

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen
Abteilung Innere Medizin VI
(Schwerpunkt Psychosomatische Medizin und Psychotherapie)
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Stephan Zipfel

**Auswirkungen von 48 - stündiger freiwilliger
Nahrungskarenz auf Leistungsfähigkeit und
Energieverbrauch gesunder junger Frauen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Tabea Maria Haas
aus
Freiburg im Breisgau
2011

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen
Abteilung Innere Medizin VI
(Schwerpunkt Psychosomatische Medizin und Psychotherapie)
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Stephan Zipfel

**Auswirkungen von 48 - stündiger freiwilliger
Nahrungskarenz auf Leistungsfähigkeit und
Energieverbrauch gesunder junger Frauen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Tabea Maria Haas
aus
Freiburg im Breisgau
2011

Dekan:	Professor Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter:	Professor Dr. P. Enck
2. Berichterstatter:	Professor Dr. Dr. P. Simon

*Für
meine Familie
und Christian*

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Menschliche Leistungsfähigkeit und deren Diagnostik	2
1.2	Beeinflussung der Energiehomöostase und Ernährung	3
1.2.1	Hungerstoffwechsel	4
1.2.2	Fasten, Diät, Hungern	6
1.3	Zielsetzung und Fragestellung der Arbeit	6
1.4	Arbeitshypothesen.....	7
2	Methoden und Probandinnen	8
2.1	Studienaufbau und Versuchsablauf.....	8
2.2	Belastungslabor „Metabolic Unit“	11
2.3	Probandenkollektiv	11
2.4	Leistungsdiagnostik	13
2.4.1	Indirekte Kalorimetrie.....	14
2.4.2	Spirometrie	15
2.4.3	Spiroergometrie	16
2.4.4	Laktatdiagnostik.....	18
2.4.5	EKG, Herzfrequenz und Blutdruck.....	19
2.5	Messwerte	20
2.5.1	Lungenfunktion Basiswerte	20
2.5.2	Respiratorische Parameter	21
2.5.3	Energieverbrauch	23
2.5.4	Hämodynamische Parameter	24
2.5.5	Leistungsparameter.....	24
2.5.6	Laktatwerte.....	25
2.6	Statistische Methoden und Computersoftware	26

3	Ergebnisse	29
3.1	Lungenfunktion Basiswerte	29
3.2	Respiratorische Parameter	31
3.3	Energieverbrauch	36
3.4	Hämodynamische Parameter	38
3.5	Leistungsparameter	40
3.6	Laktatwerte	42
3.7	Körpergewicht und BMI	43
3.8	Zwischensubjektfaktoren	45
3.8.1	Lungenfunktion	45
3.8.2	Alter kategorisiert	45
3.8.3	Trainingszustand	46
4	Diskussion	49
4.1	Methoden	49
4.2	Erkenntnisse aus bisherigen Studien	51
4.3	Erklärungsansätze	56
4.4	Einordnung der Ergebnisse und neue Erkenntnisse	58
4.4.1	Respiratorische Parameter	59
4.4.2	Energieverbrauch	60
4.4.3	Hämodynamische Parameter	60
4.4.4	Leistungsparameter	61
4.4.5	Laktatwerte	62
4.4.6	Körpergewicht und BMI	62
4.4.7	Alter kategorisiert	62
4.4.8	Trainingszustand	63
4.5	Schlussfolgerung und Ausblick	65
5	Zusammenfassung	68

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Quellenverzeichnis.....	IV
Danksagung.....	XI

1 Einleitung

Die vorliegende Dissertation ist Bestandteil der Forschungsaktivitäten an gesunden Probanden / Probandinnen und essgestörten Patienten / Patientinnen aus der Abteilung für Psychosomatische Medizin und Psychotherapie der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen.

Diese Dissertationsschrift widmet sich ausschließlich der Grundlagenforschung an gesunden Probandinnen. Ergebnisse dieser Studie sollen Basis und Denkanstoß für weitere Studien an Gesunden sein. Diese wiederum bilden die Grundlage für Forschungsziele vorwiegend im Bereich der Essstörungen zur Aufklärung von Pathomechanismen.

Ziel ist es, die Pathomechanismen der Essstörungen kennen zu lernen, um Therapieansätze oder prophylaktische Maßnahmen entwickeln zu können. Zum Verständnis von Krankheit – in diesem Fall die verschiedenen Varianten von Essstörungen – ist auch das Wissen um die physiologischen Mechanismen bei gesunden Menschen notwendig.

Die Leistungsfähigkeit und der Energieverbrauch werden durch ein komplexes Zusammenspiel vieler Systeme des menschlichen Körpers beeinflusst. Inwiefern sich das Essverhalten darauf auswirkt soll Gegenstand dieser Dissertation sein.

Im folgenden einleitenden Teil werden theoretische Grundlagen und die Zielsetzung der Arbeit auf der Basis des aktuellen Wissensstandes erläutert.

1.1 Menschliche Leistungsfähigkeit und deren Diagnostik

Der Begriff „Leistung“ ist physikalisch definiert als Arbeit pro Zeiteinheit. Da physiologisch Arbeit sowohl dynamisch als auch statisch durchgeführt werden kann „wird im physiologischen Sinne alles als Arbeit bezeichnet, was einen erhöhten Energieumsatz im Muskel bedingt“ [36].

Die körperliche Leistungsfähigkeit eines Menschen ist in ihrem ganzen Umfang keine einfach physikalisch zu definierende Größe. Neben der Fähigkeit, mit Hilfe quergestreifter Muskulatur Kräfte auszuüben, spielen außerdem belastende Umweltfaktoren, der Anteil der beanspruchten Muskelgruppen, Talent und genetische Voraussetzungen eine Rolle. Zudem ist die psychische Verfassung eine Einflussgröße, die entscheidende Auswirkungen auf die momentane Leistungsfähigkeit und die je nach Motivation mobilisierbaren, autonom geschützten Leistungsreserven hat. Dementsprechend ist ein Zusammenspiel aus allen Körpersystemen, „inklusive pulmonaler, endokriner, neuromotorischer und thermoregulatorischer Mechanismen“, dafür verantwortlich, homöostatische Bedingungen bei akuter Belastung aufrecht zu erhalten [66].

Um die Leistungsfähigkeit eines Menschen messbar zu machen, müssen physiologische Veränderungen einer Kette von zusammenhängenden Reaktionen des kardio - pulmonalen Systems sowie biochemischen Stoffwechselprozessen in Form physikalischer Messwerte greifbar gemacht werden.

Eine optimale Kombination all dieser notwendigen Messgrößen bietet die Spiroergometrie mit zusätzlichen Messverfahren, die letztendlich eine qualitative und quantitative Darstellung der menschlichen Leistungsfähigkeit erlauben.

Die Leistungsdiagnostik, insbesondere die Spiroergometrie, ist eine Methode, die in Form erster Experimente bereits 1789 entwickelt wurde. Das Jahr 1929 wird als Geburtsstunde der klinischen Leistungsdiagnostik bezeichnet. Als Routinemethode hatte die Leistungsdiagnostik 1958 ihren Durchbruch in Europa. Schließlich erschien 1974 das erste voll computerisierte und

elektronisierte Fahrradergometer inklusive EKG und Blutdruckmessung sowie der zu dieser Zeit ebenso neu etablierten Methode der Laktatmessung [30].

Heute ist diese Untersuchungsmethode sowohl im klinischen Alltag, in der sportmedizinischen Routineuntersuchung als auch in der Wissenschaft nicht mehr wegzudenken.

Zum Einsatz kommt die Leistungsdiagnostik sowohl bei gesunden als auch bei kranken Menschen in den verschiedensten Bereichen der Medizin. Für diagnostische Zwecke im Bereich kardiologischer und pulmonaler Erkrankungen, zur Prävention und Rehabilitation, zur Beurteilung der Effekte von Medikamenten und zu Prognoseeinschätzungen werden täglich unzählige standardisierte Untersuchungen durchgeführt. Die Sportmedizin würde ohne die Leistungsdiagnostik zur Empfehlung von Trainingsdosierungen und zur Überprüfung von Trainingsprogrammen im Gesundheits-, Hobby- und Leistungssport nicht mehr auskommen. Zudem werden mit Hilfe dieser Methode Leistungsanalysen - wie in dieser Arbeit - zu wissenschaftlichen Zwecken durchgeführt.

1.2 Beeinflussung der Energiehomöostase und Ernährung

Eine unabdingbare Voraussetzung, um Leistung erbringen zu können, ist im menschlichen Körper „die Fähigkeit, Energie unter Verbrauch von Sauerstoff zu erzeugen“ [66]. Jeglicher Prozess, von der Aufrechterhaltung des Lebens bis zu sportlichen Höchstleistungen, erfordert ein unterschiedliches Maß an Energie, die durch verschiedene Nährstoffe und Stoffwechselprozesse zur Verfügung gestellt wird. Die Endform der Energie wird dem Muskel als „verbrauchender Motor“ schließlich in Form von ATP (Adenosintriphosphat) zur Verfügung gestellt.

Der Normalzustand des menschlichen Körpers ist die Energiehomöostase, d.h., Nahrungs bzw. Energieaufnahme und Energieverbrauch befinden sich in einem Gleichgewicht. Gesteuert wird dieses Gleichgewicht hormonell vorwiegend im Hypothalamus über die Hormone des Hungerzentrums (Ghrelin) und des Sättigungszentrums (Leptin).

In der heutigen Gesellschaft führen Faktoren wie Nahrungsüberfluss, Stress, Zeitmangel bzw. Überfluss, Schönheitsideale, mangelndes Bewusstsein für gesunde Ernährung und physische sowie psychische Krankheiten zu einer Störung dieser natürlichen Homöostase. Das Resultat sind Übergewicht (Adipositas) bzw. Untergewicht (Anorexia nervosa) und verschiedene Ausprägungen dazwischen. Diese Zustände können sowohl bewusst als auch unbewusst herbeigeführt werden.

In dieser Arbeit werden Untersuchungen zur Verschiebung der Energiehomöostase in Richtung des Energiemangels vorgenommen.

1.2.1 Hungerstoffwechsel

Wird dem menschlichen Körper weniger Energie zugeführt als er verbraucht, entsteht eine negative Energiebilanz. Im Hungerstoffwechsel kommt es zu einer Umstellung auf eine dauerhaft katabole Stoffwechsellage. Hierzu finden verschiedene Anpassungsmechanismen an die für den Körper unnatürliche Situation statt. Endogene Reserven müssen freigesetzt werden um den Energiebedarf des Körpers abzudecken [9].

Der Hauptenergielieferant Glucose, der vor allem für Gehirn und Erythrozyten unter normalen Bedingungen als einzige Energiequelle zur Verfügung steht, ist aus den Glykogenspeichern in Leber und Muskel innerhalb von ca. 24 - 48h komplett aufgebraucht [14]. Proteine, in Form von Muskelmasse, und Fettspeicher werden deshalb als Energielieferanten herangezogen.

In der Leber und später auch in der Niere findet Gluconeogenese aus glykogenen Aminosäuren (Muskelprotein), aus Laktat (anaerobes Stoffwechselprodukt der Erythrozyten und Muskelzellen) und aus Glycerin (Spaltprodukt der Fette) statt.

Zur Energiebereitstellung durch Fette werden zunächst Triacylglycerine zu Glycerin und nicht veresterten Fettsäuren gespalten. Diese Fettsäuren werden in der β -Oxidation weiter zu Acetyl-CoA verstoffwechselt. Bei einem Überangebot von Acetyl-CoA wird dieses in der Leber zu Ketonkörpern umgewandelt.

Im Laufe der Stoffwechsellumstellung können die Ketonkörper vor allem vom Gehirn bis zu 70% als Energielieferanten genutzt werden [43]. Der komplexe Zusammenhang der Stoffwechselprozesse ist in Abb. 1 zur Veranschaulichung dargestellt.

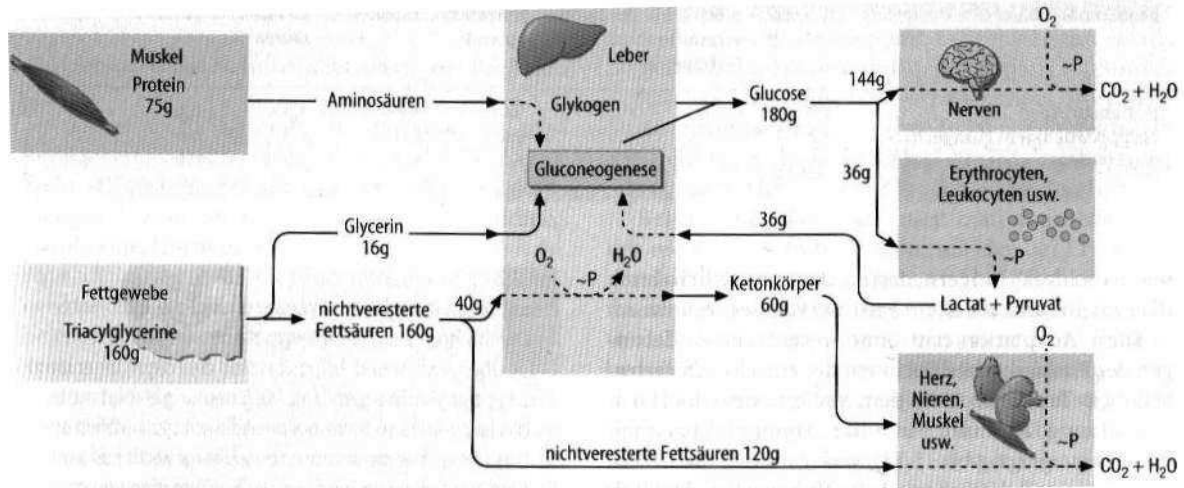


Abb. 1: Hungerstoffwechsel

Herkunft, Umwandlung und Verbrauch von Nährstoffen, bezogen auf einen Energieumsatz von 1800kcal/24 h beim fastenden, gesunden Menschen. Muskel- und Fettgewebe stellen die beiden Quellen der Substrate dar, die von Nerven, Erythrocyten und dem Rest des Organismus verbraucht werden.

[Aus [43] nach Cahill G., 1970 New Engl. J of Med 282:6-8]

Die Ketonkörper ermöglichen energetisch die Gluconeogenese und drosseln gleichzeitig den Glucosebedarf bei längerfristigem Energiemangel. Hier besteht der Vorteil, dass Muskelproteine zur Glucosegewinnung eingespart werden können. So können funktionelle Schäden in Skelettmuskulatur und Herzmuskel bis zu einer gewissen Dauer vermieden werden.

Bei Andauern dieses Stoffwechselzustandes fallen jedoch zu viele der Ketonkörper aufgrund der gesteigerten Lipolyse an. Schafft die Niere eine ausreichende Elimination nicht mehr, sinkt der pH - Wert und es kommt zu einer Ketoazidose. Dieser Zustand kann lebensbedrohlich werden.

Zu welchem Zeitpunkt vorwiegend der Proteinabbau oder die Lipolyse einsetzt und bis zu welcher Stundenanzahl die Glykogenspeicher zur Energiegewinnung zur Verfügung stehen, ist von vielen Faktoren abhängig und bis heute nicht eindeutig geklärt.

1.2.2 Fasten, Diät, Hungern

Die Begriffe „Fasten“, „Diät“ und „Hungern“ werden in verschiedensten Formen und Bereichen meist willkürlich verwendet. Im Allgemeinen wird „Fasten“ als vorübergehender, kontrollierter Verzicht auf Nahrung und „Diät“ als freiwilliger Verzicht auf bestimmte Nahrungsbestandteile angesehen. Der Begriff „Hungern“ ist negativ belegt mit unfreiwilliger Nahrungskarenz.

Bereits 1995 hatten 50% aller Frauen und 25% aller Männer in Deutschland Erfahrungen mit verschiedenen Diätformen gemacht [49]. Dies zeigt, dass Fasten und Diät ein nicht unbedeutendes Gestaltungselement im heutigen Lebensalltag darstellt.

Außer zu Diät in Form der Krankenkost z.B. bei Diabetes mellitus, Gicht, Nahrungsmittelunverträglichkeiten und anderen Stoffwechselerkrankungen, gibt es nur unzureichende wissenschaftliche Belege zu deren Wirkungen. Wirkungen wie Regeneration, „Entschlacken und Entgiften“, die beim Heilfasten auftreten sollen, sind wissenschaftlich kaum belegt [19]. Laut der Deutschen Gesellschaft für Ernährung gilt Fasten aus medizinischen Gründen nicht als empfohlenes Mittel zur Gewichtsreduktion.

In einigen Studien konnte bereits gezeigt werden, dass Endorphine im Plasma während Fastenperioden beim Mensch ansteigen [25, 38]. Ob diese Hormonausschüttung zu stimmungsaufhellenden und leistungssteigernden Effekten beim Mensch während der Nahrungskarenz führt, bleibt zu untersuchen.

1.3 Zielsetzung und Fragestellung der Arbeit

Eine der ältesten und bekanntesten Fastenstudien, die Minnesota - Studie, wurde von Keys et al. 1950 publiziert. Diese Studie wurde 1944 ethisch höchst fragwürdig, an 36 gesunden, jungen US-Army-Dienstverweigerern durchgeführt, die sechs Monate lang nur 50% der gewohnten Kalorienmenge einnehmen durften. Ergebnisse zeigten eine Energiesparfunktion mit gesunkenem Ruheumsatz um 40%. Dies wurde auf eine reduzierte Atem - und Herzfrequenz

sowie auf eine Absenkung der Körpertemperatur zurückgeführt [52]. Das Körpergewicht nahm jedoch nicht kontinuierlich ab, sodass immer wieder Vermutungen über Regulationsmechanismen angestellt wurden, die die weitere Gewichtsreduktion verhindern.

Im Bereich der Adipositas - Forschung werden Regulationsmechanismen bei vermehrter Kalorienzufuhr weit reichend und ausführlich untersucht.

Jedoch wurden bis zum heutigen Stand der Forschung, vermutlich aufgrund ethischer Bedenken, nur wenige weitere Studien mit hoher Einschränkung der Kalorienzufuhr durchgeführt. Vor allem über längere Zeiträume sind bisher keine einheitlichen wissenschaftlichen Erkenntnisse vorhanden. Verschiedenste Ansätze mit unterschiedlichen Diätformen und Messmethoden wurden unternommen, nicht jedoch an weiblichen Probandinnen mit Leistungstests bei vollständiger Nahrungskarenz (siehe Abschnitt 4.2).

Ziel dieser Arbeit war es, unter kontrollierten und reproduzierbaren Bedingungen Messwerte zur Auswirkung von vollständiger Nahrungskarenz auf die Leistungsfähigkeit und Stoffwechselprozesse gesunder Probandinnen zu untersuchen und Hinweise auf Regulationsmechanismen zu bekommen.

1.4 Arbeitshypothesen

Folgende Fragestellungen lagen der Studie als Arbeitshypothesen zugrunde:

- Hat mehrtägige vollständige Nahrungskarenz Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit?
- Hat mehrtägige vollständige Nahrungskarenz Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die Stoffwechselprozesse im Körper?
- Passt sich der Energieverbrauch an die Energiezufuhr an, d.h. sinken Ruheumsatz und Leistungsniveau?
- Hat der Trainingszustand der Probandinnen einen Einfluss auf oben genannte Veränderungen der Leistungsfähigkeit und Stoffwechselprozesse während vollständiger Nahrungskarenz?

2 Methoden und Probandinnen

2.1 Studienaufbau und Versuchsablauf

Die „Fastenstudie 2008“ fand als monozentrische, kontrolliert - experimentelle Pilotstudie zur Überprüfung der Auswirkung von mehrtägiger Nahrungskarenz auf verschiedene Körperfunktionen, Leistungsfähigkeit und psychisches Befinden bei 16 jungen, klinisch gesunden Probandinnen statt.

Die Studie wurde als Gemeinschaftsprojekt von fünf Doktorandinnen durchgeführt, wovon sich jede letztendlich auf eines der folgenden Teilgebiete konzentriert:

- autonome Regulation des kardiovaskulären Systems
- chemosensitive Funktionen (Geruch, Geschmack)
- visuelle Verarbeitung essensrelevanter Stimuli (Eye Tracking)
- psychisches Befinden und Kortisoltagesprofil
- physische Leistung und Energieverbrauch unter kontrollierten und standardisierten Bedingungen

Die Studie fand vom 5. März 2008 bis zum 11. April 2008 statt. Pro Probandin waren jeweils drei Tage geplant und somit wurden immer zwei Probandinnen zum gleichen Zeitpunkt im Untersuchungsablauf untergebracht.

Abb. 2 (siehe nächste Seite) veranschaulicht den logistisch komplexen Ablauf der Gesamtstudie mit allen Untersuchungen, die teilweise in Tübingen und teilweise in Hohenheim stattfanden.

Die Probandinnen wurden instruiert, am Tag 1 vor Beginn der Untersuchungen, ein beliebiges Frühstück (ohne die täglich individuell gewohnte Kalorienmenge zu übersteigen), zu sich zu nehmen. Nach einem Anamnesegespräch, einer ärztlichen körperlichen Untersuchung und der informierten Einverständniserklärung konnte die Probandin in die Studie eingeschlossen werden. Verschiedene Messungen wurden nun postprandial (Baseline, Tag 1), durchgeführt. Das psychische Befinden wurde durch mehrmals tägliches Ausfüllen von Fragebögen (ASTS= aktuelle Stimmungsskala nach Dalbert,

1992; Hungerskala) zu fixen Zeiten objektiviert. Zur Bestimmung des Cortisoltagesprofils mussten täglich mehrere Speichelproben zu festgelegten Uhrzeiten abgegeben werden. Täglich wurde in der Metabolic Unit in Hohenheim eine Leistungsdiagnostik mit Laktatmessungen durchgeführt. Anschließend wurden die Probandinnen nach Tübingen transportiert. Dort wurden mit Hilfe eines Eye-Trackers (Infrarotkamera, welche Augenbewegungen registriert) des Psychosomatischen Institutes die visuelle Verarbeitung essensrelevanter Stimuli untersucht. Außerdem wurden im Institut für Sportmedizin in Tübingen Tests zur autonomen Regulation des kardiovaskulären Systems durchgeführt. Auch die Versuche zu Geruch und Geschmack fanden in Tübingen statt.

	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Tag 1	Blutabnahme/ ärztliche Untersuchung/ PHQ, FEV, EDI	Leistungsdiagnostik		11:30 (Tübingen) GG/EKG/ET			15:30 Rückfahrt Nachtdienst			
Tag 2		Leistungsdiagnostik		11:30 (Tübingen) GG/EKG/ET			15:30 Rückfahrt Nachtdienst			
Tag 3	Leistungsdiagnostik, danach Blutabnahme		10:30 (Tübingen) GG/EKG/ET			15:30 ärztl. Untersuchung		16:00 PHQ, FEV, EDI/ Essen		
		Blutabnahme/ ärztliche Untersuchung/ PHQ, FEV, EDI	Leistungsdiagnostik		12:30 (Tübingen) GG/EKG/ET			17:00 Rückfahrt Nachtdienst		
Tag 4		Leistungsdiagnostik		11:30 (Tübingen) GG/EKG/ET			15:30 Rückfahrt Nachtdienst			
Tag 5		Leistungsdiagnostik, danach Blutabnahme		11:30 (Tübingen) GG/EKG/ET			16:00 ärztl. Untersuchung		16:30 PHQ, FEV, EDI/ Essen	
Zeichenerklärung: GG: Geruchs-/Geschmackstest EKG: Kreislaufstest ET: Eye-Tracking-Test Speichelproben: 7:00, 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 17:00 Blutzucker: nach dem Aufstehen, nach Leistungsdiagnostik, bei Rückkehr nach Hohenheim ASTS/ Hungerskala: 8:00, 16:00, 20:00 Probandinnen 1+2 Probandinnen 3+4										

Abb. 2: Ablaufschema der Fastenstudie

Die Leistungsdiagnostik in Hohenheim und die Tests in Tübingen zu Geruch und Geschmack, der autonomen Regulation und mit dem Eyetracker fanden zu festgelegten Zeiten statt um die 24-h-Abstände möglichst genau einhalten zu können. An Tag 3 mussten vier Probandinnen betreut werden, deswegen gab es hier leichte Verschiebungen. Auch das Ausfüllen der psychometrischen Fragebögen, die Blutzuckermessungen und die Speichelproben waren zeitlich festgelegt.

[Eigene Darstellung]

Zu Beginn und nach 48 h wurden Blutproben (übliche venöse Punktion) genommen um folgende Werte zu bestimmen:

- Cholecystokinin
- Cholinesterase
- Präalbumin, Albumin

Ein Teil der Blutproben wurde eingefroren für eventuell spätere Zytologie- und/oder DNA-Bestimmungen.

Am Tag 2 sowie am Tag 3 wurden die vier Untersuchungen jeweils am Vormittag zwischen 9 und 12 h durchgeführt, d.h. nach 24- und 48-stündiger Nahrungskarenz.

In dieser Zeit durften die Probandinnen nur Wasser zu sich nehmen. Die Flüssigkeitsaufnahme wurde von den Probandinnen selbst bestimmt und dokumentiert. Der Blutzucker wurde alle 6 Stunden zur Sicherheit kontrolliert. Der Versuch endete am Tag 3 um 17 h mit einem Abendessen und einer weiteren ärztlichen Abschlussuntersuchung.

Folgende psychometrischen Fragebögen mussten zu Beginn und nach 48 h ausgefüllt werden:

- PHQ-D (Gesundheitsbogen nach Löwe, Spitzer, Zipfel & Herzog, 2002)
- EDI-2 (Eating Disorder Inventory-2 nach Paul & Thiel, 2005)
- FEV (Fragebogen zum Essverhalten nach Grunert, 1989)

Rund um die Uhr wurden die Probandinnen betreut um etwaige gesundheitliche Komplikationen sofort zu erkennen und gegebenenfalls Maßnahmen ergreifen zu können. Außerdem konnte so die Compliance gesichert werden.

Im Folgenden beschränkt sich diese Arbeit auf den Bereich Leistungsdiagnostik und Energieverbrauch der Fastenstudie. Alle weiteren oben genannten Themen sind in separaten Promotionsarbeiten einsehbar.

2.2 Belastungslabor „Metabolic Unit“

Die „Metabolic Unit“ auf dem Campus der Universität Hohenheim (Wollgrasweg 49b, Stuttgart-Hohenheim) ist eine Einrichtung des Instituts für Ernährungsmedizin. Sie wird im Rahmen des Zentrums für Ernährungsmedizin (ZEM), einem Kooperationsprojekt der Universität Tübingen und der Universität Hohenheim, genutzt [29].

Praxisähnliche Räume zur ärztlichen und leistungsdiagnostischen Untersuchung der Probandinnen, ein Laborraum sowie zwei Schlafräume, Bäder und ein Gemeinschaftsraum zur überwachten Unterbringung der Probandinnen für die Zeit der Studie standen dort zur Verfügung. Der Untersuchungsraum war mit Notfallausrüstung inklusive Defibrillator ausgestattet.

Die Umgebungsbedingungen im Versuchsraum des Belastungslabors waren durch Klimatisierung weitestgehend konstant (siehe Abb. 3).

Temperatur	[°C]	24,7 ± 0,7
Luftdruck	[hPa]	969,3 ± 10,2
Luftfeuchtigkeit	[%]	50,0 ± 0

Abb. 3: Raumlufbedingungen im Versuchsraum
Mittelwerte über die 3 Tage mit Standardabweichung

2.3 Probandenkollektiv

In die Studie wurden 16 nach klinischen Kriterien gesunde Probandinnen im Alter von 18 bis 28 Jahren eingeschlossen. Die Rekrutierung erfolgte über Aushänge, Internetaufrufe und Mundpropaganda.

Vorraussetzungen für die Teilnahme an der Studie waren außerdem die Freiwilligkeit der Teilnahme nach informiertem Einverständnis und Normalgewicht beurteilt anhand des Body - Mass - Index (19 - 25 kg/m²) (Gleichung 1 nach [36])

$$\text{BMI [kg/m}^2\text{]} = \text{Körpergewicht [kg]} \div \text{Quadrat der Körpergröße [m}^2\text{]} \quad (1)$$

Zum Ausschluss von Vorerkrankungen fanden am ersten Tag, vor Beginn des Versuches, ein ärztliches Anamnesegespräch und eine vollständige körperliche Untersuchung statt.

Abb. 4 zeigt die Ausschlusskriterien zur Teilnahme an der Studie auf.

Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none">▪ regelmäßiger Konsum psychotroper Substanzen (Nikotin, Alkohol, u. a. Drogen)▪ aktuelle sowie regelmäßige Medikamenteneinnahme (außer Kontrazeptiva)▪ Medikamenteneinnahme während der letzten zwei Wochen vor Studienbeginn▪ akute oder chronische Erkrankungen des Herzkreislaufsystems, des ZNS, sowie sämtliche Stoffwechselerkrankungen und Allergien▪ akute oder chronische Erkrankungen des oberen Respirationstraktes oder des Gastrointestinaltraktes▪ akuter Schnupfen oder Erkältungskrankheit▪ frühere Kopf- und Gesichtstraumata▪ Essstörungen in der Vorgeschichte, Übergewicht (BMI > 25kg/m²)▪ frühere oder akute psychiatrische Erkrankungen▪ Unvermögen, sprachlich oder intellektuell den Studienanweisungen zu folgen▪ fehlende Einwilligungsfähigkeit aufgrund neurologischer oder sonstiger Erkrankungen▪ Ausübung eines Leistungssportes

Abb. 4: Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie.
[Eigene Darstellung]

Die anthropometrischen Daten der eingeschlossenen Studienteilnehmerinnen sind in der folgenden Abbildung auf der nächsten Seite dargestellt. Die Abbildung enthält auch Daten über den Trainingszustand.

Neun Probandinnen gaben an regelmäßig, sieben Probandinnen keinen regelmäßigen Ausdauersport (joggen, schwimmen, Fahrrad fahren) zu betreiben, wovon eine Probandin angab gar keinen regelmäßigen Sport zu betreiben.

Alter	[Jahre]	21,4 ± 2,1
Gewicht	[kg]	60,5 ± 7,2
BMI	[kg/m ²]	21,6 ± 1,6
Trainingsumfang	[h/Woche]	4,6 ± 3,8

Abb. 5: Anthropometrische Daten & Trainingszustand der Probandinnen
Mittelwerte aller Probandinnen mit Standardabweichung

Die Probandinnen erhielten für die Teilnahme eine finanzielle Entschädigung.

2.4 Leistungsdiagnostik

Die Leistungsdiagnostik ist eine sehr häufig und vielseitig genutzte Methode, die in klinischer Diagnostik, Prävention, Trainingsberatung, Gutachten, Prognostik und Wissenschaft ihre Anwendung findet. Sie wird vorwiegend in Fachbereichen wie Sportmedizin, Arbeitsmedizin, Rehabilitation, Intensivmedizin, Kardiologie und Pulmologie angewendet. Verschiedene Verfahren werden zur Leistungsdiagnostik gezählt. Diese werden sowohl einzeln als auch in Kombination angewendet. Dazu zählen Spirometrie, Ergometrie, Laktatdiagnostik, indirekte Kalorimetrie und Verfahren wie EKG, HF- und Blutdruckmessung, die zur Überwachung des Probanden / Patienten dienen.

Es lassen sich Aussagen über Herz - Kreislauf - System, Atmung und Stoffwechsel treffen, die in ihrer Kombination genaue Informationen über die Leistungsfähigkeit eines Menschen geben.

Für diese Studie wurden in Hohenheim Medizinprodukte der Firma Ganshorn medical, Ganshorn und Archard GbR, Bad Neustadt und Schiller AG, Baar,

Schweiz zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um das Spiroergometrie Gerät Cardiovit AT 104 PC, das Fahrradergometer Schiller ERG 911 S, das EKG DT 100 sowie den PowerCube von Ganshorn zur Gasanalyse. Alles sind genormte und geprüfte Medizinprodukte der Klasse IIa. Tägliche Kalibrierung und regelmäßige Wartung der Geräte stellen eine standardisierte und reproduzierbare Datenerhebung sicher.

In der „Metabolic Unit“ in Hohenheim fand die Leistungsdiagnostik mit allen oben genannten Verfahren vormittags zwischen 8.00 Uhr und 12.00 Uhr statt. Nach ausführlicher ärztlicher Untersuchung inkl. Blutentnahme und Aufklärung der Probandin fand am ersten Tag postprandial zunächst die indirekte Kalorimetrie statt. An jedem der drei Tage wurde vor Beginn der leistungsdiagnostischen Untersuchungen das Körpergewicht (KG) gemessen und daraus der BMI berechnet (siehe Gleichung 1 Abschnitt 2.3). Anschließend folgten die Spirometrie und schließlich die Spiroergometrie inklusive Laktatdiagnostik. Am zweiten Tag nach 24-stündiger und am dritten Tag nach 48-stündiger Nahrungskarenz wurden jeweils die indirekte Kalorimetrie und im Anschluss die Spiroergometrie mit Laktatdiagnostik durchgeführt. Die Versuchsdauer bei einer Probandin betrug pro Tag insgesamt ca. 60 - 90 min.

2.4.1 Indirekte Kalorimetrie

Zur Ermittlung von Energieumsatz und Veränderungen der Hauptenergielieferanten diente die indirekte Kalorimetrie. Kalorimetrie bedeutet wörtlich Wärmemessung. Über den O₂ - Verbrauch bei der Verbrennung (Oxidation) von Nährstoffen wird mit Hilfe des kalorischen Äquivalents (= Energiewert, der bei einem bestimmten Nährstoff pro Liter Sauerstoff gewonnen wird) indirekt der Energieumsatz berechnet (Gleichung 2 nach [32])

$$\text{Energieumsatz} = (\text{O}_2 - \text{Aufnahme} \div \text{Zeit}) \cdot \text{kal. Äquiv.} \quad (2)$$

Zuerst wurde der Probandin eine Atemmaske angepasst, die luftdicht abschließen musste (Atmen war ohne Einschränkungen möglich).

Daraufhin wurde sie instruiert ruhig für ca. 10 – 15 min bei Raumtemperatur (die Probandin durfte nicht frieren oder schwitzen) auf einer Untersuchungsliege zu liegen, aber nicht zu schlafen.

Die Maske wurde an die Messeinheit angeschlossen wobei Atmen weiterhin ohne Einschränkung möglich war. Die eigentliche Messung dauerte dann weitere 15 min, in denen die Probandin möglichst entspannt und ohne sich zu bewegen oder zu sprechen in der zuvor eingenommenen Position blieb.

2.4.2 Spirometrie

Die Spirometrie ist eine etablierte Methode zur Lungenfunktionsdiagnostik. Es können Lungenvolumina und Atemstromstärken bestimmt werden. In der klinischen Routine wird diese Untersuchungsmethode zur Diagnostik und Kontrolle von Lungenerkrankungen wie COPD, Asthma u.a. sowie im öffentlichen Gesundheitswesen für Einstellungsuntersuchung und Erhebung des Gesundheitsstatus bei exponierten Arbeitern angewendet [21, 62]. In der Regel wird der Verlauf der verschiedenen Parameter kontrolliert.

Das Wichtigste bei der Anwendung der Spirometrie sind Reproduzierbarkeit, Standardisierung und die Qualität der Tests [42]. Zudem ist die Mitarbeit der Probandinnen entscheidend.

In der Fastenstudie erfolgten die spirometrischen Messungen vorwiegend um pathologische Befunde auszuschließen.

Das technische Verfahren des Spirometriegerätes ist die Pneumotachographie. Hierbei wird der flussproportionale Druckabfall an einem definierten Widerstand gemessen und daraus in Analogie zum Ohm'schen Gesetz der Atemfluss bestimmt. Anschließend wird durch Integration des Flusses über die Zeit das Atemvolumen berechnet [16]. Die Spirometrie in diesem Versuchsaufbau verwendete den Blendenspirozeptor zur Umformung in ein elektrisches Signal.

Zur Untersuchung saß die Probandin auf dem Rand der Liege. Die Atemmaske wurde wieder mit der Messeinheit verbunden. Die Ärztin bzw. die Assistentinnen gaben die entsprechenden Kommandos zum willkürlich forcierten Atemmanöver: ca. 30 - 40 sec ruhig und gleichmäßig atmen, dann auf Kommando möglichst vollständig ausatmen (Ermittlung der Vitalkapazität).

Darauf folgte der Tiffeneau - Test, bei dem so tief wie möglich eingeatmet und anschließend so schnell und vollständig wie möglich forciert ausgeatmet wurde (Fluss - Volumen - Kurve).

Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse darstellen zu können, wurde diese Messung insgesamt dreimal durchgeführt.



Abb. 6: Reproduzierbarkeit des forcierten Atemmanövers
dargestellt mit der Fluss - Volumen- Kurve (Tiffeneau - Test)
x - Achse: Zeit; y - Achse: Lungenvolumen
[16]

2.4.3 Spiroergometrie

Die Spiroergometrie - kombiniert mit den zusätzlichen Messmethoden - gibt Auskunft über das Zusammenspiel zwischen Atmung, Herz - Kreislauf - System, biochemischen Vorgängen der Energiegewinnung und Leistung.

Das Belastungsprofil folgte dem Prinzip des Rampenanstiegs. Die Belastung begann mit 50 W und wurde dann automatisch innerhalb von 2 min um 25 W kontinuierlich gesteigert.

Das Fahrradergometer kam aufgrund der guten Abstufbarkeit und Reproduzierbarkeit zum Einsatz. Außerdem sind Blutdruck, EKG und Laktat bei dieser Form der Ergometrie störungsfrei zu ermitteln.

Das verwendete Ergometer funktioniert mit computergesteuerter Wirbelstrombremse und drehzahlunabhängiger Drehmomentmessung. Das eingestellte Profil (50 - 25 - 2) wurde über eine digitale Schnittstelle automatisch vom Computer auf das Fahrrad übertragen. Die Atemgasmessung erfolgte nach der Breath - by - Breath - Analyse („von - Atemzug - zu -

Atemzug“). Diese ermöglichte eine kontinuierliche Darstellung der Atemwerte und gleichzeitige Darstellung der hämodynamischen Messwerte (HF, BD, EKG) auf dem Computerbildschirm. Die Funktionsweise des Spirometrieerätes während der Belastung ist Abschnitt 2.4.2 zu entnehmen.

Die Probandin nahm auf dem Ergometer Platz. Sitz -, Lenkerhöhe und Lenkerabstand wurden optimal angepasst, sodass eine bequeme Sitzposition gegeben war.

Als erstes wurde ein EKG geschrieben um kardiologische Auffälligkeiten auszuschließen. Die Spiroergometrie erfolgte nur bei unauffälligem EKG und fehlenden Kontraindikationen. Die Atemmaske wurde erneut an die Messeinheit angeschlossen.

Die Belastung begann nach oben genanntem Profil. Nach einer kurzen Aufwärmphase ohne Widerstand erfolgte sie nach festgelegten Kriterien bis zum Erreichen von 60% - 80% der individuellen maximalen Belastungsherzfrequenz. Diese lässt sich durch folgende etablierte Faustformel abschätzen (Gleichung 3 nach [30])

$$HF_{\max} = 220 - \text{Lebensalter} - 10\% \text{ (bei Frauen)} \quad (3)$$

Nach Erreichen dieser Grenze schloss sich eine Erholungsphase über ca. 5 - 10 min an.

Da bisher keine Erfahrungen mit Spiroergometrie bei 48-stündigem Fasten vorliegen, wurden die Probandinnen aus Sicherheitsgründen nicht maximal ausbelastet. Alle Messwerte, die im Folgenden als „maximal“ bezeichnet werden, sind lediglich die individuell höchsten erreichten Werte nach den oben genannten Kriterien. Diese werden in aktueller wissenschaftlicher Literatur häufig als „submaximale Leistung“ bezeichnet [30].

Ein Abbruch der Belastung erfolgte bei den für die Ergometrie üblichen Kriterien (Herzrhythmusstörungen, Schwindel, Angina pectoris, extremer oder kein Blutdruckanstieg bei zunehmender Belastung, Erschöpfung, Schmerzen, Dyspnoe).

Abb. 7 veranschaulicht den Versuchsaufbau mit der in Hohenheim verwendeten Spiroergometrie - Einheit.



Abb. 7: Darstellung der Spiroergometrie - Einheit
[55]

2.4.4 Laktatdiagnostik

Das verwendete Laktatmessgerät mit Messstreifen funktioniert über kalorische Messungen, die auf einer Enzymreaktion beruhen. Es benötigt nur eine geringe Menge ($\sim 5\mu\text{l}$) Blut. Die kapilläre Blutentnahme wurde aufgrund der einfachen Handhabung, der guten Durchblutung und Erreichbarkeit während der Belastung am Ohrläppchen durchgeführt. Außerdem ist die Qualität des Blutes am Ohr wegen geringer Schweißbeimengung zu bevorzugen. Ein Ausgangswert wurde vor Beginn der Spiroergometrie am rechten Ohrläppchen bestimmt. Insgesamt wurden sechs Messungen pro Tag bei jeder Probandin

durchgeführt (siehe auch 2.5.6). Die „individuell anaerobe Schwelle“ kann mit den in dieser Studie erhobenen Werten ohne Ausbelastung nicht errechnet werden. Es ist jedoch möglich Schlüsse aus Laktatwerten bei submaximaler Belastung zu ziehen, wie es häufig bei Feldversuchen praktiziert wird (vgl. [34]). Die Eingabe der Laktatwerte in das Computerprogramm der Spiroergometrie-Einheit erfolgte manuell.

2.4.5 EKG, Herzfrequenz und Blutdruck

Die Blutdruckmessung fand regelmäßig alle 2 min statt. Der Blutdruck wurde am linken Oberarm nicht - invasiv nach der indirekten Methode von Riva - Rocci (Stauungsmanschette) und Korotkoff (Arteriengeräusch) gemessen und in [mmHg] bestimmt. Die ermittelten Drücke dienten lediglich der Überwachung der Probandinnen.

Ebenso diente die kontinuierliche EKG - Aufzeichnung mit einem 12 - Kanal - EKG und computergesteuerter Filter - Technologie während der Belastung der Überwachung der Probandinnen. Vor Beginn der Belastung wurde ein Ruhe - EKG aufgezeichnet, das bei pathologischem Befund zum Ausschluss geführt hätte.

Die Herzfrequenz (HF) wurde gleichzeitig anhand des EKGs kontinuierlich aufgezeichnet.

2.5 Messwerte

2.5.1 Lungenfunktion Basiswerte

Die bei der Fastenstudie erhobenen spirometrischen Basiswerte unterteilen sich in statische und dynamische Lungenvolumina. Sie sind mobilisierbar.

Statische Volumina:

- Atemzugvolumen (VT): ein- bzw. ausgeatmetes Volumen
- Inspiratorische Vitalkapazität (VCin): max. ventilierbares Lungenvolumen
- Inspiratorisches Reservevolumen (IRV): Volumen, das nach normaler Einatmung noch zusätzlich eingeatmet werden kann
- Expiratorisches Reservevolumen (ERV): Volumen, das nach normaler Ausatmung noch zusätzlich ausgeatmet werden kann

Das verbleibende nicht - mobilisierbare Lungenvolumen ist das Residualvolumen. Dieses kann mit der Methode der Spirometrie nicht gemessen werden.

In Abb. 8 sind die statischen Lungenparameter veranschaulicht dargestellt.

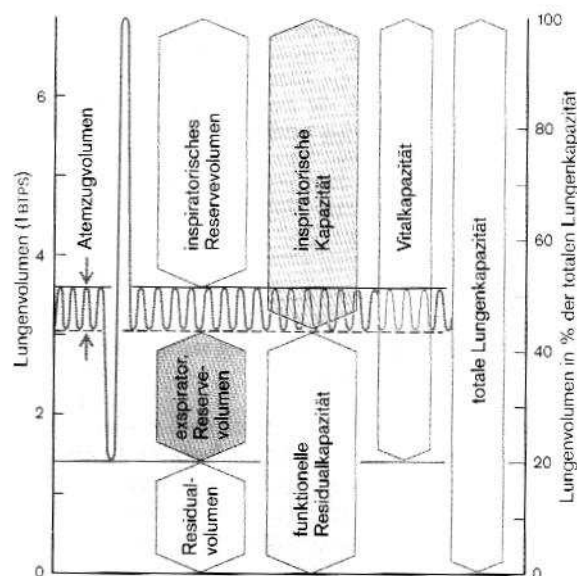


Abb. 8: Lungenvolumina

Aus der spirometrischen Messung ergeben sich alle Lungenvolumina außer dem Residualvolumen. Linke Ordinate: absolute Werte; rechte Ordinate: Lungenvolumina in Prozent der totalen Lungkapazität

[36]

Die dynamischen Lungenvolumina werden in forcierten Atemtests gemessen. Sie sind vom zeitlichen Verlauf des Spirogramms abhängig.

Dynamische Lungenvolumina:

- Einsekundenkapazität (FEV₁): max. exspirierbares Volumen in 1 sec
- Forcierte Vitalkapazität (FVC)
- Tiffeneau - Index (FEV₁ / VC_{in})

2.5.2 Respiratorische Parameter

Der erhöhte Sauerstoffbedarf bei körperlicher Belastung bedarf verschiedener Anpassungsmechanismen in der Ventilation.

Das Atemminutenvolumen (AMV oder VE) setzt sich aus Atemfrequenz [18] und Atemzugvolumen (V_T) zusammen.

Die Atemfrequenz in [1/min] nimmt unter Ruhebedingungen Werte zwischen 16-20/min an und kann bis um das dreifache auf 40 - 60/min bei Belastung gesteigert werden [27]. Aussagen, die allein auf Werten der AF basieren, können nur über den Belastungsgrad (submaximal - maximal) getroffen werden. Das V_T wird als Integral des Flusssignals berechnet und nimmt in Ruhe Werte zwischen 300 - 500 ml an.

Zu Beginn der Belastung steigt zuerst das V_T . Mit zunehmender Belastung steigt die AF an und V_T sistiert.

Insgesamt können die Werte des AMV von in Ruhe 6 - 8 l/min bis zu Spitzenwerte von 120 - 200 l/min bei maximaler Belastung ansteigen.

Die Veränderung der Sauerstoff - Aufnahme (VO_2) spiegelt den Bedarf wider, der bei muskulärer Belastung zur Energiegewinnung benötigt wird. Die VO_2 ist der für die Leistungsdiagnostik wichtigste Parameter. Dieser ist zum einen von der Transportkapazität des Blutes, der Blutverteilung, der Kapillarisation und dem Mitochondrienvolumen der Skelettmuskulatur, dem Herzzeitvolumen und der Endothelfunktion abhängig zum anderen aber auch von Motivation, Lungenatmung und vor allem der dominierenden Art der Stoffwechselprozesse

und des Ernährungszustandes [30]. Die VO_2 gibt somit im Gesamten Auskunft über die aerobe Kapazität eines Individuums.

Die CO_2 - Abgabe (VCO_2) erfolgt nicht in gleichem Maß wie die VO_2 , obwohl auch diese proportional zur Belastung zunimmt. Aufgrund der Umstellung von Fettsäure - auf Glukoseoxydation mit zunehmender Belastung steigt VCO_2 jedoch zusätzlich an. Der Anstieg der Laktatproduktion übersteigt nach einer bestimmten Zeit die Eliminationskapazität und führt schließlich über die Bikarbonatpufferung und der darauf folgenden CO_2 - Abatmung zu einem kurvenförmigen Anstieg.

An dem Punkt, an dem sich VCO_2 - Kurve (rot) und VO_2 - Kurve (blau) kreuzen, spricht man von der ventilatorischen anaeroben Schwelle (VAS). Eine solche Kurve ist beispielhaft in Abb. 9 dargestellt. Der gelbe Balken (Kurve) stellt die Belastungsintensität dar.

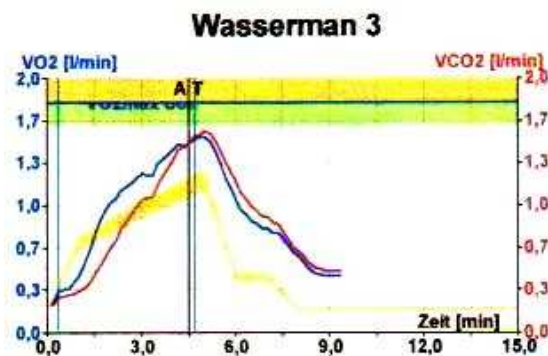


Abb. 9: Diagramm nach Wasserman 3

Darstellung der ventilatorischen anaeroben Schwelle am Kreuzpunkt der roten Kurve (VO_2) und der blauen Kurve (VCO_2). Protokoll nach Wasserman, Panel 3. [Auszug aus einem Untersuchungsprotokoll]

Die Bestimmung der VAS erfolgte computergesteuert über die V - Slope Methode nach Beaver und über den berechneten $RQ \geq 1$ (zur Berechnung des RQ siehe Abschnitt 2.5.3).

Die Messwerte von VO_2 und VCO_2 wurden aus der Differenz zwischen inspiratorischen und expiratorischen Gaskonzentrationen errechnet und über die spirometrische Messeinheit ermittelt.

Die Atemreserve (BR) ist die Differenz aus Atemgrenzwert (maximales AMV, das durch willkürliche Hyperventilation erreicht werden kann) und AMV. Die BR ermöglicht es abzuschätzen, ob die ventilatorische Kapazität, also die Fähigkeit das AMV zu steigern, ausgeschöpft ist. Die BR wird in [%] des Atemgrenzwertes angegeben. Bei $BR \geq 20\%$ ist von einer Ausbelastung auszugehen.

2.5.3 Energieverbrauch

Der Respiratorische Quotient ($RQ = RER$) dient unter anderem dazu, den zu einem bestimmten Zeitpunkt vorherrschenden Energieträger zu bestimmen (Gleichung 4 nach [36])

$$RQ = \text{CO}_2 - \text{Abgabe} \div \text{O}_2 - \text{Aufnahme} \quad (4)$$

Nährstoff	RQ
Kohlenhydrate	1,0
Eiweiß	0,81
Fette	0,70
„Mischkost“	0,82- 0,85

Abb. 10: Respiratorischer Quotient der Hauptnahrungsbestandteile
[30]

Der Gesamtenergieumsatz („Energy expenditure“, EE) und speziell der Kohlenhydrat- und Fettverbrauch wurden anhand des RQ über die in Abschnitt 2.5.2 erwähnten respiratorischen Messwerte ermittelt. Diese Werte sind alle in [kcal/h] angegeben.

2.5.4 Hämodynamische Parameter

Die Bestimmung des Blutdruckes diente - wie oben bereits erwähnt - ausschließlich dem Ausschluss einer Hypertonie und der Überwachung der Probandinnen.

Die Herzfrequenz (HF) ist ein sehr individueller Parameter und nach Haber [27] nur vom Alter, nach Hollmann [30] auch von Geschlecht, Körper - / Umgebungstemperatur, vegetativen Faktoren und bedingt vom Trainingszustand abhängig. Ruhewerte liegen bei 50 - 80/min. Die HF ist zwar interindividuell einer großen Schwankungsbreite unterlegen, ist jedoch intraindividuell von hoher Konstanz und Aussagekraft. Die HF steigt mit zunehmender Belastung etwa linear um ca. 90% bis zum Erreichen der maximalen Herzfrequenz an [30].

Der O₂ - Puls errechnet sich aus dem Quotienten von VO₂ und HF in derselben Minute (Gleichung 5 nach [30]):

$$\text{O}_2\text{-Puls} = \text{VO}_2 \div \text{HF} \cdot \text{min}^{-1} \quad (5)$$

Die Mittelwerte von Untrainierten belaufen sich auf 4,0 - 4,5 ml in Ruhe bis zu 14,0 - 16,0 ml bei Belastung und 5,5 - 18,0 ml bis 22,0 - 33,0 ml bei Trainierten [30]. Es können Aussagen über die kardio - pulmonale Leistungsreserve bzw. die Grenze der Leistungsfähigkeit getroffen werden.

2.5.5 Leistungsparameter

Die Leistung in Watt [W = J/s] kann zu verschiedenen Zeitpunkten der Belastung betrachtet werden. Die Leistung ist folgendermaßen definiert (Gleichung 6 nach [36])

$$\text{Leistung} = \text{Kraft} \times \text{Geschwindigkeit} = \text{Arbeit} \div \text{Zeit} \quad (6)$$

Am aussagekräftigsten ist die maximale Leistung bzw. im hier verwendeten Belastungsprotokoll die submaximal höchste Leistung, die erbracht wurde.

Die „Physical Work Capacity“ (PWC) und PWC_{rel} (in Bezug auf das KG) stellen Parameter dar, die insbesondere von der Motivation und vom Alter unabhängig [30] und somit sehr aussagekräftig in Bezug auf Veränderungen der Leistung sind. Die Bestimmung erfolgt abhängig von submaximalen Normwerten des erreichten Zielpulses und vom Geschlecht (für Frauen gelten niedrigere Normwerte aufgrund der geringeren Muskelmasse) [61]. Die PWC wird in Bezug zu einer submaximalen Pulsfrequenz gesetzt z.B. 150 (PWC150) und die entsprechende Leistung in [W] angegeben. Richtwerte bei Frauen sind $PWC150_{rel} = 1,6 \text{ W/kg}$ [30, 61].

2.5.6 Laktatwerte

Die Laktatwerte wurden regelmäßig vor, während und nach der Belastung gemessen. Insgesamt gab es 6 Messungen pro Tag bei jeder Probandin:

1. Vor Belastung
2. Erste Minute der Belastung (Aufwärmphase)
3. Bei $RQ \sim 1$, annähernd an der anaeroben Schwelle
4. Bei maximaler Last (höchste erreichte Last, keine Ausbelastung)
5. Zwei Minuten nach Beginn der Erholungsphase
6. Bei Ende der Belastung

Die Laktatwerte sind in der Einheit [mmol/l] angegeben.

Die anaerobe Schwelle (AT) bezeichnet den Moment des steilen Anstiegs der Laktatkonzentration im Blut [64] und liegt definitionsgemäß an der „höchstmöglichen Belastungsintensität, welche noch ohne zunehmende Übersäuerung aufrecht erhalten werden kann“ [65].

Zur Berechnung der AT wäre eine höhere Frequenz der Messungen notwendig gewesen. Da die VAS jedoch um einiges genauer ist, haben wir uns auf diesen Wert beschränkt (siehe 2.5.2).

2.6 Statistische Methoden und Computersoftware

Auf allen zur Studie verwendeten Computern kam das Betriebssystem Windows™ XP zum Einsatz. Die Spiroergometrie - Einheit verwendete die Software LF-8 (von Ganshorn), um die Parameter darzustellen und zu verrechnen. Alle Rohdaten wurden automatisch mit Hilfe dieser Software in die unter Abschnitt 2.5 dargelegten Parameter umgerechnet.

Die relevanten Daten der hiervon erstellten Sicherheitsausdrucke wurden händisch in die international anerkannte Statistiksoftware SPSS® (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) übertragen. Verwendet wurde die Version 13.0, welche im Jahr 2005 auf den Markt kam. Mittlerweile wird die Software unter dem Namen PASW Statistics (Predictive Analytics Software) - aktuelle Version: 18.0 - vertrieben. Es handelt sich hierbei um ein vielfach verwendetes modular aufgebautes Programmpaket zur statistischen Analyse von Daten. Die Software ermöglicht das grundlegende Datenmanagement und umfangreiche statistische und graphische Datenanalysen mit den gängigsten statistischen Verfahren. Somit kann eine hohe Auswertungsobjektivität gewährleistet werden.

Es gab drei Gruppen von Daten:

- a) Messwerte, die einmalig während des Versuches als Referenzwerte erhoben wurden
- b) Messwerte, die einmal pro Versuchstag erhoben bzw. berechnet wurden
- c) Messwerte, die mehrmals pro Versuchstag erhoben bzw. berechnet wurden. Um hier den Verlauf darstellen zu können, wurden drei Zeitpunkte festgelegt. Der erste Wert vor Beginn der Belastung, der zweite an der anaeroben Schwelle und der dritte am „peak“ (höchster Punkt) der Belastung.

Da die Probandinnen nicht bis zur Ausbelastung untersucht wurden, überschneiden sich Zeitpunkt zwei und drei bei manchen Messungen.

Die Parameter der Gruppe b) und c) wurden letztendlich über den Verlauf der drei Tage verglichen, um die Auswirkungen des Fastens untersuchen zu können.

Abb. 11 veranschaulicht die Messungen der drei Datengruppen a) –c).

	Tag 1			Tag 2			Tag 3		
a)	M 1								
b)	M 1			M 2			M 3		
c)	M 1.1	M 1.2	M 1.3	M 2.1	M 2.2	M 2.3	M 3.1	M 3.2	M 3.3

Abb. 11: Veranschaulichung der drei Datengruppen

Datengruppe a) wurde einmalig durchgeführt, während Datengruppe b) einmal täglich und Datengruppe c) dreimal täglich erhoben wurde. M= Messung
[Eigene Darstellung]

Für alle erhobenen Messwerte wurden deskriptive Statistiken erstellt, welche Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum, Maximum und verschiedene Perzentilen beinhalten.

Da die Probandengruppe sehr homogen war (bzgl. Geschlecht, Alter, BMI, Gesundheitszustand) und die verwendeten Testmethoden sich bzgl. Objektivität, Reliabilität und Validität in vielen Studien bewährt hatten, konnte man hier stets von einer Normalverteilung der verschiedenen ermittelten Parameter ausgehen.

Um die Auswirkung des Fastens auf die verschiedenen Parameter zu zeigen wurde nach dem Allgemein Linearen Modell eine Varianzanalyse (Analysis of Variance = ANOVA) gerechnet. Die Normalverteilung und die Varianzhomogenität der Daten wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft.

Ziel der Studie war, den zeitlichen Verlauf (Baseline - nach 24 h - nach 48 h) verschiedener Parameter zu untersuchen. Deswegen wurden die Daten b) mit einer einfaktoriellen „Repeated Measure“ (= Messwiederholungen) ANOVA, die Daten c) mit einer zweifaktoriellen „Repeated Measure“ ANOVA ausgewertet. Hierzu wurde zuerst der „Mauchly - Test“ zur Überprüfung der Sphärizität angewendet. Bei signifikantem Ergebnis deutete dies auf eine Verletzung der Sphärizitätsannahme hin. In diesem Fall kam der „Greenhouse - Geisser“ als Korrekturverfahren zum Einsatz.

Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt, d.h. bei $p < 0,05$ konnte die Nullhypothese verworfen und eine signifikante Veränderung des Parameters

festgestellt werden. Als hoch signifikant werden Ergebnisse bezeichnet, die ein $p \leq 0,01$ zeigen. Zeigte sich eine signifikante Veränderung über den zeitlichen Verlauf der drei Tage wurde eine post - hoc - Analyse zur genaueren Bestimmung der Veränderung zwischen den einzelnen Tagen durchgeführt (Tag 1 vs. Tag 2 vs. Tag 3).

Darüber hinaus wurde der Einfluss unabhängiger Faktoren (sogenannte „Zwischensubjektfaktoren“) auf die zeitlichen Verläufe der Parameter untersucht. Hierfür wurde die folgende Variable mit Hilfe eines Mediansplits dichotomisiert: Alter: 18 - 21 Jahre vs. 22 - 26 Jahre. Die dichotome Variable Ausdauersport (ja vs. nein) wurde ebenfalls als Zwischensubjektfaktor verwendet. Hierzu wurden auch „Repeated Measure“ ANOVAs berechnet.

Die in dieser Arbeit vorliegenden Schaubilder wurden mit Hilfe des Graphik-Modus von SPSS erzeugt.

3 Ergebnisse

3.1 Lungenfunktion Basiswerte

Die Messwerte der Spirometrie, die einmal zu Beginn der Studie erhoben wurden, lagen wie erwartet alle im Normalbereich (siehe auch Abschnitt 2.5.1). Zur Veranschaulichung dieser lediglich als Referenzwerte dienenden Parameter sind in Abb. 12 drei der wichtigsten Lungenfunktionswerte in Histogrammen dargestellt.

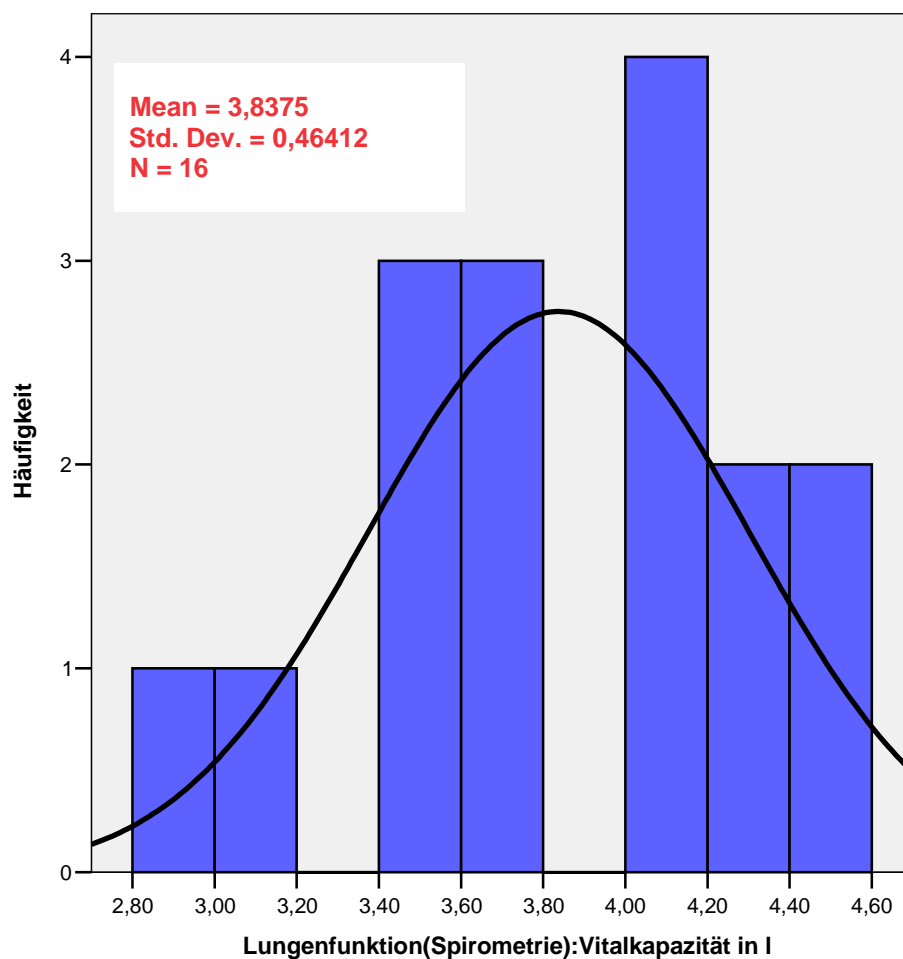
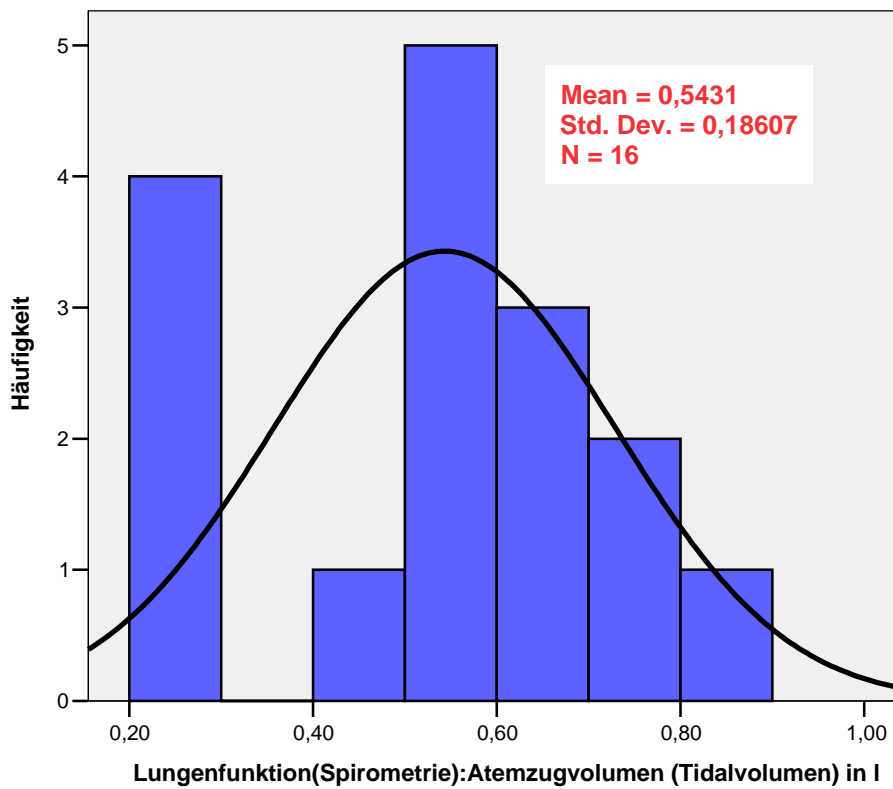
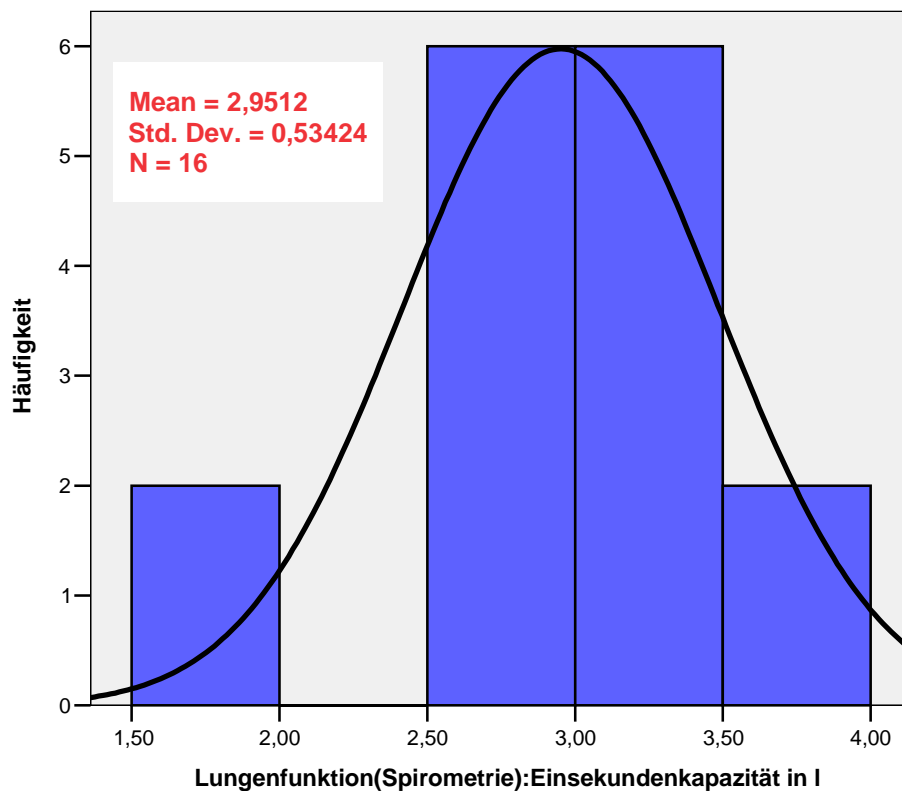


Abb. 12: Histogramme der Lungenfunktionsparameter mit Normalverteilungskurven, Mittelwerten und Standardabweichung VC_{in} (oben)
nächste Seite: FEV_1 (oben) V_T (unten)



3.2 Respiratorische Parameter

Das AMV nahm mit zunehmender Belastung ($F=761,220$, $p < 0,001$) und im Verlauf der 3 Tage hoch signifikant ($F= 7,674$, $p= 0,003$) zu.

AMV	Mittelwert	SD	N
M 1.1	7,8286	2,82510	14
M 1.2	37,3907	4,89047	14
M 1.3	41,6600	4,48384	14
M 2.1	7,5264	2,24946	14
M 2.2	39,3064	4,38072	14
M 2.3	41,0686	4,92717	14
M 3.1	8,6314	2,56833	14
M 3.2	42,9286	4,46133	14
M 3.3	43,9029	4,07843	14

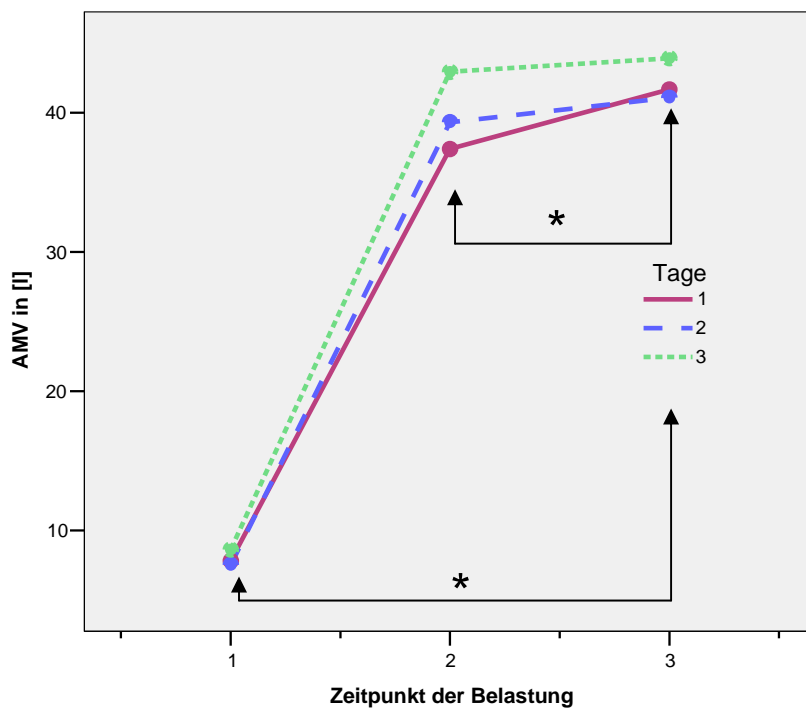


Abb. 13: Atemminutenvolumen

Mittelwerte und SD (Tab. oben); graphische Darstellung der ANOVA über den Zusammenhang zwischen veränderter Belastung und Verlauf über die drei Tage (Abb. unten), * $p < 0,05$

Das V_T hat sich zwar mit zunehmender Belastung verändert ($F=75,520$, $p < 0,001$). Einen signifikanten Unterschied zwischen den Fastentagen zeigte sich jedoch nicht ($F= 0,041$, $p = 0,951$).

Die AF hingegen hatte eine hoch signifikante Zunahme aufzuzeigen: während der Belastung ($F= 75,520$, $p < 0,001$) und über die 3 Tage ($F=10,014$, $p= 0,002$).

AF	Mittelwert	SD	N
M 1.1	17,07	4,358	14
M 1.2	23,57	3,715	14
M 1.3	25,29	3,891	14
M 2.1	15,79	3,886	14
M 2.2	24,43	3,204	14
M 2.3	25,57	3,368	14
M 3.1	18,57	4,327	14
M 3.2	26,93	3,990	14
M 3.3	27,07	4,028	14

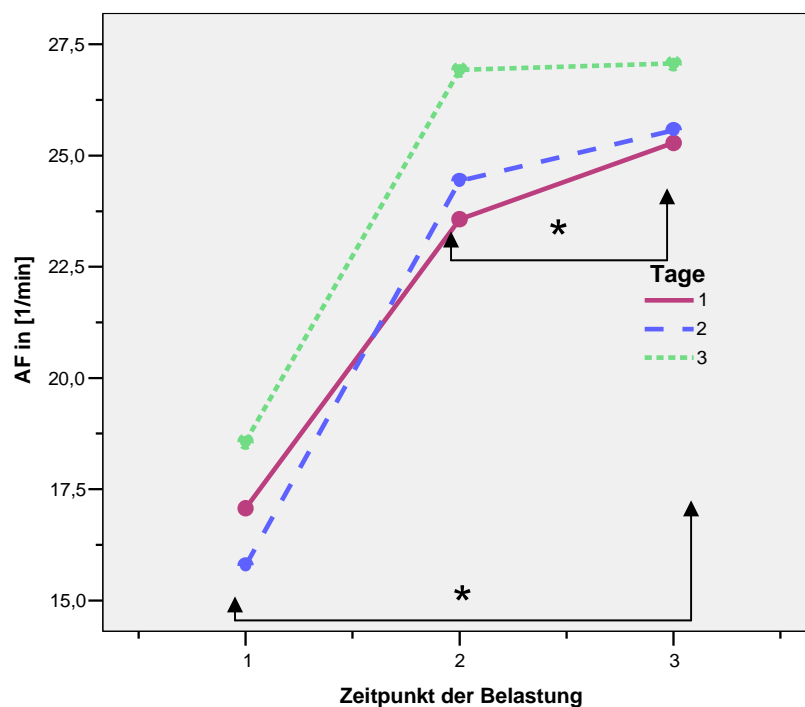


Abb. 14: Atemfrequenz

Mittelwerte und SD (Tab. oben); graphische Darstellung der ANOVA über den Zusammenhang zwischen veränderter Belastung und Verlauf über die drei Tage (Abb. unten), * $p < 0,05$

Die Atemgase VO_2 und VCO_2 veränderten sich mit zunehmender Belastung beide hoch signifikant ($p < 0,001$). Im Verlauf des 48-stündigen Fastens zeigte aber nur bei VCO_2 eine hoch signifikante Veränderung ($F = 11,129$, $p = 0,001$). Die VCO_2 nahm über die drei Tage kontinuierlich ab.

VCO_2	Mittelwert	SD	N
M 1.1	0,2514	0,10045	14
M 1.2	1,6114	0,23280	14
M 1.3	1,7921	0,15880	14
M 2.1	0,2214	0,07252	14
M 2.2	1,5450	0,21989	14
M 2.3	1,6021	0,19542	14
M 3.1	0,2200	0,04540	14
M 3.2	1,4807	0,18057	14
M 3.3	1,5100	0,13456	14

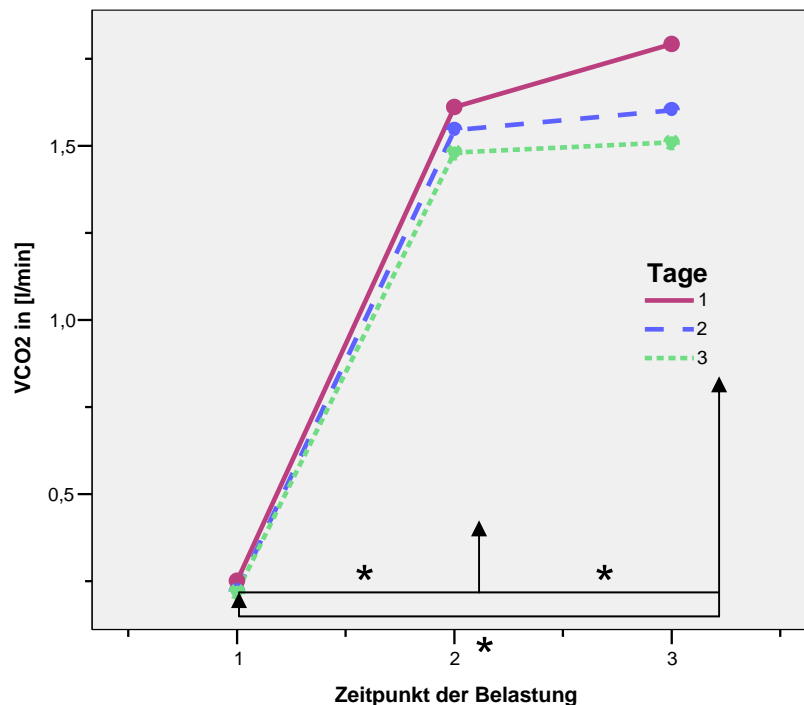


Abb. 15: VCO_2

Mittelwerte und SD (Tab. oben);graphische Darstellung der ANOVA über den Zusammenhang zwischen veränderter Belastung und Verlauf über die drei Tage (Abb. unten),* $p < 0,05$

Der RQ stieg während der Belastung kontinuierlich signifikant an ($F = 88,233$, $p < 0,001$). Im Verlauf der drei Tage ist ein hoch signifikanter Abfall nachzuweisen ($F = 32,726$, $p < 0,001$).

RQ	Mittelwert	SD	N
M 1.1	0,8821	0,10671	14
M 1.2	0,9757	0,02593	14
M 1.3	1,0293	0,08352	14
M 2.1	0,7914	0,05829	14
M 2.2	0,9600	0,03013	14
M 2.3	0,9757	0,05388	14
M 3.1	0,7686	0,04737	14
M 3.2	0,9164	0,04125	14
M 3.3	0,9271	0,06318	14

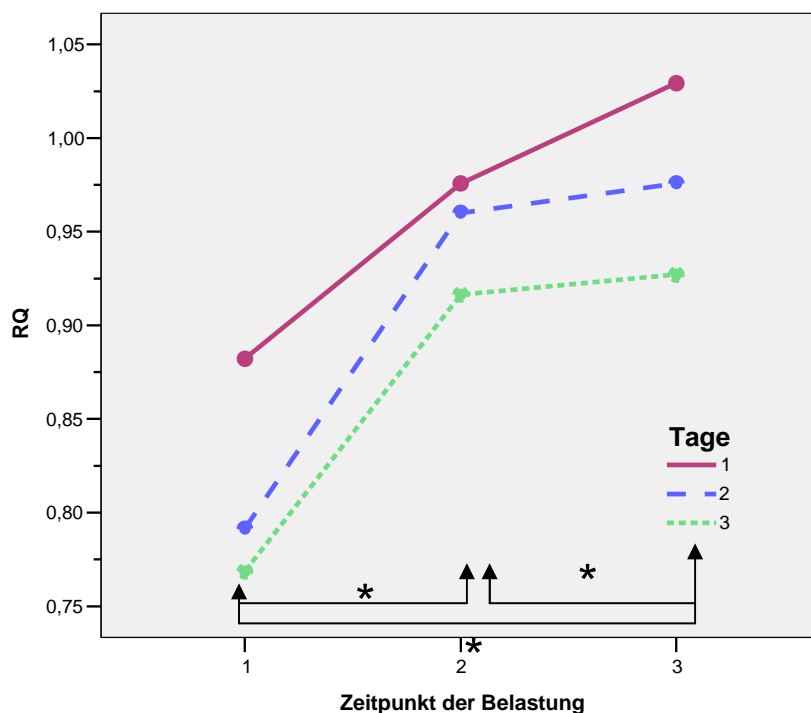


Abb. 16: Respiratorischer Quotient
Mittelwerte und SD des RQ (Tab. oben); graphische Darstellung über den Zusammenhang zwischen veränderter Belastung und Verlauf über die drei Tage (Abb. unten), * $p < 0,05$

Die BR zeigte im Verlauf der einzelnen Belastungen eine hoch signifikante Änderung ($p < 0,001$). Während des Fastens hat sich jedoch keine signifikante Veränderung ergeben ($p = 0,665$).

In den Abbildungen 13-16 sowie Abbildung 20 handelt es sich bei den drei Messzeitpunkten, die im Gesamten mit „veränderter Belastung“ beschrieben sind, um folgende Zeitpunkte während der Belastung (siehe auch unter 2.6 c)):

- Zeitpunkt 1: Beginn der Belastung
- Zeitpunkt 2: anaerobe (ventilatorische) Schwelle
- Zeitpunkt 3: „peak“ (höchster Punkt) der Belastung; kurz vor Belastungsabbruch

3.3 Energieverbrauch

Eine signifikante Änderung im Energieverbrauch ließ sich zeigen. Es fand eine signifikante Abnahme des Kohlenhydratverbrauchs ($F= 4,429$, $p = 0,035$) zugunsten einer Zunahme des Fettverbrauchs statt ($F= 3,546$, $p = 0,043$). Diese Signifikanz lässt sich über den gesamten Verlauf der drei Tage zeigen. Von Tag 1 auf Tag 2 genauso wie von Tag 2 auf Tag 3 ist diese Veränderung nicht signifikant.

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Indirekte Kalorimetrie: Kohlenhydratverbrauch in Ruhe in kcal/h (Tag 1)	58,67	29,156	12
Indirekte Kalorimetrie: Kohlenhydratverbrauch in Ruhe in kcal/h (Tag 2)	37,42	21,790	12
Indirekte Kalorimetrie: Kohlenhydratverbrauch in Ruhe in kcal/h (Tag 3)	28,75	22,979	12

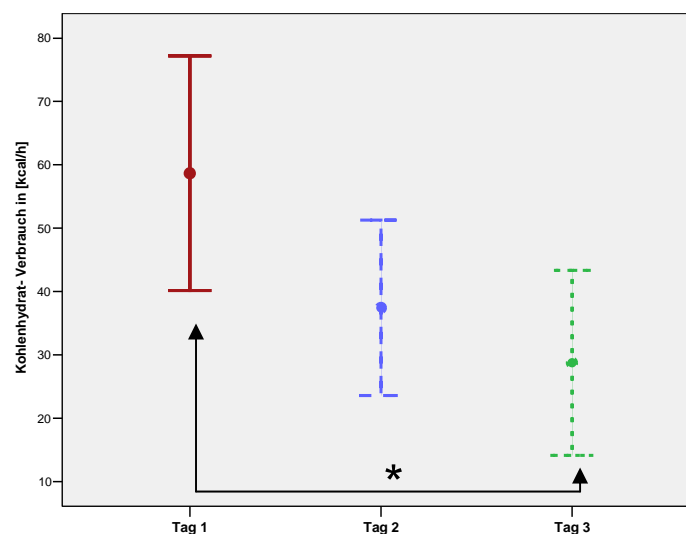


Abb. 17: Kohlenhydrat - Verbrauch

Darstellung der Ergebnisse (Mittelwerte und Standardabweichung (Tab. oben), 95%CI des KH - Verbrauchs über die drei Tage (Abb. unten), $N=$ Anzahl Probandinnen, * $p < 0,05$
Abb. 18 stellt den Fett - Verbrauch über die drei Tage dar.

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Indirekte Kalorimetrie: Fettverbrauch in Ruhe in kcal/h (Tag 1)	45,07	17,744	14
Indirekte Kalorimetrie: Fettverbrauch in Ruhe in kcal/h (Tag 2)	57,07	27,594	14
Indirekte Kalorimetrie: Fettverbrauch in Ruhe in kcal/h (Tag 3)	64,43	21,950	14

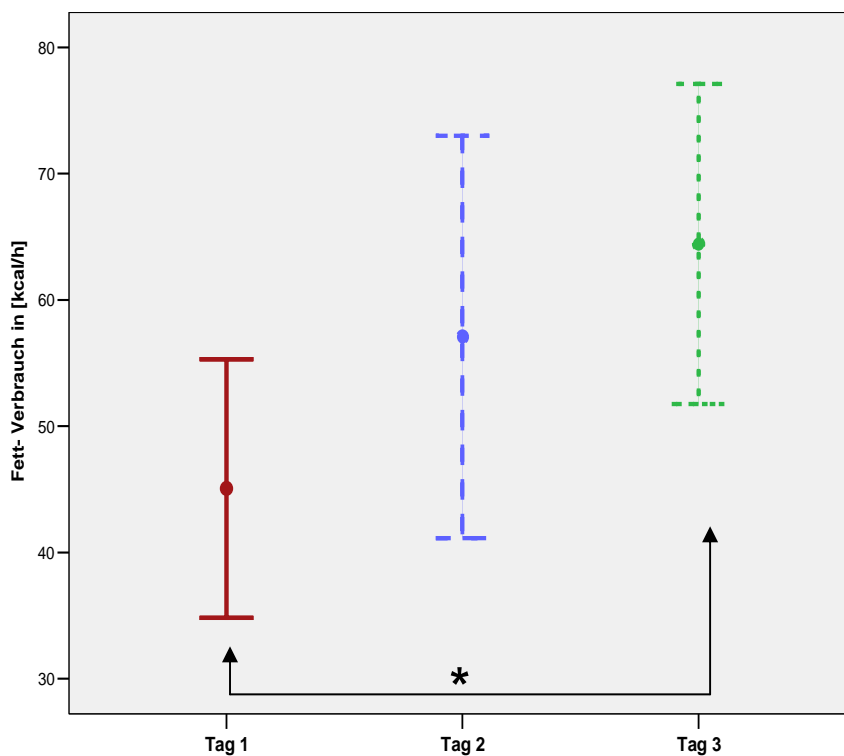


Abb. 18: Fett - Verbrauch

Darstellung der Ergebnisse (Mittelwerte und Standardabweichung Tab. oben), 95% CI des Fett- Verbrauchs über die drei Tage (Abb. unten), N= Anzahl Probandinnen, * $p < 0,05$

Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Fett- und KH- Verbrauch (siehe Abschnitt 2.5.3) und RQ, verhielt sich dieser genauso wie die beiden oben genannten Messwerte. Es konnte ein signifikanter Abfall ($F = 4,458$, $p = 0,034$) des RQ im Verlauf von Tag 1 - 3 gezeigt werden. Der Abfall zwischen den einzelnen Tagen war nicht signifikant.

Beim Gesamtenergieverbrauch (EE) in Ruhe konnte keine signifikante Veränderung gezeigt werden ($F = 0,054$, $p = 0,947$). Tendenziell war ein sehr leichter Anstieg des EE im Verlauf der drei Tage zu messen.

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Indirekte Kalorimetrie:Energy Expenditure (Energieverbrauch) in Ruhe in kcal/h (Tag 1)	85,94	18,763	16
Indirekte Kalorimetrie:Energy Expenditure (Energieverbrauch) in Ruhe in kcal/h (Tag 2)	86,94	13,940	16
Indirekte Kalorimetrie:Energy Expenditure (Energieverbrauch) in Ruhe in kcal/h (Tag 3)	87,25	7,514	16

Abb. 19: Gesamtenergieverbrauch

Darstellung der Ergebnisse des EE (Mittelwerte und SD), N= Anzahl Probandinnen

3.4 Hämodynamische Parameter

In Bezug auf die Herzfrequenz konnte, abgesehen von der während der Belastung zunehmenden HF, keine signifikante Veränderung über die drei Tage festgestellt werden ($p = 0,098$).

Der Verlauf des O_2 - Puls veränderte sich über die drei Tage hoch signifikant ($F = 7,087$, $p = 0,004$). Die Abb. 20 (siehe nächste Seite) veranschaulicht dieses Ergebnis. Die Veränderungen im Verlauf einer Belastung waren wie bei allen anderen Parametern hoch signifikant.

<i>O₂-Puls</i>	Mittelwert	SD	N
M 1.1	4,0762	1,59204	13
M 1.2	11,2038	2,03695	13
M 1.3	11,3062	1,93382	13
M 2.1	3,8300	1,57467	13
M 2.2	10,2738	1,89485	13
M 2.3	10,3908	1,77885	13
M 3.1	3,9669	0,93547	13
M 3.2	9,9154	2,03914	13
M 3.3	9,9723	1,96071	13

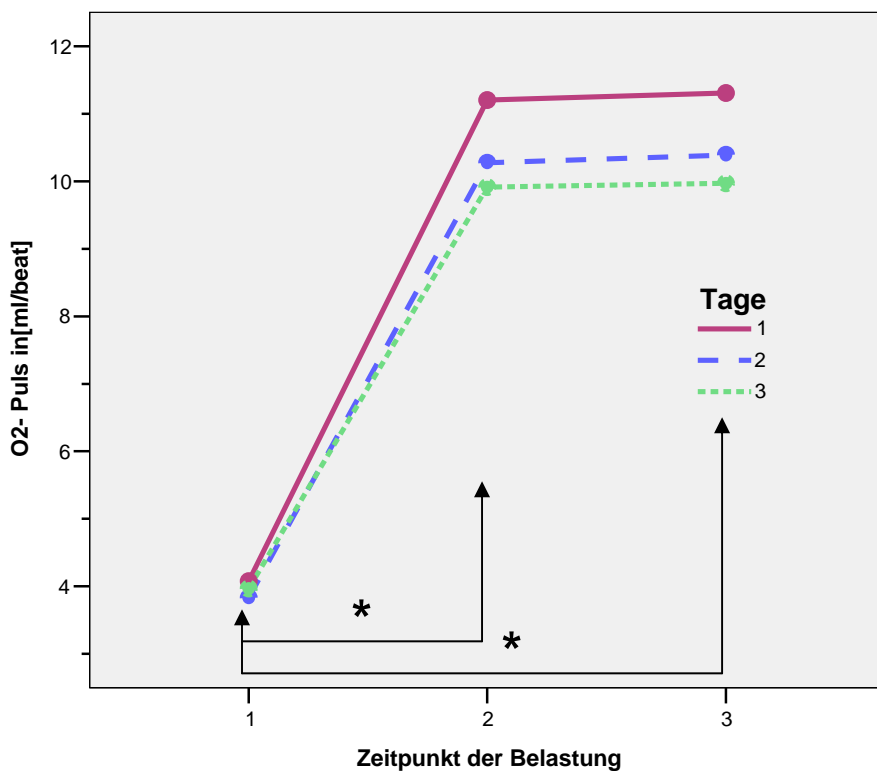


Abb. 20: O₂ - Puls

Mittelwerte und SD des O₂ - Puls (Tab. oben); graphische Darstellung über den Zusammenhang zwischen veränderter Belastung und Verlauf über die drei Tage (Abb. unten), * p < 0,05

3.5 Leistungsparameter

Die erbrachten Watt - Zahlen der Probandinnen ließen keinen Nachweis eines signifikanten Leistungsabfalls zu ($p = 0,535$). Eine Tendenz war jedoch im Verlauf der Tage in der maximal erbrachten Leistung zu erkennen. Die mittlere erbrachte Leistung an Tag 1 von 115,67 W reduzierte sich an Tag 2 auf im Mittel maximale 111,33 W und an Tag 3 schließlich auf 107,33 W.

Ein hoch signifikanter Leistungsabfall mit ($F = 6,522$, $p = 0,015$) konnte anhand der aussagekräftigen $PWC150_{rel}$ gezeigt werden. Auch die $PWC150$ ohne Bezug auf das KG war signifikant ($F = 5,735$, $p = 0,023$).

Bei genauerer Betrachtung ist ein signifikanter Leistungsabfall von Tag 1 auf Tag 2 ($p = 0,035$) erfolgt. Der Leistungsabfall von Tag 2 auf Tag 3 ($p = 0,090$) war jedoch nicht signifikant. In Abb. 21 (siehe nächste Seite) sind die Mittelwerte mit Standardabweichung oben dargestellt. Unten wird der Leistungsabfall über die drei Fastentage graphisch veranschaulicht.

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Physical Work Capacity relativ bezogen auf das Gewicht bei HF 150 in Watt/kg KG (Tag 1)	1,9800	,27498	14
Physical Work Capacity relativ bezogen auf das Gewicht bei HF 150 in Watt/kg KG (Tag 2)	1,8364	,22352	14
Physical Work Capacity relativ bezogen auf das Gewicht bei HF 150 in Watt/kg KG (Tag 3)	1,7743	,28054	14

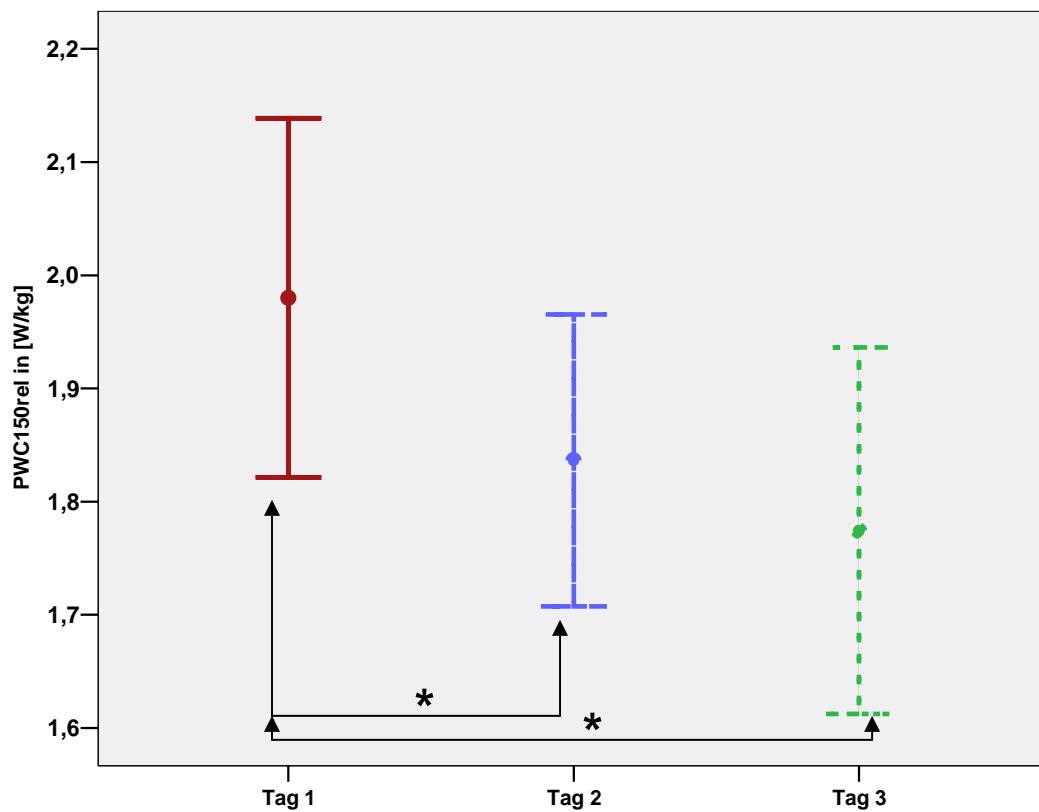


Abb. 21: PWC150_{rel}

Darstellung der Ergebnisse, Mittelwerte und SD (Tab. oben), 95% CI des PWC150_{rel} über die drei Tage (Abb. unten), N= Anzahl Probandinnen, * p< 0,05

3.6 Laktatwerte

Die erhobenen Laktatwerte ergaben kein positives Ergebnis hinsichtlich einer signifikanten Veränderung. Die Anzahl der erhobenen Laktatwerte reichte nicht aus um die individuelle (metabolische) anaerobe Schwelle (IAS) zu bestimmen. Der Verlauf während der Belastung über die drei Tage veränderte sich nicht signifikant.

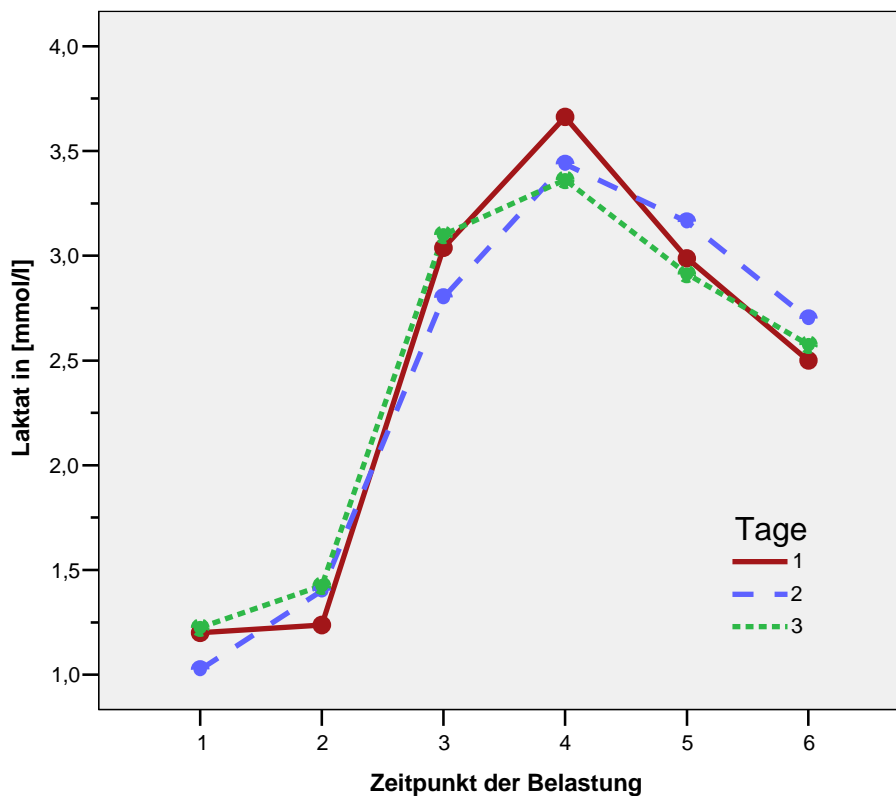


Abb. 22: Laktatwerte

Graphische Darstellung der Laktatwerte über den Zusammenhang zwischen veränderter Belastung und Verlauf über die drei Tage

Eine Tendenz lässt sich beschreiben: die höchsten maximalen Werte sowie der schnellste Abbau wurden an Tag 1 gemessen. An Tag 2 zeigten sich geringere maximale Werte und ein weniger schneller Abbau. Tag 3 ergab noch geringere maximale Werte, jedoch einen schnelleren Abbau als an Tag 2.

3.7 Körpergewicht und BMI

Die Ergebnisse im Verlauf der 48-stündigen Fastenzeit ergeben eine hoch signifikante Veränderung des Körpergewichtes ($F = 44,128$, $p < 0,000$). Eine signifikante Gewichtsabnahme hat von Tag 1 auf Tag 2 ($p = 0,001$) und von Tag 2 auf Tag 3 ($p < 0,001$) statt gefunden.

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Körpergewicht in kg (Tag 1)	60,06	7,206	16
Körpergewicht in kg (Tag 2)	59,31	6,983	16
Körpergewicht in kg (Tag 3)	58,29	7,107	16

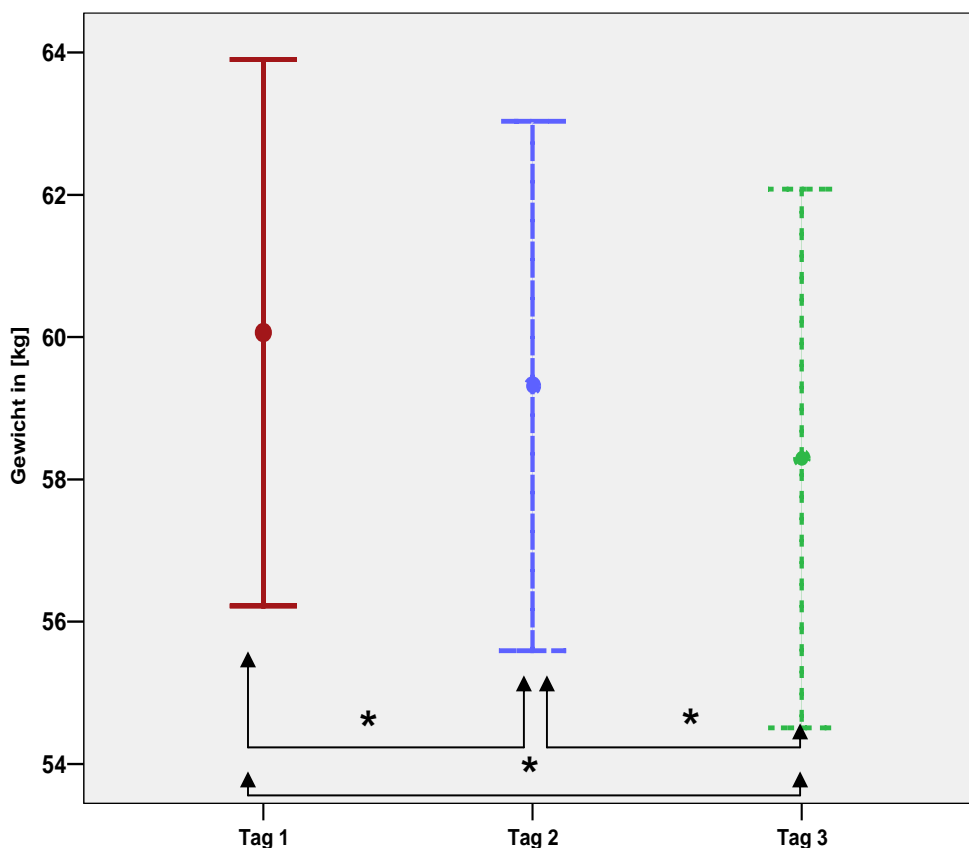


Abb. 23: Körpergewicht

Darstellung der Ergebnisse, Mittelwerte und SD (Tab. oben), 95%CI des KG über die drei Tage (Abb. unten), N= Anzahl Probandinnen, * $p < 0,05$

Der Body - Mass - Index hat sich im Laufe der drei Tage ebenso hoch signifikant verändert ($F = 39,991$, $p < 0,001$). Nicht nur die Abnahme des Verlaufs über die drei Tage ist hoch signifikant, sondern auch die Veränderung von Tag 1 auf Tag 2 ($p = 0,001$) und von Tag 2 auf Tag 3 ($p < 0,001$). Bei allen Probandinnen befanden sich die Werte nach Abnahme des BMI im Normbereich ($19 - 25 \text{ kg/m}^2$) und führte somit im Verlauf dieser Studie nicht zu Kriterien des Untergewichtes.

	Standardab		N
	Mittelwert	weichung	
BMI (Tag 1)	21,531	1,5949	16
BMI (Tag 2)	21,281	1,5984	16
BMI (Tag 3)	20,900	1,5319	16

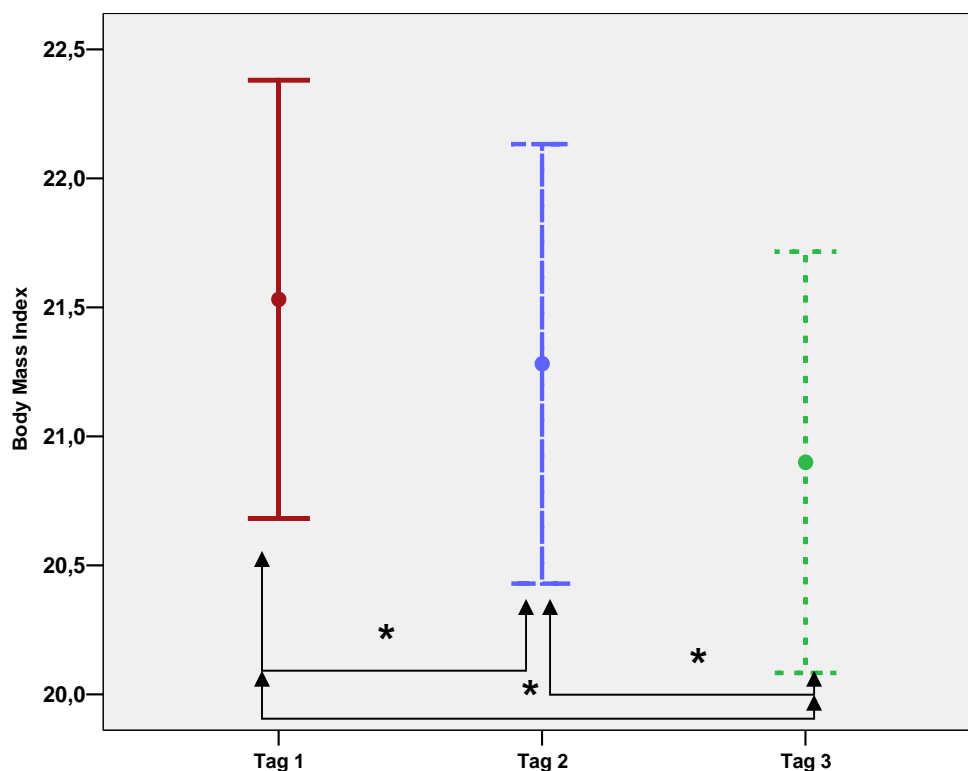


Abb. 24: Body - Mass - Index

Darstellung der Ergebnisse, Mittelwerte und SD (Tab. oben), 95%CI des BMI über die drei Tage (Abb. unten), N= Anzahl Probandinnen, * $p < 0,05$

3.8 Zwischensubjektfaktoren

3.8.1 Lungenfunktion

Als Hauptrepräsentanten für die Lungenfunktion wurden als Kovariaten die FEV_1 und die VC_{in} verwendet.

Die Berechnung ergab bei allen sich signifikant verändernden Parametern keinen signifikanten Einfluss der kontinuierlichen Lungenfunktionsparameter.

3.8.2 Alter kategorisiert

Das Alter wurde mit Hilfe des Mediansplits in zwei gleiche Gruppen unterteilt. Gruppe 1 beinhaltet alle Probandinnen bis einschließlich 21 Jahre. Gruppe 2 beinhaltet alle Probandinnen über 21 Jahre. Die Gruppen enthielten dann jeweils sieben Probandinnen.

Der einzige Parameter, bei dem sich ein signifikanter Effekt in Bezug auf die Interaktion mit der Altersgruppen zeigte, war der RQ in Ruhe ($F = 3,615$, $p = 0,040$). Dieser Effekt ist in Abb. 25 dargestellt.

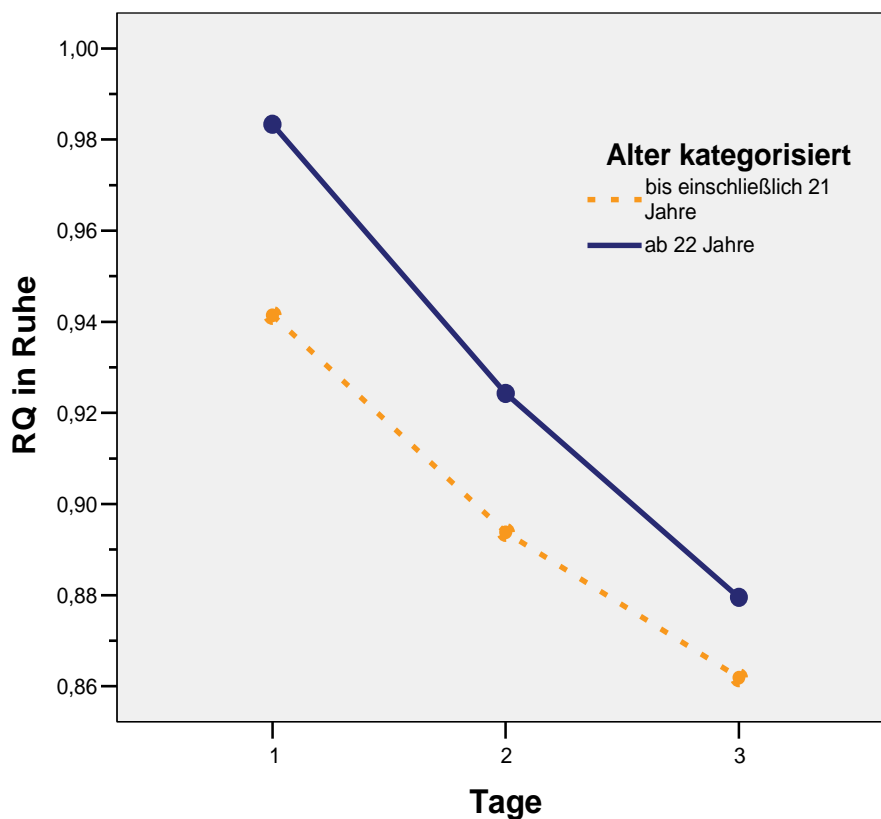


Abb. 25: RQ in Ruhe nach Alter kategorisiert

Verlauf des RQ in Ruhe über die drei Tage unterteilt in zwei gleich große Altersgruppen

3.8.3 Trainingszustand

Der Trainingszustand wurde anhand der Sportarten (Ausdauer oder andere) vergleichbar gemacht. Probandinnen, die regelmäßig Ausdauersport betrieben, wurden Gruppe 1, diejenigen, die nicht regelmäßig Ausdauersport betrieben, Gruppe 2 zugeordnet. Neun Probandinnen wurden zur Berechnung Gruppe 1, sieben Gruppe 2 zugeordnet. Durch Berechnungen mit dieser Kategorisierung konnten einige Effekte erkannt werden.

Respiratorischer Quotient unter Belastung

Der RQ unter Belastung zeigte nur einen signifikanten Effekt ($F = 4,369$, $p = 0,024$) in Interaktion mit dem Faktor Belastung, nicht jedoch mit dem Faktor „Tage“ über den Verlauf der drei Fastentage.

Körpergewicht und Body - Mass - Index

In Interaktion mit dem Verlauf des Körpergewicht und des BMI zeigte der Trainingszustand der Probandinnen einen signifikanten Effekt über die drei Tage.

Abb. 26 auf der nächsten Seite veranschaulicht in einer Graphik, wie sich der BMI der beiden Gruppen im Verlauf der Fastenzeit unterschiedlich verhält ($F = 3,469$, $p = 0,045$).

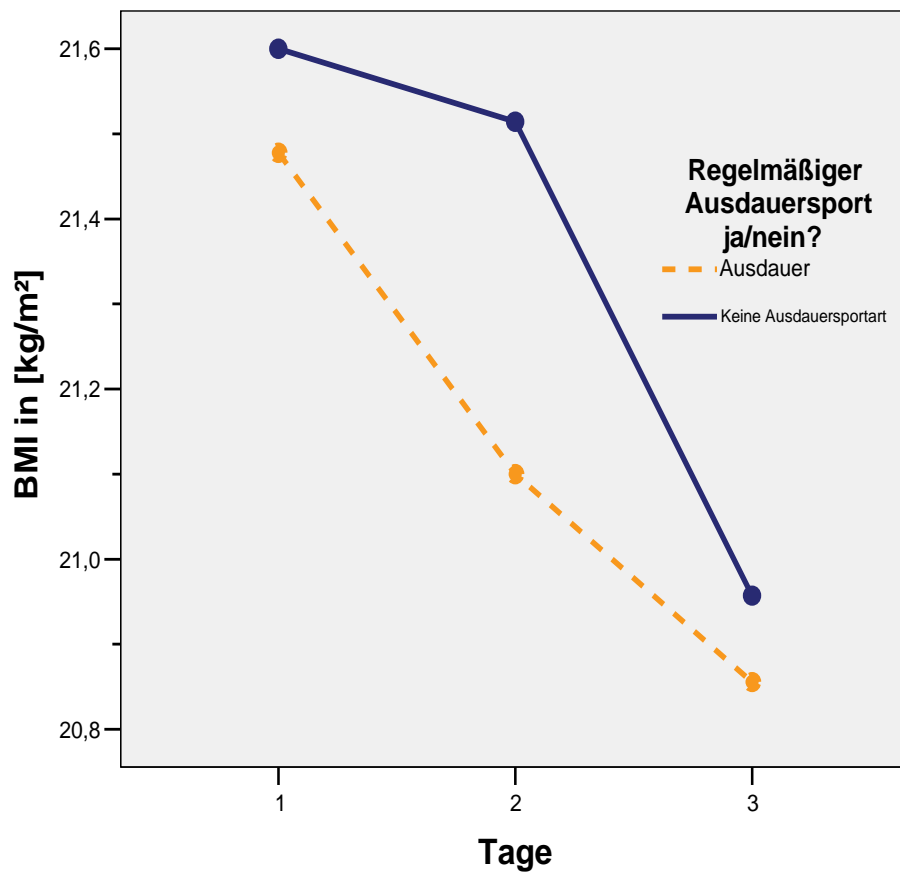


Abb. 26: BMI kategorisiert nach Trainingsstatus

Verlauf des BMI über die drei Tage unterteilt in zwei Gruppen sortiert nach ausgeübter Sportart (Ausdauersportart oder andere)

Auch zwischen dem Körpergewicht und dem Trainingszustand besteht eine signifikante Interaktion ($F = 3,577, p = 0,041$).

Dies stellt Abb. 27 anschaulich dar.

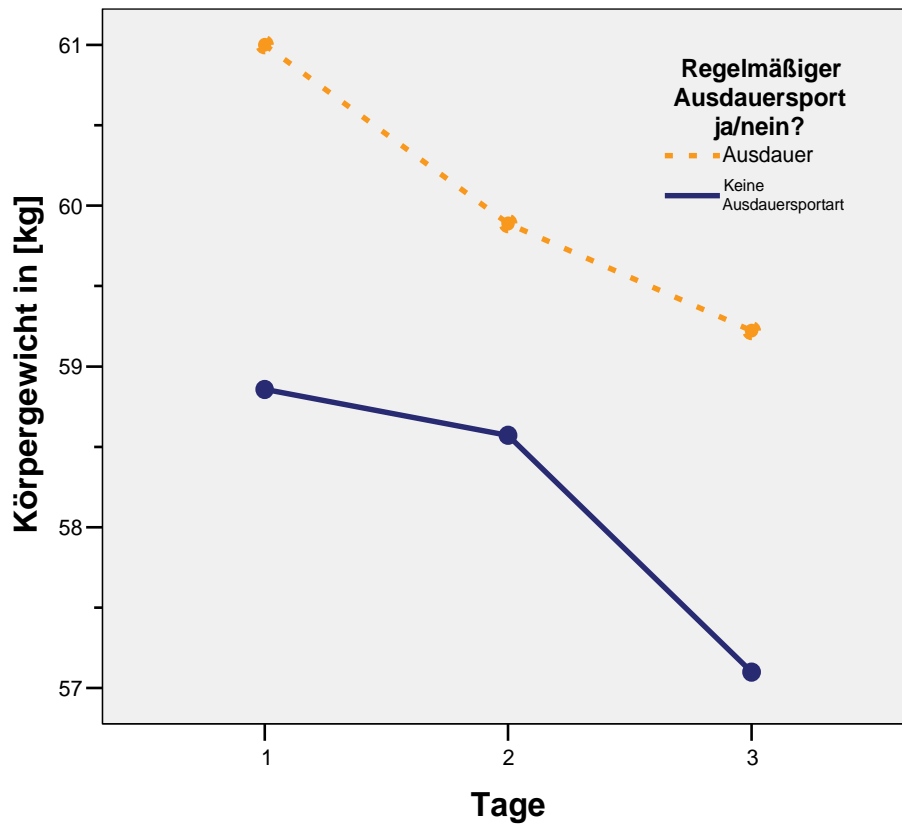


Abb. 27: KG kategorisiert nach Trainingsstatus
Verlauf des Körpergewichtes über die drei Tage unterteilt in zwei Gruppen sortiert nach ausgeübter Sportart (Ausdauersportart oder andere)

4 Diskussion

4.1 Methoden

Es handelte sich bei der „Fastenstudie 2008“ um ein Pilotexperiment, deshalb wurde die Anzahl der Probandinnen auf 16 beschränkt. Aufgrund bekannter Ergebnisse ist diese Studienpopulation ausreichend, um Effektstärken von $d=0.8$ zu erreichen. Eine größere Anzahl an Versuchspersonen war aufgrund des zeitlichen Rahmens, der langen Untersuchungsdauer und der damit verbundenen Kosten nicht möglich.

Für leistungsdiagnostische Untersuchungen stehen verschiedenste Möglichkeiten in Form von Fahrrad, Laufband, Rudern, Schwimmen, Armdrehkurbeln und unterschiedlichste Feldversuche zur Verfügung. In dieser Studie fiel die Wahl auf die Fahrradergometrie aufgrund der einfachen standardisierten Anwendbarkeit. Reproduzierbarkeit ist hierbei aufgrund der genauen Dosierbarkeit gegeben. Außerdem ist ein wichtiger Vorteil, dass gleichzeitige EKG - und Blutdruckmessungen, sowie die Blutabnahme zur Laktatdiagnostik so gut wie störungsfrei möglich sind. Im Vergleich zur Laufbandergometrie besteht der einzige Nachteil darin, dass beim Fahrradfahren vorwiegend die Oberschenkelmuskulatur zum Einsatz kommt. Beim Laufen kann durch eine Belastung größerer Muskelgruppen die Grenze der maximalen kardiopulmonalen Ausbelastung erreicht werden. Da diese Studie jedoch nicht auf die maximale Ausbelastung abzielte, war die Fahrradergometrie eindeutig die bessere Methode. Alle anderen Ergometrieformen kamen aufgrund zu spezieller Bewegungsabläufe nicht zum Einsatz.

Das Untersuchungsprotokoll wurde standardisiert für Normalgewichtige und sportlich durchschnittlich Aktive in Form einer Rampenbelastung (50 – 25 - 2) festgelegt, welches sich als optimal durchführbar erwies und alle notwendigen Messwerte zu ausreichend häufigen Zeitpunkten zur Verfügung stellte.

Eventuell mögliche Messfehler könnten durch leicht undichte Gasmasken oder Artefakte in EKG -, HF - und BD - Messungen durch ungeschickte Bewegungen erklärt werden.

Bei einigen Messungen musste der Blutdruck von Hand nachgemessen werden, da die elektronisch gesteuerte Manschette ausfiel. Dies dürfte aber keine Auswirkung auf die entscheidenden Ergebnisse haben, da die Blutdruckmessung lediglich zur Überwachung der Probandinnen diene.

Alle Messgeräte sind vom Hersteller kalibriert und in regelmäßigen Abständen geeicht und kontrolliert worden.

Die Laktatmessung am Ohrläppchen wurde ohne durchblutungssteigernde Anti-Rheuma - Salbe durchgeführt, was sich im Nachhinein als unvorteilhaft erwiesen hat. Aufgrund der teilweise schlechten Durchblutung wurden Laktatwerte eventuell durch Quetschen des Ohrläppchens und damit verbundener Beimengung von Gewebswasser verfälscht.

Bei Spirometrie und indirekter Kalorimetrie könnten lediglich nicht ganz dicht sitzende Gesichtsmasken durch unterschiedliche Gesichtsformen bei der Atemgasmessung zu fehlerhaften Messungen geführt haben. Um diese Fehlerquelle so gering wie möglich zu halten, wurden verschiedene Maskengrößen verwendet. Die Dichtigkeit wurde vor jeder Messung standardisiert überprüft. Zudem wurden die Probandinnen während der Ruhephase überwacht und zu den Atemmanövern der Spirometrie standardisiert angeleitet.

Die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftdruck und -feuchtigkeit) wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant gehalten. Dies ist insbesondere für die von Volumensensoren erfassten exakten Messwert Voraussetzung - wie in Abschnitt 2.2 dargestellt.

Das ausgewählte Probandenkollektiv lässt definitive Aussagen nur über junge Frauen zwischen 18 und 28 Jahren zu. Bisher sind fast ausschließlich Studien

an Männern veröffentlicht, so dass das in der „Fastenstudie 2008“ verwendete Kollektiv definitiv neue Erkenntnisse bringt.

Die unterschiedlichen Trainingszustände der Probandinnen stellen eine für die Untersuchungen nicht einheitliche Grundvoraussetzung dar. Dies wurde jedoch bei der statistischen Auswertung berücksichtigt und in die Auswertung mit einbezogen.

Die Messwerte wurden alle durch Papierausdrucke doppelt gesichert. Die Auswertung erfolgte mit gängigen international anerkannten statistischen Verfahren.

4.2 Erkenntnisse aus bisherigen Studien

Zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit mittels Leistungsdiagnostik während vollständiger Nahrungskarenz liegen derzeit nur sehr wenige Studien vor. Nahrungskarenz bedeutet in dieser Studie absolute Nulldiät, während die Flüssigkeitsaufnahme uneingeschränkt in Form von Wasser erlaubt war.

Studien in unterschiedlichsten Versuchsanordnungen liegen vor, die von kalorienreduzierten Diäten über „alternate - day- fasting“ (Abwechseln zwischen einem Tag fasten und einem Tag essen), Fasten zu bestimmten Tageszeiten (z.B. im Ramadan von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang), Untersuchungen an Anorexia - Nervosa - Patientinnen bis hin zu Fastenstudien über kurze Zeiträume reichen.

Bei Vergleichen zwischen den einzelnen Studien ist es sehr wichtig zu bedenken, dass für die leistungsdiagnostischen Untersuchungen verschiedenste Methoden wie Laufband-, Fahrradspiroergometrie, aber auch Feldversuche unter unterschiedlichsten Trainingsbedingungen eingesetzt wurden. Außerdem sind Studienpopulationen, Stichprobenart / -größe und die oben erwähnten unterschiedlichen Diätformen beim Vergleichen der Ergebnisse zu beachten.

In den 90er Jahren wurden erste Studien in Bezug auf die Veränderung der RMR (Grundumsatz) während Diät und Training durchgeführt. Lennon et al.

zeigten nach 12 - wöchigem Trainingsprogramm während Diät einen Anstieg der RMR und der VO_{2max} und eine signifikante Korrelation dieser beiden Parameter, die bei Frauen stärker ausgeprägt war als bei Männern [41].

Eine historische Zusammenfassung von Militärstudien führte zur Erkenntnis, dass eine minimale Kalorienzufuhr von 1100 – 1500 kcal/d, wovon 300 - 400g Kohlenhydrate sein sollten, notwendig ist, um die Ausdauerleistungsfähigkeit und Erholungsfähigkeit aufrecht zu erhalten und ebenso um Krankheiten zu verhindern [45].

Ab einer bestimmten Kalorienmenge von ca. 550 kcal/d kann eine suffiziente Atmung nicht mehr aufrechterhalten werden. Dies bestätigten Lungenfunktionsmessungen von Baier et al. [5].

Bei einer Laufbandstudie mit 40% der normalen Kalorienzufuhr und unbegrenzter Flüssigkeitsaufnahme über sieben Tage konnten keine Veränderungen der Lungenfunktion gezeigt werden. Auch der RQ wies keine Veränderung auf. Bender und Martin zeigten jedoch, dass die RMR, Laktatwerte und die Dauer der Belastung abgenommen und die Herzfrequenz angestiegen ist [6].

Auch bei der 12 - tägigen Studie von Bryner et al. mit niedrigkalorischer Diät (800 kcal/d) konnte eine Abnahme der RMR festgestellt werden; allerdings bei gleichzeitigem Ausdauertraining während der Studie. Bei Krafttraining zeigte sich eine Zunahme der RMR. Durch Ausdauertraining fand eine stärkere Gewichtsabnahme vor allem der fettfreien Masse im Vergleich zum Krafttraining statt [13].

2009 führte Ferguson et al. eine Untersuchung an Radfahrern durch mit ebenfalls 40% Kalorienrestriktion über drei Wochen. Das Training wurde direkt nach nächtlichem Fasten durchgeführt. Die Ausdauer der Athleten blieb hier erhalten. RQ, VO_2 , RMR und die erreichte Wattzahl veränderten sich bei submaximaler und maximaler Belastung nicht [22].

An Tieren konnte sogar eine verbesserte physische Aktivität bei geringerer Nahrungsaufnahme demonstriert werden [33].

Während 22 Tagen „alternate - day- fasting“ (Erklärung siehe oben) untersuchte Heilbronn et al. an Männern und Frauen die Auswirkungen dieser Diätform. Körpergewicht und fettfreie Masse nahmen signifikant ab. Die RMR veränderte sich nicht signifikant, und der RQ nahm erst am letzten Tag signifikant ab. Täglich nahm die Fettoxidation zu [28].

An Tieren versuchte man [1] einen gesundheitsfördernden Effekt dieser Form des Fastens zu demonstrieren. Niedrigere Glucose - und Insulinspiegel sowie eine geringere Stresssensibilität der Neurone im Gehirn könnten ein Hinweis darauf sein.

Verschiedenste Studien zur Fastenzeit während dem Ramadan zeigen unterschiedliche Ergebnisse. Meckel et al. zeigte 2008 an Fußballspielern eine verminderte aerobe Kapazität und PWC, sowie ein Absinken der VO_{2max} , während die Gesamtkalorienmenge nicht reduziert, sondern nur der Rhythmus der Nahrungsaufnahme und die Schlafgewohnheiten verändert wurden [44].

In einer anderen Studie konnten kardiopulmonale Veränderungen gezeigt werden [51].

Zusammenfassend zeigte der Review von Ramadan et al. über den Fastenmonat Ramadan von 2004 keinen entscheidenden Einfluss auf physiologische Parameter; genauso wie spirometrische Untersuchungen von 2005 keine veränderte Lungenfunktion nachweisen konnten [51, 59].

Bei Anorexia - Nervosa - Patientinnen verhalten sich Auswertung von Leistungsuntersuchungen anders als bei gesunden Fastenden. Außergewöhnliche Ausdauerfähigkeiten, hohe physische Aktivität, kardiovaskuläre und sympathische Reaktionen (HF, BD, Epinephrin, VO_2 niedriger) zeigen sich hier. Ein niedrigerer Grundumsatz, aber höherer Energieverbrauch bei Belastung im Vergleich zu gesunden Kontrollen konnte festgestellt werden [8, 15, 47]. Diese veränderten Anpassungsmechanismen deuten bereits auf

mögliche Pathomechanismen von Essstörungen hin. Diese weiter zu untersuchen ist jedoch nicht Bestandteil dieser Dissertationschrift.

Bei vollständigem Nahrungsentzug zeigten Tierexperimente eine höhere Bereitschaft zur Bewegung auf dem Laufrad [11]. Nach 24h Fasten konnte aber eine Gewichtsabhängigkeit in Form von signifikant geringerer Veränderung der VO_2 bei übergewichtigen im Vergleich zu normgewichtigen Tieren demonstriert werden [63].

Koubi konnte in seiner Studie keine Unterschiede der Leistungsfähigkeit zwischen fastenden und nicht - fastenden Tieren feststellen. Es zeigte sich aber eine höhere sympathische Aktivität (Epinephrin, Norepinephrin) bei Fastenden [39].

Bei Fastenstudien an Menschen lässt sich einheitlich festhalten, dass es zu einem Abfall des RQ und einer Zunahme der Fettoxidation (Fettsäuren im Blut steigen an) ab 12h Nahrungskarenz kommt. Außerdem können Leistungsabfälle festgemacht werden.

Bergmann et al. konnten bei submaximalen Belastungen nach 12h Fasten zeigen, dass der RQ, bei trainierten Männern stärker als bei untrainierten Männern, sinkt. Zudem widerlegten sie die Hypothese, dass Ausdauertrainierte einen besseren Fettstoffwechsel bei Belastung aufweisen. Dies konnte aber nur bei sehr niedrigen Intensitäten (20%, 40%) demonstriert werden [7].

16 - 18h Fasten konnten bei Schislars Studie eine 90 min Ausdauerleistung nicht verändern [56].

Nach 23h Fasten zeigten sich an neun Männern ebenfalls ein Abfall des RQ und ein Anstieg der FS im Blut, sowie zusätzlich ein Anstieg der Laktatwerte während Belastung [20].

Neun Marathonläufer zeigten nach 27h Fasten auf dem Laufband ein Abfall der Ausdauerleistungsfähigkeit von 50%. O_2 - Aufnahme, HF und FS im Blut nahmen zu, der RQ nahm ab [46].

Die gleichen Ergebnisse konnten bei Männern nach 36h Fasten auch auf dem Fahrradergometer nachgewiesen werden: FS sind angestiegen, Glucosespiegel abgefallen und die Ausdauer hat sich verschlechtert [67].

Zwei Studien an Athleten (21 ± 3 Jahre) zeigten nach 48h und 72h Fasten eine Abnahme von KG (Körperfett und Muskelmasse), einen Leistungsabfall (PWC170), einen Abfall von RQ in Ruhe, gesunkene Glucoselevel und einen Anstieg der Fettsäuren im Blut [26, 48].

Nach 60h Fasten von männlichen Probanden konnte ein Anstieg der HF während Belastung am Fahrradergometer und keine Veränderungen von VO_2 und VE festgestellt werden [37].

Eine außergewöhnlich lange Fastenzeit von 5 Tagen zeigte einen Abfall der PWC am Fahrradergometer und keine Veränderungen der HF [40].

Konkrete Gründe für den Unterschied zwischen abnehmender Ausdauer durch Fasten bei Menschen und zunehmender Ausdauer bei Tieren konnten im Review von Aragon - Vargas et al. von 1993 noch nicht erkannt werden [2].

Einen ganz anderen Aspekt erkannte Bloom schon 1966. Ab einer Fastenzeit von 48h und einer Gewichtsabnahme von 2,3 kg konnte er bei allen Probanden eine signifikante Abnahme der Herzgröße anhand von Röntgenbildern und eine Abnahme des Plasmavolumens entdecken [10]. Sjostrands Aussage "Heart volume was found to have a very high correlation with total hemoglobin or blood volume." (Es konnte gezeigt werden, dass das Herzvolumen stark mit dem totalen Hämoglobingehalt oder Plasmavolumen korreliert.) könnte einen Erklärungsansatz für die verminderte Leistungsfähigkeit darstellen [60].

Die einzige Studie an Frauen wurde bisher an 12 normalgewichtigen Sportstudentinnen durchgeführt, die über einen Zeitraum von 10 Tagen gefastet haben. Die maximale Fahrradergometer - Leistung nahm ab, sowie auch die submaximale Leistungsfähigkeit. Die Fettoxidation nahm im Verlauf zu [57].

4.3 Erklärungsansätze

Die aktuelle Literatur lässt bis heute keinen zusammenfassenden, einheitlichen Schluss zu, der die Auswirkungen von Fasten auf die Leistungsfähigkeit erklärt. Einige Studien zeigen trotz der Nahrungskarenz eine Leistungssteigerung. Die Mehrheit der wissenschaftlichen Untersuchungen legt jedoch eindeutige Ergebnisse dar, die eine Abnahme der Leistungsfähigkeit widerspiegeln. Hierfür gibt es verschiedene Erklärungsansätze.

Für gute physische Leistungen sind volle Glykogenspeicher in Muskeln und Leber essentiell. Diese sind nach spätestens einem Tag aufgebraucht. Schurch et al. schließen daraus, dass kohlenhydratarme - und Null - Diäten schlecht für die Leistungsfähigkeit sind [57]. Das Problem der entleerten Glykogenspeicher und der daraus resultierenden Ketose erkennen auch Bender et al. als einen der Hauptfaktoren für die sinkende Leistung [6]. Da Glucose zur Energiegewinnung fehlt, werden in der Leber reaktiv Fettsäuren zu Ketonkörpern umgewandelt. Diese dienen nun zur Versorgung von Muskeln und Gehirn, jedoch nicht ausreichend für Leistungen, die den Grundbedarf an alltäglicher Bewegung überschreiten.

Einen weiteren Ansatzpunkt stellt die eventuell erfolgende Hypo - bzw. Dehydrierung dar. Je nach Studie wurden verschiedene Trinkmengen vorgegeben. Trotz freigestellter Flüssigkeitsaufnahme - wie auch in unserer Studie - konnten Bender et al. ein sinkendes Plasmavolumen schon nach drei Tagen nachweisen [6]. Roky et al. führen den Leistungsabfall ebenfalls auf Dehydrierung zurück [53].

Von einem etwas anderen Blickpunkt aus betrachten Bloom et al. das sinkende Plasmavolumen. Sie begründen die Abnahme mit dem kleiner werdenden Herzvolumen, welches sie als signifikant nachgewiesen haben [10].

In Sjostrands Review wird eine Korrelation zwischen der totalen Hämoglobinmenge und dem Plasmavolumen gefunden [60]. Letztendlich könnten diese verringerte Hämoglobinmenge und der damit verbundene geringere Sauerstofftransport ein leistungsbeschränkender Faktor sein.

Jedoch zeigten Oliver et al. 2007 in ihrer Studie, dass nach 48h Fasten die Flüssigkeitsaufnahme keinen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hat. Ein Vergleich zwischen Nahrungskarenz und Flüssigkeits- plus Nahrungskarenz bei Untersuchungen auf dem Laufband ergab keine signifikanten Unterschiede [48].

Während des Fastens wird stark in den Biorhythmus eingegriffen und die zirkadiane Rhythmik durch wegfallende Mahlzeiten verändert. Auch veränderte Verhaltensweisen können durch den Nahrungsentzug verursacht werden.

In einer Studie während des Ramadans wird vermutet, dass die veränderte Leistungsfähigkeit auf die tageszeitabhängige Veränderung der Nahrungsaufnahme zurückzuführen ist [44]. Hormonelle Veränderungen könnten der limitierende Faktor sein [51].

Darüber hinaus könnten Vitamin -/ Spurenelementmangel und Elektrolytverluste z.B. Eisenmangel, ein stark leistungslimitierender Faktor sein. Nach dem Fastenmonat Ramadan wurden Eisenmangelercheinungen nachgewiesen [50]. Inwiefern sich diese Art von Mangelercheinungen jedoch schon nach Fastenperioden von wenigen Tagen bemerkbar macht, bleibt zu untersuchen.

Einen Erklärungsversuch für insuffiziente Atmung und damit verbundenem Leistungsabfall liefern Arora et al. in ihren Studien. Bei Unterernährten korrelierte der Abfall des Körpergewichts mit der Muskelmasse des Diaphragmas. Je höher der Gewichtsverlust desto geringer wurden Dicke, Fläche und Länge des Muskels. Dies könnte eine Ursache für den Verlust der Lungenfunktion sein [3, 4].

Ein letzter sicherlich sehr wichtiger Einflussfaktor stellt die psychische Situation des Fastenden dar. Der Nahrungsentzug könnte sowohl aufgrund von Hunger und damit verbundene getrübe Stimmung, aufgrund von tatsächlichen Schwächegefühlen sowie aufgrund von durch Fasten ausgelöste „Placebo - Schwächegefühle“ Leistungsabfälle induzieren. Den limitierenden Faktor stellen in diesem Fall cerebrale Prozesse bzw. die mangelnde Motivation dar.

Von den wenigen Studien, die gegensätzlich zu unseren Ergebnissen eine Leistungssteigerung nach Fasten bei Gesunden zeigen, stammen zwei aus Tierversuchen. Boakes et al. fanden drei erklärende Theorien. Zum einen führt das Laufen der Tiere auf dem Laufband zur Endorphin Ausschüttung. Hierzu kommt ein Gefühl der Selbstbestätigung nach erbrachter Leistung. Des Weiteren führt eine sinkende Körpertemperatur während Fasten zu gesteigerter Leistungsbereitschaft um die Körpertemperatur aufrecht zu erhalten bzw. zu erhöhen [11].

Aragon - Vargas et al. hingegen führen eine gesteigerte Ausdauerleistungsfähigkeit auf eine Adaptation der Stoffwechselprozesse zurück [2]. Ihren Erklärungsansätzen zu Folge führt eine längere Verstoffwechslung von Fettsäuren zu verbesserter Ausdauer.

In der einzigen Studie an Menschen mit gezeigter Leistungssteigerung haben acht unterernährte Frauen im Vergleich zu Kontrollen einen geringeren Energieverbrauch und einen geringeren Sauerstoffverbrauch gezeigt. Dies lässt auf eine Adaptation der Unterernährten zur Aufrechterhaltung des aeroben Stoffwechsels schließen [12].

Für die unterschiedlichen Ergebnisse, die bei Menschen vorwiegend sinkende und bei Tieren eher steigende Leistungen nach Fasten aufzeigen, gibt es bisher keine konkrete Erklärung.

4.4 Einordnung der Ergebnisse und neue Erkenntnisse

Im folgenden Kapitel werden die Veränderungen diskutiert, die im Verlauf der drei Tage Fasten in dieser Studie erkannt wurden, sowohl während der Belastung als auch bei Stoffwechselprozessen in Ruhe.

Auf die signifikanten Veränderungen im Verlauf einer einzelnen spiroergometrischen Belastung wird in diesem Teil nicht mehr eingegangen. Es handelt sich hierbei um allgemein bekannte und erwiesene leistungsphysiologische Anpassungsprozesse, die auch bei physischer Belastung während Fasten stattfinden. Es wird deshalb im Folgenden auf die

Veränderungen im Verlauf der andauernden Nahrungskarenz von Tag 1 bis Tag 3 (0 - 48h) eingegangen.

4.4.1 Respiratorische Parameter

Grundvoraussetzung für die Erhebung der respiratorischen Parameter war eine physiologische Lungenfunktion im Normbereich. Diese war bei allen Probandinnen gegeben (siehe Abschnitt 3.1).

Während der 48 - stündigen Nahrungskarenz konnte im Verlauf der drei Tage eine signifikante Steigerung des Atemminutenvolumens während Belastung nachgewiesen werden. Der entscheidende Faktor für diese Zunahme war die Atemfrequenz, die signifikant angestiegen ist. Das Atemzugvolumen hat sich dabei nicht signifikant verändert.

Dieser Mechanismus konnte nach aktuellem Wissensstand in der Literatur noch nicht gezeigt werden. Hingegen stellten Knapik et al. nach 60-stündiger Nahrungskarenz kein verändertes Atemminutenvolumen fest [37]. Allerdings wurde die Fahrradergometerbelastung in der Studie von Knapik et al. auf einem submaximalen Niveau von 45% gehalten.

Atemgasmessungen von VO_2 und VCO_2 während der Belastung ergaben unerwartete Ergebnisse. Der Sauerstoff - Verbrauch ist in der Literatur nach 27h Fasten zum einen mit einem Anstieg von $9,3 \% \pm 2,0\%$ dargestellt worden [46]. In anderen Studien konnten keine Veränderungen gezeigt werden, z.B. nach 60h Fasten [37]. Dieses Ergebnis stimmt mit unseren Ergebnissen überein.

Dagegen kann in unserer Studie eine signifikante Abnahme des VCO_2 während des 48 - stündigen Fastens demonstriert werden kann.

Somit ist die signifikante Abnahme des RQ über die drei Fastentage eine logische Konsequenz. In allen vorliegenden Studien, von der Fastendauer unabhängig, wird dieses Ergebnis bestätigt. Allerdings bleibt fraglich, ob der Quotient aufgrund des abfallenden VCO_2 , aufgrund des ansteigenden VO_2 oder eventuell aufgrund einer Kombination aus beiden abnimmt. Aus den RQ - Messwerten kann auf eine Zunahme des Fettstoffwechsels während Belastung

im Verlauf der drei Tage geschlossen werden. Diese Annahme wird in vielen anderen Studien anhand von Fettsäuremessungen im Blut bestätigt [7, 20, 46, 48, 67].

4.4.2 Energieverbrauch

Folgende Ergebnisse beziehen sich nur auf Ruhemessungen der indirekten Kalorimetrie. Beim Gesamtenergieverbrauch (RMR) konnte im Gegensatz zu anderen Studien keine signifikante Veränderung festgestellt werden.

Es zeigt sich jedoch eine Verlagerung der Energiebereitstellung von Kohlenhydraten zu Fetten. Auch die Abnahme des RQ in Ruhe bestätigt diese Feststellung. Der RQ in Ruhe nahm im Verlauf der 48h um $8,1 \% \pm 16,2\%$ ab, wobei in den ersten 24h eine etwas stärkere Abnahme ($4,5 \% \pm 14,1\%$) als in den weiteren 24h ($3,8 \% \pm 8,1\%$) statt fand.

Vergleichbare Ergebnisse liegen in der aktuellen Literatur nur in Form von Diät - Studien und Studien zu verschiedenen restriktiven Energieformen, teilweise kombiniert mit zusätzlichen Trainingsprogrammen, vor. Die Ergebnisse variieren von gesteigerten über gleich bleibende bis zu sinkenden Werten und lassen in Bezug auf vollständige Nahrungskarenz keinen Vergleich zu.

Ein Anstieg der Fettsäuren im Blut wird jedoch in den meisten Studien, wie auch in unserer, gezeigt.

4.4.3 Hämodynamische Parameter

Die HF während der Ergometerbelastung änderte sich nicht signifikant. Gleiche Ergebnisse zeigte die Studie von Lenmarken et al. [40]. Männliche Probanden zwischen 25 und 43 Jahren konnten ebenfalls keine veränderte HF nach fünf Tagen Fasten aufweisen. Nieman et al. zeigte hingegen nach 27h Fasten bei trainierten Männern einen Anstieg der HF von $8.4 \% \pm 2.4\%$ [46]. Auch Knapik et al. konnten nach 60h einen Anstieg nachweisen [37]. Da die HF ein interindividuell sehr unterschiedlich ausgeprägter Parameter ist, lässt sich aus diesen Ergebnissen in Bezug auf die Leistung keine weitere Aussage treffen.

Der Sauerstoff - Puls als „Korrelat des Schlagvolumens“ weist eine signifikante Abnahme über die drei Tage auf. „Korrektweise muss man von einem Sauerstoffverbrauch pro Herzschlag ausgehen, da der Sauerstoffpuls direkt von der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz abhängt“ [66]. Zu diesem Parameter werden in den derzeit vorliegenden Studien keine Werte genannt.

Da HF und VO_2 keine signifikanten Veränderungen als einzelne Parameter aufweisen, stellt sich die Frage nach der Ursache für die Abnahme des Quotienten aus Beiden. Erniedrigte Hämoglobinwerte oder ein geringerer Sauerstoffverbrauch könnten mögliche Erklärungen sein. Ein geringerer Sauerstoffverbrauch würde aber wiederum der zunehmenden Fettoxidation widersprechen.

4.4.4 Leistungsparameter

Tendenziell konnte schon an der sinkenden Wattzahl über die drei Tage eine reduzierte Leistungsfähigkeit erkannt werden. Der Abfall von 220 ± 18 W auf 199 ± 22 W ($p < 0.05$) von Lenmarken et al. nach fünf Fastentagen konnte nicht bestätigt werden. Unsere Messwerte erwiesen sich als nicht signifikant.

Erkennen ließ sich der Leistungsabfall jedoch am signifikanten Abfall der PWC150. Von Tag 1 auf Tag 2 nahm die PWC150rel um $7,4 \% \pm 10,8\%$ ab, von Tag 2 auf Tag 3 nur noch um $4,0 \% \pm 7,1\%$. Im Gesamten zeigte sich im Verlauf der 48h ein Leistungsabfall um $9,7 \% \pm 13\%$.

Zu ähnlichen Erkenntnissen kamen Gutierrez et al. mit einem signifikanten Abfall der PWC170 nach 72h Fasten bei Athleten [26].

Bei Marathonläufern zeigte sich ein Abfall von $44.7 \% \pm 5.8\%$ der Ausdauerleistung nach 27h Fasten [46]. So zeigten auch Zinker et al. einen Abfall von 38% der Dauer der erbrachten Leistung auf dem Fahrradergometer nach 36h Fasten [67].

4.4.5 Laktatwerte

Die erhobenen Laktatwerte während der Belastung ergaben keine signifikanten Veränderungen. Aufgrund der geringen Anzahl an Messwerten und der nicht optimalen Durchführung der Messung (siehe Abschnitt 4.1) lassen sich aus diesem Parameter keine repräsentativen Schlüsse ziehen. Die Studie von Oliver et al. kam auch zu dem Ergebnis, dass nach Fasten keine veränderten Laktatwerte vorliegen [48].

Dohm et al konnten jedoch einen signifikanten Anstieg nach 23 - stündigem Fasten über den gesamten Verlauf der Belastung feststellen [20]. Um in diesem Bereich genauere Erkenntnisse zu erzielen, müssten mehr Messwerte im Verlauf der Belastung unter besseren Bedingungen erhoben werden.

4.4.6 Körpergewicht und BMI

Die Tatsache, dass nach 48 Stunden ohne Nahrungsaufnahme eine hochsignifikante Abnahme des Körpergewichtes und des Body - Mass - Index stattgefunden hat, liegt in der negativen Energiebilanz begründet. Die Energiehomöostase ist gestört, d.h. der Energiehaushalt befindet sich nicht im Gleichgewicht. Schon geringe Abweichungen dieses Gleichgewichtes führen zu Veränderungen des Körpergewichtes, insbesondere der Fettdepots, deren Größe im Allgemeinen den variablen Teil des Körpergewichtes darstellt [36]

Nach 24h zeigte sich eine Gewichtsabnahme um $1,2 \% \pm 1,1\%$, nach weiteren 24h um $1,8 \% \pm 1,5\%$. Im Verlauf der drei Tage fand eine Gewichtsabnahme um $3,0 \% \pm 1,3\%$ statt. Der BMI sank um die gleiche Prozentzahl. Dementsprechend konnte eine etwas stärkere Gewichtsabnahme im Zeitraum 24 - 48h Fasten festgestellt werden.

4.4.7 Alter kategorisiert

Bei weiteren statistischen Berechnungen unter der Verwendung von Zwischensubjektfaktoren konnte in Bezug auf das Alter ein signifikanter Effekt festgestellt werden. Die älteren Probandinnen in Gruppe 2 (ab 22 Jahren)

zeigten insgesamt einen höheren RQ in Ruhe. Im Verlauf der drei Tage sank dieser, der Wert blieb jedoch von Tag 1 bis Tag 3 über dem Wert der jüngeren Gruppe 1 (bis einschließlich 21 Jahre). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass der Energieverbrauch in Ruhe bei Jüngeren stark in Richtung Fettstoffwechsel tendiert; bei Älteren hingegen dominiert der Kohlenhydratstoffwechsel. Um diese Feststellung genauer zu untersuchen bedarf es weiterführender Studien mit Studienpopulationen, die eine breitere Alterspanne abdecken.

4.4.8 Trainingszustand

Der Trainingszustand, gemessen anhand der ausgeübten Ausdauersportarten, zeigte weniger Einfluss als erwartet. In Bezug auf die Leistungsfähigkeit konnten zwischen Gruppe 1, die regelmäßig Ausdauersportarten betrieb und Gruppe 2, die nicht regelmäßig Ausdauersportarten betrieb, keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bei keiner der beiden Gruppen konnte ein stärkerer oder schwächerer Leistungsabfall festgestellt werden. Auch bei Betrachtung der Stoffwechselprozesse ließ sich kein signifikanter Effekt des Trainingsstatus auf die Veränderungen während des Fastens erkennen.

In anderen Studien konnte bereits gezeigt werden, dass bei Ausdauersportlern, vor allem bei entleerten Glykogenspeichern eine besonders gute Kapazität zur Fettsäureoxidation vorhanden ist [35]. Darauf hindeutende Zusammenhänge konnten in dieser Studie beim Vergleich zwischen Gruppe 1 und 2 nicht erkannt werden.

Es konnte aber ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich Körpergewicht und BMI festgestellt werden.

Betrachtet man den BMI, so hatte Gruppe 1 von Beginn bis Ende einen niedrigeren BMI als Gruppe 2. Von Tag 1 ($21,5\% \pm 1,9\%$) auf Tag 2 ($21,1\% \pm 1,9\%$) nahm bei Gruppe 1 der BMI deutlicher ab als von Tag 2 auf Tag 3 ($20,9\% \pm 1,8\%$). Bei Gruppe 2 hingegen nahm von Tag 2 ($21,5\% \pm 1,3\%$) auf Tag 3 ($21,0\% \pm 1,3\%$) der BMI deutlicher ab als von Tag 1 ($21,6\% \pm 1,3\%$) auf Tag 2.

Bei Gruppe 1, der besser ausdauertrainierten Gruppe, ergaben die Messungen angefangen bei der Baseline an Tag 1, über den gesamten Verlauf der 48h Fasten ein höheres Körpergewicht als bei Gruppe 2, den Untrainierten. Außerdem nahm Gruppe 2 deutlich mehr an Körpergewicht ab als Gruppe 1 (0,8kg vs. 1,8kg). Während Gruppe 1 in den ersten 24h 0,1kg an Körpergewicht verlor und in den weiteren 24h nochmals 0,7kg, nahm Gruppe 2 zuerst 0,3 dann 1,5kg ab. Bei beiden Gruppen zeigte sich trotzdem am zweiten Tag eine deutlich stärkere Gewichtsabnahme. Die Ursache für diese unterschiedlich starke Gewichtsabnahme könnte ein größerer Fettanteil bei Untrainierten im Vergleich zum größeren Muskelanteil bei Trainierten sein, da der Hauptanteil des variablen Gewichtsanteiles die Fettdepots darstellen (vgl. Abschnitt 4.4.6.). Dies widerspricht jedoch wiederum der allgemeinen Annahme, dass bei trainierten Sportlern in erster Linie Gewicht in Form von Muskelmasse verloren geht. Für diese Feststellung könnte ein Beobachtungszeitraum von 48h zu kurz sein.

In diesem Zusammenhang könnte auch folgender Effekt eine Rolle spielen: Anpassungsprozesse bei Ausdauersportlern finden vorwiegend im Bereich vermehrter Mitochondrienbildung und Kapillarisation in den Muskelzellen statt, was zu einer verbesserten aeroben Kapazität führt. Das bedeutet für den Stoffwechsel, dass Muskelglykogenspeicher und Glukose im Blut langsamer verstoffwechselt werden, Fettoxidation eine größere Rolle spielt und weniger Laktat produziert wird [31].

Die geringere Gewichtsabnahme bei der „Sportler“ - Gruppe 1 könnte auf diesen Anpassungsmechanismus zurückgeführt werden. Während des Fastens, welches in dieser Situation mit dem Energiemangel bei Ausdauerleistungen verglichen werden kann, könnten bei Gruppe 1 die Glykogenspeicher länger angehalten haben. Die Begründung dafür, dass dies in den Messungen der indirekten Kalorimetrie nicht zum Ausdruck gekommen ist, wäre durch eine unter Normalbedingungen bereits erhöhte Fettoxidation bei Sportlern zu erklären.

4.5 Schlussfolgerung und Ausblick

In unserer Studie zeigten sich deutliche Veränderungen der Leistungsfähigkeit und des Energieverbrauchs bei 48-stündiger Nahrungskarenz. Betrachtet man die aktuelle Literatur findet man hierzu teilweise widersprüchliche Angaben.

Unter Belastung konnten wir zeigen, dass ein Leistungsabfall im Verlauf des 48-stündigen Fastens stattgefunden hat. Erklärungsansätze sind vor allem das sinkende Plasmavolumen und die damit einhergehende sinkende Hämoglobinmenge. Zudem sind hormonelle und psychische Veränderungen Faktoren, die leistungslimitierend wirken können. Inwiefern veränderte Atemvolumina, insbesondere das steigende Atemminutenvolumen, verursacht durch die steigende Atemfrequenz, Ursache bzw. Folge einer veränderten Leistungsfähigkeit sind, konnte in dieser Studie nicht geklärt werden.

Der Energieverbrauch in Ruhe veränderte sich während 48-stündigem Fasten nicht. Andere Studien zeigen teilweise übereinstimmende, aber auch gegensätzliche Ergebnisse. Es liegt eine große Variation in der Dauer der Nahrungskarenz zwischen den verschiedenen Studien vor. Deshalb sind zur detaillierten Klärung der genauen Zeiträume von Anpassungsmechanismen in Bezug auf den Gesamtenergieverbrauch weiterführende Untersuchungen notwendig.

Deutlich zeigen konnten wir mit dieser Studie die Verlagerung von Kohlenhydraten zu Fetten als Hauptenergielieferant während des Fastens. Einige andere Studien der aktuellen Forschung belegen diese Erkenntnis.

Die in diesen Versuchen gezeigte signifikante Abnahme des Körpergewichtes und des BMI ist keine neue Erkenntnis. Interessanterweise konnte ein bedeutender Einfluss des Trainingszustandes auf diese beiden Parameter festgestellt werden.

Zukünftig könnten die beiden Bereiche Nahrungskarenz (Fasten) und Leistungsfähigkeit in ihrer Kombination zu weiteren interessanten Fragestellungen führen, die teilweise über das derzeitige Forschungsgebiet der Abteilung für Psychosomatische Medizin und Psychotherapie der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen hinausgehen:

- Gesundheitsaspekte des Fastens und dessen Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit bei Adipositas, Diabetes, Allergien, onkologischen Erkrankungen und Autoimmunkrankheiten
- Präoperative und postoperative Auswirkungen von Nahrungskarenz vgl. [54]
- Gesundheitsaspekte des „Heilfastens“ auf psychologischer Ebene
- Auswirkungen von Fasten auf das Immunsystem und dadurch veränderte Leistungsfähigkeit vgl. [58]
- Fasten als leistungsverändernder Faktor in bestimmten Sportdisziplinen und Bereichen der Sportmedizin vgl. [23, 24]
- Fasten als „Lifestyle Intervention“ zu leistungssteigernden und lebensverlängernden Zwecken?
- Ist Fasten oder Sport/ Leistungsfähigkeit ein pathogenetischer Faktor bei der Entstehung der Anorexia nervosa? vgl. [17]

Diese Aspekte zeigen, dass die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Bereiche Fasten und Leistungsfähigkeit Einfluss auf verschiedenste Gebiete der Medizin haben und zukünftig weiterhin wichtiger Bestandteil der Forschung sein werden.

Abschließend können nach Durchführung und Auswertung der „Fastenstudie 2008“ die in der Einleitung genannten Fragestellungen beantwortet werden. Es kann festgehalten werden, dass bei jungen, gesunden Probandinnen nach 48 - stündiger vollständiger Nahrungskarenz

- die Leistungsfähigkeit sinkt.
- Stoffwechselprozesse und Energieverbrauch sich vom Kohlenhydratverbrauchs hin zu steigendem Fettverbrauch verschiebt, sich der Gesamtenergieverbrauch in Ruhe jedoch nicht ändert.
- der Energieverbrauch sich nur in sofern an die sinkende Energiezufuhr anpasst, als dass das Leistungsniveau bei Belastung sinkt, nicht jedoch der Ruheumsatz.
- der Trainingszustand (bezogen auf Ausdauersport) keinen Einfluss auf Leistungsfähigkeit und Energieverbrauch / Stoffwechselprozesse jedoch einen Einfluss auf Veränderungen des Körpergewichts und des BMI hat.

5 Zusammenfassung

Der aktuelle Stand der Forschung bietet im Bereich der ernährungsmedizinischen Forschung bei negativer Energiebilanz in Form von Fasten zum Thema Leistungsdiagnostik bisher sehr wenige Erkenntnisse.

Im Rahmen von Forschungsaktivitäten der Abteilung für Psychosomatische Medizin und Psychotherapie der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen wurde zu Zwecken der Grundlagenforschung an gesunden Probandinnen die „Fastenstudie 2008“ durchgeführt. Es handelt sich um eine monozentrische, kontrolliert- experimentelle Pilotstudie zur Überprüfung der Auswirkungen von mehrtägiger vollständiger Nahrungskarenz auf verschiedene Körperfunktionen, Leistungsfähigkeit und psychisches Befinden. Im Rahmen dieser Dissertationsschrift wurden die Faktoren Leistungsfähigkeit und Energieverbrauch während der Nahrungskarenz untersucht.

Über drei Tage fanden in 24 - stündigen Abständen drei Messungen (Baseline- 24h - 48h) an 16 klinisch gesunden, jungen (18 - 28 Jahre), normalgewichtigen (BMI 19 – 25 kg/m²) Probandinnen statt. Anhand der zu Beginn der Studie durchgeführten Anamnese und der klinischen Untersuchung wurde der Trainingszustand der Probandinnen erhoben. Während der gesamten Studie war es den Probandinnen ausschließlich erlaubt, Wasser in unbegrenzter Menge zu sich zu nehmen.

Die Versuchsdurchführung erfolgte unter standardisierten Bedingungen im Zentrum für Ernährungsmedizin in Stuttgart - Hohenheim. Zu jedem Messzeitpunkt wurde die Spiroergometrie bis zu submaximaler Belastung (60 - 80%) auf einem Fahrradergometer mit gleichzeitiger EKG -, Blutdruck - und Herzfrequenz - Aufzeichnung durchgeführt. Darüber hinaus fanden jeweils die indirekte Kalorimetrie und die Laktatdiagnostik statt. Alle wichtigen respiratorischen, hämodynamischen und Leistungsparameter wurden erhoben. Außerdem wurden jeweils die Laktatwerte während der Belastung, sowie Körpergewicht und BMI gemessen.

Die Auswertung erfolgte mittels ANOVA, welche mit dem etablierten Statistikprogramm SPSS berechnet wurde.

Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Abfall der Leistungsfähigkeit während submaximaler Belastung. Der Gesamtenergieverbrauch in Ruhe veränderte sich nicht signifikant. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass sich Stoffwechselprozesse schon innerhalb des relativ kurzen Zeitraumes von 48 h von Kohlenhydraten zu Fetten als dominierenden Energielieferanten verlagern. Ein Einfluss des Trainingszustandes auf Veränderungen des Körpergewichtes und des BMI konnte unerwartet festgestellt werden.

Unter Einbezug und Diskussion des derzeitigen Forschungsstandes kamen wir zu dem Ergebnis, dass vollständige Nahrungskarenz im Zeitraum von 48 Stunden einen deutlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und den Energieverbrauch hat.

Um zukünftig diese Erkenntnisse zu festigen und weiter auszubauen, sind größer und länger angelegte Folgestudien zunächst weiterhin an gesunden Probandinnen notwendig. Ziel soll es sein, nach vollständigem Verständnis der physiologischen Prozesse während Nahrungskarenz Pathomechanismen von Essstörungen erklären zu können.

Abkürzungsverzeichnis

BD	Blutdruck
°C	Grad Celsius
hPa	Hektopascal
µl	Mikroliter
Abb.	Abbildung
AF	Atemfrequenz
AMV	Atemminutenvolumen
ANOVA	Analysis of Variance
ASTS	Aktuelle Stimmungsskala
AT	Anaerobe Schwelle (engl. Anaerobic Threshold)
ATP	Adenosintriphosphat
BMI	Body - Mass - Index
BR	Atemreserve (engl. Breathing Reserve)
BZ	Blutzucker
CI	Konfidenzintervall
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EDI-2	Eating Disorder Inventory-2
EE	Gesamtenergieumsatz (engl Energy Expenditure)
EKG	Elektrokardiogramm
ERV	Expiratorisches Reservevolumen
FEV	Fragebogen zum Essverhalten
FEV1	Einsekundenkapazität (engl. Forced Expiratory Volume in one second)
FEV1/IVC	Relative Einsekundenkapazität (Tiffeneau - Index)
FS	Fettsäuren
FVC	Forcierte Vitalkapazität
h	Stunde(n)
HF	Herzfrequenz
IAS	Individuelle anaerobe Schwelle
IRV	Inspiratorisches Reservevolumen

kal. Äquiv.	Kalorisches Äquivalent
kcal	Kilokalorien
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
KH	Kohlenhydrate
l	Liter
m ²	Meter im Quadrat
min	Minute(n)
ml	Milliliter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
N	Anzahl Probandinnen
O ₂	Sauerstoff
p - Wert	Überschreitungswahrscheinlichkeit
PHQ	Patient Health Questionaire
PWC	Physical Work Capacity
rel	relative
RER	Respiratory Exchange Rate (= siehe RQ)
RMR	Ruheumsatz (engl. Resting Metabolic Rate)
RQ	Respiratorischer Quotient (= siehe RER)
SD	Standardabweichung (engl. Standard Deviation)
sec	Sekunde
SPSS [®]	Statistical Package for the Social Sciences [®]
VAS	Ventilatorische anaerobe Schwelle
VC _{in}	Inspiratorische Vitalkapazität
VCO ₂	Kohlenstoffdioxid - Abgabe
V _E	Atemminutenvolumen (siehe AMV)
VO ₂	Sauerstoff - Aufnahme
V _T	Atemzugvolumen (engl. Tidal Volumen)
W	Watt
ZNS	Zentrales Nervensystem

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Hungerstoffwechsel	5
Abb. 2:	Ablaufschema der Fastenstudie	9
Abb. 3:	Raumluftbedingungen im Versuchsraum.....	11
Abb. 4:	Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie.....	12
Abb. 5:	Anthropometrische Daten & Trainingszustand der Probandinnen..	13
Abb. 6:	Reproduzierbarkeit des forcierten Atemmanövers.....	16
Abb. 7:	Darstellung der Spiroergometrie - Einheit.....	18
Abb. 8:	Lungenvolumina	20
Abb. 9:	Diagramm nach Wasserman 3	22
Abb. 10:	Respiratorischer Quotient der Hauptnahrungsbestandteile	23
Abb. 11:	Veranschaulichung der drei Datengruppen	27
Abb. 12:	Histogramme der Lungenfunktionsparameter	29
Abb. 13:	Atemminutenvolumen.....	31
Abb. 14:	Atemfrequenz	32
Abb. 15:	VCO ₂	33
Abb. 16:	Respiratorischer Quotient.....	34
Abb. 17:	Kohlenhydrat - Verbrauch.....	36
Abb. 18:	Fett - Verbrauch.....	37
Abb. 19:	Gesamtenergieverbrauch	38
Abb. 20:	O ₂ - Puls	39
Abb. 21:	PWC150 _{rel}	41
Abb. 22:	Laktatwerte	42
Abb. 23:	Körpergewicht.....	43
Abb. 24:	Body - Mass - Index.....	44
Abb. 25:	RQ in Ruhe nach Alter kategorisiert	45
Abb. 26:	BMI kategorisiert nach Trainingsstatus.....	47
Abb. 27:	KG kategorisiert nach Trainingsstatus.....	48

Quellenverzeichnis

- 1 Anson RM, Guo Z, de Cabo R, Iyun T, Rios M, Hagepanos A, Ingram DK, Lane MA, Mattson MP. (2003).
Intermittent fasting dissociates beneficial effects of dietary restriction on glucose metabolism and neuronal resistance to injury from calorie intake.
Proc Natl Acad Sci U S A. 100: 6216-6220
- 2 Aragon-Vargas LF. (1993).
Effects of fasting on endurance exercise.
Sports Med. 16: 255-265
- 3 Arora NS, Rochester DF. (1982).
Effect of body weight and muscularity on human diaphragm muscle mass, thickness, and area.
J Appl Physiol. 52: 64-70
- 4 Arora NS, Rochester DF. (1982).
Respiratory muscle strength and maximal voluntary ventilation in undernourished patients.
Am Rev Respir Dis. 126: 5-8
- 5 Baier H, Somani P. (1984).
Ventilatory drive in normal man during semistarvation.
Chest. 85: 222-225
- 6 Bender PR, Martin BJ. (1986).
Ventilatory and treadmill endurance during acute semistarvation.
J Appl Physiol. 60: 1823-1827
- 7 Bergman BC, Brooks GA. (1999).
Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men.
J Appl Physiol. 86: 479-487
- 8 Biadi O, Rossini R, Musumeci G, Frediani L, Masullo M, Ramacciotti CE., Delloso L, Paoli R, Mariotti R, Cassano GB, Mariani M. (2001).
Cardiopulmonary exercise test in young women affected by anorexia nervosa.
Ital Heart J. 2: 462-467
- 9 Biesalski HK, Adam O. (2004).
Ernährungsmedizin: nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer. Thieme. Stuttgart 3.Auflage 734
- 10 Bloom WL, Azar G, Smith EG. (1966).
Changes in heart size and plasma volume during fasting.
Metabolism. 15: 409-413

- 11 Boakes RA. (2007).
Self-starvation in the rat: running versus eating.
Span J Psychol. 10: 251-257
- 12 Bruce V, Crosby LO., Reicheck N, Pertschuk M, Lusk E, Mullen JL.
(1984).
Energy expenditure in primary malnutrition during standardized exercise.
Am J Phys Med. 63: 165-174
- 13 Bryner RW, Ullrich IH, Sauers J, Donley D, Hornsby G, Kolar M,
Yeater R. (1999).
Effects of resistance vs. aerobic training combined with an 800 calorie
liquid diet on lean body mass and resting metabolic rate.
J Am Coll Nutr. 18: 115-121
- 14 Cahill GF, Jr. (2006).
Fuel metabolism in starvation.
Annu Rev Nutr. 26: 1-22
- 15 Casper RC, Schoeller DA, Kushner R, Hnilicka J, Gold ST. (1991).
Total daily energy expenditure and activity level in anorexia nervosa.
Am J Clin Nutr. 53: 1143-1150
- 16 Criée C-P. (2006).
Empfehlungen der Deutschen Atemwegsliga zur Spirometrie.
<http://www.atemwegsliga.de/empfehlungen.php>. 10.09.2009
- 17 Davis C, Kennedy SH, Ravelski E, Dionne M. (1994).
The role of physical activity in the development and maintenance of
eating disorders.
Psychol Med. 24: 957-967
- 18 Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention E, (2002).
Leitlinien zur Belastungsuntersuchung in der Sportmedizin.
- 19 DGE. (2008).
Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. <http://www.dge.de>. 06.11.2009
- 20 Dohm GL, Beeker RT., Israel RG., Tapscott EB. (1986).
Metabolic responses to exercise after fasting.
J Appl Physiol. 61: 1363-1368
- 21 Evans SE, Scanlon PD. (2003).
Current practice in pulmonary function testing.
Mayo Clin Proc. 78: 758-763;

- 22 Ferguson LM, Rossi KA., Ward E, Jadwin E, Miller TA, Miller WC. (2009).
Effects of caloric restriction and overnight fasting on cycling endurance performance.
J Strength Cond Res. 23: 560-570
- 23 Fogelholm GM, Koskinen R, Laakso J, Rankinen T, Ruukonen I. (1993).
Gradual and rapid weight loss: effects on nutrition and performance in male athletes.
Med Sci Sports Exerc. 25: 371-377
- 24 Fogelholm M. (1994).
Effects of bodyweight reduction on sports performance.
Sports Med. 18: 249-267
- 25 Gorozhanin VS, Lobkov VV. (1990).
[Hormonal and metabolic reactions in the human body during prolonged starvation].
Kosm Biol Aviakosm Med. 24: 47-50
- 26 Gutierrez A, Gonzalez-Gross M, Delgado M, Castillo MJ. (2001).
Three days fast in sportsmen decreases physical work capacity but not strength or perception-reaction time.
Int J Sport Nutr Exerc Metab. 11: 420-429
- 27 Haber P. (2004).
Lungenfunktion und Spiroergometrie- Interpretation und Befunderstellung. Springer. Wien. 2 1-179
- 28 Heilbronn LK, Smith SR, Martin CK, Anton SD, Ravussin E. (2005).
Alternate-day fasting in nonobese subjects: effects on body weight, body composition, and energy metabolism.
Am J Clin Nutr. 81: 69-73
- 29 Hohenheim U. (2009).
Metabolic Unit Universität Hohenheim. <https://ernaehrungsmed-praev.uni-hohenheim.de>. 09.09.2009
- 30 Hollmann W, Strüder H, Predel HG, Tagarakis C. (2006).
Spiroergometrie- Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken. Schattauer GmbH. Stuttgart. 1 1-289
- 31 Holloszy JO, Coyle EF. (1984).
Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences.
J Appl Physiol. 56: 831-838

- 32 Huppelsberg J, Walter K. (2005).
Kurzlehrbuch Physiologie. Thieme. Stuttgart. 2 101-108,135-139,165-169
- 33 Ishihara H, Wenying F, Kouda K, Nakamura H, Kohno H, Nishio N ,
Sonoda Y. (2005).
Effects of dietary restriction on physical performance in mice.
J Physiol Anthropol Appl Human Sci. 24: 209-213
- 34 Jacobs I, Sjodin B, Schele R. (1983).
A single blood lactate determination as an indicator of cycle ergometer
endurance capacity.
Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 50: 355-364
- 35 Jeukendrup AE. (2005).
Fettverbrennung und körperliche Aktivität, Standards der Sportmedizin.
School of Sport and Exercise Sciences, University of Birmingham,
Edgbaston,(GB), Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. Jahrgang 56,
Nr.9: 337-338
- 36 Klinke R, Sibernagel S. (2003).
Lehrbuch der Physiologie.
Thieme Verlag. Stuttgart. 4. Auflage 217-272, 365-378, 517-538
- 37 Knapik JJ, Jones BH, Meredith C ,Evans WJ. (1987).
Influence of a 3.5 day fast on physical performance.
Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 56: 428-432
- 38 Komaki G, Tamai H, Sumioki H, Mori T, Kobayashi N, Mori K, Mori S ,
Nakagawa T. (1990).
Plasma beta-endorphin during fasting in man.
Horm Res. 33: 239-243
- 39 Koubi HE, Desplanches D, Gabrielle C, Cottet-Emard JM, Sempore B ,
Favier RJ. (1991).
Exercise endurance and fuel utilization: a reevaluation of the effects of
fasting.
J Appl Physiol. 70: 1337-1343
- 40 Lennmarken C, Rutberg H, Jorfeldt L, Larsson J. (1990).
Effect of starvation on work capacity and voluntary skeletal muscle
function in man.
Clin Nutr. 9: 231-233
- 41 Lennon D, Nagle F, Stratman F, Shrago E , Dennis S. (1985).
Diet and exercise training effects on resting metabolic rate.
Int J Obes. 9: 39-47

- 42 Liou TG , Kanner RE. (2009).
Spirometry.
Clin Rev Allergy Immunol. Apr.4
- 43 Löffler G, Petrides P. (2003).
Ernährung In: Biochemie und Pathobiochemie. Springer Verlag. Berlin.
7.Auflage 673-695
- 44 Meckel Y, Ismaeel A ,Eliakim A. (2008).
The effect of the Ramadan fast on physical performance and dietary
habits in adolescent soccer players.
Eur J Appl Physiol. 102: 651-657
- 45 Montain SJ,Young AJ. (2003).
Diet and physical performance.
Appetite. 40: 255-267
- 46 Nieman DC, Carlson KA, Brandstater ME, Naegele RT, Blankenship JW.
(1987).
Running endurance in 27-h-fasted humans.
J Appl Physiol. 63: 2502-2509
- 47 Nudel DB, Gootman N, Nussbaum MP, Shenker IR. (1984).
Altered exercise performance and abnormal sympathetic responses to
exercise in patients with anorexia nervosa.
J Pediatr. 105: 34-37
- 48 Oliver SJ, Laing SJ, Wilson S, Bilzon JL, Walsh N. (2007).
Endurance running performance after 48 h of restricted fluid and/or
energy intake.
Med Sci Sports Exerc. 39: 316-322
- 49 Pudel V, Ellrott T. (1995).
[Nutrition behavior in Germany].
Internist (Berl). 36: 1032-1039
- 50 Ramadan J, Telahoun G, Al-Zaid NS, Barac-Nieto M. (1999).
Responses to exercise, fluid, and energy balances during Ramadan in
sedentary and active males.
Nutrition. 15: 735-739
- 51 Ramadan JM, Barac-Nieto M. (2000).
Cardio-respiratory responses to moderately heavy aerobic exercise
during the Ramadan fasts.
Saudi Med J. 21: 238-244
- 52 Reich G. CM. (2001).
Ernährung- Gewicht- Diät. Die Mythen und Fakten in: Psychotherapie der
Esstörungen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 2. Auflage 6-7 (238)

- 53 Roky R, Houti I, Moussamih S, Qotbi S ,Aadil N. (2004).
Physiological and chronobiological changes during Ramadan intermittent
fasting.
Ann Nutr Metab. 48: 296-303
- 54 Satinsky I. (2009).
Nutritional intervention in surgery.
Rozhl Chir. 88: 409-412
- 55 Schiller Medizinprodukte AG. (2008).
CARDIOVIT AT-104 PC Ergo-Spirometrie.
1-4
- 56 Schisler JA ,Ianzuzo CD. (2007).
Running to maintain cardiovascular fitness is not limited by short-term
fasting or enhanced by carbohydrate supplementation.
J Phys Act Health. 4: 101-112
- 57 Schurch PM. (1993).
Fasting and physical endurance capacity.
Schweiz Z Sportmed. 41: 29-33
- 58 Shen J, Ren H, Tomiyama-Miyaji C, Watanabe M, Kainuma E, Inoue M,
Kuwano Y, Abo T. (2009).
Resistance and augmentation of innate immunity in mice exposed to
starvation.
Cell Immunol. 259: 66-73
- 59 Siddiqui QA, Sabir S, Subhan MM. (2005).
The effect of Ramadan fasting on spirometry in healthy subjects.
Respirology. 10: 525-528
- 60 Sjostrand T. (1953).
Volume and distribution of blood and their significance in regulating the
circulation.
Physiol Rev. 33: 202-228
- 61 Stemper T. (1988).
PWC- Test in: Gesundheit - Fitness - Freizeitsport. Bund-Verlag. Köln.
- 62 Townsend MC. (2000).
ACOEM position statement. Spirometry in the occupational setting.
American College of Occupational and Environmental Medicine.
J Occup Environ Med. 42: 228-245
- 63 Ueno N, Asakawa A, Inui A. (2007).
Blunted metabolic response to fasting in obese mice.
Endocrine. 32: 192-196

- 64 Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. (1999).
Principles of Exercise Testing and Interpretation.
Lippincott Williams & Wilkins. Baltimore. 3rd edition
- 65 Wasserman K, McIlroy M. (1964).
Detection of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise.
Am. J. Cardiol. 14: 844-852
- 66 Wonisch M., Fruhwald FM, Hofmann P, Hödl R, Klein W, Kraxner W,
Maier R, Pokan R, Smekal G, Watzinger N. (2003).
Spiroergometrie in der Kardiologie- Grundlagen der Physiologie und
Terminologie.
Journal für Kardiologie. 10 (9): 383-390
- 67 Zinker BA, Britz K, Brooks GA. (1990).
Effects of a 36-hour fast on human endurance and substrate utilization.
J Appl Physiol. 69: 1849-1855

Danksagung

Mein großer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dipl.- Psych. Paul Enck für die Überlassung des Themas dieser Dissertation, die Aufnahme in das Forschungsteam der Abteilung für Psychosomatische Medizin und Psychotherapie der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen und die gute Betreuung.

Allen Mitarbeitern des Projektes, die uns unterstützt, eingearbeitet und zum Gelingen der Studie beigetragen haben, danke ich ebenfalls.

Allen freiwilligen Probandinnen danke ich, denn ohne sie wäre diese Studie nicht möglich gewesen.

Bei meinen Kommilitoninnen und Freundinnen Anna Seifert, Svenja Remmlinger, Franziska Grau und Angelika Günter bedanke ich mich herzlich für die einmalige und außergewöhnlich gute Teamarbeit und gegenseitige Unterstützung während dieses Projektes.

Ein ganz besonderer Dank gilt von ganzem Herzen meinen Eltern Peter und Dorothea Haas sowie meinen Schwestern Sina und Marisa, ohne die mein Studium und damit auch die Fertigstellung dieser Dissertation in dieser Form nicht möglich gewesen wären.

Meinem Freund Christian danke ich von ganzem Herzen für den Beistand in allen Lebenslagen und so auch während der Höhen und Tiefen beim Fertigstellen dieser Dissertation.