

Masterarbeit zur Erlangung des Master of Science,
Einheit Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Freiburg

Die Wirkung körperlicher Aktivität auf die Nahrungsaufnahme

Betreuer: Dr. Urs Mäder

Co-Betreuerin: Dr. Katarina Melzer

Arbeit realisiert durch:

Jan Christophe Lehmann

Mai 2013

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Ausgangslage	1
1.2 Ziel und konkrete Fragestellungen	3
2 Theoretischer Teil.....	4
2.1 Übergewicht und Adipositas	4
2.2 Nährstoffe.....	5
2.2.1 Wasser.....	7
2.2.2 Makronährstoffe	8
2.2.3 Mikronährstoffe	10
2.2.4 Messmethoden zur Bestimmung des Essverhaltens.....	14
2.3 Körperzusammensetzung.....	16
2.3.1 Muskelgewebe	16
2.3.2 Fettgewebe	18
2.3.3 Messmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung	19
2.4 Energieumsatz	22
2.4.1 Grundumsatz.....	22
2.4.2 Arbeitsumsatz	24
2.4.3 PAL	24
2.4.4 MET	25
2.4.5 DIT	25
2.4.6 Gesamtumsatz.....	25
2.4.7 Messverfahren zur Bestimmung des Energiehaushaltes	26
3. Studienlage	29
4. Methodik.....	38
4.1 Untersuchungsgruppe	38

4.2 Datenerfassung	39
4.2.1 Ablauf.....	39
4.2.2 Instrumente	40
5. Resultate	43
6. Diskussion	49
6.1 Energieverbrauch	49
6.2 Körperzusammensetzung.....	50
6.3 Kardiovaskuläres System	52
6.4 Die Resultate in Zusammenhang mit der bestehender Literatur	53
6.5 Grenzen der Arbeit	55
6.6 Aussichten für zukünftige Untersuchungen	56
7. Schlussfolgerung	58
8. Danksagung	59
9. Literaturverzeichnis.....	60
10. Illustrationen	67
11. Persönliche Erklärung.....	69
12. Urheberrechtserklärung.....	70
13. Anhang	71

Zusammenfassung

Einleitung / Ziele: Fettleibigkeit und Übergewicht betreffen immer mehr Menschen. Körperliche Aktivität senkt das Risiko an verschiedenen Krankheiten zu erkranken. Eine veränderte Angewohnheit der Bewegung führt möglicherweise zu Anpassungen im Ernährungsverhalten. Ein körpereigenes Kontrollsystem über das Energiegleichgewicht scheint verzögert und langsam auf veränderte Umstände zu reagieren. Um sinnvolle Empfehlungen für ein gesundes Mass an Bewegung, auch im Hinblick auf mögliche Abnahmen beim Übergewicht, formulieren zu können, muss dieses Kontrollsystem besser verstanden werden. Deshalb gilt es herauszufinden, ob ein solches Kontrollsystem existiert und ab wann dieses in den Energiehaushalt des menschlichen Körpers eingreift und Veränderungen im Essverhalten als Folge auf ein erhöhtes Bewegungsverhalten bewirkt. Im Weiteren untersucht die vorliegende Studie die Auswirkungen eines erhöhten Bewegungsverhaltens auf die Körperzusammensetzung.

Methoden: 40 angeworbene Probanden, wurden entweder der Interventionsgruppe (n=30) oder der Kontrollgruppe zugeordnet (n=10). Beide Gruppen wurden während zwei Monaten hinweg wiederholt gemessen, um den Umfang und Zeitpunkt der Veränderungen verschiedener Variablen (Körperzusammensetzung und Energiehaushalt) vergleichen zu können. Nach einer Basismessung, welche die Körperzusammensetzung (DXA) bestimmte und andere grundlegende Messdaten erhob, erfolgte eine zweimonatige Interventionsdauer mit drei zeitlich versetzten Messpunkten. Dabei wurde mit dem „Actiheart“-Gerät das Bewegungsverhalten beziehungsweise der Energieverbrauch der Probanden gemessen. Mit einem Ernährungstagebuch wurde zu den gleichen Messpunkten das Ernährungsverhalten analysiert.

Resultate / Schlussfolgerung: Die Resultate zeigen auf, dass bei signifikant gesteigerter Aktivität ($p < 0.05$) ein signifikanter Gewichtsverlust stattfindet. Fettmasse nimmt signifikant ab und Magermasse signifikant zu. Das Energiegleichgewicht wurde somit nicht wieder erlangt. Weitere Studien sind notwendig um die Funde zu bestätigen und um die weitere Entwicklung des Körpergewichts beziehungsweise des Ernährungsverhalten genauer zu untersuchen.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Ausgangslage

Fettleibigkeit (Adipositas) und Übergewicht betrifft zunehmend mehr Menschen. Im Jahr 2008 waren mehr als 1.4 Milliarden Erwachsene übergewichtig (WHO, 2013, fact sheet n. 311). Diese moderne Pandemie verschlingt riesige Mengen an Geldbeträgen. Alleine in der Schweiz verursacht Übergewicht und Adipositas Kosten in der Höhe von 2.1 Milliarden Schweizer Franken pro Jahr (Schneider & Schmid 2004).

Zu den ökonomischen Kosten addieren sich gesundheitliche Komplikationen. Ein hoher Körperfettanteil stellt eine erhöhte Belastung für den Bewegungsapparat des Menschen dar und äussert sich mit Schmerzen, Unwohlsein und ineffiziente Körpermechanik, was zu reduzierter Mobilität führt (Hills et al. 2002). Nebst den lokomotorischen Einschränkungen kommen folgeschwere Krankheiten dazu.

Dabei wären Übergewicht und Fettleibigkeit vermeidbar. Körperliche Aktivität kann nicht nur Übergewicht vorbeugen, sondern auch das Risiko senken an unterschiedlichen Krankheiten, wie etwa koronaren Herzkrankheiten, Diabetes Mellitus, Krebs oder Leber- und Gallenblasenkrankheiten zu erkranken (Kopelman 2007; Warburton et al 2006). Veränderungen im Bewegungsverhalten führen möglicherweise auch zu Anpassungen im Essverhalten. Die Literatur unterscheidet dabei Beobachtungen kurzer Dauer, in der Grössenordnung von bis zu einigen wenigen Tagen, oder eine Beobachtungsdauer von einigen Wochen. Die gefundenen Resultate zeigen dabei auf, dass, kurzzeitig betrachtet, weder bei Übergewichtigen noch bei Normalgewichtigen eine positive Anpassung der Energieaufnahme (mehr Essen) aufgrund eines modifizierten Bewegungsverhaltens stattfindet (Blundell et al. 2003; Durrant et al. 1982; Edholm et al. 1970; King et al. 1997; Kissileff et al 1990; Liuch et al. 1998; Staten 1991; Stubbs et al. 2002; Farah et al. 2010; Stubbs et al. 2004; Whybrow et al. 2008; Ballard et al. 2009; Melzer et al. 2005). Ein körpereigenes Kontrollsystem über das Energiegleichgewicht scheint erst nach einigen Wochen einzugreifen (Martins et al. 2007a; Whybrow et al. 2008).

Übergewicht ist ein ernstzunehmender Gesundheitszustand. Um sinnvolle Empfehlungen für ein gesundes Mass an Bewegung, auch im Hinblick auf eine

mögliche Abnahme beim Übergewicht, formulieren zu können, muss dieses Kontrollsystem besser verstanden werden. Es ist somit wichtig herauszufinden, ob es ein körpereigenes Kontrollsystem gibt und ab wann es in den Energiehaushalt des Körpers eingreift und das Essverhalten, aufgrund eines erhöhten Bewegungsverhaltens, verändert. Zudem wird diese Arbeit die Auswirkung einer erhöhten körperlichen Aktivität auf die Körperzusammensetzung untersuchen.

1.2 Ziel und konkrete Fragestellungen

Das Ziel dieser Studie ist, bei sedentären (wenig aktiven) Männern mit Normalgewicht oder Präadipositas Veränderungen bei der Energieaufnahme sowie der Körperzusammensetzung aufzuzeigen, welche aufgrund eines Energiemehrverbrauches von zirka 1000kcal¹ pro Woche auftreten können. Dieser Mehrverbrauch wird durch fünf Sportinterventionen (Typ: Ausdauertraining) pro Woche herbeigeführt und über einen Zeitraum von zwei Monaten aufrechterhalten.

Als Fragestellungen werden drei Hauptfragen gestellt, die mit dieser Arbeit beantwortet werden sollen:

Verändert sich bei sedentären Männern mit Normalgewicht aufgrund eines erhöhten Energieverbrauchs, der durch eine kurzzeitige, mehrmals wöchentlich ausgeführte sportliche Aktivität herbeigeführt wurde, die Energieaufnahme?

Ab welchem Zeitpunkt passt sich bei Männern mit einem normalen Gewicht die Energieaufnahme an, wenn durch mehrmals wöchentlich durchgeführte sportliche Aktivitäten ein erhöhter Energieverbrauch herbeigeführt wurde?

Verändert sich die Körperzusammensetzung eines sedentären Mannes, wenn er während zwei Monaten fünf Stunden Sport pro Woche treibt?

¹ Kcal: (Kilo-) Kalorie ist eine Masseinheit der Energie (Wärmemenge). 1 Kalorie entspricht 41897 Joules.
Schmidt 2001

2 Theoretischer Teil

2.1 Übergewicht und Adipositas

Übergewicht und Adipositas sind definiert als ein unnatürlich hoher Anteil an Körperfettmasse. Um das Körpergewicht bei Erwachsenen klassifizieren und somit intersubjektive Vergleiche vornehmen zu können, wird oft der Körpermasseindex (engl. Body Mass Index, BMI) verwendet. Der BMI wird berechnet in dem man das Gewicht (in kg) durch die Körpergrösse der Person im Quadrat (m^2) dividiert:

$$BMI = \frac{\text{Gewicht (kg)}}{\text{Grösse} \times \text{Grösse (m}^2\text{)}}$$

Die berechneten BMI-Werte eignen sich für eine populationsweite Analyse von Übergewicht und Fettleibigkeit, da diese für beide Geschlechter und alle Altersgruppen der Erwachsenen gültig sind.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) unterscheidet folgende Gewichtsklassifikationen (WHO, 2013, BMI classification):

Tabelle 1: Gewichtsklassifikation nach WHO

Kategorie	BMI (kg/m^2)
Untergewicht	<18.50
Starkes Untergewicht	≤ 16.0
Mässiges Untergewicht	$16.0 - 16.99$
Leichtes Untergewicht	$17.0 - 18.49$
Normalgewicht	$18.5 - 24.99$
Übergewicht	≥ 25.00
Präadipositas	$25.00 - 29.99$
Adipositas	≥ 30.00
Adipositas Grad I	$30.0 - 34.99$
Adipositas Grad II	$35.0 - 39.99$
Adipositas Grad III	≥ 40.0

In dieser Masterarbeit wurden Probanden mit einem BMI von maximal $27 \text{ kg} / \text{m}^2$ rekrutiert.

2.2 Nährstoffe

Wenn von Nährstoffen gesprochen wird, so unterscheidet man Makro- und Mikronährstoffe. Dabei unterscheidet man vier Makronährstoffe: Proteine, Kohlenhydrate, Fette und Wasser. Wasser nimmt dabei eine spezielle Rolle ein, da es ein *Allrounder* ist und bei nahezu allen körperlichen Funktionen direkt oder indirekt beteiligt ist. Die Makronährstoffe werden in relativ grossen Quantitäten, bis zu mehreren Hundert Gramm, eingenommen. Spricht man von Mikronährstoffen so unterscheidet man Vitamine, Mengenelemente und Spurenelemente. Mikronährstoffe werden in kleinen Quantitäten, beispielsweise 100mg Vitamin C oder etwa lediglich 180 Mikrogramm Jod, eingenommen. Die Makro- und Mikronährstoffe erfüllen drei Aufgaben:

Energielieferanten: Kohlenhydrate, Fette und Proteine versorgen den Körper mit Energie, damit die Vitalorgane funktionieren können. Zusätzlich ermöglicht diese Energie das Erbringen physischer Aktivität jeglicher Art.

Wachstum und Erhalt: Die wichtigsten Makronährstoffe für das Wachstum und den Erhalt des Körpers sind die Proteine. Dank den Proteinen kann der Körper wachsen und den Erhalt gewährleisten. Wasser, Fette und Kohlenhydrate spielen bei der Zusammensetzung der Zellen, Mengenelemente für die Bildung der Knochen und Zähne eine zentrale Rolle. Damit der Körper überhaupt normal wachsen kann benötigt er die Spurenelemente, wie zum Beispiel Zink.

Schutz: Zur Aufrechterhaltung und Ausübung der Schutzfunktionen des Körpers sind vor allem die Proteine, die Vitamine, die Mengenelemente, die Spurenelemente und Fette wichtig (Schmidt & Lang 2007).

Die Energiedichten der einzelnen Makronährstoffe sind unterschiedlich und werden in nachfolgender Tabelle aufgezeigt:

Tabelle 2: Makronährstoffe und deren Energiedichte in kcal pro Gramm (Dulloo 2009)

Makronährstoff	Energiedichte in kcal / g
Proteine	4
Kohlenhydrate	4
Fette	9

Aufgrund dieser wichtigen Funktionen und den verschiedenen Energiedichten wurde die Lebensmittelpyramide geschaffen. Die Lebensmittelpyramide stellt bildlich und hierarchisch dar, wie die Zufuhr von adäquaten Energieträgern, Nährstoffen und schutzwirksamen Substanzen optimal aufgebaut werden sollte. Damit ist sie eine Vorgabe für eine gesunde Ernährungsart für Menschen mit durchschnittlichen Bedürfnissen. Die wichtigsten Lebensmittel bilden die Basis der Pyramide, sollten am häufigsten konsumiert werden und haben entsprechend keine quantitative Limitierung. Diese Lebensmittel sind ungesüsste Flüssigkeiten, wie etwa Hahnenwasser, Mineralwasser oder Tee. Im grünen Bereich der Pyramide befinden sich Gemüse und Früchte. Für diesen Bereich wird eine tägliche Anzahl von fünf Portionen angeraten. Oberhalb der Gemüse und Früchte sind die Getreideprodukte, Kartoffeln und Hülsenfrüchte. Die schweizerische Gesellschaft für Ernährung schlägt täglich drei Portionen vor. Auf dem Weg zur Spitze trifft man im roten Bereich die Milchprodukte, Fleisch, Fisch, Ei und Tofu an. Dabei werden drei Portionen Milch beziehungsweise Milchprodukte und eine zusätzliche Portion Fleisch pro Tag vorgeschlagen. An zweithöchster Stelle befinden sich die Öle, Fette und Nüsse. Die Portionengrößen sind hier deutlich kleiner als für die bis anhin angetroffenen Lebensmittel. Es werden zwei bis drei Esslöffel Öl und eine kleine Portion Nüsse vorgeschlagen. An der Spitze der Lebensmittelpyramide findet man Süßes, Salziges und Alkoholisches. Diese Lebensmittel sind zum Geniessen vorgesehen und sollten massvoll verzehrt werden (SGE, 2013, Essen und Trinken, Ausgewogen).



Abbildung 1: Lebensmittelpyramide der schweizerischen Gesellschaft für Ernährung (<http://www.sge-ssn.ch/de/ich-und-du/essen-und-trinken/ausgewogen/lebensmittelpyramide>)

2.2.1 Wasser

Der menschliche Körper besteht zwischen 50% und 75% aus Wasser (Schmidt & Lang 2007), wobei der relative Anteil von mehreren Faktoren abhängt: Alter, Geschlecht und Körperzusammensetzung. Wasser hat im menschlichen Körper eine wichtige Funktion. Es ist unter anderem für den Transport von Nährstoffen und Abfallprodukten verantwortlich, aktiv an biochemischen Reaktionen der Verdauung und des Metabolismus beteiligt, hilft die Körpertemperatur konstant zu halten und dient als Gelenkschmiere. Wie wichtig Wasser für den menschlichen Körper ist, kann aus folgendem Richtwert abgelesen werden: Der Mensch kann über mehrere Wochen ohne feste Nahrung auskommen, überlebt aber nur einige Tage ohne Wasser. Dem Organismus muss stetig Wasser zugeführt werden. Durch den Urin werden täglich etwa 1.5 Liter Flüssigkeit ausgeschieden (Abbildung 2: Tägliche Wasserbilanz des Menschen). Durch das Schwitzen können bei hoher physischen Aktivität mehrere Liter pro Tag über die Haut verdunsten (Schmid & Lang 2007). Im Normalfall, also ohne erhöhte physische Aktivität, sind es durchschnittlich ungefähr 0.9 Liter pro Tag. Die empfohlene Menge, die ein Mensch täglich trinken sollte liegt zwischen 2.7 (Frauen) und 3.7 (Männer) Liter Wasser. Dabei stammen 80% von getrunkenen Flüssigkeiten und ungefähr 20% von konsumierter Nahrung. Die benötigte Wassermenge kann bei erhöhter physischer Aktivität höher sein (National Academy of Sciences. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board, Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate, 2004).

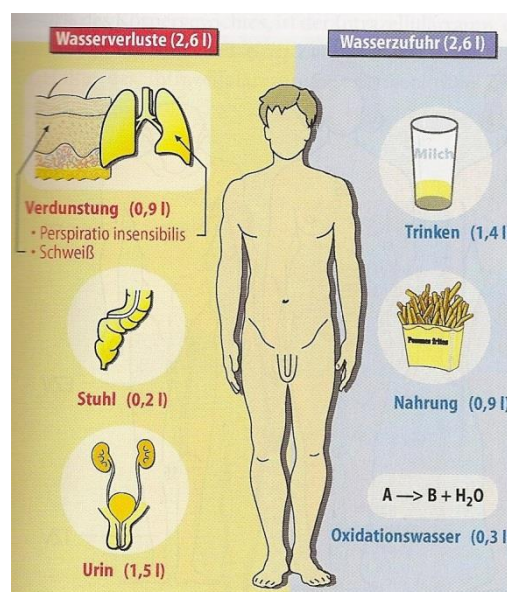


Abbildung 2: Tägliche Wasserbilanz des Menschen (Schmidt & Lang 2007, S. 721)

2.2.2 Makronährstoffe

Proteine

Eiweisse enthalten Aminosäuren, die zum Aufbau körpereigener Proteine und anderen metabolisch aktiven Verbindungen gebraucht werden. Man unterscheidet hier essentielle und nicht-essentielle Aminosäuren. Erstere Aminosäuren müssen über die Nahrung dem Körper zugefügt werden, da diese Aminosäuren vom Körper selbst nicht aufgebaut werden können. Letztere Aminosäuren können vom Körper metabolisiert werden. Eiweiss kommt im Körper in vielen verschiedenen Formen vor, beispielsweise als wichtiger Bestandteil des Muskelgewebes oder Enzyme. Vier Formen machen dabei ungefähr 50% aus: Myosin, Aktin, Kollagen² und Hämoglobin. Der durchschnittliche Tagesbedarf einer erwachsenen Person beträgt etwa 0.8g Protein pro kg Körpergewicht. Es gibt dabei verschiedene Proteinqualitäten, man spricht dabei von biologischer Wertigkeit. Die biologische Wertigkeit des Proteins gibt an, in welchem Mass die im Nahrungseiweiss enthaltenen Aminosäuren genutzt werden, um körpereigene Proteine herstellen zu können. Proteinlieferanten mit hoher biologischer Wertigkeit sind Eier, Milch, Fleisch und Fisch (Schmidt & Lang 2007).

Kohlenhydrate

Kohlenhydrate sind die wichtigste Nahrungsquelle des Menschen und sollten im Schnitt 50-70% der Energiezufuhr ausmachen. Kohlenhydrate lassen sich in verschiedene Gruppen einteilen, abhängig von deren chemischen Struktur: Monosaccharide (Einfachzucker), Disaccharide (Zweifachzucker), Oligosaccharide (mehrere gleiche oder verschiedene Monosaccharide) und Polysaccharide (Mehrfachzucker) (Dulloo 2009). Wenn Kohlenhydrate aufgenommen werden, steigt der Blutglukosespiegel und es entsteht eine Insulinantwort im Körper. Diese Antwort fällt je nach Nahrungsmittel und je nach Verarbeitungsgrad des Nahrungsmittels sehr unterschiedlich aus. Man spricht dabei auch von einem glykämischen Index. Je höher die Insulinantwort des Körpers auf den veränderten Blutglukosespiegel ist, desto höher wird das Nahrungsmittel (Siehe Tabelle 3: Nahrungsmittel und deren

² Kollagen: Strukturprotein der Haut.
Schmidt & Lang 2007

durchschnittlicher glykämischer Index) im glykämischen Index bewertet (Schmidt & Lang 2007).

Tabelle 3: Nahrungsmittel und deren durchschnittlicher glykämischer Index (Atkinson, Foster-Powell, Brand-Miller 2008)

Kohlenhydratreiche Nahrungsmittel	Frühstückszerealien	Früchte und Fruchtprodukte	Gemüse
Weissbrot (75) Weizenvollkornbrot und Vollkornbrot (74) Reis (73) Vollkornreis (68) Spaghetti (49) Vollkornspaghetti (48)	Cornflakes (81) Instant Haferbrei (79) Hirsebrei (67) Müesli (57)	Wassermelone (76) Ananas (59) Banane (51) Orangensaft (50) Orange (43) Apfelsaft (41) Apfel (36)	Kartoffelstock (87) Gekochte Kartoffel (78) Gemüsesuppe (48) Gekochte Karotten (39)
Milchprodukte	Hülsenfrüchte	Snacks	Zuckerarten
Reismilch (86) Eiscreme (51) Früchtejoghurt (41) Vollfett Milch (39) Entrahmte Milch (37) Sojamilch (34)	Linsen (32) Kichererbsen (28) Rote Bohnen (24) Sojabohnen (16)	Reis Crackers (87) Popcorn (65) Softdrinks (59) Schokolade (40)	Glukose (103) Honig (61) Fruktose (15)

Fette

Fette haben die höchste Energiedichte aller Lebensmittel und sind deshalb Energielieferanten für den gesamten Stoffwechsel. Fette können Vitamin-Träger für die fettlöslichen Vitamine A, D, E und K sein. Es gibt essentielle Fettsäuren, die notwendiger Weise über die Nahrung aufgenommen werden müssen, da sie der Körper nicht selbst metabolisieren kann. Für Nahrungsmittel sind Fette wichtige Geschmacksverstärker und Texturlieferanten. Aus chemischer Sicht unterscheidet man vor allem zwei grosse Fettgruppen: die gesättigten (keine Doppelbindungen) und die ungesättigten (eine oder mehrere Doppelbindungen) Fettsäuren. Die Position der Doppelbindung wird als ω -Position (omega-Position) bezeichnet. Diese zwei

Fettsäuregruppen findet man in verschiedenen Verhältnissen in Lebensmitteln. In Fisch und pflanzlichen Nahrungsmitteln findet man vor allem einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren. Linolsäure (ω -6) und α -Linolensäure (ω -3) sind zwei essentielle Fettsäuren, die in Pflanzen und Fisch vorkommen. Der Körper benötigt diese zwei Fettsäuren als Struktur lipide (Zellmembran etc.). Die ω -3 Fettsäuren sind vor allem in Fischen vorzufinden. Andere wichtige ω -3 Lieferanten sind Raps- und Leinöl. Omega-6 Fettsäuren hingegen findet man in nahezu allen pflanzlichen Lebensmitteln. Diese zwei essentiellen Fettsäuren haben eine gegenseitige Wirkung und sollten im Verhältnis 5:1 (ω -6: ω -3) zu sich genommen werden (Schmidt & Lang 2007)

Als Richtwert gilt eine tägliche Zufuhr von Fett, die ungefähr 30-35% der Gesamtenergie entspricht. Langkettige gesättigte Fettsäuren sollten die 10% der zugeführten Gesamtenergie nicht überschreiten. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren sollten ungefähr 7% der Nahrungsenergie ausmachen. Mit diesem Mischverhältnis kann einem Anstieg des Blutcholesterinspiegels entgegengewirkt werden (Schmidt & Lang 2007).

2.2.3 Mikronährstoffe

Vitamine

Vitamine sind organische Nährstoffe, welche für den Körper in kleinen Mengen notwendig sind und welche für metabolische und physiologische Funktionen verwendet werden. Es wird zwischen zwei Vitamingruppen unterschieden: die fettlöslichen Vitamine (A, D, E und K) und die wasserlöslichen Vitamine (C, B1, B2, B3, etc.). Jedes Vitamin nimmt im Metabolismus eine spezifische Rolle ein und hat bei Mangel typische Symptome zur Folge (vereinfachte Übersicht in Tabelle 4). Um Vitaminmangel jeglicher Art vorzubeugen, können Vitamine supplementiert werden. Dabei reichert man Grundnahrungsmittel, wie etwa Mehl, Zucker, Salz oder Getreideprodukte mit verschiedenen Vitaminen an. Neben dem Vitaminmangel gibt es auch eine sogenannte Hypervitaminose³. Eine Überversorgung an wasserlöslichen Vitaminen birgt ein wesentlich kleineres Risiko als eine

³ Hypervitaminose: Übermäßige Zufuhr entsprechender Vitamine.
Faller, Schünke, Schünke 2004

Überversorgung fettlöslicher Vitamine. Überzählige wasserlösliche Vitamine werden problemlos über den Urin ausgeschieden. Fettlösliche Vitamine (vor allem die Vitamine A und D) dagegen werden in der Leber gelagert und können ab bestimmten Konzentrationswerten lebensgefährlich werden (Dulloo 2009).

Tabelle 4: Vitamine (Dulloo 2009)

	Vorkommen	Funktion	Mangel
Fettlösliche Vitamine			
Vitamin A	Milchprodukte, Öle, Fleisch, Leber, rotes und grünes Gemüse, gelbe und orange Früchte	Qualität der Zellmembran (Eingeweide, Haut), Sicht in der Dämmerung, Immunantwort	Verminderung der Nachtsicht, Verdickung der Hornhaut
Vitamin D	Fischöle, Milchprodukte, Fleisch	Absorption des Kalziums, Knochen- und Zahnbildung	Rachitis ⁴ , Osteomalazie ⁵
Vitamin E	Pflanzliche Öle, Eier, Getreideprodukte	Antioxidans, Schutz der Zellmembran	Schwächung der Zellmembran von roten Blutkörperchen
Vitamin K	Grünes Gemüse (Spinat, Broccoli), Milchprodukte, Getreide	Blutgerinnung	Begünstigt Blutungen
Wasserlösliche Vitamine			
Vitamin C	Früchte und Gemüse	Kollagensynthese, Eisenaufnahme, Antioxidans, Adrenalinsynthese	Skorbut ⁶ , Müdigkeit, Ödeme, schlechte Wundheilung
Vitamine der B-Gruppe.	Je nach Vitamin: Vollkorngetreide, Hefe, Eier, Milch, Fleisch, Meeresfrüchte	Kofaktor für viele Enzyme	Weniger spezifisch als bei fettlöslichen Vitaminen: Muskelschmerzen, allgemeine Müdigkeit

⁴ Rachitis: Erkrankung des wachsenden Knochens mit gestörter Mineralisation der Knochen. Schmidt & Land 2007

⁵ Osteomalazie: Knochenerweichung bei Erwachsenen durch Vitamin-D oder Calcium-Mangel. Schmidt & Lang 2007

⁶ Skorbut: Vitaminmangelkrankheit bei fehlendem Vitamin C. Symptome: Zahnfleischbluten, Anfälligkeit gegen Infektionskrankheiten, Müdigkeit, schlechte Wundheilung, etc. WHO/NHD/99.11

Mengenelemente

Natrium, Kalium, Chlor, Kalzium, Phosphor und Magnesium bilden die Gruppe der Mengenelemente. Der Bedarf an Mengenelementen ist grösser als der Bedarf an Spurenelementen und somit höher als 50mg pro Tag. Mengenelemente machen ungefähr 5% des Körpergewichts aus. (Dulloo 2009).

Kalzium ist nahezu nur in Knochen und Zähnen vorzufinden. Der Körper einer gesunden erwachsenen Person enthält zwischen 800g und 1kg Kalzium. Es wird empfohlen eine tägliche Kalziumzufuhr von 1000mg zu gewährleisten, oft wird diese Menge dem Körper aber nicht zugeführt. Aus diesem Grund wird Kalzium supplementiert. Eine unzureichende Kalziumzufuhr kann sich durch Osteoporose⁷ äussern. Wichtige Kalziumquellen sind Milchprodukte, Mineralwasser oder Kräuter wie Basilikum und Kerbel (Schmidt & Lang 2007).

Phosphor ist bei der Knochen- und Zahnbildung und beim Säure- und Basenhaushalt beteiligt. Phosphorquellen sind Fleisch, Geflügel, Fisch, Milchprodukte, Vollkornzerealien und getrocknete Früchte. Ein Phosphormangel ist selten, äussert sich aber mit Schwächesymptomen der Knochen und Muskulatur (Dulloo 2009).

Kalium hat seine Funktion beim Wasserhaushalt und beim Säure- Basenhaushalt. Zudem spielt es eine Rolle beim richtigen Funktionieren der Nerven. Fleisch, Gemüse, Datteln, Aprikosen, Bananen und Zitronen gelten als reichhaltige Kaliumlieferanten (Dulloo 2009).

Chlor und Natrium werden in Salz-Form (NaCl) aufgenommen. Chlor und Natrium zusammen sind verantwortlich für den Wasserhaushalt. Chlor alleine ist eine wichtige Komponente für die Bildung von Magensäften. Natrium findet seinen Nutzen bei der Blutdruckregulation. Salz ist in vielen Lebensmitteln versteckt. So findet man beachtliche Salzdosierungen im Brot, in konservierten Speisen, in behandeltem Fleisch, Fertigprodukten und vielen Gewürzen (Dulloo 2009).

Magnesium. Die Magnesiummenge, die sich im menschlichen Körper befindet, liegt bei etwa 20g. Davon sind 60-70% im Skelett, 30-40% im Weichgewebe und 1-3% im Extrazellularraum vorzufinden. Magnesium ist Effektor von etwa 300 Enzymen,

⁷ Osteoporose: Häufige Alters-Erkrankung des Knochens. Gekennzeichnet durch eine Abnahme der Knochendichte durch übermässige raschen Abbau der Knochensubstanz und –struktur.
Schmidt & Lang 2007

insbesondere bei Enzymen und Reaktionen, die einen Phosphortransfer vermitteln. Reichhaltige Magnesiumquellen sind Gemüse, Naturreis und Kaffee (Schmidt & Lang 2007). Ein Magnesiummangel äussert sich durch Muskelkrämpfe und kann Herzrhythmusstörungen hervorbringen (Dulloo 2009).

Spurenelemente

Spurenelemente sind anorganische Bestandteile der Nahrung. Der menschliche Körper benötigt nur sehr kleine Mengen (< 50mg/Tag) an Spurenelementen. Ohne diese kommt es jedoch zu wesentlichen Mangelerkrankungen. Spurenelemente sind wichtige zentrale Kofaktoren für eine grosse Anzahl an Enzymen, sie sind Antioxidantien, Hormonbestandteile und Hämoglobinbestandteil (Dulloo 2009).

Selen ist ein biologisches Antioxidans und hilft bei der Abwehr von reaktiven Sauerstoffverbindungen. Als wichtige Selenquellen gelten Fleisch, Fisch und Ei. Bei Selenmangel kann eine Kardiomyopathie⁸ auftreten (Schmidt & Lang 2007).

Jod wird bei der Herstellung der Schilddrüsenhormone benötigt. Jodquellen sind Meeresfische, Meeresfrüchte und Lebertran (Dulloo 2009). Jod wird häufig industriell hergestellten Produkten wie Salz zugeführt (Schmidt & Lang 2007). Jodmangel führt zu einem Kropf⁹ und Kretinismus¹⁰ (Dulloo 2009).

Eisen ist ein wichtiger Bestandteil des Hämoglobins und somit von grosser Bedeutung für den Sauerstofftransport im Blutkreislauf. Zudem spielt Eisen eine wesentliche Rolle im Immunsystem (Dulloo 2009). Eisen findet man vor allem in Leber, Fleisch, Sesam und Getreideprodukte (Schmidt & Lang 2007).

Fluor ist wichtig für die Stabilität von Knochen und Zähnen. Fluor kommt nur in sehr wenigen Nahrungsmitteln vor. So wird vor allem Zahnpasta Fluor zugesetzt (Schmidt & Lang 2007).

⁸ Kardiomyopathie: Erkrankung des Herzmuskels
Schmidt & Lang 2007

⁹ Kropf: Tastbare oder sichtbare Vergrösserung der Schilddrüse.
Schmidt & Lang 2007

¹⁰ Kretinismus: unbehandelte angeborene Schilddrüsenunterfunktion.
Schmidt & Lang 2007

Zink wirkt bei etwa mehreren enzymatischen Reaktionen mit und hat eine wichtige Bedeutung für das Immunsystem. Zinkquelle sind Austern, Leber und Samen (Schmidt & Lang 2007).

Kupfer hat eine Bedeutung in der Abwehr von reaktiven Sauerstoffverbindungen. Als Kupferlieferanten gelten Nüsse, Kakao, Schokolade und Leber (Schmidt & Lang 2007).

Mangan hilft beim Knochen- und Sehnenwachstum und ist beim Kohlenhydrat- und Proteinmetabolismus beteiligt. Manganquellen sind Tee, Nüsse, Ananas und Vollkornprodukte (Dulloo 2009).

Molybdän kann bei einigen Enzymen deren Aktivität steigern. Es spielt auch eine Rolle im Kohlenhydrat- und Fettmetabolismus. Als Molybdänquellen gelten Milch, Gemüse, Leber und Hülsenfrüchte (Dulloo 2009).

Chrom. Die biologische Funktion von Chrom ist eng mit dem metabolisieren von Kohlenhydraten zu Energie verknüpft. Ein Chrommangel äussert sich in einem gestörten Kohlenhydratmetabolismus (Schmidt & Lang 2007). Generell sind Fleisch, Schalentiere, Fisch, Eier, Vollkornzerealien, Nüsse und einige Obst- und Gemüsesorten gute Chromlieferanten (EUFIC).

2.2.4 Messmethoden zur Bestimmung des Essverhaltens

In meiner Studie will ich, wie bereits angedeutet, den Energiehaushalt bei steigender physischer Aktivität genauer analysieren. Um die Energie, die durch die Nahrung aufgenommen wird, zu qualifizieren und quantifizieren, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Bei den direkten Methoden befragt man die Teilnehmer mit einem Fragebogen was sie für Nahrungsmittel konsumiert haben und in welcher Menge. Eine andere Möglichkeit ist das Ernährungstagebuch. Der überprüfte Zeitraum kann zwischen 24 Stunden und sieben Tagen sein. Den Teilnehmern wird zu Beginn der Messperiode ein Ernährungstagebuch ausgeteilt und sie müssen so genau wie möglich aufschreiben was sie zu welchem Zeitpunkt und in welcher Menge zu sich nehmen. Mit den erhaltenen Informationen lässt sich das Ernährungsverhalten untersuchen. Die Informationen werden dabei in ein PC-Programm eingetragen um

konkrete vergleichbare Zahlen zu erhalten. Die Software berechnet anhand von einer vorgegebener Lebensmittelliste die Brennwerte der durch das Ernährungstagebuch aufgezeichneten Nahrung. Die aktuellen Programme sind dermassen ausgeklügelt, dass die eingenommen Makro- und Mikronährstoffe separat angezeigt werden. Bei dieser Datenerhebungsart ist man vollständig von den Teilnehmern abhängig. Liefern sie wahrheitsgetreue und genaue Angaben zu ihrem Ernährungsverhalten können genaue Analysen vollzogen werden. Leider ist es öfters der Fall, dass die Teilnehmer ungenaue und mit Lücken gefüllte Tagebücher zurückgeben. Es kann auch vorkommen, dass ein Teilnehmer nicht weiss was er gerade am Essen ist. Wenn nicht einmal klar ist was konsumiert wird, dann ist es schlicht unmöglich den verlangten Informationsgehalt wahrheitsgetreu darzustellen. Es gibt jedoch die Möglichkeit das Ernährungsverhalten indirekt zu analysieren. Beobachtet man über einen längeren Zeitraum mit genauen Werkzeugen die Gewichtsentwicklung einer Person, ist es einem möglich Rückschlüsse auf den Energiehaushalt zu ziehen. Legt eine Person während der beobachteten Periode Gewicht an, deutet dies darauf hin, dass ein Energieüberschuss stattgefunden hat. Durch eine genauere Untersuchung der veränderten Körperzusammensetzung lässt sich sogar bestimmen ob fettfreie Masse, von welchem Muskelgewebe ein Bestandteil ist, oder Fettmasse zugelegt wurde. Geht anderseits Gewicht verloren, deutet dies auf ein Energiedefizit hin. Der Organismus muss bestehende Energiereserven anzapfen um die mangelnde Energieversorgung wieder auszugleichen.

2.3 Körperzusammensetzung

2.3.1 Muskelgewebe

Muskeln sind nicht nur da, um dem Körper Bewegung im Raum zu ermöglichen, sondern sie spielen auch eine wichtige Rolle bei der Thermoregulation. Bei jeder Muskelkontraktion wird Energie verbraucht; somit wird nebst der Längenveränderung auch Wärme produziert. Befindet sich der Körper in einer zu kalten Umgebung setzt Muskelzittern (kurze, rasch aufeinander folgende Muskelkontraktionen) ein, um so den Körper zu wärmen (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Die Zellen des Muskelgewebes können elektrisch und chemisch erregt werden. Dabei können sich die Muskelzellen verkürzen (Kontraktion). Dies ist an die Anwesenheit hoher Konzentrationen bestimmter Eiweisstrukturen gebunden, die Myofibrillen (Eiweisstruktur), welche sich bei Erregung (mittels Übertragungstoff) zusammenziehen. Die Muskelzelle erhält ihre Farbe durch Myoglobin. Myoglobin hat eine ähnliche Funktion wie Hämoglobin (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Muskelgewebe wird in zwei Gruppen unterschieden: Das glatte Muskelgewebe und das quergestreifte Muskelgewebe.

Glattes Muskelgewebe findet man vor allem in den Hohlorganen in den Eingeweiden (Magen-Darm-Trakt, Gallenblase, harnableitende Wege, Geschlechtsorgane, Blutgefässe etc.). Das glatte Muskelgewebe wird vom autonomen (vegetativen) Nervensystem kontrolliert. Die Myofibrillen des glatten Muskelgewebes sind weniger genau angeordnet als die des quergestreiften Muskelgewebes, was dazu führt dass glatte Muskulatur langsamer kontrahiert. Mit gleichmässigen Kontraktionen kann beispielsweise Masse (bspw. Darminhalt) transportiert werden. (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Quergestreiftes Muskelgewebe ist viel regelmässiger angeordnet als glattes Muskelgewebe. Diese geordnete Struktur kann mit dem Lichtmikroskop als gleichmässige helle und dunkle Bänder beobachtet werden, welche dem Muskelgewebe den typischen Namen geben. Quergestreiftes Muskelgewebe wird in Skelett- und Herzmuskelgewebe unterschieden (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Die Skelettmuskulatur ist das am stärksten ausgebildete Organ im menschlichen Körper und macht 40-50% des gesamten Körpergewichtes aus und wird durch das willkürliche Nervensystem gesteuert. Beobachtet man den Skelettmuskel etwas genauer, so stellt sich heraus, dass die Muskelfasern und das Bindegewebe in ihren Funktionen eng miteinander verknüpft sind (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Beim Bindegewebe unterscheidet man mehrere Strukturen: Muskelfaszie, Epimysium, Perimysium und Endomysium. Die Muskelfaszie und Epimysium umgeben den Muskel, halten ihn zusammen und verleihen Bewegungsflexibilität. Perimysium und Endomysium strahlen Scheidewände in den Muskel und unterteilen diesen in Faserbündel. Innerhalb dieser Wände verlaufen Nerven und Gefäße, die somit jede einzelne Muskelfaser erreichen können (Faller, Schünke, Schünke 2004). Diese Muskelfasern bilden die funktionellen Einheiten des Skelettmuskels.

Eine Muskelzelle wird von einer Zellmembran (Sarkolemm) begrenzt und ähnelt in seiner Form einem Schlauch. Dieser Zytoplasmaschlauch kann bis zu mehreren Zentimeter lang werden. Jeweils an beiden Enden eines Muskels gehen diese Strukturen in Sehnen über (Faller, Schünke, Schünke 2004).

In jeder Muskelzelle befinden sich zwischen 40 und 500 Muskelspindel. Diese Muskelspindel sind die Rezeptororgane des Muskels und registrieren Veränderungen der Länge des Muskels. Die gemessenen Längenveränderungen werden für weitere Verarbeitung über Nervenbahnen ans Rückenmark gesendet. Am Muskel-Sehnenübergang befindet sich das Golgi-Sehnenorgan, welches die Spannkkräfte des Muskels misst (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Eine jede Muskelzelle besteht aus zahlreichen kontraktile Myofibrillen, die wiederum aus Aktinfilamenten und Myosinfilamenten bestehen. Myosin spaltet die im Adenosintriphosphat (ATP) gespeicherte Energie und nutzt die gewonnene Energie für Muskelkontraktionen (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Als Energiequelle für eine Muskelkontraktion kann einzig das ATP genutzt werden. ATP wird in den Mitochondrien hergestellt: Kohlenhydrate, Fettsäuren oder Proteine fungieren als Brennstoffe. Bei geringer Belastung geschieht dieser Stoffwechselvorgang auf aerober Basis und die Brennstoffe werden somit vollständig zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Bei hoher Leistung kann das Ganze

kurzzeitig ohne Zuhilfenahme von Sauerstoff stattfinden, jedoch entsteht dabei Laktat. Mit der Zeit akkumuliertes Laktat lässt den Muskel ermüden und muss somit über Blutgefäße abtransportiert werden. Da im Muskel wenig ATP gespeichert werden kann, muss bei Bedarf ATP rasch nachgebildet werden können. Neben den Glykogenspeichern kann dabei auf Kreatinphosphat zugegriffen werden. Bei der Aufspaltung von Kreatinphosphat in Kreatin und Phosphat kommt viel Energie frei, die wiederum zur Resynthesierung von ATP genutzt werden kann (Faller, Schünke, Schünke 2004).

2.3.2 Fettgewebe

Fettgewebe ist eine spezielle Form von Bindegewebe. In den Fettzellen werden Lipide, die aus dem Blut aufgenommen werden, gespeichert. Dazu können die Fettzellen Kohlenhydrate auch direkt in Fettspeicher umwandeln. Fettgewebe hat zwei Aufgaben: einerseits dient es als Energiespeicher und andererseits schützt es den Körper vor Kälte (Faller, Schünke, Schünke 2004).¹¹

Bindegewebe kann bei einem Überangebot von Fett dieses aufnehmen und speichern. Handkehrum wird das dort gespeicherte Fett bei Unterangebot wieder freigegeben. Die dafür verantwortlichen Zellen können in einem späteren Überangebot erneut Fett speichern (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Fettzellen bilden sich bereits früh in der Kindheit aus. Diese Fettzellen können zeitlebens dem Körper als potentielle Fettspeicher erhalten bleiben (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Nebst dem oben erwähnten Fett (Speicherfett) existiert auch noch das sogenannte Baufett. Baufett fungiert an gezielten Positionen im Körper als Polstermaterial. So findet man Baufett an der Fußsohle oder etwa am Gesäß. Tritt nun ein länger anhaltender Hungerzustand ein, so können diese Polster als Energiegewinnung genutzt werden. Der Körper greift aber nur in Notsituationen auf die Fettdepots zurück. Greift der Körper auf eben diese Depots zurück, treten typische

¹¹ Schaut man sich die Brennwerte der Tabelle 2 „Makronährstoffe und deren Energiedichte in kcal pro Gramm“ (Seite 8) etwas genauer an, so wird ersichtlich, dass Fett die höchste Energiedichte hat und somit ein ausgezeichneter Energiespeicher ist.

Erscheinungsmerkmale auf, wie etwa tief liegende Augen und eingefallene Wangen (Faller, Schünke, Schünke 2004).

Nebst Speicher- und Baufett kann man im menschlichen Körper auch noch braunes Fettgewebe finden. Die Besonderheit dieser Art von Fettgewebe liegt darin, dass diese Gewebeart viele Mitochondrien aufweist. Dadurch wird die bei der Fettverbrennung gewonnene Energie zur Thermoregulation des Körpers genutzt. Lange wurde vermutet, dass braunes Fettgewebe nur bei Neugeborenen vorzufinden ist. Neuesten Erkenntnissen zufolge man jedoch, dass einige Erwachsene doch noch über aktive braune Fettzellen verfügen (Nedergaard, Bengtsson & Cannon 2007).

2.3.3 Messmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

Muskel- und Fettgewebe eines menschlichen Körpers können auf verschiedene Arten gemessen werden. Es können die Unterschiede der elektrischen Leitfähigkeit der im Körper vorkommenden Gewebearten genutzt werden (bioelektrische Impedanzanalyse), oder der vollständige Körper wird mit Röntgenstrahlung beschossen, um genaueste Messresultate zu erhalten (DXA).

Bioelektrische Impedanzanalyse

Bei der bioelektrischen Impedanzanalyse wird die spezifische Leitfähigkeit unterschiedlicher Gewebetypen genutzt, um die Körperzusammensetzung herauszufinden. Dabei wird über zwei Elektroden, die sich ausserhalb des Körpers befinden, im Körper selbst ein elektromagnetisches Feld aufgebaut. Mit zwei zusätzlichen Elektroden, die sich in diesem Feld befinden, werden der Spannungsabfall und die Phasenverschiebung der Signalspannung gemessen. Fettgewebe hat einen höheren elektrischen Widerstand als fettfreie Masse. Intra- und extrazellulären Flüssigkeitsvolumen jedoch weisen eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit auf. Neben der Zusammensetzung der unterschiedlich leitfähigen Gewebe spielt die Länge und das Volumen des Körpers auch eine wichtige Rolle. Werden doppelwandige Zellmembrane, die im menschlichen Körper vorkommen, unter Strom gesetzt, so weisen sie charakterliche Eigenschaften von Kondensatoren

auf. Indem man Widerstand und Membrankapazitäten misst, können somit Informationen zur Körperzusammensetzung gewonnen werden (Tomczak 2003).

Das Verfahren der bioelektrischen Impedanzanalyse ist sehr anfällig auf einige externe Faktoren. Wird kurz vor der Messung Nahrung zu sich genommen, so kann der berechnete Körperfettanteil bis zu 8.8% daneben liegen (Slinde und Rossander-Hulthén 2001). Wird vor einer Messung intensiv Sport betrieben, erhält man ebenfalls verfälschte Messresultate (Dehghan und Merchant 2008).

DXA

DXA steht für „dual energy X-ray absorptiometry“ (Doppelröntgenabsorptiometrie). Der menschliche Körper wird bei diesem Messverfahren mit Röntgenstrahlen beschossen, um die Körperzusammensetzung zu analysieren.

Mit einem speziellen Gerät werden konstante Röntgenstrahlen-Photonen erzeugt. Stellt man nun ein Material vor den Photonenstrahl, reagieren die Photonen mit den Elektronen des Absorptionsmaterials. Treffen Photonen auf Elektronen, die nur schwach an ihr entsprechendes Atom gebunden sind, kann es sein, dass das Elektron in seiner Umlaufbahn abgelenkt wird. Bei diesem Zusammentreffen wird der Weg des Photons verändert und das Photon verliert ein wenig Energie. Die Wellenlänge des Photons wird vergrößert (Compton-Effekt). Tritt das beobachtete Photon auf ein Elektron mit einer starken Atombindung, kann es sein, dass das Photon seine ganze Energie verliert und sich auflöst. Aufgrund der beiden beschriebenen Wechselwirkungen zwischen Photonen und Elektronen, nimmt die Energie der Photonen kontinuierlich ab, wenn sie das Absorptionsmaterial passieren. Die verlorene Photonenenergie ist dabei abhängig von der Röntgenstrahlenergie, von der Masse pro Fläche und dem Massenschwächungskoeffizienten des Absorptionsmaterials. Elemente mit einer höheren Kernladungszahl schwächen die Energie von Photonen stärker als Elemente mit einer niedrigeren Kernladungszahl. Schwächere Röntgenstrahlen werden immer stärker abgeschwächt als stärkere Röntgenstrahlen. Der Massenschwächungskoeffizient kann somit gebraucht werden, um die Masse pro Fläche des Absorptionsmaterials bei bekannter Röntgenstrahlenergie zu berechnen.

Wird nun beispielsweise eine Knochenprobe mit einem DXA-Gerät durchleuchtet, und setzt man nun die abgegebene Röntgenstrahlungsenergie, die „herauskommende“ (=nach dem Auftreffen auf das Absorptionsmaterial) Röntgenstrahlenergie, den Massenschwächungskoeffizient und die Masse pro Fläche in Verhältnis, erhält man die Massenbelegung des gemessenen Knochengewebes.

Möchte man die Körperzusammensetzung des menschlichen Körpers analysieren, durchdringt der Röntgenstrahl verschiedene Gewebetypen. Ein einziger Röntgenstrahl kann die verschiedenen Gewebetypen und die damit einhergehenden verschiedenen Massenschwächungskoeffizienten nicht unterscheiden. Es muss deshalb ein zweiter Röntgenstrahl hinzugezogen werden. Das Körpergewebe wird dabei in Fettmasse, fettfreie Masse und Knochenmasse eingeteilt. Je nachdem was gerade gemessen wird, werden die verschiedenen Gewebearten zu einander in Relation gesetzt. Setzt man in einem Zweikomponenten-System den Massenschwächungskoeffizienten der schwächeren Röntgenstrahlung mit dem Massenschwächungskoeffizienten der stärkeren Röntgenstrahlung in Verhältnis und kennt man die Massenschwächungskoeffizienten der verschiedenen Komponenten, ist es möglich den Massenanteil jeder einzelnen Komponenten zu bestimmen.

Die Messresultate, die mit dem DXA-Verfahren erhalten werden, sind im Gegensatz zur ersteren Methode äusserst präzise (Methods of Body Composition Analysis Tutorials)

2.4 Energieumsatz

2.4.1 Grundumsatz

Der Wirkungsgrad der körpereigenen Energiegewinnungsprozesse beträgt 25% und ist vergleichbar mit dem Wirkungsgrad der Verbrennungsmotoren in der Automobilindustrie. Dies bedeutet, dass rund 75% des Energieumsatzes in Wärme umgewandelt wird (Schmidt & Lang 2007).

Um den Erhalt der Zellstrukturen, die Funktionsbereitschaft der Zellen und der Energiebedarf der ständig aktiven Organe wie Herz und Lunge zu gewährleisten, stellt der menschliche Organismus dem Körper kontinuierlich Energie zur Verfügung (Marées 2003).

Je nach Tätigkeit, Tageszeit, Nahrungsverhalten und Umgebungstemperatur verändert sich der Energieumsatz eines Menschen, was vergleichbare Messungen erschwert. Um diese Variabilität auszuschliessen, werden vier Standardbedingungen benutzt. Das Grundumsatzmessverfahren hat folgende Charakteristiken: Der Grundumsatz wird jeweils am Morgen gemessen, so dass alle Messungen am gleichen tageszyklischen Moment erfolgen, da Messungen je nach Tageszeit stark variieren;¹² bei der Messung des Grundumsatzes befindet sich die gemessene Person in nüchternem Zustand, da nach dem Verzehr von Nahrungsmitteln erhöhte Energie verbrauchende Verdauungsprozesse einsetzen; während einer Messung des Grundumsatzes muss sich die Person in körperlicher und geistiger Ruhe, und zudem in liegender Position befinden, da jegliche geistige oder physische Arbeit den Energieumsatz erhöht; letztendlich ist es wichtig, dass während einer Grundumsatzmessung Behaglichkeitstemperatur vorherrscht, da zu tiefe Temperaturen den muskulären Energieumsatz (Kältezittern) erhöhen und zu grosse Wärme die Kreislaufarbeit steigert (Schmidt & Lang 2007).

Der Grundumsatz nimmt mit zunehmendem Alter ab (Abbildung 3). Frauen haben allgemein einen tieferen Grundumsatz als Männer. Der Grundumsatz wird auf die Körpergrösse oder Körperoberfläche bezogen. Ein Mann hat einen durchschnittlichen Grundumsatz von zirka 1700 kcal (Schmidt & Lang 2007). Addiert man zu diesem Grundumsatz den Energieumsatz bei heutiger durchschnittlicher

¹² Ein Energieumsatz Maximum wird am Vormittag erreicht, ein Minimum während der Nacht.

Freizeitgestaltung, so erhält man einen Gesamtumsatz für einen Tag von rund 2300 kcal (Faller, Schünke, Schünke 2004).

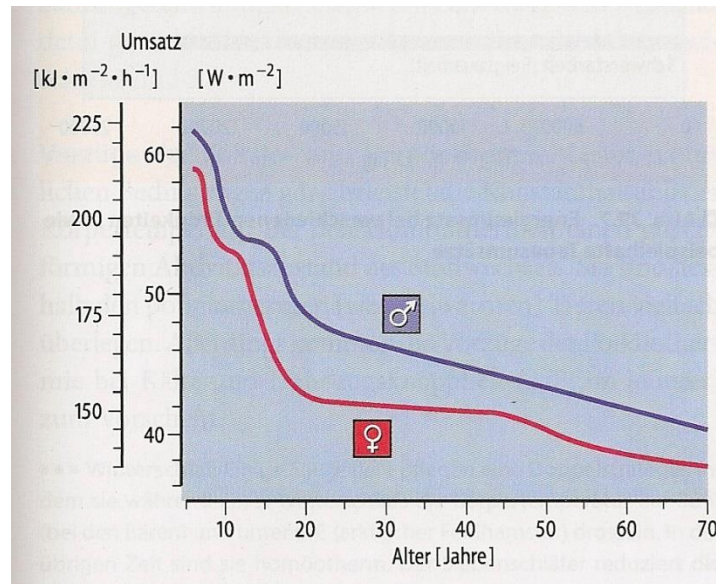


Abbildung 3: Grundumsatz, Einfluss von Alter und Geschlecht (Schmidt & Lang 2007, S. 911)

In dieser Masterarbeit wurde für die Berechnung des Grundumsatzes die Schofield Formel verwendet. Mit der Schofield Formel lässt sich der Grundumsatz in Kalorien für Männer oder Frauen schätzen:

Tabelle 5: Schofield Gleichung nach Alter und Geschlecht¹³

Alter	Mann	Frau
18-30	$0.063 \cdot \text{Gewicht} + 2.896$	$0.062 \cdot \text{Gewicht} + 2.036$
30-60	$0.048 \cdot \text{Gewicht} + 3.653$	$0.034 \cdot \text{Gewicht} + 3.538$
>60	$0.049 \cdot \text{Gewicht} + 2.459$	$0.038 \cdot \text{Gewicht} + 2.755$

Nebst dem Grundumsatz gibt es noch den Ruheumsatz. Er beschreibt den Energieverbrauch einer Person bei völliger Körperruhe ohne dabei jedoch die Einhaltung der Grundumsatzbedingungen zu erfüllen. Der Ruheumsatz ist somit etwa 10-15% höher als der Grundumsatz (Marées 2003).

¹³ Um den berechneten Grundumsatz als Kalorienverbrauch angeben zu können, muss das erhaltene Resultat mit „238.846“ multipliziert werden (The Actiheart User Manual).

2.4.2 Arbeitsumsatz

Zusätzlich zu Grund- und Ruheumsatz wird auch der Arbeitsumsatz gemessen. Dieser ist abhängig von der geleisteten körperlichen Arbeit. Körperliche Arbeit erhöht nämlich den Energiebedarf. Eine Erhöhung des Energiebedarfs durch einen gesteigerten Arbeitsumsatz resultiert in eine Erhöhung des Gesamtumsatzes. Bei leichter Arbeit wie zum Beispiel Schreibtischarbeiten kann sich der Gesamtumsatz auf 2760 kcal pro Tag erhöhen. Bei mittelschwerer körperlicher Arbeit, wie beispielsweise Rasen mähen, kann sich der Gesamtumsatz auf 3680 kcal pro Tag erhöhen. Bei körperlicher Schwerstarbeit (Möbel schleppen) kann sich der Gesamtumsatz auf beachtliche 4600 kcal Verausgabung pro Tag erhöhen (Faller, Schünke, Schünke 2004).

2.4.3 PAL

Der physische Aktivitätsgrad einer erwachsenen nicht schwangeren und nicht laktierenden Person lässt sich mit dem PAL-Faktor (physical activity level oder „Pegel der körperlichen Tätigkeit“) quantifizieren.

$$PAL - Faktor = \frac{Gesamtumsatz / 24 \text{ Stunden}}{Grundumsatz}$$

Mit Hilfe des PAL-Faktors lässt sich der Gesamtumsatz für einen Tag berechnen (siehe Tabelle 6). Um den Gesamtumsatz für den Tag zu berechnen, wird der durchschnittliche PAL-Wert mit dem Grundumsatz multipliziert (Human energy requirements).

Tabelle 6: PAL-Rechenbeispiel: ein junger Mann mit einem Grundumsatz von 1700 kcal, der einer sitzenden Arbeitstätigkeit nachgeht

Tätigkeit	PAL - Faktor
9 Stunden berufliche Tätigkeit	9 * 1.5 = 13.5
8 Stunden Freizeitaktivität	8 * 1.4 = 11.2
7 Stunden Schlaf	7 * 0.95 = 6.65
Summe für 24 Stunden	31.35

Kommentar: Der durchschnittliche PAL ist 31.35 / 24 = 1.31. Gesamtumsatz: 1.31 * 1700 = 2220.65 kcal

2.4.4 MET

Alternativ zur PAL-Klassifizierung der körperlichen Aktivität existiert das MET (eng. metabolic equivalent of task oder metabolisches Äquivalent). Mit Hilfe von MET-Werten verschiedener Aktivitäten können deren Intensität und Energieverbrauch miteinander verglichen werden. Bei Männern entspricht 1 MET dem Umsatz von 3.5 ml Sauerstoff pro Kilogramm Körpergewicht pro Minute oder dem Verbrauch von 1 kcal je Kilogramm Körpergewicht pro Stunde:

$$1 \text{ MET} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * \text{h}}$$

Ein 60 Kilogramm schwerer Mann, der während 40 Minuten Rad fährt hat zum Beispiel folgenden Energieverbrauch: (4 METs * 60 kg Körpergewicht) * (40 min/60 min) = 160kcal (Ainsworth et al. 1993).

2.4.5 DIT

Nebst den Energieumsätzen, die direkt von der physischen Aktivität abhängig sind, misst man auch noch den Energieumsatz, der bei der Verbrennung von Nahrung zustande kommt. Wird dem Organismus Nahrung zugeführt, muss diese auf mechanische und chemische Art verarbeitet werden, um dem Körper Nährstoffe zu zu führen. Diese sogenannte ernährungsbeigeführte Thermogenese (dietary induced thermogenesis oder DIT) entspricht 3%-10% des Gesamtumsatzes (Reed und Hill 1996).

2.4.6 Gesamtumsatz

Der Gesamtumsatz ist die Summe aus Muskeltätigkeit und Energieumsatz für abgegebene Wärme. Die zusätzlich benötigte Energie, die der Organismus bei Regeneration und Wachstum benötigt, ist in diesem Wert nicht beinhaltet (Schmidt & Lang 2007).

Der Gesamtumsatz von Sportlern bewegt sich in der Größenordnung von 6000 kcal pro Tag. Bei Radrennfahrern, die an der Tour de France teilnehmen, können jedoch

Energieverbräuche von bis zu 9000 kcal pro Tag erreicht werden. Dauerleistungen, die mehrere Tage dauern, werden durch die Nahrungsaufnahme limitiert. Als obere Grenze werden hierbei zirka 7200 kcal Energieumsatz pro Tag angegeben (Marées 2003).

2.4.7 Messverfahren zur Bestimmung des Energiehaushaltes

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten um den Energiehaushalt eines Menschen zu bestimmen.

Indirekte Kalorimetrie

Indirekte Kalorimetrie misst den aufgenommenen Sauerstoff, da zur Nahrungsverwertung Sauerstoff benötigt wird. Bei einer approximativen Bestimmung des Energieumsatzes wird angenommen, dass bei einem Liter Sauerstoff 20 kJ Energie gewonnen werden. Dabei stützt man sich auf eine europäische Mischkost. Möchte man den Energieumsatz genauer bestimmen, muss man die Zusammensetzung der verbrannten Nahrung kennen. Jeder Makronährstoff hat ein spezifisches energetisches Äquivalent (=Energie, welche beim Verbrauch eines Liters O₂ produziert wird.) Ist die konsumierte Nahrung unbekannt, lässt sich mit dem respiratorischen Quotienten auch der Energieumsatz berechnen. Beim respiratorischen Quotienten wird die Kohlendioxidabgabe und die Sauerstoffaufnahme in Verhältnis gesetzt, um so auf den energieliefernden Makronährstoff zu schließen. Beispielsweise wird bei der Glukoseverbrennung gleichviel Kohlenstoffdioxid ausgeatmet wie Sauerstoff eingeatmet wird. Der respiratorische Quotient wäre in diesem Fall „1“. Ein Spirometer misst dabei Volumen der Sauerstoffaufnahme und Kohlenstoffdioxidabgabe. Die indirekte Kalorimetrie hat den Vorteil relativ wenig Platz einzunehmen, nicht-invasiv zu operieren und dennoch genaue Messresultate zu produzieren (Schmidt & Lang 2007).

Doubly labeled water

Das Prinzip des „doubly labeled water“-Messverfahrens besteht darin, den überflüssigen Sauerstoffabfluss zu messen. Dieser entspricht dem Unterschied zwischen Sauerstoff- und Wasserstoffumsatz, und ebenfalls der Kohlenstoffdioxid-Produktion. Der Sauerstoffumsatz des Körpers wird primär durch den Wasserfluss, den eingeatmeten Sauerstoff und das ausgeatmete Kohlenstoffdioxid beeinflusst, der Wasserstoffumsatz jedoch nur durch den Wasserfluss. In der Praxis wird dem Körper eine definierte Menge an Sauerstoff- und Wasserstoffisotopen zugeführt, sodass die Umsätze beider Elemente im Körper gemessen werden können. Die Volumen, in welchen die Isotope verteilt sind, und die Ausscheidungsrate geben Auskunft über den Fluss jeglicher chemischen Verbindungen, die diese Markierer tragen und aus dem Körper befördert werden. Aufgrund der exponentiellen Abnahme der Isotope in den Körperflüssigkeiten lässt sich die Ausscheidungsrate eben genannter Isotope quantifizieren. Die Ausscheidungsrate wird berechnet, indem man eine Probe, die kurz nach Zugabe der Markierer erhoben wurde, und mit einer zweiten Probe, die einige Zeit später erhoben wurde, misst und diese beiden Werte mit einer Referenzmessung (Isotopenmessung in der Umgebungsatmosphäre) in Verbindung setzt. Die gemessenen Proben werden dabei eine deutlich höhere Konzentration an gemessenen Isotopen aufweisen als die Referenzmessung. Der gemessene Unterschied zwischen den angereicherten Proben und dem Referenzwert wird für die weiteren Berechnungen verwendet. Die Rate, mit welcher der markierte Sauerstoff und Wasserstoff im Körper umgewandelt wird, ist somit direkt mit der Kohlenstoffdioxidproduktion verknüpft. Ein Mol¹⁴ CO₂ entfernt zwei Mol O₂ und ein Mol H₂O, das den Körper verlässt, entfernt jedoch nur ein Mol O₂. Kennt man Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidverbrauch lässt sich der Energieumsatz berechnen (Speakman 1998).

Actiheart

Beim Berechnen des Energieumsatzes mit dem Actiheart wird die Herzfrequenz mit der Beschleunigung des Oberkörpers in Relation gesetzt. Die gemessene Herzfrequenz und die Beschleunigungswerte werden in ein mehrzweigiges

¹⁴ 1 Mol entspricht 6.02214179e10²³ Atomen (PTB)

Gleichungsmodell (Anhang 3) eingetragen. Jeder Zweig dieses Modells wägt die Aktivität und die Herzfrequenz unterschiedlich. Welcher Zweig des Modells schlussendlich für die endgültige Berechnung gewählt wird, hängt einerseits von der absoluten Aktivität und andererseits vom relativen Herzfrequenzlevel ab (Brage et al. 2005). Die Hauptvorteile der Benutzung des Actihearts liegen in der non-invasiven Datenerhebungsart und in der Portabilität des Gerätes. Somit eignet sich der Actiheart hervorragend für die Bestimmung des Energieverbrauches. Sei es in alltäglichen Aktivitäten wie Geschirrwaschen und Gehen oder Sportarten wie etwa Rennen (Crouter et al. 2008).

3. Studienlage

Im nachfolgenden Abschnitt wird die aktuelle Studienlage betreffend der Thematik der Arbeit in Form von zwei Tabellen dargestellt. Die erste Tabelle befasst sich mit einem allgemeinen Überblick über die Thematik, währenddessen die zweite Tabelle jene Studien zusammenfasst, die eine längere Interventionszeit haben.

Die aufgeführten Studien befassten sich mit normalgewichtigen Erwachsenen und leicht übergewichtigen Erwachsenen, mit der Ausnahme von Mackelvie et al. 2007, die Jugendliche untersuchten. Einige untersuchten Männer sowie Frauen (z.B. Whybrow et al. 2008), einige nur Frauen (z.B. Lluch et al. 1998) und wiederum andere nur Männer (z.B. King et al. 2010). Nur Teilnehmer mit einem normalen Körpergewicht, nach BMI-Einstufung, wurden für die folgenden Studien akzeptiert, mit der Ausnahme von Imbeault et al. 1997, in dieser Studie war der BMI-Wert der Teilnehmer zwischen 19.9 und 27.2. Von den aufgeführten Studien schrieben alle ein Ausdauertraining vor, mit der Ausnahme einer Studie, die zusätzlich noch leichtes Muskeltraining vorgab (Maraki et al. 2005). Die Trainingsvorgaben variieren von Studie zu Studie. So mussten beispielsweise die Studienteilnehmer von Imbeault et al. 1997 auf einem Laufband gehen, wobei die Teilnehmer der Studie Finlayson et al. 2009 auf einem stationären Fahrrad trainierten. Die Intensitätsvorgaben waren je nach Studie sehr unterschiedlich. So mussten bei King et al. 1997 die Probanden auf einem Laufband bei 70% der maximalen Herzfrequenz rennen, oder bei Lluch et al. 1998 mussten die Teilnehmer bei 70% ihrer VO₂max Fahrrad fahren. Die Interventionsdauer der aufgeführten Studien war oft nur von kurzer Dauer. So dauerte die Untersuchungsphase bei Stensel et al. 2010 nur zwei mal 24 Stunden, oder bei Finlayson et al. 2009 war es sogar nur ein einziges Training, welches beobachtet wurde. Die Studien mit einer kurzen Untersuchungsphase, konnten keine signifikanten Veränderungen des Ernährungsverhaltens ausfindig machen, die eine erhöhte Energiezufuhr über die Nahrung beschreiben würde, weder am gleichen Tag, noch an den folgenden Tagen (je nach Studiendesign). Einige Studien (King et al. 2010, Imbeault et al. 1997) fand jedoch heraus, dass Mahlzeiten, welche zeitnah nach einer physischen Aktivität konsumiert werden, ein messbares Energiedefizit aufweisen. Dieser Zustand wird als „Exercise induced anorexia“ beschrieben und bedeutet so viel wie „Trainingsinduzierte Anorexie“. In diesem Zustand weisen die

Teilnehmer eine gewisse Appetitlosigkeit auf, die auf die physische Aktivität zurückzuführen ist. Die Studien von Martins et al. 2007a (6 Wochen) und Whybrow et al. 2008 (16 Tage) dauerten, verglichen zu den anderen Studien, einiges länger und machten entsprechend auch neue Entdeckungen. Martins und sein Forscherteam beschreiben in ihrer Studie, dass die Männer nach einer 6-wöchigen Interventionsdauer Veränderungen in ihrem Ernährungsverhalten ausweisen. Frauen dagegen, würden ihr Ernährungsverhalten selbst nach 6 Wochen trainieren nicht signifikant verändern. Whybrow und sein Forschungsteam haben eine ähnliche Entdeckung gemacht. In ihrer Studie, die 16 Tage gedauert hat, konnten sie aufzeigen, dass Veränderungen sich langsam bemerkbar machen, aber das Energiegleichgewicht noch nicht wieder ausgewogen war.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die untersuchten Studien, die eine kurze Interventionszeit hatten (bis 7 Tage) entweder keine veränderten Werte betreffend Energiegleichgewicht (= Energieausgabe und Energiezunahme) ausfindig machen konnten oder ein Energiedefizit der Energiegesamtbilanz beobachteten (Trainingsinduzierte Anorexie). Schaut man sich jedoch die Studien an, die länger dauerten, nämlich 16 Tage oder mehr, so kann man feststellen, dass ab dieser Zeitdauer die ersten Veränderungen betreffend Energiegleichgewicht beobachtbar sind.

Tabelle 7: Studienübersicht

Studie	Probanden (Anzahl, Geschlecht, BMI)	Art der Energieverausgabung	Studiendauer	Veränderungen im Ernährungsverhalten	Körperzusammensetzung (Messart)	Hypothese
Imbeault et al. 1997	11 Männer (moderat aktiv) 19.9 – 27.2	(1) Laufband Gehen bei 35%VO ₂ max für 2050kJ (2) Laufband rennen bei 75%VO ₂ max für 2050kJ	3 Interventionen 2 Übungen (1) und (2) und 1 Intervention ohne Sport	Total Energieaufnahme: keine signifikante Veränderung Relative Energieaufnahme: (2) grösser reduzierender Effekt auf die Energieaufnahme als (1)	Körperfett(%) 4.6 – 18.4 (Unterwassergewichtung + Siri Formel)	Hypothalamus- Hypophyse-Nebennieren- Bogen erhöht die Adrenocorticotropin und Corticosteron Konzentration im Plasma, die vom Corticoliberin abhängig sind, was wiederum Appetitlosigkeit fördert
King NA & Blundell J 1995	24 Männer Normalgewicht 8	Rennen und Radfahren bei 70%VO ₂ max	k.A.	Kein signifikanter Effekt	k.A.	k.A.
King et al. 1997	Männer (regelmässig aktiv) Durchschnittlicher BMI 22.4	2x Laufband Rennen bei 70%maximale Herzfrequenz für 50min (Total 1200kcal)	2 Trainings während einem Tag, beobachtet während 48 Std. (Ex and Ex+1)	keine	k.A.	Verkettung von metabolischen und Verhaltensveränderungen
Lluch et al. 1998	12 Frauen (regelmässig aktiv) 19.9-24.9	2x Radfahren bei 70% VO ₂ max für 50min	4 überwachte Tage	keine	Körperfett (%) 22.2 – 29.7 (nüchtern mit Biowiderstand-Technik)	Verhaltensfaktoren

Studie	Probanden (Anzahl, Geschlecht, BMI)	Art der Energieverausgabung	Studiendauer	Veränderungen im Ernährungsverhalten	Körperzusammensetzung (Messart)	Hypothese
Whybrow et al. 2008	12 6 Männer und 6 Frauen (nicht-aktiv bis moderat aktiv) 24.2 (m) 22.9 (f)	Nex : Kontrollgruppe	16 Tage Intervention Trainings während Tag 3 bis 16	Energieaufnahme beginnt nur nach 1 bis 2 Wochen die Energieverausgabung zu verfolgen	Körperfett (%) 19.3 (m) 29.9 (f) Kalliper + Siri Formel	Gleichgewicht des Wasserhaushalts wichtiger als Energiebilanz
		Mex : Mittlere Intensität : 2x 40min/Tag bei 28.6kJ/kg Verausgabung				
		Hex: Hohe Intensität : 3x 40min/Tag bei 57.1kJ/kg Verausgabung Primär auf einem stationären Fahrrad, einige auf einem Laufband				
Stubbs et al. 2002a	6 Männer (nicht- aktiv bis regelmässig aktiv) 19 - 26	Nex : Kontrollgruppe	9 Tage Intervention Trainings zwischen Tag 3 bis 9	keine	k.A.	k.A.
		Mex : Mittlere Intensität 2x 40min/Tag für 21.4kJ/kg/Tag Verausgabung				
		Hex : Hohe Intensität: 3x 40min/Tag für 42.8kJ/kg/Tag Verausgabung Radfahren				

Studie	Probanden (Anzahl, Geschlecht, BMI)	Art der Energieverausgabung	Studiendauer	Veränderungen im Ernährungsverhalten	Körperzusammensetzung (Messart)	Hypothese
Strubbs et al. 2002b		Nex : Kontrollgruppe				
	6 Frauen 21.4	Mex : Mittlere Intensität 2x 40min/Tag für 21.4kJ/kg/Tag Verausgabung Hex : Hohe Intensität: 3x 40min/Tag für 42.8kJ/kg/Tag Verausgabung	9 Tage Intervention Trainings zwischen Tag 3 bis 9	Energieaufnahme signifikant anders zwischen Kontrollgruppe und Gruppe mit intensiven Trainings. 30% Kompensation der Energieaufnahme für eine erhöhte Energieverausgabung.	k.A.	Entspannung der kognitiven Zurückhaltung mag möglicherweise die teilweise Kompensation erklären.
		Radfahren				
Stensel et al. 2010	9 Männer 23.6	Rennen auf dem Laufband bei 70%VO ₂ max für 90min	2x 24Std Versuch (Übung und Kontrolle)	Keine Veränderungen beobachtbar bei den konsumierten Mahlzeiten einige Stunden nach der Intervention	Körperfett (%) 17.8 Subkutane Hautspaltnmethode + siri Formel	Möglicherweise spielen einige Faktoren die mit Bewegung zusammenhängen eine Rolle und stören den Ghrelin-Metabolismus. Die Mechanismen sind unklar.
Maraki et al. 2005	12 Frauen 21.3	2x 1Std. Aerobic und Muskeltraining mit Musik pro Tag: 10min Aufwärmen, 20min Aerobic, 20min Muskeltraining und 10min cool-down.	2x 24Std Versuch (1x Übung und 1x Kontrolle)	Das Training hat die Tagesenergieaufnahme verändert oder die Energieaufnahme bei der folgenden Mahlzeit. Die relative Energieaufnahme bei der Mahlzeit nach dem Training war gesenkt.	Körperfett (%) 26.8 Dicke der Hautspalte gemessen + Durin & Womersley Formeln	k.A.

Studie	Probanden (Anzahl, Geschlecht, BMI)	Art der Energieverausgabung	Studiendauer	Veränderungen im Ernährungsverhalten	Körperzusammensetzung (Messart)	Hypothese
Martins et al. 2007	12	Intermittierendes Radfahren bei 65% der mit dem Alter berechneten maximalen Herzfrequenz während 60min	2x 24Std Versuch (1x Übung und 1x Kontrolle)	Signifikant erhöhte Energieaufnahme bei der Mahlzeit nach dem Training, aber immer noch negative Gesamtenergiebilanz bei Inbezugsnahme der relativen Energieaufnahme	Nicht gemessen	Erhöhte Energieaufnahme ist möglicherweise mit kognitiven Faktoren der Belohnung verknüpft. « Ich gönne mir was zu essen, da ich aktiv war. » und « sporttreiben macht hunger »
	22					Bewegungsinduzierte Anorexie aufgrund von erhöhten PYY, GLP1 und PP Konzentration während Bewegung
Finlayson et al. 2009	24 Frauen Kompensatoren : 23.6 Nicht- Kompensatoren : 22.0 34	Stationäres Radfahren bei 70%maxHR für 50min	1 Training	keine	Körperfett (%) Kompensatoren : 25.6 Nicht-Kompensatoren : 23.7 Bioelektrischer Widerstand- Methode	Belongs-Mechanismen um Bewegung zu überkompensieren. Antizipierende Antwort -> metabolisches Signal für beispielsweise Ghrelin
Mackelvie et al. 2007	17 normalgewichtige und 17 übergewichtige Jugendliche (Durchschnittsalter 15.6)	1h gehen oder Jogging auf einem Laufband/Fahrrad/Stepper bei 65-75% der maximalen Herzfrequenz	1 Woche, 5 überwachte, konsequente, tägliche, 1Std Aerobic Trainings	Nicht quantifiziert	Nicht gemessen	Individuelle Veränderungen beim appetitregulierenden Hormon : Ghrelin.

Studie	Probanden (Anzahl, Geschlecht, BMI)	Art der Energieverausgabung	Studiendauer	Veränderungen im Ernährungsverhalten	Körperzusammensetzung (Messart)	Hypothese
King et al. 2010	14 Männer 23.4	60min subjektives schnelles gehen auf einem Laufband	2x 8Std Versuch	Keine signifikante Veränderung der Energieaufnahme zwischen Kontrollgruppe und Interventionsgruppe. Relative Energieaufnahme signifikant reduziert bei der Interventionsgruppe verglichen zur Kontrollgruppe	Körperfett (%) 19.2 Kalliper	Umgekehrte Assoziationen zwischen Ghrelin und Triacylglycerol
Martins et al. 2007a	25 11 Männer und 14 Frauen 22.7	Moderate aerobik Übungen bei 65-75% der maximalen Herzfrequenz während 30-45min mindestens 4mal pro Woche Fitnesspass oder stationäres Fahrrad	6-wöchiges Trainings Programm mittlerer Intensität	Männer : Ja Frauen : Nein	Körperfett (%) 23.6 Biowiderstand	Langzeit : Leptin und Insulin Mittelfristig : Glukose und freie Fettsäuren Kurzzeitig : Signale aus dem Verdauungstrakt, die nach der Nahrungsaufnahme aber vor der Absorption entstehen.

Studie	Probanden (Anzahl, Geschlecht, BMI)	Art der Energieverausgabung	Studiendauer	Veränderungen im Ernährungsverhalten	Körperzusammensetzung (Messart)	Hypothese
Pomerleau et al. 2004	13 Frauen 22.2	Laufband gehen bei 40% oder 70%VO ₂ max für 350kcal	2 Interventionen: LIE (Mahlzeit mit wenig Fett) und HIE (Mahlzeit mit viel Fett) + 1x Kontrolle	Energiezufuhr höher bei Mahlzeit mit viel Fett Relative Energieaufnahme bei LIE und HIE tiefer als Kontrollgruppe Tagesenergieaufnahme erhöht bei HEI verglichen zur Kontrollgruppe	Körperfett (%) 25.3 Bioelektrischer Widerstand	keine

Tabelle 8: Studienübersicht - Studien mit längerer Dauer

Studie	Probanden (Anzahl, Geschlecht, BMI)	Art der Energieverausgabung	Studiendauer	Verändertes Ernährungsverhalten	Körperzusammensetzung (Messart)	Hypothesis	
Martins et al. 2007a	25	Moderate Aerobic Übungen bei 65-75% der maximalen Herzfrequenz während 30-45min mindestens 4mal pro Woche	6-wöchiges Trainings Programm mittlerer Intensität	Männer : Ja Frauen : Nein	Körperfett (%) 23.6 Biowiderstand	Langzeit : Leptin und Insulin	
	11 Männer und 14 Frauen					Mittelfristig : Glukose und freie Fettsäuren	
	22.7					Kurzzeitig : Signale aus dem Verdauungstrakt, die nach der Nahrungsaufnahme aber vor der Asobrtion entstehen.	
		Fitnesspass oder stationäres Fahrrad					
Nex : Kontrollgruppe							
Whybrow et al. 2008	12	Mex : Mittlere Intensität : 2x 40min/Tag bei 28.6kJ/kg Verausgabung	16 Tage Intervention Trainings während Tag 3 bis 16	Energieaufnahme beginnt nur nach 1 bis 2 Wochen die Energieverausgabung zu verfolgen	Körperfett (%) 19.3 (m) 29.9 (f) Kalliper + Siri Formel	Gleichgewicht des Wasserhaushalts wichtiger als Energiebilanz	
	6 Männer und 6 Frauen (nicht-aktiv bis moderat aktiv)	Hex: Hohe Intensität : 3x 40min/Tag bei 57.1kJ/kg Verausgabung					
	24.2 (m) 22.9 (f)						
		Primär auf einem stationären Fahrrad, einige auf einem Laufband					

4. Methodik

4.1 Untersuchungsgruppe

Im Rahmen dieser Studie wurden 30 Männer zwischen 18-40 Jahren gesucht. Die Alterskategorie wurde unter Berücksichtigung der Tatsache gewählt, dass die Nahrungsanforderungen der Personen dieser Altersgruppe stabil sind, also nicht beeinflusst werden durch Wachstum oder Altern (National Academy of Sciences. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board, Dietary Reference Intakes for Macronutrients, 2005). Die Probanden wurden nach folgenden Teilnahmekriterien ausgewählt: Sie sind gesund und leiden nicht an einer chronischen Krankheit, sie sind Nicht-Raucher, sie nehmen keine Medikamente zu sich, haben einen BMI, welcher nicht höher ist als 27 (Normal- und leichtes Übergewicht), sie sind nicht auf Diät und sie haben eine sedentäre Lebensweise. Die Studie beschäftigt sich mit dieser Zielgruppe, da der erwartende Gewichtsverlust, herbeigeführt durch den Energiemehrverbrauch nicht konkret quantifiziert werden kann. Probanden mit einem zu tiefen BMI (<19) würden so durch den zu erwartenden Gewichtsverlust in die Kategorie der Untergewichtigen (<18.5) fallen. Aus ethischen Überlegungen ist dies nicht zumutbar.

4.2 Datenerfassung

4.2.1 Ablauf

Die Studienteilnehmer reisten für eine Basismessung nach Magglingen (Tabelle 7). Bei dieser Messung wurden das Gewicht und die Grösse der Probanden gemessen. Für die Körperzusammensetzung wurden die Probanden gebeten, in einer dafür vorgesehenen Garderobe die Kleider bis auf die Unterwäsche und T-Shirt auszuziehen, jegliche metallischen Gegenstände abzunehmen und sich auf die Liegefläche eines Bodyscanners zu legen. Die reine Scandauer für einen ganzen Körper beträgt, je nach Körpergrösse, bis zu sieben Minuten. Für den ganzen Vorgang mit Kleider aus- und anziehen, richtiges Positionieren auf der Liegefläche und Bodyscann wurde 15-20 Minuten eingerechnet. Für die Messung des täglichen Energieverbrauches wurde ein tragbares Messgerät für jeden Teilnehmer zu diesem Zeitpunkt persönlich kalibriert. Für die Kalibrierung muss ein Steptest absolviert werden. Dabei handelt es sich um einen standardisierten Test, der vom Hersteller des Messgerätes vorgegeben wird. Dieser Test dauert 15 Minuten. Die Basismessung fand eine Woche vor Start der Sportintervention statt und wurde am Ende der Studie exklusive des Steptests nochmals durchgeführt. Nach der Basismessung wurde während sieben Tagen der Energieverbrauch des alltäglichen Lebens aufgezeichnet. Diese Messung des Energieverbrauches wiederholte sich während den ersten neun Tagen der Sportintervention, wiederum für neun Tage in der Mitte der Interventionszeit und während den letzten neun Interventionstagen. Für die Sportintervention wurde ein zusätzlicher Energieverbrauch von ~2500kcal pro Woche angestrebt (Jeffrey et al. 2003). Es wurde von den Studienteilnehmern verlangt, dass sie fünfmal pro Woche jeweils für eine Stunde physisch aktiv sein müssen. Dabei wurde die Intensität der verlangten Intervention so gewählt, dass ~500kcal pro Interventionseinheit erreicht werden. Aus Motivations- und Kontrollgründen wurde den Teilnehmern dreimal pro Woche ein fakultatives einstündiges Sportprogramm angeboten, angeführt durch einen Sportlehrer. Für diese geführten Interventionen wurden abwechslungsweise vordefinierte und standardisierte Bewegungsprogramme angeboten (Siehe Anhang 1).

Tabelle 9: Studienablauf für den Probanden

Studienablauf		
Zeitpunkt und Ort	Informationen	
Eine Woche vor der Intervention (Magglingen)	Basismessung: Alter, Gewicht, Grösse, Körperzusammensetzung (iDXA), Steptest-Kalibrierung + 7 Tage Energieverbrauchsmessung	Messung der körperlichen Aktivität
Intervention:		
Woche 1-2	9 Tage Energieverbrauchsmessung + 5 Interventionen pro Woche	
Woche 3	5 Interventionen pro Woche	
Woche 4-5	9 Tage Energieverbrauchsmessung + 5 Interventionen pro Woche	
Woche 6	5 Interventionen pro Woche	
Woche 7-8	9 Tage Energieverbrauchsmessung + 5 Interventionen pro Woche	
Ende Woche 8. (Magglingen)	Endmessung: Gewicht, Grösse, Körperzusammensetzung (iDXA)	

4.2.2 Instrumente

Lunar iDXA Bodyscanner

Die Körperzusammensetzung wurde mit der „dual-energy X-ray absorptiometry“ (DXA) Technik gemessen und als Messgerät kam der Lunar iDXA Scanner (GE Healthcare, Madison, WI, USA) zum Einsatz. Dieses Gerät wurde bereits in früheren Studien validiert (Variationskoeffizient von 0.5 und 0.6%) (Hind et al. 2011). Die Ganzkörperuntersuchungen wurden gemäss Herstellerangaben durchgeführt. Körperfett, fettfreie Masse sowie Knochenmineralgehalt wurden mit der entsprechenden Software (enCore version 11.10; GE Healthcare, Madison, WI, USA) untersucht. Fettfreie Masse und Fett wurden über die unterschiedliche Absorption der beiden Strahlen-Energielevel in den beiden Gewebetypen ermittelt. Da das Gerät mit Röntgenstrahlen arbeitet, wurden die Teilnehmer einer sehr geringen Strahlendosis ausgesetzt. Die Dosis beträgt pro Ganzkörper-Scan zirka 20 μ Sv. Zum Vergleich kann man die Strahlendosis eines transatlantischen Linienfluges von Zürich nach New York erwähnen, nämlich zirka 50 μ Sv (DEXA-Information für Patienten).

Actiheart

Für die Messung des täglichen Energieverbrauchs wurde ein nicht-invasives, leichtes, wasserfestes Gerät (Actiheart, Cambridge Neurotechnology Ltd, Papworth, United Kingdom), welches durch zwei EGG-Elektroden oder mit einem Traggurt am Brustkorb der Versuchsperson befestigt ist und Tag und Nacht getragen wird, verwendet. Der Actiheart zeichnet alle 15 Sekunden die Herzfrequenz- und die Körperbeschleunigung auf. Die Schlafherzfrequenz (SHR) wurde für die individuelle Anpassung des Actiheart gebraucht. Für die Berechnung der Herzfrequenz während des Schlafens wurde der arithmetische Mittelwert von den 60 tiefsten Herzfrequenz-Messungen einer Nachtphase berechnet. Der Durchschnitt von drei nacheinander folgenden Nachtmessungen gilt dabei als ermittelte Schlaf-Herzfrequenz. Mit Hilfe dieser Daten berechnet der Actiheart den totalen Energieverbrauch (TEE oder Gesamtumsatz) und den Energieverbrauch während der Aktivität (AEE oder Arbeitsumsatz). Der TEE wird berechnet aus der Summe von AEE, RMR (Ruheumsatz) und DIT (Dietary Induced Thermogenesis; zirka 10% von TEE). Um die Intensität der physischen Aktivität anzugeben wurden MET-Werte verwendet. MET-Werte wurden aus einem Vielfachen des RMR berechnet.

Actiheart Step Test

Der Actiheart wurde für jede Person individuell kalibriert. Dazu wird ein standardisierter Steptest verwendet. Die Versuchsperson musste auf ein 215mm hohes Stepplement auf- und absteigen, dabei musste die Trittfrequenz kontinuierlich von 15 auf 33 Mal pro Minute erhöht werden. Die dabei gebrauchte Massen-spezifische Arbeitsenergie wurde mit folgender Formel berechnet: $9.81 \text{ m/s}^2 \times \text{Tritthöhe (m)} \times \text{Trittfrequenz (wie oft der Körper auf die Treppe gehoben wurde)}$, ausgedrückt in Joules/min/kg. Um den Zusammenhang zwischen Energie und Herzfrequenz zu berechnen, wird eine lineare Regression verwendet. Der Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Energieverbrauch wird von der Actiheart Software genutzt um den TEE und AEE zu berechnen.

6-Tages-Diät-Aufzeichnung

Das Essverhalten und der Alkoholkonsum wurden mit einer 6-Tages-Diät-Aufzeichnung festgehalten. Dabei mussten die Teilnehmer jeweils, während derselben Zeitspanne zu der sie den Actiheart trugen, für 6 Tage ein Ernährungstagebuch führen (Siehe Anhang 2). Eine ausgebildete Ernährungsberaterin erklärte jeder Versuchsperson einzeln, wie das „Ernährungstagebuch“ geführt werden muss. Die Versuchspersonen mussten ausführlich beschreiben, was sie essen und trinken (Markenname), und wie diese Nahrungsmittel zubereitet wurden. Um die erhaltenen Daten über das Essverhalten zu analysieren wird das „EBIS“-Programm (Dr. Jürgen Erhardt, 2013) genutzt.

Statistische Analyse

Mittelwert und Standardabweichung werden für alle Messwerte angegeben. Ein gepaarter t-test wird verwendet um Gewicht, BMI, und Körperzusammensetzung der Basismessung mit der Messung am Ende der Studie zu vergleichen. Lineare Mixed Models wurden verwendet um Unterschiede zwischen den Messwiederholungen für den Energieverbrauch und –aufnahme und die körperlichen Aktivität zu untersuchen. Alle statistischen Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics 19 (SPSS Inc, Chicago Illinois, USA) durchgeführt.

5. Resultate

In diesem Teil der Arbeit werden die wichtigsten gefundenen Resultate der Studie als Tabellen präsentiert. Die Variablen, die nicht in diesem Abschnitt der Arbeit behandelt wurden, sind im Anhang 4 vorzufinden.

Die Gesamtheit der gefundenen Resultate wurde auf ihre Übereinstimmung nach Wahrscheinlichkeitsverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) überprüft. Alle Variablen weisen eine Normalverteilung auf!

Tabelle 10: Physiologische Merkmale der Probanden in der Kontrollgruppe (n=9) und in der Interventionsgruppe (n=27). Die Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.

	Kontrollgruppe (n=9)	Interventionsgruppe (n = 27)
Alter	30.78 \pm 7.92	27.81 \pm 7.01
Gewicht (kg)	76.23 \pm 11.64	80.01 \pm 8.20
Grösse (cm)	182.77 \pm 4.38	181.00 \pm 8.14
BMI (kg/m ²)	22.81 \pm 3.19	24.45 \pm 2.23

Die Interventionsgruppe (n=27) kann in zwei Untergruppen aufgeteilt werden: BMI<24.99 (n=15) und BMI>25.00 (n=12). Für einen direkten Vergleich zwischen diesen zwei Untergruppen kann die Tabelle 15 im Anhang 4 konsultiert werden. Nach Beseitigung ungültiger oder mangelnder Daten blieben bei der Kontrollgruppe 9 brauchbare Datensätze.

Tabelle 11: Körperzusammensetzung der Probanden in der Interventionsgruppe (n=27) am Start („baseline“) und am Ende (nach 2 Monaten Intervention). Die Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.

	Start	Ende
Gewicht(kg)	80.01 \pm 8.20	79.09 \pm 8.64*
BMI(kg/m ²)	24.45 \pm 2.23	24.17 \pm 2.39*
KF(%) oKM	24.80 \pm 5.76	23.50 \pm 5.71*
KF(%) GM	23.81 \pm 5.58	22.50 \pm 5.57*
Fettmasse(kg)	19.20 \pm 5.40	17.97 \pm 5.27*
FFM(%) oKM	72.12 \pm 5.34	73.38 \pm 5.33*
FFM(%) GM	76.19 \pm 5.58	77.50 \pm 5.57*
Magermasse(kg)	57.62 \pm 5.92	58.11 \pm 6.30*
BMC(g)	3256.93 \pm 365.88	3260.59 \pm 364.83
BMD(g/cm ²)	1.28 \pm 0.09	1.28 \pm 0.09

*p<0.05, Start ist der gemessene Wert bei der „baseline“ Messung, Ende ist der gemessene Wert am Ende der Intervention nach 2 Monaten, KF(%) oKM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, KF(%) GM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), FFM(%) oKM ist die gemessene fettfreie Masse in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, FFM(%) GM ist die gemessene fettfreie Masse für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), BMC(g) ist die gemessene Knochenmasse in Gramm, BMD ist die gemessene Knochendichte in Gramm pro Quadratzentimeter.

Die gemessenen Variablen der Körperzusammensetzung weisen beim Vergleich zwischen dem ersten Messpunkt „Start“ (=„baseline“) und dem letzten Messpunkt „Ende“ (=nach zweimonatiger Intervention) einen signifikanten Unterschied (p<0.05) auf. Die Probanden der Interventionsgruppe haben im Durchschnitt während diesen zwei Monaten ungefähr ein Kilogramm Körpergewicht verloren (80.01 \pm 8.2 – 79.09 \pm 8.64). Entsprechend hat sich auch der BMI-Wert gesenkt (24.45 \pm 2.23 – 24.17 \pm 2.39). Untersucht man das verlorene Körpergewicht etwas Genauer, so kann man sehen, dass der prozentuale Körperfettanteil, sowohl mit Knochenmasse (24.80 \pm 5.76 – 23.50 \pm 5.71) wie auch ohne (23.81 \pm 5.58 – 22.50 \pm 5.57), sich signifikant verändert hat. Die Probanden haben durchschnittlich ungefähr 1.2kg Fett verloren (19.20 \pm 5.4 – 17.97 \pm 5.27). Die Magermasse hat sich um 500g erhöht (57.62 \pm 5.92 – 58.11 \pm 6.30). Sowohl die Knochenmasse wie auch die Knochendichte hat sich

nicht signifikant ($p > 0.05$) verändert und hatten somit keinen Einfluss bei den gemessenen Körpergewichtsveränderungen.

Tabelle 12: Der Energieverbrauch mit Einbezug der kardiovaskulären Ausdauerleistungsfähigkeit für die Interventionsgruppe (n=27). Die Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.

	Start	Ende	p Wert
AEE(kcal)	1078.46 \pm 314.33	1221.49 \pm 383.86	0.070
PAL	1.75 \pm 0.18	1.84 \pm 0.22*	0.049
VO ₂ max(l O ₂ /min)	42.33 \pm 7.33	47.11 \pm 9.24*	0.004
TEE(kcal)	3280.84 \pm 405.63	3427.31 \pm 472.33	0.097

* $p < 0.05$, Start ist der gemessene Wert bei der „baseline“ Messung, Ende ist der gemessene Wert am Ende der Intervention nach 2 Monaten, p Wert gibt Auskunft über die Signifikanz der Werte, AEE(kcal) („Activity Energy Expenditure“) ist der durch Aktivität herbeigeführte Energieverbrauch, PAL („Physical Activity Level“) ist ein Aktivitäts-Index, VO₂max(l O₂/min) gibt an, wieviel Sauerstoff pro Minute aufgenommen werden kann, TEE („Total Energy Expenditure“) gibt an, wie gross der totale Energieverbrauch ist.

Die Entwicklung des durch Bewegung verursachten Energieverbrauches zeigt keine signifikante Veränderung auf ($p > 0.05$). AEE hat sich aber fast signifikant verändert, wie der p-Wert von „0.070“ aufzeigt. PAL hat sich dagegen signifikant verändert ($p = 0.049$). Der Aktivitätsgrad hat sich von 1.75 signifikant auf 1.84 erhöht. Die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit hat sich im Verlaufe dieser zwei Monate um 4.78 l O₂/min (42.33 \pm 7.33 – 47.11 \pm 9.24) signifikant erhöht. Vergleicht man den TEE-Wert am Start (=„baseline“) und am Ende (nach zwei Monaten), so hat sich dieser Wert nicht signifikant verändert (3280.84 \pm 405.63 – 3427.31 \pm 472.33).

Tabelle 13: Das Ernährungsverhalten der Probanden in der Interventionsgruppe (n=26). Die Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.

	Start	Ende	p Wert
TEI (kcal)	2383.94 \pm 510.83	2365.66 \pm 462.14	0.838
DPI(g)	87.16 \pm 18.85	88.63 \pm 19.19	0.731
DFI(g)	91.71 \pm 23.43	91.66 \pm 21.26	0.992
DCI(g)	247.12 \pm 64.78	255.89 \pm 60.77	0.412

*p<0.05, Start ist der gemessene Wert bei der „baseline“ Messung, Ende ist der gemessene Wert am Ende der Intervention nach 2 Monaten, p Wert gibt Auskunft über die Signifikanz der Werte, TEI („Total Energy Intake“) gibt an, wieviel Energie in kcal pro Tag eingenommen wurde, DPI („Daily Protein Intake“) gibt an, wieviel Proteine in Gramm pro Tag konsumiert wurden, DFI („Daily Fat Intake“) gibt an, wieviel Fett in Gramm pro Tag konsumiert wurde, DCI („Daily Carbohydrate Intake“) gibt an, wieviel Kohlenhydrate in Gramm pro Tag konsumiert wurden.

Das Ernährungsverhalten der Probanden in der Interventionsgruppe, hat sich während der zweimonatigen Interventionsdauer nicht signifikant verändert (p>0.05) wie die Werte zeigen. Die gemessenen Werte sind stabil geblieben (TEI: +18kcal; DPI: +1.47g, DFI: +0.05g; DCI: +8.77g). Die Menge an konsumierten Makronährstoffen ist gleich geblieben.

Tabelle 14: Körperzusammensetzung und Energieverbrauch der Probanden in der Kontrollgruppe (n=9). Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.

	Start	Ende	p-Wert
Gewicht(kg)	76.23 \pm 11.64	75.55 \pm 12.06	0.233
BMI(kg/m ²)	22.81 \pm 3.19	22.59 \pm 3.33	0.196
KF(%) oKM	23.78 \pm 5.38	23.37 \pm 5.62	0.229
KF(%) GM	22.79 \pm 5.25	22.40 \pm 5.48	0.234
Fettmasse(kg)	17.79 \pm 6.50	17.36 \pm 6.58	0.168
FFM(%) oKM	73.05 \pm 4.93	73.40 \pm 5.17	0.265
FFM(kg) GM	77.21 \pm 5.25	77.60 \pm 5.48	0.234
Magermasse(kg)	55.51 \pm 6.57	55.34 \pm 6.83	0.502
BMC(g)	3141.87 \pm 295.24	3143.11 \pm 292.99	0.867
BMD(g/cm ²)	1.22 \pm 0.1	1.22 \pm 0.09	0.871
AEE(kcal)	810.56 \pm 249.33	829.95 \pm 264.49	0.880
PAL(kcal)	1.61 \pm 0.15	1.62 \pm 0.14	0.901

*p<0.05, Start ist der gemessene Wert bei der „baseline“ Messung, Ende ist der gemessene Wert am Ende der Intervention nach 2 Monaten, p Wert gibt Auskunft über die Signifikanz der Werte, KF(%) oKM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, KF(%) GM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), FFM(%) oKM ist die gemessene fettfreie Masse in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, FFM(%) GM ist die gemessene fettfreie Masse für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), BMC(g) ist die gemessene Knochenmasse in Gramm, BMD ist die gemessene Knochendichte in Gramm pro Quadratzentimeter, AEE(kcal) („Activity Energy Expenditure“) ist der durch Aktivität herbeigeführte Energieverbrauch, PAL („Physical Activity Level“) ist ein Aktivitäts-Index.

Wie die Werte der Kontrollgruppe aufzeigen, haben sich diese nicht signifikant ($p>0.05$) verändert. Das Körpergewicht hat sich lediglich um 0.68 kg verändert und weist keine signifikante Änderung auf mit einem p-Wert von „0.233“. Bei genauerer Untersuchung der Körperzusammensetzung wird dieser Fakt bestätigt. Sowohl der prozentuale Körperfettanteil ohne Knochenmasse ($23.78 \pm 5.38 - 23.37 \pm 5.62$), der prozentuale Körperfettanteil mit Knochenmasse ($22.79 \pm 5.25 - 22.40 \pm 5.48$) wie auch die Fettmasse ($17.79 \pm 6.50 - 17.36 \pm 6.58$) haben sich zwischen diesen zwei Messpunkten nicht signifikant verändert. Das fettfreie Gewebe zeigt auch keine signifikanten Veränderungen auf. Die fettfreie Masse ohne Knochenmasse ($73.05 \pm 4.93 - 73.40 \pm 5.17$), die fettfreie Masse mit Knochenmasse ($77.21 \pm 5.25 - 77.60 \pm 5.48$) und die absolut gemessene Magermasse ($55.51 \pm 6.57 - 55.34 \pm 6.83$) blieben in

etwa gleich. Im Verlaufe der zweimonatigen Beobachtungsdauer hat sich die Knochenmasse (3141.87 ± 295.24 – 3143.11 ± 292.99) und die Knochendichte (1.22 ± 0.1 – 1.22 ± 0.09) für die Kontrollgruppe nicht signifikant verändert. Der Aktivitätsgrad der Kontrollgruppe weist wie erwartet auch keine signifikante Veränderung auf. Die Kontrollgruppe kann somit als Kontrolle gebraucht werden.

6. Diskussion

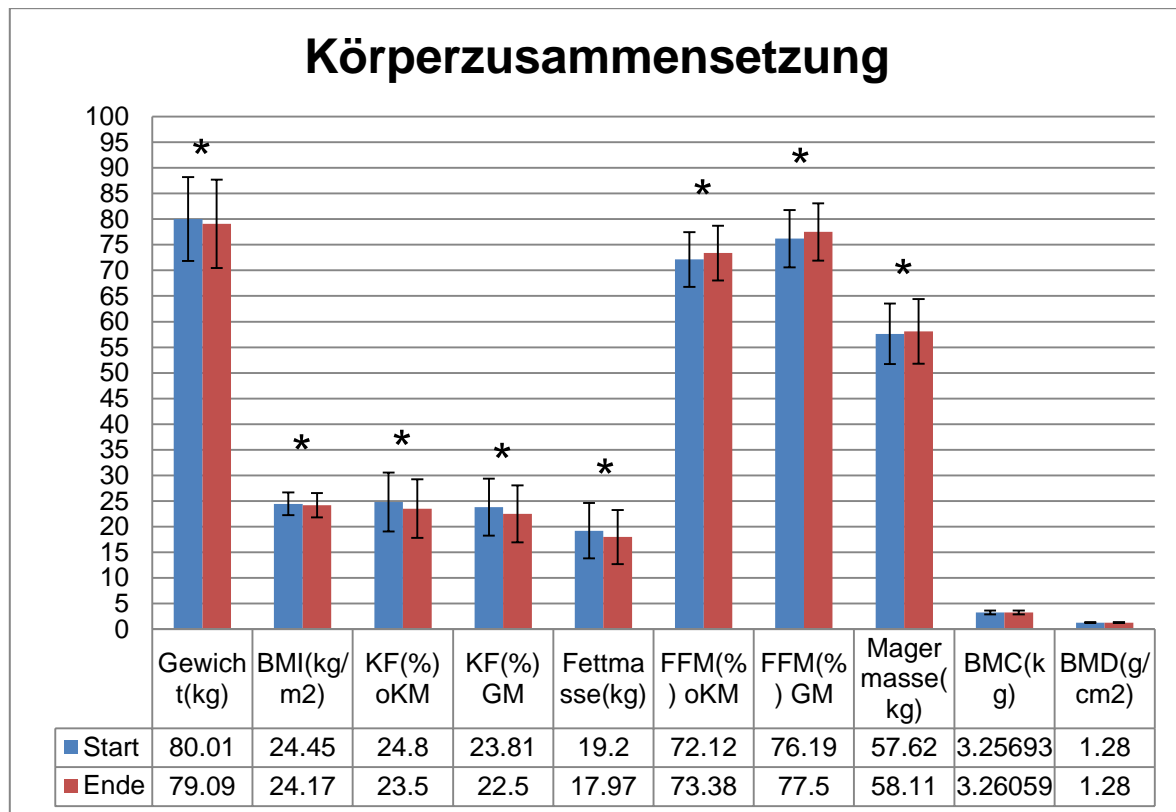
Die Analyse der Resultate hat ergeben, dass 27 Datensätze der Interventionsgruppe und 9 Datensätze der Kontrollgruppe vollständig waren und für die Datenanalyse genutzt werden konnten. Die Datenausfälle waren damit zu erklären, dass zwei Probanden aus der Interventionsgruppe sich aus persönlichen Gründen von der Studie zurückgezogen haben, dass eine Person der Interventionsgruppe aufgrund von Unverträglichkeit der genutzten Elektroden für die Actiheart-Anbringung, besagtes Gerät somit nicht vollständig tragen konnte und dass ein Teilnehmer aus der Kontrollgruppe aufgrund von mangelnder Compliance ausgeschlossen werden musste.

6.1 Energieverbrauch

Vergleicht man den durch Aktivität verursachten Energieverbrauch der Interventionsgruppe zwischen der ersten und der letzten Messphase, sieht man, dass knapp keine signifikante Erhöhung stattgefunden hat. Der Anstieg des täglichen Energieverbrauches beträgt zirka 170kcal. Der angestrebte Mehrverbrauch von 500kcal wurde nicht erreicht. Daraus lässt sich ableiten, dass die Probanden sich nicht so viel bewegt haben, wie es von ihnen erwartet wurde und/oder die erwartete Trainingsintensität nicht erreicht wurde. Die Tatsache, dass den Probanden erlaubt wurde, selbstständig Sport zu treiben, schuf ein Problem bei der Kontrolle. Es war mir schlicht und einfach nicht möglich, alle Probanden genau zu überprüfen, ob sie ihr tägliches vorgeschriebenes Bewegungspensum einhielten oder nicht. Auf der anderen Seite weist PAL eine signifikante Erhöhung auf. Es kann somit gesagt werden, dass die Probanden sehr wohl ihr Aktivitätslevel erhöht haben, aber der tatsächliche Energieverbrauch sich knapp nicht signifikant erhöht hat.

6.2 Körperzusammensetzung

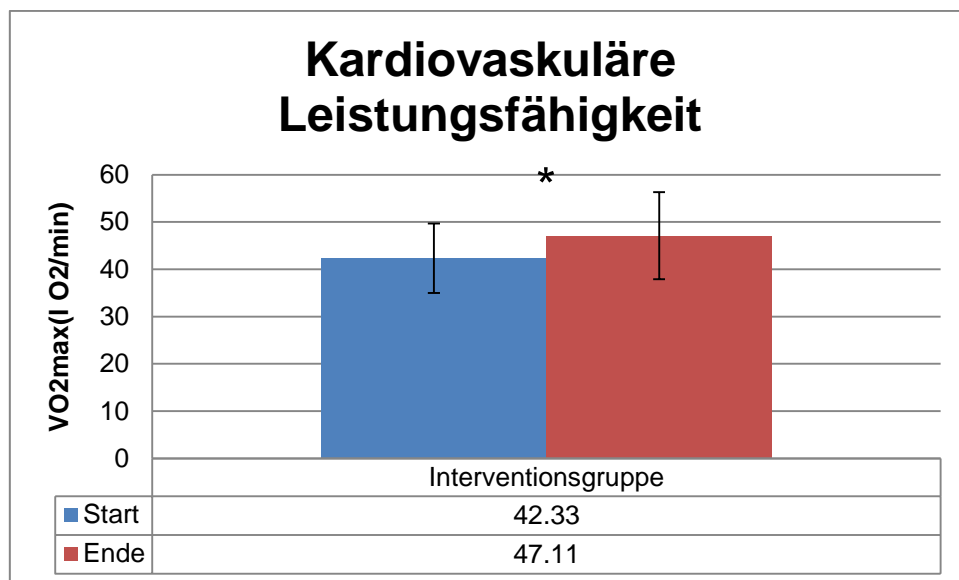
Wie die Auswertung der Messungen der Körperzusammensetzung zeigt, fand trotz einer heterogenen Beobachtungsgruppe (Normalgewichtige und leicht Übergewichtige) ein signifikanter Verlust von Fettmasse statt, mit Tendenz zu einer weiteren Verminderung. Beobachtet man die Entwicklung der Knochenmasse, so wird die Entwicklung der veränderten Fettmasse bestätigt. Die Probanden der Interventionsgruppe haben während der zweimonatigen Interventionsdauer nicht signifikant an Knochenmasse zugelegt oder signifikant Knochenmasse verloren. Die gemessenen Körpergewichtsveränderungen sind ausschliesslich auf veränderte Fett- und Magermasse zurückzuführen! Somit kann gesagt werden, dass das energetische Gleichgewicht (Energieeinnahme und Energieausgabe) nicht erreicht wurde. Hätten die Probanden im Verlaufe dieser zwei Monate ihr energetisches Gleichgewicht wieder erlangt, so wären keine signifikante Verminderung der Fettmasse und erst recht keine Tendenz zu weiterem Fettverlust beobachtbar. Nebst dem signifikanten Verlust von Fettmasse, konnte eine signifikante Steigerung der fettfreien Masse festgestellt werden. Diese Entwicklung lässt sich somit erklären, dass die Probanden vor dem Interventionsstart sich wenig bewegt haben. Aufgrund der vorgeschriebenen Erhöhung des Bewegungspensums mussten sie sich also deutlich mehr bewegen. Die Antwort des Körpers auf den vermehrten Gebrauch des Bewegungsapparates resultierte in einer Zunahme der fettfreien Masse, zu welcher auch die Muskeln gehören.



Grafik 1: Veränderte Körperzusammensetzung der Interventionsgruppe. Start ist der gemessene Wert bei der „baseline“ Messung, Ende ist der gemessene Wert am Ende der Intervention nach 2 Monaten, KF(%) oKM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, KF(%) GM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), FFM(%) oKM ist die gemessene fettfreie Masse in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, FFM(%) GM ist die gemessene fettfreie Masse für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), BMC(g) ist die gemessene Knochenmasse in Gramm, BMD ist die gemessene Knochendichte in Gramm pro Quadratcentimeter.

6.3 Kardiovaskuläres System

Die Probanden der Interventionsgruppe weisen eine signifikante Verbesserung ihres kardiovaskulären Systems auf. Die Analyse der geschätzten $VO_2\text{max}$ Werte der Probanden zeigt eine signifikante Verbesserung. Gesteigerte $VO_2\text{max}$ Werte sind das Produkt eines verbesserten kardiovaskulären Systems (Schmidt & Lang 2007). Der tägliche Mehrverbrauch an Energie von 170kcal wurde mit verschiedenen Ausdauertrainings erreicht. Da bei Ausdauertrainings die Herzfrequenz, die Ventilation und die Muskeldurchblutung deutlich erhöht wird, finden zwingendermassen Adaptionen statt (Schmidt & Lang 2007). Aerobes Training hat zudem auch eine positive Wirkung auf kardiovaskuläre Erkrankungen (Jennings 1995). Somit ist zu erwarten, dass diese positiven Effekte auch für die Probanden dieser Studie gelten.



Grafik 2: Entwicklung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit

6.4 Die Resultate in Zusammenhang mit der bestehender Literatur

Setzt man die Resultate der Messungen des Energieverbrauches und der Körperzusammensetzung in Relation, so zeigt sich, dass der erwartete Punkt, an welchem mehr gegessen wird, um das gestörte Energiegleichgewicht wieder auszugleichen (Melzer et al. 2005), nicht erreicht wurde. Es ist somit zu erwarten, dass dieser Punkt erst in einem späteren Zeitpunkt erreicht werden wird. Bei einer zweimonatigen Intervention mit einem durchschnittlichen täglichen Mehrverbrauch von 170 kcal, geschieht keine Adaptation auf Seite der Ernährung, um den Körper wieder in ein energetisches Gleichgewicht zu bringen. Eine Studie von Blundell et al. 2003 besagt, dass eine Anpassung der Energieaufnahme aufgrund eines veränderten Energieverbrauches bei Normalgewichtigen wahrscheinlicher ist als bei Übergewichtigen, da diese möglicherweise aufgrund ihrer Energiereserven, keine Anpassungsmechanismen aufzeigen, weil die Fettmasse als eine Art Puffer fungiert. Grundsätzlich stimmt die Aussage von Blundell et al. 2003, doch konnte in dieser Studie bewiesen werden, dass sowohl bei Normalgewichtigen wie auch bei leicht Übergewichtigen, die Anpassungen erst später stattfinden. Somit scheinen die Anpassungsmechanismen auch bei sedentären Normalgewichtigen verzögert einzugreifen. In einer anderen Studie (Woo et al. 1982), wird gesagt, dass Kompensationsantworten in der Energieaufnahme, erst nachdem die Fettreserven abgebaut wären, auftreten. Auch hier wieder lässt sich eine ähnliche Beobachtung machen. Es konnte in meiner Arbeit ein ähnlicher Kontrollmechanismus beobachtet werden, einzig mit dem Unterschied, dass dieser Mechanismus sowohl bei sedentären Normalgewichtigen wie auch bei sedentären Übergewichtigen äusserst träge scheint. Die gefundenen Resultate sind auch im Einklang mit Jeffrey et al. 2005. Besagte Studie zeigte auf, dass höhere Aktivitätsgrade (Mehrverbrauch von 2500 kcal / Woche), höhere Gewichtsverluste herbeiführen. Die in dieser Arbeit erreichten 170kcal/Tag gliedern sich im unteren Spektrum an und fördern somit eine langsamere Gewichtsentwicklung, beziehungsweise haben einen kleineren Effekt auf den Energiehaushalt. Das Messresultat über die verminderte Fettmasse zeigt somit auf, dass keine Kompensationsantwort in Bezug auf die Energieaufnahme stattgefunden hat und ist also im Einklang mit den Entdeckungen von Bales et al. 2012. Die Studie von Bales et al. 2012 befasste sich mit Personen, die einen BMI zwischen 25-27 haben und während 8 Monaten Ausdauertraining durchführen

mussten. Die Resultate meiner Arbeit schliessen auf das gleiche Resultat (unveränderte Energieaufnahme) und sind zusätzlich auch noch aussagekräftig für Normalgewichtige. Es ist jedoch zu erwarten, dass dieser Verlust von Fettmasse nicht unendlich lang weitergehen kann. An einem unbekannten späteren Zeitpunkt würde sich wohl die Energiezunahme verändern und die Probanden würden anfangen mehr zu essen.

6.5 Grenzen der Arbeit

Wie in den Resultaten deutlich wurde, war das Einhalten der vorgeschriebenen Trainingsintensität und –dauer ein grosses Problem. Aufgrund der hohen Anzahl an Probanden, war es mir nicht möglich alle einzeln zu kontrollieren. Da ich aus Zeitgründen nicht an jedem Training der Probanden anwesend sein konnte, war es mir nicht möglich genau zu überprüfen ob richtig und genügend trainiert wurde. Zudem herrschte teilweise eine beachtliche geografische Distanz zwischen den verschiedenen Teilnehmern, was eine persönliche Kontrolle der Probanden durch mich noch zusätzlich erschwerte. Eine zusätzliche Grenze der Arbeit war die Erhebung der Nahrungsaufnahme. Als Werkzeug dafür wurde das Ernährungstagebuch gewählt. Es ist jedoch erwiesen, dass Männer wie auch Frauen ihre Energieeinnahme um bis zu 50% unterschätzen (Schöller et al. 1990 zitiert durch Donnelly et al. 2004). Selbst nach genauer Erklärung wie das Ernährungstagebuch geführt werden muss, erhielt ich ungenau ausgefüllte Tagebücher zurück, die eine Auswertung deutlich erschwerten. Aufgrund dieser Tatsache beschlossene meine Co-Betreuerin und ich, die Energieaufnahme indirekt zu bestimmen, indem die Entwicklung der Körperzusammensetzung analysiert wurde.

6.6 Aussichten für zukünftige Untersuchungen

Für zukünftige Untersuchungen mit gleichem Thema ist es sicherlich erstrebenswert, den Punkt zu erreichen, an dem das Energiegleichgewicht wieder erlangt wird. Um diesen Tatbestand erfüllen zu können, existieren zwei mögliche Wege: Entweder wird bei gleichbleibender Energieverausgabung (170kcal/Tag) die Interventionsdauer verlängert, wobei eine genaue Zeitangabe betreffend Verlängerungsdauer jedoch schwierig ist (es bestünde die Möglichkeit, bestehende Studien mit längerer Interventionsdauer als Vergleichswerte herbeizuziehen); oder eine Erhöhung der täglichen Energieverausgabung, wie ursprünglich mit dieser Studie angestrebt. Bei letzter Option müsste jedoch ein ausgeklügeltes Protokoll erschaffen werden, um die Teilnehmer effizient überprüfen zu können. Überlegenswert wäre auch zu untersuchen, ob sedentäre Normalgewichtige und sedentäre Übergewichtige bei einem erhöhten täglichen Energieverbrauch noch stets gleich reagieren.

Ein weiterer interessanter Punkt wäre der konkrete Vergleich zwischen Frauen und Männern. Wie in dieser Arbeit angedeutet (Tabelle 7, Martins et al. 2007a) scheinen Frauen und Männer differenziert auf eine Erhöhung der physischen Aktivität zu reagieren. Ein geschlechterübergreifender Vergleich und die damit einhergehenden Resultate würden es erlauben, geschlechterspezifische Empfehlungen für Gewichtsverlust und oder Gewichtsmanagement zu formulieren.

Für die Zukunft wäre es wünschenswert die bio-chemischen Prozesse, die diesen Wendepunkt herbeiführen genauer verstehen zu können. Um dieses Vorhaben erfüllen zu können, wäre ein Studienprotokoll mit konkreten medizinischen Untersuchungen notwendig. Dabei müssten Blutuntersuchungen durchgeführt werden, um mögliche veränderte Hormonwerte aufzeigen zu können. Die bestehende Literatur schlägt hier intensivere Untersuchungen vor zum Ghrelin Hormon, welches dem Anschein nach eine appetitregulierende Wirkung haben soll (Stengel et al. 2010 und Chen et al. 2009).

In Bezug auf die verwendeten Geräte besteht die Möglichkeit in zukünftigen Arbeiten auf die indirekte Kalorimetrie zurückzugreifen. Die weitere Verwendung von iDXA und Actiheart ist zu befürworten, da diese zwei Geräte für die Messung des Energieverbrauches im Alltag wissenschaftlich anerkannte Resultate liefern.

Wünschenswert wäre auch eine Verknüpfung zwischen psychologischen Verhaltensmustern und dem Einstieg in die Sportwelt in Verbindung zu setzen. Was für eine Rolle spielt „Spass und Freude“ beim Praktizieren von Sport? Inwiefern spielt die psychologische Komponente eine Rolle, um einen aktiven Lebensstil über längere Zeit aufrechtzuhalten. Der menschliche Körper ist nicht eine seelenlose Maschine. Motivation und Engagement (Williams 2013) spielen möglicherweise eine ebenso zentrale Rolle beim Verständnis der Gewichtsregulation wie die physiologischen Aspekte. Somit ist es von enormer Wichtigkeit so viele Aspekte wie möglich vom Gesamtbild zu verstehen, um Empfehlungen für Gewichtsverlusts- und Gewichtsmanagementprogramme formulieren zu können.

7. Schlussfolgerung

Am Schluss dieser Arbeit angelangt, ist es Zeit eine Synthese vom Gefundenen zu erstellen. Durch diese Studie können neue Befunde formuliert werden und es eröffnen sich somit weitere Studienmöglichkeiten für die Zukunft, um diesen Tatbestand noch genauer zu überprüfen.

Die signifikanten Veränderungen, welche in dieser Arbeit aufgezeigt werden konnten, können möglicherweise die zukünftige Herangehensweise an angepasste Gewichtsverlusts- und Gewichtsmanagementprogramme verändern. Wie bereits bestehende Entdeckungen (Martins et al. 2007a und Whybrow et al 2008) suggerieren, hätte in dieser Studie das energetische Gleichgewicht eigentlich wieder eintreten sollen. Ich konnte aber zeigen, dass bei einem täglichen Mehrverbrauch von ungefähr 170kcal, der durch Bewegung erzeugt wird, das energetische Gleichgewicht nicht wieder gefunden wird und dementsprechend ein signifikanter Gewichtsverlust stattfindet. Körperfettreserven werden somit angezapft, um dem Körper die verlangte Energie bereitzustellen. Es ist sogar zu erwarten, dass dieser Zustand des Gewichtsverlierens noch länger anhält. Ein relativ tiefer zusätzlicher Energiemehrverbrauch pro Tag (Jeffrey et al. 2005), könnte somit ein „sanfter“ Gewichtsverlust über eine längere Zeit bewirken. Sanft im Sinne von einer bewältigbaren Erhöhung des Aktivitätslevels, unter Bezugnahme der intrinsischen Motivationsfaktoren (Williams 2013).

Regelmässiges Sporttreiben erfüllt somit zwei fundamentale Voraussetzungen für ein gesundes Leben. Einerseits beugt ein aktiver Lebensstil, wie bereits bekannt war, verschiedene Krankheiten vor (Kopelman 2007; Warburton et al 2006) und neu kann nun auch gesagt werden, dass Sport eine signifikante Rolle beim Gewichtsmanagement spielt. Genügend Aktivität und angepasste Ernährungsberatungen müssen konsequenterweise aufeinander abgestimmt formuliert werden, um für die betroffenen Menschen einen noch grösseren Nutzen erbringen zu können. Es muss jedoch auch erwähnt werden, dass weitere vertiefte Untersuchungen gemacht werden müssen um diese neuen Befunde bestätigen zu können.

8. Danksagung

Diese Arbeit ist das Resultat von viel investierter Zeit. Unzählige Stunden wurden für die Datenerhebung aufgebracht. Das ständige Pendeln zwischen Freiburg und Magglingen erwies sich als kräftezehrend. Es war aber auch die mit den Probanden verbrachte Zeit, die viele lustige und fröhliche Momente hervorgebracht hat und immer wieder neue Energie verlieh, um weiter zu machen.

In erster Linie möchte ich meiner Co-Betreuerin Dr. Katarina Melzer für ihre wertvolle Hilfe und all die Energie, die sie mir geschenkt hat, danken. Ich bedanke mich ebenfalls bei Dr. Urs Mäder, meinem Hauptbetreuer. Ein riesiges Dankeschön geht auch an das wundervolle Sekretariat des Swiss Olympic Medical Center in Magglingen. Ohne deren Flexibilität wären wohl so einige Messungen nicht zu Stande gekommen. Allgemein möchte ich der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen danken, dass ich ihre Lokalitäten und Geräte so grosszügig benutzen durfte.

Allen Probanden möchte ich recht herzlich für ihre Teilnahme an dieser Arbeit danken. Die viele Zeit, die sie in den Sport investiert haben ist keine Selbstverständlichkeit. Ebenfalls für ihre Geduld während den zwei grossen Messungen in Magglingen danke ich bestens. Ohne die Teilnahme dieser Personen wäre es schlicht und einfach nicht möglich gewesen, diese Arbeit zu schreiben.

Meinen Freunden und meiner Familie danke ich für ihre ausserordentliche Unterstützung während dieser emotional geladenen Etappe meines Lebens. Sowohl in guten, wie auch in schwierigen Zeiten haben sie stets an mich geglaubt.

9. Literaturverzeichnis

Bücher

Faller, A., Schünke, M., Schünke, G. (2004). *Der Körper des Menschen – Einführung in Bau und Funktion 14. Aktualisierte und erweiterte Auflage*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag

Marées, H. (2003). *Sportphysiologie*. Köln: Sportverlag Strauss.

Schmidt, RF. (2001). *Physiologie kompakt*. Berlin: Springer-Lehrbuch Verlag

Schmidt, RF. & Lang, F. (2007). *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie 30. Auflage*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

Wissenschaftliche Artikel

Ainsworth, BE. & Haskell, WL. & Leon, AS. & Jacobs, DR. & Montoye, HJ., Sallis et al. (1993). Compendium of Physical Activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(1), 71-80.

Atkinson, FS. & Foster-Powell, K. & Brand-Miller, JC. (2008). International Tables of Glycemic Index and Glycemic Load Values: 2008. *Diabetes Care*, 31 (12), 2281-2283.

Ballard, TP. & Melby, CL. & Camus, H. & Cianciulli, M. & Pitts, J. & Schmidt, S. et al. (2009). Effect of resistance exercise, with or without carbohydrate supplementation, on plasma ghrelin concentrations and postexercise hunger and food intake. *Metabolism Clinical and Experimental*, 58, 1191-1199

Blundell, JE. & Strubbs, RJ. & Hughes, DA. & Whybrow, S. & King, NA. (2003). Cross talk between physical activity and appetite control: does physical activity stimulate appetite? *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 651-661.

Brage, S. & Brage, N. & Franks, PW. & Ekelund, U. & Wareham, NJ. (2005). Reliability and validity of the combined heart rate and movement sensor Actiheart. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59, 561-570.

Chen, CY. & Asakawa, A. & Fujimiya, M. & Lee, SD. & Inui, A. (2009). Ghreline Gene Products and the Regulation of Food Intake and Gut Motility. *Pharmacological Reviews*, 61, 430-481.

Crouter, SE. & Churilla, JR. & Bassett Jr., DR. (2008): Accuracy of the actiheart for the assessment of energy expenditure in adults. *European Journal of Clinical Nutrition*, 62, 704-711.

Dehghan, M. & Merchant, AT. (2008). Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies? *Nutrition Journal*, 7:26.

Durrant, ML. & Royston, JP. & Wloch, RT. (1982). Effect of exercise on energy intake and eating patterns in lean and obese humans. *Physiology & Behavior*, 29, 449-454.

Donnelly, JE. & Smith, B. & Jacobsen, DJ. & Kirk, E. & DuBose, K. & Hyder, M. et al. (2004). The role of exercise for weight loss and maintenance. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 18(6), 1009-1029.

Edholm, OG. & Adam, JM. & Healy, MJ. & Wolff, HS. & Goldsmith, R. & Best, TW. (1970). Food intake and energy expenditure of army recruits. *The British Journal of Nutrition*, 24, 1091-1107.

Farah, NM. & Malkova, D. & Gill, JM. (2010). Effect of exercise on postprandial responses to ad libitum feeding in overweight men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 2015-2022.

Finlayson, G. & Bryant, E. & Blundell, JE. & King, NA. (2009). Acute compensatory eating following exercise is associated with implicit hedonic wanting for food. *Physiology & Behavior*, 97, 62-67.

Hendelman, D. & Miller, K. & Baggett, C. & Debold, E. & Freedson, P. (2000). Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 442-449.

Hills, AP. & Hennig, EM. & Byrne, NM. & Steele, JR. (2002). The biomechanics of adiposity – structural and functional limitations of obesity and omplications for movement. *Obesity reviews*, 3, 35-43.

Hind, K. & Oldroyd, B. & Truscott, JG. (2011). In vivo precision of the GE Lunar iDxA densitometer for the measurement of total body composition and fat distribution in adults. *European Journal of Clinical Nutrition*, 65, 140-142.

Imbeault, P. & Saint-Pierre, S. & Almeras, N. & Tremblay, A. (1997). Acute effects of exercise on energy intake and feeding behavior. *The British Journal of Nutrition*, 77, 511-521.

Jeffrey, RW. & Wing, RR. & Sherwood, NE. & Tate, DF. (2003). Physical activity and weight loss: does prescribing higher physical activity goals improve outcome? *American Journal of Clinical Nutrition*, 78, 684-689.

Jennings, GL. (1995). Mechanisms for reduction of cardiovascular risk by regular exercise. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 22(3), 209-211.

King, JA. & Miyashita, M. & Wasse, LK. & Stensel, DJ. (2010). Influence of brisk walking on appetite, energy intake, and plasma acylated ghrelin. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 485-492.

King, Na. & Lluch, A. & Stubbs, RJ. & Blundell, JE. (1997). High dose exercise does not increase hunger or energy intake in free living males. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51, 478-483.

Kissileff, HR. & Pi-Sunyer, FX. & Segal, K. & Meltzer, S. & Foelsch, PA. (1990). Acute effects of exercise on food intake in obese and nonobese women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 52, 240-245.

Kopelman, P. (2007). Health risks associated with overweight and obesity. *Obesity Reviews*, 8 (Supplement. 1), 13-17.

Liuch, A. & King, NA. & Blundell, JE. (1998). Exercise in dietary restrained women: no effect on energy intake but change in hedonic ratings. *European Journal of Clinical Nutrition*, 52, 300-307.

Maraki, M. & Tsofliou, F. & Pitsiladis, YP. & Malkova, D. & Mutrie, N. & Higgins, S. (2005). Acute effects of a single exercise class on appetite, energy intake and mood. Is there a time of day effect? *Appetite*, 45, 372-278.

- Martins, C. & Morgan, LM. & Bloom, SR. & Robertson, MD. (2007). Effects of exercise on gut peptides, energy intake and appetite. *The Journal of Endocrinology*, 193, 251-258.
- Martins, C. & Truby, H. & Morgan, LM. (2007a). Short-term appetite control in response to a 6-week exercise programme in sedentary volunteers. *The British Journal of Nutrition*, 98, 834-842.
- Melzer, K. & Kayser, B. & Saris, WHM. & Pichard, C. (2005). Effects of physical activity on food intake. *Clinical Nutrition*, 24, 885-895.
- Nedergaard, J. & Bengtsson, T. & Cannon, B. (2007). Unexpected evidence for active brown adipose tissue in adult humans. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism*, 293, E444-E452.
- Pomerleau, M. & Imbeault, P. & Parker, T. & Doucet, E. (2004). Effect of exercise intensity on food intake and appetite in women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80, 1230-1236.
- Reed, GW. & Hill, JO. (1996). Measuring the thermic effect of food. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 63, 164-169.
- Slinde, F. & Rossander-Hulthén, L. (2001). Bioelectrical impedance: effect of 3 identical meals on diurnal impedance variation and calculation of body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74, 474-478.
- Speakman, JR. (1998). The history and theory of the doubly labeled water technique. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 68 (supplement.), 932S-938S.
- Staten, MA. (1991). The effect of exercise on food intake in men and women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 53, 27-31.
- Stengel, A. & Goebel, M. & Wang, L. & Taché, Y. (2010). Ghrelin, des-acyl ghrelin and nesfatin-1 in gastric X/A-like cells: Role as regulators of food intake and body weight. *Peptides*, 31, 357-369.
- Stensel, DJ. & King, JA. & Miyashita, M. & Wasse, LK. (2010). Influence of prolonged treadmill running on appetite, energy intake and circulating concentrations of acylated ghrelin. *Appetite*, 54, 492-498

Stubbs, R.J. & Hughes, D.A. & Johnstone, A.M. & Whybrow, S. & Horgan, G.W. & King, N. et al. (2004). Rate and extent of compensatory changes in energy intake and expenditure in response to altered exercise and diet composition in humans. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 286, R350-358.

Stubbs, R.J. & Sepp, A. & Hughes, D.A. & Johnstone, A.M. & Horgan, G.W. & King, N. et al. (2002). The effect of graded levels of exercise on energy intake and balance in free-living women. *International Journal of Obesity*, 26, 866-869.

Stubbs, R.J. & Sepp, A. & Hughes, D.A. & Johnstone, A.M. & Horgan, G.W. & King, N. et al. (2002a). The effect of graded levels of exercise on energy intake and balance in free-living men, consuming their normal diet. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56, 129-140.

Swartz, A.M. & Strath, S.J. & Bassett Jr., D.R. & O'Brien, W.L. & King, G.A. & Ainsworth, B.E. (2000). Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 450-453,

Tomczak, J. (2003). Körperanalysen: Die bioelektrische Impedanzanalyse BIA. *F.I.T. Wissenschaftsmagazin der Deutschen Sporthochschule Köln*, 1, 8. Jahrgang, 34-40

Warburton, D. & Nicol, C.W. & Bredin, S. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *Canadian Medical Association Journal*, 174 (6), 801-809.

Whybrow, S. & Hughes, D.A. & Ritz, P. & Johnstone, A.M. & Horgan, G.W. & King, N. et al. (2008). The effect of an incremental increase in exercise on appetite, eating behaviour and energy balance in lean men and women feeding ad libitum. *The British Journal of Nutrition*, 100, 1109-1115.

Woo, R. & Garrow, J.S. & Pi-Sunyer, F.X. (1982). Effect of exercise on spontaneous calorie intake in obesity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 36, 470-477.

Williams, L. (2013). Commitment to Sport and Exercise: Re-examining the Literature for a Practical and Parsimonious Model. *Journal of Preventive Medicine & Public Health*, 46, 35-42.

Skript aus einer Hochschule:

Dulloo, AG. (2009). *Nutrition et di  t  tique*. Vorlesungskurs PY0104, medizinisches Departement / Physiologie, Universit  t Freiburg CH.

DEXA-Information f  r Patienten, Bundesamt f  r Sport BASPO, Eidgen  ssische Hochschule f  r Sport Magglingen EHSM

Elektronische Referenzen

The Actiheart User Manual. Camntech. Zugriff am 5. Mai 2013 unter <http://www.salusa.se/Filer/Produktinfo/Aktivitet/TheActiheartUserManual.pdf>

Dietary reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients). National Academy of Sciences. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board, 2005. Zugriff am 5. Mai 2013 unter http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10490&page=1

Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. National Academy of Sciences. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board, 2004. Zugriff am 5. Mai 2013 unter http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10925&page=R1

EUFIC: European Food Information Council. Chrom in der Nahrung. Zugriff am 23. Mai 2013 unter <http://www.eufic.org/article/de/ernaehrungsbedingte-krankheiten/mangel/artid/Chrom-in-der-Nahrung/>

Human energy requirements. Scientific background papers from the joint FAO/WHO/UNO Expert Consultation. October 17-24, 2001. Rome, Italy. Zugriff am 5. Mai 2013 unter <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5686e/y5686e00.pdf>

Lebensmittelpyramide. Zugriff am 06 M  rz 2013, unter <http://www.sge-ssn.ch/de/ich-und-du/essen-und-trinken/ausgewogen/lebensmittelpyramide/>

Methods of Body Composition Analysis Tutorials Zugriff am 13. Mai 2013 unter <http://nutrition.uvm.edu/bodycomp/>

PTB Mitteilungen – Das Internationale Einheitensystem (SI). Fachorgan für Wirtschaft und Wissenschaft. Amts- und Mitteilungsblatt der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig Berlin, Juni 2007. Zugriff am 13. Mai 2013 unter <http://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/DasInternationaleEinheitensystem.pdf>

Schneider, H. & Schmid, A. (2004). Die Kosten der Adipositas in der Schweiz. Bundesamt für Gesundheit (BAG) Bern, Schweiz. Zugriff am 18. Mai 2013 unter http://www.bag.admin.ch/themen/ernaehrung_bewegung/05207/05218/05232/index.html

WHO: „*BMI classification*“. Zugriff am 3. März 2013 unter http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html

WHO: „*Obesity and overweight: Fact sheet N 311*“. Zugriff am 2. März 2013 unter <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/index.html>

WHO/NHD/99.11. *Scurvy and its prevention and control in major emergencies. World Health Organization 1999* Zugriff am 12. Mai 2013 unter http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/WHO_NHD_99.11.pdf

10. Illustrationen

Tabellen:

Tabelle 1: Gewichtsklassifikation nach WHO	4
Tabelle 2: Makronährstoffe und deren Energiedichte in kcal pro Gramm (Dulloo 2009)	5
Tabelle 3: Nahrungsmittel und deren durchschnittlicher glykämischer Index (Atkinson, Foster-Powell, Brand-Miller 2008)	9
Tabelle 4: Vitamine (Dulloo 2009)	11
Tabelle 5: Schofield Gleichung nach Alter und Geschlecht	23
Tabelle 6: PAL-Rechenbeispiel	24
Tabelle 7: Studienübersicht	31
Tabelle 8: Studienübersicht - Studien mit längerer Dauer	37
Tabelle 9: Studienablauf für den Probanden	40
Tabelle 10: Physiologische Merkmale der Probanden in der Kontrollgruppe (n=9) und in der Interventionsgruppe (n=27). Die Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.	43
Tabelle 11: Körperzusammensetzung der Probanden in der Interventionsgruppe (n=27) am Start („baseline“) und am Ende (nach 2 Monaten Intervention). Die Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.	44
Tabelle 12: Der Energieverbrauch mit Einbezug der kardiovaskulären Ausdauerleistungsfähigkeit für die Interventionsgruppe (n=27). Die Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.	45
Tabelle 13: Das Ernährungsverhalten der Probanden in der Interventionsgruppe (n=26). Die Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.	46
Tabelle 14: Körperzusammensetzung und Energieverbrauch der Probanden in der Kontrollgruppe (n=9). Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.....	47
Tabelle 15 Körperzusammensetzung der Probanden in der Interventionsgruppe (n=27). Aufgeteilt in BMI<24.99 (n=15) und BMI>25.00 (n=12). Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.	77

Abbildungen:

Abbildung 1: Lebensmittelpyramide der schweizerischen Gesellschaft für Ernährung (http://www.sge-ssn.ch/de/ich-und-du/essen-und-trinken/ausgewogen/lebensmittelpyramide)	6
Abbildung 2: Tägliche Wasserbilanz des Menschen (Schmidt & Lang 2007, S. 721). 7	
Abbildung 3: Grundumsatz, Einfluss von Alter und Geschlecht (Schmidt & Lang 2007, S. 911).....	23

Grafiken:

Grafik 1: Veränderte Körperzusammensetzung der Interventionsgruppe. Start ist der gemessene Wert bei der „baseline“ Messung, Ende ist der gemessene Wert am Ende der Intervention nach 2 Monaten, KF(%) oKM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, KF(%) GM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), FFM(%) oKM ist die gemessene fettfreie Masse in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, FFM(%) GM ist die gemessene fettfreie Masse für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), BMC(g) ist die gemessene Knochenmasse in Gramm, BMD ist die gemessene Knochendichte in Gramm pro Quadratzentimeter.....	51
Grafik 2: Entwicklung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit	52

11. Persönliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Veröffentlichungen oder aus anderweitig fremden Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.“

Freiburg, den 27. Mai 2013

12. Urheberrechtserklärung

„Der/die Unterzeichnende anerkennt, dass die vorliegende Arbeit ein Bestandteil der Ausbildung, Einheit Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Freiburg ist. Er/sie überträgt deshalb sämtliche Urhebernutzungsrechte (dies beinhaltet insbesondere das Recht zur Veröffentlichung oder zu anderer kommerzieller oder unentgeltlicher Nutzung) an die Universität Freiburg.“

Die Universität darf dieses Recht nur im Einverständnis des/der Unterzeichnenden auf Dritte übertragen.

Finanzielle Ansprüche des/der Unterzeichnenden entstehen aus dieser Regelung keine.

Freiburg, den 27. Mai 2013

13. Anhang

Anhang 1: Informationsblatt Bewegungsprogramme

Anhang 2: Ernährungstagebuch

Anhang 3: Mehrzweigiges Gleichungsmodell

Anhang 4: Interventionsgruppe aufgeteilt in zwei Untergruppen

Anhang 1: Informationsblatt Bewegungsprogramme

- bei den Berechnungen gehen wir von einer Person aus, welche 75 kg wiegt
- wir zielen pro Stunde Sport auf einen Verbrauch von +/- 500 kcal ab
- durch Ausdauersport wird der Mehrverbrauch am ehesten erreicht, dies kann aber auch mit Krafttraining ergänzt und vervollständigt werden
- die nachfolgenden Stunden sind nur Beispiele; ein Training kann auch in einem ähnlichen Rahmen gestaltet werden

1)

Walking 6.4 km/h	à 5 METs	→ 10min	0.84 METs
		=	
Rennen 8 km/h	à 8.3 METs	→ 30min	4.15 METs
		=	
Kräftigen	à 3.5 METs	→ 10min	0.58 METs
		=	
Seilspringen <100/min	à 8.8 METs	→ 10min	1.47 METs
		=	
		=	7.04 METs → ca. 530 kcal

2)

Radfahren 30-50 Watt	à 3.5 METs	→ 10min	0.58 METs
		=	
Radfahren 101-160 Watt	à 8.8 METs	→ 30min	4.4 METs
		=	
Radfahren 30-50 Watt	à 3.5 METs	→ 10min	0.58 METs
		=	
Kräftigen (Liegestütz, Rumpfbeugen, u.ä.)	à 8.0 METs	→ 10min	1.34 METs
		=	
		=	6.9 METs → ca. 517 kcal

3)

Spinning – ‚Stunde‘	à 8.5 METs	→ 50min	7.08 METs
		=	
Kräftigen (stabilisieren)	à 3.5 METs	→ 10min	0.58 METs
		=	
		=	7.66 METs → ca. 575 kcal

4)

Brustschwimmen (entspannend)	à 5.3 METs	→ 15min	1.33 METs
		=	
Crawl (ca. 50m/min)	à 8.3 METs	→ 30min	4.15 METs
		=	
Brustschwimmen (entspannend)	À 5.3 METs	→ 15min	1.33 METs
		=	
		=	6.8 METs → ca. 510 kcal

5)

Badminton	à 5.5 METs	→ 45min	4.13 METs
		=	
Seilspringen <100/min	à 8.8 METs	→ 10min	1.47 METs
		=	
Seilspringen 100- 120/min	à 11.8 METs	→ 5min =	0.59 METs
		=	
		=	6.2 METs → ca. 465 kcal

6)

Rennen 8 km/h	à 8.3 METs	→ 60min	8.3 METs
		=	
		=	8.3 METs → ca. 622 kcal

7)

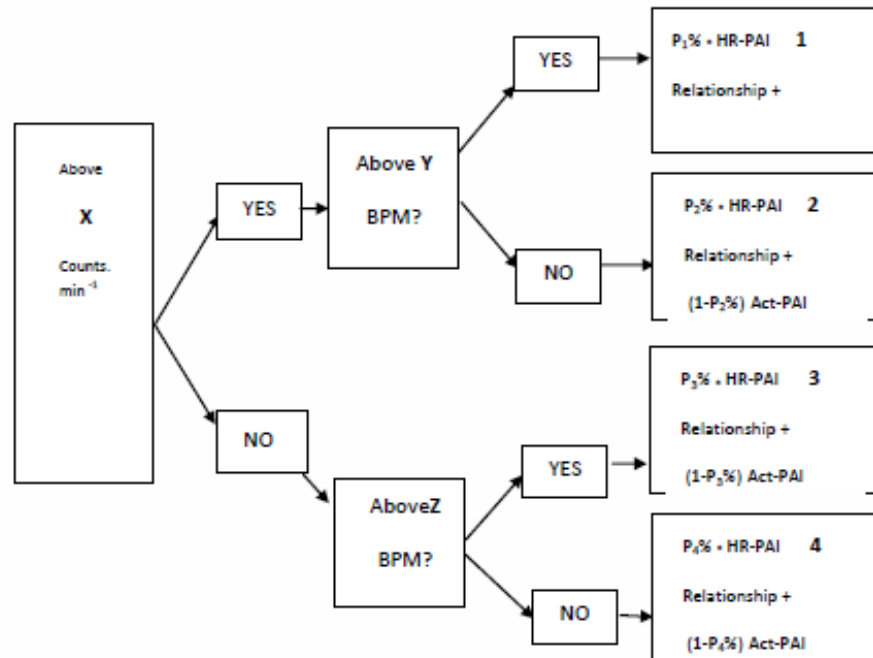
Walking 5.6-6.4 km/h	à 4.8 METs	→ 10min	0.8 METs
		=	
Rudern 100 Watt	à 7 METs	→ 30min	3.5 METs
		=	
Walking 5.6-6.4 km/h	à 4.8 METs	→ 10min	0.8 METs
		=	
Seilspringen <100/min	à 8.8 METs	→ 10min	1.47 METs
		=	
		=	6.6 METs → ca. 495 kcal

Anhang 2: Ernährungstagebuch

Wichtige Punkte: Den Tag durch fortwährend ausfüllen / „Fresszettel“ / Lieber ungenau aufschreiben als gar nicht oder Nahrungsmittel nicht essen! / Fotos / vorher-nachher Differenz

Name: _____

Zeit	Nahrungsmittel	Menge
<i>Datum und Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme</i>	<i>Beinhaltet: Falls auswärts: Restaurant/Ort, Markenname, Zubereitungsart (gebacken, gebraten, frittiert, etc.), zusätzliche Gewürze (Bsp. Ketchup, Senf, Dressings, etc.)</i>	<i>Gemessene Angaben ideal. Ansonsten Kochbegriffe verwenden: Tasse, Löffel, Teelöffel, etc. Oder Fotos</i>
4.7.2012 08.16Uhr	<ul style="list-style-type: none"> • Vollkornflakes: Kellogg's All-Bran Regular • Milch: Migros Laktosefreie Milch halbentrahmt • Magerquark: M Classic Magerquark • Banane • Beerenmischung: M Classic Beerenmischung 	<ul style="list-style-type: none"> • 70g • 300ml • 250g • normal • 50g
4.7.2012 09.30Uhr	Coca-Cola normal	5dl
4.7.2012 10.01Uhr	<ul style="list-style-type: none"> • -Sandwich: <ul style="list-style-type: none"> ○ Toast-Brot: American Sandwich Vollkorn Toast ○ Truten Fleisch: Don Pollo Truten Brust geräuchert ○ Kopfsalat ○ Essiggurken: Chirat Gurken ○ Senf: M-Budget Senf mild 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Scheiben • 30g • 3 Blätter • 2 Scheiben • Grosse Messerspitze
4.7.2012 12.23Uhr	<ul style="list-style-type: none"> • Mensa Universität Freiburg <ul style="list-style-type: none"> ○ Hauptteller: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reis ▪ Lamm-Ragout ▪ Gemüse Mischung ○ Dessert: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Früchtekuchen 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Tasse gekochter Reis • 5 Fleischstücke mit Sauce • 1 Handvoll • 1 Stück

Anhang 3: Mehrzweiges Gleichungsmodell

P1 – P4 are weighting factors. X is used to discriminate between activity and "no activity". Y and Z are used to apply HR thresholds in the presence and absence of activity respectively. Y is used to discriminate between walking and running. At running speeds HR is a very reliable measure of EE whereas activity as measured by vertical acceleration is less reliable since during running the latter does not increase linearly with speed. This is reflected by the weighting in Box 1 where P1 is high.

At the other end of the spectrum HR is a poor measure of intensity whereas movement registration is more reliable and this is reflected by a relatively low weighting of the HR-EE relationship i.e. P4 is low. Z is used to discriminate between raised HR due to some true activity in the presence of "no activity" (as set by X) and raised HR due to other factors. In boxes 2 and 3 movement and HR are equally weighted.

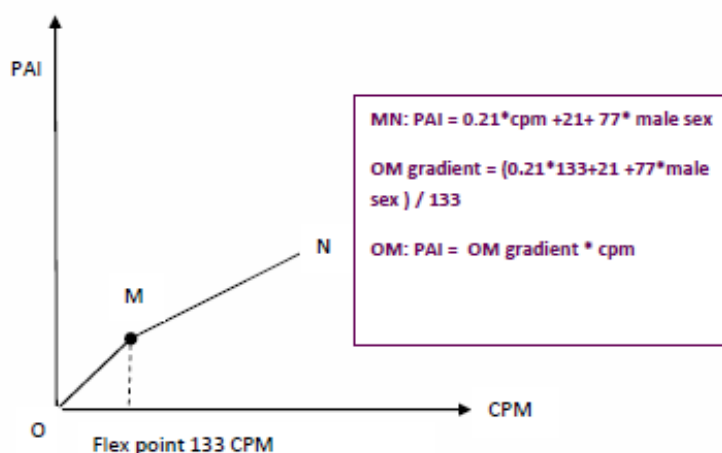
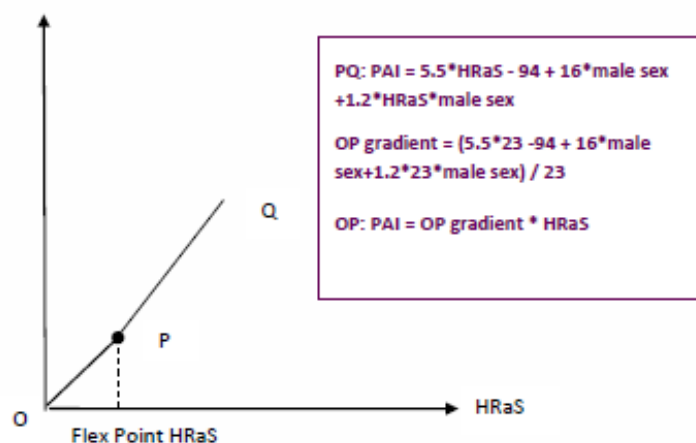
The HR-PAI relationship and the Activity-PAI relationships are given by the [group calibration regression equations](#) shown below for adults and children respectively. These have been derived by [walking and running](#) on a treadmill in studies conducted with the Actiheart (5) (6) (7) and are included in the Actiheart EE analysis.

The equations below the flex points are derived using the flex point itself and the regression line above it. The HR is not set to zero at the Flex point as is normal for the reasons mentioned previously.

The movement flex point is a relatively new concept (4) which serves to interpolate the intensity curve of activity in the region between rest (0, 0) and the slowest walking speed.

HRaS = Heart rate above sleeping heart rate

ADULTS Based on references (5) & (7)



Anhang 4: Interventionsgruppe aufgeteilt in zwei Untergruppen**Tabelle 15 Körperzusammensetzung der Probanden in der Interventionsgruppe (n=27). Aufgeteilt in BMI<24.99 (n=15) und BMI>25.00 (n=12). Werte sind Mittelwert \pm Standardabweichung.**

	BMI<24.99 (n=15)	BMI>25.00 (n=12)
Gewicht(kg) Start	76.40 \pm 6.0	84.68 \pm 7.92*
Gewicht(kg) Ende	75.76 \pm 6.68	83.81 \pm 7.87*
KF(%) oKM Start	21.53 \pm 4.44	28.88 \pm 4.52*
KF(%) oKM Ende	20.37 \pm 4.45	27.41 \pm 4.68*
KF(%) GM Start	20.63 \pm 4.29	27.78 \pm 4.37*
KF(%) GM Ende	19.43 \pm 4.31	26.35 \pm 4.54*
Fettmasse (kg) Start	15.81 \pm 3.90	23.44 \pm 3.77*
Fettmasse(kg) Ende	14.75 \pm 3.83	22.00 \pm 3.89
FFM(%) oKM Start	75.10 \pm 4.15	68.38 \pm 4.26
FFM(%) oKM Ende	76.27 \pm 4.17	69.76 \pm 4.39
FFM(%) GM Start	79.37 \pm 4.29	72.22 \pm 4.37*
FFM(%) GM Ende	80.57 \pm 4.31	73.65 \pm 4.54*
Magermasse(kg) Start	57.33 \pm 4.77	58.00 \pm 7.33
Magermasse(kg) Ende	57.75 \pm 5.53	58.55 \pm 7.39

*p<0.05, Start ist der gemessene Wert bei der „baseline“ Messung, Ende ist der gemessene Wert am Ende der Intervention nach 2 Monaten, KF(%) oKM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, KF(%) GM ist das gemessene Körperfett in Prozent für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), FFM(%) oKM ist die gemessene fettfreie Masse in Prozent für die Körpermasse ohne Knochenmasse, FFM(%) GM ist die gemessene fettfreie Masse in Prozent für die Gesamtkörpermasse (mit Knochenmasse), FFM(kg) oKM ist die gemessene fettfreie Masse in Kilogramm für die Körpermasse ohne Knochenmasse.