme der maximalen Sauerstoffaufnahme nicht eindeutig auf exogene Faktoren oder biologische Alternsprozesse zurückgeführt werden.

Hierüber geben hingegen weitere Studien Aufschluss, in denen die Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von der Konstanz bzw. Aufgabe der sportlichen Aktivitäten zwischen $+3\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $-16,7\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei Nationalmannschaftsathleten zwischen dem 25. und 40. Lebensjahr (Marti & Howald, 1990), zwischen $-0,9$ und $-6,6\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei Seniorenleistungssportlern im Laufe der sechsten Dekade (Pollock et al., 1987) und zwischen $-2,7$ und $-15,6\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei Alterssportlern in der siebten Dekade (Katzel et al., 2001) beträgt. Eine Analyse der Trainingsprozesse im Zeitraum zwischen den Messungen deutet darauf hin, dass während des Erwachsenenalters die Abnahme der maximalen Sauerstoffaufnahme weniger durch den Alterungsprozess als durch eine Reduktion der sportlichen Aktivität bedingt ist. Bei konstantem Trainingspensum bleibt die maximale Sauerstoffaufnahme über zehn bis 15 Jahre weitgehend erhalten, wie die Studien von Marti und Howald (1990), Pollock et al., (1987) und Katzel et al. (2001) eindrücklich demonstrieren. Je stärker die Aktivität reduziert wird, desto stärker ist jedoch der Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme. Der Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme der nicht aktiven Kontrollgruppen entspricht ungefähr dem Rückgang der Personen, die ihr leistungsorientiertes Training zwar einschränken, jedoch immer noch ein vergleichsweise hohes Trainingspensum absolvieren. Dies spricht zum einen dafür, dass das Bewegungsverhalten der Kontrollgruppe (im Alltag) ebenfalls Einschränkungen erfahren hat, zum anderen aber auch dafür, dass der altersbedingte Rückgang eher gering ist.

Wie lange kann die maximale Sauerstoffaufnahme bei konstantem Trainingspensum tatsächlich aufrechterhalten werden? Kasch und Kollegen (1976, 1981, 1985, 1988, 1990, 1995, 1999) verzeichnen in einer Längsschnittstudie mit moderat trainierenden Männern im Laufe von 33 Jahren einen durchschnittlichen Verlust von $7,4\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dies entspricht einem jährlichen Rückgang von $0,22\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$. Einen Überblick über verschiedene Studien, die sich mit Rückgangsraten auseinandersetzen, geben Buskirk und Hodgson (1987): 13 Werte aus elf Studien zeigen für unterschiedlich aktive Gruppen eine durchschnittliche Abnahme von $0,41\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ (SD 0,09). Damit ist der von der Arbeitsgruppe um Kasch vorgelegte Wert vergleichsweise gering. Aufgrund der Konstanz des Trainingspensums dürfte er jedoch ungefähr die Verlustrate, die durch biologische Alternsprozesse gegeben ist, widerspiegeln. Um die Konfundierung von Trainings- und Alternseinflüssen kontrollieren zu

können, ist es jedoch in zukünftigen Studien wünschenswert, dass auch das Alltagsverhalten stärker kontrolliert wird.

Als Fazit können zur Frage der *Trainierbarkeit* anhand der Betrachtung der Längsschnittstudien im Erwachsenenalter folgende Ergebnisse festgehalten werden:

- Die dargestellten Studien bestätigen die Annahme, dass die Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme bis ins hohe Alter hinein erhalten bleibt. Dabei können auch mit moderatem Training über einen längeren Zeitraum hohe Gewinne erzielt werden. Ebenso zeigt sich, dass bei Aufrechterhaltung eines intensiven Trainings bei trainierten Athleten die maximale Sauerstoffaufnahme über 10-15 Jahre konstant gehalten werden kann, während bei Abbruch starke Verluste zu verzeichnen sind. Diese Daten bestätigen indirekt die Erkenntnisse des vorigen Abschnittes (7.2), dass auch im späten Erwachsenenalter eine hohe Reservekapazität vorhanden ist. Ähnliche Ergebnisse referiert auch Kuroda (1989). Dieser stellt aber zusätzlich fest, dass das Niveau bei Abbruch der sportlichen Aktivität nahezu auf das von untrainierten Personen sinkt. Dies widerspricht den hier erzielten Erkenntnissen (s. nächster Absatz).
- Personen, die ein langjähriges, intensives Trainingsprogramm durchgeführt haben, weisen auch nach einigen Jahren der Inaktivität bzw. geringer Aktivität deutlich höhere VO_{2max} -Werte auf als Personen, die niemals trainiert haben (Vergleich mit der Kontrollgruppe). Hierfür gibt es drei mögliche Interpretationen: (a) Die Rückkehr der maximalen Sauerstoffaufnahme zum Ausgangsniveau erfolgt nach einem langjährigen leistungsorientierten Ausdauertrainingsprozess nur sehr langsam. (b) Eine langfristig durch ein Hochleistungstraining bedingte hoch ausgeprägte maximale Sauerstoffaufnahme kehrt nicht mehr zum Ausgangsniveau zurück, sondern es bleiben Funktionseinheiten im Sinne eines „konditionellen Gedächtnisses“ vorhanden, die überdauernd (irreversibel) eine über das Niveau von untrainierten Personen erhöhte maximale Sauerstoffaufnahme erhalten. Damit wäre der Einfluss der sportlichen Erfahrung auf die Trainierbarkeit impliziert. (c) Bei hochleistungssportlich aktiven Ausdauerathleten handelt es sich um eine Auswahl an Personen, deren früheres hohes sportliches Engagement eine Folge genetischer Disposition in Bezug auf die Ausdauerfähigkeit ist. Sie haben deshalb „von Natur aus“ (das heißt auch ohne Training) im Vergleich zur Norm erhöhte VO_{2max} -Werte.

- Ein Geschlechtervergleich lässt sich nur auf der Grundlage einer einzigen Studie durchführen und ist deshalb mit Vorsicht zu verallgemeinern: Trainierte Frauen weisen geringere Rückgangsraten der maximalen Sauerstoffaufnahme auf als trainierte Männer, auch wenn der Rückgang der Trainingsaktivitäten sowie der sportlichen Leistung ungefähr von gleichem Ausmaß ist. Dies lässt vermuten, dass dieser Unterschied durch biologische Reifungs- und Alternsprozesse bedingt ist. Erklärbar wäre das damit, dass der Testosteronspiegel sich auf die maximale Sauerstoffaufnahme auswirkt und dieser (wie in 3.4.2 dargestellt) im Jugendalter stark ansteigt und im späten Erwachsenenalter einen Rückgang erfährt; parallel dazu dürfte sich die geschlechtsspezifische Schere öffnen und schließen.

7.3.2 Ergebnisse und Diskussion zum Kindes- und Jugendalter

Koch und Fransson (1986; vgl. Tab. 32) unterziehen neun Jungen, die eine regelmäßige Sportteilnahme aufweisen (Fußball, Laufen, Badminton und Eishockey), zwischen dem zwölften und 17. Lebensjahr jährlich einer leistungsphysiologischen Untersuchung. Zu Beginn werden zwischen 3,8 und 5,3 Trainingseinheiten pro Woche ($\bar{\emptyset}$ 4,6) mit 0,4 bis 4,5 Laufeinheiten (Intervalle) absolviert. Das Pensum bleibt bis zum 14. Lebensjahr ungefähr konstant. Mit 16 Jahren werden nur noch 1,6 bis 4,9 ($\bar{\emptyset}$ 3,7) Einheiten pro Woche absolviert, davon zwischen 0,1 und 3,9 Laufeinheiten. Die Jungen zeigen im Alter von zwölf Jahren mit $59,5 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ eine vergleichsweise hohe $\text{VO}_{2\text{max}}$, die bis zum 17. Lebensjahr nahezu konstant bleibt.

Tab. 32 Koch & Fransson (1986): Übersicht über die $\text{VO}_{2\text{max}}$ und das Trainingspensum in den verschiedenen Altersphasen; SD=Standardabweichung; TE=Trainingseinheit; LE=Lafeinheit

Alter in Jahren	12	13	14	15	16	17
$\text{VO}_{2\text{max}}$ (SD)	59,5 (6,1)	56,8 (9,7)	58,5 (8,0)	61,8 (8,9)	65 (5)	62 (6)
TE/Woche [R]	4,6 [3,8-5,3]		4,6 [3,8-5,3]		3,7 [1,6-4,9]	
LE/Woche [R]	1,7 [0,4-4,5]		1,6 [0,2-5,3]		1,5 [0,1-3,9]	

Murase et al. (1981; vgl. Tab. 33) erheben bei elf männlichen Ausdauerathleten über mehrere Jahre hinweg die maximale Sauerstoffaufnahme. Diese sind leistungssportlich aktiv und weisen bei den japanischen Juniorenmeisterschaften Siege auf Distanzen zwischen 800 und 5000m vor. Die Probanden haben im Alter zwischen zwölf und 13 Jahren mit leistungsorientiertem Training begonnen und trainieren seit diesem

Zeitpunkt fünf bis sechs Mal pro Woche, zwei Stunden am Tag. Das Durchschnittsalter bei der ersten Erhebung beträgt 14,8 Jahre, bei der letzten Erhebung 19,8 Jahre, wobei ca. einmal jährlich eine leistungsphysiologische Untersuchung stattfindet. Die Autoren teilen die Läufer in zwei Gruppen ein:

Gruppe I behält das Trainingspensum bei bis zur Beendigung der Studie mit ca. 20 Jahren. Die Teilnehmer haben zu Beginn eine durchschnittliche VO_{2max} von $65,0 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ und erreichen die Maximalausprägung (im Durchschnitt $76,8 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$) mit einem durchschnittlichen Alter von 18,4 Jahren. Die individuellen Steigerungen seit Studienbeginn liegen dabei zwischen $5,1$ und $22,2 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$. Im weiteren Verlauf der Studie ist ein leichter Rückgang der VO_{2max} zu beobachten.

Die Läufer der *Gruppe II* beginnen mit einem Durchschnittswert von $63,4 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$ und erreichen im Durchschnitt mit 17,4 Jahren den Maximalwert von durchschnittlich $72,5 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$; dabei betragen die individuellen Steigerungen zwischen $3,7$ und $13,6 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$. Da die Probanden dieser Gruppe ihr leistungssportliches Training zu diesem Zeitpunkt beenden, fällt die VO_{2max} wieder ab und erreicht im Alter von 19,6 Jahren einen Wert von $61,4 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}^{-1}$, der somit unter dem Wert mit 15 Jahren liegt.

Tab. 33 Murase et al. (1981): Übersicht über die VO_{2max} der Gruppen I und II zu Beginn, beim Erreichen des Maximums und zum letzten Messzeitpunkt; MZP=Messzeitpunkt; Min/Max=Minimum- bzw. Maximumwert; J=Jahre

	1. MZP (Alter: VO_{2max})	individuelle Veränderung (Min/Max der VO_{2max})	Maximalausprägung (Alter: VO_{2max})	individuelle Veränderung (Min/Max der VO_{2max})	letzter MZP (Alter: VO_{2max})
Gruppe I	14,7J: 65,0	5,1 / 22,2	18,4J: 76,8	0 / -5,2	20,0J: 74,6
Gruppe II	14,9J: 63,4	3,7 / 13,6	17,4J: 72,5	-7,4 / -13,5	19,6J: 61,4

Thiart und Wessels (1987) untersuchen während eines Zeitraumes von vier Jahren einmal jährlich 100 sportlich aktive Jungen. Die Daten werden zu einem Quer-Längsschnittdesign zusammengefügt. In die jeweils ein Jahr umfassenden Altersklassen zwischen 8,4 und 16,8 Jahren gehen dadurch zwischen 24 und 61 Werte ein. Der niedrigste VO_{2max} -Wert findet sich mit $57,0 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}^{-1}$ im Alter von 11,5 Jahren; der höchste mit $62,2 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}^{-1}$ im Alter von 16,8 Jahren, so dass ein tendenziell steigender Verlauf der VO_{2max} -Werte beobachtet werden kann.

Die Studie betrachtet im Weiteren zehn Jungen näher, die ein ausdauerspezifisches Training durchführen und regelmäßig an Mittel- und Langstreckenläufen teilnehmen. Die Werte dieser zehn Probanden sind in Tab. 34 präsentiert.

Tab. 34 *Thiart & Wessels (1987): Übersicht über die Veränderung der VO_{2max} -Werte von zehn ausdauertrainierten Jungen; T_1 , T_2 =erster, zweiter Messzeitpunkt*

Probandenr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Alter T_1	10,7J	11,3J	12,0J	11,8J	11,8J	12,6J	11,6J	11,9J	12,6J	12,6J
VO_{2max}	48,8	52,8	54,0	59,7	53,6	65,3	53,1	61,1	56,9	53,8
Alter T_2	14,7J	15,0J	15,8J	15,7J	15,8J	16,5J	15,6J	15,9J	16,8J	16,4J
VO_{2max}	57,7	63,6	64,8	66,8	60,1	74,2	59,6	69,2	65,7	63,5
ΔVO_{2max}	8,9	10,8	10,8	7,1	6,5	8,9	6,5	8,1	8,8	9,7

Unabhängig vom Alter zum ersten Messzeitpunkt T_1 (dieses liegt zwischen 10,7 und 12,6 Jahren) lassen sich bei dieser Gruppe über den Untersuchungszeitraum hinweg Steigerungen der VO_{2max} zwischen 6,5 und 10,8 ml/kg*min⁻¹ ($\bar{\Delta}$: 8,6) beobachten. Der Vergleich dieser Jungen mit denen der Gesamtgruppe zeigt eine deutlich höhere Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme, wenn spezifisches Ausdauertraining betrieben wird, im Vergleich zu allgemein sportlich aktiven Jungen desselben Alters.

Bei Zauner und Benson (1981) nehmen 15 national und international erfolgreiche Schwimmerinnen und Schwimmer im Alter zwischen neun und 19 Jahren an drei Untersuchungen teil, die im Abstand von jeweils einem Jahr stattfinden. Alle, auch die Jüngsten, führen seit mindestens der Hälfte ihres Lebens ein wettkampforientiertes Schwimmtraining durch. Dabei absolvieren sie während des Sommers zweimal täglich zwischen 6000 und 10000m, im Winter sind sechs Schwimmeinheiten pro Woche sowie Krafttrainingseinheiten die Regel.

Tab. 35 *Zauner & Benson (1981): Überblick über die Veränderung der VO_{2max} der Schwimmerinnen und Schwimmer; T_1 bis T_3 =erster bis dritter Messzeitpunkt*

weibl. Pdn	Alter T_1	$VO_{2max} T_1$	$VO_{2max} T_2$	$VO_{2max} T_3$	männl. Pdn	Alter T_1	$VO_{2max} T_1$	$VO_{2max} T_2$	$VO_{2max} T_3$
					m1	14	45,4	66,8	59,9
w1	14	45,8	55,2	56,2	m2	12	43,8	54,9	69,5
w2	15	52,8	46,7	47,8	m3	16	48,9	52,7	68,2
w3	13	40,6	45,9	45,0	m4	9	45,7	41,8	46,2
w4	14	42,4	34,4	39,4	m5	15	53,4	58,2	68,2
w5	15	28,5	41,7	44,3	m6	19	54,0	49,0	66,5
w6	13	29,9	44,8	47,0	m7	9	39,2	60,8	65,3
w7	17	42,8	39,5	56,3	m8	10	49,4	57,8	68,4
$\bar{\Delta}$	14,4	40,3	44,0	48,0	$\bar{\Delta}$	13,0	47,5	55,3	64,0

Im Ergebnis (vgl. Tab. 35) zeigen die Schwimmerinnen über die zwei Jahre einen durchschnittlichen Zuwachs der VO_{2max} von 40,3 über 44,0 auf 48,0 ml/min*kg⁻¹ ($\Delta = 7,7$ ml/min*kg⁻¹), wobei eine breite Streuung der individuellen Gewinne zu beobachten ist: im ersten Jahr zwischen -6,1 und +14,9 ml/min*kg⁻¹, im zweiten Jahr zwischen -0,9 und +16,8 ml/min*kg⁻¹, insgesamt zwischen -5 und +17,1 ml/min*kg⁻¹. Bei den

männlichen Schwimmern steigert sich der Ausgangswert von 47,5 über 55,3 auf 64,0 ml/min*kg⁻¹ ($\Delta=16,5$ ml/min*kg⁻¹), mit individuellen Gewinnen im ersten Jahr zwischen -5 und +21,6 ml/min*kg⁻¹, im zweiten Jahr zwischen -6,9 und +17,5 ml/min*kg⁻¹ und insgesamt zwischen 0,5 und 26,1 ml/min*kg⁻¹.

Zunächst fallen die hohen Zuwachsraten auf, die weit über diejenigen der in 7.1.2 referierten Interventionsstudien hinausgehen. Weiterhin sind die Absolutwerte der weiblichen Probanden trotz des intensiven Trainings im Vergleich zu den in anderen Hochleistungssportstudien referierten Spitzenwerten verhältnismäßig niedrig (vgl. 7.2). Dies kann einerseits durch die Sportart bedingt sein; eine zentrale Ursache dürfte jedoch sein, dass eine laufbandergometrische und damit nicht-sportartspezifische Leistungsdiagnostik durchgeführt wurde. Zusätzlich liegt der absolute Zuwachs bei den Schwimmerinnen insbesondere im ersten Jahr erheblich unter dem der Schwimmer: Dies kann entweder im Sinne einer geringeren Anpassungsgeschwindigkeit des weiblichen Geschlechts interpretiert werden oder im Sinne einer stärker reifungsbedingten Verbesserung beim männlichen Geschlecht. Für Letzteres sprechen die in 5.1.1 referierten Erkenntnisse, dass bei untrainierten Frauen die maximale Sauerstoffaufnahme in der Pubertät bereits wieder abnimmt, während dies bei männlichen Personen nicht der Fall ist. Das Trainingsresultat wäre damit möglicherweise bei beiden Geschlechtern gleich, während der absolute Zuwachs bei den männlichen Probanden größer ausfällt.

Folgendes Fazit lässt sich ziehen:

- Sportlich aktive Jugendliche außerhalb des Leistungssports weisen bereits zu Beginn der zweiten Dekade eine vergleichsweise hohe maximale Sauerstoffaufnahme (50-60 ml/min*kg⁻¹) auf. Die Werte bleiben bei annähernd konstanter sportlicher Aktivität auf einem Niveau, wobei nicht exakt festgestellt werden kann, inwieweit beobachtbare Schwankungen auf Trainingsaktivitäten oder reifungsbedingte Einflüsse zurückgeführt werden können (vgl. Koch & Fransson, 1986; Thier & Wessels, 1987). Aus den vorliegenden Daten lässt sich keine (breitensportlich relevante) veränderte Trainierbarkeit während der Pubertät ableiten, da kein überzufälliger Anstieg oder Abfall der maximalen Sauerstoffaufnahme zu beobachten ist.
- Jugendliche, die hochleistungssportlich in Ausdauersportarten aktiv sind, erfahren hingegen über einen Zeitraum von mehreren Jahren deutliche Steigerungen, die

über $20\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ betragen können. Demnach ist im Jugendalter bereits eine gute Trainierbarkeit im Bereich der Anpassungsgeschwindigkeit, vermutlich auch im Bereich der Reservekapazität, vorhanden. Am Ende der zweiten Dekade nähert sich die maximale Sauerstoffaufnahme der leistungsorientierten Jugendlichen einem (ersten) Limit. Die Beendigung des sportlichen Engagements in diesem Alter bewirkt eine rasche Rückbildung der maximalen Sauerstoffaufnahme auf das Niveau vor Beginn des hochleistungssportlichen Engagements (vgl. Murase et al., 1981; Thiart & Wessels, 1987).

- Daten, die einen Geschlechtervergleich zulassen, sind spärlich. Insbesondere fehlen Untersuchungen mit weiblichen Probandinnen. Die Studie von Zauner und Benson (1981) zeigt jedoch, dass auch Mädchen, die während der Jugend ein hochleistungsorientiertes Ausdauertraining durchführen, Gewinne von fast $20\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ erzielen können und eine hohe Trainierbarkeit bezüglich der Anpassungsgeschwindigkeit und auch der Reservekapazität besitzen. Gleichzeitig lassen die Ergebnisse jedoch vermuten, dass die Trainierbarkeit diejenige des männlichen Geschlechts zumindest in dieser Altersphase nicht erreicht.
- Insgesamt fallen in den Studien, die sich mit intensiv trainierenden Jugendlichen auseinandersetzen, die großen individuellen Unterschiede auf, so dass die Gewinnspanne von ca. null bis $20\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ reicht – wohlgemerkt: Es handelt sich bereits um eine sehr selektive Stichprobe von hoch aktiven Probanden und Probandinnen (vgl. Zauner & Benson, 1981; Murase et al., 1981; Thiart & Wessels et al., 1987).
- Betrachtet man das Absolutniveau der maximalen Sauerstoffaufnahme, liegt diejenige von Breitensportlich orientierten Jugendlichen eher *über* dem Niveau gleichgesinnter erwachsener Sportler, während von Hochleistungssportlich engagierten Athleten gesagt werden kann, dass deren Werte sich am Ende der zweiten Lebensdekade zwar an die Werte von Hochleistungssportlern der dritten und vierten Lebensdekade annähern, im Durchschnitt jedoch nicht an diese heranreichen. Daraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen: Für die Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme gilt wie in vielen anderen Bereichen die Regel, dass ein Ausschöpfen der Reservekapazität ein langjähriges, intensives und systematisches Training im Sinne der Deliberate Practice nach Ericsson et al. (1993) erforderlich macht (vgl. auch die 10-Jahres-Regel nach Bloom, 1985; vgl. 4.2.3). Damit ist die Betrachtung der Altersabhängigkeit der Reservekapazität

für das Kindes- und Jugendalter oder gar ein Vergleich mit dem Erwachsenenalter obsolet. Was das Breitensportniveau anbelangt, könnten die Werte als Hinweis gedeutet werden, dass bei Jugendlichen eine höhere Sensitivität vorliegt und somit mit geringerem Trainingsaufwand höhere Gewinne erzielt werden können.

7.4 Fazit zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme

7.4.1 Dimensionalität des Konstruktes

Aus den Ergebnissen der Metaanalyse ergibt sich keine Notwendigkeit einer Differenzierung der Dimensionen Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit. Letztlich kann aufgrund der Datenlage die Frage der Umstellungsdynamik jedoch nicht hinreichend beantwortet werden. Sie sollte theoretisch – insbesondere auf physiologischer Ebene noch weiter präzisiert werden, um sie dann mit Hilfe geeigneter Trainingsexperimente zu untersuchen. Vorläufig sollte nur von *einer* Dimension ausgegangen werden, in der die theoretisch hergeleiteten Komponenten Umstellungsdynamik und Anpassungsgeschwindigkeit zusammengeführt werden. Diese wird im Weiteren als Anpassungsgeschwindigkeit bezeichnet.

Abschließend ist die Differenzierung der Trainierbarkeit in Anpassungsgeschwindigkeit und Reservekapazität zu diskutieren und die Frage zu beantworten, ob sich diesbezüglich anhand der geschlechts- und altersspezifischen Ausprägung ein Hinweis auf (unabhängige) Dimensionen ableiten lässt:

- Die Befundintegration zeigt, dass bei der *Anpassungsgeschwindigkeit* deutliche Geschlechts- und Altersunterschiede existieren: Der durchschnittliche Trainingseffekt der männlichen Untersuchungsgruppen der Metaanalyse beträgt $4,2\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Vergleich zu dem der Frauen von $2,5\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$. Der Vergleich von jüngeren Personen mit $4,6\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Vergleich zu älteren mit $2,7\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ fällt ebenso deutlich aus.
- Bei der *Reservekapazität* bestehen allenfalls geringfügige Unterschiede in Bezug auf das Geschlecht und das Alter (7.2). Die Altersunabhängigkeit der Reservekapazität wird außerdem auch durch die Analyse der Langzeitstudien unterstützt, die zeigen, dass bei trainierten Ausdauersportlern ein hohes Leistungsniveau erhalten bleibt, wenn das Trainingspensum aufrechterhalten wird (7.3).

- Die konträren Ergebnisse der Metaanalyse und des kombinierten Ansatzes zur Reservekapazität in Bezug auf die Frage der Einflussnahme von Geschlecht und Alter lassen sich erklären, wenn man von einem mehrdimensionalen Trainierbarkeitskonstrukt mit den Dimensionen *Anpassungsgeschwindigkeit* und *Reservekapazität* ausgeht (Abb. 25).



Abb. 25 Trainierbarkeitsmodell aufgrund der Datenlage der Befundintegration

Auf die die Anpassungsgeschwindigkeit determinierenden Größen Sensitivität und Regenerationszeit, welche potentielle Subdimensionen darstellen, konnte im Rahmen der vorgelegten Befundintegration nicht eingegangen werden. Auch diese sind mit Hilfe differenzierterer Untersuchungsansätze zu bearbeiten.

7.4.2 Determinanten der Trainierbarkeit

Nach den Ergebnissen von 7.4.1 sind die in 3.4.2 hergeleiteten potentiellen Determinanten der Trainierbarkeit für jede der angenommenen Dimensionen zu diskutieren.

- *Alter*: Zur Anpassungsgeschwindigkeit ist festzustellen, dass im Rahmen kurzfristiger Interventionen bis zu zwanzig Wochen Erwachsene bis 45 Jahre mit $4,3\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ höhere Effekte erzielen als Kinder und Jugendliche mit $3,4\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$. Die geringsten Effekte werden im späten Erwachsenenalter erreicht: $2,5\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$. Für längere Interventionszeiträume (bis zu 60 Wochen) liegen lediglich Daten im Erwachsenenalter vor. Auch hier zeichnen sich jüngere Erwachsene durch einen deutlich höheren Ausprägungsgrad aus als ältere Erwachsene. Was die *Reservekapazität* anbelangt, zeigen die vorliegenden Daten die geringsten Werte für das Kindes- und Jugendalter. Dieses Ergebnis ist jedoch mit Vorsicht zu interpretieren: Im Kindesalter fehlt notwendigerweise die Langfristigkeit des sportlichen Trainingsprozesses, wie er bei erwachsenen Hochleistungssportlern vorliegt, was den Absolutheitsgrad der beobachtbaren Maximalwerte fraglich erscheinen lässt. Gleichzeitig ist auch das untere Limit, welches deutlich über dem von erwachsenen Personen liegt, schwer zu erklären, da die Ursache so-

wohl biologischer Natur als auch im kindlichen Bewegungsverhalten begründet sein kann. Schlussendlich nimmt die (empirisch beobachtbare) Reservekapazität bis ins Erwachsenenalter deutlich zu und im Laufe des Erwachsenenalters über mehrere Dekaden nur geringfügig ab. Der Rückgang kann dabei sowohl durch Altersprozesse als auch durch das im Vergleich zu Hochleistungssportlern eingeschränkte Trainingspensum von Seniorenathleten erklärt werden. Über die Reservekapazität ab der achten Lebensdekade können aus den vorliegenden Daten keine Aussagen getroffen werden.

- *Geschlecht*: Im *Kindes- und Jugendalter* (vermutlich bis zur Pubertät – hier sind jedoch aufgrund der Datenlage keine differenzierteren Erkenntnisse möglich) sind bezüglich keiner Dimension Geschlechtsunterschiede in der Trainierbarkeit erkennbar. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Datenlage bezüglich der *Anpassungsgeschwindigkeit* sehr undifferenziert ist. Vor allem liegen zu wenige Studien vor, die einen direkten Vergleich von Jungen und Mädchen mit demselben Interventionsprogramm vornehmen. Die *Reservekapazität* im Kindes- und Jugendalter lässt sich ebenfalls nur bedingt beurteilen. Im *Erwachsenenalter* unterscheiden sich Frauen und Männer bezüglich der Dimension *Anpassungsgeschwindigkeit* dahingehend, dass Männer besser trainierbar sind als Frauen. Wie die Metaanalyse zeigte (vgl. 7.1.1), liegen keine Interaktionseffekte zwischen Alter und Geschlecht vor, das heißt die Geschlechtsunterschiede bleiben über das Erwachsenenalter hinweg vorhanden. Für die Entwicklung im Erwachsenenalter kann von einer sehr ähnlichen Reservekapazität von Männern und Frauen ausgegangen werden.
- *Sportliche Vorgeschichte*: Bezüglich der Frage nach dem determinierenden Einfluss der sportlichen Vorgeschichte auf die Trainierbarkeit lassen sich lediglich punktuell Hinweise ableiten, da die Studienlage eine systematische Bearbeitung nicht zulässt. Dazu wären Untersuchungsgruppen notwendig, die zum einen eine homogene sportliche Vorgeschichte aufweisen (meist wird die – langfristige – sportliche Vorgeschichte gar nicht referiert), zum anderen müssen Gruppen mit unterschiedlicher sportlicher Vorgeschichte bezüglich ihrer Reaktionen auf dasselbe Trainingsprogramm untersucht werden. Folgende Ergebnisse können festgehalten werden (vgl. v.a. 7.3): (a) Untrainierte Personen, die im mittleren bis späten Erwachsenenalter eine sportliche Aktivität aufnehmen, können auch mit moderatem Training noch vergleichsweise hohe Gewinne erzielen. Es ist somit

kein herausragendes sportliches Engagement im Kindes- und Jugendalter oder frühen Erwachsenenalter notwendig, um auch später noch in hohem Maße auf Trainingsreize zu reagieren. (b) Trainierte Personen, die ihr Trainingspensum aufrechterhalten, verzeichnen langfristig nur einen geringen Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme. Personen, die ihre sportlichen Aktivitäten aufgeben, erfahren hingegen einen starken Rückgang, erreichen jedoch selbst nach mehreren Jahren nicht den Zustand von untrainierten Personen. Dies spricht entweder dafür, dass die Auswirkungen eines langfristigen und intensiven sportlichen Engagements über viele Jahre hinweg beobachtbar sind oder es sich um Personen handelt, die genetisch bedingt bereits eine hohe maximale Sauerstoffaufnahme aufweisen. Aus den vorliegenden Studien kann zwar nicht zwingend auf eine vollständige Reversibilität von Anpassungserscheinungen im Bereich der maximalen Sauerstoffaufnahme geschlossen werden, dennoch wird hinsichtlich einer Differenzierung für die Dimensionen Reservekapazität und Anpassungsgeschwindigkeit für die Reservekapazität vorläufig die Annahme eines Entfaltungmodells vorgeschlagen, das nach Asendorpf (2005) für biologische Prozesse häufig Gültigkeit besitzt (vgl. 3.2.1). Weiterhin wird das von Conzelmann angenommene AKBAA-Modell (das die Grundannahmen des Entfaltungmodells durch die Annahme einer Konstanz der Trainierbarkeit präzisiert) bestätigt. Für die Anpassungsgeschwindigkeit konnte die Bedeutsamkeit der sportlichen Vorgeschichte aufgrund fehlender Informationen nicht diskutiert werden.

7.4.3 Einflussfaktoren auf den Trainingseffekt

Um die Trainierbarkeit im Rahmen von Studien erfassen zu können und einen Interstudienvergleich zu ermöglichen sind Kenntnisse darüber notwendig, welche Faktoren neben den im vorigen Abschnitt diskutierten (personinternen) Determinanten Einfluss auf den beobachtbaren Trainingseffekt nehmen.

Eine eindeutige Beurteilung des Einflusses der betrachteten *Trainingsparameter* ist kaum möglich. Dies deutet darauf hin, dass mehrere Parameter einen Einfluss haben und letztlich die Kombination, wie sie in einem Trainingsprogramm vorliegt, entscheidend ist. Folgende Aussagen lassen sich ableiten: Wie zu erwarten lässt sich die Tendenz feststellen, dass in längeren Interventionszeiträumen auch höhere Gewinne erzielt werden. Der Faktor Trainingsdauer alleine stellt jedoch keine prognosetaugliche Größe dar. Der Faktor *Intensität* stellte sich aus methodischen Gründen als prob-

lematisch heraus. Es kann jedoch angenommen werden, dass die maximale Sauerstoffaufnahme bei niederen bis mittleren Intensitäten die höchsten Steigerungsraten erfährt. Der *Umfang* bildet bei Untrainierten im Zeitraum bis zu einem Jahr den Haupteinfluss, wenn es um die Höhe des Trainingseffektes geht. Dieser ist bedeutender als die *Häufigkeit*. Zur Frage nach dem Einfluss der Trainingsqualität kann geschlossen werden, dass Lauf- und Radprogramme höhere Effekte erzielen als Walkingprogramme.

Was die *Validitätskriterien* anbelangt, geben die Analysen keinen Hinweis auf einen Einfluss des absoluten *Ausgangsniveaus* auf den Trainingseffekt. Dies lässt sich vor dem Hintergrund der Kurzfristigkeit der betrachteten Studien verstehen, in denen noch kein Deckeneffekt zu erwarten ist. Das Validitätskriterium *Progressivität* kann im Sinne einer einfachen Unterscheidung von Trainingsprogrammen nach *progressiv* und *nicht progressiv* eingesetzt werden. Genauere Differenzierungen führen nicht zu präziseren Ergebnissen. Teilweise unerwartet ist das Ergebnis zur Übereinstimmung von *Trainings- und Testmodalitäten*: Während die Metaanalyse keinen Einfluss dieses Kriteriums ausmacht, fällt bei den Kinderstudien auf, dass die Effektgrößen, welche aus übereinstimmenden Verfahren ermittelt werden, durchweg höher sind, als diejenigen, welche aus nichtübereinstimmenden Verfahren berechnet werden.

7.5 Diskussion der Methodik

Im Folgenden soll die methodische Vorgehensweise der vorliegenden Studie bewertet werden. Dazu werden zunächst die im Rahmen der Befundintegration angewandten Verfahren diskutiert (7.5.1), um anschließend zu analysieren, inwieweit es mit dieser Vorgehensweise gelungen ist, die Zielsetzungen der Arbeit zu erreichen, das heißt (a) einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand der Trainierbarkeitsforschung (der maximalen Sauerstoffaufnahme) zu verschaffen (7.5.2) und (b) einen Beitrag zur Theorieentwicklung bezüglich des Gegenstandes zu leisten (7.5.3).

7.5.1 Möglichkeiten und Probleme der Befundintegration

Mit der *Metaanalyse* war angestrebt, eine statistische Integration der Befunde von Interventionsstudien im Erwachsenenalter durchzuführen und den Einfluss moderierender Variablen zu prüfen. Dabei kamen die klassische Subgruppenanalyse sowie die Kovarianzanalyse zur Anwendung. Folgende Aspekte sind zu problematisieren:

- *Informationsreduktion*: Da es keinerlei Konventionen gibt, wie ein Interventionsprogramm zur Prüfung von Trainingseffekten zu gestalten ist, war eine direkte Vergleichbarkeit von zwei oder mehreren Studien nur in Einzelfällen gegeben. Bei den vorbereitenden Schritten der Metaanalyse (Studiensuche, -selektion und -kodierung) mussten daher vielfach Informationsreduktionen vorgenommen werden. Dies führt zwangsläufig zu einer Verzerrung der Ergebnisse, welche deshalb im Sinne von explorativen Richtwerten und Aussagentendenzen zu betrachten sind; für exakte Ergebnisse sind spezifisch für entsprechende Fragestellungen ausgelegte Studien durchzuführen. Grundsätzlich ist im Rahmen methodologischer Diskussionen der Metaanalyse verstärkt zu diskutieren, wie mit der Problematik der Studienvielfalt umgegangen werden soll: Unter welchen Umständen ist eine statistische Integration überhaupt angebracht, insbesondere bei Untersuchungsgegenständen, die keine standardisierten Interventionen durchführen (vgl. dazu das „apples and oranges“-Problem, 5.2.2)
- *Vollerhebung vs. Repräsentativität*: Handbücher zur Metaanalyse (z.B. Lipsey & Wilson, 2001; Rustenbach, 2003) legen viel Wert auf eine umfassende Literaturrecherche mit dem Ziel der Vollerhebung. Für die Frage der Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme hat sich erwiesen, dass diese Forderung bei Weitem nicht erfüllt werden kann. Trotz der Vielzahl an Studien, die in der vorliegenden Befundintegration Berücksichtigung gefunden haben, ist damit zu rechnen, dass weitere Recherchen noch weitere Studien hervorgebracht hätten. Aus diesem Grunde war die Repräsentativitätsfrage an gegebenen Stellen zu diskutieren. Für die methodologische Weiterentwicklung der Metaanalyse wäre es jedoch wünschenswert, die Darstellung der Recherchemöglichkeiten, mit deren Hilfe eine Vollerhebung angestrebt werden soll, zu ergänzen, und Kriterien zu entwickeln, wie ein repräsentativer Querschnitt an Studien zu einem Forschungsgegenstand gewährleistet werden kann.
- *Anzahl berücksichtigter Moderatorvariablen*: Es wurde eine Vielzahl an Moderatoren geprüft. Im Sinne der α -Fehler-Kumulierung ist dies kritisch. Die geringe Varianzaufklärung der Moderatoren (erkennlich an der Inhomogenität der Subgruppen) zeigt jedoch, dass tatsächlich viele Faktoren auf unterschiedlichen Beobachtungsebenen auf den Trainingseffekt Einfluss nehmen. Im Rahmen einer grundsätzlichen Gegenstandsstrukturierung, wie es die Zielstellung dieser Arbeit war, hat die Beachtung möglichst vieler Moderatoren nicht nur Berechtigung,

sondern besitzt Notwendigkeit. Für eine endgültige Festlegung der Quantität und Qualität des Einflusses der Moderatoren reicht diese Vorgehensweise hingegen nicht aus. Interessierende Einflussfaktoren sind in weiteren, eigens dafür angelegten Studien zu untersuchen.

- *Statistische Verfahren der Ergebnisintegration:* In der neueren Literatur zur Metaanalyse wird zunehmend darauf hingewiesen, dass neben klassischen Verfahren vermehrt in Anlehnung an die Primärforschung komplexe statistische Verfahren zum Einsatz kommen sollten (vgl. Beelmann & Bliesener, 1994; Rustenbach, 2003). Die Kombination der klassischen Subgruppenanalyse mit der Kovarianzanalyse konnte zum einen die Homogenität der Subgruppen, als auch (im Rahmen von Unterschiedshypothesen) den Einfluss verschiedener Faktoren prüfen. Diese beiden Verfahren stellen eine sinnvolle Ergänzung dar. Allerdings ist festzustellen, dass die Kovarianzanalyse für die vorliegenden Fragestellungen eine sehr viel bessere Differenzierung der Ergebnisse ermöglicht hat als die klassische Subgruppenanalyse. Weitere methodologische Diskussionen sind notwendig, welche statistischen Verfahren zu welchem Zweck in der Metaanalyse Anwendung finden sollen. In diesem Sinne ist auch eine Weiterentwicklung der Software wünschenswert, um dem Bedarf der Metaanalyse gerecht zu werden.
- *Verfahrensabhängigkeit der Ergebnisse:* Die im Rahmen der Metaanalyse durchgeführten Sensitivitätsanalysen (7.1.1) zeigen insgesamt die Schwierigkeiten, mit denen Metaanalysen behaftet sind. Alternative Analyseschritte bringen häufig uneinheitliche Ergebnisse hervor. Diese lassen sich zwar vor dem Hintergrund des gewählten Verfahrens erklären, gleichzeitig wird damit deutlich, dass auch eine statistische Befundintegration zu einem Forschungsgegenstand nicht zu endgültigen „wahren“ Aussagen führen kann. Das Dilemma der Primärforschung setzt sich damit in der Befundintegration fort. Deshalb ist jeder Analyseschritt zu begründen. Die Kombination aus quantitativer und qualitativ orientierter Analyse, wie sie im vorliegenden Fall praktiziert wurde, stellt eine Möglichkeit dar, kritisch mit diesem Problem umzugehen.

Die Metaanalyse wurde in enger Anlehnung an die Standardliteratur durchgeführt. An anderen Stellen der Befundintegration kamen darüber hinaus *quantitative Analyseschritte* zum Einsatz, die in erster Linie der deskriptiven Statistik, aber auch der einfachen Inferenzstatistik zuzuordnen sind. Diese Verfahren wurden dazu eingesetzt, einen Datenüberblick zu verschaffen, statistische Tendenzen abzuschätzen und Ent-

scheidungshilfen für das weitere (meist qualitativ orientierte Vorgehen) zu geben. Grundsätzlich ist für die Zukunft zu diskutieren, wie die Gesamtheit der quantitativen Verfahren der Befundintegration zu einem Methodeninstrumentarium zusammengefasst werden können, wobei jeweils Anwendungskontext und -voraussetzungen zu klären sind.

In 5.2.2 wurde bereits die Frage aufgeworfen, inwieweit ein *am qualitativen Forschungsparadigma orientiertes Vorgehen* in der befundintegrativen Forschung möglich ist. In der vorliegenden Arbeit wurden mehrfach Analysen durchgeführt, die sich am qualitativen Ansatz orientieren. Welcher Gewinn konnte mit einem solchen Vorgehen erzielt werden? Inwieweit kann überhaupt von einem qualitativen Ansatz der Befundintegration gesprochen werden? Die Diskussion von ausgewählten Studien stellte eine wichtige Ergänzung der quantitativen Analyse dar. Im Zusammenhang mit den Interventionsstudien der Kinder stellt die Einzeldarstellung die bessere Alternative für den Studienvergleich dar. Für die Reservekapazität war die Analyse notwendig, um die „nackten Zahlen“ der Minimum- und Maximumlinie interpretieren zu können und somit erst aussagekräftige Ableitungen zur Reservekapazität treffen zu können. Die Analyse einiger Längsschnittstudien verschaffte weitere Einblicke über Entwicklungsverläufe in Abhängigkeit von wechselndem Trainingspensum und stellt damit eine wichtige Ergänzung zu den experimentellen Ansätzen dar. Es muss festgestellt werden, dass der Informationsgehalt der meist sehr kurz gehaltenen Zeitschriftenbeiträge häufig gering ist, das heißt, dass über die in Form von quantitativen Maßen erfassten Angaben hinaus nur wenige Detailinformationen auswertbar waren. Dennoch brachte der *ganzheitliche* Blick auf die Einzelstudien im Vergleich zur eher *querschnittlichen* Betrachtung der Metaanalyse zusätzliche Erkenntnisse. Es können je nach Studie andere Diskussionsschwerpunkte gelegt werden, was einen deutlichen Vorteil gegenüber der rasterhaft durchgeführten Metaanalyse bedeutet. Die Ausführlichkeit, mit der einzelne Studien betrachtet werden, geht jedoch mit einer eingeschränkten Anzahl an bearbeitbaren Studien einher.

Die Einstufung dieser Form der nicht-quantitativen Analyse als „qualitativ“ im Sinne der qualitativen Forschungsmethodologie (vgl. Lamnek, 2005) ist in der gezeigten Form fraglich. Es wurden lediglich punktuell und problemorientiert Studien bzw. Aussagen ausgewertet und im Rahmen eines Gesamtkonstruktes interpretiert. Die Betrachtungen bleiben aus qualitativer Perspektive notwendigerweise oberflächlich, da (a) die Quantität und Qualität der Informationen durch den vorliegenden Text festge-

legt sind, (b) keine Subjekte sondern Objekte untersucht werden und (c) die erforderliche Offenheit des Betrachters nur in Ansätzen möglich ist.

Die Kombination aus quantitativen und qualitativ orientierten Verfahren der Befundintegration hat sich als eine sinnvolle Methodik zur Bearbeitung des Gegenstandes Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten erwiesen. Im Vordergrund stand jedoch die inhaltliche Problemorientiertheit und nicht die Entwicklung einer Methodologie. In diesem Sinne sind für die Zukunft weitere methodologische Diskussionen notwendig.

7.5.2 Eignung der Befundintegration für die Zielsetzung „Forschungsüberblick“

Es kann vermutet werden, dass es im Rahmen der umfassenden Recherche gelungen ist, einen repräsentativen Querschnitt der Studienlage zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme zu erhalten. Allerdings sind mit der Formulierung von Selektionskriterien Einschränkungen des Forschungsfeldes in Kauf genommen worden (vgl. 6), so dass nicht die gesamte Bandbreite der Forschungsaktivitäten erfasst ist, sondern nur diejenigen, die für das vorliegende *inhaltliche* Erkenntnisinteresse von Bedeutung sind. Dies zeigt sich z.B. im Vergleich mit anderen befundintegrativen Studien, die eine abweichende Studiena Auswahl getroffen haben (z.B. Bar-Or, 1989b; Ehrsam, 1997; Fleg, 1994; Green & Crouse, 1995; LeMura et al., 2000; Payne & Morrow, 1993; Rowland, z.B. 1997). Die Systematisierung, Analyse und Diskussion der ausgewählten Studien fand je nach Bedarf anhand verschiedener Kriterien statt (Fragestellung, Untersuchungsdesign, berücksichtigte Variablen, Ergebnisse), so dass in dieser Hinsicht ein hinreichender Überblick über den Stand der Forschung gegeben werden konnte: Mit Hilfe der deskriptiven Statistik konnte festgestellt werden, zu welchen Fragestellungen es einen Überhang an Studien gibt und wo Forschungsdefizite bestehen. Gleichzeitig konnten Ergebnisse zu Aussagen zusammengefasst bzw. Widersprüche aufgedeckt und Zusammenhänge zwischen methodischen Varianten und diskrepanten Ergebnissen diskutiert werden.

Die Befundintegration stellt ein ideales Instrumentarium dar, um einen Forschungsbereich, der so mit Einzelstudien überfrachtet ist wie die Trainierbarkeitsforschung, systematisch zu analysieren und in inhaltlich-theoretischer sowie methodischer Hinsicht zu bearbeiten. Dabei geht der Forschungsüberblick in quantitativer und qualitativer Hinsicht deutlich über die Darstellung des Forschungsstandes, wie sie zu Beginn von empirischen Studien erfolgt, hinaus. Im Rahmen der vorliegenden Be-

fundintegration ist es gelungen, eine Systematik der methodischen Vielfalt zu erstellen, Forschungslücken aufzuzeigen, Ergebnisse zu integrieren und Widersprüche zu erörtern.

7.5.3 Eignung der Befundintegration für die Zielsetzung „Theorieentwicklung“

Der Einbezug einer großen Bandbreite an Studien hat es ermöglicht, die komplexe Fragestellung nach Dimensionen, Determinanten und methodischen Aspekten der Trainierbarkeit zu bearbeiten. Zu beklagen ist jedoch, dass aufgrund der Studienlage lediglich *Aussagetendenzen* abgeleitet werden konnten. Grund dafür sind die bereits genannte methodische Vielfalt, Forschungsdefizite und damit unzureichende Zellbesetzungen für varianzanalytische Vorgehensweisen.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die Bearbeitung neuartiger und komplexer theoretischer Fragestellungen im Rahmen einer Befundintegration nur in Ansätzen möglich ist, da die Methodik nicht optimal an die Fragestellungen angepasst werden kann. Die inferenzstatistische Prüfung bzw. deren strenge Bewertung im Sinne einer Annahme oder Verwerfung von Hypothesen erscheint vor der Uneinheitlichkeit der vorliegenden Studien wenig sinnvoll, da auch bei detaillierter Studiensuche, -auswahl und -kodierung die wahrscheinlichkeitstheoretischen Voraussetzungen nur unzureichend erfüllt werden können: Es kommt zu starken Informationsreduktionen und -verzerrungen in vielen Arbeitsschritten des Analyseprozesses, die mit einem gut standardisierten und kontrollierten Experiment der Primärforschung nicht vergleichbar sind. Ein strenges statistisches Schließen im Sinne von Signifikanzen mit Hypothesenannahme bzw. -verwerfung scheint aus diesem Grunde als eine zu harte Bewertung von Ergebnissen, deren Zustandekommen vielfach auf Kompromissen und Informationsreduktionen beruht.

Im Sinne einer Theorie*exploration* stellt die Befundintegration mit den quantitativen und qualitativen Auswertungsmethoden hingegen ein geeignetes Instrumentarium dar. In diesem Sinne konnten mit diesem Verfahren erste Betrachtungen angestellt werden, inwiefern die Annahme von mehreren Dimensionen des Trainierbarkeitskonstruktes weiterverfolgt werden sollte und welche Dimensionen angenommen werden können. Ebenso konnten Annahmen formuliert werden bezüglich des Einflusses der Determinanten Geschlecht, Alter und sportliche Vorgeschichte und der Trainingsparameter. Zudem konnten mit der Analyse einiger Validitätskriterien Hinweise gegeben werden für die methodische Erschließung des Konstruktes Trainierbarkeit.

8 Trainierbarkeit – ist der Blick nun weiter?

Der Begriff Trainierbarkeit wird in sportwissenschaftlichen Lexika und trainingswissenschaftlichen Standardwerken oberflächlich und uneinheitlich behandelt. Empirische Studien zur Thematik zeichnen sich durch eine Vielfalt an Untersuchungsdesigns und untersuchten Variablen aus. Im Ergebnis zeigt sich, dass über vermeintlich einfache Fragen wie die Geschlechts- und Altersabhängigkeit der Trainierbarkeit keine Einigkeit herrscht. Der Trainierbarkeitsbegriff, ein zentraler Begriff der sportwissenschaftlichen Forschung, erweist sich damit als sehr problematisch. Es stellte sich die Frage, wie die Trainierbarkeitsforschung voranzubringen ist. Dem Mosaik an Einzelerkenntnissen einen weiteren Mosaikstein hinzuzufügen erschien langfristig wenig fruchtbar. Hingegen sollten die Perspektive erweitert und die Mosaiksteine zu einem Ganzen zusammengefügt werden. Doch nach welchen Regeln sind die Steine anzuordnen, um zu einem aussagekräftigen Bild zu gelangen?

Erste Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, in Form einer theoretisch-methodischen Konzeptualisierung des Gegenstandes Trainierbarkeit, Regeln zu finden. Dazu wurden (a) die Dimensionalität des Konstruktes, (b) die (personinternen) Determinanten der Trainierbarkeit und (c) methodische Aspekte, die bei der Erfassung der Trainierbarkeit Einfluss nehmen, diskutiert, um damit das Begriffsverständnis zu präzisieren. Dies geschah unter Einschränkung der Betrachtungen auf die *Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten*.

In der Diskussion um die Dimensionalität des Trainierbarkeitskonstruktes wurden verschiedene Ansätze zusammengeführt: (a) die gebräuchlichen Begriffsverständnisse des Plastizitätsbegriffes innerhalb der Psychologie, (b) differentielle Anpassungsmuster, welche im Rahmen der Genetik-Studien der Arbeitsgruppe von Bouchard beobachtet wurden, (c) Hinweise aus aktuellen Modellen der biologischen Adaptation. Im Ergebnis entstand ein dreidimensionales Trainierbarkeitsmodell mit den Dimensionen (I) Umstellungsdynamik, (II) Anpassungsgeschwindigkeit, (III) Reservekapazität.

Die Herleitung der Determinanten erfolgte über physiologisch begründete Plastizitätskonzepte, die sich aus Annahmen bezüglich der Art der Wechselwirkung zwischen Genom und Umwelt ergeben. Die Diskussion dieser Annahmen führte zur Ableitung folgender Determinanten für die Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten: individuelle Genetik, Geschlecht, Alter und sportliche Vorgeschichte.

Die Auseinandersetzung mit verschiedenen Untersuchungsdesigns zeigte, dass Ansätze der Dynamischen Testdiagnostik die Methode der Wahl für die Erfassung und Quantifizierung der Trainierbarkeit darstellen. Jedoch lässt sich dieser Ansatz nicht für alle vorgeschlagenen Dimensionen umsetzen: Für die Reservekapazität stellt ein Querschnittsdesign die bestmögliche Alternative dar.

Die theoretisch-methodischen Überlegungen und Annahmen wurden im weiteren Verlauf im Rahmen einer Befundintegration zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme überprüft und weiterentwickelt. Da die methodentheoretische Diskussion befundintegrativer Verfahren nur unzureichend ausgereift ist, fand vorab eine Auseinandersetzung mit Form und Funktion vorliegender Zugänge (Metaanalyse, traditionelles Review) statt, um ein dem eigenen Erkenntnisinteresse angemessenes Vorgehen zu entwickeln. Die dabei getroffene Entscheidung, quantitative und qualitativ orientierte Verfahren zu kombinieren, hat sich schließlich bewährt: Aufgrund der methodischen Vielfalt der Trainingsstudien und der Notwendigkeit informationsreduzierende Arbeitsschritte durchzuführen, muss die Aussagekraft der statistischen Auswertung als eingeschränkt gelten. In Ergänzung mit einer qualitativ orientierten Analyse ergaben sich schließlich fundiertere Ansatzpunkte für die Interpretation.

Die zentralen Ergebnisse der Befundintegration lauten: Es kann angenommen werden, dass es sich bei der Trainierbarkeit konditioneller Fähigkeiten um ein mehrdimensionales Konstrukt handelt, wobei insbesondere die Dimensionen Anpassungsgeschwindigkeit und Reservekapazität unterschieden werden müssen. Geschlecht und Alter stellen wichtige Determinanten der Trainierbarkeit dar; sie beeinflussen in erster Linie die Anpassungsgeschwindigkeit. Für die Reservekapazität scheinen weder Geschlecht und Alter noch die sportliche Vorgeschichte eine bedeutsame Rolle zu spielen. Da in der Primärforschung vorwiegend Gruppenmittelwerte präsentiert werden, konnte der Einfluss der individuellen Genetik nicht untersucht werden.

Während alle betrachteten Trainingsparameter – wie erwartet – Einfluss auf den Trainingseffekt nehmen, jeweils für sich jedoch kaum prognosetauglich sind, stellte sich in Bezug auf die untersuchten Validitätskriterien Folgendes heraus: Mehr oder weniger bedeutsame Einflussgrößen der Anpassungsgeschwindigkeit sind der Grad der Übereinstimmung zwischen Trainings- und Testverfahren und die Progressivität des Trainingsprogramms. Wenig Bedeutung kommt hingegen dem absoluten Aus-

gangsniveau zu. Deckeneffekte sind vermutlich erst bei längerfristigen Interventionen zu erwarten.

In der Gesamtheit ist die vorgelegte Studie als explorativ einzuordnen und diene vornehmlich der Theorieentwicklung, weniger der Theorieprüfung. Folgende Verdienste sind ihr zuzuschreiben:

- Es findet eine ausführliche theoretisch-methodische Auseinandersetzung mit dem Konstrukt Trainierbarkeit statt. Dabei wird erstmals eine mehrdimensionale Perspektive eingenommen und die Frage bearbeitet, in welchem Ausmaß verschiedene Faktoren in Bezug auf die angenommenen Dimensionen die Trainierbarkeit determinieren.
- In einer umfassenden Befundintegration, die Studien unterschiedlichster Designs umfasst, wird der Forschungsstand zur Trainierbarkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme dargestellt, systematisiert und analysiert. In diesem Rahmen werden die theoretischen Überlegungen zum Konstrukt durch die Neuinterpretation der Studien weiterentwickelt.
- Es werden methodentheoretische Überlegungen zur Befundintegration angestellt und die Frage nach Formen und Funktionen befundintegrativer Verfahren bearbeitet. Dabei wird eine Kombination aus quantitativen und qualitativ orientierten Ansätzen erprobt.

Welche Hinweise können für die zukünftige Forschung gegeben werden?

- Das vorgestellte theoretische Modell der Trainierbarkeit ist weiter zu präzisieren. Dies betrifft insbesondere die Beschreibung und Operationalisierung der Dimensionen. Da in der aktuellen Literatur zunehmend auf die Individualität der Trainierbarkeit verwiesen wird, sollte die Auseinandersetzung mit dem Modell zukünftig verstärkt anhand individueller Anpassungsverläufe erfolgen.
- Wenig fundierte Aussagen liegen bislang zur Bedeutung der sportlichen Vorgeschichte für die Trainierbarkeit vor. Der determinierende Charakter dieses Faktors ist zukünftig anhand individueller Entwicklungs- und Anpassungsverläufe zu analysieren.
- Aus methodentheoretischer Sicht ist angesichts der Zunahme an Detailstudien in der Primärforschung die Befundintegration als ein wichtiges Forschungsinstrument weiterzuentwickeln. Insbesondere ist – nachdem sich die Forschung in den letzten zwei Jahrzehnten auf metaanalytische Verfahren konzentrierte – eine ein-

gehendere Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten der qualitativen Forschungsmethodik im Rahmen der Befundintegration notwendig.

Gleichzeitig sind Form und Funktion befundintegrativer Verfahren in Zukunft dahingehend auszuweiten, dass verschiedene Forschungszweige in komplexeren Fragestellungen zusammengeführt werden können. Hierfür sind die in Kapitel 5 angestellten methodentheoretischen Überlegungen fortzuführen und zu einer Methodologie auszubauen.

Dimensionen und Determinanten der Trainierbarkeit – trotz der langen Tradition und der umfassenden Erkenntnisse, die die Trainierbarkeitsforschung in vielen Jahrzehnten hervorgebracht hat, besteht nach wie vor hoher Forschungsbedarf. Die Aktualität der Thematik für die sportliche Praxis ist angesichts des zunehmenden Interesses an fitness- und gesundheitsorientierten Bewegungsaktivitäten und dem gleichzeitig nicht nachlassenden Interesse am Wettkampf- und Leistungssport offensichtlich. Mit der *Konzeptualisierung des Konstruktes* will die vorliegende Arbeit eine Auseinandersetzung, die im sportwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Sinn von zentraler Bedeutung ist, fortsetzen und dabei eine differenziertere Perspektive als bislang einnehmen. Nur so kann es der Sportwissenschaft gelingen, den vielfältigen Fragestellungen, die mit dem Gegenstand Trainierbarkeit heutzutage verbunden sind, gerecht zu werden.

9 Literatur

- Ades, P. A., Waldmann, M. L., Meyer, W. L., Brown, K. A., Poehlman, E. T., Pendlebury, W. W., Leslie, K. O., Gray, P. R., Lew, R. R. & LeWinter, M. M. (1996). Skeletal muscle and cardiovascular adaptations to exercise conditioning in older coronary patients. *Circulation*, 94, 323-330.
- Ahonen, J. (1994). *Sportmedizin und Trainingslehre*. Stuttgart: Schattauer.
- Allen, D. L., Harrison, B. C. & Leinwand, L. A. (2002). Molecular and genetic approaches to studying exercise performance and adaptation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30 (3), 99-105.
- Ama, P. F. M., Simoneau, J. A., Boulay, M. R., Serresse, O., Theriault, G. & Bouchard, C. (1986). Skeletal muscle characteristics in sedentary black and caucasian males. *Journal of Applied Physiology*, 61 (5), 1758-1761.
- American Heart Association (1972). *Exercise Testing and Training of Apparently Healthy Individuals: A Handbook for Physicians*. Dallas: American Heart Association.
- American Psychological Association (2001). *Publication Manual of the American Psychological Association* (5thEd.). Washington, D.C.: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Anshel, M. H., Freedson, P., Hamill, J., Haywood, K., Horvat, M. & Plowman, S. A. (1991). *Dictionary of the Sport and Exercise Sciences*. Champaign: Human Kinetics.
- Asendorpf, J. B. (2004). *Psychologie der Persönlichkeit* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Asmus, S. (1995). Sensibel genug für sensible Phasen? In J. Nicolaus & K. Zimmermann (Red.), *Sportwissenschaft interdisziplinär* (S. 199-214). Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Babcock, M. A., Paterson, D. H. & Cunningham, D. A. (1994). Effects of aerobic endurance training on gas exchange kinetics of older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (4), 447-452.
- Badenhop, D. T., Cleary, P. A., Schaal, S. F., Flox, E. L. & Bartels, R. L. (1983). Physiological adjustments to higher-intensity exercise in elders. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15 (6), 496-502.
- Badtke, G. (1999). *Lehrbuch der Sportmedizin* (4., neubearbeitete Aufl.). Heidelberg: Barth.
- Baier, H. & Rompel-Pürckhauer, C. (1978). Tagesrhythmische Variationen der Kreislauf- und Thermoregulation. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 29 (11), 323-328.
- Baldwin, J. M. & Poulton, E. B. (1902). Plasticity. In J. M. Baldwin (Ed.), *Dictionary of Philosophy and Psychology*, Vol. 2 (S. 302-303). New York: Peter Smith.
- Baltes, P. B. (1987). Theoretical propositions of life-span developmental psychology: on the dynamics between growth and decline. *Developmental Psychology*, 23 (5), 611-626.
- Baltes, P. B. (1990). Entwicklungspsychologie der Lebensspanne: Theoretische Leitsätze. *Psychologische Rundschau*, 41, 1-24.
- Baltes, P. B. (1993). The aging mind: potential and limits. *The Gerontologist*, 33 (5), 580-594.
- Baltes, P. B. & Eckensberger, L. H. (Hrsg.). (1979). *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Baltes, P. B., Lindenberger, U. & Staudinger, U. M. (1998). Life-span theory in developmental psychology. In R. M. Lerner (Ed.), *Handbook of Child Development. Vol.1. Theoretical Models of Human Development* (S. 1029-1143). New York: Wiley & Sons.
- Bangert-Drowns, R. L. (1986). Reviews of developments in meta-analytic method. *Psychological Bulletin*, 99 (3), 388-399.

- Baquet, G., Berhoin, S., Dupont, G., Blondel, N., Fabre, C. & Praagh, E. van (2002). Effects of high intensity intermittent training on peak VO_2 in prepubertal children. *International Journal of Sports Medicine*, 23, 439-444.
- Bar-Or, O. (1984). The growth and development of children's response to exercise. In J. Ilmarinen & I. Valimaki (Eds.), *Children and Sport* (S. 3-17). Berlin: Springer.
- Bar-Or, O. (1989a). Anpassungsfähigkeit des Skelettmuskels, des Herz-Kreislauf- und Atmungssystems. In A. Dirix, H. G. Knuttgen & K. Tittel (Hrsg.), *Olympia Buch der Sportmedizin* (S. 231-235). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Bar-Or, O. (1989b). Trainability of the prepubescent child. *The Physician and Sportsmedicine*, 17 (5), 65-82.
- Baur, J. (1987). Über die Bedeutung „sensibler Phasen“ für das Kinder- und Jugendtraining. *Leistungssport*, 17 (4), 9-14.
- Baur, J. (1989). *Körper- und Bewegungskarrieren*. Schorndorf: Hofmann.
- Baur, J. (1994). Motorische Entwicklung: Konzeptionen und Trends. In J. Baur, K. Bös & R. Singer (Hrsg.), *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (S. 27-47). Schorndorf: Hofmann.
- Baur, J., Bös, K. & Singer, R. (Hrsg.). (1994). *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch*. Schorndorf: Hofmann.
- Bausenwein, I. (1985). Frauen im Leistungssport aus medizinischer Sicht. In H. J. Medau & P. E. Nowacki (Hrsg.), *Frau und Sport II. Leistungsmerkmale der Frau – Leistungsunterschiede zum Mann* (S. 51-57). Spitta: Perimed.
- Baxter-Jones, A., Goldstein, H. & Helms, P. (1993). The development of aerobic power in young athletes. *Journal of Applied Physiology*, 75 (3), 1160-1167.
- Beaman, A. L. (1991). An empirical comparison of meta-analytic and traditional reviews. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 17 (3), 252-257.
- Becker, B. J. (1988). Synthesizing standardized mean-change measures. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 41, 257-278.
- Becker, D. M. & Vaccaro, P. (1983). Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in young children. *Journal of Sports Medicine*, 23, 445-449.
- Beelmann, A. & Bliesener, T. (1994). Aktuelle Probleme und Strategien der Metaanalyse. *Psychologische Rundschau*, 45, 211-233.
- Begg, C. B. (1994). Publication bias. In H. Cooper & L. V. Hedges (Eds.), *The Handbook of Research Synthesis* (pp 399-409). New York: Russell Sage Foundation.
- Belman, M. J. & Gaesser, G. A. (1991). Exercise training below and above the lactate threshold in the elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (5), 562-568.
- Bemben, D. A., Fetters, N. L., Bemben, M. G., Nabavi, N. & Koh, E. T. (2000). Musculoskeletal responses to high- and low-intensity resistance training in early postmenopausal women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (11), 1949-1957.
- Benestad, A. M. (1965). Trainability of old men. *Acta Medica Scandinavica*, 178 (3), 321-327.
- Berbalk, A. & Neumann, G. (2000). Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit in den Ausdauersportarten. *Leistungssport*, 30 (1), 24-30.
- Berg, K. (2003). Endurance training and performance in runners. Research limitations and unanswered questions. *Sports Medicine*, 33 (1), 59-73.
- Berg, A. & Keul, J. (1983). Frauen im Leistungssport. Belastbarkeit und Anpassungsfähigkeit des weiblichen Organismus. In H. Heck, W. Hollmann, H. Liesen & R. Rost (Hrsg.), *Sport: Leistung und Gesundheit* (S. 435-457). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Beyer, E. (1992). *Wörterbuch der Sportwissenschaft* (2., unveränderte Aufl.). Schorndorf: Hofmann.

- Bien, W. (2002). Primärerhebung oder Reanalyse? Überlegungen und Beispiele für die Optimierung des Ressourceneinsatzes durch Sekundäranalysen. In H. Merkens & J. Zinnecker (Hrsg.), *Jahrbuch Jugendforschung, Bd. 2* (S. 173-189). Opladen: Leske & Budrich.
- Billat, V., Demarle, A., Paiva, M. & Koralsztein, J. P. (2002). Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners (males and females). *International Journal of Sports Medicine*, 23, 336-341.
- Billat, V., Lepretre, P.-M., Heugas, A.-M., Laurence, M.-H., Salim, D. & Koralsztein, J. P. (2003). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (2), 297-304.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2003). *Biologische Psychologie* (5., vollständig überarbeitete und ergänzte Aufl.). Berlin: Springer.
- Bischof, H.-J. (1998). Instinkt, Prägung und frühes Lernen. In E. Irle & H. J. Markowitsch (Hrsg.), *Vergleichende Psychobiologie. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C Theorie und Forschung. Serie I Biologische Psychologie. Band 7 Vergleichende Psychobiologie* (S. 307-373). Göttingen: Hogrefe.
- Bliesener, T. (1993). *Der Einfluß der Forschungsqualität auf das Forschungsergebnis: Zur Evaluation der Validierung biographischer Daten in der Eignungsdiagnostik*. Unveröffentlichte Habilitationsschrift der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Blimkie, C. J. R. (1992). Resistance training during pre- and early puberty: efficacy, trainability, mechanisms, and persistence. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17 (4), 264-279.
- Blimkie, C. J. R. (1993). Resistance training during preadolescence. Issues and controversies. *Sports Medicine*, 15 (6), 389-407.
- Bloom, B. S. (Hrsg.). (1985). *Developing Talent in Young People*. New York: Ballantine Books.
- Blumenthal, J. A., Emery, C. F., Madden, D. J., Coleman, R. E., Riddle, M. W., Schniebolck, S., Cobb, F. R., Sullivan, M. J. & Higginbotham, M. B. (1991). Effects of exercise training on cardiorespiratory function in men and women >60 years of age. *The American Journal of Cardiology*, 67, 633-639.
- Blumenthal, J. A., Emery, C. F., Madden, D. J., George, L. K., Coleman, R. E., Riddle, M. W., McKee, D. C., Reasoner, J. & Williams, R. S. (1989). Cardiovascular and behavioral effects of aerobic exercise training in healthy older men and women. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 44 (5), M147-M157.
- Boileau, R. A., McAuley, E., Demetriou, D., Devabhaktuni, N. K., Dykstra, G. L., Katula, J., Nelson, J., Pascale, A., Pena, M. & Talbot, H.-M. (1999). Aerobic exercise training and cardiorespiratory fitness in older adults: a randomized control trial. *Journal of Aging and Physical Activity*, 7, 374-385.
- Bortz, J. (2004). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (6. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation* (3., überarbeitete Aufl.). Berlin: Springer.
- Bös, K. (1987). *Handbuch sportmotorischer Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Bös, K. (Hrsg.). (2001). *Handbuch Motorische Tests* (2., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Bös, K. & Banzer, W. (1998). Ausdauer und Widerstandsfähigkeit. In K. Bös & W. Brehm (Hrsg.), *Gesundheitssport. Ein Handbuch* (S. 147-159). Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K. & Mechling, H. (1983). *Dimensionen sportmotorischer Leistungen*. Schorndorf: Hofmann.
- Bosco, C. (1997). Zum Verhältnis von Muskelkraft und Testosteron aus der Sicht des Trainings. *Leistungssport*, 27 (2), 15-18.

- Bouchard, C. (1986a). Erbllichkeit und Trainierbarkeit. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 37 (10), 318-322.
- Bouchard, C. (1986b). Genetics of aerobic power and capacity. In R. M. Malina & C. Bouchard (Eds.), *Sports and Human Genetics* (pp 59-81). Champaign: Human Kinetics.
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Gagnon, J., Pérusse, L., Leon, A. S. & Rao, D. C. (1999). Familial aggregation of VO_{2max} response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*, 87 (3), 1003-1008.
- Bouchard, C., Chagnon, M., Thibault, M.-C., Boulay, M. R., Marcotte, M., Cote, C. & Simoneau, J.-A. (1989). Muscle genetic variants and relationship with performance and trainability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21 (1), 71-77.
- Bouchard, C., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S., Wilmore, J. H. & Gagnon, J. (1995). The HERITAGE Family Study. Aims, design, and measurement protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (5), 721-729.
- Bouchard, C. & Lortie, G. (1984). Heredity and endurance training. *Sports Medicine*, 1, 38-64.
- Bouchard, C. & Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (6), S446-S451.
- Bouchard, C., Shephard, R. J. & Stephens, T. (Eds.). (1994). *Physical Activity, Fitness, and Health. International Proceedings and Consensus Statement*. Champaign: Human Kinetics.
- Boulay, M. R., Ama, P. F. M. & Bouchard, C. (1988). Racial variation in work capacities and powers. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 13 (2), 127-135.
- Boyer, B. T. (1990). A comparison of the effects of three strength training programs on women. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (3), 88-94.
- Bridgman, P.W. (1927). *The Logic of Modern Physics*. New York: MacMillan.
- Brinkhoff, K.-P. (1998). *Sport und Sozialisation im Jugendalter. Entwicklung, soziale Unterstützung und Gesundheit*. Weinheim: Juventa.
- Bronfenbrenner, U. (2001). Foreword. In R. B. Cairns, G. H. Elder, Jr. & E. J. Costello (Eds.), *Developmental Science* (pp IX-XVII). Cambridge: University Press.
- Brown, A. B., McCartney, N. & Sale, D. G. (1990). Positive adaptations to weight-lifting training in the elderly. *Journal of Applied Physiology*, 69 (5), 1725-1733.
- Buchner, D. M., Cress, M. E., Lateur, B. J. de, Esselman, P. C., Margherita, A. J., Price, R. & Wagner, E. H. (1997). The effects of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 52A (4), M218-M224.
- Bühler, C. (1933). *Der menschliche Lebenslauf als psychologisches Problem*. Leipzig: Hirzel.
- Bühner, M. (2004). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson.
- Bührle, M. (1985). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In M. Bührle (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 83-111). Schorndorf: Hofmann.
- Burkett, L. N., Fernhall, B. & Walters, S. C. (1985). Physiologic effects of distance running training on teenage females. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56 (3), 215-220.
- Burmester, G.-R. (2004). *Taschenatlas der Immunologie. Grundlagen, Labor, Klinik* (2. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Buskirk, E. R. & Hodgson, J. L. (1987). Age and aerobic power: the rate of change in men and women. *Federation Proceedings*, 46, 1824-1829.
- Cairns, R. B., Elder, G. H., Jr. & Costello E. J. (2001). *Developmental Science*. Cambridge: University Press.

- Cannon, W. B. (1932). *The Wisdom of the Body*. New York: Norton.
- Carl, K. (2003). Training. In P. Röthig & R. Prohl (Ltg.), *Sportwissenschaftliches Lexikon* (7., völlig neu bearbeitete Aufl., S. 606-607). Schorndorf: Hofmann.
- Carpinelli, R. N. & Otto, R. M. (1998). Strength training. Single versus multiple sets. *Sports Medicine*, 26 (2), 73-84.
- Carroll, J. F., Convertino, V. A., Wood, C. E., Graves, J. E., Lowenthal, D. T. & Pollock, M. L. (1995). Effect of training on blood volume and plasma hormone concentrations in the elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (1), 79-84.
- Carter, H., Jones, M. J. & Doust, J. H. (1999). Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. *Journal of Sports Sciences*, 17, 957-967.
- Chen, J. D. & Bouchard, C. (1986). Discussion from the session: sex differences in metabolic adaptation to exercise. In B. Saltin (Ed.), *Biochemistry of Exercise* (pp 227-238). Champaign: Human Kinetics.
- Cleuziou, C., Perrey, S., Borrani, R., Lecoq, A. M., Candau, R., Courteix, D. & Obert, P. (2004). Dynamic responses of oxygen uptake at the onset and end of moderate and heavy exercise in trained subjects. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29 (1), 32-44.
- Cocking, R. R. (1986). The environment in early experience research: directions for applied developmental investigations. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 7 (2), 95-99.
- Coggan, A. R., Spina, R. J., King, D. S., Rogers, M. A., Brown, M., Nemeth, P. M. & Holloszy, J. O. (1992). Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-year-old men and women. *Journal of Applied Physiology*, 72 (5), 1780-1786.
- Cohen, J. (1968). Weighted Kappa: nominal scale agreement with provision for scaled disagreement of partial credit. *Psychological Bulletin*, 70, 213-220.
- Convertino, V., Hung, J., Goldwater, D. & DeBusk, R. (1982). Cardiovascular responses to exercise in middle-aged men after 10 days of bedrest. *Circulation*, 65, 134-140.
- Conzelmann, A. (1994). Entwicklung der Ausdauer. In J. Baur, K. Bös & R. Singer (Hrsg.), *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (S. 151-180). Schorndorf: Hofmann.
- Conzelmann, A. (1997). *Entwicklung konditioneller Fähigkeiten im Erwachsenenalter*. Schorndorf: Hofmann.
- Conzelmann, A. (1999). Plastizität – eine zentrale Leitorientierung des Forschungsprogrammes „Motorische Entwicklung in der Lebensspanne“. *Psychologie und Sport*, 6 (3), 76-89.
- Conzelmann, A. (2001). *Sport und Persönlichkeitsentwicklung. Möglichkeiten und Grenzen von Lebenslaufanalysen*. Schorndorf: Hofmann.
- Conzelmann, A. (2002). Modelle sensibler Phasen als Leitkonzepte für ein entwicklungsgemäßes Training im Kindes- und Jugendalter? In A. Hohmann, D. Wick & K. Claus (Hrsg.), *Talent im Sport* (S. 77-85). Schorndorf: Hofmann.
- Cook, T. D. & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: design & analysis issues for field settings*. Chicago: Rand McNally.
- Cook, T. D. & Leviton, L. (1980). Reviewing the literature. A comparison of traditional methods with meta-analysis. *Journal of Personality*, 48, 449-472.
- Cooper, H. M. & Arkin, R. M. (1981). On quantitative reviewing. *Journal of Personality*, 49, 225-230.
- Cooper, H. M. & Hedges, L. V. (Eds.) (1994). *The Handbook of Research Synthesis*. New York: Russell Sage Foundation.
- Cowan, M. M. & Gregory, L. W. (1985). Responses of pre- and post-menopausal females to aerobic conditioning. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17 (1), 138-143.

- Cress, M. E., Thomas, D. P., Johnson, J., Kasch, F. W., Cassens, R. G., Smith, E. L. & Agre, J. C. (1991). Effect of training on VO_{2max} , thigh strength, and muscle morphology in septuagenarian women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (6), 752-758.
- Cunningham, D. A., Rechnitzer, P. A., Howard, J. H. & Donner, A. P. (1987). Exercise training of men at retirement: a clinical trial. *Journal of Gerontology*, 42 (1), 17-23.
- Dandekar, T. (2004). Molekular- und evolutionsbiologische Aspekte des Alterns. In A. Kruse & M. Martin (Hrsg.), *Enzyklopädie der Gerontologie. Alternsprozesse in multidisziplinärer Sicht* (S. 151-166). Bern: Huber.
- Davies, C. T. M. & Knibbs, A. V. (1971). The training stimulus. The effects of intensity, duration and frequency of effort on maximum aerobic power output. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 29, 299-305.
- Denis, C., Chatard, J.-C., Dormois, D., Linossier, M.-T., Geysant, A. & Lacour, J.-R. (1986). Effects of endurance training on capillary supply of human skeletal muscle on two age groups (20 and 60 years). *Journal de Physiologie*, 81, 379-383.
- Denis, C., Dormois, D. & Lacour, J. R. (1984). Endurance training, VO_{2max} , and OBLA: a longitudinal study of two different age groups. *International Journal of Sports Medicine*, 5, 167-173.
- Dickhuth, H.-H. (2000). *Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin*. Schorndorf: Hofmann.
- Dieckert, J. & Ahlert, G. (2002). *Handbuch Freizeitsport*. Schorndorf: Hofmann.
- Ding-Greiner, C. & Lang, E. (2004). Alternsprozesse und Krankheitsprozesse – Grundlagen. In A. Kruse & M. Martin (Hrsg.), *Enzyklopädie der Gerontologie. Alternsprozesse in multidisziplinärer Sicht* (S. 182-206). Bern: Huber.
- Dionne, F. T., Turcotte, L., Thibault, M.-C., Boulay, M. R., Skinner, J. S. & Bouchard, C. (1991). Mitochondrial DNA sequence polymorphism, VO_{2max} , and response to endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (2), 177-185.
- Dons, B., Bollerup, K., Bonde-Petersen, F. & Hancke, S. (1979). The effect of weight-lifting exercise related to muscle fiber composition and muscle cross-sectional area in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 40, 95-106.
- Drinkwater, B. (1989). Das Training weiblicher Athleten. In D. H. G. Knuttgen & K. Tittel, (Hrsg.), *Olympia Buch der Sportmedizin* (S. 265-278). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Duncan, G. E., Howley, E. T. & Johnson, B. N. (1997). Applicability of VO_{2max} criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (2), 273-278.
- Dunn, L. C. (1991). *A short history of genetics: the development of some of the main lines of thought, 1864-1939*. New York: McGraw-Hill.
- Eberspächer, H. (Hrsg.). (1992). *Handlexikon Sportwissenschaft*. Hamburg: Rororo.
- Ehrsam, R. (1997). Training und Trainierbarkeit der aeroben Kapazität im Alter. *Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“*, 45 (2), 75-82.
- Ehsani, A. A., Ogawa, T., Miller, T. R., Spina, R. J. & Jilka, S. M. (1991). Exercise training improves left ventricular systolic function in older men. *Circulation*, 83, 96-103.
- Eisele, R., Köllmann, F., Hutsteiner, H. & Simon, G. (1996). Sauerstoffaufnahme während Fahrrad- und Laufbandergometrie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 47 (2), 54-60.
- Ellestad, M. (1996). Chronotropic incompetence. *Circulation*, 93, 1495-1497.
- Emden, B. & Habs, H. (1927). Über chemische und biologische Veränderungen der Muskulatur nach öfter wiederholter faradischer Reizung. *Zeitschrift für physiologische Chemie*, 171, 17-39.
- Engelhardt, M. & Neumann, G. (1994). *Sportmedizin*. München: BLV.

- Erdfelder, E. & Bredenkamp, J. (1994). Hypothesenprüfung. In T. Herrmann & W. H. Tack (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich B Methodologie und Methoden. Serie I Forschungsmethoden der Psychologie. Band 1 Methodologische Grundlagen der Psychologie* (S. 604-648). Göttingen: Hogrefe.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T. & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100 (3), 363-406.
- Faigenbaum, A. D., Oud, R. L., O'Connell, S. G., O'Connell, J. & Westcott, W. L. (2001). Effects of different resistance training protocols on upper-body strength and endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (4), 459-465.
- Faigenbaum, A. D., Westcott, W. L., Micheli, L. J., Outerbridge, A. R., Long, C. J., LaRosa-Loud, R. & Zaichkowsky, L. D. (1996). The effects of strength training and detraining on children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (2), 109-114.
- Falk, B. & Tenenbaum, G. (1996). The effectiveness of resistance training in children. A meta-analysis. *Sports Medicine*, 22 (3), 176-186.
- Fenster, P. S., Freedson, P. S., Washburn, R. A. & Ellison, R. C. (1989). The relationship between peak oxygen uptake and physical activity in 6-to 8-year-old children. *Pediatric Exercise Science*, 1, 127-136.
- Fatarone, M. A., Marks, E. C., Ryan, N. D., Meredith, C. N., Lipsitz, L. A. & Evans, W. J. (1990). High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *The Journal of American Medical Association*, 263 (22), 3029-3034.
- Fitzgerald, M. D., Tanaka, H., Tran, Z. V. & Seals, D. R. (1997). Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*, 83 (1), 160-165.
- Flammer, A. (2003). *Entwicklungstheorien. Psychologische Theorien der menschlichen Entwicklung* (3., korrigierte Aufl.). Bern: Huber.
- Flammer, A. & Schmid, H. (1982). Lerntests: Konzept, Realisierungen, Bewährung. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie und ihre Anwendung*, 41, 114-138.
- Fleg, J. L. (1994). Aging changes in cardiovascular fitness: current research approaches. In S. Harris, H. Suominen, P. Era & W. S. Harris (Eds.), *Toward Healthy Aging – International Perspectives, Part 1 Physiological and Biomedical Aspects, Volume III Physical Activity, Aging and Sports* (pp 3-14). Albany: Center for the Study of Aging.
- Foster, V. L., Hume, J. E. G., Byrnes, W. C., Dickinson, A. L. & Chatfield, S. J. (1989). Endurance training for elderly women: moderate vs. low intensity. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 44 (6), M184-188.
- Fowler, W. (1983). *Potentials of Childhood, Vol. I*. Lexington: Lexington Books.
- Frederiksen, H. & Christensen, K. (2003). The influence of genetic factors on physical functioning and exercise in second half of life. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13, 9-18.
- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (1995). *Einführung in die Trainingslehre. Teil 2: Anwendungsfelder*. Schorndorf: Hofmann.
- Frey, G. & Hildenbrandt, E. (2002). *Einführung in die Trainingslehre. Teil 1: Grundlagen*. (2., erweiterte und überarbeitete Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Frick, U., Reis, E. & Schmidtbleicher, D. (1995). Frequency variations of strength training sessions triggered by the phases of the menstrual cycle. *International Journal of Sports Medicine*, 16 (8), 545-550.
- Fugl-Meyer, A. R., Eriksson, A., Sjöström, M. & Söderström, G. (1982). Is muscle structure influenced by genetical or functional factors? *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 227-281.
- Gabler, H. (2002). *Motive im Sport*. Schorndorf: Hofmann.
- Gadenne, V. (1994). Theorien. In T. Herrmann & W. H. Tack (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich B Methodologie und Methoden. Serie I Forschungsmethoden*

- der Psychologie. Band 1 Methodologische Grundlagen der Psychologie* (S. 295-342). Göttingen: Hogrefe.
- Gariépy, J.-L. (2001). The question of continuity and change in development. In R. B. Cairns, G. H. Elder, Jr. & E. J. Costello (Eds.), *Developmental Science* (S. 78-96). Cambridge: University Press.
- Geese, R. (1997). Motorische Leistungsfähigkeit und Trainierbarkeit in der zweiten Lebenshälfte. *Leipziger sportwissenschaftliche Beiträge*, 38 (2), 33-46.
- Geulen, D. (1987). Zur Integration von entwicklungspsychologischer Theorie und empirischer Sozialisationsforschung. *Zeitschrift für Sozialisationsforschung und Erziehungssoziologie*, 7, 2-25.
- Glass, G. V. (1976). Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5, 3-8.
- Glass, G. V., McGaw, B. & Smith, M. L. (1981). *Meta-Analysis in Social Research*. Beverly Hills: Sage.
- Gleser, L. J. & Olkin, I. (1994). Stochastically dependent effect sizes. In H. Cooper & L. V. Hedges (Eds.), *The Handbook of Research Synthesis* (pp 339-355). New York: Russell Sage Foundation.
- Göhner, U. (1992). *Einführung in die Bewegungslehre des Sports. Teil 1: Die sportlichen Bewegungen*. Schorndorf: Hofmann.
- Göhner, U. (1999). *Einführung in die Bewegungslehre des Sports. Teil 2: Bewegelerlehre des Sports*. Schorndorf: Hofmann
- Golden, H. P. & Vaccaro, P. (1984). The effects of endurance training intensity on the anaerobic threshold. *Journal of Sports Medicine*, 24, 205-211.
- Gollin, E. S. (1981). *Developmental Plasticity. Behavioral and Biological Aspects of Variations in Development*. New York: Academic Press.
- Gossard, D., Haskell, W. L., Taylor, C. B., Mueller, J. K., Rogers, F., Chandler, M., Ahn, D., Miller, N. H. & DeBusk, R. F. (1986). Effects of low- and high-intensity home based exercise training on functional capacity in healthy middle-aged men. *American Journal of Cardiology*, 57, 446-449.
- Gottlieb, G. (1976). *Neural and Behavioral Specificity*. New York: Academic Press.
- Gottlieb, G. (2002). *Individual Development & Evolution*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Govindasamy, D., Paterson, D. H., Poulin, M. J. & Cunningham, D. A. (1992). Cardiorespiratory adaptation with short term training in older men. *European Journal of Applied Physiology*, 65, 203-208.
- Green, H. J., Jones, S., Ball-Burnett, M. E., Smith, D., Livesey, J. & Farrance, B. W. (1991). Early muscular and metabolic adaptations to prolonged exercise training in humans. *Journal of Applied Physiology*, 70 (5), 2032-2038.
- Green, J. S. & Crouse, S. F. (1995). The effects of endurance training on functional capacity in the elderly: a meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (6), 920-926.
- Greenhouse, J. B. & Iyengar, S. (1994). Sensitivity analysis and diagnostics. In H. Cooper & L. V. Hedges (Eds.), *The Handbook of Research Synthesis* (pp 383-398). New York: Russell Sage Foundation.
- Greenwald, S. & Russell, R. L. (1991). Assessing rationales for inclusiveness in meta-analytic samples. *Psychotherapy Research*, 1 (1), 17-24.
- Grosser, M. (1988). *Training der konditionellen Fähigkeiten*. Schorndorf: Hofmann.
- Grosser, M. & Neumaier, A. (1988). *Kontrollverfahren zur Leistungsoptimierung*. Schorndorf: Hofmann.

- Grosser, M. & Zintl, F. (1994). *Training der konditionellen Fähigkeiten* (2., verbesserte und erweiterte Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Grupe, O. (2000). *Vom Sinn des Sports. Kulturelle, pädagogische und ethische Aspekte*. Schorndorf: Hofmann.
- Guilford, J. P. (1956). The structure of intellect. *Psychological Bulletin*, 53, 267-293.
- Gundlach, H. (1968). Systembeziehungen körperlicher Fähigkeiten und Fertigkeiten. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 17 (2), 654-665.
- Guthke, J., Beckmann, J. F. & Wiedl, K. H. (2003). Dynamik im dynamischen Testen. *Psychologische Rundschau*, 54 (4), 225-232.
- Guthke, J. & Wiedl, K. H. (1996). *Dynamisches Testen. Zur Psychodiagnostik der intraindividuellen Variabilität*. Göttingen: Hogrefe.
- Guzzo, R. A., Jackson, S. E. & Katzell, R. A. (1986). Meta-analysis analysis. In L. L. Cummings & B. W. Staw (Eds.), *Research in Organizational Behavior* (Vol. 9). Greenwich: JAI Press.
- Häcker, H. O. & Stapf, K.-H. (2004). *Dorsch. Psychologisches Wörterbuch*. Bern: Huber.
- Hagberg, J. M., Graves, J. E., Limacher, M., Woods, D. R., Leggett, S. H., Cononie, C., Gruber, J. J. & Pollock M. L. (1989). Cardiovascular responses of 70- to 79-yr-old men and women to exercise training. *Journal of Applied Physiology*, 66 (6), 2589-2594.
- Hartmann, C. & Winter, R. (2004). Die motorische Entwicklung (Ontogenese) des Menschen von der Geburt bis ins hohe Alter (Überblick). In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre – Sportmotorik* (10., durchgesehene und aktualisierte Aufl., S. 237-349). München: Südwest-Verlag.
- Hawkins, S. A., Marcell, T. J., Jaque, S. V. & Wiswell, R. A. (2001). A longitudinal assessment of change in VO_{2max} and maximal heart rate in master athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (10), 1744-1750.
- Heath, G. W., Hagberg, M., Ehsani, A. A. & Holloszy, J. O. (1981). A physiological comparison of young and older endurance athletes. *Journal of Applied Physiology*, 51 (3), 634-640.
- Heck, H. (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Schorndorf: Hofmann.
- Heckhausen, H. (1987). „Interdisziplinäre Forschung“ zwischen Intra-, Multi- und Chimären-Disziplinarität. In J. Kocka (Hrsg.), *Interdisziplinarität. Praxis – Herausforderung – Ideologie* (S. 7-145). Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Hedges, L. V. & Olkin, I. (1985). *Statistical Methods for Meta-Analysis*. San Diego: Academic Press.
- Henritze, J., Weltman, A., Schurrer, R. L. & Barlow, K. (1985). Effects of training at and above the lactate threshold on the lactate threshold and maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, 54, 84-88.
- Hettinger, T. (1958). Die Trainierbarkeit menschlicher Muskeln in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. *Zeitschrift für angewandte Physiologie*, 17, 371-377.
- Hettinger, T. (1983). *Isometrisches Muskeltraining* (5., überarbeitete und erweiterte Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Hickson, R. C., Bomze, H. A. & Holloszy, J. O. (1977). Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 42 (3), 372-376.
- Hildebrandt, G. & Hensel, H. (1982). Preface. In G. Hildebrandt & H. Hensel (Eds.), *Biological Adaptation: International Symposium Marburg/Lahn* (pp III-IV). Stuttgart: Thieme.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.

- Hollmann, W. (1986). Die Belastbarkeit und Trainierbarkeit der Haltungs- und Bewegungsorgane in den verschiedenen Alters- und Entwicklungsstufen. In L. Prokop (Hrsg.), *Kinder-Sportmedizin* (S. 19-42). Stuttgart: Fischer-Verlag.
- Hollmann, W. & Arndt, K.-H. (1995). *Lexikon der Sportmedizin*. Heidelberg: Barth.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin. Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin* (4., völlig neu bearbeitete u. erweiterte Aufl.). Stuttgart: Schattauer.
- Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr. & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (9), 1292-1301.
- Hunter, J. E. & Schmidt, F. L. (1990). *Methods of Meta-Analysis. Correcting Error and Bias in Research Findings*. Newbury Park: Sage.
- Hurley, B. F., Hagberg, J. M., Allen, W. K., Seals, D. R., Young, J. C., Cuddihee, R. W. & Holloszy, J. O. (1984). Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 56 (5), 1260-1264.
- Hurrelmann, K. (2002). *Einführung in die Sozialisationstheorie* (8., vollständig überarbeitete Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Israel, S. (1978). Zum Begriff der körperlichen Leistungsfähigkeit. *Medizin und Sport*, 15 (1), 1-7.
- Israel, S. (1979). Die organismischen Grundlagen der geschlechtsspezifischen sportlichen Leistungsfähigkeit. *Medizin und Sport*, 19 (7), 194-205.
- Israel, S. (1992). Leistungsvoraussetzungen der Frau im Sport. In H. J. Medau & P. E. Nowacki (Hrsg.), *Frau und Sport IV. Die Olympischen Disziplinen der Frau im Sport* (S. 21-36). Spitta: Perimed.
- Israel, S. (1994). Die Auswirkungen eines Krafttrainings in Abhängigkeit von Lebensalter und Gesundheitszustand. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnelkraft im Sport* (S. 315-323). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Israel, S. (1999). Prinzipien der bewegungsbedingten körperlichen Adaptation. In G. Badtke (Hrsg.), *Lehrbuch der Sportmedizin* (4., neubearbeitete Aufl., S. 1-8). Heidelberg: Barth.
- Israel, S. & Pahlke, H. (1981). Zur Problematik geschlechtsspezifischer Leistungsvoraussetzungen und ihrer Trainierbarkeit vor der Pubertät. *Körpererziehung*, 31 (7), 305-316.
- Israel, S. & Weidner, A. (1988). *Körperliche Aktivität und Altern*. Leipzig: Barth.
- Itoh, M., Itoh, K., Yagi, T. & Maeda, K. (1978). Effects of physical training on the aerobic power of the middle and old aged. In F. Landry & W. A. R. Orban (Eds.), *Exercise Physiology: Proceedings of the International Congress of Physical Activity Sciences, Vol. 4* (pp 445-455). Quebec: Symposia Specialists.
- Jackson, G. B. (1980). Methods for integrative reviews. *Review of Educational Research*, 50, 438-460.
- Jäger, O. A. (1967). *Dimensionen der Intelligenz*. Göttingen: Hogrefe.
- Jakowlew, N. N. (1972). Die Bedeutung einer Störung der Homöostase für die Effektivität des Trainingsprozesses. *Medizin und Sport*, 12 (12), 367-373.
- Jakowlew, N. N. (1977). *Sportbiochemie*. Leipzig: Barth.
- Jetté, M., Sidney, K. & Campbell, J. (1988). Effects of a twelve-week walking programme on maximal and submaximal work output indices in sedentary middle-aged men and women. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 28 (1), 59-66.
- Jonath, U. (Hrsg.). (1986). *Lexikon Trainingslehre*. Hamburg: Rororo.
- Jones, A. M. (1998). A five year physiological case study of an olympic runner. *British Journal of Sports Medicine*, 32, 39-43.

- Kaminski, T. W., Wabbersen, C. V. & Murphy, R. M. (1998). Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *Journal of Athletic Training*, 33 (3), 216-221.
- Kasch, F. W. (1981). Physiological changes with swimming and running during two years of training. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 3 (1), 23-26.
- Kasch, F. W., Boyer, J. L., Camp, S. P. van, Nettel, F., Verity, L. S. & Wallace, J. P. (1995). Cardiovascular changes with age and exercise. A 28-year longitudinal study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5, 147-151.
- Kasch, F. W., Boyer, J. L., Camp, S. P. van, Verity, L. S. & Wallace, J. P. (1990). The effect of physical activity and inactivity on aerobic power in older men (a longitudinal study). *The Physician and Sports Medicine*, 18 (4), 73-83.
- Kasch, F. W., Boyer, J. L., Schmidt, P. K., Russell, H. W., Wallace, J. P., Verity, L. S., Guy, H. & Schneider, D. (1999). Ageing of the cardiovascular system during 33 years of aerobic exercise. *Age and Ageing*, 28, 531-536.
- Kasch, F. W. & Kulberg, J. (1981). Physiological variables during 15 years of endurance exercise. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 3 (2), 59-62.
- Kasch, F. W. & Wallace, J. P. (1976). Physiological variables during 10 years of endurance exercise. *Medicine and Science in Sports*, 8 (1), 5-8.
- Kasch, F. W., Wallace, J. P. & Camp, S. P. van (1985). Effects of 18 years of endurance exercise on the physical work capacity of older men. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, 5, 308-312.
- Kasch, F. W., Wallace, J. P., Camp, S. P. van & Verity, L. (1988). A longitudinal study of cardiovascular stability in active men aged 45 to 65 years. *The Physician and Sports Medicine*, 16 (1), 117-128.
- Katzel, L. I., Sorokin, J. D. & Fleg, J. L. (2001). A comparison of longitudinal changes in aerobic fitness in older endurance athletes and sedentary men. *Journal of the American Geriatrics Society*, 49, 1657-1664.
- Kent, M. (Hrsg.). (1996). *Wörterbuch Sport und Sportmedizin*. Wiesbaden: Limpert.
- Kent, M. (Ed.). (2004). *The Oxford Dictionary of Sports Science and Medicine* (2nd ed., reprinted). Oxford: Oxford University Press.
- Kindermann, W., Meyer, T. & Urhausen, H. (2001). Aerobe Leistungsdiagnostik – Konzepte und Praxisrelevanz. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52, S7-8 (B-HV-049), S24.
- Kindermann, W., Simon, G. & Keul, J. (1978). Dauertraining – Ermittlung der optimalen Trainingsherzfrequenz und Leistungsfähigkeit. *Leistungssport*, 8 (1), 34-39.
- Klauer, K. J. (1993). Learning potential testing: the effect of retesting. In J. H. Hamers, A. J. Ruijsenaars & K. Sijtsma (Eds.), *Learning Potential Assessment. Theoretical, Methodological and Practical Issues* (pp 135-152). Amsterdam: Swets & Zeitlinger BV.
- Klissouras, V. (1971). Heritability of adaptive variation. *Journal of Applied Physiology*, 31 (3), 338-344.
- Klissouras, V. (1997). Heritability of adaptive variation: an old problem revisited. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37, 1-6.
- Koch, G. & Fransson, L. (1986). Essential cardiovascular and respiratory determinants of physical performance at age 12 to 17 years during intensive physical training. In J. Rutenfranz, R. Mocellin & F. Klimt. (Eds.), *Children and Exercise XII, Vol. 7* (pp 275-292). Champaign: Human Kinetics.
- Kohrt, W. M., Malley, M. T., Coggan, A. R., Spina, R. J., Ogawa, T., Ehsani, A. A., Bourey, R. E., Martin III, W. H. & Holloszy, J. O. (1991). Effects of gender, age, and fitness level on response of VO_{2max} to training in 60-71 yr olds. *Journal of Applied Physiology*, 71 (5), 2004-2011.
- Koinzer, K. (1979). Die Berücksichtigung der geschlechtsdifferenzierten Entwicklung im Sportunterricht I u. II. *Körpererziehung*, 29, 11-18; 83-88.

- Konnych, V. N. (1955). Die Entwicklung der Muskelkraft bei Gewichthebern im ersten Stadium von Unterricht und Training. *Arbeit des Instituts für Körperkultur „Lenin“*, 9, 83.
- Korkushko, O. V. & Yaroshenko, Y. T. (1994). Functional reserve of the cardiovascular system in elderly trained men. In S. Harris, H. Suominen, P. Era & W. S. Harris (Eds.), *Toward Healthy Aging – International Perspectives, Part 1 Physiological and Biomedical Aspects, Volume III Physical Activity, Aging and Sports* (pp 55-67). Albany: Center for the Study of Aging.
- Kuroda, Y. (1989). Aufrechterhaltung der körperlichen Fitneß. In A. Dirix, H. G. Knuttgen & K. Tittel (Hrsg.), *Olympia Buch der Sportmedizin* (S. 281-288). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Lamb, D. R. (1978). *Physiology of Exercise*. New York: MacMillan.
- Lamnek, S. (2005). *Qualitative Sozialforschung* (4., vollständig überarbeitete Aufl.). Beltz: Weinheim.
- Laukkanen, R. M. T., Kukkonen-Harjula, T. K., Oja, P., Pasanen, M. E. & Vuori, I. M. (1999). Prediction of change in maximal aerobic power by the 2-km walk test after walking training in middle-aged adults. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 113-116.
- Lehr, U. (2000). *Psychologie des Alterns*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- LeMura, L. M., Duvillard, S. P. von, Hadduck, S. & Carlonas, R. L. (1998). Endurance training and VO_{2max} in children: a meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (5) Supl., 152.
- LeMura, L. M., Duvillard, S. P. von & Mookerjee, S. (2000). The effects of physical training of functional capacity in adults. Ages 46 to 90: a meta-analysis. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40, 1-10.
- Lerner, R. M. (1984). *On the Nature of Human Plasticity*. Cambridge: University Press.
- Lerner, R. M. (2002). *Concepts and Theories of Human Development* (3rd ed.). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Letzelter, M. (1987). Das Quantitätsgesetz des sportlichen Trainings im Sportunterricht: Die Abhängigkeit der Leistungsfortschritte vom Ausgangsniveau. *Sportunterricht*, 36 (2), 45-54.
- Letzelter, M. (1994). *Trainingsgrundlagen. Training Technik Taktik*. Reinbek: Rororo.
- Letzelter, H. & Letzelter, M. (1986). *Krafttraining. Theorie – Methoden – Praxis*. Reinbek: Rororo.
- Leviton, L. C. & Cook, T. D. (1981). What differentiates meta-analysis from other forms of review. *Journal of Personality*, 49, 231-236.
- Levy, W. C., Cerqueira, M. D., Abrass, I. B., Schwartz, R. S. & Stratton, J. R. (1993). Endurance exercise training augments diastolic filling at rest and during exercise in healthy young and older men. *Circulation*, 88, 116-126.
- Lexell, J. (1997). Effects of physical exercise and training on skeletal muscle function in old age. In G. Huber (Ed.), *Healthy Aging. Activity and Sports* (pp 98-103). Werbach-Gamburg: Verlag für Gesundheitsförderung.
- Lieber, D. C., Lieber, R. & Adams, W. C. (1989). Effects of run-training and swim-training at similar absolute intensities on treadmill VO_{2max} . *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21 (6), 655-661.
- Liemohn, W. P. (1975). Strength and aging: an Exploratory study. *International Journal of Aging and Human Development*, 6 (4), 347-357.
- Lipsey, M. W. & Wilson, D. B. (2001). *Practical Meta-Analysis*. Thousands Oaks: Sage.
- Löllgen, H. (2000). *Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik*. Nürnberg: Novartis.
- Londeree, B. R. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (6), 837-843.

- Lorenz, R., Hausdorf, J., Jeschke, D. & Tusker, F. (1995). Wirkung von isometrischen Maximalkraftbelastungen mit unterschiedlicher Pausendauer und Wiederholungszahl auf den Muskel. In K. Carl, H. Mechling, K. Quade & P. Stehle (Hrsg.), *Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung* (S. 126-142). Köln: Sport und Buch Strauss.
- Lösel, F., Köferl, P. & Weber, F. (1987). *Meta-Evaluation der Sozialtherapie. Qualitative und quantitative Analysen zur Behandlungsforschung in sozial-therapeutischen Anstalten des Justizvollzugs*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
- Lübs, E. D. (1984). Untersuchungen zur Trainierbarkeit des kardiopulmonalen Systems im höheren Lebensalter. *Therapiewoche*, 34 (25), 3904-3907.
- MacDonald, K. (1986). Early experience, relative plasticity, and cognitive development. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 7 (2), 101-124.
- Mader, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41 (2), 40-58.
- Mader, A. & Ullmer, S. (1995). Biologische Grundlagen der Trainingsanpassungen und der Bezug zu den Begriffen Gesundheit, Fitneß und Alter. In W. Schlicht & P. Schwenkmezger (Hrsg.), *Gesundheitsverhalten und Bewegung* (S. 35-50). Schorndorf: Hofmann.
- Mahon, A. D. & Vaccaro, P. (1989). Ventilatory threshold and VO_{2max} changes in children following endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21 (4), 425-431.
- Mahon, A. D. & Vaccaro, P. (1994). Cardiovascular adaptations in 8- to 12-year-old boys following a 14-week running program. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19 (2), 139-150.
- Malbut, K. E., Dinan, S. & Young, A. (2002). Aerobic training in the 'oldest old': the effect of 24 weeks of training. *Age and Ageing*, 31, 255-260.
- Mandigout, S., Melin, A., Lecoq, A. M., Courteix, D. & Obert, P. (2002). Effect of two aerobic training regimens on the cardiorespiratory response of prepubertal boys and girls. *Acta Paediatrica*, 91, 403-408.
- Manning, R. J., Graves, J. E., Carpenter, D. M., Leggett, S. H. & Pollock, M. L. (1990). Constant vs. variable resistance knee extension training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22 (3), 397-401.
- Marti, B. & Howald, H. (1990). Long-term effects of physical training on aerobic capacity: controlled study of former elite athletes. *Journal of Applied Physiology*, 69 (4), 1451-1459.
- Martin, D. E., Vroon, D. H., May, D. F. & Pilbeam, S. P. (1986). Physiological changes in elite male distance runners training. *The Physician and Sportsmedicine*, 14 (1), 152-171.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre* (3., unveränderte Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Martin, D., Nicolaus, J., Ostrowski, C. & Rost, K. (1999). *Handbuch Kinder- und Jugendtraining*. Schorndorf: Hofmann.
- Massicotte, D. & Avon, G. (1981). Effects of training intensity on cardiac output in young women. *Medicine Sport*, 14, 148-154.
- Maud, P. J., Pollock, M. L., Foster, C., Anholm, J. D., Guten, G., Al-Nouri, M., Hellman, C. & Schmidt, D. H. (1981). Fifty years of training and competition in the marathon: Wally Hayward, age 70 – a physiological profile. *South African Medical Journal*, 31 (1), 153-157.
- McCarthy, J. P., Agre, J. C., Graf, B. K., Pozniak, M. A. & Vailas, A. C. (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (3), 429-436.

- McCartney, N., McKelvie, R. S., Martin, J., Sale, D. G. & MacDougall J. D. (1993). Weight-training-induced attenuation of the circulatory response of older males to weight lifting. *Journal of Applied Physiology*, 74 (3), 1056-1060.
- McDonagh, M. J. N. & Davies, C. T. M. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *European Journal of Applied Physiology*, 52, 139-155.
- Medau, H. J. & Nowacki, P. E. (Hrsg.). (1985). *Frau und Sport II. Leistungsmerkmale der Frau – Leistungsunterschiede zum Mann*. Erlangen: Perimed.
- Meerson, F. S. (1969). *Hyperfunktion, Hypertrophie und Insuffizienz des Herzens*. Berlin: Volk und Gesundheit.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2004). *Bewegungslehre – Sportmotorik* (10., durchgesehene und aktualisierte Aufl.). München: Südwest-Verlag.
- Meissner-Pöthig, D. (1988). Entwicklungsdiagnostik – ein gerontologisches Problem? *Zeitschrift Alternsforschung*, 43 (6), 341-358.
- Melanson, E. L., Freedson, P. S. & Jungbluth, S. (1996). Changes in VO_{2max} and maximal treadmill time after 9wk of running or in-line skate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (11), 1422-1426.
- Meredith, C. N., Frontera, W. R., Fisher, E. C., Hughes, V. A., Herland, J. C., Edwards, J. & Evans, W. J. (1989). Peripheral effects of endurance training in young and old subjects. *Journal of Applied Physiology*, 66 (6), 2844-2849.
- Mester, J. & Perl, J. (2000). Grenzen der Anpassungs- und Leistungsfähigkeit des Menschen aus systemischer Sicht. *Leistungssport*, 30 (1), 43-51.
- Meyer, T. & Kindermann, W. (1999). Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (9), 285-286.
- Meyer, T., Gabriel, H. H. W. & Kindermann, W. (1999). Is determination of exercise intensities as percentages of VO_{2max} or HR_{max} adequate? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (9), 1342-1345.
- Mier, C. M., Turner, M. J., Ehsani, A. A. & Spina, R. (1997). Cardiovascular adaptations to 10 days of cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 83 (6), 1900-1906.
- Montada, L. (2002). Kapitel I: Fragen, Konzepte, Perspektiven. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (5., vollständig überarbeitete Aufl., S. 3-53). Weinheim: Beltz.
- Montgomery, H. E., Marshall, R., Hemingway, H., Myerson, S., Clarkson, P., Dollery, C., Hayward, M., Holliman, D. E., Jubb, M., World, M., Thomas, E. L., Brynes, A. E., Saeed, N., Barnard, M., Bell, J. D., Prasad, K., Rayson, M., Talmud, P. J. & Humphries, S. E. (1998). Human gene for physical performance. *Nature*, 393, 221-222.
- Moritani, T. & deVries, H. A. (1980). Potential for gross muscle hypertrophy in older men. *Journal of Gerontology*, 35 (5), 672-682.
- Morris, N., Gass, G., Thompson, M., Bennett, G., Basic, D. & Hugh, M. (2002). Rate and amplitude of adaptation to intermittent and continuous exercise in older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (3), 417-477.
- Morris, S. B. & DeShon, R. P. (2002). Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs. *Psychological Methods*, 7 (1), 105-125.
- Müller, W. A. (2003). *Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie von Mensch und Tieren. Ein einführendes Lehrbuch* (3., vollständig überarbeitete und stark erweiterte Aufl.). Berlin: Springer.
- Murakami, H., Ota, A., Simojo, H., Okada, J., Ajisaka, R. & Kuno, S. (2002). Polymorphisms in control region of mtDNA relates to individual differences in endurance capacity of trainability. *Japanese Journal of Physiology*, 52, 247-256.

- Murase, Y., Kobayashi, K., Kamei, S. & Matsui, H. (1981). Longitudinal study of aerobic power in superior junior athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13 (3), 180-184.
- Murphy, M. H. & Hardman, A. E. (1998). Training effects of short and long bouts of brisk walking in sedentary women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (1), 152-157.
- Nagel, M. (2003). *Soziale Ungleichheiten im Sport*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Neumann, G. (1993). Zum zeitlichen Ablauf der Anpassung beim Ausdauertraining. *Leistungssport*, 23 (5), 9-14.
- Oerter, R. & Montada, L. (2002). *Entwicklungspsychologie* (5., vollständig überarbeitete Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Okonek, C. (2000). *Längsschnittdatenanalysen und Kausalmodelle zur sportlichen Leistungsentwicklung im Erwachsenenalter*. Unveröffentlichte Habilitationsschrift Universität Bonn.
- Okonek, C. (2003). Biologische Alternstheorien und körperliche Leistungsfähigkeit. In H. Denk, D. Pache & H.-J. Schaller (Hrsg.), *Handbuch Alterssport* (S. 106-110). Schorndorf: Hofmann.
- Olivier, N. (2001). Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfs. *Sportwissenschaft*, 31 (4), 437-453.
- Opaschowski, H. W. (1998). *Leben zwischen Muß und Muße*. Hamburg: German Press.
- Örlander, J., Kiessling, K.-H., Karlsson, J. & Ekblom, B. (1977). Low intensity training, inactivity and resumed training in sedentary men. *Acta Physiologica Scandinavica*, 101, 351-362.
- Oschütz, H. & Belinová, K. (2003). Training im Alter. In H. Denk, D. Pache & H.-J. Schaller (Hrsg.), *Handbuch Alterssport* (S. 147-196). Schorndorf: Hofmann.
- Osório, L. & Portela, C. (1996). *Aerobe und anaerobe Ausdauer bei Kindern und Jugendlichen. Sportphysiologische und sportmedizinische Befunde und ihre Bedeutung für die Trainingspraxis*. Butzbach-Griedel: Afra-Verlag.
- Pate, R. R. & Ward, D. S. (1990). Endurance exercise trainability in children and youth. In W. A. Grana (Ed.), *Advances in Sports Medicine and Fitness*, Vol. 3 (pp 37-55). Chicago: Year Book Medical Publishers.
- Pate, R. R. & Ward, D. S. (1996). Endurance trainability of children and youths. In O. Bar-Or (Ed.), *The Child and Adolescent Athlete* (pp 131-137). Oxford: Blackwell Science.
- Payne, V. G. & Morrow, J. R. (1993). Exercise and VO_{2max} in children: a meta-analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 64 (3), 305-313.
- Payne, V. G., Morrow, J. R., Lynne, J. & Dalton, S. N. (1997). Resistance training in children and youth: a meta-analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68 (1), 80-88.
- Perez, H. R. (1981). The effects of competitive road-racing on the body composition, pulmonary function, and cardiovascular system of sport cyclists. *Journal of Sports Medicine*, 21, 165-172.
- Pfeiffer, R. D. & Francis, R. S. (1986). Effects of strength training on muscle development in prepubescent, pubescent, and postpubescent males. *The Physician and Sportsmedicine*, 14 (9), 134-143.
- Phillips, S. M., Green, H. J., MacDonald, J. J. & Hughson, R. L. (1995). Progressive effect of endurance training on VO_2 kinetics at the onset of submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 79 (6), 1914-1920.
- Pickenhain, L., Neumann, G. & Scharschmidt, F. (1993). *Sportmedizin: Grundlagen – Methoden – Ziele*. Bern: Huber.
- Pickering, G. P., Fellmann, N., Morio, B., Ritz, P., Amonchot, A., Vermorel, M. & Coudert, J. (1997). Effects of endurance training on the cardiovascular system and water compartments in elderly subjects. *Journal of Applied Physiology*, 83 (4), 1300-1306.

- Pierce, E. F., Weltman, A., Seip, R. L. & Snead, D. (1990). Effects of training specificity on the lactate threshold and VO_2 peak. *International Journal of Sports Medicine*, 11 (4), 267-272.
- Platt, D. (1976). *Biologie des Alterns*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Pöhlmann, R. (1994). *Motorisches Lernen*. Reinbek: Rororo.
- Pollock, M. L., Foster, C., Knapp, D., Rod, J. L. & Schmidt, D. H. (1987). Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes. *Journal of Applied Physiology*, 62 (2), 725-731.
- Porter, M. M., Vandervoort, A. A. & Lexell, J. (1995). Aging of human muscle: structure, function and adaptability. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5, 129-142.
- Posner, J. D., Gorman, K. M., Windsor-Landsberg, L., Larsen, J., Bleiman, M., Shaw, C., Rosenberg, B. & Knebl, J. (1992). Low to moderate intensity endurance training in healthy older adults: physiological responses after four months. *Journal of the American Geriatrics Society*, 40, 1-7.
- Poulin, M. J., Paterson, D. H., Govindasamy, D. & Cunningham, D. A. (1992). Endurance training of older men: responses to submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 73 (2), 452-457.
- Prader, A., Largo, R. H., Molinari, L. & Issler, C. (1989). Physical growth of Swiss children from birth to 20 years of age. *Helvetica Paediatrica Acta, Suppl.* 52, 1-125.
- Prinzinger, R. (1996). *Das Geheimnis des Alterns. Die programmierte Lebenszeit bei Mensch, Tier und Pflanze*. Frankfurt/Main: Campus Verlag.
- Probart, C. K., Notelovitz, M., Martin, D., Khan, F. Y. & Fields, C. (1991). The effect of moderate aerobic exercise on physical fitness among women 70 years and older. *Maturitas*, 14, 49-56.
- Puggaard, L. (2003). Effects of training on functional performance in 65, 75 and 85 year-old women: experiences deriving from community based studies in Odense, Denmark. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13, 70-76.
- Ready, A. E. & Quinney, H. A. (1982). Alterations in anaerobic threshold as the result of endurance training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14 (4), 292-296.
- Reis, E. (1996). *Menstruationszyklusgesteuertes Krafttraining*. Schorndorf: Hofmann.
- Rhea, M., Alvar, B. A., Burkett, L. N. & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (3), 456-464.
- Röcker, K. (2002). *Eine Neubewertung der zeitlichen Abläufe im Energiestoffwechsel: Anwendung eines neuentwickelten ^{13}C -Dilutionsverfahrens*. Schorndorf: Hofmann.
- Röcker, K., Dickhuth, H.-H., Nieß, A. & Heitkamp, H. C. (1998). Prinzipien aerober Leistungsdiagnostik. In D. Jeschke & R. Lorenz (Hrsg.), *Sportartspezifische Leistungsdiagnostik. Energetische Aspekte* (S. 27-36). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Rogers, M. A. (1994). Effects of chronic, intense endurance exercise training on longitudinal changes in maximal oxygen uptake in older men. In S. Harris, H. Suominen, P. Era & W. S. Harris (Eds.), *Toward Healthy Aging – International Perspectives, Part 1 Physiological and Biomedical Aspects, Volume III Physical Activity, Aging and Sports* (pp 15-23). Albany: Center for the Study of Aging.
- Rosenthal, R. (1991). Quality-weighting of studies in meta-analytic research. *Psychotherapy Research*, 1 (1), 25-28.
- Rosenthal, R. (1995). Writing meta-analytic reviews. *Psychological Bulletin*, 118 (2), 183-192.

- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie – Testkonstruktion* (2., vollst. überarbeitete und erweiterte Aufl.). Bern: Huber.
- Rost, R. (1981). Anpassungserscheinungen im Herzkreislaufbereich bei Frauen als Folge von Ausdauertraining. In S. Wedekind (Hrsg.), *Frauensport* (S. 27-37). Berlin: Bartels & Wernitz.
- Rost, R. & Appel, H.-J. (2001). *Lehrbuch der Sportmedizin*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Roth, K. (1982). *Strukturanalyse koordinativer Fähigkeiten*. Bad Homburg: Limpert.
- Roth, K. (1983). Die empirisch-analytische Betrachtungsweise. In K. Willimczik & K. Roth, *Bewegungslehre* (S. 53-89). Reinbek: Rororo.
- Roth, K. (1999). Die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise (Differentielle Motorikforschung). In K. Roth & K. Willimczik, *Bewegungswissenschaft* (S. 227-287). Reinbek: Rororo.
- Roth, K. & Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft*. Reinbek: Rororo.
- Röthig, P., Prohl, R., Carl, K., Kayser, D., Krüger, M. & Scheida, V. (Hrsg.). (2003). *Sportwissenschaftliches Lexikon* (7., völlig neu bearbeitete Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Roux, W. (1895). *Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen. Erster Band. Abhandlung I-XII, vorwiegend über functionelle Anpassung*. Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann.
- Rowland, T. W. (1985). Aerobic response to endurance training in prepubescent children: a critical analysis. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, 17 (5), 493-497.
- Rowland, T. W. (1992). Trainability of the cardiorespiratory system during childhood. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17 (4), 259-263.
- Rowland, T. W. (1993). Ausdauersport im Kindesalter. In R. J. Shephard & P.-O. Astrand (Hrsg.), *Ausdauer im Sport* (S. 365-373). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Rowland, T. W. (1996). *Developmental Exercise Physiology*. Champaign: Human Kinetics.
- Rowland, T. W. (1997). Changes in aerobic fitness following endurance training: Are children's responses inferior to adult's? *Spectrum der Sportwissenschaften*, 9 (2), 7-19.
- Rowland, T. W., Meredith, R. V. & Coleen A. W. (1991). Aerobic responses to walking training in sedentary adolescents. *Journal of Adolescent Health*, 12, 30-34.
- Rowland, T., Wehnert, M. & Miller, K. (2000). Cardiac responses to exercise in competitive child cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (4), 747-752.
- Russell, R. L. & Greenwald, S. (1991). Exclusion is a viable weight: reply to Rosenthal. *Psychotherapy Research*, 1 (1), 29-30.
- Rustenbach, S. J. (2003). *Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Bern: Huber.
- Rusting, R. L. (1993). Warum altern wir? *Spektrum der Wissenschaft*, o.Jg. (2), 60-67.
- Sady, S. P. (1986). Cardiorespiratory exercise training in children. *Clinics in Sports Medicine*, 5 (3), 493-514.
- Sale, D. G. (1989). Strength training in children. In C. V. Gisolfi & D. R. Lamb (Eds.), *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine* (pp 165-216). Indiana: Benchmark Press.
- Savage, M. P., Petratis, M. M., Thomson, W. H., Berg, K., Smith, J. L. & Sady, S. P. (1986). Exercise training effects on serum lipids of prepubescent boys and adult men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18 (2), 197-204.
- Schachtschabel, D. O. (2004). Humanbiologie des Alterns. In A. Kruse & M. Martin (Hrsg.), *Enzyklopädie der Gerontologie. Alternsprozesse in multidisziplinärer Sicht* (S. 167-181). Bern: Huber.
- Schack, T. & Guthke, J. (2001). Dynamisches Testen im Sport – Zugänge zur Diagnostik der individuellen Leistungsfähigkeit. *Psychologie und Sport*, 8 (2), 46-56.

- Scheibe, J., Greitner, F. & Bachl, N. (1990). *Medizin und Sport*. Frankfurt/Main: Thun.
- Schlicht, W. (1999). Meta-Analysen. In B. Strauß, H. Haag & M. Kolb (Hrsg.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft* (S. 519-532). Schorndorf: Hofmann.
- Schmidt, L. R. (1971). Testing the Limits im Leistungsverhalten: Möglichkeiten und Grenzen. In R. Duhm (Hrsg.), *Praxis der Klinischen Psychologie. Band II* (S. 9-29). Göttingen: Hogrefe.
- Schmidt, R. F., Lang, F. & Thews, G. (Hrsg.). (2005). *Physiologie des Menschen* (29., vollständig neu bearbeitete und aktualisierte Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Schmidtbleicher, D. & Reis, E. (1992). Untersuchungen zur Periodisierung des Krafttrainings im Sport bei Frauen. In C. Karl (Hrsg.), *Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung* (S. 369-374). Köln: Sport und Buch Strauß GmbH.
- Schnabel, G., Harre, D. & Borde, A. (Hrsg.). (1997). *Trainingswissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf*. Berlin: Sportverlag.
- Schnabel, G. & Thiess, G. (Hrsg.). (1993). *Lexikon Sportwissenschaft*. Berlin: Sportverlag.
- Schneider, E. L. & Rowe, J. W. (1995). *Handbook of the Biology of Aging* (4th ed.). San Diego: Academic Press.
- Schneirla, T. C. (1956). Interrelationships of the ‚innate‘ and the ‚acquired‘ in instinctive behavior. In P. P. Grassé (Ed.), *L'Instinct dans le Comportement des Animaux et l'Homme* (pp 387-452). Paris: Masson.
- Schneirla, T. C. (1957). The concept of development in comparative psychology. In D. B. Harris (Ed.), *The Concept of Development. An Issue in the Study of Human Behavior* (pp 78-108). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Schnell, R., Hill, P. B. & Esser, E. (1999). *Methoden der empirischen Sozialforschung* (6., völlig überarbeitete und erweiterte Aufl.). München: R. Oldenbourg Verlag.
- Scholnick, E. K. (1986). Influences on Plasticity: Problems of Definition. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 7 (2), 131-138.
- Schulman, S. P., Fleg, J. L., Goldberg, A. P., Busby-Whitehead, J., Hagberg, J. M., O'Connor, F., Gerstenblith, G., Becker, L., Katznel, L. I., Lakatta, L. E. & Lakatta, E. G. (1996). Continuum of cardiovascular performance across a broad range of fitness levels in healthy older men. *Circulation*, 94, 359-367.
- Scott, G. T., Cunningham, D. A., Rechnitzer, P. A., Donner, A. P. & Howard, J. H. (1985). Determinants of the training response in elderly men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17 (6), 667-672.
- Seals, D. R., Hagberg, J. M., Hurley, B. F., Ehsani, A. A. & Holloszy, J. O. (1984). Endurance training in older men and women. I. Cardiovascular responses to exercise. *Journal of Applied Physiology*, 57 (4), 1024-1029.
- Seals, D. R., Hurley, B. F., Schultz, J. & Hagberg, J. M. (1984). Endurance training in older men and women. II. Blood lactate response to submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 57 (4), 1030-1033.
- Seger, J. Y., Arvidsson, B. & Thorstensson, A. (1998). Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 79 (1), 49-57.
- Seliger, V., Dolejs, L., Karas, V. & Pachlopnikova, I. (1968). Adaptation of trained athletes' energy expenditure to repeated concentric and eccentric muscle contractions. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 26, 227-234.
- Sharpe, D. (1997). Of apples and oranges, file drawers and garbage: why validity issues in meta-analysis will not go away. *Clinical Psychology Review*, 17 (8), 881-901.
- Shephard, R. J. (1992). Effectiveness of training programmes for prepubescent children. *Sports Medicine*, 13 (3), 194-213.

- Shephard, R. J. (1993). Die maximale Sauerstoffaufnahme. In R. J. Shephard & P. O. Astrand (Hrsg.), *Ausdauer im Sport* (S. 191-198). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Sidney, K. H. & Shephard, R. J. (1978). Frequency and intensity of exercise training for elderly subjects. *Medicine and Science in Sports*, 10 (2), 125-131.
- Sjödén, B., Jacobs, I. & Svedenhag, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology*, 49, 45-57.
- Skinner, J., Jaskolski, A., Jaskolska, A., Krasnoff, J., Gagnon, J., Leon, A. S., Rao, D. C., Wilmore, J. H. & Bouchard, C. (2001). Age, sex, race, initial fitness, and response to training: the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1770-1776.
- Slavin, R. E. (1986). Best-evidence synthesis: an alternative to metaanalytic and traditional reviews. Educational researcher: a publication of the American Educational Research Association, 15, 5-11.
- Slavin, R. E. (1995). Best evidence synthesis: an intelligent alternative to meta-analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 48 (1), 9-19.
- Smith, C. R. & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training. I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 71 (4), 332-336.
- Starischka, S. (1992). Veränderungen konditioneller Fähigkeiten und deren Trainierbarkeit. In H. Baumann (Hrsg.), *Altern und körperliches Training* (S. 57-76). Bern: Huber.
- Starosta, W. & Hirtz, P. (1989). Zur Existenz sensibler und kritischer Perioden in der Entwicklung der Bewegungskoordination. *Leistungssport*, 19 (6), 11-16.
- Steigerwald, R. (2004). A comparison of three recovery techniques between two 20m shuttle runs to volitional failure. *International Sports Journal*, 8 (2), 65-71.
- Steinhaus, L. A., Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Emmerson, R. Y., Johnson, S. C., Shearer, D. E., Latin, R. W., Shigeoka, J. W. & Bonekat, W. H. (1990). Aerobic capacity of older adults: a training study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 30 (2), 163-172.
- Stephens, T. & Caspersen, C. J. (1994). The demography of physical activity. In C. Bouchard, R. J. Shephard & T. Stephens (Eds.), *Physical Activity, Fitness, and Health. International Proceedings and Consensus Statement* (pp 204-213). Champaign: Human Kinetics.
- Sternberg, J. R. & Grigorenko, E. L. (2002). *Dynamic Testing. The Nature and Measurement of Learning Potential*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stoffelmayr, B. E., Dillavou, D. & Hunter, J. E. (1983). Premorbid functioning and outcome in schizophrenia: a cumulative analysis. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 51, 338-352.
- Stratton, J. R., Levy, W. C., Cerequeira, M. D., Schwartz, R. S. & Abrass, I. B. (1994). Cardiovascular responses to exercise. Effects of aging and exercise training in healthy men. *Circulation*, 89, 1648-1655.
- Strauzenberg, S. E. & Badtke, G. (1990). *Sportmedizin*. Leipzig: Barth.
- Sundberg, S. & Elovainio, R. (1982). Cardiorespiratory function in competitive endurance runners aged 12-16 years compared with ordinary boys. *Acta Paediatrica Scandinavica*, 71, 987-992.
- Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M. & Yamamoto, K. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO_{2max} . *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (10), 1327-1330.
- Tanner, J. M. (1962). *Growth at Adolescence*. Oxford: Blackwell Scientific.

- Thiart, B. F. & Wessels, C. T. (1987). The influence of age and training on the VO_{2max} and related parameters of physically active boys. In H. Ruskin & A. Simlein (Eds.), *Physical Fitness and the Ages of Man* (pp 21-32). Jerusalem: Academon.
- Thomae, H. (1959). Entwicklungsbegriff und Entwicklungstheorie. In H. Thomae (Hrsg.), *Handbuch der Psychologie, Band 3 Entwicklungspsychologie* (2. Aufl., S. 3-20). Göttingen: Hogrefe.
- Thompson, A. M. & Baxter-Jones, A. D. G. (2002). Endurance training in young female athletes. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 10, 33-41.
- Thorén, C. A. R. & Asano, K. (1984). Functional capacity and cardiac function in 10-year-old boys and girls with high and low running performance. In J. Ilmarinen & I. Välimäki (Eds.), *Children and Sport. Paediatric Work Physiology* (pp 182-188). Berlin: Springer-Verlag.
- Tittlbach, S. (2002). *Entwicklung der körperlichen Leistungsfähigkeit*. Schorndorf: Hofmann.
- Torii, J., Shinkai, S., Hino, S., Kurokawa, Y., Tomita, N., Hirose, M., Watanabe, S. & Watanabe, T. (1992). Effect of time of day on adaptive response to a 4-week aerobic exercise program. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32 (4), 348-352.
- Treumann, K.-P. (1996). Die Best-Evidence Synthesis – eine Alternative zur herkömmlichen Metaanalyse? In K.-P. Treumann, G. Neubauer, R. Möller & J. Abel (Hrsg.), *Methoden und Anwendungen empirischer pädagogischer Forschung* (S. 9-24). Münster: Waxmann.
- Tschiene, P. (1993). Transformation von Trainingseffekten oder langfristig gezielte Anpassung durch Belastung. *Leistungssport*, 23 (6), 4-6.
- Tschiene, P. (1996a). Der qualitative Ansatz zu einer Theorie des Trainings. *Leistungssport* 26 (3), 8-11.
- Tschiene, P. (1996b). Konditionstraining – Theoriebildung nur auf der Basis von Adaptationsmodellen. *Leistungssport* 26 (6), 13-17.
- Tschiene, P. (1997). Theorie des konditionellen Trainings: Belastungsklassifizierung und Methodenmodellierung unter adaptivem Aspekt. *Leistungssport* 27 (4), 21-25.
- Tver, D. F. (1986). *Encyclopedic Dictionary of Sports Medicine*. New York: Chapman and Hall.
- Vaccaro, P., Clarke, D. H. & Morris, A. F. (1980). Physiological characteristics of young well-trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 44, 61-66.
- Vaccaro, P., Dummer, G. M. & Clarke, D. H. (1981a). Physiological characteristics of female masters swimmers. *The Physician and Sportsmedicine*, 9 (12), 75-78.
- Vaccaro, P. & Mahon, A. (1987). Cardiorespiratory responses to endurance training in children. *Sports Medicine*, 9 (4), 352-363.
- Vaccaro, P., Morris, A. F. & Clarke, D. H. (1981b). Physiological characteristics of masters female distance runners. *The Physician and Sportsmedicine*, 9 (7), 105-108.
- Verchoshanskij, J. W. (1988). *Effektiv trainieren*. Berlin: Sportverlag.
- Verchoshanskij, J. W. (1991). Die Priorität des biologischen Aspekts in der „Theorie des Trainings“. *Leistungssport*, 21 (6), 5-11.
- Verchoshanskij, J. W. & Viru, A. (1990). Einige Gesetzmäßigkeiten der langfristigen Adaptation des Organismus von Sportlern an körperliche Belastungen. *Leistungssport*, 20 (3), 10-13.
- Viru, A. (1993). Der Mechanismus von Training und Adaptation. *Leistungssport*, 23 (5), 5-8.
- Vito, G. de, Bernardi, M., Forte, R., Pulejo, C. & Figura, F. (1999). Effects of a low-intensity conditioning programme on VO_{2max} and maximal instantaneous peak power in elderly women. *European Journal of Applied Physiology*, 80, 227-232.

- Vito, G. de, Hernandez, R., Gonzalez, V., Felici, F. & Figura, F. (1997). Low intensity physical training in older subjects. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37, 72-77.
- Voelcker-Rehage, C. & Wiertz, O. (2004). Die Lernfähigkeit sportmotorischer Fertigkeiten im Lichte der Entwicklungspsychologie der Lebensspanne. (Bielefelder Beiträge zur Sportwissenschaft. Nr. 26). Bielefeld: Universität.
- Wachs, T. D. (1986). Understanding early experience and development: the relevance of stages of inquiry. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 7 (2), 153-165.
- Warren, B. J., Nieman, D. C., Dotson, R. G., Adkins, C. H., O'Donnell, K. A., Haddock, B. L. & Butterworth, D. E. (1993). Cardiorespiratory responses to exercise training in septuagenarian women. *International Journal of Sports Medicine*, 14 (2), 60-65.
- Weineck, J. (2000). *Sportbiologie* (7., überarbeitete und erweiterte Aufl.). Balingen: Spitta.
- Weineck, J. (2002). *Optimales Training* (12. Aufl.). Balingen: Spitta.
- Weir, L. L., Weir, J. P., Housh, T. J. & Johnson, G. O. (1997). Effect of an aerobic training program on physical working capacity at heart rate threshold. *European Journal of Applied Physiology*, 75, 351-356.
- Weisser, B. (2003). Altersbedingte Einschränkungen der Organfunktion und körperliche Aktivität. In H. Denk, D. Pache & H.-J. Schaller (Hrsg.), *Handbuch Alterssport* (S. 113-138). Schorndorf: Hofmann.
- Weltman, A., Seip, R. L., Snead, D., Weltman, J. Y., Haskvitz, E. M., Evans, W. S., Veldhuis, J. D. & Rogol, A. D. (1992). Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *International Journal of Sports Medicine*, 13, 257-263.
- Westmeyer, H. (1972). *Logik der Diagnostik*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Williams, C. A., Armstrong, N. & Powell, J. (2000). Aerobic responses of prepubertal boys to two modes of training. *British Journal of Sports Medicine*, 34, 168-173.
- Willimczik, K. (1993). Theorie der motorischen Entwicklung zwischen Inter- und Chimären-disziplinarität. In J. Dieckert, U. Petersen, B. Rigauer & B. Schmücker (Hrsg.), *Sportwissenschaft im Dialog* (S. 85-86). Aachen: Meyer & Meyer.
- Willimczik, K. & Conzelmann, A. (1999). Motorische Entwicklung in der Lebensspanne – Kernannahmen und Leitorientierungen. *Psychologie und Sport*, 6 (2), 60-70.
- Wilmore, J. H., Davis, J. A., O'Brien, R. S., Vodak, P. A., Walder, G. R. & Amsterdam E. A. (1980). Physiological alterations consequent to 20-week conditioning programs of bicycling, tennis, and jogging. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12 (1), 1-8.
- Winter, R. (1980). Zum Problem der sensiblen und kritischen Phasen in der Kindheit und Jugend. *Medizin und Sport*, 20, 102-104.
- Wirths, W. (1980). Ernährung und Leistungssport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 31 (1), 28, XI-XII; (2) 68-72, XIII-XIV; (3) 100-104, XI.
- Wiswell, R., Jaque, S. V., Marcell, R. J., Hawkins, S. A., Tarpenning, K. M., Constantino, N. & Hyslop, D. M. (2000). Maximal aerobic power, lactate threshold, and running performance in master athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (6), 1165-1170.
- Wolfarth, B. (2002). Genetische Polymorphismen bei hochtrainierten Ausdauerathleten – die Genathlete-Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (12), 338-344.
- Wollny, R. (2002). *Motorische Entwicklung in der Lebensspanne*. Schorndorf: Hofmann.
- Wottawa, H. (1979). *Grundlagen und Probleme von Dimensionen in der Psychologie*. Meisenheim am Glan: Hain.
- Yerg, J. E., Seals, D. R., Hagberg, J. M. & Holloszy, J. O. (1985). Effect of endurance exercise training on ventilatory function in older individuals. *Journal of Applied Physiology*, 58 (3), 791-794.

- Yoshida, T., Udo, M., Chida, M., Ichioka, M., Makiguchi, K. & Yamaguchi, T. (1990). Specificity of physiological adaptation to endurance training in distance runners and competitive walkers. *European Journal of Applied Physiology*, 68, 197-201.
- Yoshizawa, S., Honda, H., Urushibara, M. & Nakamura, N. (1990). Effects of endurance run on circulorespiratory system in young children. *Journal of Human Ergology*, 19, 41-52.
- Yukithoshi, A. & Katsuta, S. (1990). Relationship between the starting age of training and physical fitness in old age. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 15 (1), 65-71.
- Zauner, C. W. & Benson, N. Y. (1981). Physiological alterations in young swimmers during three years of intensive training. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 21, 179-185.
- Zimmermann, K. (2000). *Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining. Theorie – Empirie – Praxisorientierung*. Schorndorf: Hofmann.
- Zintl, F. (1990). *Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung* (2., überarbeitete Aufl.). München: BLV.
- Zöfel, P. (2003). *Statistik für Psychologen*. München: Pearson.
- Zubin, J. (1950). Symposium on statistics for the clinician. *Journal of Clinical Psychology*, 6, 1-6.

10 Anhang

10.1 Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

1RM	=	1-Wiederholungmaximum; maximales Gewicht, das bei einer dynamischen Bewegung genau einmal im geforderten Umfang bewegt werden kann (<i>1-repetition-maximum</i>)
A	=	Alter
An	=	absolutes Ausgangsniveau
AnE	=	Ausgangsniveau der Experimentalgruppe
AnK	=	Ausgangsniveau der Kontrollgruppe
D	=	Trainingsdauer (Interventionszeitraum)
F	=	Trainingshäufigkeit
G	=	Geschlecht
I _d	=	durchschnittliche Trainingsintensität
I _{max}	=	maximale Trainingsintensität
IT	=	Übereinstimmung von Interventions- und Testverfahren
k	=	Anzahl der Effektgrößen
M	=	Mittelwert
N	=	Stichprobengröße
MVC	=	maximale isometrische Kraft, die gegen einen fixierten Gegenstand ausgeübt werden kann (<i>maximal voluntary contraction</i>)
P	=	Progressivität der Trainingsbelastung
Q	=	Qualität des Trainings (i. S. von Laufen, Radfahren, Walken)
R	=	Streubreite (<i>range</i>)
SD	=	Standardabweichung (<i>standard deviation</i>)
U	=	Umfang der Intervention
VO _{2max}	=	maximale Sauerstoffaufnahme

10.2 Erläuterung und Formalisierung der verwendeten Variablen

Variable	Erläuterung	Formel
$c(df)$	Adjustierungsfaktor für kleine Stichproben	$c(df) = 1 - \frac{3}{4df - 1}$ mit $df = n - 1$
\bar{d}	ungewichteter mittlerer Effekt über alle Studien	$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^k d_i}{k}$
d_{\bullet}	gewichteter mittlerer Effekt über k Effektgrößen	$d_{\bullet} = \frac{\sum_{i=1}^k w_i d_i}{\sum_{i=1}^k w_i}$
$d_{i\bullet}$	gewichteter mittlerer Effekt einer Faktorstufe	
d_s	standardisierter und bias-korrigierter Effekt einer Primärstudie	$d_s = c(df) \frac{(VO_{2\max_{post}} - VO_{2\max_{prä}})}{s_{pooled}}$
d_{us} d_{usE} bzw. d_{usK} Δd_{us}	unstandardisierter Effekt einer Primärstudie unstandardisierter Effekt der Experimental- bzw. Kontrollgruppe Differenzwert von Experimental- und Kontrollgruppeneffekt	$d_{us} = VO_{2\max_{post}} - VO_{2\max_{prä}}$ $\Delta d_{us} = d_{usE} - d_{usK}$
k	Anzahl der Effektgrößen	
m	Anzahl der Primärstudien unterhalb der Faktorstufe i	
N	Stichprobengröße der Interventionsgruppe einer Primärstudie am Ende der Intervention	
p	Anzahl der Faktorstufen	
\hat{p}	Schätzer für die Prä-Post-Korrelation der $VO_{2\max}$ -Werte der Primärstudien	anhand vorliegender Angaben in einzelnen Studien wird $\hat{p} = 0.9$ geschätzt (vgl. FN 53)
R_B	Birge Ratio zur Abschätzung der Varianzaufklärung	$R_B = \frac{Q_w}{(k - p)}$
$R_{\tau^2}^2$	Prozentuale Reduktion der Varianzkomponente im kategorialen Modell zufälliger Effekte	$R_{\tau^2}^2 = \frac{\tau^2 - \tau_{res}^2}{\tau^2}$
$s_{d_{\bullet}}^2$	Beobachtete Varianz des gewichteten mittleren Studieneffektes	$s_{d_{\bullet}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^k w_i (d_i - d_{\bullet})^2}{\sum_{i=1}^k w_i}$

s_d^2	Beobachtete Varianz des ungewichteten mittleren Studieneffektes	
s_{pooled}	gepoolte Standardabweichung aus $s_{prä}$ und s_{post}	$s_{pooled} = \sqrt{\frac{(n-1)s_{prä}^2 + (n-1)s_{post}^2}{2n-2}}$
s_{post}	Standardabweichung von $VO_{2max_{post}}$	
$s_{prä}$	Standardabweichung von $VO_{2max_{prä}}$	
s_{res}	residuale Standardabweichung	$s_{res} = \sqrt{s_{d\bullet}^2 - \hat{\sigma}_e^2}$
s_s^2	Varianz von d_s	$s_s^2 = \left[\frac{2(1-\hat{p})}{n} \right] + \frac{\bar{d}^2}{2n}$
s_{us}^2	Varianz von d_{us}	$s_{us}^2 = \frac{2s_{pooled}^2(1-\hat{p})}{n}$
$\hat{\sigma}_e^2$	Schätzer für den Stichprobenfehler	$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^k w_i s_i^2}{\sum_{i=1}^k w_i}$
τ^2	Varianzkomponente der Gesamtheit der Primärstudien	$\tau^2 = \frac{Q_T - (k-1)}{c}; \quad c = \sum_{i=1}^k w_i - \frac{\sum_{i=1}^k w_i^2}{\sum_{i=1}^k w_i}$
τ_{res}^2	Residuale Varianzkomponente im kategorialen Modell	$\tau_{res}^2 = \frac{k\left\{ \left[\frac{Q_w}{k - (p-1) - 1} \right] - 1 \right\}}{\sum_{i=1}^k w_i}$
Q_i	Prüfgröße für die Homogenität der Studieneffekte im generellen Integrationsmodell	$Q_i = \sum_{i=1}^k w_i (d_i - d_{\bullet})^2$
Q_w	Prüfgröße für die Gesamthomogenität unterhalb der Faktorstufen	$Q_w = \sum_{i=1}^p Q_{w_i}; \quad df = k - p$
Q_{w_i}	Prüfgröße für die Homogenität der Studieneffekte unterhalb einer Faktorstufe i	$Q_{w_i} = \sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} (d_{ij} - d_{i\bullet})^2; \quad df = m - 1$
$VO_{2max_{post}}$	VO_{2max} -Gruppenmittelwert nach der Intervention	

$VO_{2\max_{prä}}$	VO _{2max} -Gruppenmittelwert vor der Intervention	
w_i	Inverse Standardabweichung des Primärstudieneffektes	
$w_{i\bullet}$	inverse Standardabweichung des gewichteten mittleren Effektes einer Faktorstufe i; Summe der Einzelgewichte aller Effekte einer Faktorstufe i	$w_{i\bullet} = \sum_{j=1}^{m_i} w_j$