



universität
wien

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

Der Nachbrenneffekt als geeignetes Mittel zur
Gewichtsregulation?

Kraft- vs. Ausdauertraining

Verfasser

Daniel Geißler

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, am 26.05.2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Magisterstudium Sportwissenschaft

Betreuer:

Univ.-Ass. Prof. Mag. Dr. Harald TSCHAN

Kurzfassung

Dem potentiellen „Nachbrenneffekt“ im Anschluss körperlicher Aktivitäten, auch bekannt als EPOC (excess post-exercise oxygen consumption), kommt aufgrund der zunehmenden Gewichtsproblematik moderner Gesellschaften heute hohe Aufmerksamkeit zu, wobei diesbezügliche Empfehlungen zumeist jeglicher wissenschaftlicher Grundlage entbehren. Die literarische Datenlage zum Nachbrenneffekt ist aufgrund heterogener Studiendesigns äußerst widersprüchlich und eine Vergleichbarkeit der meisten Untersuchungen daher sehr problematisch.

Das Ziel dieser Arbeit war es zu untersuchen, ob es einen Unterschied zwischen Kraft- und Ausdauertraining in Bezug auf EPOC gibt, welche Einflussgrößen am deutlichsten in Zusammenhang mit einem nachhaltigen Nachbrenneffekt stehen, welche Rolle dabei die Belastungsintensität und -dauer spielen, welchen Beitrag EPOC im Gewichtsmanagement leisten kann und welche trainingsmethodischen Ableitungen für die Praxis zu treffen sind.

Den vorliegenden Fragestellungen wurde hermeneutisch nachgegangen, indem zunächst Auswahlkriterien zur Selektion literarischer Quellen herausgearbeitet wurden um eine Auswahl relevanter Studien treffen zu können. Anschließend wurden die Ergebnisse der entsprechenden Studien zusammengetragen und kritisch interpretiert.

Es konnte gezeigt werden, dass Krafttraining bei gleicher Trainingsdauer und -intensität tendenziell höhere Ausmaße von EPOC bewirkt als Ausdauertraining. Zur Auslösung nachhaltiger Nachbrenneffekte kommt dabei vor allem der Belastungsintensität eine Schlüsselfunktion zu, in gewissen Anteilen aber auch der Belastungsdauer. Unter den übrigen Einflussfaktoren hat vor allem ein intermittierendes Trainingsdesign Potential zur Begünstigung von EPOC. Während nach moderatem Training (Ausdauertraining $<70\%$ der VO_{2max} <50 Minuten oder Krafttraining bei mittlerem Trainingsvolumen und moderater Intensität) zumeist Nachbrenneffekte deutlich unter 70 kCal erzielt werden, sind nach hochintensivem Training (supramaximales Ausdauerintervalltraining $\geq 105\%$ der VO_{2max} ≥ 6 Minuten, kontinuierliches Ausdauertraining $\geq 70\%$ der VO_{2max} ≥ 50 Minuten oder Krafttraining bei hohem Trainingsvolumen und sehr hoher Intensität) wesentlich beträchtlichere Nachbrenneffekte möglich die 70 kCal deutlich übersteigen können. Dennoch erscheint es im Rahmen eines umfassendes Bewegungs- und Ernährungskonzepts zur Gewichtsreduktion nicht sinnvoll, den Nachbrenneffekt in den Vordergrund der Überlegungen zu stellen.

Abstract

Attention for the potential „afterburn“ following physical activity, also referred to as EPOC (excess post-exercise oxygen consumption), is growing due to increasing rates of obesity in modern societies, whereas concerning advices are rarely given on a scientific basis. Literary data regarding EPOC is very inconsistent as a result of heterogeneous experimental designs, thus a comparison of studies cannot be made easily.

The aim of this paper was to examine, if there is a difference in EPOC between strength and endurance training, by which factors EPOC is influenced predominantly and which role exercise intensity and duration play in this context. Furthermore it should be explored if EPOC can make a significant contribution to weight loss and which practical applications should be made.

These questions were approached hermeneutically by developing criteria for selection of available scientific data. Subsequently the findings of appropriate studies were summarized and interpreted critically.

It could be shown that there is a trend for strength training to produce higher EPOCs compared to endurance training, as long as intensity and duration of interventions are equated. Furthermore exercise intensity seems to play the key role to trigger long-lasting EPOCs, as well as exercise duration to some part, while among less influencing factors especially intermittent exercise has potential to increase the magnitude of EPOC. After moderate exercise (endurance: $<70\%$ of VO_{2max} <50 minutes; strength: moderate intensity and work volume) EPOC is mostly considerably below 70 kCal, whereas much higher EPOCs easily exceeding 70 kCal can be achieved after highly intensive exercise (supramaximal intervals: $\geq 105\%$ of VO_{2max} ≥ 6 minutes; continuous endurance: $\geq 70\%$ of VO_{2max} ≥ 50 minutes; strength: high intensity and work volume). Nevertheless it does not seem reasonable to focus on EPOC in line with a broad concept for weight reduction considering physical activity and dietary aids.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Problem- und Fragestellung	6
1.2	Methode	7
1.3	Gliederung der Arbeit	8
2	Sichtung und Selektion literarischer Quellen	10
2.1	Heterogenität wissenschaftlicher Studien	10
2.1.1	Untersuchungsdesign	10
2.1.2	Trainingsvorbereitung	10
2.1.3	Trainingsintervention	11
2.1.4	Messung des Nachbrenneffekts	12
2.2	Auswahlkriterien	14
3	Energiebereitstellung und Gewichtsregulierung	15
3.1	Energiebereitstellung	15
3.1.1	Formen	16
3.1.2	Energieverbrauch	22
3.2	Prinzip der Gewichtsregulierung	27
3.2.1	Stellenwert von Ernährung und Bewegung	29
3.3	Messung des Energieumsatzes	33
3.3.1	Sauerstoffaufnahme	33
3.3.2	Direkte Methode	34
3.3.3	Indirekte Methode	34
4	Nachbrenneffekt / EPOC	37
4.1	Begriffsbestimmung und geschichtlicher Abriss	37
4.2	Zeitkomponenten des Nachbrenneffekts	40
4.3	Einflussfaktoren und Problematik bei der Bestimmung des Nachbrenneffekts	43
4.3.1	Intensität und Dauer	43
4.3.2	Trainingsaufteilung und -dichte	44
4.3.3	Trainingsform und -widerstand	44
4.3.4	Fitnesslevel / Trainingszustand	45
4.3.5	Geschlecht	46
4.3.6	Genetik	46
4.3.7	Ernährung	47
4.3.8	Erhebung des Ruheenergieumsatzes	48
5	Trainingsformen: Kraft- vs. Ausdauertraining	49
5.1	Krafttraining	49
5.1.1	Begriffsbestimmung	49

5.1.2	Arten / Methoden	50
5.1.3	Energiebereitstellung / Energieverbrauch	53
5.1.4	Studien zum Nachbrenneffekt durch Krafttraining	54
5.2	Ausdauertraining	67
5.2.1	Begriffsbestimmung	67
5.2.2	Arten / Methoden	67
5.2.3	Energiebereitstellung / Energieverbrauch	71
5.2.4	Studien zum Nachbrenneffekt durch Ausdauertraining	72
5.3	Vergleich der Studienergebnisse zum Ausmaß des Nachbrenneffekts durch Kraft- und Ausdauertraining	87
6	<i>Konsequenzen für die Gewichtsregulierung</i>	90
7	<i>Zusammenfassung</i>	94
8	<i>Literaturverzeichnis</i>	96
9	<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	101
10	<i>Eidesstattliche Erklärung</i>	102
11	<i>Lebenslauf</i>	103

1 Einleitung

1.1 Problem- und Fragestellung

Der ständig im Wandel begriffene Lebensstil in modernen Gesellschaften führt zu einer stetigen Verminderung körperlicher Leistungsfähigkeit und Bewegungsaktivität ihrer Populationen. Dazu einhergehend kommt es zu einer fortschreitenden Gewichtszunahme, mit vielen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit, darunter Herz-Kreislaufkrankungen, Stoffwechselstörungen und Schädigungen des Bewegungsapparates (McArdle, Katch & Katch, 2007).

Neben entsprechender Ernährungsumstellung eignet sich insbesondere körperliche Aktivität in Form gezielten Trainings um dieser Problematik entgegen zu wirken. Hochintensives Training, oftmals verlautbart als "H.I.I.T." (High-intensity interval training), geistert als aktueller Trend zur Gewichtsabnahme nicht nur durch kommerzielle Fitnessmagazine sondern wird auch seitens sport- und trainingswissenschaftlich qualifizierter Personen stark propagiert. Aktive Sportler aber insbesondere Personen die ihr Körpergewicht reduzieren wollen werden beispielsweise mit Aussagen gelockt wie: "bis zu neunmal mehr Fett verbrennen, bei deutlich geringerer Trainingszeit" (vgl. Dawson-Cook, 2009; Pölzer, 2009; Wikipedia, 2010). Gerade heute, wo Zeit als Mangelware angesehen wird und alles schnell gehen soll erscheint dieses Trainingskonzept für viele Menschen natürlich sehr attraktiv und das "altmodische", moderate Ausdauertraining wird als Mittel zur Gewichtsregulierung stark in Frage gestellt. Die Idee hinter dem Trainingskonzept hochintensiver Kurzbelastungen liegt im sogenannten "Nachbrenneffekt", welcher im Anschluss an derartige körperliche Aktivität auftreten kann und eine nachhaltig erhöhte Energieumsatzrate bedeutet (Pölzer, 2009). Dabei sollte jedoch die oft starke Belastung und Anstrengungsbereitschaft im Rahmen derartiger Trainings bedacht werden, die im Gegensatz zu zwar längeren, aber vergleichsweise "angenehmen" Trainingsformen erforderlich ist, sowie die hohe Drop-out-Rate im Fitnesssport (Pollock, Gaesser, Butcher, Després, Dishman, Franklin, & Garber, 1998). In diesem Zusammenhang muss die Ergiebigkeit hochintensiver Kurztrainings hinsichtlich ihres Nachbrenneffekts infrage gestellt werden.

In Bezug auf die beschriebene gesellschaftliche Problematik besteht eine hohe Relevanz den Nachbrenneffekt hinsichtlich seines möglichen Beitrags im Gewichtsmanagement besser einschätzen zu können. Eine Fülle von Belastungskomponenten haben Einfluss auf Energiebereitstellung und Stoffwechsel und werden daher mit dem Nachbrenneffekt in

Zusammenhang gebracht. Die Vergleichbarkeit der Studien ist jedoch, aufgrund teilweise sehr inhomogener Untersuchungsdesigns und Trainingsinterventionen, in vielen Fällen als problematisch zu beurteilen und Studienergebnisse sind entsprechend widersprüchlich. Während einige Forscher im Rahmen ihrer Untersuchungen zu dem Ergebnis gelangen, dass der Nachbrenneffekt sehr nachhaltig ist und einen wesentlichen Beitrag im Gewichtsmanagement leisten kann (vgl. Jamurtas, Koutedakis, Paschalis, Tofas, Yfanti, Tsiokanos, Koukoulis, Kouretas, & Loupos, 2004; Schuenke, Mikat & McBride, 2002), finden andere äußerst einen Nachbrenneffekt geringen Ausmaßes und schlussfolgern, dass dieser nur einen geringen Anteil an der Gesamttagesenergiebilanz hat und messen ihm kaum Bedeutung für die Gewichtsreduktion bei (vgl. Haddock & Wilkin, 2006; Baum & Schuster, 2008).

Aus der oben beschriebenen Datenlage ergeben sich folgende konkrete Fragestellungen:

- Gibt es einen Unterschied zwischen Kraft- und Ausdauertraining in Bezug auf den Nachbrenneffekt?
- Welche Einflussgrößen stehen am deutlichsten in Zusammenhang mit einem nachhaltigen Nachbrenneffekt und welche Rolle spielen dabei die Belastungsintensität und -dauer?
- Welchen Beitrag kann der Nachbrenneffekt im Gewichtsmanagement leisten und welche trainingsmethodischen Ableitungen können für die Praxis getroffen werden?

1.2 Methode

Die wissenschaftliche Fragestellung soll hermeneutisch aufgearbeitet werden, nachdem die aktuell fachspezifische Literatur vollständig erhoben wurde. Im Rahmen einer Computer-unterstützten Literatursuche wurden über die Online-Datenbanken "MEDLINE", "SPOLIT" und "SPORTDISCUS" alle thematisch relevanten Artikeln bis 2010 besichtigt. Überdies wurden wichtige Zeitschriften und Referenzen von Originalartikeln und Reviews per Hand durchsucht. Die Auswahl der Studien erfolgte mittels vordefinierter Ein- und Ausschlusskriterien. Relevante Studien wurden interpretiert, verglichen und die Ergebnisse schließlich zusammenfassend dargestellt.

Folgende Suchbegriffe wurden bei der themenspezifischen Online-Literaturrecherche verwendet:

- "excess post-exercise oxygen consumption"
- "EPOC"
- "exercise"
- "training"
- "strength"
- "endurance"
- "O2 consumption"
- "O2 uptake"

1.3 Gliederung der Arbeit

In den nachstehenden Kapiteln soll den im ersten Kapitel formulierten Fragestellungen nachgegangen werden.

Im zweiten Kapitel sollen Gründe für die Problematik bei der Vergleichbarkeit der Studien zum Nachbrenneffekt erörtert und die äußerst widersprüchliche Datenlage erklärt werden um im Anschluss konkrete Kriterien zur Auswahl literarischer Quellen abzuleiten.

Das dritte Kapitel beschreibt den menschlichen Stoffwechsel sowie körpereigene Mechanismen zur Energieerzeugung, um später Prinzipien der Gewichtsregulation und die Bedeutung von Bewegung und Ernährung in deren Rahmen zu vermitteln. Dabei wird vor allem auf den Energieverbrauch samt seiner Einflussfaktoren Bezug genommen und schließlich verschiedene Methoden zur Messung des Energieumsatzes vorgestellt.

Im vierten Kapitel der Arbeit wird ein entwicklungsgeschichtlicher Abriss der Studien zum Nachbrenneffekt gegeben während grundlegende Begriffe erklärt werden. Es werden Modelle zur zeitlichen Beschreibung sowie Einflussfaktoren des Nachbrenneffekts erläutert bevor schließlich auf die Problematik bei der Erhebung des Ruheenergieumsatzes aufmerksam gemacht wird.

Das fünfte Kapitel stellt Kraft- und Ausdauertraining hinsichtlich ihres Nachbrenneffekts gegenüber. Nach begrifflichen Abgrenzungen werden Arten und Methoden dieser beiden Trainingsformen erläutert, um anschließend die Energiebereitstellung sowie den Energieverbrauch im spezifischen Kontext eines Kraft- oder Ausdauertrainings zu

beschreiben. Am Ende des Kapitels werden die aktuellsten Studien zum Nachbrenneffekt kritisch zusammengefasst und unter Einschluss auch älterer relevanter Untersuchungen tabellarisch dargestellt sowie vergleichend interpretiert.

Im sechsten Kapitel wird die Relevanz des Nachbrenneffekts für die Gewichtsregulierung untersucht, indem potentielle Ausmaße von EPOC im sportalltäglichen Kontext über längere Zeiträume betrachtet werden, bevor konkrete Ableitungen für die Praxis getroffen werden.

2 Sichtung und Selektion literarischer Quellen

Die Vergleichbarkeit der meisten Studien zum Thema Nachbrenneffekt ist aus verschiedensten Gründen äußerst problematisch. Unterschiede und Mängel in der Untersuchungsmethodik, als auch Interpretationsfehler ergeben eine entsprechend widersprüchliche Datenlage. In diesem Kapitel soll die Heterogenität vorhandener Studien kurz beschrieben und anschließend Kriterien zur Literaturauswahl abgeleitet werden.

2.1 Heterogenität wissenschaftlicher Studien

2.1.1 Untersuchungsdesign

Stichproben unterscheiden sich hinsichtlich Geschlecht, Alter und Trainingsstatus bzw. Fitnesszustand der UntersuchungsteilnehmerInnen. Die Relevanz all dieser Faktoren wird im Kapitel 4.3 näher erläutert. Auch die Größe der Stichprobe variiert teilweise erheblich, bewegt sich aber zumeist im Bereich von sechs bis 15 TeilnehmerInnen. Die geringen Personenzahlen sind durch die zumeist äußerst arbeits- und zeitintensiven Untersuchungsdesigns zu erklären.

Aufgrund zumeist relativ kleiner Stichproben ist auch die *Randomisierung* der Versuchsgruppen bzw. die Verfügbarkeit einer *Kontrollgruppe* in vielen Fällen nicht möglich.

2.1.2 Trainingsvorbereitung

Auch in der unmittelbaren Untersuchungsvorbereitung finden sich Ungleichheiten und mögliche Gründe für unterschiedliche Ergebnisse bzw. Messungsungenauigkeiten.

Dies betrifft beispielsweise die *Leistungserhebung* im Bereich der Kraft und Ausdauer. Zur Beurteilung der Kraftleistung wird in den meisten Fällen das Einwiederholungsmaximum (1-RM) erhoben um dann bei entsprechender Intensität, beispielsweise 10 Wiederholungen bei 70-80% des ermittelten 1-RM, zu arbeiten. Manchmal wird die erwünschte Arbeitsintensität (z.B. 8-RM) mittels „trial and error“ direkt erhoben. Die Ausdauerleistung wird grundsätzlich mittels indirekter Spirometrie zur Beurteilung der VO_{2max} bestimmt. Dabei kommen zumeist submaximale oder maximale Stufentests auf

dem Laufband oder Fahrradergometer zur Anwendung die sich hinsichtlich Stufendauer, Intensitätssteigerung und Abbruchkriterien stark unterscheiden und insofern nur teilweise den ACSM-Richtlinien entsprechen. Diese Erhebungen finden teilweise in gesonderten Wochen, in manchen Studien jedoch lediglich einen Tag vor der eigentlichen Messung statt, was problematisch ist wenn man von einem nachhaltig erhöhten Stoffwechsel nach intensiven Belastungen ausgeht (Binzen, Swan & Manore, 2001; Braun, Hawthorne & Markofski, 2005; Short & Sedlock, 1997).

Auch *Aufwärmprogramme* werden in unterschiedlicher Form organisiert. So wird das Herz-Kreislaufsystem bei Ausdauerinterventionen in unterschiedlicher Länge, bei vorgegebener oder frei wählbarer Intensität oder überhaupt nicht vorbereitet. Bei Interventionen die ein Krafttraining einschließen wird ein derartig allgemeines Aufwärmen nur teilweise berücksichtigt und das spezielle Aufwärmen findet ebenfalls in unterschiedlicher Länge und Intensität statt. In seltenen Fällen fehlen derartige Angaben sogar komplett (Braun et al., 2005; Haddock & Wilkin, 2006; Schuenke, Mikat & McBride, 2002; Short & Sedlock, 1997).

Körperliche Aktivitäten am Vortag aber auch die *Ernährung* werden in verschiedenster Weise berücksichtigt. Ernährungsprotokolle werden nur teilweise eingesetzt, das Frühstück am Tag der Messung wird nur teilweise streng standardisiert und streng überwacht, teilweise finden Messungen nüchtern statt und Einflussgrößen wie Kaffee und Alkohol wurden nicht immer bedacht.

Die Art des *Transports* der ProbandInnen zum Ort der Messung wird nur äußerst selten beschrieben, hat aber natürlich starke Konsequenzen auf den Stoffwechsel. Man vergleiche hier zum Beispiel die private Anreise zum Untersuchungsort (Auto oder öffentliche Verkehrsmittel) mit einem stationären, liegenden Transport vom Schlafzimmer direkt zum Untersuchungsraum.

2.1.3 Trainingsintervention

Die größte Streuung im Bereich des Studiendesigns liegt natürlich in der *Trainingsintervention* an sich. Manche Studien beschränken sich auf die Untersuchung eines bestimmten Ausdauer- bzw. Krafttrainings, andere versuchen diese beiden Trainingsmethoden zu vergleichen und wieder andere Studien prüfen den Nachbrenneffekt bei gemischten Trainingsformen, wie Kraftausdauertraining, oder nach bestimmten Sportarten. Außerdem halten sich die Studien nur teilweise an bestimmte trainingswissenschaftliche Richtlinien, wie sie beispielsweise vom ACSM (American

College of Sports Medicine; siehe auch Kapitel 5.1.2 und 5.2.2) formuliert werden. Eine Standardisierung des Trainings nach solchen Richtlinien wäre jedoch sinnvoll um Studien besser vergleichen zu können.

Insbesondere das Krafttraining bietet eine Fülle an Variationsmöglichkeiten wie Übungsauswahl, Übungsanzahl, Serienzah, Seriadauer, Serienpausen, Widerstandshöhe, Widerstandsform, Wiederholungszahl, Ausbelastung, Bewegungsgeschwindigkeit, Trainingsvolumen und Gesamtdauer der Einheit.

Beim Ausdauertraining beziehen sich die Unterschiede auf Methode (Dauermethode, Intervallmethode, Wiederholungsmethode etc.), Art des Widerstands (Laufen, Radfahren, Rudern etc.), Intensität, Bewegungsgeschwindigkeit (zum Beispiel Umdrehungen pro Minute beim Radfahren), Dauer von Intervallen bzw. Wiederholungspausen, Trainingsvolumen und Gesamtdauer der Einheit.

All diese variablen Faktoren haben Einfluss auf die Energiekosten des Trainings und somit auf den Nachbrenneffekt.

Die *Untersuchungszeiträume* unterliegen ebenfalls starken Abweichungen, da Messungen teilweise einmalig, dann wieder mehrmalig stattfinden und die Abstände zwischen den Einzelmessungen als auch die Pausen innerhalb der Einzelmessungen sehr stark variieren. Hinsichtlich der Regenerationszeiten sind diese Zeitspannen natürlich relevant. Diese Unterschiede sind nur teilweise abhängig vom Studienziel.

Neben den verschiedenen Trainingsinterventionen ist als weiterer möglicher Einflussfaktor das *Trinkverhalten* anzuführen. In manchen Studien ist das Trinken von Wasser während der Intervention erlaubt. Selbst wenn Wasser kein Energieträger ist hat es dennoch körperliche Reaktionen zur Folge (bspw. Blutdruck) und somit potentiellen Einfluss auf den Stoffwechsel. Außerdem muss während dem Trinken die Atemmaske abgelegt und der Sauerstoffverbrauch im Nachhinein berechnet werden.

2.1.4 Messung des Nachbrenneffekts

Letztlich verläuft die Messung des Nachbrenneffekts in den seltensten Fällen exakt gleich.

Als *Methode* zur Erhebung der Sauerstoffaufnahme wird in fast allen Studien die indirekte Kalorimetrie gewählt, doch auch hier kommen unterschiedliche Geräte und Methoden zur Anwendung. Die theoretisch exaktere direkte Kalorimetrie wird aufgrund hoher Kosten und teilweise ungünstiger Einsetzbarkeit selten genutzt (siehe Kapitel 3.3).

Die ProbandInnen befinden sich während der Messung in unterschiedlichen *Lagen*, teilweise sitzend oder liegend und auch erlaubte *Aktivitäten* variieren zwischen möglichst bewegungslosem Rasten ohne einzuschlafen bis hin zu lesen und fernsehen.

Als extrem kritisch ist die *Messdauer* des Nachbrenneffekts zu betrachten. Während in einigen Untersuchungen über 48 Stunden nach der Belastung immer noch gemessen wurde, betrug die Messung in anderen Studien nur wenige Minuten.

In den meisten Studien wird der Ruheenergieumsatz (Sauerstoffverbrauch) binnen äußerst kurzer Zeiträume ermittelt und die Messung des Nachbrenneffekts beendet sobald dieser Ruhewert nach dem Training wieder erreicht ist. Dieses Vorgehen ist aus verschiedenen Gründen äußerst heikel und kann zu erheblichen Fehlinterpretationen bzw. Unterschätzungen des Nachbrenneffekts führen (siehe dazu Kapitel 4.3.8).

Raumtemperatur, Licht und Luftfeuchtigkeit sind weitere Faktoren, die den Entspannungsgrad und damit den Stoffwechsel während der Messung beeinflussen können; auch hierzu werden teilweise keine Angaben gemacht.

Aufgrund der ungleichen Berücksichtigung aller oben beschriebenen Faktoren wird deutlich, weshalb die Studienergebnisse zum Nachbrenneffekt in der Fachliteratur so unterschiedlich ausfallen.

2.2 Auswahlkriterien

Aufgrund der oben beschriebenen Heterogenität der Studien erschien es sinnvoll die Literatur einzugrenzen. Unter den Auswahlkriterien wurden vor allem jene Faktoren berücksichtigt, welche insbesondere auf den absoluten Nachbrenneffekt die größten Einflüsse haben dürften (siehe Kapitel 4.3). In dieser Arbeit sollten daher insbesondere jene Quellen herangezogen werden, die folgende Kriterien erfüllen:

- Publikationsdatum: > 2000

Bei Trainingsinterventionsstudien zusätzlich:

- Stichprobengröße: > 10
- Geschlecht: bei Männern ohne Einschränkung, bei Frauen nur unter Berücksichtigung des Menstruationszyklus
- Kraft- bzw. Ausdauertraining: Intensität > 70% des 1-RM bzw. der VO_{2max}
- Messung des Nachbrenneffekts: Dauer und Berücksichtigung zirkadianer Rhythmen
- Vorbereitung: Aufzeichnungen über Bewegungs- und Ernährungsverhalten

Die Anzahl jener Quellen die diesen Anforderungen genügen ist jedoch minimal, weshalb auch übrige Studien kritisch genutzt wurden. Aus diesem Mangelbestand an entsprechender Literatur wird umso besser ersichtlich wie schwer es ist verlässliche Aussagen über den absoluten Sauerstoff-Mehrverbrauch nach Kraft- oder Ausdauertrainingsinterventionen zu treffen.

3 Energiebereitstellung und Gewichtsregulierung

In diesem Kapitel sollen Grundlagen zum menschlichen Stoffwechsel vermittelt und körpereigene Mechanismen zur Erzeugung von Energie beschrieben werden. Des Weiteren wird das Prinzip der Gewichtsregulation und Energiebalance erläutert und auf die Rolle von Bewegung und Ernährung eingegangen, wobei vor allem auf den Energieverbrauch samt seiner Einflussfaktoren Bezug genommen wird. Schließlich werden verschiedene Methoden zur Messung des Energieumsatzes vorgestellt.

3.1 Energiebereitstellung

Der menschliche Stoffwechsel funktioniert nach Prinzipien der Thermodynamik, der Lehre von Energie, ihrer Erscheinungsformen und Fähigkeit zur Verrichtung von Arbeit. Energie kann demnach als Potential zur mechanischen Arbeitsverrichtung, Kraft- oder Bewegungsentwicklung verstanden werden (Maughan & Gleeson, 2004). Die Kraftentwicklung der Skelettmuskulatur benötigt eine Quelle chemischer Energie in der Form von Adenosin Triphosphat (ATP). Diese Energie wird während der Hydrolyse von ATP mittels des Enzyms Myosin ATPase freigesetzt, welches spezifische Seiten der kontraktilen Elemente der Muskelfasern aktiviert und den Muskel dazu bringt sich zu verkürzen. Im Rahmen dieses Vorgangs wird ATP weiters dazu benötigt um die Wiederaufnahme von Kalzium-Ionen ins sarkoplasmatische Retikulum zu ermöglichen, als auch die Natrium-Kalium-Pumpe zur Wiederherstellung des Ruhepotentials der Muskelzellmembran in Gang zu halten (Maughan & Gleeson, 2004).

Es gibt vier verschiedene Mechanismen, die an der Erzeugung von Energie für Muskelkontraktionen beteiligt sind:

- 1) ATP wird enzymatisch zu Adenosin Diphosphat (ADP) und anorganischem Phosphat (P_i) zur direkten Energiegewinnung für Muskelkontraktionen aufgespaltet.
- 2) Kreatinphosphat oder Phosphokreatin (PCr) wird enzymatisch zu Kreatin und Phosphat aufgespaltet, um in Verbindung mit ADP die Resynthese von ATP zu ermöglichen.

- 3) Glucose-6-Phosphat, abgeleitet aus Muskelglycogenspeichern oder Blutzucker, wird im Zuge der anaeroben Glycolyse zu Laktat umgewandelt wobei ATP durch Reaktionen der Phosphorylierung freigesetzt wird.
- 4) Bei ausreichender Versorgung mit Sauerstoff betreten die Produkte des Kohlenhydrat-, Fett-, Eiweiß- und Alkoholstoffwechsels den Citratzyklus (auch Krebs- oder Zitronensäurezyklus genannt) im Mitochondrium und werden im Rahmen der oxidativen Phosphorylierung zu Kohlenstoff und Wasser oxidiert, wobei Energie zur Synthese von ATP frei wird.

Die Reaktionen zur Umwandlung der Nährstoffe in verwertbare Energie umfassen demnach die Glycolyse, den Citratzyklus sowie die oxidative Phosphorylierung und werden gemeinsam als „Zellatmung“ bezeichnet (Maughan & Gleeson, 2004; Siegfried, 2006).

3.1.1 Formen

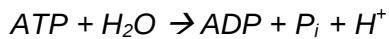
3.1.1.1 Das ATP-System

Die Nutzung von ATP als unmittelbare Energiequelle ist der erste dieser vier Mechanismen und die anderen drei dienen lediglich der Wiederherstellung von ATP zu entsprechenden Raten um einen signifikanten Abfall der intramuskulären ATP-Konzentration zu verhindern. Die Umkehr der ersten drei Reaktionen ist letztendlich von der frei werdenden Energie des vierten, oxidativen Metabolismus abhängig.

Einzelne, sehr schnelle und kraftvolle Muskelkontraktionen sind stark von frei verfügbarem ATP abhängig, das heißt vom ersten der vier Energie liefernden Mechanismen. Als Beispiel sei ein Gewichtheber angeführt, der eine schwere Last in kürzester Zeit (maximal zwei Sekunden) bewältigen muss. Die anderen Mechanismen zur ATP-Resynthese benötigen zu viel Zeit um während des Hebens selbst einen erheblichen Beitrag leisten zu können.

Freie Energie, abgegeben während der Verbrennung von Kohlehydraten und Fetten, kann im ATP-Molekül gespeichert werden, weshalb dieses auch als „energiereiches Phosphat“ bezeichnet wird. ATP ist die einzige Form chemischer Energie, die von lebenden Zellen zu anderen Energieformen umgewandelt werden kann, beispielsweise mechanischer Art

zur Erzeugung von Kraft oder Bewegung. Die chemische Reaktion wird von Maughan und Gleeson (2004) folgendermaßen dargestellt:



Für jedes derart abgebaute Mol an ATP wird Energie in der Höhe von 31 kJ (Kilojoule¹) frei. Die Muskulatur kann jedoch maximal 24 kJ pro Mol ATP an Arbeit verrichten, was eine Ineffizienz der Transformation chemischer in mechanische Energie innerhalb des kontraktile Mechanismus reflektiert. Überdies werden im Rahmen dieses ATP-Abspaltungsprozesses H⁺ Ionen produziert deren Konzentration bei fortsetzender Muskelkontraktion zunimmt und wesentlich zur muskulären Erschöpfung beiträgt.

Die intramuskulären ATP-Speicher sind auf 5 mmol/kg nasse Muskelmasse limitiert, ausreichend für etwa zwei Sekunden maximaler Muskelkontraktion. Dennoch kann der muskuläre ATP-Speicher nie vollständig entleert werden, da seine Resynthese über ADP und AMP (Adenosin Monophosphat) üblicherweise bei gleicher Rate erfolgt wie sein Abbau (Maughan & Gleeson, 2004).

Der menschliche Muskel verfügt über zwei verschiedene Systeme um Energie ohne die Anwesenheit von Sauerstoff (anaerob) zu erzeugen – das alaktazide und das laktazide System, die in folgenden beiden Unterkapiteln beschrieben werden.

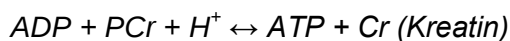
3.1.1.2 Das anaerob alaktazide System

Dieser Mechanismus nutzt ATP zur direkten Energieproduktion und PCr zur Resynthese von ATP. PCr ermöglicht eine extrem schnelle Regeneration von ATP ab Beginn der Muskelkontraktion, wodurch eine sehr hohe und schnelle Kraftentwicklung möglich ist. Dieser Vorgang funktioniert ohne Akkumulation des Stoffwechselprodukts „Laktat“ (siehe unten) und hat höchste Relevanz bei körperlicher Aktivität maximaler Intensitäten über wenige Sekunden (beispielsweise in der ersten Phase eines Sprints oder Satzes im Rahmen eines Krafttrainings). Der größte Nachteil dieses Systems sind die begrenzten Speicher von PCr in der Muskulatur. PCr ist im Zytoplasma der Muskelzelle in einer Konzentration von etwa 20mmol/kg Nassgewicht vorhanden, was in etwa dem vierfachen der ATP-Konzentration entspricht (Maughan & Gleeson, 2004). Ohne Hinzunahme einer anderen Energiequelle würde Erschöpfung folglich nach sehr kurzer Zeit erfolgen.

¹ 4,18 kJ entsprechen einer Kilokalorie (Marées, 2003)

Freies Kreatin liegt im ruhenden Muskel in einer Konzentration von 12-25mmol/kg Nassgewicht vor, wird jedoch nicht im Muskel selbst synthetisiert sondern in der Leber (etwa 1g/Tag). Hier sollte bemerkt werden, dass im Rahmen einer typisch westlichen (fleischreichen) Ernährung überdies etwa 1g/Tag an Kreatin aufgenommen wird. Die Kapazität dieses Systems ist also stark durch den Konsum von Nahrungsmitteln und Supplementen beeinflussbar und kann auf diesem Weg um über 25% gesteigert werden (Maughan & Gleeson, 2004).

Pro Mol an abgebautem PCr wird Energie in der Höhe von 43 kJ frei, dieser Gewinn ist also Höher als jener beim Abbau von ATP. Anhand folgender chemischen Reaktion wird sichtbar, dass während Muskelarbeit die ATP-Homöostase auf Kosten von PCr aufrecht erhalten wird und dabei einige der H^+ Ionen gepuffert werden, die im Rahmen der Hydrolyse von ATP entstehen.



Umgekehrt verläuft dieser Vorgang während der Erholung nach der Belastung, indem ATP aus dem aeroben System genützt wird um die PCr-Speicher wieder aufzufüllen. Die Halbwertszeit von PCr beträgt etwa 30 Sekunden, entsprechend dauert die vollständige Wiederauffüllung der Speicher etwa fünf bis zehn Minuten (Maughan & Gleeson, 2004).

3.1.1.3 Das anaerob laktazide System

Bei Muskelaktivität die über wenige Sekunden hinausgeht wird ATP aus dem anaerob laktaziden System verfügbar, bei dem körpereigene Kohlenhydrate (KH) in der Form von Glukose bzw. Glykogen, der muskuläre Speicherform von Glukose, abgebaut werden. Der entsprechende Stoffwechselweg findet im Zytoplasma der Muskelzelle statt und wird *Glykogenolyse* bzw. *Glycolyse* genannt. Am Ende dieses Stoffwechselweges steht das Produkt Pyruvat, welches zum Fortlaufen der Glykolyse beseitigt werden muss. Bei hochintensiven Belastungen und unzureichender Menge an Sauerstoff geschieht dies über die Umwandlung zu Laktat. ATP wird dabei mittels Phosphorylierung von ADP generiert und im Rahmen der Glycolyse können auf diesem Weg zwei ATP je Molekül Glukose gewonnen werden. Ist Glykogen der Ausgangspunkt werden durch die Glycogenolyse drei ATP je Molekül Glucose frei. Während hochintensiver Belastung können etwa 25 mmol Glucose/kg Nassgewicht für die anaerobe Energiebereitstellung genutzt werden. Folglich liegt die Kapazität des anaerob laktaziden Systems zur ATP-

Regeneration bei etwa 75 mmol/kg Muskelnassgewicht, entsprechend dem drei- bis vierfachen der kompletten Hydrolyse der PCr-Speicher (Maughan & Gleeson, 2004).

Trotz der absolut höheren Kapazität beinhaltet die anaerobe Glykolyse vergleichsweise deutlich mehr Stoffwechselschritte und ist in ihrer Energieproduktionsrate relativ langsam. Dennoch setzt sie mit Beginn der Muskelaktivität ein, stimuliert durch die Muskelkontraktion selbst und die Endprodukte der ATP- und PCr-Hydrolyse, erreicht ihren Höhepunkt nach etwa fünf Sekunden und ermöglicht Muskelarbeit maximaler Intensität über mehrere Sekunden.

Nach 30 Sekunden maximal intensiver körperlicher Aktivität ist der Anteil der anaeroben Glykolyse an der ATP-Resynthese bereits doppelt so groß wie jener von PCr (Maughan & Gleeson, 2004). Bei maximalen Belastungen zwischen 20 Sekunden und zwei Minuten (längerer Sprint oder klassischer Satz im Krafttraining) wird der Energiebedarf also zum größten Teil anaerob laktazid gedeckt. Dabei wird Muskelglykogen sehr rasch aufgespalten und Laktat in größeren Mengen gebildet.

Die zusehends eintretende Erschöpfung im Rahmen hochintensiver Belastungen über wenige Sekunden bis Minuten ist nicht auf eine Entleerung der Glykogenspeicher zurückzuführen, sondern auf die Entleerung der PCr-Speicher und Akkumulation von Stoffwechselendprodukten. Diese senken den PH-Wert innerhalb der Muskelzelle, erzeugen somit ein saures Milieu und beeinträchtigen deren Funktionsweise. Während lange Zeit einzig Laktat für dieses Phänomen verantwortlich gemacht wurde gehen neuere Vermutungen davon aus, dass bei derartigen Aktivitäten insbesondere H^+ Ionen und P_i (anorganisches Phosphat) limitierend wirken. Die Wiederherstellung des Ruhemilieus in Blut und Muskulatur nach derartigen Belastungen dauert mindestens eine Stunde, wobei dieser Erholungsprozess durch erhöhte Sauerstoffversorgung im Rahmen aktiver Bewegung beschleunigt werden kann. Die Wiederauffüllung des verbrauchten Muskelglykogens dauert hingegen mindestens 24 Stunden (Maughan & Gleeson, 2004).

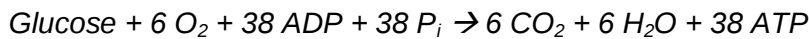
3.1.1.4 Das aerobe System

Im Rahmen körperlicher Aktivitäten, die bei moderater Intensität über längere Zeiträume (>30 Minuten) andauern ist die erforderliche Energieproduktionsrate vergleichsweise niedrig, sodass ATP überwiegend aerob, das heißt unter Einfluss von Sauerstoff resynthetisiert werden kann. Während PCr innerhalb der ersten Minute noch relativ stark an der Energiebereitstellung beteiligt ist, erreicht dessen Aufspaltung rasch ein „Steady-State“ und Kohlenhydrate sowie Fette übernehmen die Hauptrolle als Energie liefernde

Substrate. Ein Marathonläufer wird seinen Energiebedarf überwiegend auf diesem aeroben Stoffwechselweg decken.

Die körpereigenen KH-Speicher sind relativ klein, mit einem Maximum von 100g Leberglykogen und 400-500g Muskelglykogen. Unter normalen Umständen könnten die muskulären Glykogenspeicher alleine Energie für etwa 80 Minuten körperlicher Aktivität bereitstellen (Maughan & Gleeson, 2004). Unter gleichzeitiger Nutzung von Leberglykogenspeichern und Körperfett kann die ATP-Produktion allerdings noch weiter aufrecht erhalten werden, solange bis alle Kohlenhydratspeicher entleert sind und die Fettoxidation alleine nicht mehr für den nötigen Energiebedarf aufkommen kann.

Die chemische Reaktion zur Oxidation von Glucose findet nach Maughan und Gleeson (2004) folgendermaßen statt:



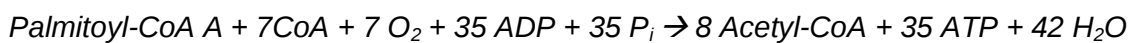
Es wird ersichtlich, dass die aerobe Verstoffwechselung von Glucose 38 ATP freisetzt und damit wesentlich energiebringender ist als auf dem anaeroben Weg der Glycolyse.

Die Gluconeogenese, ein Prozess in der Leber zur Synthese von Kohlenhydraten aus anderen Quellen, hilft bei der Aufrechterhaltung der Blutzuckerkonzentration welche für den arbeitenden Muskel von großer Bedeutung ist als auch für andere Gewebe wie Gehirn und rote Blutkörperchen (Maughan & Gleeson, 2004).

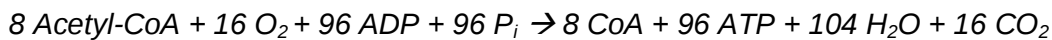
Bei ausreichender Versorgung mit Sauerstoff kann Pyruvat als Endprodukt der Glycolyse diese nun verlassen, wodurch die Entstehung von Laktat ausbleibt, die Glycolyse fortlaufen und der Citratzyklus in Gang gesetzt werden kann. Die Oxidation von Pyruvat zu CO_2 und H_2O geschieht im Rahmen des Citratzyklus in den Mitochondrien der Muskelzelle. Im Verlauf des Citratzyklus entstehen die hochenergetischen Transportmoleküle NADH und FADH_2 die fortwährend zu NAD^+ bzw. FAD oxidiert und wieder reduziert werden. Dieser Vorgang erlaubt es Elektronen bzw. Energie aufzunehmen und wieder abzugeben und so durch die Atmungskette zu transportieren. Schließlich wandern diese Moleküle in die Membran des Mitochondriums, um dort entlang der Atmungskette (auch Elektronen-Transportkette oder oxidative Phosphorylierung genannt) geführt zu werden. Am Ende dieser Reaktionskette werden die Elektronen von O_2 -Molekülen abgefangen um gemeinsam mit H^+ (Wasserstoff) Wasser zu formen. Dabei wird Energie frei die dazu genutzt wird um Phosphat- mit ADP-Molekülen zu verbinden und ATP zu resynthetisieren. Es wird also ersichtlich, weshalb während dieser aeroben

Resynthese von ATP mittels Kohlenhydraten und Fetten Sauerstoff unbedingt erforderlich ist (Maughan & Gleeson, 2004; Siegfried, 2006).

Fett wird im Körper in Form von Triglyceriden gespeichert, die überwiegend in weißem Fettgewebe vorhanden sind. Fettspeicher liegen weiters in Leber und Muskulatur vor, als auch im Blut in der Form von Lipoproteinen. Muskeln können Triglyceride jedoch nicht direkt oxidieren, weshalb diese im Rahmen der Lipolyse zunächst in Fettsäuren und Glycerol aufgespaltet werden müssen. Die Lipolyse wird während körperlicher Aktivität vor allem durch die Hormone Adrenalin und Glucagon aktiviert. Die Fettsäuren werden anschließend der Beta-Oxydation im Mitochondrium unterzogen (Maughan & Gleeson, 2004):



Dabei wird unter anderem Acetyl-Coenzym A freigesetzt welches zur ATP-Resynthese wiederum dem Zitronensäurezyklus unterzogen wird:



Unter Addition dieser beiden Reaktionen wird sichtbar, dass unter kompletter Oxidation eines einzigen typischen Fettsäuremoleküls etwa 130 ATP gewonnen werden. Es verwundert also nicht, dass der Anteil des oxidativen Fettstoffwechsels an der Energiebereitstellung bei andauernder Belastung kontinuierlich zunimmt und bei Aktivitäten moderater Intensität über mehrere Stunden bis zu 80% der Energie beisteuert. Auch die Körperfettspeicher sind nahezu grenzenlos und gelten grundsätzlich nicht als limitierender Faktor. Der Nachteil dieses extrem effizienten Systems ist die Geschwindigkeit ihrer ATP-Resyntheserate, die auf maximal ein mmol/Sekunde/kg Trockenmasse limitiert ist. Dies entspricht in etwa dem Energiebedarf während körperlicher Belastungen bei einer Intensität von 50-60% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Maughan & Gleeson, 2004). Bislang scheint es unklar zu sein durch welchen Faktor die maximale Oxidationsrate von Fett während körperlicher Aktivität limitiert ist. In jedem Fall steht sie in Beziehung zur Konzentration von Plasmafettsäuren sowie Durchblutung und wird teilweise auch durch die oxidative Kapazität der rekrutierten Muskelfasern sowie durch Verfügbarkeit der Kohlenhydratspeicher reguliert.

Adaptationen im Rahmen von Ausdauertraining beziehen sich daher insbesondere auf die verbesserte Fähigkeit der Muskelzellen Fette zu oxidieren um Kohlenhydratspeicher zu

schonen. Diese Speicher sind wiederum ebenfalls stark durch Training und Ernährung beeinflussbar (Maughan & Gleeson, 2004).

3.1.1.5 Ganzheitliche Betrachtung

Aus der vorliegenden Beschreibung wird deutlich, dass die Hauptnährstoffe, darunter vor allem Kohlenhydrate und Fette, als primäre Quelle für potentielle Energie funktionieren. Proteine spielen in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle, da sie zwar in großen Mengen (Muskulatur) vorhanden, jedoch grundsätzlich strukturell gebunden sind und nur teilweise zur Energiegewinnung verfügbar werden. Eiweiß muss zunächst in seine einzelnen Aminosäuren aufgespaltet werden, wobei überwiegend verzweigtkettige Aminosäuren (BCAAs) den Energiestoffwechsel betreten. Während deren Carbon-Bestandteile die Stoffwechselwege (z.B. Zitronensäurezyklus) direkt betreten oder zu KH bzw. Fett umgewandelt werden, können die überbleibenden Nitrogenbestandteile im Rahmen der Gluconeogenese der Leber zu KH „recycelt“ werden. Aminosäuren werden zusehends als wichtige Energieträger, vor allem während extensiver Dauerbelastungen, angesehen (Maughan & Gleeson, 2004; McArdle et al., 2007).

Während fast aller körperlichen Aktivitäten und Sportarten kommen diese vier Energiesysteme gleichzeitig zur Anwendung. Welche Substrate primär zur Energiebereitstellung herangezogen werden hängt von vielen Faktoren ab, darunter Substratverfügbarkeit, Ernährung, Belastungsintensität, Belastungsdauer, Trainingsstatus, Vortrainingsbedingungen und Hormone. Unter den Hormonen sollte Insulin erwähnt werden, welches eine Speicherung von Kohlenhydraten und Fetten begünstigt. Sein Antagonist mit entsprechender Gegenfunktion ist Glucagon. Des Weiteren stimulieren Adrenalin und Noradrenalin die Lipolyse als auch die Mobilisation und Metabolisierung von Kohlenhydraten bei Stress (Maughan & Gleeson, 2004).

3.1.2 Energieverbrauch

Drei Faktoren beeinflussen den *absoluten Tagesenergieverbrauch* nach McArdle et al. (2007) am maßgeblichsten:

- 1) Ruhegrundumsatz (ca. 60-75%)
- 2) Thermischer Effekt von Nahrungsmitteln (ca. 10%)
- 3) Energieverbrauch während körperlicher Aktivität (ca. 15-30%)

3.1.2.1 Grundumsatz

Der Ruhegrundumsatz (GU) beschreibt jenes Minimum an Energie, das der lebende Organismus in Ruhe aufwenden muss um die Körperfunktionen aufrecht erhalten zu können. Mit etwa 60-75% leistet er den mit Abstand größten Beitrag zum absoluten Tagesenergieverbrauch. Drei Faktoren führen im Speziellen zu einem Anstieg des GU: vorhergehende Muskelarbeit (Kraft- und Ausdauertraining als Hauptbetrachtungspunkt dieser Arbeit), Verdauung (siehe weiter unten) und Umgebungstemperatur. Letztere bewirkt einen 5 bis 20% erhöhten GU in tropischen Regionen im Vergleich zu kühleren Lebensräumen und ist auf einen erhöhten thermischen Effekt, insbesondere durch gesteigerte Körperkerntemperatur und Schweißproduktion zurückführbar (De Marées, 2002; McArdle et al., 2007).

Dementsprechend kann eine exakte Messung des GU nach McArdle et al. (2007) nur unter standardisierten Bedingungen erfolgen:

- Davor mindestens zwölf Stunden nüchtern
- Davor mindestens zwölf Stunden keine anstrengenden körperlichen Aktivitäten
- Nach ruhigem Liegen für 30-60 Minuten in einem schwach beleuchteten und Temperatur kontrolliertem Raum

Laut De Marées (2002) ist der GU durch etliche weitere Größen beeinflusst und variiert entsprechend stark zwischen Individuen:

Körpermasse: Mit steigender Körpermasse nimmt der GU generell zu und bei Gewichtsreduktion ab, wobei die Körperkomposition hierbei natürlich eine große Rolle spielt. So geben Speakman und Selman (2003) an, dass bis zu 50 bis 70 Prozent der inter-individuellen Variation im GU allein durch die fettfreie Körpermasse erklärt werden können.

Alter: Der GU steigt von der Geburt bis zum Ende des ersten Lebensjahres stetig an und erreicht in dieser Zeit Werte, die etwa 150% über dem Umsatz Erwachsener liegen. Während der GU in der Jugend weiterhin erhöht bleibt kommt es im Erwachsenenalter zu

einer Reduktion von 2% pro Dekade. Da dieser verminderte Energieverbrauch durch eine altersbedingte Zunahme an Körperfett und Abnahme fettfreier Körpermasse erklärt wird, kann diesem Prozess durch körperliche Aktivität entgegengewirkt werden.

Geschlecht: Frauen haben einen um 10% geringeren GU als Männer, da sie einen prozentuell höheren Fettanteil und niedrigeren Muskelanteil aufweisen und weniger Stoffwechsel anregende, männliche Sexualhormone ausschütten.

Tageszeit: Während der Energieverbrauch in der Nacht am geringsten ist, erreicht er am Nachmittag ein Maximum. Im Rahmen dieser zirkadian-rhythmischen Schwankungen kann der GU um bis zu 25% schwanken.

Hormonelle und zentralvenöse Einflüsse: Grundsätzlich steigt der GU mit zunehmender Hormonproduktion an. Adrenalin und Noradrenalin erhöhen den Stoffwechsel, weshalb bei operativer Entfernung der Nebenniere der GU um etwa 15% absinkt. Ähnliches gilt für das Schilddrüsenhormon Thyroxin, wobei Patienten mit Schilddrüsenüberfunktionen einen um etwa 50% gesteigerten GU aufweisen können. Vor der Menstruation in der Phase der vermehrten Gelbkörperproduktion liegt der weibliche GU um ca. 20% höher als postmenstrual. Zentralnervös bedingte Änderungen des Muskeltonus (beispielsweise bei Ängstlichkeit) spielen bei Schwankungen des GU ebenfalls eine Rolle. Im Winter und während der Schwangerschaft ist der GU erhöht und auch bei gewissen Erkrankungen kommt es zu einem vermehrten Energieumsatz. So kommt es bei Fieber zu einer Erhöhung des GU von etwa 14% pro Grad Temperaturanstieg.

Organe: Muskulatur und Leber sind mit jeweils etwa 26%, das Gehirn mit etwa 18%, das Herz mit etwa 9% und die Nieren mit etwa 7% am GU beteiligt. Die restliche Energie wird u.a. für Fettgewebe, Haut, Knochen und Verdauungstrakt aufgewendet (vgl. De Marées, 2002).

Trotz all dieser Einflussgrößen kann die Größe des Grundumsatzes mittels folgender Formel nach De Marées (2002) geschätzt werden:

Grundumsatz $\approx$ 4 kJ pro kg Körpergewicht pro Stunde $\approx$ 1 Watt pro kg Körpergewicht

3.1.2.2 Thermischer Effekt von Nahrungsmitteln

Durch die Nahrungsaufnahme erhöht sich die Stoffwechselrate aufgrund energetisch aufwendiger Prozesse der Verdauung, Absorption und Assimilation von Nährstoffen. Diese über die Nahrungszufuhr induzierte Thermogenese erreicht ihr Maximum etwa eine Stunde nach der Lebensmittelaufnahme, abhängig von Menge und Zusammensetzung, und hält zwischen vier und 12 Stunden lang an. Ihre Höhe reicht von 10 bis 35% des Energiegehaltes der Mahlzeit. Nach eiweißreicher Kost ist der thermische Effekt besonders hoch (reines Eiweiß etwa 25%) und hält bis zu 18 Stunden an.

Der Anteil der nahrungsbedingten Thermogenese am absoluten Tagesenergieverbrauch beträgt etwa 10% (vgl. De Marées, 2002; McArdle et al., 2007).

3.1.2.3 Energieverbrauch während körperlicher Aktivität

Körperliche Aktivität beeinflusst den täglichen Energieverbrauch maßgeblich. Weltklasse Athleten verdoppeln ihren GU nahezu bei drei bis vier Stunden intensiven Trainings. Die meisten Menschen sind bei Bewegungsformen unter Nutzung großer Muskelgruppen (Laufen, Radfahren, Schwimmen etc.) in der Lage Trainingsintensitäten aufrecht zu erhalten, bei denen die metabolische Umsatzrate um ein etwa 10-faches höher ist als in Ruhe (De Marées, 2003). Der Energieumsatz bei körperlicher Aktivität ist von zahlreichen Faktoren wie Intensität, Körpermasse, Bewegungsökonomie, Bekleidung, klimatische Bedingungen, Luftwiderstand, Bodenbeschaffenheit oder Geländeprofil abhängig. Er kann brutto (Energieverbrauch während der Aktivität) oder netto als „Arbeitsumsatz“ (Energieverbrauch während der Aktivität minus dem zeit-identischen GU) ausgedrückt werden, wobei der Anstrengungsgrad der Aktivität mittels Kalorienaufwand (kCal/min), Sauerstoffbedarf (VO_2/min) oder metabolischem Äquivalent (MET) klassifiziert werden kann. Es sei bemerkt, dass der deutlich erhöhte Energieumsatz während körperlicher Aktivität nur zu einem relativ geringen Anteil aus der Muskelkontraktion selbst resultiert, während der viel größere Energieanteil durch die Wärmeproduktion verloren geht (De Marées, 2003; McArdle et al., 2007).

Das MET-System wurde insbesondere entwickelt, um den Anstrengungsgrad bzw. Energieverbrauch bei allen möglichen Formen körperlicher Aktivität in Sport und Alltag beurteilen zu können. Ein MET repräsentiert den Ruheenergieverbrauch eines Erwachsenen, entsprechend 3,5 ml $\text{O}_2/\text{kg}/\text{min}$ oder 1 kCal/kg/h (De Marées, 2003;

McArdle et al., 2007). Das MET-System ist jedoch nicht ganz exakt, da es gewisse individuelle Unterschiede wie Körperkomposition, Alter, Geschlecht, Bewegungseffizienz und Umgebungsbedingungen nicht berücksichtigt. Unterschiede im Energieverbrauch können daher bei derselben körperlichen Aktivität zwischen verschiedenen Personen völlig verschieden sein und mit den Richtlinien wenig übereinstimmen.

Eine Auflistung typischer Aktivitäten im Rahmen eines Ausdauer- bzw. Krafttrainings und ihr Energieaufwand sind in folgender Tabelle angeführt.

Tab. 1: Energieaufwand typischer körperlicher Aktivitäten (modifiziert nach Ainsworth et al., 2000)

Aktivität	Energieverbrauch
Radfahren bei unter 16 km/h	4.0 MET, 4 kCal/kg/h, 14 ml O ₂ /kg/min
Radfahren bei 19,3 bis 22,4 km/h	8.0 MET, 8 kCal/kg/h, 28 ml O ₂ /kg/min
Radfahren bei 25,7 bis 30,6 km/h	12.0 MET, 12 kCal/kg/h, 42 ml O ₂ /kg/min
Radfahren über > 32,2 km/h	16.0 MET, 16 kCal/kg/h, 56 ml O ₂ /kg/min
Radergometer bei 50 Watt	3.0 MET, 3 kCal/kg/h, 10.5 ml O ₂ /kg/min
Radergometer bei 150 Watt	7.0 MET, 7 kCal/kg/h, 24.5 ml O ₂ /kg/min
Radergometer bei 250 Watt	12.5 MET, 12.5 kCal/kg/h, 43.8 ml O ₂ /kg/min
Rudern bei 50 Watt	3.5 MET, 3.5 kCal/kg/h, 12,25 ml O ₂ /kg/min
Rudern 100 Watt	7.0 MET, 7 kCal/kg/h, 24.5 ml O ₂ /kg/min
Rudern bei 150 Watt	8.5 MET, 8.5 kCal/kg/h, 29.8 ml O ₂ /kg/min
Laufen bei 8 km/h	8.0 MET, 8 kCal/kg/h, 28 ml O ₂ /kg/min
Laufen bei 12 km/h	12.5 MET, 12.5 kCal/kg/h, 43.8 ml O ₂ /kg/min
Laufen bei 16 km/h	16.0 MET, 16 kCal/kg/h, 56 ml O ₂ /kg/min
Zirkeltraining (kurze Pausen, inklusive aerob-gymnastische Bewegungen)	8.0 MET, 8 kCal/kg/h, 28 ml O ₂ /kg/min
Gewichtheben oder Bodybuilding (freie Gewichte und Maschinen) bei leichter bis	3.0 MET, 3 kCal/kg/h, 10.5 ml O ₂ /kg/min

moderater Anstrengung	
Gewichtheben oder Bodybuilding (freie Gewichte und Maschinen) bei starker Anstrengung	6.0 MET, 6 kCal/kg/h, 21 ml O ₂ /kg/min

Anhand der Angaben in Tabelle 1 wird bereits ersichtlich, dass eine Einschätzung des Energieaufwandes beim Krafttraining wesentlich undifferenzierter ist als bei Ausdaueraktivitäten. Möglichkeiten zur weiteren Berechnung des Energieumsatzes bei Kraft- und Ausdauertraining sind in den Kapiteln 5.1.3 und 5.2.3 angeführt.

Der Beitrag körperlicher Aktivität zum absoluten Tagesenergieverbrauch beträgt durchschnittlich zwischen 15 und 30% (McArdle et al., 2007).

3.2 Prinzip der Gewichtsregulierung

Die Thematik der Gewichtsregulation gewann zunehmend an Bedeutung, seit Übergewicht zum massiven Problem vieler Gesellschaften geworden ist. In diesem Zusammenhang spricht man bereits von einer „Adipositas Epidemie“, die unter anderem signifikant zum steigenden Trend von Typ-2 Diabetes, Krebs, rheumatischen und Herzgefäß-Erkrankungen beiträgt (Donnelly et al., 2009).

Übergewicht und Adipositas sind ab einem BMI (body mass index = kg/m²) von 25-29,9 bzw. ≥30 definiert und durch einen überhöhten Körperfettanteil charakterisiert. Etwa 66,4% aller erwachsenen Amerikaner müssen heute dieser Kategorie zugeordnet werden (Donnelly et al., 2009), während sich Schätzungen in Österreich auf etwa die Hälfte aller Männer und ein Drittel der Frauen berufen (Rathmanner et al., 2006). In einem Bericht der Österreichischen Adipositas Gesellschaft werden Übergewicht und Adipositas als das am schnellst wachsende Gesundheitsrisiko und Hauptgesundheitsproblem dieses Jahrhunderts angesehen. Mit dieser Problematik gehen enorme Kosten im Gesundheitswesen einher, wobei die Gesamtkosten mit dem BMI und der Zahl von Krankenständen korreliert (vgl. Donnelly et al., 2009; Rathmanner et al., 2006).

In Einklang mit dem ersten Gesetz der Thermodynamik schreibt die Gleichung der Energiebilanz vor, dass die Körpermasse konstant bleibt sofern die kalorische Aufnahme dem kalorischen Verbrauch entspricht:

Energiebalance (Gleichgewicht): Energieaufnahme (Input) = Energieverbrauch (Output)

Ist die Energiebilanz langfristig positiv kommt es zur Gewichtszunahme, bei einem permanenten Ungleichgewicht zugunsten des Verbrauchs kommt es zur Gewichtsabnahme. Dieses heute allgemein akzeptierte Prinzip soll anhand folgender Abbildung anschaulich gemacht werden.

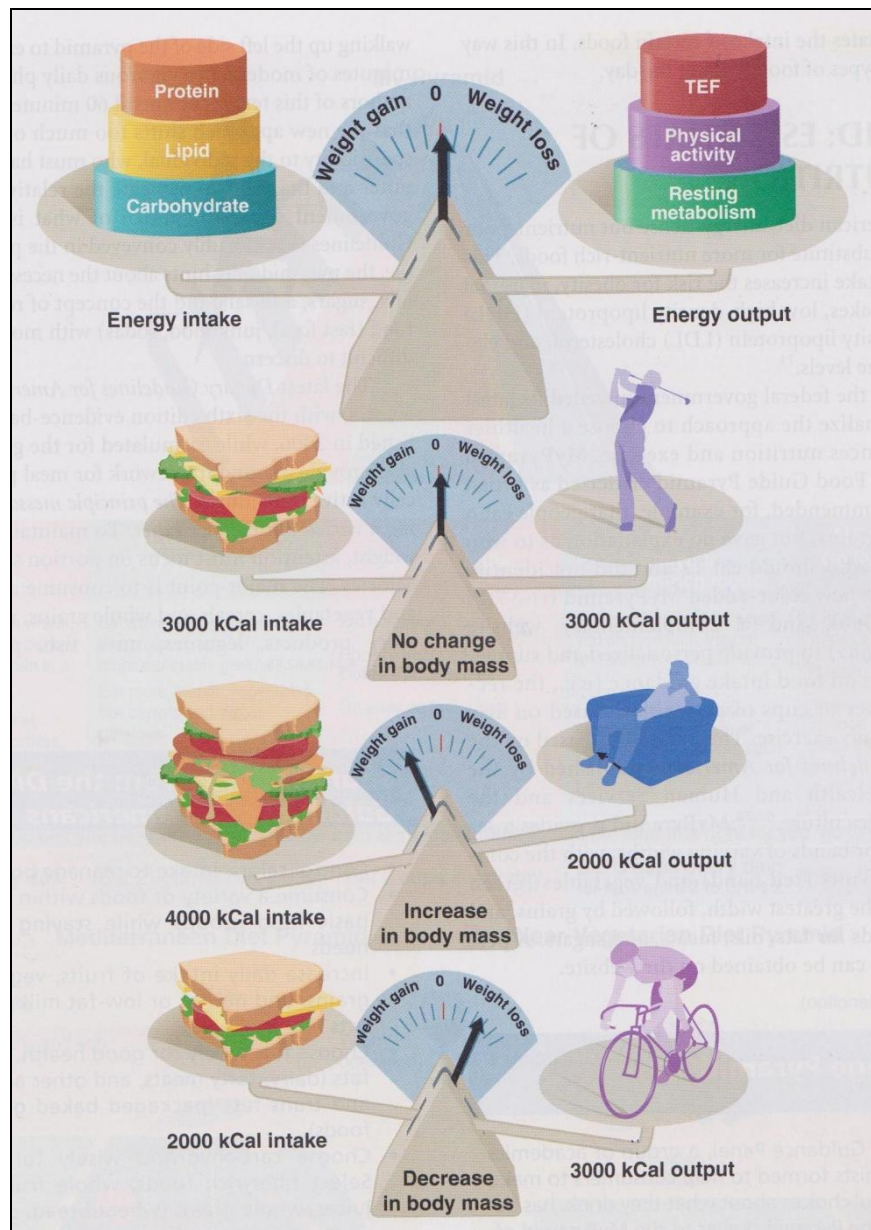


Abb. 1: Energie Balance (in McArdle, Katch & Katch, 2007, S. 166)

Das Ziel einer jeden Gewichtsreduktion ist demnach immer eine langfristig negative Energiebilanz - je höher diese ausfällt, desto stärker die Abnahme an Körpermasse. Bei adipösen Menschen ($BMI > 30$) wird standardmäßig eine Gewichtsreduktion um mindestens fünf bis zehn Prozent des Körpergewichts empfohlen. Dabei sollen, abhängig vom Tagesgesamtenergieumsatz, etwa 500 bis 1000kCal pro Tag eingespart werden, entsprechend einem Gewichtsverlust von 0,45 bis 0,9kg Körperfett pro Woche (Donnelly et al., 2009; McArdle et al., 2007).

An dieser Stelle sei angemerkt, dass durch absolute Angaben (wie beispielsweise 0,45 Kg) bei verschiedenen Personen nicht mit gleichen Interventionsverläufen bzw. Ergebnissen gerechnet werden kann. Exakter wären in diesem Zusammenhang relative Angaben die das individuelle Körpergewicht prozentuell berücksichtigen. Leider sind relative Angaben zur Gewichtsregulierung in der Literatur jedoch kaum erwähnt und in der Praxis entsprechen unüblich.

3.2.1 Stellenwert von Ernährung und Bewegung

Zur Realisierung eines oben beschriebenen Energiedefizits gibt es laut Donnelly et al. (2009) und McArdle et al. (2007) drei Möglichkeiten:

1. Energieaufnahme auf unterhalb des Tagesgesamtenergieverbrauchs reduzieren
2. Energieverbrauch bei unveränderter Energieaufnahme erhöhen
3. Energieaufnahme reduzieren und Energieverbrauch erhöhen

Möglichkeit 1: Häufig versucht man das Energiedefizit durch eine reine Ernährungsumstellung zu realisieren. Dabei nimmt die Nährstoffzusammensetzung zwar keinen Einfluss auf die absolute Gewichtsabnahme, wohl jedoch auf die Körperkomposition. So kann ein erhöhter Eiweißanteil verhindern, dass stoffwechselaktives Gewebe wie Muskulatur bei Energierestriktion abgebaut wird.

Möglichkeit 2: Aufgrund der Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen körperlicher Aktivität und Gewichtsabnahme ist jede Form und jedes Ausmaß an Bewegung potentiell wirksam. Zur Erhaltung bzw. signifikanten Reduktion des Körpergewichts werden seitens des ACSM allerdings 150-250 Minuten pro Woche bei moderater bis erschöpfender Intensität

und einem Energieäquivalent von 1200 bis 2000 kcal empfohlen. Höhere Umfänge bewirken eine entsprechend massivere Gewichtsabnahme (Donnelly et al., 2009).

Möglichkeit 3: Bei identischem Energiedefizit ist eine kombinierte Bewegungs- und Ernährungsumstellung einer reinen Ernährungsumstellung theoretisch nicht überlegen. Aus praktischen Gründen beinhalten die meisten Empfehlungen zur Gewichtsreduktion dennoch sowohl eine Einschränkung der Energieaufnahme über die Ernährung als auch eine Erhöhung des Energieverbrauchs über körperliche Aktivität. Viele Menschen nehmen zwar relativ leicht und zügig ab, können ihr neues Gewicht jedoch nicht halten und nehmen ebenso schnell wieder zu, oft sogar über ihr ursprüngliches Ausgangsgewicht hinaus. Tatsächlich liegt die Erfolgsquote beim Gewichtserhalt über fünf Jahre nach einer Abnahme bei nur 5-20% (McArdle et al., 2007). Gerade in diesem Zusammenhang wird körperliche Aktivität als sehr wichtiger Faktor gehandelt da sie einige entscheidende Vorteile gegenüber einer reinen kalorienreduzierten Ernährungsweise bietet. Unter anderem kann über entsprechende Bewegung der Appetit reguliert, der Grundumsatz durch Erhalt bzw. Aufbau fettfreier Körpermasse erhalten oder sogar erhöht und der Fettstoffwechsel stimuliert werden. Überdies sind positive Einflüsse auf Gesundheit und emotionales Befinden möglich. Das „System Körper“ wird durch körperliche Aktivität sozusagen wieder in Balance gebracht.

Eine rein kalorische Einschränkung über die Ernährung dürfte hingegen langfristig ungünstiger sein, da hierbei zumeist fettfreie Körpermasse abgebaut wird sowie Heißhunger und übermäßiger Appetit zunehmen was den GU entsprechend abgesenkt und den Fettstoffwechsel ungünstig beeinflussen kann. Außerdem besteht bei starker Ernährungseinschränkung erhöhte Gefahr zur Entwicklung emotionalen Stresses und einer Unterversorgung von Makro- und Mikronährstoffen. All diese Faktoren erschweren die Einhaltung eines Ernährungsprogramms zur Gewichtsreduktion (Donnelly et al., 2009; McArdle et al., 2007).

Obwohl Krafttraining neuerdings einen Aufschwung im Gesundheitswesen erfährt, ist seine Rolle bei der Gewichtsreduktion uneindeutig. So bewirkt reines Krafttraining ohne weitere Ernährungsumstellung zufolge des ACSM keine signifikante Gewichtsabnahme und ist zumindest auf kurze Sicht einem reinen Ausdauertraining unterlegen. In Kombination mit einer Drosselung der Energiezufuhr über die Ernährung wird dem Krafttraining nur ein unbedeutender Beitrag zur Gewichtsabnahme zugeschrieben. Andererseits führt Krafttraining in aller Regel zu einem Aufbau an Muskelmasse, wodurch der Ruheenergieverbrauch entsprechend angehoben werden kann (Donnelly et al., 2009). So kommt es nach einem 12- bis 26-wöchigem Krafttraining unabhängig vom Alter zu einem durchschnittlichen Muskelaufbau von sieben Prozent, was einen zusätzlichen

Energieaufwand von 100-140 kCal pro Tag bedeutet und einem Körperfettabbau von fünf bis sieben Kilogramm pro Jahr entspricht (Gottlob, 2007). Allerdings können die Muskelzuwächse durch kräftigende Aktivitäten interindividuell und vor allem in Abhängigkeit vom Geschlecht stark variieren.

Die Kombination von Kraft- und Ausdauertraining ist einem reinen Ausdauertraining daher möglicherweise überlegen, wenn neben der Gewichtsreduktion insbesondere eine Veränderung der Körperkomposition zugunsten der fettfreien Masse erwünscht ist. Da Krafttraining zugleich Muskulatur auf- und Körperfett abbaut existiert keine Dosis-Wirkungs-Beziehung für Krafttraining und Gewichtsreduktion.

Nach aktuellen Gesichtspunkten dürfte eine Kombination aus Ausdauer- und Krafttraining in Verbindung mit einer gezielten Ernährungsumstellung das Idealprogramm zur Gewichtsreduktion darstellen (Donnelly et al., 2009).

Am folgenden Beispiel soll gezeigt werden wie ein realistisches Ziel zur Körperfettreduktion in der Praxis typischerweise berechnet werden kann.

Soll eine Person zum Beispiel neun Kilogramm in einem Zeitraum von 20 Wochen abnehmen, wären dies -0,45 Kg pro Woche ($9 \div 20 = 0,45$). Wenn man bedenkt, dass ein Gramm Fett 9 kCal hat und Körperfett nur zu 87% aus Fett besteht müssen für 0,45 Kg Körperfett etwa 3500 kCal veranschlagt werden ($450 * 0,87 * 9 = 3523$). Entsprechend müsste die Person für neun Kg in 20 Wochen ein Energiedefizit von durchschnittlich 3500 kCal pro Woche bzw. 500 kCal pro Tag realisieren ($3500 \div 7 = 500$), zum Beispiel in Form einer reinen Diät.

Würde die Person nun zusätzlich dreimal pro Woche moderate körperliche Aktivität im Wert von jeweils 350 „Extrakalorien“ betreiben, würde das Energiedefizit um 1050 kCal ansteigen ($3 * 350 = 1050$). Entsprechend könnte das nahrungsindizierte Energiedefizit auf 2450 kCal herabgesetzt werden ($3500 - 1050 = 2450$) um im Zeitplan zu bleiben. Bei fünfmaligem Training pro Woche wäre nur noch eine kalorische Einschränkung von 250 kCal erforderlich ($5 * 350 \div 7 = 250$) und bei einer Verlängerung der Trainingseinheiten von 30 auf 60 Minuten wäre überhaupt keine Diät mehr erforderlich, da das gesamte Energiedefizit ($5 * 700 = 3500$) über die Bewegung erreicht werden würde (vgl. McArdle et al., 2007).

Der Gewichtsverlust im Rahmen einer längerfristigen Bewegungs- und/oder Ernährungsumstellung verläuft jedoch zumeist nicht linear, ist demnach schwer

vorherzusagen und oft nicht so exakt berechenbar wie im eben beschriebenen Beispiel. So kann zu Beginn einer derartigen Intervention unerwartet viel Gewicht in nur wenigen Wochen abgebaut werden, was allerdings insbesondere durch einen erhöhten Wasserverlust als Folge entleerter Glycogenspeicher bedingt ist. Andererseits passt sich der Gesamttagesenergieverbrauch an die täglichen Anforderungen an. So können entleerte Glycogenspeicher bei gewissen Personen zur Lethargie führen und zu einer verminderten körperlichen Aktivität. Weiters vermindern sich die Energiekosten körperlicher Aktivität, da im Zuge des Abnehmprozesses immer weniger Masse bewegt werden muss. Als besonders kritisch ist allerdings der Ruheumsatz als größter Energieposten zu sehen, der aus einem körpereigenen Schutzmechanismus bei Gewichtsverlust oft massiv herabgesetzt wird (McArdle et al., 2007).

Auch abseits gezielter Trainingseinheiten sollte Bewegung vermehrt in den Alltag integriert werden, da die meisten Menschen den Großteil ihrer Zeit sitzend verbringen, sei es zuhause, in der Arbeit oder in ihrer Freizeit. Der daraus entstehende, entsprechend niedrige Ruheenergieumsatz wird mitunter als wichtiger Grund für die beschriebene "Adipositas Epidemie" in modernen Gesellschaften angesehen (Donnelly et al., 2009).

Genetische Variationen dürften zu etwa 25-30% an der Ablagerung übermäßigen Fettgewebes beteiligt sein, dies betrifft insbesondere die beiden Gene „Obese“ (OB) und „Uncoupling Protein-2“ (UCP2). Während OB das Appetit hemmende und Stoffwechsel anregende Protein „Leptin“ aktiviert, stimuliert UCP2 die Wärmeproduktion und führt somit zur Verbrennung überschüssiger Kalorien. Ein Defekt dieser beiden Gene begünstigt Hunger, drosselt den GU und begünstigt entsprechend die Fettspeicherung und Gewichtszunahme.

Dennoch führen genetische Prädispositionen nicht zwangsläufig zum sehr häufig genannten „angeborenen Übergewicht“. Dies wird eindeutig wenn man bedenkt, dass erhebliche genetische Veränderungen einer Population üblicherweise Millionen von Jahren benötigen, Übergewicht jedoch erst seit einigen Jahrzehnten zum gesellschaftlichen Problem geworden ist (McArdle et al., 2007).

Eine Gewichtsreduktion kann ebenfalls durch wiederholte Zyklen der Ab- und Zunahmen erschwert werden, dies geschieht typischerweise im Rahmen diverser Diäten. Das hier beschriebene Phänomen wird oft als „Jojo-Effekt“ bezeichnet und ist vermutlich auf eine verbesserte Fähigkeit des Körpers zur Energiespeicherung rückführbar. Der Organismus lernt Energie zu sparen und den Stoffwechsel ökonomischer einzustellen, wodurch nicht nur das Abnehmen künftig schwieriger wird sondern überdies eine Zunahme über das

Ausgangsniveau hinaus begünstigt wird. Dieser Effekt kann auch ausgelöst werden, wenn sehr viel Gewicht in zu kurzer Zeit reduziert wird (McArdle et al., 2007).

Schließlich gibt es auch zwischen Frauen und Männern Unterschiede hinsichtlich Verlauf und Erfolg im Gewichtsmanagement. Neben den in Kapitel 3.1.2.1 erwähnten Geschlechterunterschieden mit Einfluss auf den Grundumsatz führt auch die unterschiedliche Lokalisation von Körperfett dazu, dass Frauen häufig schwerer abnehmen als Männer. Während Fett in Oberkörper und Bauchraum (typisch männliche Fettleibigkeit) relativ leicht auf neurohumorale Stimulation anspricht und durch körperliche Aktivität gut mobilisiert werden kann, reagiert Fett an Gesäß und Oberschenkeln (typisch weibliche Fettleibigkeit) schlechter auf solche Reize (McArdle et al., 2007).

3.3 Messung des Energieumsatzes

Die direkte und indirekte Kalorimetrie stellen die gängigsten Methoden zur Messung der körpereigenen Energieproduktionsrate während Aktivität und Erholung dar (De Marées, 2002; McArdle et al., 2007). Da fast alle Energie freisetzenden Reaktionen im Körper letztendlich von der Nutzung des Sauerstoffs abhängen, ist die Sauerstoffaufnahme ein präziser Indikator zur Ermittlung des Energieumsatzes.

3.3.1 Sauerstoffaufnahme

Nach De Marées (2004) repräsentiert die *Sauerstoffaufnahme* (VO_2) jene Menge an Sauerstoff (in ml/min bzw. l/min), die der Organismus im Rahmen der Energiebereitstellung in den Geweben verbraucht. In Ruhe beträgt sie etwa 300ml/min und kann während körperlicher Aktivität bei austrainierten Athleten bis zum 20-fachen ansteigen (6000ml/min). Diese *maximale Sauerstoffaufnahme* (VO_{2max}) spiegelt insbesondere folgende physiologischen Größen wider:

- Sauerstoffzufuhr über die Atmung und Gasaustausch in der Lunge
- Sauerstofftransportleistung von Blut und Herz-Kreislauf-System
- Sauerstoffverwertung durch Gasaustausch in der Arbeitsmuskulatur

Die VO_{2max} wird demnach vom maximalen Atemminutenvolumen, von der Diffusionskapazität der Lunge, vom maximalen Schlagvolumen, von der maximalen Herzfrequenz und von der maximalen arterio-venösen O_2 -Differenz limitiert. Sie ist ein direktes Maß für den aeroben Energieumsatz und damit ein aussagekräftiger Parameter zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Die maximale Sauerstoffaufnahme beträgt etwa 3,3 l/min bei Männern und 2,2 l/min bei Frauen. Wesentlich aussagekräftiger ist jedoch die *relative* VO_{2max} , unter Einbeziehung des Körpergewichts, die etwa 45 ml/min/kg bei Männern und 38 ml/min/kg bei Frauen ausmacht (vgl. De Marées, 2004). Die Bestimmung der VO_{2max} kann unter anderem durch Spirometrie erfolgen (siehe unten).

3.3.2 Direkte Methode

Bei dieser Methode wird die Wärmeabgabe gemessen und ein direkter Bezug zur Energiestoffwechselrate hergestellt.

Die Versuchsperson befindet sich in einer wärmeisolierten, luftdichten Kammer, in deren Doppelwand ein Röhrensystem angebracht ist, das von Kühlwasser durchströmt wird. Die von der Versuchsperson abgegebene Wärmemenge wird durch das Kühlwasser abgeführt, welches sich dadurch erwärmt. Die Temperaturdifferenz des ein- und ausströmenden Wassers wird mit Thermometern gemessen und die durchfließende Wassermenge pro Zeiteinheit bestimmt.

Obwohl diese Methode über die direkte Messung sehr exakt ist, findet sie aufgrund des Zeit-, Kosten- und maschinellen Aufwands kaum Anwendung bei der Energiebestimmung im Sport (De Marées, 2002; McArdle et al., 2007).

3.3.3 Indirekte Methode

Die Sauerstoffaufnahme einer Person während und nach körperlicher Aktivität zu messen bietet eine indirekte Möglichkeit den Energieaufwand zu ermitteln. Verglichen mit der direkten Kalorimetrie ist diese Methode wesentlich kostengünstiger und praxistauglicher, weshalb sie bei fast allen Studien zum Nachbrenneffekt genutzt wird.

Hinsichtlich der Oxidation der drei Nährstoffe schließt man von O₂-Verbrauch und CO₂-Abgabe auf die Menge „verbrannter“ Substanz und stellt dadurch den Zusammenhang zur dabei freiwerdenden Energie her (vgl. De Marées, 2002; McArdle et al., 2007).

Zur exakten Berechnung des Energieumsatzes benötigt man allerdings einen zusätzlichen Parameter – das *kalorische Äquivalent*. Darunter versteht man jene Energiemenge in Kilojoule (kJ), die bei der Reaktion des entsprechenden Nährstoffs mit einem Liter O₂ freigesetzt wird. Zur Berechnung des Energieumsatzes muss also die zur Oxidation des jeweiligen Nährstoffes erforderliche Sauerstoffmenge als auch die dabei freiwerdende Energie bekannt sein.

- Kalorisches Äquivalent des O₂ für Glukose = 21,1 kJ/l O₂
- Kalorisches Äquivalent des O₂ für Fett = 19,6 kJ/l O₂
- Kalorisches Äquivalent des O₂ für Eiweiß = 18,8 kJ/l O₂

Zur Berechnung des Energieumsatzes wird der O₂-Verbrauch pro Minute einfach mit dem entsprechenden kalorischen Äquivalent multipliziert:

$$\text{Energieumsatz} = \text{O}_2\text{-Aufnahme (l/min)} * \text{kalorisches Äquivalent}$$

In der Praxis werden die Nährstoffe natürlich immer gemischt zugeführt und gleichzeitig abgebaut, weshalb zur Ermittlung des Energieumsatzes ihr Mengenverhältnis bekannt sein muss. Da selbst bei sehr unterschiedlichen Ernährungsformen nur leichte Variationen von zwei bis vier Prozent des kalorischen Werts für O₂ bestehen, wird in der Praxis teilweise ein Durchschnittswert mit fünf Kilokalorien pro Liter (entspricht 20,9 kJ) für alle drei Nährstoffe verwendet. Bei entsprechend langer Messdauer des Nachbrenneffekts könnten derartige Schätzungen natürlich das Ergebnis verzerren (vgl. De Marées, 2002; McArdle et al., 2007).

Überdies kann durch den *respiratorischen Quotienten* (RQ) das Verhältnis der oxidierten Nährstoffe während Aktivität und Ruhe bestimmt werden indem berücksichtigt wird, dass zum vollständig oxidativen Abbau der drei Nährstoffe unterschiedlich viel Sauerstoff benötigt wird. Der RQ gibt das Verhältnis des abgegebenen Kohlendioxidvolumens (VCO₂) zum aufgenommenen Sauerstoffvolumen (VO₂) pro Zeiteinheit an:

$$\text{RQ} = \text{CO}_2\text{-Abgabe (l/min)} \div \text{O}_2\text{-Aufnahme (l/min)}$$

RQ nur KH = 1,00

RQ nur Fett = 0,7

RQ nur EW = 0,82

Der RQ liegt bei absoluter Ruhe bei 0,7 (reiner Fettstoffwechsel), bei ausgewogenem KH- und Fettstoffwechsel bei 0,85 und steigt bei zunehmender Intensität bis 1 (reiner KH-Stoffwechsel, respiratorische anaerobe Schwelle). Er kann auch Werte knapp >1 erreichen was eine Sauerstoffschuld und Anhäufung von Laktat ausdrückt.

Die Oxidation von Eiweiß bedeutet einen erheblichen „Mehraufwand“ gegenüber KH und Fett, weshalb bei diesem Prozess deutlich mehr Energie frei wird, was theoretisch berücksichtigt werden müsste. Da der Energieumsatz bei körperlicher Aktivität jedoch hauptsächlich durch KH und Fette gedeckt wird und eine Veränderung des Eiweiß-Anteils in der Nahrung von 5% einen Fehler von lediglich 0,4% bei der Bestimmung des Energieumsatzes bewirkt, wird der RQ oft nur für KH und Fette berücksichtigt. Der Eiweiß-Anteil am Gesamtumsatz bei Muskelarbeit ist also weitgehend zu vernachlässigen (De Marées, 2002; McArdle et al., 2007).

Die Zuverlässigkeit der indirekten Kalorimetrie zur Bestimmung von EPOC ist nach LaForgia et al. (2006) teilweise kritisch und ein mitverantwortlicher Punkt für die oftmals inkonsistenten Studienergebnisse. In der Regel liegt der Variationskoeffizient zwischen zwei und sechs Prozent, wobei dieser Wert nicht für alle Untersuchungen generalisiert werden kann und diesbezügliche Angaben teilweise gänzlich fehlen. Ein weiteres nicht unerhebliches Problem bei der indirekten Kalorimetrie stellt das Phänomen der Hyperventilation dar. Durch verstärkte Emotionen kann diese bereits durch das Anlegen der Atemmaske ausgelöst werden. Das dabei vermehrt abgeatmete CO₂ entstammt nicht direkt dem oxidativen Stoffwechsel, sondern wird aus der im Gewebe und Blut vorhandenen CO₂-Menge entnommen. Hingegen bleibt die O₂-Aufnahme dabei konstant, da O₂ im Gewebe nicht zusätzlich gespeichert werden kann. Folglich vergrößert sich der RQ, wodurch der Energieumsatz fälschlicherweise überschätzt wird (vgl. De Marées, 2002).

4 Nachbrenneffekt / EPOC

In diesem Kapitel soll zunächst ein Überblick über die Entwicklungsgeschichte der Studien zum Nachbrenneffekt gegeben und dabei entstandene Begriffe erklärt werden. Danach werden Modelle zur Beschreibung der unterschiedlichen Zeitkomponenten des Nachbrenneffekts dargestellt und jene Faktoren erläutert die den Nachbrenneffekt nachgewiesenermaßen beeinflussen. Schließlich soll auf die Problematik bei der Erhebung des Ruheenergieumsatzes aufmerksam gemacht werden.

4.1 Begriffsbestimmung und geschichtlicher Abriss

Im Rahmen körperlicher Aktivität erhöhen sich Stoffwechselaktivität und Energieumsatz. In diesem Zusammenhang steigt auch die Sauerstoffaufnahme an und bleibt im Anschluss an die Belastung noch eine Zeit lang erhöht, bis sie schließlich wieder ihren Ruhe-Level erreicht. Dieses Phänomen wurde in Studien des 20. Jahrhunderts bestätigt, die signifikante und langfristige Erhöhungen des Grundumsatzes nach körperlicher Aktivität anzeigten (Benedict & Carpenter, 1910; Benedict & Cathcart, 1913; Edwards, Thorndike & Dill, 1935; Herxheimer, Wissing & Wolff, 1926 in LaForgia, Withers & Gore, 2006).

Im Zuge dieser Ergebnisse gewann das Thema Bewegung und Training hinsichtlich Energiebalance und Gewichtsregulierung an Interesse. Diese Studien wiesen jedoch noch grobe methodische Mängel auf, weshalb deren Resultate später eher auf das Studiendesign als auf den Trainingsstimulus zurück geführt wurden (Bahr & Maehlum, 1986).

1923 wurde dieser Sauerstoffmehrverbrauch nach intensiver Körperarbeit als "oxygen debt" (Sauerstoffschuld) definiert (Hill & Lupton, 1923 in LaForgia et al., 2006). Die *Sauerstoffschuld* repräsentiert die zusätzliche Sauerstoffaufnahme die nötig wäre um Energie für Muskelarbeit über 100% VO_{2max} zur Verfügung zu stellen – sie wird nach Belastungsende „nachgeatmet“ (De Marées, 2003; McArdle et al., 2007). Zunächst wurde sie allein durch den Abbau von Laktat erklärt, welcher als Folge des *Sauerstoffdefizits* bei intensiver körperlicher Aktivität über die Glyconeogenese in der Erholungsphase stattfindet (LaForgia et al., 2006). Das Sauerstoffdefizit entsteht aus einer verzögerten Anpassung des Herz-Kreislauf- und Atmungssystems an den erhöhten Sauerstoffbedarf nach Arbeitsbeginn, sodass die anfänglich aufgenommene Sauerstoffmenge im Vergleich zum Bedarf zu klein ist (De Marées, 2003).

Zehn Jahre später unterschied Margaria hinsichtlich dieser Sauerstoffschuld eine anfänglich schnelle (alaktazide) und zweite langsame (laktazide) Phase, um zusätzlich die Phosphagen-Resynthese zu berücksichtigen (Margaria, Edwards & Dill, 1933, in Tahara et al., 2008). Später wurde die Sauerstoffschuld unter anderem als Index für die anaerobe Leistungsfähigkeit verwendet (Hermansen, 1969, in Tahara et al., 2008).

Studien der 1980er-Jahre zeigten schließlich, dass die erhöhte Sauerstoffaufnahme nach körperlicher Aktivität nicht allein durch den Abbau von Laktat und die Phosphagen-Resynthese bzw. durch das Sauerstoffdefizit erklärt werden kann. Daher wurde 1984 erstmals der Begriff "excess post-exercise oxygen consumption" (EPOC) anstelle des "oxygen debt" (Sauerstoffschuld) eingeführt um zu verhindern, dass hinsichtlich des erhöhten Energieumsatzes in der Nachbelastungsphase falsche Kausalzusammenhänge geschlossen werden (Gaesser & Brooks, 1984). Dieser Begriff hat sich im englischsprachigen Raum bis heute durchgesetzt und EPOC wird gegenwärtig als Resultat einer generellen Störung des Metabolismus gesehen zu der das Sauerstoffdefizit nur teilweise beiträgt. Schätzungen nach submaximaler und supramaximaler Belastung ergaben, dass Phosphagen-Resynthese, Laktatstoffwechsel und der Körpertemperaturregulierung insgesamt nur zu 30-50% an EPOC eine Stunde nach Belastungsabbruch beteiligt sind (Bahr, 1992). Da die nachgeatmete Sauerstoffmenge meist größer ist als das anfänglich eingegangene Sauerstoffdefizit (siehe Abbildung 2) schlägt De Marées (2004) vor den Ausdruck der Sauerstoffschuld heute generell nicht mehr zu benutzen.

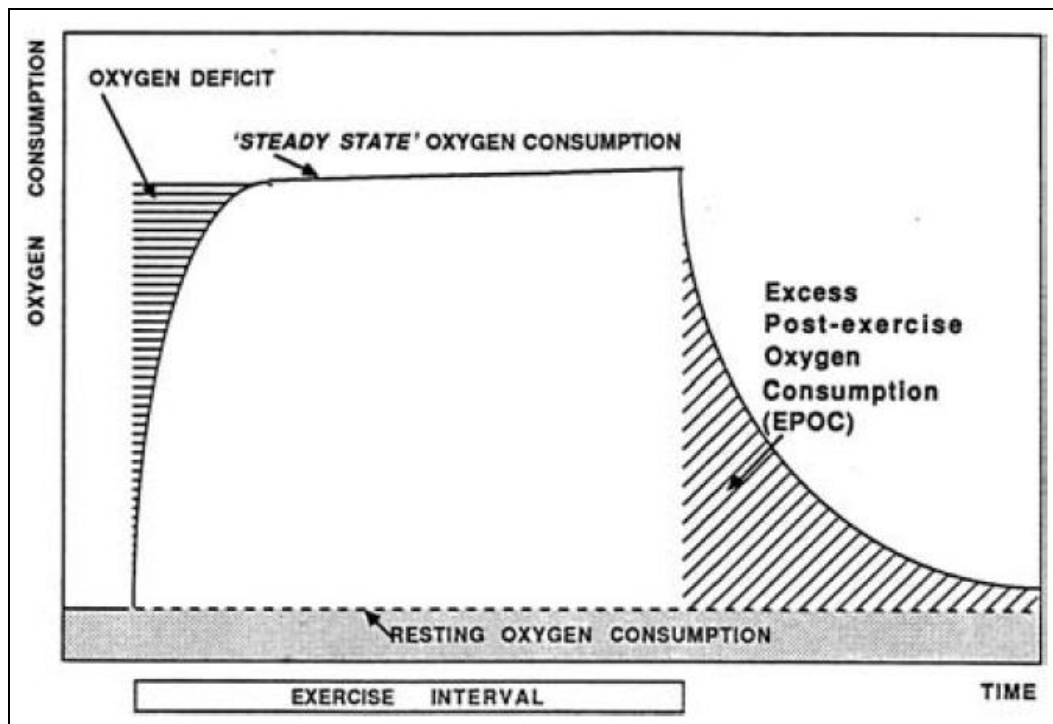


Abb. 2: Sauerstoffdefizit und EPOC (in LaForgia, Withers & Gore, 2006, S. 1248)

Da vorhin erwähnte, jedoch leider mangelhafte, Pionierstudien sehr beeindruckende Ergebnisse zeigten wurde die Bedeutung des anhaltenden Energieverbrauchs nach körperlicher Aktivität anfänglich sehr hoch eingeschätzt. Poehlman, Melby und Goran (1991, in LaForgia et al., 2006) kamen später jedoch zu dem Schluss, dass EPOC in diesem Zusammenhang vermutlich keinen wesentlichen Beitrag leisten kann. Sie berechneten den Anteil von EPOC am Gesamtsauerstoffverbrauch durch körperliche Aktivität mit 14-15%, wobei die von ihnen berücksichtigten Studien überwiegend submaximale Trainingsintensitäten ($\leq 75\% \text{VO}_{2\text{max}}$) verwendeten.

Später vermuteten Borsheim und Bahr (2003) unter Beachtung von Studien mit intensiveren Trainingsstimuli, dass EPOC nach supramaximaler Ausdauerbelastung sowie hochintensiver Kraftbelastung wesentlich höher ausfällt.

Da EPOC den erhöhten Energieumsatz nach einer Belastung widerspiegelt und die Energiegewinnung aus energieliefernden Substraten umgangssprachlich häufig als Verbrennungsvorgang dargestellt wird, hat sich als Synonym zu EPOC der Begriff des "Nachbrenneffekts" im deutschen bzw. "Afterburn" im englischen Sprachraum etabliert (vgl. Dawson-Cook, 2009; Kravitz, 2007; Pölzer, 2009). Im Folgenden sollen die beide Begriffe "EPOC" und "Nachbrenneffekt" daher gleichbedeutend verwendet werden.

Bei der Übertragung von EPOC auf den Energieumsatz weisen Baum und Schuster (2008, S. 110) allerdings darauf hin

„... dass in der initialen Nachbelastungsphase ein Anteil des aeroben Stoffwechsels zur Resynthese von Kreatinphosphat genutzt wird, das aufgrund der Trägheit des aeroben Systems zu Belastungsbeginn an der ATP Produktion beteiligt ist und im Anschluss des Trainings wieder auf das Ruheniveau aufgefüllt wird. Dementsprechend muss die dafür notwendige Sauerstoffmenge energetisch nicht der Erholungs- sondern der Belastungsphase zugeordnet werden.“

Bei einer Halbwertszeit von 30 Sekunden ist die Resynthese von Kreatinphosphat spätestens nach fünf bis zehn Minuten vollständig abgeschlossen (Maughan & Gleeson, 2004) und jeder weitere Sauerstoffmeherverbrauch kann bedingungslos der Erholungsphase, d.h. EPOC und dem Nachbrenneffekt zugeschrieben werden.

Da die Sauerstoffaufnahme (VO_2) nach Belastungsabbruch stetig abnimmt hat der Nachbrenneffekt sein Maximum ganz zu Beginn der Erholungsphase und ergibt sich aus der Differenz zur Ruhe-Sauerstoffaufnahme ($VO_{2max} - VO_{2Ruhe}$). Während der Erholungszeit nimmt die Sauerstoffaufnahme kontinuierlich ab, wobei sich die bereits gezahlte Sauerstoffschuld ($VO_{2max} - VO_{2i}$) von der verbleibenden Sauerstoffschuld ($VO_{2i} - VO_{2Ruhe}$) unterscheiden lässt (Stupnicki, Gabrys, Szmatlan-Gabrys & Tomaszewski, 2009).

4.2 Zeitkomponenten des Nachbrenneffekts

In der Fachliteratur ist ein Zwei- bzw. Drei-Phasenmodell zur Erklärung des Nachbrenneffekts verbreitet und weitgehend akzeptiert. Während einige Autoren von einer „kurzfristigen Phase“ von zehn Sekunden bis zu wenigen Minuten und einer „anhaltenden Phase“ von einigen Minuten bis zu mehreren Stunden ausgehen (Borsheim & Bahr, 2003; Tomlin & Wenger, 2001), differenzieren andere Untersucher eine „erste schnelle Phase“ bei einer Halbwertszeit von 30 Sekunden bzw. Dauer bis zu 15 Minuten, eine „zweite langsame Phase“ bei einer Halbwertszeit von 15 Minuten bzw. Dauer bis zu zwei bis fünf Stunden und eine „dritte ultralangsame Phase“ die darüber hinaus geht und 12 bis 24 Stunden oder noch länger anhält (vgl. De Marées, 2002; Fukuba, Yano, Murakami, Kann & Miura, 2000). Der Abfall der Sauerstoff-Aufnahmekurve nach Arbeitsende zeigt dabei einen fast exponentiellen Verlauf, wie dies in Abbildung 2 beschrieben ist.

Die „erste schnelle Phase“ entspricht in etwa der „kurzfristigen Phase“. Metabolische Prozesse, die hierbei mit EPOC in Zusammenhang gebracht werden sind klar definiert. Zunächst kommt es zu einer *Resynthese von ATP und PCr* auf das Ausgangsniveau, wofür etwa ein bis eineinhalb Liter Sauerstoff benötigt werden. Weiters erfolgt eine Wiederauffüllung der *Sauerstoffspeicher in Blut und Muskel* (Myoglobin und Hämoglobin). Da von der Muskulatur vermehrt Sauerstoff entnommen wurde und venöses Blut am Arbeitsende einen verringerten Sauerstoffgehalt aufweist, ist die arterio-venöse Sauerstoffdifferenz nach körperlicher Aktivität erhöht. Diese Differenz wird nach Arbeitsende jedoch rasch ausgeglichen, wobei für die Wiederauffüllung dieser Speicher etwa ein halber Liter Sauerstoff benötigt wird (vgl. Borsheim & Bahr, 2003; De Marées, 2002).

Überdies kommt es zu einem erhöhten Sauerstoffbedarf für die *Verwertung von Laktat*, die nach anaeroben, speziell hochintensiven intervallhaften Belastungen gegeben ist (siehe Kapitel 3.1.1). Bedeutender als Laktat dürfte für EPOC jedoch sein, dass durch die erhöhte *Körperkerntemperatur* Stoffwechselprozesse beschleunigt ablaufen womit der Energiebedarf gesteigert wird. Während die Faktoren Laktatbeseitigung, gesteigerte Körpertemperatur, *Kreislauf- und Atemaktivität* noch der „kurzfristigen Phase“ angehören, werden sie im Drei-Phasenmodell bereits der „zweiten langsamen Phase“ zugeordnet (vgl. Borsheim & Bahr, 2003; De Marées, 2002).

Diese „zweite langsame Phase“ überschneidet sich größtenteils mit der „anhaltenden Phase“, wobei deren zugrunde liegenden Mechanismen in ihrem Einfluss auf EPOC bislang schlechter verstanden sind. Hier stimulieren die weiterhin erhöhten *Katecholaminkonzentrationen (Adrenalin und Noradrenalin)* im Blut den Stoffwechsel und damit die Sauerstoffaufnahme. Ebenso steigern die weiterhin erhöhte *Atem- und Herztätigkeit* den Sauerstoffbedarf. Auch die vermehrte Produktion des Schilddrüsenhormons *Thyroxin*, der *Metabolitenabbau* und die Beseitigung der gestörten *Ionenbilanz* benötigen Energie (De Marées, 2002). Auch Körpertemperatur, Kreislaufaktivität und Belüftung sind nach wie vor erhöht, wobei diesbezügliche Energiekosten eher gering sein dürften. In vielen Studien konnte eine Verschiebung von Kohlenhydrat- in Richtung Fettstoffwechsel beobachtet werden. Jene Energiekosten, die durch diese erhöhten Raten des *Triglycerid- und Fettsäurezyklus* nach submaximaler erschöpfender Aktivität anfallen, können einem guten Teil (etwa zehn bis 15 Prozent) von EPOC zugeschrieben werden (Bahr, 1992; Borsheim & Bahr, 2003). Die *Glycogenresynthese* dürfte in dieser Phase zumindest keine besonders große Rolle

einnehmen, da sie zum einen in nüchternem Zustand sehr gering ist und in einer Studie keine Unterschiede in der Höhe von EPOC zwischen nüchternen und gesättigten Proband(inn)en nach 80-minütigem Radfahren bei 75% VO_{2max} gefunden werden konnten (Borsheim & Bahr, 2003). Ferner wird der erhöhten Aktivität des *sympathischen Nervs* starker Einfluss an der langfristigen Komponente von EPOC zugeschrieben, vor allem über die vermehrte Freisetzung der *Katecholamine* nach körperlicher Belastung. Diese kurbeln einerseits den Energieumsatz signifikant an, andererseits sind sie wichtige Regulatoren des Triglycerid- Fettsäurezyklus und der Oxidation von Fettsäuren. Auch eine erhöhte *Eiweißabbau- und -syntheserate*, die energetisch teuer ist, wird mit EPOC in Zusammenhang gebracht (vor allem nach intensiven Belastungen wie Krafttraining). Nach Schuenke, Mikat und McBride (2002) sind es die gleichen Beschädigungs- und hormonellen Mechanismen welche zur Muskelhypertrophie führen, welche auch eine ausreichende Störung der Homöostase zur Maximierung von EPOC bewirken.

Schließlich wird auch vermutet, dass sich die Energieeffizienz während bzw. nach einer körperlichen Belastung über die Aktivität der *UCP* („uncoupling proteins“, siehe Kapitel 3.2.1) verändert. Falls die Aktivität dieser Proteine während und nach körperlicher Aktivität zunimmt ließe sich dadurch ein Teil des nachhaltigen Nachbrenneffekts erklären (Borsheim & Bahr, 2003).

Die eben beschriebene „anhaltende Phase“ dürfte teilweise mit der „dritten ultralangsam Phase“ zusammenfallen, deren ursächliche Einflussgrößen in ihrer Bedeutung noch weitgehend ungeklärt sind. Gerade hier dürfte jedoch die Bedeutung von EPOC im Rahmen der Gewichtsreduktion liegen. Ein gering erhöhter *Muskeltonus* selbst viele Stunden nach Arbeitsende soll neben einer bestehenden Stimulierung von energiebereitstellenden Mechanismen wie der Atmungskette die Sauerstoff-Mehraufnahme erklären (De Marées, 2002). Diese These wird auch gestützt durch eine aktuelle Studie von McKay, Chilibeck und Daku (2007).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass alle eben beschriebenen Faktoren in ihrem Zusammenhang auf EPOC einwirken dürften, wobei aktuell noch nicht exakt gesagt werden kann welche Signifikanz jede dieser Einflussgrößen besitzt, insbesondere wenn es um die andauernde Komponente des Nachbrenneffekts geht (Schuenke, Mikat & McBride, 2002).

Im Gegensatz zu dem verbreiteten 2- bis 3-Phasenmodell wurde in einer aktuellen Studie der Versuch unternommen die Veränderungen von Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz in der Trainingsnachbelastungsphase gegenüber zustellen und mittels einem 1-Phasenmodell zu erklären (Stupnicki et al., 2009). Die Autoren fanden eine lineare Korrelation zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz in der Nachbelastungsphase, wodurch Halbwertszeiten für die Erholung von VO_2 und Herzfrequenz ermittelt werden konnten. Dadurch könnte der Verlauf von EPOC in Zukunft möglicherweise leichter beschrieben und verschiedene Trainingsinterventionen einfacher verglichen werden. Auch für die Sportpraxis hätte die Anwendung eines solchen Modells Vorteile, zumal Regenerationszeiten besser dargestellt werden könnten und die Trainingssteuerung entsprechend exakter möglich wäre.

Gleichzeitig bemerken die Autoren jedoch, dass es eine hohe Streuung der Halbwertszeiten zwischen den Versuchspersonen, sowie innerhalb derselben Personen bei unterschiedlichen Messungen gab. Es muss daher zunächst weitere vergleichbare Studien geben, bevor ein wirklich zuverlässiger Logarithmus für ein solches 1-Phasenmodell entwickelt werden kann. Überdies muss kritisch erwähnt werden, dass EPOC in dieser Studie nur bis zu sechs Minuten nach Belastungsabbruch gemessen wurde (Stupnicki et al., 2009).

4.3 Einflussfaktoren und Problematik bei der Bestimmung des Nachbrenneffekts

4.3.1 Intensität und Dauer

Intensität und Dauer einer Trainingsintervention werden in der Literatur als die beiden wichtigsten Faktoren zur Auslösung von EPOC genannt. Borsheim und Bahr (2003) beschreiben eine kurvenförmige Beziehung zwischen Trainingsintensität und der Stärke von EPOC bei Ausdauerbelastungen, wobei eine Intensität von mindestens 50-60% der VO_{2max} nötig sein dürfte um einen Nachbrenneffekt auszulösen, der mehrere Stunden aufrecht erhalten bleibt. Über diesem Intensitätslevel besteht hingegen eine lineare Beziehung zwischen Trainingsdauer und Stärke von EPOC. Das Zusammenspiel von Intensität und Dauer bezüglich des Nachbrenneffekts dürfte überdies eher synergistisch als additiv sein. Auch beim Krafttraining dürften höhere Intensitäten zu einem stärkeren und länger anhaltenden Nachbrenneffekt führen (Borsheim & Bahr, 2003). Der Stellenwert der Belastungsintensität und -dauer zur Auslösung von EPOC im Kraft- und

Ausdauertraining wird in den Kapiteln 5.1.4 und 5.2.4 genauer beschrieben. Da verschiedene Studien mit Trainingsprotokollen gleicher Dauer und Intensität zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich des Nachbrenneffekts kamen, dürfen diese beiden Faktoren jedoch keinesfalls als einzig bedeutsam angesehen werden (vgl. Schuenke, Mikat & McBride, 2002).

4.3.2 Trainingsaufteilung und -dichte

Einige Studien zeigen einen höheren Nachbrenneffekt nach Split-Trainings im Gegensatz zu kontinuierlichen Belastungen (vgl. Kaminsky et al., 1990; Almuzaini et al., 1998). Dabei muss jedoch beachtet werden, dass dieser Unterschied relativ gering ist, verglichen mit dem Energieverbrauch während der Belastung. Folglich würde die Verlängerung einer Dauerbelastung um nur wenige Minuten das "Mehr" an EPOC nach einer aufgeteilten Trainingseinheit vermutlich ausgleichen. Überdies müsste pro Trainingsblock ein Sauerstoff-Defizit berücksichtigt werden, weshalb der relative Unterschied im Energieverbrauch nach Split- bzw. kontinuierlichem Training geringer ausfällt als der Unterschied von EPOC (Borsheim & Bahr, 2003). Auch bezüglich der Trainingsdichte zeigen sich in der Literatur Vorteile intermittierender gegenüber kontinuierlicher Belastungen hinsichtlich der Auslösung von EPOC (Darling et al., 2005; Lyons et al., 2006; McGarvey et al., 2005). Auch diese Unterschiede sind jedoch marginal und müssen unter Rücksichtnahme des Energieumsatzes während der Aktivität selbst kritisch betrachtet werden.

4.3.3 Trainingsform und -widerstand

Da Muskelzellen eher durch exzentrische Bewegungsformen traumatisiert werden, wäre auch ein Einfluss unterschiedlicher Bewegungsformen und Kontraktionsmuster auf den Nachbrenneffekt denkbar. Dennoch finden Borsheim und Bahr (2003) keine diesbezüglichen Unterschiede beim Vergleich mehrerer Studien bei denen zumeist Radfahren mit Laufen verglichen wurde. Leichte Vorteile dürften jedenfalls von Unterkörper- gegenüber Oberkörperbelastungen bestehen, die vermutlich aufgrund des höheren Anteils eingesetzter Muskelmasse beruhen (Lyons et al. 2007; Scott et al., 2006; Sedlock, 1992; Short, Wiest & Sedlock, 1996). Andererseits fanden Neary et al. (1993) einen deutlich niedrigeren Nachbrenneffekt beim Schwimmen als beim Laufen, wobei auf Grund des deutlich reduzierten Körpergewichts auch die deutlich niedrigeren

Energieumsatzraten beim Schwimmen zu berücksichtigen sind (Short, Wiest & Sedlock, 1996).

4.3.4 Fitnesslevel / Trainingszustand

In diesem Punkt liegt vermutlich ein weiterer bedeutsamer Grund für die stark widersprüchlichen Studienergebnisse zur Höhe und Dauer des Nachbrenneffekts. Borsheim und Bahr (2003) vermuten, dass der Energieverbrauch nach einer Belastung bei besser trainierten Individuen rascher wieder seinen Ruhewert erreicht. Auch Tomlin und Wenger (2001) gehen davon aus, dass eine erhöhte Fitness im Bereich der Ausdauerleistungsfähigkeit nicht nur die Erholung nach Ausdauerbelastungen, sondern auch nach hochintensiven, intervallförmigen Belastungen wie Krafttraining beschleunigt. Indem trainierte Personen zumeist eine erhöhte VO_{2max} aufweisen ist auch die Sauerstoffaufnahme-fähigkeit in der Nachbelastungsphase erhöht. Diese verbesserte Ausdauerfähigkeit ist bedingt durch eine erhöhte Konzentration aerober Enzyme, Mitochondrienanzahl, -größe und -oberfläche und vermehrtem Myoglobin die allesamt eine verbesserte Sauerstoffextraktion des Muskels bewirken. Auch eine verbesserte Durchblutung des Muskels, unter anderem durch eine besser ausgeprägte Kapillarisation, kann den Abbau von Laktat, H^+ Ionen und Hitze beschleunigen. Zusätzlich lassen sich die ATP- und PCr-Speicher durch gezieltes Training vergrößern, ebenso wie die Konzentrationen der Enzyme Myokinase und Kreatinkinase zunehmen. Schließlich ist auch eine Umstellung schneller glycolytischer in schnelle oxidative Muskelfasern durch aerobes Training möglich, wodurch die oxidative Kapazität des Muskels gesteigert wird. Insgesamt führen diese Adaptationen zur Fähigkeit einen größeren Energieanteil durch das Phosphagen- und aerobe System zur Verfügung zu stellen und dabei das System der anaeroben Glycolyse zu entlasten. Dadurch kommt es zu geringeren Anhäufungen der Stoffwechselendprodukte und infolgedessen zu einer schnelleren Regeneration. Die erhöhte VO_2 sowie die erhöhten ATP- und PCr-Speicher nach Belastungsende resultieren daher in einer erhöhten „kurzfristigen Phase“ von EPOC bei Ausdauertrainierten gegenüber Untrainierten bei gleicher relativer Belastungsintensität. Überdies scheint die Erholungsdauer bzw. Dauer von EPOC bei Trainierten kürzer zu sein, wohingegen es bezüglich der Gesamthöhe von EPOC kaum Unterschiede geben dürfte (Tomlin & Wenger, 2001). Diese Aussagen decken sich auch mit den Erkenntnissen einer aktuellen Studie von Tahara, Moji, Nakao, Tsunawake, Fukuda, Aoyagi und Mascie-Taylor (2008), in der ein positiver Zusammenhang zwischen EPOC und fettfreier Körpermasse festgestellt wurde, vor allem in den ersten 25 Minuten

nach Belastungsabbruch. Studien von Frey, Byrnes und Mazzeo (1993), Sedlock (1994) sowie Short und Sedlock (1997) zeigten, dass der Trainingsstatus keinen signifikanten Einfluss auf EPOC hatte, wenn Trainingsinterventionen verglichen wurden die gleiche relative Intensitäten sowie gleiche Dauer oder Arbeitsleistungen nutzten.

Dennoch ist der Einfluss des Trainingsstatus auf EPOC nicht leicht zu überprüfen, da beim Vergleich unterschiedlich "fitter" Gruppen eine gleiche absolute Trainingsintensität bedeutet, dass die relative Beanspruchungsintensität bei den schlechter Trainierten höher ist, was EPOC beeinflusst. Wenn umgekehrt die relative Intensität und Gesamtarbeit beider Trainingsgruppen angepasst wird, erhöht sich die Trainingsdauer für die Personen mit schlechterem Trainingsstatus, welche wiederum Einfluss auf EPOC hat. In anderen Worten ist es also nicht möglich unterschiedlich fitte Gruppen zu vergleichen, während die EPOC-relevanten Faktoren Intensität, Dauer und Gesamtarbeit absolut bzw. relativ gleich sind. Es dürfte also kein Studiendesign geben, mit dem der Einfluss des Trainingsstatus auf den Nachbrenneffekt exakt überprüft werden kann. Dennoch folgern Borsheim und Bahr (2003) unter Rücksichtnahme dieser methodischen Mängel, dass der Trainingsstatus nur einen minimalen Einfluss auf EPOC hat.

4.3.5 Geschlecht

Ebenso wie beim Fitnesslevel stellt sich hier die Frage ob der Nachbrenneffekt zwischen Frauen und Männern mittels absolut oder relativ gleicher Arbeitsbedingungen verglichen werden soll. Smith und Mc Naughton (1993) fanden in einer geschlechtervergleichenden Untersuchung einen absolut höheren Nachbrenneffekt bei Männern in allen drei Intensitätsstufen (40%, 50% und 70% VO₂max). Diese Unterschiede verschwanden allerdings, wenn EPOC hinsichtlich des Körpergewichts relativiert bzw. als Prozentsatz des Gesamtenergieverbrauchs ausgedrückt wurde (Borsheim & Bahr, 2003; Smith & Mc Naughton, 1993).

Der Energieumsatz während und nach einem Training kann bei Frauen vom Menstruationszyklus abhängig sein (Borsheim & Bahr, 2003).

4.3.6 Genetik

Auch genetische Unterschiede bestehen möglicherweise bei der Auslösung und Höhe des Nachbrenneffekts. Borsheim und Bahr (2003) sprechen in diesem Zusammenhang von "high-", "medium-" und "low-respondern". Die prozentuelle Verteilung unterschiedlicher

Muskelfasertypen ist weitgehend genetisch bestimmt und durch gezieltes Training kann lediglich eine Anpassung der Muskelfasern in begrenztem Ausmaß erfolgen. Je höher der Anteil an langsam zuckenden oxidativen Muskelfasern, desto schneller kann eine Regeneration bestimmter Stoffwechselvorgänge über Sauerstoff erfolgen, wodurch zumindest die Dauer von EPOC beeinflusst werden kann (Tomlin & Wenger, 2001).

4.3.7 Ernährung

In Internet und kommerziellen Fitnessmagazinen liest man immer wieder, dass Nahrungsaufnahme nach dem Training den Nachbrenneffekt reduzieren oder sogar unterbinden kann. Bei solchen Aussagen wird jedoch der Energieumsatz bzw. Nachbrenneffekt mit dem Fettstoffwechsel verwechselt, der gegenüber Nährstoffzufuhr im Anschluss körperlicher Aktivität natürlich sensibel reagiert. Umgekehrt könnte durch den thermischen Effekt von Nahrungsmitteln im Rahmen der Verdauung sogar eine Erhöhung von EPOC erwartet werden. Bei exakter Ernährungsprotokollierung kann dieser Effekt im Rahmen der indirekten Kalorimetrie berechnet und bei der Interpretation von EPOC entsprechend berücksichtigt werden. Methodische Probleme können bei Studien auftreten, in denen EPOC über längere Zeiträume gemessen wird und die ProbandInnen nicht streng überwacht werden. Borsheim und Bahr (2003) konnten keine bedeutende Wechselbeziehung zwischen Nahrungsaufnahme und vorhergehender körperlicher Aktivität hinsichtlich der Sauerstoffaufnahme finden. Auch Bahr und Sejersted (1991) und LaForgia et al. (2006) kommen zu dem Schluss, dass der Energieumsatz in der Nachbelastungsphase nicht signifikant durch die anschließende Nahrungsaufnahme beeinflusst werden dürfte. Schlussfolgernd dürfte eine Mahlzeit in der Nachbelastungsphase also keinen wesentlichen Einfluss auf den Nachbrenneffekt haben. EPOC bewirkt allerdings tatsächlich eine Verschiebung des Substratstoffwechsels zugunsten der Fette, wobei dieser erhöhte Fettstoffwechselanteil durch eine entsprechend Kohlenhydratzufuhr jedoch wieder gedrosselt werden kann (siehe Kapitel 4.2). LaForgia et al. (2006) empfehlen bei Messungen von EPOC in den ersten zwei Stunden nach der Belastung keine Mahlzeit zu verabreichen, da aufgrund des sich in dieser Zeit schnell ändernden Metabolismus eventuelle Einflüsse auf EPOC zu erwarten sind.

4.3.8 Erhebung des Ruheenergieumsatzes

In den meisten Studien wird der Grundumsatz oder Ruhesauerstoffverbrauch über sehr kurze Zeiträume von etwa 30 Minuten ermittelt und die Messung des Nachbrenneffekts beendet sobald dieser Ruhewert nach dem Training wieder erreicht ist. Aus zwei Gründen ist dieses Vorgehen äußerst heikel. Zum einen kann die Erwartungshaltung der Versuchspersonen einen kurzfristigen Anstieg der O₂-Aufnahme bewirken (Hyperventilation), wodurch ein zu hoher Ruhewert festgelegt wird und das Erreichen dieses Ruhewerts nach dem Training fälschlicherweise als Ende des Nachbrenneffekts interpretiert wird (vgl. Borsheim & Bahr, 2003). Zum anderen unterliegt der Stoffwechsel zirkadian-rhythmischen Schwankungen, die im Verlaufe eines Tages bis zu 25 Prozent betragen können (De Marées, 2003). In einer Studie zur Ermittlung des Nachbrenneffekts zeigten Schuenke et al. (2002), dass der Ruheenergieumsatz an drei aufeinander folgenden Tagen konstant im Tagesverlauf anstieg (teilweise aufgrund zunehmender alltäglicher Stimulationen). Gore und Withers (1990) kamen im Rahmen einer anderen Untersuchung nach zehn Messungen des Grundumsatzes über jeweils 9,5 Stunden zu dem Ergebnis, dass die durchschnittlichen Abweichungen des Ruheenergieverbrauchs zwischen den Tagen lediglich 1,2 Prozent betragen. Die Schwankungen des Grundumsatzes innerhalb eines Tages sind also wesentlich höher, als jene zwischen verschiedenen Tagen. Der Messzeitpunkt innerhalb des zirkadianen Rhythmus ist folglich von großer Bedeutung und eine mehrstündige Messung des Ruhegrundumsatzes an einem eigenen Kontrolltag grundsätzlich erforderlich um mit exakten Referenzwerten für die Folgemessung des Nachbrenneffekts arbeiten zu können (Borsheim & Bahr, 2003; LaForgia, Withers & Gore, 2006; Schuenke, et al., 2002). Ein Absinken des Sauerstoffverbrauchs auf einen nicht-urzeitbestimmten Ruhewert könnte schließlich auch durch den individuell biologischen Biorhythmus bedingt sein und zu einer Über- bzw. Unterschätzung Nachbrenneffekts führen. Natürlich bedeutet ein zusätzlicher Tag zur Messung einen beachtlichen Mehraufwand, die meisten Studien berücksichtigen dieses Problem daher nicht.

5 Trainingsformen: Kraft- vs. Ausdauertraining

In diesem Kapitel sollen die beiden Trainingsformen des Kraft- und Ausdauertrainings hinsichtlich ihres Nachbrenneffekts gegenübergestellt werden. Dazu werden zunächst jeweils kurze begriffliche Abgrenzungen getroffen und die Arten sowie Methoden dieser beiden Trainingsformen erläutert. Im Anschluss soll eine Brücke zu den in Kapitel 3.1 detailliert ausgeführten Stoffwechselvorgängen geschlagen und die Energiebereitstellung sowie der Energieverbrauch im spezifischen Kontext des Kraft- oder Ausdauertrainings beschrieben werden. Schließlich werden die aktuellsten Studien zum Nachbrenneffekt kritisch zusammengefasst und unter Einschluss auch älterer relevanter Untersuchungen tabellarisch dargestellt sowie vergleichend interpretiert.

Zum Begriff des *sportlichen Trainings* liegen zahlreiche Definitionen vor. Im Kontext dieser Arbeit genügt es, Training als Übungsprozess zur planmäßigen und gezielten Verbesserung der Leistungsfähigkeit zu verstehen (vgl. Weineck, 2004).

5.1 Krafttraining

5.1.1 Begriffsbestimmung

Nach physikalischer Definition ist *Kraft* das Produkt von Masse und Beschleunigung ($F=m \cdot a$). Gemessen wird die Kraft in Newton (N), wobei 1 N jener Kraft entspricht die erforderlich ist um eine Masse von einem Kilogramm in einer Sekunde auf eine Geschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde (bzw. 3,6km/h) zu beschleunigen (Gottlob, 2007).

Eine einheitliche Begriffsbestimmung zur Kraft im sportlichen Bereich fällt hingegen schwierig, da die Arten von Kraft, Muskelarbeit und Muskelanspannung vielfältig und durch eine Vielzahl an Faktoren beeinflusst sind. Präzise Definitionen scheinen daher nur im Zusammenhang mit den Erscheinungsformen der Kraft möglich.

5.1.2 Arten / Methoden

Bei der motorischen Fähigkeit Kraft werden drei *Hauptformen* (Maximalkraft Schnellkraft Kraftausdauer) und entsprechend ihrer Wechselwirkungen verschiedene Mischformen (Maximalkraftausdauer, Schnellkraftausdauer, Explosivkraft, Startkraft) unterschieden.

Die *Maximalkraft* ($F_{\max}$) ist die höchstmögliche Kraft, die das Nerv-Muskel-System bei maximal willkürlicher Kontraktion bewerkstelligen kann. Die *Absolutkraft* ist noch höher da sie zusätzlich jene Kraftreserven mit einbezieht, die nur unter Extrembedingungen wie Todesangst mobilisiert werden können. Die Differenz aus Absolutkraft und Maximalkraft wird als *Kraftdefizit* bezeichnet und liegt je nach Trainingszustand zwischen 30% bei untrainierten und 10% bei trainierten Personen. Es wird zwischen dynamischer (überwindender) und statischer (haltender) Maximalkraft unterschieden, wobei letztere stets höher ist. Abhängig ist die $F_{\max}$ vom physiologischen Muskelquerschnitt, von der intermuskulären Koordination (zwischen verschiedenen Muskeln) und intramuskulären Koordination (innerhalb eines Muskels), wobei über jede dieser drei Komponenten eine Verbesserung der $F_{\max}$ erreicht werden kann (Weineck, 2004).

Mit *Schnellkraft* wird jene Fähigkeit des Nerv-Muskel-Systems bezeichnet, den Körper, seine Teile oder Gegenstände mit maximaler Geschwindigkeit zu bewegen. Je höher die bewegte Last dabei ist, desto stärker korreliert die Bewegungsgeschwindigkeit mit der $F_{\max}$. Als Leistungsparameter der Schnellkraft wird die Steilheit der Kraftanstiegskurve (azyklische Schnellkraft) herangezogen, die insbesondere von drei Faktoren abhängig ist. Als erster Punkt ist das vorliegende *Zeitprogramm* entscheidend, worunter ein kraftunabhängiges elementares Bewegungsmuster verstanden wird, das schnellstmögliche Kontraktionen „vorprogrammiert“ ablaufen lässt. Zweitens spielt der *Typus aktivierter Muskelfasern* eine Rolle, wobei hier vor allem den schnell-zuckenden FT- (slow twitch) oder Typ-II-Fasern hohe Bedeutung zukommt. Als dritter entscheidender Einflussfaktor ist die *Kontraktionskraft bzw. der Querschnitt* eingesetzter Fasern zusehen, insbesondere der FT-Fasern. Die im Rahmen einer muskulären Vordehnung (Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus) und im Sport am häufigsten vorkommende Form der Schnellkraft wird als *Reaktivkraft* bezeichnet (Boeckh-Behrens & Buskies, 2003; Weineck, 2004).

Unter *Kraftausdauer* kann die Ermüdungswiderstandsfähigkeit des Organismus bei lang andauernden Kraftleistungen verstanden werden (Harre, 1976, S. 125 in Weineck, 2004).

Der wiederholt zu bewältigende Bewegungswiderstand beträgt dabei üblicherweise zwischen 30% und 75% der Maximalkraft, weshalb der Muskelstoffwechsel je nach Reizintensität und Reizdauer mehr aerobe oder anaerobe Anteile aufweist. Bei

Widerstandshöhen unter 30% der $F_{\max}$ wird von aeroben Ausdauerbelastungen ausgegangen, während man bei höheren Widerständen zwischen allgemeiner (Einsatz von mehr als ein Siebtel bis ein Sechstel der Skelettmuskulatur) und lokaler (unter ein Siebtel bis ein Sechstel), sowie zwischen dynamischer und statischer Kraftausdauer unterscheidet (siehe auch Kapitel Ausdauer). Die Kraftausdauer ist ihrerseits stark von der Maximalkraft abhängig (vgl. Hohmann, Lames & Letzelter, 2003; Weineck, 2004).

Die klassischen *Methoden des Krafttrainings* in der Alltagspraxis bezwecken je nach Zielsetzung eine Ausprägung unterschiedlicher *Kraftdimensionen* mit Einfluss auf die oben beschriebenen Kraftfähigkeiten (Boeckh-Berens & Buskies, 2003). Zur Erhöhung der Muskelmasse kommen Methoden wiederholter submaximaler Krafteinsätze bis zur Ermüdung bzw. Erschöpfung zur Anwendung (Hypertrophietraining). Zur Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit werden Methoden explosiver maximaler Krafteinsätze durchgeführt (intramuskuläres Koordinationstraining oder neuromuskuläres Training). Die schnelle Kontraktionsfähigkeit wird durch Methoden explosiver, nicht maximaler Krafteinsätze optimiert (Schnellkrafttraining). Die reaktive Spannungsfähigkeit wird durch Methoden reaktiver Krafteinsätze im schnellen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus begünstigt (plyometrisches oder Reaktivkrafttraining) und die Ermüdungswiderstandsfähigkeit schließlich durch Methoden mittlerer Krafteinsätze mit hohen Wiederholungszahlen (Kraftausdauertraining).

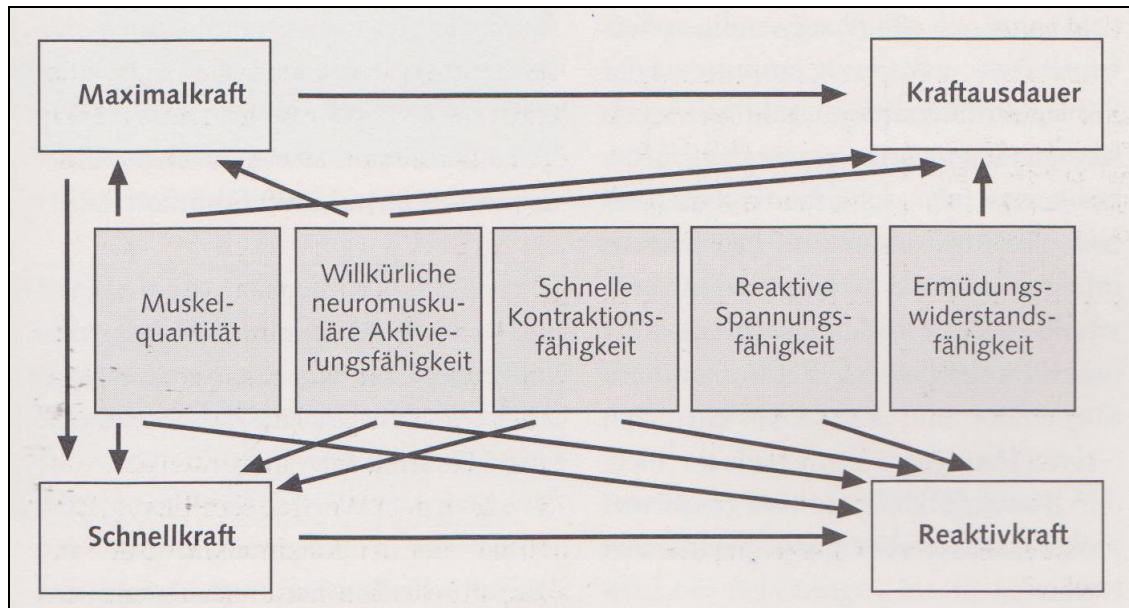


Abb. 3: Dimensionen der Kraft und ihr Einfluss auf die Kraftfähigkeiten (in Boeckh-Berens & Buskies, 2003, S. 37)

Entsprechend der obigen Grafik kommen beim gezielten Training bestimmter Kraftfähigkeiten (Maximal-, Schnell- Reaktivkraft und Kraftausdauer) jene Methoden zur Anwendung, welche die zugehörig beeinflussenden Kraftdimensionen optimieren.

Eine exakte Beschreibung der *Durchführungsmodalitäten* kann an dieser Stelle nicht erfolgen, aber Parameter zur Gestaltung und Unterscheidung von Trainingsmethoden berücksichtigen in aller Regel die Intensität (zumeist in Prozent des Einwiederholungsmaximums), die Wiederholungszahl, die Anzahl der Sätze pro Übung bzw. Muskelgruppe, die Pausenlänge sowie das Bewegungstempo. Nach den allgemeinen *Empfehlungen des ACSM* zur Erhaltung und Entwicklung der Kraft im Gesundheitsbereich sollten muskelkräftigende Aktivitäten (bevorzugt Krafttraining) an zwei bis drei Tagen der Woche, bei etwa 8-10 Übungen (ein Satz je Übung) zu je 8-12 erschöpfenden Wiederholungen (entsprechend 70-85% des 1RM) für die Hauptmuskelgruppen durchgeführt werden. Ein Kräftigungsprogramm sollte dabei stets individuell und progressiv gestaltet sein und eine Erhöhung der Satzzahl ist bei ausreichender Zeit empfohlen. Aufgrund der Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen körperlicher Aktivität und Gesundheit werden auch Trainingsumfänge über die Empfehlungen hinaus befürwortet (Haskell et al., 2007; Pollock et al., 1998; Ratamess et al., 2009).

Zu den gängigsten *Durchführungs- und Organisationsformen* zählen unter anderem das Stationstraining, Pyramidentraining und Zirkeltraining (Weineck, 2004). Beim

Stationstraining werden an ein und derselben Station (Übung) entweder gleich viele Wiederholungen bei gleicher Intensität, bei veränderter Intensität oder veränderliche Wiederholungen bei gleicher Intensität durchgeführt – diese Organisationsform ist aufgrund ihrer Einfachheit vor allem im Fitnesssport am häufigsten vorfindbar. Das *Pyramidentraining* kennzeichnet sich hingegen durch eine pyramidenförmige Zu- bzw. Abnahme der Belastungsintensitäten bei entsprechend geringer bzw. hoher Wiederholungszahl – aufgrund der unterschiedlichen Reizsetzung lassen sich Hypertrophie und intramuskuläre Koordination gleichermaßen verbessern und die Gesamtausnutzung des Muskelpotentials optimieren. Beim *Zirkeltraining* werden mehrere Übungsstationen in Kreisform durchlaufen und Muskeln entsprechend abwechselnd trainiert – durch die zumeist recht kurz gehaltenen Stationspausen kann hierbei neben der Kraft auch die Ausdauerleistung gezielt verbessert werden (Weineck, 2004).

5.1.3 Energiebereitstellung / Energieverbrauch

Die *Energiebereitstellung* beim Krafttraining ist während einzelner Sätze primär anaerob, während mit fortlaufender Dauer einer Trainingseinheit der aerobe Anteil am Gesamtenergieverbrauch zunimmt. Maximale Belastungen von höchstens zwei Sekunden, beispielsweise bei einem Maximalkraftversuch beim Gewichtheben oder im Rahmen eines Krafttrainings, sind von unmittelbar verfügbarer Energie abhängig und können nur durch frei vorliegendes ATP realisiert werden. In der Praxis des Krafttrainings beträgt die Dauer eines Satzes jedoch fast immer länger und die ATP-Resynthese wird hauptsächlich durch PCr und Glucose gewährleistet. Bei Belastungen bis zu maximal sieben Sekunden könnte der Energiebedarf theoretisch rein anaerob und nur aus den PCr-Speichern gedeckt werden, ohne Anhäufung von Laktat. Die anaerobe Glycolyse setzt jedoch schon früher ein und erreicht ab der fünften Sekunde ihr Maximum. Je länger die Belastung dauert, desto stärker folglich die Beteiligung von Kohlenhydraten im Rahmen der anaeroben Glykolyse und desto höher der Grad der muskulären Übersäuerung was zum Leistungsabfall in submaximale Bereiche und letztlich zum Belastungsabbruch führt (siehe Kapitel 3.1.1).

Bei einer typischen Krafttrainingseinheit (oder einem Ausdauer-Intervalltraining) finden diese hoch-intensiven Belastungen wiederholt statt, durchsetzt mit Pausen ohne oder weniger intensiver Bewegung. Da die Vermeidung einer Ermüdungsaufstockung kein Ziel eines typischen Kraft- oder Intervalltrainings ist werden zumeist lohnende Pausen eingehalten die keine vollständige Erholung ermöglichen (das alltagsübliche Krafttraining entspricht demnach eher der Intervall- als der Wiederholungsmethode; vgl. Weineck,

2004). Entsprechend spielt die Fähigkeit der Muskelerholung hierbei eine besondere Rolle und ist vor allem abhängig von der Belastungsintensität und -dauer sowie von der Erholungszeit zwischen den Belastungen. Wenn derartig laktazide Belastungen bei einer Pausenlänge von jeweils vier Minuten wiederholt werden nimmt der Anteil der anaeroben Energiebereitstellung ab, während die ATP-Resynthese auf aerobem Weg gleich bleibt oder sogar leicht zunimmt. Der relative Beitrag des aeroben Energiesystems nimmt demnach mit zunehmender Anzahl an Sätzen bzw. Intervallen zu. Diese verringerte Leistung des anaeroben Systems kann teilweise durch die unvollständige Regeneration der PCr-Speicher erklärt werden. Andere Mechanismen, verantwortlich für den fortlaufenden Fall des Laktats, sind bislang nicht vollständig geklärt. Im Zuge längerer Trainingseinheiten kann letztlich auch eine Entleerung der Glycogenspeicher die Leistung beeinträchtigen (Maughan & Gleeson, 2004; siehe auch Kapitel 3.1.1).

Der *Energieverbrauch* eines typischen Krafttrainings ist in Kapitel 3.1.2 angeführt. Eine formelhafte Berechnung, wie sie beispielsweise für das Laufen vorliegt, ist beim Krafttraining aus verschiedenen Gründen problematisch. Dabei müsste vor allem die erbrachte Hubarbeit, als das Produkt aus Kraft (Masse mal Beschleunigung) und Weg ($W=F*s$), bei jeder Übung und jedem Satz exakt errechnet und überdies der weitere Energieverbrauch während der Satzpausen berücksichtigt werden (vgl. Gottlob, 2007). Derartige Berechnungen sind natürlich sehr komplex und unpraktikabel, weshalb sie in der Praxis kaum durchgeführt werden. Überdies variiert die erbrachte Gesamtarbeit und generelle Organisation (Bewegungsausführung, Pausengestaltung etc.) eines Krafttrainings sehr stark zwischen Individuen, was eine Schätzung des Energieverbrauchs beim Krafttraining zusätzlich erschwert.

5.1.4 Studien zum Nachbrenneffekt durch Krafttraining

Wirtz, Buitrago, Kleinoeder und Mester (2009) untersuchten die Auswirkungen klassischer Krafttrainingsmethoden auf die Sauerstoffaufnahme während und nach einmaligen, erschöpfenden Belastungen. Dabei unterschieden die Autoren die vier Trainingsmethoden Schnellkraftausdauer (SKA), Kraftausdauer (KA), Hypertrophie (HYP) und Maximalkraft (MAX) und definierten entsprechende Zusatzlasten und Bewegungsgeschwindigkeiten. Auch der Bewegungsumfang (ROM – range of motion), die Spannungszeit (TUT – time under tension), sowie die zeitlichen Anteile jeder Kontraktionsphase innerhalb einer Wiederholung (konzentrisch-isometrisch-exzentrisch-isometrisch) wurden standardisiert

und kontrolliert. An der Studie nahmen zehn junge Männer mit Erfahrung im Krafttraining teil und führten innerhalb aller vier Belastungsformen eine einzelne Übung (Bankdrücken) einmalig bis zur maximalen Erschöpfung (Gesamtbelastungsdauer zwischen 29 und 105 Sekunden) an vier verschiedenen Versuchstagen durch. Die Standards wurden folgendermaßen festgelegt: SKA 55% des 1-RM mit einem Bewegungsrhythmus von $v_{\max}$ -1-1-1, KA 55% mit 4-1-4-1, HYP 75% mit 2-1-2-1, MAX 85% mit $v_{\max}$ -1-1-1.

Ergebnisse: EPOC wurde 30 Minuten lang gemessen und überdauerte diese Zeitspanne, was angesichts des extrem geringen Belastungsumfangs bemerkenswert ist. Die Höhe von EPOC wurde nur grafisch dargestellt und konnte daher nur geschätzt werden, mit etwa 4.8 Liter für SKA, 4.5 Liter für KA, 4.3 Liter für MAX und 4.1 Liter für HYP. VO_2 war nur bei SKA signifikant höher als bei den anderen drei Belastungsformen die sich nicht signifikant unterschieden. Erklärt wurde dies durch die geringen Zusatzlasten und die durch schwunghafte Bewegungen kurzzeitige Entlastung am Ende der konzentrischen Bewegungsphase bei SKA. Dadurch könnte die TUT unterbrochen und der Blutfluss erhöht werden, wodurch eine erhöhte aerobe Energiebereitstellung denkbar wäre. EPOC unterschied sich nicht signifikant zwischen den vier Belastungsarten, wobei eine Tendenz zugunsten der Belastungen geringerer Intensitäten festgestellt wurde. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Gesamtbelastungsdauer mit 29 bis 105 Sekunden extrem gering ist und für eine statistische Untersuchung kaum ausreicht. Schließlich konnte gezeigt werden, dass Krafttrainingsbelastungen zur exakten Vergleichbarkeit ihrer Stoffwechselanforderungen einer hohen Standardisierung unterliegen müssen. Aus beschriebenen Gründen betrifft dies insbesondere die Bewegungsgeschwindigkeit.

Kritisch muss bei dieser Studie angemerkt werden, dass die Messung des Ruheenergieumsatzes nur während 30-minütigem Sitzen und nicht an einem eigenen Kontrolltag ermittelt wurde, wodurch die Berechnung der Werte für EPOC unexakter ausfällt. Überdies wurden die Teilnehmer lediglich aufgefordert nüchtern und ausgeruht zur Messung zu erscheinen, es gab kein Ernährungs- oder Bewegungsprotokoll. Auch das Gesamtausmaß von EPOC konnte aufgrund der beschränkten Messdauer nicht erfasst werden.

Baum und Schuster (2008) untersuchten den Energieumsatz im Anschluss eines gesundheitsorientierten Fitnesstrainings. An der Studie nahmen 17 Frauen und 14 Männer zwischen 40 und 63 Jahren (BMI zwischen 21 und 40) teil, die bereits ein regelmäßiges Fitnesstraining zur Gewichtsreduktion im Studio absolvierten. Im Rahmen der Studie absolvierten die Teilnehmer ihr übliches Training, ohne Einschränkungen in

dessen Gestaltung, wobei sie Umfang und Intensität selbst wählten. 15 Personen führten ein reines Ausdauertraining auf Radergometern, Laufbändern oder „Elypsentrainern“ durch, während 16 Personen ein kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining ausführten. Anhand der Trainingsprotokolle konnten Rückschlüsse auf die individuelle Trainingsintensität geschlossen werden, die sowohl beim Kraft- als auch beim Ausdauertraining zwischen 50 und 80% der jeweils maximalen Leistungsfähigkeit lagen. Die Ausdauergruppe trainierte 45 ± 11 Minuten und die Kombi-Gruppe 58 ± 17 Minuten. Der Energieumsatz wurde vor und zwischen der 15. und 35. Minute nach dem Training gemessen. Der erhöhte Energiebedarf der ersten 15 Minuten nach Belastungsabbruch wurde von den Autoren der PCr-Resynthese und primär der Belastungsphase selbst zugeordnet und daher bewusst von der Messung ausgeschlossen (vgl. Kapitel 4.1).

Ergebnisse: Es konnte keine signifikante Erhöhung des Energieumsatzes in der Nachbelastungsphase festgestellt werden, unabhängig von der Trainingsart und -dauer, der Fettstoffwechselanteil an der Energiebereitstellung war nach dem Training jedoch signifikant höher. Überdies wurde ein Mittelwert des Nachbelastungs-Energieumsatzes zahlreicher relevanter Studien von 103 Kilojoule berechnet. Die Autoren schlussfolgerten, dass der Energieumsatz in der Nachbelastungsphase eines herkömmlichen Fitnessstrainings keine nennenswerte Rolle bei der Gewichtsreduktion spielt.

Kritik muss bei dieser Studie vor anderem hinsichtlich mangelnder Angaben erfolgen. So wurden die Menstruationszyklen der weiblichen Teilnehmerinnen nicht erwähnt, es gab keinerlei Angaben zur Ernährung und körperlichen Aktivität im Vorfeld der Messung oder zum Aufwärmprozedere der TeilnehmerInnen. Es wurde nicht beschrieben wie die maximale Leistungsfähigkeit erhoben wurde und es fehlten jegliche Angaben zu den eingesetzten Kraftübungen (Maschinen vs. Freihantel, große vs. kleine Muskelgruppen etc.) die selbstverständlich je nach Einsatz unterschiedlich großer Muskelgruppen von Bedeutung sind. Auch die Trainingsumfänge konnten nicht angezeigt werden, abgesehen von der Trainingsdauer welche bei der Kombi-Gruppe deutlich höher lag. Weiters war die Trainingsintensität zwischen den Teilnehmern sehr variabel und teilweise womöglich zu gering um einen entsprechenden Stimulus zur Auslösung eines signifikanten Nachbrenneffekts zu erzeugen. Zirkadiane Rhythmen wurden nicht berücksichtigt, die Messung des Ruheumsatzes erfolgte lediglich während 20-minütigem Sitzen. Schließlich wurden bei der Berechnung des Mittelwerts für den Energie-Mehrverbrauch nach einer Belastung ausschließlich Studien herangezogen, die EPOC für nur sehr kurze Zeit maßen. Die für die Gewichtsregulation viel interessantere „lang anhaltende Phase“ wurde hierbei nicht berücksichtigt.

Haddock und Wilkin (2006) untersuchten, ob der überschüssige Energieverbrauch während der Erholung (EPEE, excess post-exercise energy expenditure) durch Erhöhung des Belastungsumfangs bei gleicher Belastungsintensität signifikant zunimmt. 15 junge Frauen mit Erfahrung im Krafttraining nahmen an zwei verschiedenen Trainingsprogrammen nach einem ausgeglichen und randomisierten Verfahren teil. Dabei wurden jeweils neun Übungen zu je etwa acht Wiederholungen bis zur Erschöpfung durchgeführt, einmal bei einem Satz und einmal bei drei Sätzen pro Übung.

Ergebnisse: EPEE wurde zwei Stunden lang gemessen und überdauerte diese Zeitspanne bei einem Ausmaß von 94,1 Kilojoule bei drei Sätzen und 93,3 Kilojoule bei einem Satz pro Übung. Der Nettoenergieverbrauch während dem Training war beim 3-Satzprotokoll signifikant höher als beim 1-Satzprotokoll (662 vs. 235 kJ), wobei es pro Trainingsminute keinen signifikanten Unterschied gab. Beide Protokoll führten zu einem signifikanten EPEE, wobei beim Netto-EPEE über die vollen 120 Minuten kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen war (94 vs. 93 kJ). Währenddessen löste das 1-Satzprotokoll unter Berücksichtigung der aktiven Trainingszeit, relativ gesehen, einen deutlich höheren EPEE aus (0.4 vs. 1 kJ/min). Die Autoren folgerten, dass EPEE bei trainierten Frauen durch eine Erhöhung des Trainingsumfangs von ein auf drei Sätze nicht wesentlich erhöht wird. An dieser Stelle sollte angemerkt werden, dass EPEE im Vergleich mit dem Energieumsatz während des Trainings relativ gering ist und der absolute Gesamtenergieverbrauch (während dem Training und bis zu zwei Stunden danach) beim 3-Satzprotokoll nahezu doppelt so hoch ausfiel wie beim 1-Satzprotokoll (1627 vs. 978 kJ).

Die Interpretation dieser Studie muss aus mehreren Gründen vorsichtig erfolgen. Zum einen wurde bei der Rekrutierung der Probandinnen lediglich darauf geachtet, dass die Frauen vor der Menopause waren, nicht berücksichtigt wurde jedoch der Menstruationszyklus. Weiters fand das Aufwärmen vor der Trainingsintervention am Radergometer für fünf Minuten bei selbst gewählter Intensität statt, gefolgt von 3 Aufwärmsets bei 60% des 8-RM. Überdies wurden die Teilnehmerinnen lediglich aufgefordert drei Stunden vor der Ausgangsmessung nüchtern zu bleiben, es gab kein Ernährungs- oder Bewegungsprotokoll. Außerdem wurde der Ruheenergieumsatz nicht an einem Kontrolltag, sondern lediglich während 20-minütigem Sitzen gemessen, wobei aus den letzten zehn Minuten ein Durchschnittswert ermittelt wurde. Schließlich muss auch beachtet werden, dass EPOC im Zuge dieser zweistündigen Messung nicht vollständig erhoben werden konnte.

Braun, Hawthorne und Markofski (2005) verglichen EPOC zwischen einem Zirkeltraining und Ausdauertraining am Laufband bei ausgeglichener Sauerstoffaufnahme. An dieser Studie nahmen acht untrainierte Frauen zwischen 22 und 41 Jahren teil. Die Testung erfolgte während der frühen follikulären Phase um hormonelle Einflüsse zu minimieren, entsprechend durchliefen die Teilnehmerinnen beide Trainingseinheiten in einem Abstand von etwa 28 Tagen. Das Zirkeltraining beinhaltete acht herkömmliche Übungen zu je drei Sätzen und etwa 15 erschöpfenden Wiederholungen bei 65% des 1-RM. Zwischen den Übungen wurde 30 Sekunden pausiert, zwischen den drei Zirkeldurchgängen jeweils zwei Minuten in denen Herzfrequenz und subjektives Belastungsempfinden dokumentiert wurden. Dauer und Energieverbrauch der Laufband-Einheit wurden dem Zirkeltraining angeglichen und auch Herzfrequenz sowie Empfinden wurden aufgezeichnet.

Ergebnisse: EPOC wurde 60 Minuten lang gemessen und überdauerte diese Zeitspanne bei einer Größe von 11,58 Liter. Das Zirkeltraining bewirkte einen signifikant höheren Sauerstoffmehrerverbrauch während der ersten 30 Minuten der Erholung, nach 60 Minuten war hingegen kein signifikanter Unterschied mehr im Vergleich zum Lauftraining feststellbar. Herzfrequenz, subjektives Belastungsempfinden und die respiratorische Austauschrate (RER) waren beim Zirkeltraining allesamt signifikant höher und wurden mit einer stärkeren metabolischen Störung, insbesondere der „kurzfristigen Phase“ von EPOC, assoziiert. Allerdings erwähnten die Autoren selbstkritisch, dass diese stärkere Stoffwechselreaktion nach dem Zirkeltraining womöglich durch ein Ungleichgewicht der kalorischen Gesamtkosten beider Trainingseinheiten zustande kam, da der höhere anaerobe Energieanteil beim Zirkeltraining durch einen rein aeroben Abgleich nicht berücksichtigt wurde.

Diese Studie wurde insgesamt sehr sauber durchgeführt. Zu berücksichtigen sind lediglich die relativ geringe Stichprobengröße von 8 Personen, die fehlenden Angaben zur Dauer der Einheiten und zur Intensität des Lauftrainings anhand der VO_{2max} , die kurze Messzeit von EPOC über nur 60 Minuten sowie dass die Messung des Ruheenergieverbrauchs unmittelbar vor dem Training während 30-minütigem Sitzen erfolgte und kein eigener Messtag abgehalten wurde.

Drummond, Vehrs, Schaalje und Parcell (2005) untersuchten, ob die Kombination von Kraft- und Ausdauertraining innerhalb einer Trainingseinheit einen Einfluss auf EPOC hat und ob die Reihenfolge dieser beiden Belastungsformen dabei eine Rolle spielt. Zehn körperlich aktive Männer im Alter zwischen 25 und 27 Jahren führten vier unterschiedliche Trainingseinheiten in einem Abstand von mindestens zwei Tagen bei randomisierter

Reihenfolge durch. Die Krafteinheit (KR) beinhaltete sieben Übungen zu je drei Sätzen und zehn Wiederholungen bei 70% des 1-RM, wobei zwischen Übungen und Sätzen 105 Sekunden Pause gehalten wurde. Bei der Ausdauereinheit (AD) liefen die Probanden 25 Minuten auf einem Laufband bei 70% der VO₂max. Bei den beiden gemischten Einheiten wurde einmal das Kraft- dem Lauftraining (KR-AD) und einmal das Lauf- dem Krafttraining (AD-KR) vorgezogen, wobei etwa fünf Minuten beim Wechsel von einer Belastungsform zur nächsten vergingen.

Ergebnisse: EPOC wurde 90 Minuten lang gemessen und dauerte bei KR 30 Minuten, bei KR-AD und AD-KR 20 Minuten und bei AD zehn Minuten. Nach 40 Minuten war der Energieverbrauch nach allen vier Trainingsinterventionen wieder auf den Ruhewert zurück gekehrt. Während der ersten zehn Minuten war EPOC bei KR (5,8 ml/kg/min) und AD-KR (5,7 ml/kg/min) signifikant größer als bei KR-AD (5,1 ml/kg/min) und AD (4,7 ml/kg/min), während der Unterschied zwischen AD-KR und KR-AD nach 20 Minuten nicht mehr signifikant war. Die Autoren erklärten sich diese erhöhten Werte in der kurzen EPOC-Phase bei AD-KR durch eine möglicherweise intensivere Kraft- als Ausdauereinheit und die Tatsache, dass die Laufökonomie vor Kraftbelastungen besser ist. Außerdem hielten sie es für möglich, dass die Lafeinheit unmittelbar nach der Krafteinheit möglicherweise als Regenerationsperiode fungierte, wodurch EPOC im Anschluss dieser Belastungskombination geringer ausfallen konnte als bei umgekehrter Reihenfolge.

Bei dieser Studie soll kritisch angemerkt werden, dass weder die Dauer der Krafteinheit, noch der Energieaufwand der einzelnen Kraft- und Ausdauereinheiten angegeben wurde, wodurch schwer abschätzbar ist ob der energetische Stress beider Einheiten etwa gleich hoch war. Den Angaben zu folge dauerte die Krafteinheit jedoch deutlich länger als 25 Minuten. Überdies bieten zehn erschöpfenden Wiederholungen bei 70% des 1-RM unter Umständen einen relativ geringen Widerstand, da die Streuung bei dieser Intensität bereits sehr hoch ist und manche Personen erst bei etwa 15 Wiederholungen erschöpfen (vgl. Gottlob, 2007). Weiters wurde die Messung des Ruheenergieumsatzes während 30 Minuten im Liegen durchgeführt, ohne Berücksichtigung zirkadianer Rhythmen.

Crommett und Kinzey (2004) untersuchten EPOC nach einem Kraft- und Ausdauertraining gleicher kalorischer Gesamtkosten bei normal- und übergewichtigen Frauen. An dieser Studie beteiligten sich 17 Frauen zu Beginn ihres Menstruationszyklus, von denen zehn als normalgewichtig (BMI ≤ 25) und 7 als übergewichtig (BMI zwischen 30-45) eingestuft wurden. Die Probandinnen führten zunächst ein etwa 27-minütiges Krafttraining durch, mit fünf komplexen Ganzkörperübungen an Maschinen zu je drei Sätzen und acht bis zwölf

Wiederholungen bei 70% des 10-RM. Die Satzpausen betrugen 60 Sekunden und das Gewicht wurde im Laufe der Einheit gegebenenfalls nach unten in angepasst um im Wiederholungszielbereich zu bleiben. Zwei bis drei Tage später fand die Ausdauerinheit, in der die Frauen auf einem Radergometer bei 60-65% der VO₂max solange fuhren bis der Energieverbrauch jenem des Krafttrainings entsprach, dies dauerte im Durchschnitt etwa zwölf Minuten. Im Anschluss jeder dieser beiden Trainingsinterventionen wurde EPOC eine Stunde lang gemessen.

Ergebnisse: Der Energieumsatz wurde eine Stunde lang gemessen und erreichte in allen Personen- und Trainingsgruppen nach 30 Minuten wieder den Ruhewert. Obwohl keine absoluten Angaben zu EPOC gemacht wurden reagierten normal- und übergewichtige Frauen gleichermaßen auf Training gleicher Intensitäten, wobei auch keine signifikanten Unterschiede zwischen Kraft- und Ausdauertraining hinsichtlich EPOC festgestellt werden konnten.

Angesichts der relativ geringen Trainingsintensitäten die in dieser Studie verwendet wurden, verwundert es nicht, dass EPOC von nur sehr kurzer Dauer war. Während acht bis zwölf Wiederholungen bei etwa 75% des 1-RM einen adäquaten Widerstand bieten würden, wurden in der vorliegenden Untersuchung acht bis zwölf Wiederholungen bei 70% des 10-RM genutzt. Auch die Intensität beim Ausdauertraining ist bei 60-65% der VO₂max relativ gering. Überdies unterschied sich die Dauer beider Trainingsinterventionen relativ stark (zwölf vs. 27min). Schließlich wurde der Ruhewert nach 30-minütigem zurückgelehntem Sitzen ermittelt und nicht im Zuge einer mehrstündigen Kontrollmessung, wodurch zirkadianrhythmische Schwankungen nicht berücksichtigt werden konnten.

Die folgende Tabelle gibt einen geschichtlichen Überblick über den Forschungsstand zum Nachbrenneffekt beim Krafttraining bis zum aktuellen Zeitpunkt und wurde modifiziert nach Borsheim und Bahr (2003, S. 1041-1044) sowie LaForgia et al. (2006, S. 149-154). Zur besseren Vergleichbarkeit der Studien sollte das Ausmaß des Nachbrenneffekts in Form des Sauerstoff- als auch des energetischen Mehrverbrauchs dargestellt werden. Der entsprechende Umrechnungsschlüssel betrug fünf Kilokalorien pro Liter Sauerstoff (vgl. McArdle et al., 2007) und unterliegt Genauigkeitsschwankungen um bis zu vier Prozent, da die Ernährung hier nicht berücksichtigt werden konnte. Der berechnete Schätzwert ist immer unterhalb des statistischen Werts in eckiger Klammer angeführt.

Tab. 2: Studien zum Nachbrenneffekt beim Krafttraining

Studie	TN	Belastung (Form, Dauer, Intensität)	Messdauer	EPOC Dauer	EPOC Ausmaß	Kontrollmessung	Kommentar
Wirtz et al. (2009)	10 M	1 Satz bei unbestimmter Wiederholungszahl bis zur Erschöpfung bei 55% (SKA), 55% (KA), 75% (HYP) und 85% (MAX) des 1-RM	30 min	>30 min	SKA: ~4.8 L; KA: ~4.5 L; MAX: ~4.3 L; HPY: ~4.1 L [24, 22.5, 21.5 kCal]	nein	Der Unterschied von EPOC zwischen den 4 Interventionen war nicht signifikant.
Baum und Schuster (2008)	14 M, 17 F	Freies Training bei Intensitäten zwischen 50 und 80% der Maximalleistung. (a): ~45min Ausdauertraining auf verschiedenen Geräten; (b): ~58min Kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining	20min	kA	kA	nein	Es konnte keine signifikante Erhöhung des Energieumsatzes in der Nachbelastungsphase festgestellt werden, unabhängig von der Trainingsart und -dauer.
Haddock und Wilkin (2006)	15 F	8 Sätze (a) bzw. 24 Sätze (b) ca. 8Wh bis zur Erschöpfung	2 h	>2 h	(a) 22.3 kCal; (b) 22.5 kCal [4.5, 4.5 L]	nein	Es wurde kein signifikanter Unterschied des Mehrenergieverbrauchs in der Nachbelastungsphase zwischen (a) und (b) festgestellt.
Braun et al. (2005)	8 F	Zirkeltraining: 24 Sätze á ca. 15Wh (erschöpfend) bei 65% des 1-RM; Laufband: Dauer und Energieumsatz wurden dem Zirkeltraining angeglichen	1 h	>1 h	11,58 L [57,9 kCal]	nein	Das Zirkeltraining bewirkte einen signifikant höheren Sauerstoffmehrerbrauch während der ersten 30 Minuten der Erholung, nach 60 Minuten war hingegen kein signifikanter Unterschied mehr im Vergleich zum Lauftraining feststellbar.
Drummond et al. (2005)	10 F	Kraft: 21 Sätze á 10Wh bei 70% des 1-RM; Ausdauer: 25min bei 70% der VO2max; KR-AD; AD-KR	90 min	KR: 30min; KR-AD und AD-KR: 20min; AD: 10min	kA	nein	Während der ersten zehn Minuten war EPOC bei KR (5,8 ml/kg/min) und AD-KR (5,7 ml/kg/min) signifikant größer als bei KR-AD (5,1 ml/kg/min) und AD (4,7 ml/kg/min), während der Unterschied zwischen AD-KR und KR-AD nach 20

Nachbrenneffekt und Gewichtsregulierung: Kraft- vs. Ausdauertraining

							Minuten nicht mehr signifikant war.
Crommett et al. (2004)	17 F	Kraft: 15 Sätze á 10Wh bei 70% des 10-RM; Rad: 60-65% der VO2max solange bis Energieumsatz dem Krafttraining entspricht	1 h	30 min	kA	nein	Normal- und übergewichtige Frauen reagierten gleichermaßen auf beide Trainings, wobei auch keine signifikanten Unterschiede zwischen Kraft- und Ausdauertraining hinsichtlich EPOC festgestellt werden konnten.
Jamurtas et al. (2004)	10 M	Krafttraining: 40 Sätze á 8-12Wh bei 70-75% des 1-RM; Laufband: 60min laufen bei 70-75% der VO2max	72 h	>72 h, >24 h	kA	Ja	Der Ruheenergieverbrauch in der Nach-Belastungsphase wurde mit Werten der Vor-Belastungsphase verglichen, statt mit temporär vergleichbaren Kontrollwerten.
Thornton und Potteiger (2002)	14 F	2 Durchgänge bei gleichem Belastungsumfang: Hoch, 18 Sätze á 8Wh bei 85% des 8-RM; Nieder, 18 Sätze á 15Wh bei 45% des 8-RM	2 h	<2 h	0-20min: Hoch, 1.72 L; Nieder, 0.9 L [8.6, 4.5 kCal]; 45-60min: Hoch, 0.35 L; Nieder, 0.14 L [1.8, 0.7 kCal]; 105-120min: Hoch, 0.22 L; Nieder, 0.05 L [1.1, 0.3 kCal]	Ja	Während der Messperiode war EPOC bei der höher intensiven Belastung doppelt so hoch als bei der weniger Intensiven.
Schuenke et al. (2002)	7 M	31min Zirkeltraining: 12 Sätze á ca. 8-12Wh bei 10-RM	48 h	>38 h, >43 h	kA	Ja	Die Kontrollwerte wurden alle vor der Trainingsintervention festgelegt, daher gab es keine Ausbalancierung.
Binzen et al. (2001)	10 F	45min, 30 Sätze á 10Wh bei 70% des 1-RM	2 h	>1 h, >1.5 h	6.2 L [31 kCal]	Ja	Versuchs- und Kontrollgruppe wurden ausbalanciert.
Haltom et al. (1999)	7 M	16 Sätze á 20Wh bei 75% des 20-RM und 20sek Pause (a) bzw. 60sek Pause (b)	1 h	kA	10.3 L (a) und 7.4 L (b) [51.5, 37	Nein	Das kürzere Intervall wurde mit höherem EPOC assoziiert.

Nachbrenneffekt und Gewichtsregulierung: Kraft- vs. Ausdauertraining

					kCal]		
Burleson et al. (1998)	15 M	27min Zirkeltraining: 16 Sätze á 8-12Wh bei 60% des 1-RM; 27min Laufband bei 43.4% der VO2max	1.5 h	Zirkeltraining : >90min; Laufband: >30min	kA	Nein	VO2 innerhalb der 30-minütigen Nachbelastungsperiode war bei Zirkeltraining höher (10.0 L) als bei Laufband (3.7 L).
Williamson und Kirwan (1997)	12 M	16 Sätze á 10Wh bei 75% des 3-RM	bei 48 h	48 h	kA	Nein	Die Teilnehmer waren älter (59 bis 77 Jahre) und bewegungsarm. Ihr Ruhegrundumsatz war 48h nach der Belastung nur um 3% erhöht.
Gillette et al. (1994)	10 M	Rad: ca. 63min bei 51.5% der VO2max; abgeglichenes Krafttraining (100min ~ 2464kJ): 50 Sätze á 8-12Wh bei 70% des 1-RM	5 h und eine Messung nach 14.5 h	>5 h, >14.5 h	5 h EPOC: Krafttraining, 12.6 L; Rad, 4.5 L [63, 22.5 kCal]	Ja	Die Energiekosten des Krafttrainings wurden mit 48kJ pro 500kg Hublast berechnet. Dieser Faktor wurde durch Pilotversuche zweier Teilnehmer mittels indirekter Kalorimetrie während dem Heben und der Erholungszeit erhoben.
Melby et al. (1993)	13 M	(a) n=7: 60 Sätze á 8-12Wh bei 70% des 1-RM mit 3min Pause zwischen Sätzen; (b) n=6: 30 Sätze á 8-12Wh bei 70% des 1-RM mit 4min Pause zwischen den Sätzen	2 h und eine Messung nach 15 h	>15 h	2 h EPOC: 7.0 L [35 kCal]	Ja	EPOC-Werte ausschließlich der ersten 5min der Nachbelastungszeit. Der Ruhegrundumsatz war nach 15 Stunden um 5-19% erhöht.
Murphy und Schwarzkopf (1992)	10 M	Zirkeltraining: 18 Sätze á 8-12Wh bei 50% des 1-RM und 30 Sekunden Pause; Krafttraining: 18 Sätze bis zur Erschöpfung bei 80% des 1-RM und 120 Sekunden Pause	26 min	Zirkel: 20 min; Kraft: 15 min	Zirkel: 24.9 kCal; Kraft: 13.4 kCal [5, 2.7 L]	Nein	Die Gesamthublast beider Trainingsinterventionen war identisch.
Elliot et al. (1992)	4 M, 5 F	Rad: 40min bei 80% der maximalen Herzfrequenz; Zirkeltraining: 40min, 32 Sätze á 15Wh bei 50% des 1-RM; Krafttraining: 40min, 24 Sätze á 3-8Wh bei 80-90% des 1-	1.5 h	30 min, 1 h und 4 h	Rad: 32 kCal; Zirkel: 47.8 kCal; Kraft: 51 kCal [6.4, 9.6,	Nein	Der Energieverbrauch während dem Radfahren (1808 kJ) war signifikant größer als jener während dem Krafttraining, dennoch war EPOC

		RM			10.2 L]		beim Krafttraining am größten.
TN = Teilnehmer, M = Männer, F = Frauen, Wh = Wiederholungen, RM = Repetition Maximum/Wiederholungsmaximum, VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme, EPOC = excess post-exercise oxygen consumption, min = Minute(n), h = Stunde(n), L = Liter, kA = keine Angabe							

Im Vergleich mit der wissenschaftlichen Datenlage zur Untersuchung des Nachbrenneffekts nach Ausdauertraining gibt es nur relativ wenige Studien die gezielt Krafttraining im Zusammenhang mit EPOC erforschten. Aufgrund vielfältiger Belastungsparameter und mangelhafter Standardisierung im Krafttraining fällt es auch sehr schwer diese Studien hinsichtlich Belastungsintensität und -dauer zu kategorisieren. Dies wird insofern deutlich, als die Intensität im Krafttraining durch mehrere Faktoren bestimmt wird, vor allem durch Spannungshöhe (Widerstand anhand des RM), Spannungsdauer (Wiederholungen und Bewegungstempo) und Satzpausendauer. Da Angaben zu Pausengestaltung und Bewegungstempo bzw. Spannungsdauer zumeist fehlen, kann man sich beim Vergleich der Intensitäten innerhalb der Studien fast ausschließlich auf die Wiederholungszahl und die Widerstandshöhe beziehen. Auch ein Vergleich der Trainingsdauer scheint aufgrund des sehr variablen und intermittierenden Charakters der Belastungen nicht sinnvoll. Der Belastungsumfang wird in diesem Fall besser durch die Anzahl der Trainingssätze beschrieben. Aus genannten Gründen wird beim folgenden Vergleich der Studien die Intensität eingeschätzt. Dazu orientiert sich der Autor vor allem an der Widerstandshöhe und der dabei genutzten Wiederholungszahl. Des Weiteren lassen sich Vergleiche der Nachbrenneffekte derartiger Trainingsinterventionen schwerer anstellen, da die indirekte Kalorimetrie zur Bestimmung des Stoffwechsels bei intermittierenden körperlichen Aktivitäten sich ständig ändernder Energieflussraten relativ ungenau sein kann. Grund dafür ist der zumeist sehr hohe anaerobe Stoffwechselanteil, der bei einer reinen Messung der Sauerstoffaufnahme zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Energieumsatzes führen kann. Ein weiteres Problem stellt überdies der Energieverbrauch während der Intervallpausen dar, der bei den meisten Messungen nicht berücksichtigt wird und zu einer weiteren Unterschätzung von EPOC führt (LaForgia et al., 2006). Schließlich muss bemerkt werden, dass in vielen diesbezüglichen Studien zwar die Dauer von EPOC exakt erfasst wurde, nicht jedoch das Ausmaß, was eine Gegenüberstellung der Trainingseffekte zusätzlich erschwert.

Fünf Studien verglichen den Nachbrenneffekt verschiedener Krafttrainings bei unterschiedlichem Energieaufwand miteinander.

Haltom et al. (1999) führten 16 Sätze moderater Intensität bei abgeglichenem Belastungsumfang durch. Nach einer Stunde war EPOC beim Training kürzerer Intervallpausen (20 Sekunden) signifikant höher im Vergleich zu dem mit längeren Pausen (60 Sekunden). Der Netto-Energieumsatz unter Einbezug des Sauerstoffverbrauchs während der Belastung war nach dem Training längerer Intervallpausen jedoch größer. Dauer und Ausmaß des Nachbrenneffekts wurden leider nicht angegeben. Melby et al. (1993) arbeiteten mit 30 bzw. 60 Sätzen moderater Intensität, wobei der Nachbrenneffekt in beiden Interventionsgruppen über 15 Stunden anhielt. Murphy und Schwarzkopf (1992) nutzten 18 Sätze moderater Intensität in Form eines Zirkeltrainings sowie 18 Sätze hoher Intensität in Form eines herkömmlichen Krafttrainings. Die Gesamthublast beider Interventionen war gleich und EPOC dauerte lediglich 20 bzw. 15 Minuten an. Die Dauer und Höhe von EPOC war nach Zirkeltraining demzufolge höher als nach üblichem Krafttraining, der Energieumsatz beim Zirkeltraining war jedoch knapp dreimal so hoch und die Einzel-EPOCs der wesentlich längeren Intervallpausen beim Krafttraining wurden vermutlich nicht berücksichtigt. Elliot et al. (1992) ließen ihre Probanden 32 bzw. 24 Sätze bei moderater Intensität im Rahmen eines Zirkeltrainings bzw. bei hoher Intensität und üblichem Krafttraining durchführen. Dabei erreichte der Nachbrenneffekt eine Länge von einer (Zirkel) bzw. vier Stunden. Haddock und Wilkin (2006) führten acht bzw. 24 Sätze hoher Intensitäten durch und EPOC dauerte nach beiden Versuchen über zwei Stunden und unterschied sich nicht signifikant. Dieser Studie zufolge hängt der Nachbrenneffekt also weniger von der Satzanzahl bzw. vom Gesamtvolumen ab, wobei der Netto-Energieverbrauch zugunsten höherer Trainingsvolumina natürlich nicht vergessen werden sollte.

Es liegt leider nur eine einzige Studie vor die den Nachbrenneffekt unterschiedlicher Krafttrainings bei gleicher Energieumsatzrate miteinander verglich. Derartige Studien sind besonders interessant, da der Energieverbrauch der Aktivität selbst natürlich einen potentiellen Einfluss auf EPOC hat.

Thornton und Potteiger (2002) verglichen 18 Sätze niedriger Intensität (15 Wiederholungen bei 45% des 8-RM) mit 18 Sätzen moderater bis hoher Intensität (8 Wiederholungen bei 85% des 8-RM). Dabei war EPOC bei der intensiveren Belastung zwar doppelt so hoch, hielt jedoch bei beiden Interventionen unter zwei Stunden lang an.

Die meisten Studien setzten einzelne Kraftstimuli und kamen zu relativ unterschiedlichen Ergebnissen.

Wirtz et al. (2009) führten einen einzelnen Satz moderater bis hoher Intensität durch, dennoch überdauerte EPOC die Messdauer von 30 Minuten. Braun et al. (2005)

ermittelten nach 24 Sätzen moderater Intensität in Form eines Zirkeltrainings einen Nachbrenneffekt der eine Stunde überdauerte. Burleson et al. (1998) nutzten 16 Sätze moderater Intensität im Zirkeltrainingsdesign, wobei EPOC über 90 Minuten anhielt. Schuenke et al. (2002) führten 12 Sätze hoher Intensität in Form eines Zirkeltrainings durch und kamen zu dem beachtlichen Ergebnis einer EPOC-Dauer von über 39 Stunden. Williamson und Kirwan (1997) maßen EPOC nach 16 Sätzen moderater Intensität und maßen ebenfalls eine Länge von 48 Stunden. Jamurtas et al. (2004) konnten nach 40 Sätzen moderater Intensität einen Nachbrenneffekt feststellen der sogar über 72 Stunden lang anhielt und Gillette et al. (1994) fanden nach 50 Sätzen moderater Intensität einen Nachbrenneffekt der eine Zeitspanne von 14,5 Stunden überdauerte. Binzen et al. (2001) maßen nach 30 Sätzen moderater Intensität EPOC bei einer Dauer von etwa 90 Minuten, während Drummond et al. (2005) nach 21 Sätzen moderater Intensität lediglich eine Dauer von EPOC zwischen 20-30 Minuten feststellen konnten. Im Rahmen einer Studie von Crommett et al. (2004) betrug die Dauer von EPOC nach 15 Sätzen geringer Intensität schließlich nur 30 Minuten, während Baum und Schuster (2008) überhaupt keinen signifikanten Nachbrenneffekt feststellen konnten. Letztere maßen den Nachbrenneffekt jedoch erst ab der 15. Minute und kontrollierten weder Trainingsumfang noch Trainingsintensität.

Unter Rücksichtnahme teilweise fehlender methodischer Angaben lässt sich bezüglich Krafttraining und EPOC zusammenfassend sagen, dass die Angaben zur Dauer des Nachbrenneffekts in den angeführten Studien stark variieren. EPOC dauerte vor allem dann sehr lange an (zwischen 14,5 und 72 Stunden), wenn hohe Intensitäten oder moderate Intensitäten hohen Satsumfangs genutzt wurden. Nachbrenneffekte mittlerer bzw. unbestimmter Länge (>30 Minuten bis >4 Stunden) wurden dann erzielt, wenn hohe Intensitäten oder moderate Intensitäten mittleren Satsumfangs gewählt wurden. In Studien bei denen die Dauer von EPOC maximal 30 Minuten andauerte wurde mit äußerst niedrigen Intensitäten, mit moderaten Intensitäten geringen Satsumfangs oder mit unbestimmten Intensitäten und Umfängen gearbeitet. Obwohl an dieser Stelle keine fundierte Aussage möglich ist, lässt sich ähnlich wie beim Ausdauertraining ein Zusammenhang von EPOC und Trainingsintensität bzw. Trainingsumfang erkennen. Die Ergebnisse zu den Zirkeltrainingsinterventionen sind widersprüchlich, weshalb es sich noch nicht sagen lässt ob Krafttraining in Zirkelform oder in herkömmlichem Design günstiger zur Auslösung eines hohen Nachbrenneffekts ist.

5.2 Ausdauertraining

5.2.1 Begriffsbestimmung

Im sportlichen Kontext kann unter *Ausdauer* die psycho-physische Ermüdungswiderstandsfähigkeit einer Person verstanden werden. Die psychische Komponente beinhaltet dabei die Fähigkeit einem Reiz, der zum Belastungsabbruch auffordert, möglichst lange widerstehen zu können, während unter der physischen Komponente die Ermüdungswiderstandsfähigkeit des gesamten Organismus bzw. einzelner Teilsysteme gemeint ist (Weineck, 2004).

5.2.2 Arten / Methoden

Bei der motorischen Fähigkeit der Ausdauer lassen sich je nach Betrachtungsweise verschiedene *Arten* unterteilen (Weineck, 2004).

Je nach beteiligter Muskulatur spricht man von allgemeiner oder lokaler Ausdauer. Die *allgemeine* Ausdauer umfasst mehr als ein Siebtel bis ein Sechstel der gesamten Skelettmuskulatur und hängt vor allem von Herz-Kreislauf-System und peripherer Sauerstoffnutzung ab. Die *lokale* Ausdauer schließt Belastungen mit einem Muskelanteil unter ein Siebtel bis ein Sechstel ein und wird neben der allgemeinen Ausdauer insbesondere durch Kraft, anaerobe Kapazität und Koordination limitiert.

Je nach Sportartspezifität ist die Unterteilung in eine allgemeine und spezielle Ausdauer üblich. Unter *allgemeiner* Ausdauer versteht man dabei die sportartunabhängige Form (*Grundlagenausdauer*), während sich die *spezielle* Ausdauer auf die spezifischen Anforderungen einer Sportart bezieht.

Unter dem Aspekt der muskulären Energiebereitstellung wird die aerobe von der anaerobe Ausdauer unterschieden. Die *aerobe* Ausdauer funktioniert unter ausreichender Verfügbarkeit von Sauerstoff zur oxidativen Verbrennung der Energieträger, stattdessen ist die Sauerstoffzufuhr bei der *anaeroben* Ausdauer aufgrund hoher Belastungsintensitäten unzureichend weshalb die Energiebereitstellung anoxidativ erfolgen muss.

In der Sportpraxis ist die Energiebereitstellung zumeist gemischt (aerob-anaerob), abhängig unter anderem von Intensität und Dauer einer Belastung. Unter diesem Gesichtspunkt ist daher von Kurz-, Mittel- und Langzeitausdauer (1, 2, 3) die Rede. Die

Kurzzeitausdauer beinhaltet maximale Belastungen im Bereich von 45 bis 120 Sekunden bei überwiegend anaerober Energiebereitstellung. Zur *Mittelzeitausdauer* zählen Belastungen in der Länge von etwa zwei bis acht Minuten bei zunehmend aerober Energiebereitstellung. Die *Langzeitausdauer* (LZA) schließt demnach alle Belastungen ein, die länger andauern als acht Minuten und deren Energie zu größtem Teil aerob bereit gestellt wird, wobei hier eine weitere Differenzierung in drei Ebenen erfolgt. Von *LZA 1* spricht man bei Belastungen bis zu 30 Minuten und überwiegendem Kohlenhydratstoffwechsel. Zwischen 30 und 90 Minuten, im Bereich der *LZA 2*, werden Kohlenhydrate und Fette in einem zeitabhängig dynamischen Mischverhältnis metabolisiert. Die *LZA 3* inkludiert schließlich alle Belastungen über 90 Minuten mit Fetten als Hauptenergieträger.

Die Betrachtung der Bewegung erlaubt eine weitere Aufteilung in eine dynamische und statische Ausdauer. Die *dynamische* Ausdauer schließt dabei Belastungen unter Bewegungen ein, während sich die *statische* Ausdauer auf haltende Arbeiten bezieht.

Hinsichtlich ihrer Wechselbeziehungen mit den beiden motorischen Fähigkeiten, Kraft und Schnelligkeit, kann die Ausdauer letztlich in eine *Kraft-*, *Schnellkraft-* und *Schnelligkeitsausdauer* aufgegliedert werden. Da die Komponenten der Kraft und Schnelligkeit bei diesen Mischformen in der Sportpraxis jedoch zumeist bestimmender sind als die Ausdauer wird an dieser Stelle auf eine nähere Beschreibung dieser Erscheinungsformen verzichtet (Weineck, 2004).

Die Methoden des Ausdauertrainings lassen sich aus Sicht ihrer physiologischen Wirkung nach Weineck (2004) in die vier Hauptgruppen Dauermethode, Intervallmethode, Wiederholungsmethode und Wettkampfmethode unterteilen.

Die *Dauermethode* ist vor allem durch pausenlose und längere Belastungen charakterisiert und bezweckt primär eine Verbesserung der aeroben Kapazität. Im Speziellen zielt sie daher unter anderem auf eine Ökonomisierung des Stoffwechsels, auf eine verbesserte Kapillarisation, Sauerstoffaufnahmefähigkeit, Herz-Kreislauf-Regulation sowie Willensspannkraft ab und dient dem Training der Grundlagenausdauer als auch der Kraftausdauer. Sie beinhaltet eine extensive als auch eine intensive Variante. Während die *extensive* Dauermethode längere Belastungen bei entsprechend niedrigerer Intensität fordert und hauptsächlich den Fettstoffwechsel beansprucht, findet die *intensive*

Dauermethode bei höheren Intensitäten im Bereich der anaeroben Schwelle² statt, ist entsprechend kürzer (maximal 45 bis 60 Minuten) und nützt primär Kohlenhydrate als Energieträger.

Die *Intervallmethode* kennzeichnet sich insbesondere durch einen planmäßigen Wechsel von Belastung und Erholung sowie durch „lohnende“ (unvollständige) Pausen zwischen den einzelnen Wiederholungen und unterscheidet ihrerseits ebenfalls eine extensive und intensive Form.

Das *extensive* Intervalltraining beinhaltet hohe Wiederholungsumfänge und eine mittlere Belastungsdauer bei relativ geringer Intensität und relativ kurzen Pausen. Zu ihren Zielen gehört vor allem eine Verbesserung der Grundlagenausdauer, zum Beispiel durch die Ökonomisierung des Muskelstoffwechsels, die Verbesserung der Kapillarisation, Sauerstoffaufnahme-fähigkeit, Willensspannkraft, Steigerungsfähigkeit und des Umschaltvermögens.

Beim *intensiven* Intervalltraining kommen geringere Wiederholungsumfänge und eine kürzere Belastungsdauer bei vergleichsweise hoher Intensität und entsprechend längeren Pausen zur Anwendung. Im Wesentlichen beabsichtigt sie eine Optimierung der Herz-Kreislauf-Regulation und Stoffwechselökonomie, der Willensstoßkraft, Steigerungsfähigkeit und des Umschaltvermögens und dient einem Training des speziellen Stehvermögens und der Schnelligkeitsausdauer.

Die *Wiederholungsmethode* beschreibt Ausdauerbelastungen sehr kurzer Dauer und maximaler Intensität. Da zwischen den Wiederholungen eine vollständige Erholung stattfinden soll müssen relativ lange Pausen eingehalten werden, weshalb nur vergleichsweise geringe Wiederholungsumfänge möglich sind. Diese Methode wirkt im Sinne des Muskelwachstums (bei kürzeren Belastungen), der Stoffwechselökonomisierung und Vergrößerung der Energiereserven, der Steigerung und Verbesserung des spezifischen Stehvermögens (bei längeren Belastungen), der Willensstoßkraft, Steigerungsfähigkeit zu höchster individueller Leistungsfähigkeit und wettkampfspezifischen Belastungsverträglichkeit. Sie inkludiert ein Training der Maximalkraft, Schnellkraft, Schnelligkeit, Beschleunigungsfähigkeit und Schnelligkeitsausdauer.

Die *Wettkampfmethode* kommt ausschließlich im Leistungssport als Vorbereitung auf saisonale Höhepunkte zum Einsatz. Dabei werden echte Wettkämpfe als Trainingsinhalte verwendet um eine vollständige Ausreizung der psycho-physischen Reserven zu

² Die individuelle anaerobe Schwelle beschreibt den Zeitpunkt an dem die maximale Eliminations- und Diffusionsrate des Laktats im Gleichgewicht stehen. Sie wird auch als maximales Laktat-steady-state (maxLass) bezeichnet (Marées, 2003).

gestatten, die oft nur in solchen Situationen möglich ist. Dadurch kommt es zur ausgeprägten Trainingsadaptation, selbst noch bei relativ „austrainierten“ AthletInnen. Da sie alle sportartspezifischen Fähigkeiten zugleich schult und dabei auch noch den Erwerb von Wettkampferfahrung und Wettkampfhärte begünstigt, sowie das taktische Verhalten und den Umgang mit Konkurrenz verbessern kann ist die Wettkampfmethode als die komplexeste Trainingsmethode anzusehen (Weineck, 2004). Die Mannigfaltigkeit der Ausdauermethoden samt ihrer Trainingsinhalte soll anhand der nachstehenden Abbildung verdeutlicht werden.

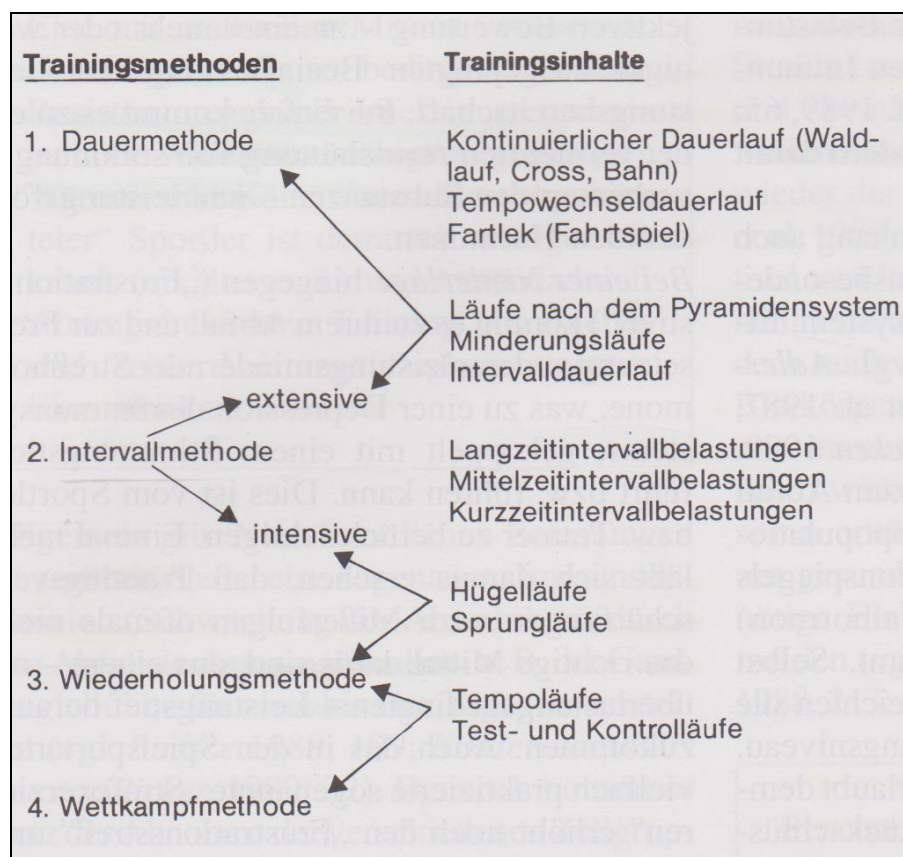


Abb. 4: Methoden und Inhalte des Ausdauertrainings (in Weineck, 2004, S. 166)

Nach den allgemeinen *Empfehlungen des ACSM* zur Erhaltung bzw. Entwicklung der Ausdauer im Gesundheitsbereich sollten aerobe Aktivitäten (bevorzugt Ausdauertraining) moderater Intensität für mindestens 30 Minuten an fünf Tagen der Woche oder erschöpfender Intensität für mindestens 20 Minuten an drei Tagen der Woche in Form kontinuierlicher oder unterbrochener Belastungen durchgeführt werden, wobei

Ausdauerintervalle mindestens 10 Minuten andauern sollten. Die Intensitäten sollten dabei zwischen 55-90% der HF_{max} (maximale Herzfrequenz) bzw. 40-85% der VO_{2R} (maximale Sauerstoffaufnahme-Reserve) oder HRR (maximale Herzfrequenz-Reserve) liegen. Geeignet sind alle körperlichen Aktivitäten, die große Muskelgruppen beanspruchen, dauerhaft durchgehalten werden können, rhythmisch und sauerstoffabhängig sind. Auch hier werden aufgrund der Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen körperlicher Aktivität und Gesundheit Trainingsumfänge über die Empfehlungen hinaus befürwortet (Haskell et al., 2007; Pollock et al., 1998; Ratamess et al., 2009).

5.2.3 Energiebereitstellung / Energieverbrauch

Bei Dauerbelastungen zwischen 20 Sekunden und fünf Minuten läuft die *Energiebereitstellung* überwiegend durch den Abbau von Kohlenhydraten in Form von Muskelglycogen ab. Bei kontinuierlicher Aktivität im Bereich der KZA zwischen 45 und 120 Sekunden geschieht dies fast ausschließlich anaerob, wohingegen bei MZA-Belastungen zwischen zwei und acht Minuten der Stoffwechsel zunehmend aerob wird. Das Verhältnis zwischen aerobem und anaerobem Energieumsatz bei Ausdaueraktivitäten beträgt bei 45 Sekunden 20:80, bei zwei Minuten 40:60, bei zehn Minuten 60:40, bei 35 Minuten 90:10 und bei über 90 Minuten fast 100:0 (Weineck, 2004).

Dauerhafte körperliche Aktivitäten innerhalb der LZA laufen folglich bereits überwiegend aerob, über den Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel im Rahmen der Glycolyse, des Citratzyklus und der Atmungskette ab. Der Anteil von Kohlenhydraten und Fetten ist dabei primär von der Intensität abhängig. Die Glykogen-Speicher reichen für Ausdauer-Aktivitäten über etwa 80 Minuten, danach muss die Leistung reduziert werden, da die ATP-Resyntheserate über Fette langsamer und nicht in der Lage ist den Kohlenhydrat-Stoffwechsel zu kompensieren.

Während kontinuierliche Belastungen im Bereich der LZA 1 (acht bis 30 Minuten) und der LZA 2 (30 bis 90 Minuten) also noch einen gemischten Stoffwechsel über Kohlenhydrate und Fette aufweisen, kann der Energiebedarf bei Aktivitäten der LZA 3 über 90 Minuten fast nur noch über den Fettstoffwechsel gedeckt werden (siehe Kapitel 3.1.1). Die Energiebereitstellung bei intervallförmigen Belastungen, zum Beispiel im Rahmen eines Ausdauertrainings, wird im Kapitel 5.1.3 näher beschrieben.

Der *Energieverbrauch* typischer Ausdauerbelastungen ist in Kapitel 3.1.2 angeführt. Die Berechnung des Energieumsatzes beim Ausdauertraining ist abhängig von der

entsprechenden Aktivität. Beim Laufen wirkt sich vor allem der Einflussfaktor der Erdschwerkraft bzw. des Körpergewichts aus, weshalb der netto Energie- oder Arbeitsumsatzes (Gesamtumsatz minus Grundumsatz) beim Laufen anhand folgender Formel berechnet werden kann.

$$\text{Arbeitsumsatz} \approx 4 \text{ kJ} * \text{kg Körpermasse} * \text{Kilometer}$$

Weitere mögliche Einflussgrößen beim Laufen sind der Luftwiderstand (zwischen +2% bei Marathon und +8% bei 100-Meterlauf), der Windschatten (-7% bei 6m/s), der Gegenwind (+5,5% bei 16 km/h) und die Luftdichte.

Bei den meisten anderen Bewegungsformen, die typischerweise im Rahmen eines Ausdauertrainings durchgeführt werden, stellt sich die Berechnung aufgrund der Bedeutung zahlreicher Faktoren wesentlich schwieriger dar. So wirken sich beim Fahrradfahren der Luftwiderstand und die Streckenbeschaffenheit aufgrund der höheren Geschwindigkeiten noch viel stärker aus als beim Laufen, wobei zusätzlich noch Raddimensionen (Sattelhöhe, Weg pro Pedalumdrehung etc.) berücksichtigt werden müssten. Bei hochtechnischen Sportarten wie Rudern oder Schwimmen ist eine Formel zur Berechnung des Energieverbrauchs grundsätzlich problematisch (vgl. De Marées, 2003). Zur Orientierung bieten sich hier Richtlinien wie das MET-System an (siehe Kapitel 3.1.2).

5.2.4 Studien zum Nachbrenneffekt durch Ausdauertraining

Tahara et al. (2008) untersuchten den Einfluss des Anteils fettfreier Körpermasse (FFM) an EPOC nach erschöpfender Kurzzeitbelastung. An der Studie beteiligten sich 250 männliche Leistungsathleten zwischen 16 und 21 Jahren aus unterschiedlichen Sportarten, deren Körperkomposition mittels Unterwasserwiegung ermittelt wurde. Die Teilnehmer einer einmaligen Kurzzeitbelastung über 45 bis 105 Sekunden bei maximal erschöpfendem Laufen auf einem Laufband und einer Steigung von fünf Prozent.

Ergebnisse: EPOC wurde 40 Minuten lang gemessen und hielt die volle Messzeit über an. Das Ausmaß von EPOC betrug 9,04 Liter bzw. 143 Milliliter pro Kilogramm Körpergewicht bzw. 158 Milliliter pro Kilogramm FFM. Durchschnittlich wurden 23 Prozent von EPOC in der ersten Minute nach Belastungsabbruch konsumiert und bereits 63 Prozent nach zehn Minuten. EPOC betrug 790 Prozent in der ersten Minute, 280 Prozent in den nächsten beiden Minuten und 33 Prozent nach 25 Minuten. Über die Gesamtmessdauer von 40

Minuten wurde der Ruheenergieverbrauch durch EPOC um 88 Prozent gesteigert. Weiters wurde ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen EPOC und FFM festgestellt, vor allem in den ersten 25 Minuten nach Belastungsabbruch. Die Autoren argumentieren, dass Personen mit einem größeren Anteil an FFM eine erhöhte Kapazität der anaeroben Glycolyse durch Vermehrung von Myoglobin und entsprechenden Enzyme haben und dadurch ein entsprechend höheres Potential für EPOC aufweisen.

Angesichts der hohen Teilnehmerzahl und des sauberen Studiendesigns hat diese Untersuchung eine starke Aussagekraft. Zu Berücksichtigen ist lediglich, dass auf einen eigenen Kontrolltag zur Ermittlung des Ruheumsatzes verzichtet wurde und die Messung stattdessen drei Stunden nüchtern während 30-minütigem Sitzen erfolgte. Weiters wurden keine Angaben bezüglich einem Ernährungs- bzw. Bewegungsprotokoll gemacht. Auch in dieser Studie konnte das volle Ausmaß von EPOC leider nicht erfasst werden.

Lyons, Richardson, Bishop, Smith, Heath und Giesen (2007) führten eine Studie zum Vergleich von Ober- und Unterkörpertraining hinsichtlich EPOC bei gleicher/m Intensität und Energieumsatz durch. An dieser Untersuchung beteiligten sich zehn untrainierte jedoch körperliche aktive Männer zwischen 18 und 44 Jahren. In zufälliger Reihenfolge nahmen alle Probanden an zwei verschiedenen Trainingsprogrammen teil, mit einem Abstand von mindestens 48 Stunden. Trainiert wurde dabei einmal auf einem Radergometer bei 70 Umdrehungen pro Minute und ein anderes mal auf einer Armkurbel bei 50 Umdrehungen pro Minute, jeweils bei einer Intensität von 60% der VO_{2max} und solange bis eine Energieumsatzes von 200 Kilokalorien erreicht war.

Ergebnisse: EPOC wurde bis zum Ruhewert gemessen und dauerte nach dem Unterkörpertraining $16,5 \pm 7,44$ Minuten und nach dem Oberkörpertraining $11,5 \pm 6,13$ Minuten lang an. Das Ausmaß des Sauerstoffmehrverbrauchs betrug $2,93 \pm 1,4$ Liter nach dem Unterkörper- bzw. $1,89 \pm 0,74$ Liter nach dem Oberkörpertraining. Diese Unterschiede in Dauer (5 Minuten) und Höhe (1,04 Liter) von EPOC zugunsten des Unterkörpertrainings waren signifikant. Da der Energiemehraufwand nach dem Training (trotz gleichem Energieaufwand während dem Training) bei der Unterkörperbelastung (größerer Anteil an Muskelmasse und Mitochondrien) im Vergleich zum Oberkörpertraining höher war, stellten die Autoren die Vermutung an, dass EPOC eher von der relativen Störung der Arbeitsmuskulatur abhängt als von der Störung der ganzheitlich systemischen Homöostase.

Die Intensität lag bei dieser Studie mit 60% der maximalen Sauerstoffaufnahme relativ nieder, weshalb die kurze Dauer von EPOC nicht verwunderlich ist. Überdies wurde der

Ruheumsatz zwölf Stunden nüchtern für zehn Minuten nach 20-minütigem Sitzen gemessen, eine Berücksichtigung zirkadianer Rhythmen war daher ausgeschlossen. Anhand der grafischen Darstellung von EPOC lassen sich starke Schwankungen der Sauerstoffaufnahme erkennen, die sogar nach dem ermittelten „Ende“ von EPOC den Ruhewert teilweise erneut überstiegen (das Ende von EPOC wurde in dieser Studie festgelegt, sobald die Sauerstoffaufnahme fünf Minuten lang unter dem anfänglich definierten Ruhewert lag). Möglicherweise wurde EPOC in dieser Studie unterschätzt.

Scott, Littlefield, Chason, Bunker und Asselin (2006) untersuchten ob es Unterschiede in der Sauerstoffaufnahme zwischen Radfahren und Laufen bei gleichem Energieverbrauch gibt.

Vierzehn gut trainierte Personen (13 Männer und eine Frau) nahmen in zufälliger Reihenfolge an einem Laufband- und einem Radergometertraining teil, wobei beide Testungen derart gestaltet wurden, dass eine absolute Arbeitsleistung von 250 Watt über eine Minute erbracht wurde. Beim Radfahren wurde eine Trittfrequenz von 60 Umdrehungen pro Minute eingehalten und beim Laufen eine Steigung von zehn Prozent bei entsprechendem Lauftempo bezogen auf das Körpergewicht der Testperson.

Ergebnisse: EPOC wurde unmittelbar nach Belastungsabbruch bis zum Ruhewert gemessen, ohne Angabe seiner Dauer. Das Ausmaß von EPOC betrug beim Laufen 61,5 und beim Radfahren 53,7 Kilojoule; dieser Unterschied war nicht signifikant. Die Sauerstoffaufnahme bzw. der aerobe Anteil an der Energiebereitstellung waren beim Laufen signifikant größer als beim Radfahren (41,4 vs. 31,7 kJ), im Gegensatz zu einem signifikant höheren Stoffwechselanteil beim Radfahren (32,7 vs. 22,5 kJ). Die gesamtenergetische Summe aus aerobem und anaerobem Energieverbrauch plus EPOC war gleich für Laufen und Radfahren. Die Autoren wiesen darauf hin, dass ausschließliche Messungen der Sauerstoffaufnahme Diskrepanzen im Energieverbrauch zwischen bergauf Laufen und Radfahren aufzeigen. Auf der anderen Seite ist unter zusätzlicher Berücksichtigung von Blutlaktatwerten und EPOC (modifiziert) anzunehmen, dass der Trainings- und Gesamtenergieverbrauch (inklusive EPOC) nach kurzzeitigen und kalorisch angepassten Lauf- und Radbelastungen gleich ist.

Die im Rahmen dieser Studie genutzte Belastungsdauer war mit einer Minute äußerst kurze und die Intensität wurde von den Autoren bewusst absolut gewählt. Deshalb muss angenommen werden, dass die Versuchspersonen mit unterschiedlich relativen Intensitäten beansprucht wurden weshalb leider keine Rückschlüsse zwischen Intensität und EPOC gemacht werden können. Weiters muss kritisch bemerkt werden, dass die

Messung des Ruheumsatzes lediglich fünf Minuten lang stehend (Laufband) oder sitzend (Rad) stattfand und diese Zeitspanne möglicherweise zu kurz war um einen exakten Ruheenergieumsatz bestimmen zu können. Auch die Ernährung und körperliche Aktivitäten im Vorfeld zu Messung wurden nicht berücksichtigt. EPOC wurde laut Angaben bis zu diesem Ruhewert gemessen, wobei diesbezüglich keine Daten angeführt wurden. Schließlich erscheint es auch sonderbar, dass unter 14 Versuchspersonen lediglich eine Frau (ohne Angaben zum Menstruationszyklus) an der Untersuchung teilnahm, weshalb die Versuchsgruppe weder als rein männlich, noch als homogen gemischt-geschlechtlich angesehen werden kann.

Lyons et al. (2006) verglichen EPOC im Anschluss an kontinuierliches sowie intermittierendes Oberkörper-Ausdauertraining. Zehn untrainierte, jedoch körperliche aktive Männer im Alter zwischen 18 und 44 Jahren trainierten im Abstand von 48 Stunden nach zwei unterschiedlichen Trainingsprotokollen, wobei deren Programmzuordnung zufällig und in ausgeglichenem Verhältnis stattfand. Die Teilnehmer trainierten an einer Armkurbel bei 50 Umdrehungen pro Minute 30 Minuten lang bei 60% ihrer VO₂max. Während einem der beiden Trainings erfolgte diese Belastung kontinuierlich, beim anderen erfolgte sie in drei zehnminütigen Intervallen, wobei die Intervallpause exakt solange eingehalten wurde bis der Ruhewert der Sauerstoffaufnahme wieder erreicht war.

Ergebnisse: EPOC wurde bis zum Ruhewert gemessen und dauerte nach der kontinuierlichen Methode $12,1 \pm 6,48$ Minuten und nach der intermittierenden Methode $23,5 \pm 12,76$ Minuten lang an. Das Ausmaß des Sauerstoffmeherverbrauchs betrug $1,54 \pm 1,25$ Liter nach der Dauer- bzw. $4,47 \pm 1,58$ Liter nach der Intervallbelastung. Diese Unterschiede in Dauer (11,4 Minuten) und Höhe (2,93 Liter) von EPOC zugunsten der intermittierenden Trainingsform für den Oberkörper waren signifikant.

Bei dieser Studie wurden mit 60% der maximalen Sauerstoffaufnahme relativ geringe Intensitäten gewählt, wodurch die kurze Zeitspanne von EPOC teilweise erklärt werden kann. Des Weiteren wurde der Ruheumsatz zwölf Stunden nüchtern für zehn Minuten nach 20-minütigem Sitzen gemessen, zirkadiane Rhythmen konnten daher nicht berücksichtigt werden. Auch bei näherer Betrachtung der grafischen Darstellung von EPOC fällt auf, dass die Sauerstoffaufnahme bis zuletzt hohen Schwankungen unterlag.

Darling et al. (2005) stellten eine Untersuchung zum Vergleich des Energieverbrauchs während und nach kontinuierlicher sowie intervallförmiger Belastung bei insgesamt gleicher Dauer und Intensität an.

20 Männer im Alter zwischen 18 und 25 nahmen an zwei unterschiedliche Lauf-Trainingseinheiten teil. An einem Tag liefen sie 30 Minuten lang kontinuierlich bei einer Intensität von 70% der VO_{2max} , wobei EPOC 45 Minuten lang gemessen wurde. An einem anderen Tag liefen sie 10 Minuten lang bei der gleichen Intensität, wobei EPOC 15 Minuten lang gemessen wurde und dieses Prozedere am selben Tag drei mal wiederholt wurde, mit Abständen von mindestens drei Stunden, sodass die gesamte Belastungsdauer und Messdauer von EPOC wiederum 45 Minuten betrugen. Zwischen den Laufintervallen gingen die Probanden ihren üblichen Aktivitäten und Ernährungsgewohnheiten nach, unter Verzicht von Kaffee und Alkohol.

Ergebnisse: EPOC wurde 45 Minuten lang gemessen, der ermittelte Ruheenergieverbrauch betrug 0,36 Liter pro Minute. Nach kontinuierlichem Laufen betrug EPOC 83 Kilokalorien, flachte nach fünf Minuten rasch ab, erreichte nach 15 Minuten den Ruhewert, wobei der Energieverbrauch am Ende der 45 Minuten 0,3 Liter betrug. Nach intervallförmiger Belastung betrug EPOC 105 Kilokalorien, flachte auch hier nach fünf Minuten rasch ab und hielt jeweils zehn Minuten lang an; nach 45 Minuten betrug der Energieumsatz 0,33 Liter. Der Energieverbrauch während der Aktivität selbst war bei kontinuierlichem Laufen größer (469 vs. 462 kCal), in der Erholungsphase hingegen lag er bei intervallförmiger Belastung höher (105 vs. 83 kCal). Der Gesamtenergieverbrauch (Aktivität plus EPOC) war nach intermittierendem Laufen signifikant höher (567 vs. 551 Kcal). Nach Meinung der Autoren ist der Unterschied zwischen den beiden Belastungsformen hinsichtlich EPOC (22 Kcal) und dem Gesamtenergieverbrauch (16 kCal) angesichts eines durchschnittlichen Tagesgesamtenergieverbrauchs von geringer praktischer Relevanz.

Die Intensität bei dieser Untersuchung liegt mit 70% der VO_{2max} relativ niedrig, wodurch die kurze Dauer und das geringe Ausmaß von EPOC teilweise erklärt werden kann. Andererseits fand die Messung des Ruheumsatzes während 10-minütigem Sitzen statt bzw. solange bis die Herzfrequenz ein Plateau über mindestens fünf Minuten erreichte. Es wurde also kein eigener Messtag zur Berücksichtigung zirkadianer Schwankungen abgehalten und die Messdauer war generell sehr kurz, wodurch eine hohe Fehlerquote gegeben ist. Des Weiteren wurde kein Ernährungsprotokoll geführt und eine „übliche“ Ernährung sowie Aktivität zwischen den Laufintervallen war gestattet. Für eine unexakte Ermittlung der Ausgangswerte spricht auch, dass der Energieverbrauch am Ende der 45 Minuten nach der Belastung sogar niedriger war als vor dem Laufen.

McGarvey et al. (2005) untersuchten EPOC nach kontinuierlichem und intervallförmigem Radfahren bei gleicher Belastungsdauer und Gesamtarbeit. Zwölf körperlich aktive und durchschnittlich 30 Jahre alte Männer unterzogen sich in zufälliger Reihenfolge zwei unterschiedlichen Trainingsinterventionen im Abstand von mindestens 72 Stunden. In einem der beiden Trainings wurden binnen 35 Minuten auf einem Radergometer sieben zweiminütigen Ausdauerintervalle bei 90 Prozent der VO_{2max} durchgeführt, mit jeweils dreiminütigen Pausen bei 30 Prozent der VO_{2max} . Das andere Training beinhaltete kontinuierliches Radfahren für 30 bis 32 Minuten bei 65 Prozent der VO_{2max} . Die energetische Gesamtarbeit sollte bei beiden Trainingsformen angeglichen werden.

Ergebnisse: Der Energieumsatz nach Belastungsabbruch wurde zwei Stunden lang gemessen und erreicht nach dieser Zeit beinahe den Ruhewert. Das Ausmaß von EPOC betrug 34,2 Liter nach der kontinuierlichen und 36,1 Liter nach der intermittierenden Belastung, wobei der Unterschied nicht signifikant war. Während der zweistündigen Erholungszeit nach dem Intervalltraining lag die Herzfrequenz jedoch signifikant höher und die respiratorische Austauschrate (RER) signifikant niedriger, wodurch von unterschiedlichen Reaktionen im Stoffwechsel auszugehen ist. Nach Angaben der Autoren komplettierten die Probanden das kontinuierliche Training mit relativer Leichtigkeit, wohingegen diese durch das Intervalltraining stark gefordert und teilweise an den Rand der Erschöpfung gebracht wurden. Abgesehen von der geringen Differenz von EPOC zugunsten des Intervalltrainings spricht aus Sicht der Autoren daher insgesamt wenig für die Durchführung intensiver Intervalltrainings im Sinne des Energieverbrauchs, sofern Dauer und Arbeitsumsatz identisch sind.

Diese Studie wurde sehr sorgfältig durchgeführt, einzig der Ruhewert hätte im Rahmen eines eigenen Messtages exakter bestimmt werden können um tageszeitbedingte Stoffwechselschwankungen auszuschließen. Seine Messung fand hingegen nach zwölf Stunden Fasten und 25 Minuten ruhigem Sitzen statt, wobei nur die letzten zehn Minuten zur Berechnung des Ruhewerts genützt wurden.

Anhand der nachfolgenden Tabelle soll eine Übersicht der Forschungsergebnisse zum Nachbrenneffekt bei Ausdauerbelastungen ermöglicht werden, auch hier in Anlehnung an Borsheim und Bahr (2003, S. 1041-1044) sowie LaForgia et al. (2006, S. 149-154). Auch hier wurden die in eckiger Klammer angeführten Werte zur besseren Vergleichbarkeit anhand eines simplen Schlüssels berechnet und können daher nur zur Schätzung herangezogen werden (siehe Kapitel 5.1.3).

Tab. 3: Studien zum Nachbrenneffekt beim Ausdauertraining

Studie	TN	Belastung (Form, Dauer, Intensität)	Messdauer	EPOC Dauer	EPOC Ausmaß	Kontrollmessung	Kommentar
Tahara et al. (2008)	250 M	45 bis 105 Sekunden maximal erschöpfendes Laufen auf einem Laufband mit einer Steigung von fünf Prozent	40 min	>40 min	9,04 L bzw. 143 ml/kg [45.2 kCal]	nein	Über die Gesamtmessdauer von 40 Minuten wurde der Ruheenergieverbrauch durch EPOC um 88 Prozent gesteigert. Weiters wurde ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen EPOC und FFM festgestellt, vor allem in den ersten 25 Minuten nach Belastungsabbruch.
Baum und Schuster (2008)	14 M, 17 F	Freies Training bei Intensitäten zwischen 50 und 80% der Maximalleistung. (a): ~45min Ausdauertraining auf verschiedenen Geräten; (b): ~58min Kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining	20min	kA	kA	nein	Es konnte keine signifikante Erhöhung des Energieumsatzes in der Nachbelastungsphase festgestellt werden, unabhängig von der Trainingsart und -dauer.
Lyons et al. (2007)	10 M	Radergoemter (a) und Handkurbel (b) bei 60% der VO ₂ max bis zum Verbrauch von 200 kCal	bis zum Ruhewert	(a) 16.5 min; (b) 11.5 min	(a) 2.93 L; (b) 1.89 L [14.7, 9,5 kCal]	nein	Die Unterschiede von Dauer (5 min) und Höhe (1.04 L) von EPOC zugunsten des Unterkörpertrainings waren signifikant.
Lyons et al. (2006)	10 M	Handkurbel 30min bei 60% der VO ₂ max; (a) kontinuierlich, (b) 3x10min Intervalle	bis zum Ruhewert	(a) 12 min; (b) 23 min	(a) 1,54 L; (b) 4,47 L [7.7, 22.4 kCal]	nein	Die Unterschiede von Dauer (11,4 min) und Höhe (2,93 L) von EPOC zugunsten der intermittierenden Trainingsform waren signifikant.
Scott et al. (2006)	13 M, 1 F	Laufen und Radfahren für 1min bei 250 Watt	bis zum Ruhewert	kA	Laufen: 14.7 kCal; Rad: 12.8 kCal [2.9, 2.6 L]	nein	EPOC unterschied sich nicht signifikant zwischen Laufen und Radfahren.
Darling et al. (2005)	20 M	(a) Laufen kontinuierlich für 30min bei 70% der VO ₂ max und (b) Laufen intervallförmig 3x10min bei 70%	45 min	(a) 15min; (b) 3x10min	(a) 83 kCal; (b) 105 kCal [16.6, 21 L]	nein	In der Erholungsphase lag EPOC bei intervallförmiger Belastung höher (105 vs. 83 kCal). Der Gesamtenergieverbrauch (Aktivität

Nachbrenneffekt und Gewichtsregulierung: Kraft- vs. Ausdauertraining

		der VO2max					plus EPOC) war nach intermittierendem Laufen signifikant höher (567 vs. 551 Kcal).
McGarvey et al. (2005)	12 M	(a) Radfahren kontinuierlich für 30-32min bei 65% der VO2max; (b) Radfahren 7 2min-Intervalle bei 90% der VO2max und je 3min Pause bei 30% der VO2max	2 h	~2 h bei (a) und (b)	(a) 43.2 L; (b) 36.1 L [8.6, 6.2 kCal]	nein	Der Unterschied zwischen den beiden Trainingsinterventionen war nicht signifikant.
Braun et al. (2005)	8 F	Zirkeltraining: 24 Sätze á ca. 15Wh (erschöpfend) bei 65% des 1-RM; Laufband: Dauer und Energieumsatz wurden dem Zirkeltraining angeglichen	1 h	>1 h	11,58 L [57.9 kCal]	nein	Das Zirkeltraining bewirkte einen signifikant höheren Sauerstoffmehrerbrauch während der ersten 30 Minuten der Erholung, nach 60 Minuten war hingegen kein signifikanter Unterschied mehr im Vergleich zum Lauftraining feststellbar.
Drummond et al. (2005)	10 F	Kraft: 21 Sätze á 10Wh bei 70% des 1-RM; Ausdauer: 25min bei 70% der VO2max; KR-AD; AD-KR	90 min	KR: 30min; KR-AD und AD-KR: 20min; AD: 10min	kA	nein	Während der ersten zehn Minuten war EPOC bei KR (5,8 ml/kg/min) und AD-KR (5,7 ml/kg/min) signifikant größer als bei KR-AD (5,1 ml/kg/min) und AD (4,7 ml/kg/min), während der Unterschied zwischen AD-KR und KR-AD nach 20 Minuten nicht mehr signifikant war.
Crommett et al. (2004)	17 F	Kraft: 15 Sätze á 10Wh bei 70% des 10-RM; Rad: 60-65% der VO2max solange bis Energieumsatz dem Krafttraining entspricht	1 h	30 min	kA	nein	Normal- und übergewichtige Frauen reagierten gleichermaßen auf beide Trainings, wobei auch keine signifikanten Unterschiede zwischen Kraft- und Ausdauertraining hinsichtlich EPOC festgestellt werden konnten.
Jamurtas et al. (2004)	10 M	Krafttraining: 40 Sätze á 8-12Wh bei 70-75% des 1-RM; Laufband: 60min laufen bei 70-75%	72 h	>72 h, >24 h	kA	Ja	Der Ruheenergieverbrauch in der Nach-Belastungsphase wurde mit Werten der Vor-Belastungsphase verglichen, statt mit

Nachbrenneffekt und Gewichtsregulierung: Kraft- vs. Ausdauertraining

		der VO2max					temporär vergleichbaren Kontrollwerten.
Imamura et al. (2004)	7 F	Rad: 30min und 60min bei 60% der VO2max	bis zum Ruhe-wert	30 min und 116 min	2.6 L und 5.2 L [13, 26 kCal]	Nein	EPOC nach 60-minütigem Radfahren war signifikant höher als nach 30 Minuten.
Burleson et al. (1998)	15 M	27min Zirkeltraining: 16 Sätze á 8-12Wh bei 60% des 1-RM; 27min Laufband bei 43.4% der VO2max	1.5 h	Zirkeltrainin g: >90 min; Laufband: >30 min	kA	Nein	VO2 innerhalb der 30-minütigen Nachbelastungsperiode war bei Zirkeltraining höher (10.0 L) als bei Laufband (3.7 L)
LaForgia et al. (1997)	8 M	Laufband: 30min bei 70% und 20min bei 105% der VO2max	9 h	70%: 1 h; 105%: 8 h	70%: 6.9 L; 105%: 15 L [34.5, 75 kCal]	Ja	EPOC war bei höherer Intensität doppelt so hoch als bei niedriger.
Phelain et al. (1997)	8 F	Rad: 78min bei 50% der VO2max und 51min bei 75% der VO2max	3 h	50%: 1.5 h; 75%: >3 h	50%: 4.8 L; 75%: 9 L [24, 45 kCal]	Ja	Der Energieverbrauch während beider Belastungen war ~2026 kJ. EPOC war bei höherer Intensität signifikant höher.
Short et al. (1996)	5 M, 5 F	Armstrongometer: 15 und 30min bei 35% der VO2max und 15min bei 70% der VO2max	bis zum Ruhe-wert	35%: 6 min; 70%: 14 min	35%: ~0.5 L; 70%: 1.4 L [2.5, 7 kCal]	Nein	EPOC war bei 70% signifikant höher als bei 35%. Bei 35% war EPOC identisch.
Dawson et al. (1996)	8 F	Rad: 34min bei 65%, 41min bei 55% und 49min bei 45% der VO2max	bis zum Ruhe-wert	13-14 min	45%: 12 kCal; 55%: 12.7 kCal; 65%: 17.7 kCal [2.4, 2.5, 3.5 L]	Nein	EPOC bei 65% war signifikant größer, obwohl die Gesamtarbeit (~1290 kJ) mit den anderen Trainingsinterventionen abgeglichen wurde.
Gillette et al. (1994)	10 M	Rad: ca. 63min bei 51.5% der VO2max; abgeglichenes Krafttraining (100min ~ 2464kJ): 50 Sätze á 8-12Wh bei 70% des 1-RM	5 h und eine Mess-ung nach 14.5 h	>5 h, >14.5 h	5 h EPOC: KR 12.6 L; Rad 4.5 L [63, 22.5 kCal]	Ja	Die Energiekosten des Krafttrainings wurden mit 48kJ pro 500kg Hublast berechnet. Dieser Faktor wurde durch Pilotversuche zweier Teilnehmer mittels indirekter Kalorimetrie während dem Heben und der Erholungszeit erhoben.
Sedlock (1994)	10 M	Rad: 28-35min bei 50% der VO2max	24 min	17-20 min	12.2 kCal [2.4 L]	Nein	EPOC wurde bei ausdauertrainierten und untrainierten Teilnehmern nach gleichem

Nachbrenneffekt und Gewichtsregulierung: Kraft- vs. Ausdauertraining

							Arbeitsumfang (1256 kJ) verglichen, ohne signifikanten Unterschied.
Quinn et al. (1994)	8 F	Laufband: 20, 40 und 60min bei 70% der VO2max	3 h	>3 h	8.6 L, 9.9 L und 15.2 L [43, 49.5, 76 kCal]	Ja	EPOC war nach 60 Minuten signifikant höher als nach den anderen beiden Messungen, die sich nicht signifikant voneinander unterschieden.
Neary et al. (1993)	7 M	Rad und Schwimmen: 30, 45 und 60min bei 65% der VO2max	bis zum Ruhewert	Rad: 18-23min; Schwimmen: 8-10min	Rad: 8-10 L; Schwimmen: 5.3-5.6 L [40-50, 26.5-28 kCal]	Nein	EPOCs beim Schwimmen unterschieden sich nicht signifikant, da im Gegensatz zum Radfahren ein konstante Körpertemperatur beibehalten wurde.
Brockman et al. (1993)	5 F	Laufband: 2h bei 25%, 10min bei 81% und 7x2min bei 90% der VO2max mit 2-minütigen aktiven Pausen	1 h	25%: 40 min; 81 und 90%: >1 h	25%: ~1.5 L; 81%: ~3.2 L; 90%: ~6.5 L [7.5, 16, 32.5 kCal]	Nein	Die absolute Sauerstoffaufnahme während der Erholung war signifikant niedriger bei 25% im Vergleich zu 81%, wobei letztere signifikant niedriger war als bei 90%.
Elliot et al. (1992)	4 M, 5 F	Rad: 40min bei 80% der maximalen Herzfrequenz; Zirkeltraining: 40min, 32 Sätze á 15Wh bei 50% des 1-RM; Krafttraining: 40min, 24 Sätze á 3-8Wh bei 80-90% des 1-RM	1.5 h	30 min, 1 h und 4 h	Rad: 32 kCal; Zirkel: 47.8 kCal; Kraft: 51 kCal [6.4, 9.6, 10.2 L]	Nein	Der Energieverbrauch während dem Radfahren (1808 kJ) war signifikant größer als jener während dem Krafttraining, dennoch war EPOC beim Krafttraining am größten.
Sedlock (1992)	7 M	Rad und Laufband: 30min bei 60-65% der VO2max	35 min	34 min	~16 kCal [3.2 L]	Nein	EPOCs unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Interventionen abgesehen von einer absolut niedrigeren Intensität von 11% beim Radfahren.
Bahr et al. (1992)	6 M	Rad: 2, 4 und 6min bei 108% der VO2max	2-14 h	30 min, 1 h und 4 h	4.8 L, 10.4 L und 16.6 L [24, 52, 83 kCal]	Ja	Die Trainingsintervalle betrugen 2 Minuten bei 3 Minuten Intervallpause und wurden entweder 1-, 2- oder 3-mal durchgeführt.
Sedlock (1991)	7 F	Rad: 41min bei 40% der VO2max und 27min bei 60% der	bis zum Ruhe-	28 und 18 min	7.2 und 8.6 kCal	Nein	Die Gesamtarbeit war gleich, es gab keinen signifikanten

Nachbrenneffekt und Gewichtsregulierung: Kraft- vs. Ausdauertraining

		VO2max	wert		[1.4, 1.7 L]		Unterschied bezüglich EPOC.
Bahr und Sejersted (1991)	6 M	Rad: 80min bei 29, 50 und 75% der VO2max	14 h	18 min, 1.3 h und 10.5 h	1.3 L, 5.7 L und 30.1 L [6.5, 28.5, 150 kCal]	Ja	EPOC erhöhte sich exponential mit der Belastungsintensität.
Gore und Withers (1990)	9 M	Laufband: 20, 50 und 80min bei 30, 50 und 70% der VO2max	24 h	30%: <1 h; 50%: ≤1 h; 70%: <1, 3 und 7 h	30%: 1, 1.4 und 1 L [5, 7, 5 kCal]; 50%: 3.1, 5.2 und 6.1 L [15.5, 26, 20.5 kCal]; 70%: 5.7, 10 und 14.6 L [28.5, 50, 73 kCal]	Ja	EPOC nahm mit Dauer der Belastungen >30% zu. Die Belastungsintensität machte 45.5% der EPOC-Varianz aus, während Dauer sowie die Interaktion von Dauer und Intensität nur 9 und 8% ausmachten.
Sedlock et al. (1989)	10 M	Rad: 30 und 60min bei 50% der VO2max; 20min bei 75% der VO2max	35 min	50%: 20 und 28min; 75%: 33min	50%: 14.4 und 12.2 kCal; 75%: 29.4 kCal [2.9, 2.4, 5.9 L]	Nein	Der Energieverbrauch während der 30- und 20-minütigen Belastungen betrug 300 kCal, jener während der 60-minütigen Intervention 600 kCal.
Elliot et al. (1988)	3 M, 3 F	Rad: 10 und 30min bei 80% der maximalen Herzfrequenz	1.5 h	<30 min	11,5 kCal [2.3 L]	Ja	Es gab keinen signifikanten Unterschied von EPOC hinsichtlich der Belastungsdauer.
Chad und Wenger (1988)	2 M, 3 F	Rad: 30, 45 und 60min bei 70% der VO2max	6 h	128, 204 und 455 min	6.8 L, 16 L und 36 L [34, 80, 180 kCal]	Nein	EPOC nahm linear mit der Belastungsdauer zu.
Bahr et al. (1987)	6 M	Rad: 20, 40 und 80min bei 70% der VO2max	24 h	7-24 h	11.1 L, 14.7 L und 31.9 L [5.5, 73.5, 159.5 kCal]	Ja	EPOC wurde bei dieser Intensität linear zur Belastungsdauer in Bezug gesetzt.
Hagberg et al. (1980)	8 M	Rad: 10min bei 50 und 70% der VO2max	10 min	~100 min	50%: 0.7 L; 70%: 1.4 L [3.5, 7 kCal]	Nein	Die Schätzungen von EPOC und Erholungszeit basierten auf Hochrechnungen der Erholungskurven unter 10 Minuten.

Segal und Brooks (1979)	11 M	Rad: 2min bei 55 und 95% der VO ₂ max	30 min	<30 min	55%: 1.6 L; 95%: 3.9 L [8, 19.5 kCal]	Nein	Die EPOC-Werte wurden ebenfalls von einem Versuch bei Glycogenspeicherentleerung abgeleitet, wobei es hierbei keinen Unterschied zum Normalstatus gab.
Knuttgen (1970)	7 M, 5 F	Rad: 15min bei 45-98% der VO ₂ max; 15, 35 und 55min bei 60% der VO ₂ max; 55min bei 55-83% der VO ₂ max	bis zum Ruhewert	kA	kA	Nein	EPOC nahm linear mit der Belastungsdauer zu, jedoch exponential mit der Belastungsintensität.
TN = Teilnehmer, M = Männer, F = Frauen, Wh = Wiederholungen, RM = Repetition Maximum/Wiederholungsmaximum, VO₂max = maximale Sauerstoffaufnahme, EPOC = excess post-exercise oxygen consumption, min = Minute(n), h = Stunde(n), L = Liter, kA = keine Angabe							

Die meisten bisher durchgeführten Studien zur Untersuchung des Nachbrenneffekts verglichen Trainingsinterventionen submaximaler Trainingsintensitäten bei unterschiedlicher/m Trainingsdauer bzw. Energieaufwand.

Knuttgen (1970) führte eine der ersten gut kontrollierten Studien durch um den Zusammenhang zwischen Trainingsintensität, Trainingsdauer und EPOC zu untersuchen. Er fand einen exponentiellen Anstieg von EPOC mit zunehmender Belastungsintensität (60-98% der VO₂max) bei gleicher Dauer, sowie eine lineare Beziehung zwischen Belastungsdauer (15, 35 und 55 Minuten) und EPOC bei gleicher Intensität. Dieser lineare Anstieg konnte ebenfalls von Bahr, Ingnes, Vaage, Sejersted und Newsholme (1987) für Belastungen über 20, 40 und 80 Minuten bei 70% der VO₂max sowie von Chad und Wenger (1988) bei 30-, 45- und 60-minütiger Aktivität bei 70% der VO₂max gezeigt werden. Auch Gore und Withers (1990) stellten fest, dass EPOC zu 45,5% der Belastungsintensität alleine zugeschrieben werden konnte, während die Wechselbeziehung von Intensität und Dauer lediglich 8,9 bzw. 7,7% von EPOC ausmachte. Überdies konnte bei der geringst intensiven Belastung (30% der VO₂max) keine Zunahme von EPOC mit der Belastungsdauer festgestellt werden, weshalb von einer Mindestintensität zur Auslösung des Nachbrenneffekts ausgegangen wurde. Bei 70% der VO₂max konnten auch diese Autoren eine lineare Zunahme des Sauerstoffmehrer Verbrauchs nach dem Training mit der Belastungsdauer darlegen. Bahr und Sejersted (1991) kamen in ihren Studien ebenfalls zu dem Ergebnis, dass es einen unteren Grenzwert bzw. eine Mindestreizschwelle der Intensität geben muss um EPOC über längere Zeiträume auszulösen. In einem Versuch von Brockman, Berg und Latin (1993) zeigte sich abermals, dass sehr lange Aktivitäten niedriger Intensität

(zweistündiges Gehen bei 25% der VO_{2max}) einen wesentlich geringeren Nachbrenneffekt erzeugen als viel kürzere Aktivitäten höher Intensität (7-14 Minuten Laufen bei 81 bzw. 90% der VO_{2max}). Ebenso berichteten Imamura et al. (2004) von einem signifikanten Unterschied bezüglich EPOC nach 30- und 60-minütigem Radfahren bei 60% der VO_{2max} . Andererseits konnten Neary, Docherty und Wenger (1993) keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich EPOC nach 30-, 45- und 60-minütigem Schwimmen bei 63% der VO_{2max} feststellen. Auch Quinn, Vroman und Kertzer (1994) einen linearen Anstieg von EPOC nach 20 und 40 Minuten Laufen bei 70% der VO_{2max} nicht bestätigen, wohingegen deren 60-minütiges Training bei der gleichen Intensität einen signifikant höheren Nachbrenneffekt bewirte.

Unter Rücksichtnahme des möglichen Einflusses des Energieverbrauchs der Aktivität selbst auf den Nachbrenneffekt sind insbesondere Studien interessant, die Trainingsinterventionen gleicher Energieumsatzraten miteinander verglichen.

Sedlock, Fissinger und Melby (1989) kamen beim Vergleich von Radfahren bei 50 und 75% der VO_{2max} zu dem Ergebnis eines doppelt so hohen Nachbrenneffekts zugunsten der höher intensiven Belastung, wobei sich dieser zwischen 30 und 60 Minuten bei der weniger intensiven Aktivität nicht signifikant unterschied. Phelain et al. (1997) wandten die gleichen Intensitäten beim Radfahren unter fast doppelt so hohem Energieverbrauch zweier Trainingsinterventionen an und kamen erneut zu dem Resultat eines nahezu doppelt so hohen Ausmaßes von EPOC nach der intensiveren Belastung. Des weiteren fanden Short et al. (1996) beim Vergleich zweier Oberkörpertrainings bei 35 und 75% der VO_{2max} einen Nachbrenneffekt der für das intensivere Training fast dreimal so hoch ausfiel. Wiederum wirkte sich die Trainingsdauer bei der niedrigeren Belastungsintensität nicht wesentlich auf EPOC aus.

Es muss allerdings bemerkt werden, dass die Trends zwischen Trainingsintensität bzw. -dauer und dem Nachbrenneffekt auch beim Vergleich energetisch abgeglicher Trainingsinterventionen nicht von allen Forschern bestätigt werden konnten.

So zeigte Sedlock (1991), dass kein signifikanter Unterschied hinsichtlich EPOC für 40 und 60% der VO_{2max} bei 7 Frauen, wobei beide Intensitäten hier relativ gering waren und die Aussagekraft aufgrund der kleinen Stichprobe relativ niedrig einzustufen ist. Auch Dawson, Straton und Randall (1996) verglichen Radfahren bei 45, 55 und 75% der VO_{2max} und fanden Unterschiede im Nachbrenneffekt die jedoch zwischen den beiden niedriger intensiven Trainingsinterventionen nicht signifikant waren.

Nur wenige Studien existieren, die supramaximale Trainingsintensitäten zur Auslösung von EPOC nutzten.

Bahr, Grønnerød und Sejersted (1992) ließen sechs Probanden Radintervalle bei 108% der VO_{2max} und einer Gesamtbelastungsdauer zwischen ein bis sechs Minuten durchführen und demonstrierten, dass EPOC linear mit der Belastungsdauer zunahm und bis zu vier Stunden lang anhielt. LaForgia, Withers und Shipp (1997) verglichen als einzige Untersucher den Nachbrenneffekt zwischen energetisch ausgeglichenen Trainingsinterventionen submaximaler und supramaximaler Intensität. 20 einminütige Laufintervalle bei 105% der VO_{2max} resultierten dabei in einem Nachbrenneffekt der zweieinhalb mal höher war als jener des submaximalen Belastungsprotokolls bei 70% der VO_{2max} . Bei diesem Training mit einer Nettobelastungsdauer von 20 Minuten war EPOC gleich hoch wie nach einer 80-minütigen Laufbelastung bei 70% der VO_{2max} und einem mehr als doppelt so hohem Energieumsatz, dargestellt in einer Studie von Gore und Withers (1990). Überdies sollte erwähnt werden, dass LaForgia et al. (1997) in ihrer Studie angaben EPOC vermutlich unterschätzt zu haben, da sie die 19 EPOCs der Intervallpausen nicht in ihre Messung eingeschlossen hatten. Unter Beachtung dieser wäre EPOC etwa zwei bis drei Liter höher ausgefallen und hätte einen Gesamtwert von etwa 18 Litern (= ca. 90 kCal) ausgemacht. Beim Vergleich der Energiekosten während der supramaximalen Laufeinheit (108 Liter) mit dem daraus resultierenden EPOC (15 Liter) leistet der Nachbrenneffekt mit 13,8% einen etwa doppelt so hohen Anteil an den Gesamtenergiekosten, als jener der submaximalen Einheit. Bislang haben keine anderen Forscher, die Intervalltraining im Zusammenhang mit dem Nachbrenneffekt untersuchten, den Beitrag des Sauerstoffmehrverbrauchs in den Intervallpausen zum Gesamtausmaß von EPOC berücksichtigt.

In Anbetracht der komplexen Wirkung von Trainingsintensität und -dauer auf den Nachbrenneffekt verwundert es kaum, dass die Ergebnisse aus Studien, welche einen einzelnen Trainingsstimulus setzten anstatt mehrere Interventionen zu vergleichen, einer äußerst großen Streubreite unterliegen.

Studien in denen moderate Belastungen über 60 bis 150 Minuten bei moderaten Intensitäten zwischen 70 und 75% der VO_{2max} nutzten erzielten einen Nachbrenneffekt der zwischen sieben und 24 Stunden andauerte (Bahr & Sejersted, 1991; Bahr et al., 1987; Chad & Wenger, 1988; Gore & Withers, 1990; Jamurtas et al., 2004; Quinn et al., 1994; Phelain et al., 1997). Wenn moderate Trainingsinterventionen über 20 bis 80 Minuten bei niedrigen Intensitäten zwischen 35 und 60% der VO_{2max} angewendet wurden kam EPOC binnen einer Stunde zum Erliegen (Bahr & Sejersted, 1991; Bahr et al., 1987; Brockman et al., 1993; Dawson et al., 1996; Gore & Withers, 1990; Knuttgen, 1970; Neary et al., 1993; Quinn et al., 1994; Phelain et al., 1997; Sedlock, 1991; Sedlock et al., 1989; Short et al., 1989). Auf der anderen Seite zeigten Bahr et al. (1990) sowie Donnelly und

McNaughton (1992) unter Einsatz relative langer Belastungen über 90 bzw. 120 Minuten bei ebenfalls geringer Intensitäten von 50 bzw. 55% der VO_{2max} einen nachhaltigeren Nachbrenneffekt der eine bzw. 3,5 Stunden überdauerte. Scheinbar kann durch sehr lange Trainingseinheiten selbst bei geringer Belastungsintensität eine gewisse Reizschwelle zur Auslösung eines längerfristigen Nachbrenneffekts erreicht werden (vgl. LaForgia et al., 2006).

Bezüglich Ausdauertraining und EPOC lässt sich zusammenfassend sagen, dass Belastungen moderater bis hoher Intensität bei etwa 75% der VO_{2max} zu signifikanten Unterschieden hinsichtlich EPOC im Vergleich zu energetisch abgeglichenen Belastungen niedriger Intensität (etwa 35-50% der VO_{2max}) führen. Je geringer die Abweichungen der Intensität, desto geringer fallen auch die Unterschiede des Nachbrenneffekts aus. Jene Studien die einigermaßen ähnliche absolute Intensitäten verglichen sind aufgrund etwaiger Überlappung der relativen Trainingsintensitäten schwer interpretierbar. Des Weiteren dürfte es einen Grenzbereich der Trainingsintensität bei etwa 50-60% der VO_{2max} geben, der erreicht bzw. überschritten werden muss um einen nachhaltigen Nachbrenneffekt auszulösen (vgl. LaForgia et al., 2006). Bezüglich supramaximal intensiver Belastungen zeigt sich, dass Einheiten wesentlich kürzerer Dauer bzw. viel geringeren Energieaufwands ausreichen um einen vergleichbar hohen Nachbrenneffekt als bei moderat bis submaximal intensiver Aktivitäten zu produzieren. Auch der Anteil von EPOC an den Netto-Energiekosten ist bei supramaximalen Kurzbelastungen deutlich höher, jedoch immer noch relativ gering (etwa 14%). Insgesamt zeigt sich sowohl für submaximale als auch für supramaximale Belastungen ein exponentieller Anstieg von EPOC mit zunehmender Trainingsintensität. Bezüglich der Trainingsdauer lässt sich weiter erkennen, dass EPOC generell erst dann sensibel auf die zeitliche Ausdehnung einer körperlichen Belastung reagiert, wenn der oben beschriebene Grenzbereich der Trainingsintensität (etwa 50-60% der VO_{2max}) erreicht oder überschritten wird. Erst oberhalb dieser Reizschwelle nimmt EPOC linear mit der Belastungsdauer zu, sofern die Intensität unverändert bleibt (vgl. Borsheim & Bahr, 2003). Des Weiteren ergeben sich hinsichtlich des Nachbrenneffekts leichte Vorteile von Unterkörper- gegenüber Oberkörperbelastungen (aufgrund des Anteils eingesetzter Muskelmasse), wobei sich zwischen Radfahren und Laufen trotz verschiedener aerober und anaerober Stoffwechselanteile keine wesentlichen Unterschiede zeigen. Schließlich dürfte EPOC durch intermittierende Belastungsformen begünstigt werden wobei beachtet werden muss, dass intervallförmige Belastungen subjektiv anstrengender sind als kontinuierliche

Aktivitäten und tendenziell einen geringeren Energieumsatz bei gleicher Trainingszeit aufweisen.

5.3 Vergleich der Studienergebnisse zum Ausmaß des Nachbrenneffekts durch Kraft- und Ausdauertraining

Insgesamt liegen acht Studien vor, die den Nachbrenneffekt bei Kraft- und Ausdauertrainingseinheit im Rahmen einer Untersuchung verglichen. Leider wurde nur in den wenigsten dieser Studien das absolute Ausmaß von EPOC angegeben. Derartige Vergleiche wurden teilweise bei unterschiedlichem Energieaufwand der Trainingseinheiten angestellt und müssen daher kritisch interpretiert werden.

Jamurtas et al. (2004) stellten Kraft- und Ausdauertraining vergleichbarer Dauer und Intensität gegenüber. Dabei wurde ein 60-minütiges Krafttraining bei 40 Sätzen moderater Intensität (8-12 Wiederholungen bei 70-75% des 1-RM) als auch eine 60-minütige Lafeinheit bei moderater Intensität (70-75% der VO_{2max}) durchgeführt, mit dem Ergebnis eines deutlich höheren EPOCs zugunsten des Krafttrainings (>72 Stunden gegenüber >24 Stunden nach der Ausdauerbelastung); das Ausmaß von EPOC wurde leider nicht bestimmt. Auch Elliot et al. (1992) fanden signifikante Unterschiede zugunsten kräftigender Trainingsmethoden zwischen 40-minütigen Kraft-, Kraftzirkel- und Ausdauerseinheiten hinsichtlich EPOC. Während das Ausdauertraining bei 80% der maximalen Herzfrequenz einen Nachbrenneffekt von 32 kCal über 30 Minuten erzeugte, wurde dieser nach dem Zirkelkrafttraining bei 32 Sätzen niedriger Intensität (15 Wiederholungen bei 50% des 1-RM) mit 48 kCal über eine Stunde gemessen und nach Krafttraining bei 24 Sätzen hoher Intensität (3-8 Wiederholungen bei 80-90% des 1-RM) mit 51 kCal über vier Stunden. Interessant ist hier bei vor allem, dass der Nachbrenneffekt bei den beiden Kräftigungsinterventionen höher war, obwohl der Energieumsatz während der Aktivität selbst beim Ausdauertraining am höchsten war. Drummond et al. (2005) verglichen Krafttraining bei 21 Sätzen moderater Intensität (10 Wiederholungen bei 70% des 1-RM) mit 25-minütigem Laufen moderater Intensität bei 70% der VO_{2max} und kamen ebenfalls zu dem Ergebnis eines signifikant längeren und höheren Nachbrenneffekts nach dem Krafttraining (30 vs. 10 Minuten). Leider fehlten auch hier absolute Angaben zum Ausmaß von EPOC. Baum und Schuster (2008) konnten beim Vergleich zweier praxisnaher Kraft- und Ausdauertrainingseinheiten keinen signifikanten Nachbrenneffekt feststellen, in dieser Untersuchung wurden Trainingsumfang und -intensität jedoch nicht kontrolliert und die ersten 15 Minuten der Nachbelastungsphase nicht dem Nachbrenneffekt zugerechnet.

Die größte Bedeutung kommt auch in diesem Fall jenen Untersuchungen zu, die beim Vergleich der Trainingsinterventionen die direkten Energieumsätze während der Aktivität abglichen.

Burleson et al. (1998) zeigten beim Vergleich eines 27-minütigen Zirkelkrafttrainings bei 16 Sätzen moderater Intensität (8-12 Wiederholungen bei 60% des 1-RM) mit einem Lauftraining geringer Intensität bei 43,4% der VO_{2max} signifikante Unterschiede der Dauer von EPOC zugunsten der Krafteinheit (90 vs. 30 Minuten). Die Höhe von EPOC wurde nicht angegeben und es muss beachtet werden, dass die Intensität der Lafeinheit äußerst gering war. Auch Gillette et al. (1994) kamen bei energetisch abgeglichenen Trainings zu dem Ergebnis eines längeren und höheren Nachbrenneffekts bei einem Krafttraining über 50 Sätze moderater Intensität (8-12 Wiederholungen bei 70% des 1-RM) gegenüber 34-minütigem Radfahren bei 51,5% der VO_{2max} . EPOC betrug 63 kCal über 14,5 Stunden nach dem Krafttraining und 22,5 kCal über fünf Stunden nach der Ausdauerbelastung, wobei auch hier bemerkt werden muss, dass die Intensität beim Radfahren deutlich geringer war. Braun et al. (2005) konnten hingegen keinen Unterschied zwischen Kraftzirkel- und Ausdauertraining moderater Intensitäten finden. Sowohl die Kraftintervention bei 24 Sätzen zu je 15 erschöpfenden Wiederholungen bei 65% des 1-RM als auch die Laufbelastung bei abgeglichenem/r Energieumsatz und Intensität ergaben einen Nachbrenneffekt von 58 kCal innerhalb der einstündigen Messperiode. Crommett et al. (2004) konnten ebenfalls keinen Unterschied feststellen, als sie Krafttraining bei 15 Sätzen niedriger bis moderater Intensität (10 Wiederholungen bei 70% des 10-RM) mit Ausdauertraining niedriger bis moderater Intensität bei 60-65% der VO_{2max} miteinander verglichen. EPOC hielt in beiden Fällen nur 30 Minuten lang an, wobei keine Angaben zu dessen Ausmaß gemacht wurden.

In Bezug auf das absolute Ausmaß des Nachbrenneffekts können theoretisch nur all jene Studien berücksichtigt werden, die EPOC in vollem Ausmaß bestimmten und eine entsprechende Kontrollmessung zur Festlegung korrekter Ruheumsätze durchgeführt hatten. Entsprechende Untersuchungen kommen zu Ergebnissen zwischen fünf und 159 kCal (Bahr et al., 1992; Bahr et al., 1987; Bahr & Sejersted, 1991; Elliot et al., 1988; Gore & Withers, 1990; LaForgia et al., 1997; Thornton & Potteiger, 2002), wobei das Ausmaß von EPOC stark mit der Belastungsdauer und -intensität korreliert. Die höchsten Nachbrenneffekte (73, 75, 83, 150 und 159,5 kCal) wurden dabei in Studien (Bahr et al., 1987; Bahr et al., 1992; Bahr & Sejersted, 1991; Gore & Withers, 1990; LaForgia et al., 1997) erreicht, die moderate bis hohe Intensitäten über relativ lange Zeit aufrecht erhielten (60-80 Minuten bei 70-75% der VO_{2max}) oder supramaximale Intensitäten in Form von Kurzzeitbelastungen nutzten (sechs bis 20 Minuten bei 105-108% der VO_{2max}).

Es sei hier allerdings beachtet, dass die höchsten Nachbrenneffekte (>100 kCal) in sehr alten Studien gefunden wurden, weshalb methodische Mängel vermutet werden müssen. In den übrigen Studien die EPOC entweder nicht zu Ende maßen oder zirkadiane Rhythmen nicht berücksichtigten liegt der Nachbrenneffekt grundsätzlich in Bereichen deutlich unter 80 kCal, wobei zumeist mit moderater Trainingsdauer und -intensität gearbeitet wurde. Bei derartigen Studien muss teilweise allerdings mit massiven Unterschätzungen des Nachbrenneffekts gerechnet werden. Insofern ist es bedauerlich, dass gerade jene aktuelleren Messungen, die EPOC über sehr lange Zeiträume (Tage) maßen und entsprechend aufschlussreich hätten sein können, verabsäumten absolute Höhen des Nachbrenneffekts zu bestimmten (vgl. Jamurtas et al., 2004; Schuenke et al., 2002; Williamson und Kirwan, 1997).

Zusammenfassend lässt sich trotz relativ durchwachsender Ergebnisse hinsichtlich EPOC dennoch ein Trend zugunsten kräftigender gegenüber ausdauerorientierte Trainingsinterventionen erkennen, vor allem dann wenn Trainingsdauer und Intensität der Belastungen abgeglichen wurden. Fanden die Trainingseinheiten bei gleichem Energieumsatz statt, konnte dieser Trend jedoch nur schwach bestätigt werden. Obwohl eine eindeutige Aussage zum Vorzug eines Kraft- oder Ausdauertraining zur Auslösung eines hohen Nachbrenneffekts aufgrund mangelnder Angaben nicht getroffen werden kann, wird der beschriebene Trend von Borsheim und Bahr (2003) sowie LaForgia et al. (2006) grundsätzlich bestärkt. Zum absoluten Ausmaß des Nachbrenneffekts liegen trotz zahlreicher Studien nur wenige relevante Ergebnisse vor. Zumeist liegt EPOC sowohl nach Kraft- als auch nach Ausdauertraining in Bereichen zwischen 20 und 70 kCal und ist daher im Vergleich zum Energieumsatz während der Aktivität selbst relativ gering. Nach entsprechenden Belastungsreizen sind jedoch Nachbrenneffekte realisierbar, die viele Stunden und sogar Tage überdauern und Ausmaße deutlich >70 kCal (möglicherweise sogar bis zu 160 kCal oder noch höher) erreichen. Vor allem die Reizintensität dürfte in diesem Zusammenhang entscheidend sein, aber zu gewissen Anteilen auch die Reizdauer. Zur Auslösung vergleichbarer EPOCs wären Belastungen (submaximal: ≥ 50 Minuten bei $\geq 70\%$ der VO_{2max} ; supramaximal: ≥ 6 Minuten bei $\geq 105\%$ der VO_{2max}) nötig, die für untrainierte Personen teilweise ungeeignet wären und würden mit etwa 6-15% einen immer noch relativ geringen Anteil an den Netto-Energiekosten der körperlichen Aktivität haben (vgl. LaForgia et al., 2006). Der Hauptbeitrag von Bewegung zur Energiebilanz und Gewichtsregulierung dürfte daher primär im Energieverbrauch während der Aktivität selbst liegen.

6 Konsequenzen für die Gewichtsregulierung

Die Studienanalyse macht deutlich, dass EPOC in aller Regel eher gering ausfällt. In diesem Kapitel soll der Frage nachgegangen werden, ob der Nachbrenneffekt dennoch einen sinnvollen Beitrag zur Gewichtsreduktion leisten kann. Dazu werden potentielle Ausmaße von EPOC anhand praktischer Beispiele längerfristig berechnet und im Rahmen eines ganzheitlichen Bewegungs- und Ernährungskonzepts interpretiert. Schließlich sollen praktische Ableitungen getroffen werden und zum aktuell modernen H.I.I.T. (High-intensity interval training) Stellung genommen werden.

Anhand der Untersuchungen zeigt sich, dass moderates Training (Ausdauertraining $<70\%$ der VO_{2max} <50 Minuten oder Krafttraining bei mittlerem Trainingsvolumen und moderater Intensität) in den meisten Fällen Nachbrenneffekte deutlich unter 70 Kalorien bewirkt. Wenn man von einem durchschnittlichen EPOC über 40 kCal nach derartigem Training und einer Frequenz von drei Einheiten pro Woche ausgeht, lässt sich ein energetischer Umsatz von 120 kCal / Woche, 480 kCal / Monat und 6240 kCal / Jahr berechnen. Ein derartiger Nachbrenneffekt würde weniger als ein Kilogramm Körperfett pro Jahr aufwiegen und entspräche einem etwa einstündigen Spaziergang bzw. einem Verzicht auf 35 Gramm Reis oder einer Mozartkugel pro Woche.

Nach hochintensivem Training (z.B. supramaximale Ausdauerintervalltraining bei $\geq 105\%$ der VO_{2max} ≥ 6 Minuten, kontinuierliches Ausdauertraining bei $\geq 70\%$ der VO_{2max} ≥ 50 Minuten oder Krafttraining bei hohem Trainingsvolumen und sehr hoher Intensität) sind beträchtlichere Nachbrenneffekte möglich, die 70 Kalorien deutlich übersteigen können. Geht man hier von einem EPOC-Ausmaß über 100 kCal aus ergäbe sich nach obiger Berechnung ein Energieverbrauch von 300 kCal / Woche, 1200 kcal / Monat und 15600 kcal / Jahr, entsprechend 2kg Körperfett.

Borsheim und Bahr (2003) schätzen EPOC nach anstrengendem Ausdauertraining (≥ 1 Stunde bei $\geq 70\%$ VO_{2max}) sogar auf etwa 165 kCal und errechnen bei 3-maligem Training pro Woche einen Extra-Energieverbrauch von 26125 kCal pro Jahr bzw. einen Gewichtsverlust von 2,9 kg Körperfett. Dieser Wert müsste jedoch auf 3,3 kg korrigiert werden, da hier mit einem Energiewert von 9000 kCal pro Kilogramm Körperfett gerechnet wurde, wobei dieses nur zu 87% aus Fett besteht (siehe Kapitel 3.2.1). Ein derartiges Training würde bei einem 80kg schweren Mann der in 70 Minuten 13 Kilometer läuft (ca. 11 km/h) einen Energieaufwand von 1040 kCal bedeuten (Formel: 1 kCal / kg / km; vgl. De Marées, 2002). Setzt man die 165 kCal des Nachbrenneffekts zu den direkten

Energiekosten des Trainings Bezug, würde selbst der hohe Nachbrenneffekt in diesem Beispiel lediglich 13,7% der Netto-Energiekosten dieser körperlichen Aktivität betragen. Dieser Wert deckt sich mit Berechnungen aktueller Studien zum Nachbrenneffekt.

Speakman und Selman (2003) berechnen den Anteil eines nachhaltigen Nachbrenneffekts mit etwa fünf bis zehn Prozent am Grundumsatz. Sie messen diesem, zunächst sehr gering erscheinenden, Effekt aufgrund seiner zeitlichen Ausdehnung hohe Relevanz bei, da er einen beträchtlichen prozentuellen Anteil der Gesamtenergiekosten der körperlichen Aktivität selbst ausmachen kann. Als Beispiel gehen sie von einem Training bei einer typischen Energieverbrauchsrate von 335 kCal pro Stunde aus, demzufolge der Gesamtenergieverbrauch nach einer 30-minütigen Einheit 167,5 kCal betragen würde. Ein langzeitiger Nachbrenneffekt über 36 Stunden bei einem Energieverbrauch über 7,5% des GU (hier 1701 kCal in 24 Stunden) würde hingegen etwa 191 kCal an Energie aufwenden. Folglich würde mehr Energie nach dem Training, als während dem Training selbst verbraucht werden. Bei dieser Berechnung muss jedoch kritisch bemerkt werden, dass ein derartig nachhaltiger Nachbrenneffekt vermutlich nur durch ein energetisch wesentlich aufwändigeres Training erzielt werden könnte, wodurch sein Anteil an den Netto-Energiekosten des Trainings wieder deutlich reduziert wäre.

Bei Betrachtung der oben angeführten Beispiele wird sichtbar, dass der Nachbrenneffekt im Vergleich zu den direkten Energiekosten während sportlicher Trainings relativ gering ist und am Gesamtenergieverbrauch durch körperliche Aktivität mit $\leq 14\%$ nur geringfügig beteiligt ist. Des weiteren können insbesondere jene anspruchsvollen Trainingsformen, die zur Auslösung nachhaltiger und höherer Nachbrenneffekte nötig sind, von untrainierten bzw. übergewichtigen Personen nicht erwartet werden und wären aus gesundheitlichen Gründen zumeist auch nicht geeignet. Überdies dürfte selbst bei moderaten Trainingseinheiten die Verlängerung der Belastung um nur wenige Minuten in den meisten Fällen bereits für die Energiekosten eines überdurchschnittlich hohen Nachbrenneffekts aufkommen.

Hinsichtlich des Einflusses unterschiedlicher Trainingsmethoden und -inhalte auf EPOC lassen sich nur wenige gesicherte Ableitungen treffen, wobei anaerobe Aktivitäten generell wirksamer zur Auslösung des Nachbrenneffekts sein dürften als Aerobe. Zur optimalen Vergleichbarkeit alltagspraktischer Szenarien des Kraft- und Ausdauertrainings sind vor allem jene Studien interessant, welche sich einerseits innerhalb der ACSM Richtlinien bewegen und andererseits vor allem in ihrer Dauer und Intensität vergleichbar sind. Ist dieser Ausgleich hergestellt dürfte EPOC nach Krafttrainingseinheiten tendenziell

etwas höher ausfallen als nach Ausdauertraining. Dennoch sind diese Unterschiede sehr gering, weshalb im dem Nachbrenneffekt im Rahmen der Trainingskonzeption andere Überlegungen (direkter Energieverbrauch, Aufbau von Muskelmasse etc.) vorzuziehen sind. Auch bei der Kombination von Kraft- und Ausdauertraining bzw. deren Abfolge im Rahmen einer Bewegungseinheit kann EPOC möglicherweise geringfügig begünstigt werden wenn der Ausdaueranteil vorgezogen wird. Auch hier sind die Unterschiede jedoch marginal und es empfiehlt sich daher derartige Abwägungen eher anhand anderer praktisch relevanter Abwägungen zu treffen. Eine weitere relativ eindeutige Aussage lässt sich auch zu intermittierenden Belastungen (Krafttraining, Ausdauer-Intervalle) treffen, die EPOC im Vergleich zu kontinuierlichen Belastungen begünstigen. Andererseits erzielen derartige Bewegungseinheiten in den wenigsten Fällen einen Energieumsatz der bei gleicher Trainingszeit mittels kontinuierlicher Methode erreicht wird und sind vergleichsweise anstrengend. Überdies stehen hochintensive Trainingsformen im Gegensatz zu moderatem Training in engerem Zusammenhang mit kardiovaskulärem Risiko, orthopädischen Verletzungen und Drop-Out (Pollock et al., 1998). Im Zweifelsfall ist daher jene Trainingsform zu wählen, die höhere Netto-Energiekosten aufwendet bzw. der Erreichung längerfristiger Trainingsziele förderlicher ist.

Zusammenfassend sollte bei der Beeinflussung der Energiebalance zur Gewichtsreduktion über körperliche Aktivität vermutlich nicht die Auslösung eines Nachbrenneffekts vordergründig sein, sondern der Energieverbrauch während körperlicher Aktivitäten selbst und eine Trainingskonzeption, die eine Einhaltung von Bewegungseinheiten über längere Zeiträume begünstigt, vor allem bei untrainierten Personen.

Dennoch muss abschließend bemerkt werden, dass das Datenmaterial aus Langzeitstudien bislang unzureichend ist um gesicherte Aussagen zum tatsächlich möglichen Ausmaß von EPOC treffen zu können. In jedem Fall sind Beeinflussungen des Tagesenergieverbrauchs im Sinne eines Energiedefizits möglich, weshalb der Nachbrenneffekt im Rahmen körperlicher Aktivität über längere Sicht durchaus einen kleinen aber nicht völlig unbedeutenden Beitrag zur Realisierung einer negativen Energiebilanz leisten kann.

Unter Rücksichtnahme der Ergebnisse dieser Arbeit soll an dieser Stelle abschließend das aktuell sehr moderne „H.I.I.T.“ (High-intensity interval training) betrachtet werden, welches in der Einleitung kurz beschrieben wurde.

Diese Trainingsintervallmethode kennzeichnet sich durch eine zumeist kurze Trainingsdauer (5-20 Minuten), relativ viele sub- oder supramaximale Kurzbelastungen (wenige Sekunden bis ≤ 1 Minute bei 95-170% der VO_{2max}) sowie kurze, unvollständige Pausen (10-75 Sekunden) aus. Diese Trainingsform wird mit enormen Nachbrenneffekten beworben mittels derer bis zu neunmal mehr Fett verbrannt werden soll als bei herkömmlichem Training moderater Intensitäten und längerer Dauer, weshalb es als optimales Zeitsparprogramm zur Gewichtsreduktion empfohlen wird (vgl. Dawson-Cook, 2009; Pölzer, 2009; Wikipedia, 2010). Tatsächlich ist es heute kein Geheimnis mehr, dass die Fettverbrennung vor allem durch Einheiten höherer Intensitäten gefördert werden kann. Eine der ersten Studien, die zu dieser Erkenntnis führten stammt von Tremblay, Simoneau und Bouchard (1994). Sie fanden nach 15 Wochen hoch intensiven Trainings eine stärkere Fettreduktion als nach 20 Wochen moderaten Ausdauertrainings, obwohl die direkten Energiekosten des moderaten Trainings mehr als doppelt so hoch waren. Die Autoren setzten überdies den Verlust an Fettgewebe zum Energieaufwand der beiden Trainingsinterventionen in Bezug und berechneten dabei einen neunmal höheren relativen Fettabbau zugunsten der intensiven Trainingsform. Allerdings wurden in dieser Studie weder Ernährungsgewohnheiten kontrolliert, noch wurde festgestellt ob die Unterschiede in der Fettreduktion durch EPOC resultierten. Möglicherweise basieren Gerüchte zum Nachbrenneffekt auf der Fehlinterpretation dieser Pionierstudie. Aufgrund der im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Kenntnisse muss die propagierte Wirksamkeit des H.I.I.T. jedoch angezweifelt werden. Bei einem derartigen Training ist der absolute Energieumsatz in aller Regel deutlich geringer als bei einem kontinuierlichen Training moderater Intensität und längerer Dauer. Man vergleiche dazu beispielsweise die Gesamtkilometer nach 15-minütigem H.I.I.T. und 60-minütigem Dauerlauf. Aufgrund der oben beschriebenen Ausmaße selbst hoher Nachbrenneffekte und deren sehr geringer Anteile an den Netto-Energiekosten ($\leq 14\%$) körperlicher Aktivitäten ist nicht davon auszugehen, dass durch H.I.I.T. nachhaltige Energieumsätze realisiert werden, die jene während der Belastung übertreffen, geschweige denn die Netto-Energiekosten von Trainingsformen übertreffen die ein Vielfaches an Energie direkt während der Belastung selbst umsetzen. Dennoch muss ergänzt werden, dass bisweilen keine seriösen Studien vorliegen, die EPOC nach supramaximalen Belastungsintensitäten $>107\%$ untersucht haben.

7 Zusammenfassung

Die in Kapitel 1.1 formulierten Forschungsfragen konnten im Rahmen dieser Forschungsarbeit hinreichend beantwortet werden.

Hinsichtlich des Unterschieds zwischen Kraft- und Ausdauertraining konnte unter Analyse der Studienergebnisse gezeigt werden, dass Krafttraining bei gleicher Trainingsdauer und -intensität tendenziell höhere Nachbrenneffekte bewirkt, wobei diesbezügliche Unterschiede relativ gering sind. Generell dürften anaerobe Aktivitäten einen wirksameren Stimulus für EPOC bieten als aerobe Bewegungsformen.

Bezüglich der Bedeutung möglicher Einflussgrößen konnte überdies gezeigt werden, dass zur Auslösung nachhaltiger Nachbrenneffekte vor allem der Belastungsintensität eine Schlüsselfunktion zukommt, zu gewissen Anteilen aber auch der Belastungsdauer. Während die beiden Parameter der Reizintensität und -dauer den stärksten Effekt auf EPOC haben, kann anderen Faktoren nur eine geringe Einflusskraft zugeschrieben werden. Eine gewisse Begünstigung des Nachbrenneffekts dürfte nach intermittierenden gegenüber kontinuierlichen Aktivitäten vorliegen, wobei diesbezügliche Unterschiede unter Rücksichtnahme der Netto-Energiekosten und des subjektiven Belastungsempfinden kaum als vorteilhaft erscheinen.

Um den Beitrag des Nachbrenneffekts im Gewichtsmanagement beurteilen und trainingsmethodische Ableitungen für die Praxis treffen zu können sind zunächst die absoluten Ausmaße von EPOC bedeutsam. Nach moderatem Training (Ausdauertraining $<70\%$ der VO_{2max} <50 Minuten oder Krafttraining bei mittlerem Trainingsvolumen und moderater Intensität) werden in den meisten Fällen Nachbrenneffekte deutlich unter 70 kCal erzielt, während nach hochintensivem Training (supramaximale Ausdauerintervalltraining bei $\geq 105\%$ der VO_{2max} ≥ 6 Minuten, kontinuierliches Ausdauertraining bei $\geq 70\%$ der VO_{2max} ≥ 50 Minuten oder Krafttraining bei hohem Trainingsvolumen und sehr hoher Intensität) wesentlich beträchtlichere Nachbrenneffekte möglich sind, die 70 kCal deutlich übersteigen und möglicherweise sogar bis zu 160 kCal oder noch höher betragen können. Jedenfalls sind zur Auslösung derartig hoher Nachbrenneffekte Belastungen nötig, die für untrainierte Personen teilweise ungeeignet wären wobei EPOC mit etwa 6-15% dabei einen immer noch relativ geringen Anteil an den Netto-Energiekosten der körperlichen Aktivität hätte. Demzufolge sollte bei der Beeinflussung der Energiebalance zur Gewichtsreduktion über körperliche Aktivität vermutlich nicht die Auslösung eines Nachbrenneffekts vordergründig sein, sondern der Energieverbrauch während körperlicher Aktivitäten selbst und eine Trainingskonzeption,

die eine Einhaltung von Bewegungseinheiten über längere Zeiträume begünstigt, vor allem bei untrainierten Personen.

Abschließend muss bemerkt werden, dass exakte Aussagen zum Ausmaß des Nachbrenneffekts aufgrund eines immer noch massiven Mangels geeigneter Studien problematisch und konkrete Ableitungen daher schwer zu treffen sind. Um die Bedeutung des Nachbrenneffekts für die Gewichtsregulierung zukünftig genauer einschätzen zu können wären weitere Studien nötig, die EPOC im Rahmen längerer Messungen in vollem Ausmaß erfassen und überdies zirkadian-rhythmische Schwankungen berücksichtigen.

8 Literaturverzeichnis

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., O'Brien, W. L., Bassett, D. R., Schmitz, K. H., Emplaincourt, P. O., Jacobs, D. R. & Leon, A. S. (2000). Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9), 498-504.
- Almuzaini, K. S., Potteiger, J. A. & Green, S. B. (1998). Effects of split exercise sessions on excess postexercise oxygen consumption and resting metabolic rate. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 23(5), 433-443.
- Bahr, R. (1992). Excess postexercise oxygen consumption--magnitude, mechanisms and practical implications. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 605, 1-70.
- Bahr, R., Grønnerød, O. & Sejersted, O. M. (1992). Effect of supramaximal exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1), 66-71.
- Bahr, R., Ingnes, I., Vaage, O., Sejersted, O. M. & Newsholme, E. A. (1987). Effect of duration of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Journal of Applied Physiology*, 62(2), 485-490.
- Bahr, R. & Maehlum, S. (1986). Excess post-exercise oxygen consumption. A short review. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 556, 99-104.
- Bahr, R. & Sejersted, O. M. (1991). Effect of feeding and fasting on excess postexercise oxygen consumption. *Journal of Applied Physiology*, 71(6), 2088-2093.
- Baum, K. & Schuster, S. (2008). Der Energieumsatz in der Nachbelastungsphase: Ein wesentlicher Beitrag zur Gewichtsreduktion? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59(5), 110-114.
- Binzen, C. A., Swan, P. D. & Manore, M. M. (2001). Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 932-938.
- Boeckh-Behrens, W. & Buskies, W. (2003). *Fitness-Krafttraining. Die besten Übungen und Methoden für Sport und Gesundheit* (7. Aufl.). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Borsheim, E. & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33(14), 1037-1060.
- Braun, W. A., Hawthorne, W. E. & Markofski, M. M. (2005). Acute EPOC response in women to circuit training and treadmill exercise of matched oxygen consumption. *European Journal of Applied Physiology*, 94(5-6), 500-504.
- Brockman, L., Berg, K. & Latin, R. (1993). Oxygen uptake during recovery from intense intermittent running and prolonged walking. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 33(4), 330-336.
- Burleson, M. A. Jr, O'Bryant, H. S., Stone, M. H., Collins, M. A. & Triplett-McBride, T. (1998). Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(4), 518-522.
- Chad, K. E. & Wenger, H. A. (1988). The effect of exercise duration on the exercise and post-exercise oxygen consumption. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 13(4), 204-207.
- Crommett, A. D. & Kinzey, S. J. (2004). Excess postexercise oxygen consumption following acute aerobic and resistance exercise in women who are lean or obese. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 410-415.
- Darling, J. L., Linderman, J. K. & Laubach, L. L. (2005). Energy expenditure of continuous and intermittent exercise in college-aged males. *Journal of Exercise Physiology Online*, 8(4), 1-8.

- Dawson, B., Straton, S. & Randall, N. (1996). Oxygen consumption during recovery from prolonged submaximal cycling below the anaerobic threshold. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 36(2), 77-84.
- Dawson-Cook, S. (2009). The Burn Behind the WORKOUT. EPOC – excess post-exercise oxygen consumption. *American Fitness*, 27(3), 52-54.
- Drummond, M. J., Vehrs, P. R., Schaalje, G. B. & Parcell, A. C. (2005). Aerobic and resistance exercise sequence affects excess postexercise oxygen consumption. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(2), 332-337.
- De Marées, H. (2002). *Sportphysiologie* (9. Ausg.). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W. & Smith, B. K. (2009). ACSM Position Stand: Appropriate Physical Activity Intervention Strategies for Weight Loss and Prevention of Weight Regain for Adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(2), 459-471.
- Elliot, D. L., Goldberg, L. & Kuehl, K. S. (1988). Does aerobic conditioning cause a sustained increase in the metabolic rate? *American Journal of Medical Science*, 296 (4), 249-251.
- Elliot, D. L., Goldberg, L. & Kuehl, K. S. (1992). Effect of Resistance Training on Excess Post-exercise Oxygen Consumption. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(2), 77-81.
- Frey, G. C., Byrnes, W. C. & Mazzeo, R. S. (1993). Factors influencing excess postexercise oxygen consumption in trained and untrained women. *Metabolism*, 42(7), 822-828.
- Fukuba, Y., Yano, Y., Murakami, H., Kan, A. & Miura, A. (2000). The effect of dietary restriction and menstrual cycle on excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) in young women. *Clinical Physiology*, 20(2), 165-169.
- Gaesser, G. A. & Brooks, G. A. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(1), 29-43.
- Gillette, C. A., Bullough, R. C. & Melby, C. L. (1994). Postexercise energy expenditure in response to acute aerobic or resistive exercise. *International Journal of Sport and Nutrition*, 4(4), 347-360.
- Gore, C. J. & Withers, R. T. (1990). Effect of exercise intensity and duration on postexercise metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 68(6), 2362-2368.
- Gottlob, A. (2007). *Differenziertes Krafttraining mit Schwerpunkt Wirbelsäule* (2. Aufl.). München: Urban & Fischer.
- Haddock, B. L. & Wilkin, L. D. (2006). Resistance training volume and post exercise energy expenditure. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 143-148.
- Hagberg, J. M., Mullin, J. P. & Nagle, F. J. (1980). Effect of work intensity and duration on recovery O₂. *Journal of Applied Physiology*, 48(3), 540-544.
- Haltom, R. W., Kraemer, R. R., Sloan, R. A., Hebert, E. P., Frank, K. & Tryniecki, J. L. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(11), 1613-1618.
- Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., Macera, C. A., Heath, G. W., Thompson, P. D. & Bauman, A. (2007). Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(8), 1423-1434.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2003). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (3. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert Verlag.
- Imamura, H., Yoshimura, Y., Nishimura, S., Nakazawa, A. T., Teshima, K., Nishimura, C. & Miyamoto, N. (2002). Physiological responses during and following karate training in women. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(4), 431-437.

- Jamurtas, A. Z., Koutedakis, Y., Paschalis, V., Tofas, T., Yfanti, C., Tsiokanos, A., Koukoulis, G., Kouretas, D. & Loupos, D. (2004). The effects of a single bout of exercise on resting energy expenditure and respiratory exchange ratio. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4-5), 393-398.
- Kaminsky, L. A., Padjen, S. & LaHam-Saeger, J. (1990). Effect of split exercise sessions on excess post-exercise oxygen consumption. *British Journal of Sports Medicine*, 24(2), 95-98.
- Knuttgen, H. G. (1962). Oxygen debt, lactate, pyruvate, and excess lactate after muscular work. *Journal of Applied Physiology*, 17, 639-644.
- Kravitz, L. (2007). Aerobic and Resistance Training Sequence. *IDEA Fitness Journal*, 4(4), 20-22.
- LaForgia, J., Withers, R. T. & Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Sports Science*, 24(12), 1247-1264.
- LaForgia, J., Withers, R. T., Shipp, N. J. & Gore, C. J. (1997). Comparison of energy expenditure elevations after submaximal and supramaximal running. *Journal of Applied Physiology*, 82(2), 661-666.
- Lyons, S., Richardson, M., Bishop, P., Smith, J., Heath, H. & Giesen, J. (2006). Excess post-exercise oxygen consumption in untrained males: effects of intermittent durations of arm ergometry. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism*, 31(3), 196-201.
- Lyons, S., Richardson, M., Bishop, P., Smith, J., Heath, H. & Giesen, J. (2007). Excess post-exercise oxygen consumption in untrained men following exercise of equal energy expenditure: comparisons of upper and lower body exercise. *Diabetes, Obesity & Metabolism*, 9(6), 889-894.
- Maughan, R. & Gleeson, M. (2004). *The Biochemical Basis of Sports Performance*. New York: Oxford University Press.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2007). *Sports and Exercise Nutrition* (3. Aufl.). Baltimore, Philadelphia: Wolters Kluwer / Lippincott Williams & Wilkins.
- McGarvey, W., Jones, R. & Petersen, S. (2005). Excess Post-Exercise Oxygen Consumption Following Continuous and Interval Cycling Exercise. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 15(1), 28-37.
- McKay, W. P., Chilibeck, P. D. & Daku, B. L. (2007). Resting mechanomyography before and after resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 102(1), 107-117.
- Melby, C., Scholl, C., Edwards, G. & Bullough, R. (1993). Effect of acute resistance exercise on postexercise energy expenditure and resting metabolic rate. *Journal of Applied Physiology*, 75(4), 1847-1853.
- Murphy, E. & Schwarzkopf, R. (1992). Effects of Standard Set and Circuit Weight Training on Excess Post-exercise Oxygen Consumption. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(2), 66-124.
- Neary, J. P., Docherty, D. & Wenger, H. A. (1993). Post-exercise metabolic rate is influenced by elevated core temperature. *Australian Journal of Medical Science*, 25, 43-47.
- Phelain, J. F., Reinke, E., Harris, M. A. & Melby, C. L. (1997). Postexercise energy expenditure and substrate oxidation in young women resulting from exercise bouts of different intensity. *Journal of the American College of Nutrition*, 16(2), 140-146.
- Pollock, M. L., Gaesser, G. A., Butcher, J., Després, J. P., Dishman, R. K., Franklin, B. A. & Garber, C. E. (1998). ACSM Position Stand: The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(6), 975-991.
- Pölzer, G. (2009). *Fitness in Theorie und Praxis*. Unveröffentlichte Arbeit an der BSPA Linz.

- Quinn, T. J., Vroman, N. B. & Kertzer, R. (1994). Postexercise oxygen consumption in trained females: effect of exercise duration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(7), 908-913.
- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Housh, T. J., W.B., K., Kraemer, W. J. & Triplett, N. T. (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(3), 687-708.
- Rathmanner, T., Meidlinger, B., Baritsch, C., Lawrence, K., Dorner, T. & Kunze, M. (2006). Erster Österreichischer Adipositasbericht 2006. Grundlage für zukünftige Handlungsfelder: Kinder, Jugendliche, Erwachsene [Elektronische Version]. *Österreichische Adipositas Gesellschaft*. Zugriff am 18. März 2010 unter: http://www.adipositas-austria.org/pdf/3031_AMZ_Adipositas_3108_final.pdf
- Schuenke, M. D., Mikat, R. P. & McBride, J. M. (2002). Effect of an acute period of resistance exercise on excess post-exercise oxygen consumption: implications for body mass management. *European Journal of Applied Physiology*, 86(5), 411-417.
- Scott, C. B., Littlefield, N. D., Chason, J. D., Bunker, M. P. & Asselin, E. M. (2006). Differences in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running. *Nutrition and Metabolism*, 3(3:1).
- Sedlock, D. A. (1994). Fitness level and postexercise energy expenditure. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34(4), 336-342.
- Sedlock, D. A. (1992). Post-exercise Energy Expenditure After Cycle Ergometer and Treadmill Exercise. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(1), 19-23.
- Sedlock, D. A. (1991). Postexercise energy expenditure following upper body exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62(2), 213-216.
- Sedlock, D. A., Fissinger, J. A. & Melby, C. L. (1989). Effect of exercise intensity and duration on postexercise energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(6), 662-666.
- Segal, S. S. & Brooks, G. A. (1979). Effects of glycogen depletion and work load on postexercise O₂ consumption and blood lactate. *Journal of Applied Physiology*, 47(3), 514-521.
- Short, K. R., & Sedlock, D. A. (1997). Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 153-159.
- Short, K. R., Wiest, J. M. & Sedlock, D. A. (1996). The effect of upper body exercise intensity and duration on post-exercise oxygen consumption. *International Journal of Sports Medicine*, 17(8), 559-563.
- Siegfried, D. R. (2006). *Anatomie und Physiologie für Dummies* (1. Aufl.). Weinheim: WILEY-VCH & Co. KGaA.
- Smith, J. & Mc Naughton, L. (1993). The effects of intensity of exercise on excess postexercise oxygen consumption and energy expenditure in moderately trained men and women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67(5), 420-425.
- Speakman, J. R. & Selman, C. (2003). Physical activity and resting metabolic rate. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 62(3), 621-634.
- Stupnicki, R., Gabrys, T., Szmatlan-Gabrys, U. & Tomaszewski, P. (2009). Fitting a single-phase model to the post-exercise changes in heart rate and oxygen uptake. *Physiology Research* (in Druck).
- Tahara, Y., Moji, K., Honda, S., Nakao, R., Tsunawake, N., Fukuda, R., Aoyagi, K. & Mascie-Taylor, N. (2008). Fat-free mass and excess post-exercise oxygen consumption in the 40 minutes after short-duration exhaustive exercise in young male Japanese athletes. *Journal of Physiology and Anthropology*, 27(3), 139-143.

- Thornton, M. K. & Potteiger, J. A. (2002). Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 715-722.
- Tomlin, D. L. & Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. / Relation entre la condition physique aerobie et la recuperation apres un exercice intermittent de haute intensite. *Sports Medicine*, 31(1), 1-11.
- Tremblay, A., Simoneau, J. A. & Bouchard, C. (1994). Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism*, 43(7), 814-818.
- Weineck, J. (2004). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (14. Aufl.). Balingen: Spitta Verlag.
- Wikipedia.org. Zugriff am 25.5.2010 unter http://en.wikipedia.org/wiki/High-intensity_interval_training
- Williamson, D. L. & Kirwan, J. P. (1997). A single bout of concentric resistance exercise increases basal metabolic rate 48 hours after exercise in healthy 59-77-year-old men. *The Journal of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 52(6), 352-355.
- Wirtz, N., Buitrago, S., Kleinoeder, H. & Mester, J. (2009). Auswirkungen klassischer Krafttrainingsmethoden auf die Sauerstoffaufnahme während und nach einmaligen, erschöpfenden Belastungen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 57(3), 108-112.

9 Abkürzungsverzeichnis

ACSM	American College of Sports Medicine
ATP	Adenosin Triphosphat
BMI	Body Mass Index
CO ₂	Kohlenstoffdioxid (carbon dioxide)
EPOC	excess post-exercise oxygen consumption
F _{max}	Maximalkraft
GU	Grundumsatz
h...	hour / Stunde
H ⁺	positiv geladener Wasserstoff (Hydrogenium)
HF _{max}	Maximale Herzfrequenz
HRR	Herzfrequenzreserve (heart rate reserve)
kCal	Kilokalorie(n)
Kg	Kilogramm
KH	Kohlenhydrat(e)
kJ	Kilojoule
MET	Metabolisches Äquivalent
O ₂	Sauerstoff (Oxygenium)
PCr	Phosphokreatin / Kreatinphosphat
P _i	Anorganisches Phosphat
RM	Repetition Maximum
RQ	Respiratorischer Quotient
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
VO _{2max}	Maximale Sauerstoffaufnahme

10 Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständige verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde daher weder an einer anderen Stelle eingereicht noch von anderen Personen vorgelegt.“

Daniel Geißler

Wien, am 26.05.2010

11 Lebenslauf

Nachname: Geißler

Vorname: Daniel

Nationalität: Österreich

Adresse: Dr. Paul-Fuchsiggasse 12, 2301 Groß-Enzersdorf

E-Mail: teferi@gmx.at

Geburtsdatum: 22.12.1983



AUS- UND FORTBILDUNG

- 2010:
- Warm-Up**, Workshop der Ges. f. sportwiss. Beratung GesmbH - die Personal Trainer (Wien)
 - Rope-Skipping**, Workshop der Ges. f. sportwiss. Beratung GesmbH - die Personal Trainer (Wien)
 - Psychophysiologie im Sport**, Tagung der ASP (Salzburg)
 - Persönlichkeit im Sport**, Trainerfortbildung der BSO (Wien)
 - Muskelfasziën**, Vortrag und Workshop mit Dr. Robert Schleich (Wien)
 - Fitnesstrainer**, Ausbildung der BSPA (Linz)
- 2009:
- Entspannungstraining**, Workshop der Ges. f. sportwiss. Beratung GesmbH - die Personal Trainer (Wien)
 - Eros und Psyche**, Integratives Seminar für Psychotherapie (Bad Gleichenberg)
 - Differenziertes Krafttraining bei degenerativen Erkrankungen**, Seminar von Gottlob/Kletterwerkstadt (Wien)
 - Gymstick**, Workshop der Ges. f. sportwiss. Beratung GesmbH - die Personal Trainer (Wien)
 - Staby- und Vibrationstraining**, Workshop der Ges. f. sportwiss. Beratung GesmbH - die Personal Trainer (Wien)
 - Bioenergetische Analyse und Therapie**, Integratives Seminar für Psychotherapie (Bad Gleichenberg)
 - Kettlebells**, Workshop der NFA (Wien)
 - Training á la carte – Sportliche Leistungsoptimierung mit Messer und Gabel**, Tagung der AMA (Wien)
- 2008:
- Sports Trainer**, Fortbildung von Sports Medicine Australia (Australien)
 - Shut Down by Shin Pain**, Seminar von Sports Medicine Australia (Australien)

Strenflex Gold, Fitnessabzeichen der BSPA (Linz)

Personal Training Intro, Fortbildung der Ges. f. sportwiss. Beratung GesmbH - die Personal Trainer (Wien)

Koordinatives Krafttraining, Workshop der Ges. f. sportwiss. Beratung GesmbH - die Personal Trainer (Wien)

Muskeleffizientes Training, Tagung der BASK (Wien)

Magisterstudium „Sportwissenschaften“, School of Human Movement and Exercise Science (University of Western Australia) und Universität Wien

2007: **Lehrwarte für allgemeine Körperausbildung (Studio)**, Ausbildung der BSPA (Linz)

Instruktor für Tennis, Ausbildung der BSPA (Linz)

Autogenes Training, Trainings- und Selbsterfahrungsgruppe (Wien)

2006: **Leistungsoptimierung – aber wie?**, Symposium der BSO (Skileiten)

2005: **Snowboard Begleiter**, Ausbildung am ZSU (Wien)

2004: **Bakkalaureatsstudium „Sportmanagement“**, Universität Wien

Diplomierter Wellness- Gesundheitstrainer, Ausbildung der VITAK (Wien)

2002: **Matura**, BORG Polgarstraße (Wien)

BERUFSERFAHRUNG

Seit 2009: Mobiler Personal Trainer, Projektleiter und Referent bei der Gesellschaft für sportwissenschaftliche Betreuung - die Personal Trainer GesmbH

2009: Get-Up Studie Kinderkrafttrainingsprojekt, Volksschule Akaziengasse in Wien

2008: Tennistraining, TC Groß-Enzersdorf

2006 – 2007: Fitnesstrainer, Club Danube

2005 – 2006: Kinderkurse, Tennis Club Groß-Enzersdorf

LEISTUNGSSPORT

Seit 2002: Niederösterreichische Tennis-Landesmeisterschaften
Seit 1997: Tennis, TC Groß-Enzersdorf
1996-1997: Tennis, Deutsch Wagram
1997: Fußball, FC Groß-Enzersdorf
1994-1997: Tischtennis, TTC Groß-Enzersdorf

SPRACHKENNTNISSE

Deutsch: Muttersprache
Englisch: sehr gut
Spanisch: mittelmäßig

COMPUTERKENNTNISSE

Gute Kenntnis diverser Softwareprogramme (Microsoft Office Word, Excel, Power Point, SPSS)