



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Einfluss von Kohlenhydrat- versus Protein-Diät auf die Leistung
im 5000-Meter-Lauf“

Verfasser

Frimmel Clemens

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A474

Studienrichtung lt. Studienblatt: Diplomstudium Ernährungswissenschaften

Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. Paul Haber

Wien, im Juni 2011

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	II
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	VII
TABELLENVERZEICHNIS	VIII
1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	9
2. ENERGIESTOFFWECHSEL.....	11
2.1. Wege der Energiebereitstellung	11
2.1.1. Anaerob-alktazider Energiestoffwechsel	13
2.1.2. Anaerob-laktazider Energiestoffwechsel	14
2.1.3. Aerober Energiestoffwechsel	16
2.1.4. Aerob-anaerobe Schwelle	17
2.2. Bedeutung des Trainings	18
2.3. Einflussfaktoren auf die Substratwahl	20
2.3.1. Intensität und Dauer der Belastung	20
2.3.2. Alter	23
2.3.3. Geschlecht	23
3. EINFLUSS DER ERNÄHRUNG AUF DIE LEISTUNGSFÄHIGKEIT IM AUSDAUERSPORT.....	25
3.1. Energiebedarf des Sportlers	25
3.2. Kohlenhydrate im Ausdauersport	27

3.2.1. Kohlenhydratbedarf	28
3.2.2. Welche Kohlenhydrate sollten bevorzugt werden?.....	29
3.2.3. Kohlenhydrat-Laden (KL)	30
3.2.3.1. Modelle des KL	31
3.2.3.2. Einfluss von Kreatin auf die Muskelglykogen-Superkompensation	34
3.2.4. Kohlenhydratzufuhr vor einer Belastung	34
3.2.5. Kohlenhydratzufuhr während einer Belastung	36
3.2.6. Kohlenhydratzufuhr nach einer Belastung	37
3.3. Proteine im Ausdauersport	40
3.3.1. Proteinbedarf	41
3.3.2. Qualität der Proteine	44
3.3.3. Proteinstoffwechsel	45
3.3.4. BCAA-Stoffwechsel	46
3.3.5. Proteinzufuhr vor, während und nach einer Belastung	49
3.4. Fette im Ausdauersport	50
3.4.1. Fettbedarf	51
3.4.2. Fett-loading (FL).....	53
3.4.2.1. Kurzfristiges FL ohne KL	53
3.4.2.2. Langfristiges FL ohne KL	54
3.4.2.3. Mittelfristiges FL mit KL	54
3.4.2.4. Langfristiges FL mit KL	55
3.4.3. Fettaufnahme vor, während und nach einer Belastung	55
3.4.4. Einfluss von L-Carnitin auf die Leistungsfähigkeit	57

3.5. Flüssigkeitszufuhr im Ausdauersport	58
3.5.1. Kohlenhydrat- und Elektrolytzufuhr	60
3.5.2. Flüssigkeitszufuhr vor, während und nach einer Belastung	61
4. MATERIAL UND METHODEN.....	63
4.1. Das Studiendesign	63
4.1.1. Probanden	63
4.1.2. Einteilung der Probanden	65
4.1.3. Der Studienablauf	66
4.2. Die Ernährung	69
4.2.1. Erstellung der Ernährungspläne	69
4.3. Ziele der Untersuchung	75
4.4. Datenanalyse	76
5. ERGEBNISSE UND DISKUSSION	78
5.1. Vergleich der Gruppenergebnisse	78
5.2. Kennzahlen der Probanden	81
5.3. Leistungsvergleich Kohlenhydrat- vs. Protein-Diät	83
5.4. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse	85
6. SCHLUSSBETRACHTUNG.....	87
7. ZUSAMMENFASSUNG.....	88
7. ABSTRACT	90
8. LITERATURVERZEICHNIS	92

9. ANHANG101

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 Menge an ATP und PCr, die für die Kontraktion zur Verfügung steht	12
Abb. 2 Stoffwechselwege der energieliefernden Nahrungsstoffe	12
Abb. 3 Substratumsatz und Belastungsintensität	20
Abb. 4 Fettoxidationsraten vs. Belastungsintensität	21
Abb. 5 Gerundeter Energieverbrauch diverser Sportarten	26
Abb. 6 Moderates Kohlenhydrat-Laden	32
Abb. 7 Zeit bis zur Erschöpfung während des Radfahrens bei 75 % der VO_2 max	47
Abb. 8 Hauptenergiequellen an der Energiebereitstellung	50
Abb. 9 Zeitpunkt der Erschöpfung bei unterschiedlicher Fettaufnahme	51
Abb. 10 Beispiel für eine Testwoche	66
Abb. 11 Leichtathletik-Laufbahn	67
Abb. 12 Hilfestellungen zur Menükomposition	72
Abb. 13 Hilfestellungen zur Menükomposition	73

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADP	Adenosindiphosphat
AMP	Adenosinmonophosphat
BCAA	Branched-Chain-Amino-Acids
BMI	Body-Mass-Index
BW	Biologische Wertigkeit
CAT	Carnitin-Acyltransferase
CK	Kreatinphosphokinase
CPT-1	Carnitinpalmitoyltransferase
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
FL	Fett-Laden bzw. Fat-loading
FOX	Fettsäureoxidation
GI	Glykämischer Index
GLUT-4	Glukosetransporter Typ 4
IMP	Inosin Monophosphat
IMTG	Intramuskuläre Triglyzeride
KL	Kohlenhydrat-Laden
LU	Leistungsumsatz
MCT1	Monocarboxylat-Transporter 1
MLSS	Maximales Laktat steady state
PAL	Physical activity level
PCr	Kreatinphosphat
P _i	Anorganisches Phosphat
VLDL	Very Low Density Lipoprotein
VO ₂ max	Maximale Sauerstoffaufnahme

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1 Richtlinien der Kohlenhydrataufnahme für Sportler	28
Tab. 2 Faktoren, die einen Einfluss auf die Muskelglykogenresynthese nehmen	38
Tab. 3 Geschätzter Eiweißbedarf	42
Tab. 4 BW von Nahrungsproteinen und Lebensmittelkombinationen	44
Tab. 5 Verwendung und Dosierung von Kohlenhydrat-Elektrolytgetränken in Abhängigkeit von Belastungsdauer und –intensität	60
Tab. 6 Daten der Kohlenhydrat-Gruppe	64
Tab. 7 Daten der Protein-Gruppe	64
Tab. 8 Auflistung kohlenhydratreicher Lebensmittel	71
Tab. 9 Aufzählung proteinreicher bzw. –haltiger Lebensmittel	71
Tab. 10 Deskriptive Statistiken für den Kolmogorov-Smirnov-Test	76
Tab. 11 Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests	77
Tab. 12 Zeiten und Geschwindigkeiten der KGr	78
Tab. 13 Zeiten und Geschwindigkeiten der PGr	79
Tab. 14 Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen nach Ernährungsplan	80
Tab. 15 Deskriptive Statistik für den ungepaarten t-Test	81
Tab. 16 t-Test bei unabhängigen Stichproben	82
Tab. 17 Deskriptive Gruppen-Statistik für den ungepaarten t-Test	83
Tab. 18 t-Test bei unabhängigen Stichproben	84

1. Einleitung und Fragestellung

Der 5000-Meter-Lauf zählt zu den Bahnläufen und wird im Rahmen von Olympischen Spielen und Leichtathletikwettbewerben abgehalten. Neben dem Marathon und dem 10.000-Meter-Lauf gehört auch der 5000-Meter-Lauf zu einem von drei Langstreckenläufen. Die derzeitigen Spitzenzeiten der Männer liegen bei 12,45 Minuten, der aktuelle Weltrekord wird seit dem Jahr 2004 vom Äthiopier Bekele gehalten und liegt bei 12,37 Minuten¹.

Ein solcher Wettkampf verlangt, egal ob er von einem Leistungs- oder Breitensportler erbracht wird, körperliche Höchstleistungen ab. Sowohl im Profi- als auch im Amateursport stößt man ab einem gewissen Leistungsgrad an seine Grenzen. Durch Training alleine können hier keine gravierenden Fortschritte mehr erzielt werden. Für eine optimale Leistungsfähigkeit kommen viele Komponenten wie Training, mentale Verfassung, genetische Dispositionen etc. zum Tragen. In diesem Wechselspiel leistet auch die Ernährung einen entscheidenden Beitrag. Wenn bei einem Athleten, gerade im Bereich des Ausdauersportes, die Glykogenreserven nicht mehr für die Energiegewinnung herangezogen werden können, kommt es in weiterer Folge zu rasanten Leistungseinbußen.

Durch mein persönliches Umfeld ist mir die Tatsache aufgefallen, dass sehr wohl auch Freizeitsportler Ansprüche an die eigene Leistungsfähigkeit stellen und neben dem Training auch ernährungstechnisch experimentieren, um das persönliche Leistungsvermögen zu steigern. Dieser Umstand hat mich u. a. dazu bewegt, in diesem Feld zu forschen.

In meiner Diplomarbeit habe ich daher primär versucht, die Einflüsse verschiedener Ernährungsformen auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von männlichen Breitensportlern unter Feldbedingungen zu testen.

¹ URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/5000-Meter-Lauf> [letzter Zugriff: 18.06.2011].

Dazu wurde der Vergleich einer kohlenhydratreichen Kostform mit dem einer proteinbasierten Ernährungsweise angestellt sowie deren Unterschiede im Rahmen intensiver körperlicher Anstrengung auf die Leistungsfähigkeit gegenübergestellt.

Ziel dieses Feldversuchs ist es, herauszuarbeiten, ob es bei den Breitensportlern mit kohlenhydratreicher Ernährung, sprich vollen Glykogenspeichern, einen Leistungsvorteil gegenüber jenen mit kohlenhydratarmer bzw. proteinbetonter Ernährungsweise im Rahmen einer hochintensiven in etwa 25-minütigen Ausdauerbelastung gibt. Zu klären ist: Gibt es Ernährungsmaßnahmen, die für einen Freizeitsportler Sinn zur Verbesserung der Ausdauerleistung machen und wenn ja, welche?

Im Fokus dieser Arbeit steht das Aufladen der Muskelglykogenspeicher, das so genannte „Carbohydrate Loading“, da es aus sportwissenschaftlicher Sicht zu den leistungsfördernden Maßnahmen im Ausdauersport zählt. Ferner wird noch auf die Energiebereitstellung aus Proteinen und Lipiden eingegangen sowie ihre Relevanz im Bezug auf die Ausdauerleistung charakterisiert.

2. Energiestoffwechsel

2.1. Wege der Energiebereitstellung

Die Bewerkstelligung jeglicher körperlicher Leistung erfordert vom Organismus eine der Anforderung entsprechende Muskelarbeit, die dafür notwendige Energie bezieht die Muskelzelle aus den drei Makronährstoffen Kohlenhydrat, Fett und Eiweiß. Aus diesen Grundnahrungsstoffen gewinnt der Organismus ATP (Adenosintriphosphat), den maßgebenden Energieträger für alle energiepflichtigen Vorgänge. Die Aufrechterhaltung des Energiestoffwechsels impliziert daher auch eine fortwährende Nahrungsaufnahme in Form der Energieträger [WEINECK, 2004].

ATP stellt das einzig direkt verwertbare Energiesubstrat für die Muskelkontraktion dar, dazu wird es unter Freisetzung von Energie mithilfe von ATPasen in das energieärmere Adenosindiphosphat (ADP) überführt. Zusätzlich bildet sich noch anorganisches Phosphat (P_i).



Mit dem ATP-Vorrat der Muskelzelle sind nur wenige Muskelkontraktionen möglich, da die vorhandenen Mengen stark limitiert sind. Darüber hinaus verfügt die Muskelzelle noch über einen weitaus größeren Speicher, das Kreatinphosphat (PCr). Dieses zusätzliche energiereiche Phosphat ermöglicht während intensiven Belastungen eine rasche Regeneration von ATP, da sich das für den Kreatinabbau verantwortliche Enzym Kreatinphosphokinase (CK) an den entsprechenden ATP-Verbrauch anpasst [HOLLMANN und STRÜDER, 2009].

Abbildung 1: Menge an ATP und PCr, die für die Kontraktion zur Verfügung steht.

Parameter	Einheit	ATP	CP
Konzentration/kg Muskelmasse	mmol.kg ⁻¹	6	28
Konzentration in allen Muskeln	mmol	180	840
Energie pro mmol	kcal.mmol ⁻¹	0,01	0,01
Energie pro kg Muskelmasse	kcal.kg ⁻¹	0,06	0,28
Energie in allen Muskeln	kcal	1,8	8,4

Abb.1: zeigt ein Beispiel für die Berechnung der Gesamt-Speichermenge an „energiereichen Phosphaten“ (Individuum mit Körpermasse von 70 kg und Muskelmasse von 30 kg) [Edwards u.a., 1982, aus SMEKAL, 2004].

Die im Muskel vorhandenen Mengen an Kreatinphosphat decken den Energiebedarf lediglich für Kurzzeitbelastungen. Nach wenigen Sekunden erliegen die PCr-Speicher, danach werden Kohlenhydrate, Fette und in geringerem Umfang auch Proteine für die ATP-Resynthese herangezogen [HOLLMANN und STRÜDER, 2009].

Abbildung 2: Stoffwechselwege der energieliefernden Nahrungsstoffe [WEINECK, 2004].

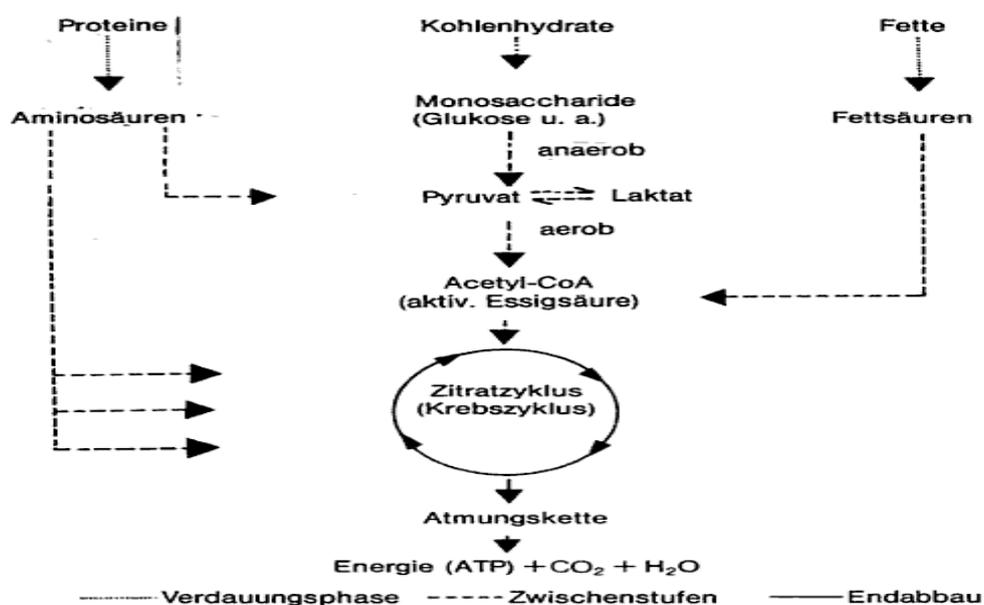


Abb. 2 zeigt, dass letztendlich alle Hauptenergieträger nach ihrem oxidativen Abbau in den Krebszyklus gelangen. In der Atmungskette erfolgt dann über die oxidative Phosphorylierung der ATP-Gewinn [WEINECK, 2004].

Die Regeneration von ATP kann einerseits ohne Teilnahme von Sauerstoff, sprich anaerob, verlaufen, andererseits durch die aerobe Oxidation der Nährstoffe, wobei Kohlendioxid und Wasser anfallen. Zudem unterteilt man den anaeroben Stoffwechselweg noch in die anaerobe alaktazide sowie anaerobe laktazide Energiebereitstellung [BERG und DICKHUTH, 2010].

2.1.1. Anaerob-alaktazider Energiestoffwechsel

Die ATP-Speicher mit etwa 5mmol/kg Muskelfeuchtgewicht reichen bei maximalen Muskelkontraktionen lediglich für einen Zeitraum von 2 – 3 Sekunden zur Deckung des Energiebedarfs aus. Wenngleich auch alle drei energieliefernden Stoffwechselwege (aerob, anaerob-alaktazid bzw. -laktazid) nahezu gleichzeitig einhergehen, dominiert bei hochintensiven Belastungen die Kreatinphosphatspaltung für die ATP-Resynthese.

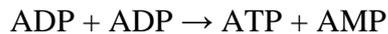
Lohmann-Reaktion:



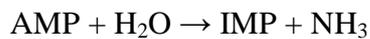
Aufgrund der etwas höheren freien Energie des Kreatinphosphats gegenüber jener von ATP wird die Energieübertragung auf das ADP bevorzugt. Das PCr ermöglicht somit eine rasche Wiederherstellung von ATP. Dadurch bleibt auch die ATP-Konzentration in der Muskulatur nahezu konstant [BERG und DICKHUTH, 2010].

Der PCr-Speicher mit rund 25 mmol/kg Feuchtgewicht reicht bei hochintensiven Belastungen 6 – 8 Sekunden sowie 15 – 20 Sekunden für Belastungen geringerer Intensität. Mithilfe intensiver Kurzzeit- oder Krafttrainings kann die Speicherkapazität von PCr in der Muskulatur um zirka 20% erhöht werden [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Daneben stellt der weitere Abbau von AMP (Adenosinmonophosphat) zu IMP (Inosin 5 Monophosphat) eine weitere Form der anaerob-alktaziden Energiegewinnung dar, jedoch in geringerem Ausmaß. Verlagert sich der Quotient ATP/ADP hin zu ADP, kommt es zu einer verstärkten Bildung von AMP.



Das Enzym AMP-Desaminase kann AMP aus dieser Reaktion entfernen, dabei kommt es zur Bildung von IMP und Ammoniak (NH₃).



Folglich ist auch die Bildung von ATP gesichert, da die Reaktion weiterhin in Richtung AMP erfolgen kann [BERG und DICKHUTH, 2010].

2.1.2. Anaerob-laktazider Energiestoffwechsel

Die Energiegewinnung durch PCr verläuft 6 Sekunden beinahe ohne einer Laktatbildung. Bleiben extrem intensive Belastungsphasen über einen Zeitraum von 6 – 8 Sekunden bestehen, setzt der anaerobe Glykogen- oder Glukoseabbau ein, da die anaerobe Glykolyse einen PCr-Mangel kompensieren muss [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Hierbei werden Glykogen oder Glukose durch zytoplasmatische Enzyme ohne Mithilfe von Sauerstoff bis zum Pyruvat (Brenztraubensäure) abgebaut. Bis zur Stufe des Laktats sind 10 – 12 enzymatische Reaktionen erforderlich.



Laktat stellt letztendlich das finale Produkt der anaeroben Glykolyse dar [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010 ; WILMORE u.a., 2008].

Wenn die aerob wirksamen Enzyme in den Mitochondrien bei zu hohen Belastungsintensitäten das angefallene Pyruvat nicht mehr weiterverarbeiten können, entsteht durch die zusätzlich einsetzende anaerobe Glykolyse Laktat. Für die Entstehung von Milchsäure ist neben zu hohen Belastungsintensitäten auch eine limitierte Mitochondrienmasse in der Muskulatur verantwortlich [TOMASITS und HABER, 2008].

Im Zuge gleichmäßiger Ausdauerbelastungen halten sich sowohl der Abbau als auch die Entstehung von Milchsäure die Waage. Der Milchsäureabbau wird durch ein Kompensationstraining nach einer intensiven Belastung unterstützt [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Etwa 75% des angefallenen Laktats werden von der Leber (50%), der nicht beanspruchten Muskulatur (30%) sowie von Herz und Nieren (10%) zur Energiegewinnung oxidativ abgebaut. Die Leber vollzieht schließlich mit dem restlichen Laktat die Gluconeogenese (Cori-Zyklus) [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010 ; TOMASITS und HABER, 2008].

Der anaerobe Glykogenabbau ergibt eine Netto-Energieausbeute von 3 ATP. Durch den Abbau von Glukose werden jedoch nur mehr 2 ATP gewonnen, da 1 ATP für die Umwandlung von Glukose zu Glukose-6-Phosphat benötigt wird [WILMORE u.a., 2008].

Eine bis zu 100% höhere Leistung kann hierbei im Vergleich zur maximalen aeroben Leistung erzielt werden. Durch den anaeroben Kohlenhydratabbau kann für zirka 40 Sekunden eine maximale Energiemenge von 15 kcal umgesetzt werden, das entspricht einer Leistung von 6 Watt/kg/KG. Die gleiche Energiemenge steht bei geringeren Belastungsintensitäten in etwa 3 Minuten zur Verfügung. Wird ein Blutlaktatwert von 15mmol/l erreicht, wird entweder die Glykolyse gehemmt (Pasteur-Effekt) und der aerobe Stoffwechsel übernimmt die Energiebereitstellung, oder es kommt zu einem Belastungsabbruch aufgrund einer hohen Laktatazidose [TOMASITS und HABER, 2008].

Die Geschwindigkeit des Laktatabbaus liegt bei 0,3 – 0,5 mmol/l pro Minute, wobei untrainierte Personen das Laktat langsamer abbauen als trainierte. Bei 800-Meter-Läufern finden sich die höchsten Blutlaktatspiegel mit 25mmol/l [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

2.1.3. Aerober Energiestoffwechsel

Die Energie für Ausdauerbelastungen bezieht der Organismus über die oxidative ATP-Produktion, welche in den Mitochondrien stattfindet. Mithilfe von Sauerstoff werden Intramuskuläre Triglyzeride (IMTG) und Kohlenhydrate unter Energiegewinn abgebaut.



Unter bestimmten Bedingungen können auch glukoplastische Aminosäuren für die Energiegewinnung herangezogen werden [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Sowohl die aerobe als auch die anaerobe Glykolyse verlaufen bis zum Pyruvat ident, durch die Anwesenheit von Sauerstoff kommt es in weiterer Folge zur Bildung von Acetyl – CoA, welches anschließend in den Krebszyklus gelangt. Acetyl – CoA fällt ebenfalls beim enzymatischen Fettsäureabbau (β -Oxidation) und bei der Oxidation von Proteinen an [WILMORE u.a., 2008].

Der aerobe Kohlenhydratabbau zu Pyruvat wird vermindert, wenn genügend Acetyl – CoA aus der Fettsäureoxidation vorhanden ist. Nur die direkte Bildung von Oxalacetat ermöglicht es dem Pyruvat, weiterhin den Krebszyklus zu durchlaufen. Das so aus dem Kohlenhydratabbau entstandene Oxalacetat erlaubt dem Krebszyklus, wieder mehr Acetyl – CoA aus der Fettoxidation (FOX) zu verwerten. Da ein Wechselspiel zwischen Kohlenhydrat-und Fettsäureabbau besteht, ist die FOX während langen Belastungen nur bei einem funktionierenden Kohlenhydratmetabolismus gegeben [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Die Energie bezieht der Körper in Ruhe zu 20% aus Kohlenhydraten und zu 80% aus Fetten. Überschreiten Ausdauerbelastungen 65% der VO_{2max} , deckt der Körper infolge seines Energiebedarf mit dem aeroben Kohlenhydratabbau, da mehr ATP pro mol O_2 umgesetzt werden können. Stellt sich eine Laktatkonzentration von 4mmol/l ein, wird der Abbau von freien FS ebenfalls außer Kraft gesetzt. Mit dem aeroben Glykogenabbau lassen sich maximale Leistungen von zirka 3Watt/kg/KG erbringen. Lediglich die Hälfte kann mit der FOX erzielt werden [TOMASITS und HABER, 2008].

Die komplette Oxidation von Kohlenhydraten liefert 37 – 39 Moleküle ATP aus einem Molekül Muskelglykogen. Wird jedoch nur Glukose oxidiert, können maximal 38 Moleküle ATP gewonnen werden. Obwohl die Fettspeicher mit rund 70.000 kcal gegenüber den 2500 kcal aus den Kohlenhydratspeichern mehr Energie zur Verfügung stellen, ist die Energieausbeute pro benutztem Molekül Sauerstoff mit 5,6 ATP zu 6,3 Molekülen ATP vergleichsweise gering. Fette sind im Gegensatz zu Glykogen bzw. Glukose nicht homogen, daher hängt die produzierte Menge an ATP von der jeweilig oxidierten Fettsäure ab. Im Fall der Palmitinsäure können aus einem Molekül 129 Moleküle ATP gewonnen werden [WILMORE u.a., 2008].

2.1.4. Aerob-anaerobe Schwelle

Stellen sich Blutlaktatwerte von 2 – 4mmol/l ein, erfolgt der Energiegewinn, neben dem aeroben Stoffwechsel, vermehrt auf anaerobe Weise. Dieser Bereich stellt somit den Übergang von aerobem auf anaeroben Stoffwechsel dar [GRAF und ROST, 2005].

Die größtmögliche Leistung bei einer kontinuierlichen Belastung, wo noch ein Gleichgewicht zwischen Laktataufbau bzw. -abbau besteht, wird als anaerobe Schwelle angesehen [RUSKO u.a., 1986].

Erreicht wird sie ab einem Blutlaktatwert von 4mmol/l. Davon zu unterscheiden ist die individuelle anaerobe Schwelle, die als persönliche Dauerleistungsgrenze angesehen werden kann [LANG und LANG, 2007].

Das maximale Laktat steady state (MLSS) bezeichnet die höchste Laktatkonzentration und die größte Belastung, welche ohne eine ständige Akkumulation von Laktat aufrechterhalten werden kann [BILLAT u.a., 2003].

Das MLSS findet sich bei 70% der maximalen Leistung. Ein hohes MLSS spricht somit auch für eine große Leistungsfähigkeit. Ausdauerathleten besitzen eine hohe anaerobe Schwelle, verantwortlich dafür sind eine größere Mitochondrienmasse sowie eine verbesserte Kapillardichte im Muskel. Somit spielt die oxidative Kapazität eine entscheidende Rolle über die Höhe der anaeroben Schwelle. Daneben nehmen aber noch andere Faktoren (Ernährung, Sportart etc.) Einfluss auf die anaerobe Schwelle [TOMASITS und HABER, 2008].

Anhand der aerob-anaeroben Schwelle lässt sich die optimale Herzfrequenz für das Training bestimmen. Bei untrainierten Personen wird sie bei 60 – 70 % der maximal möglichen Leistung angenommen [GRAF und ROST, 2005].

2.2. Bedeutung des Trainings

Durch Training kann sich die Stoffwechsellage im Muskel umstellen. Werden metabolische Gene exprimiert, vermehren sich sowohl die Kohlenhydrat- als auch die PCr-Speicher. Um die PCr-Speicher zu erhöhen, müssen für die Dauer von 6 Sekunden intensive, alaktazide Serienbelastungen erfolgen. Ein Beispiel hierfür wären mehrere nacheinander abgehaltene 30-Meter-Läufe. Die Kohlenhydratspeicher nehmen entweder durch wiederkehrende aerobe (> 2h) oder aerob-anaerobe (≤ 70 min) Trainings zu. Eine Zunahme der Energiespeicher erfolgt lediglich bei starker Entleerung [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Regelmäßig intensive anaerobe Belastungen bewirken eine verminderte Erholungsfähigkeit. Aufgrund dieser Belastungen werden die Membrane der Mitochondrien zerstört, dadurch wird sowohl die Mitochondrien-Dichte als auch Größe gemindert, was in letzter Konsequenz einen aeroben Leistungsabfall bedeutet [WEINECK, 2004].

Ausdauerbelastungen sind bekannt dafür, dass sie metabolische Anpassungen in der Skelettmuskulatur über die Aktivierung des Transkriptions-Co-Aktivator PGC-1 α herbeiführen. PGC-1 α steuert die mitochondriale Biogenese, indem es die Transkription der mitochondrialen Gene reguliert. Ausdauertraining führt zu einer Zunahme von Mitochondrien sowie zu einer verbesserten oxidativen Kapazität [SAFDAR u.a., 2011].

Die gesteigerte Aktivität der aerob wirksamen Enzyme sowie eine vermehrte Mitochondrienmasse schützen den Körper vor Ermüdungserscheinungen (Laktatakkumulation) [WEINECK, 2004].

Das Ausdauertraining verbessert die Expression von Monocarboxylat-Transporter 1 (MCT1). MCT1 zeigt sich verantwortlich für den Transport von Laktat in und aus der Zelle. Daher können trainierte Personen Laktat besser abbauen als untrainierte [BILLAT u.a., 2003].

Die VO₂max repräsentiert die maximale aerobe Kapazität, sie kann lediglich über einen Zuwachs an Mitochondrien gesteigert werden, da ihr Wert pro ml Mitochondrienmasse stets gleichbleibend ist [TOMASITS und HABER, 2008].

Intensive Ausdauerbelastungen verbessern die zelluläre Glukoseaufnahme durch eine gesteigerte Expression von GLUT-4-Rezeptoren. Diese Art der Belastung steigert somit den Kohlenhydratumsatz. Durch extensiv aerobes Training wird indes vermehrt Energie über den Fettsäureabbau gewonnen, weil die dafür verantwortliche Enzymmasse zunimmt [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Ausdauertraining erhöht den Anteil an Intramuskulären Triglyzeriden, bei gut trainierten Athleten kann das bis zu 200 % mehr ausmachen. Beim Trainierten zeigt sich daher eine verbesserte Fettoxidation, da sie vor allem IMTG zur Deckung ihres Energiebedarfs nutzen können. Damit ist auch gleichzeitig eine geringere Kohlenhydratoxidation verbunden, wodurch ihnen größere Mengen an Glykogen zur Verfügung stehen. Der Anteil der oxidierten Fettsäuren aus den IMTG kann bis zu 90% ausmachen.

Es kann aber auch im Vergleich zu Untrainierten vermehrt Energie durch Oxidation der aus dem Fettgewebe freigesetzten Fettsäuren bezogen werden [KNECHTLE und BIRCHER, 2006].

2.3. Einflussfaktoren auf die Substratwahl

2.3.1 Intensität und Dauer der Belastung

Bei langandauernden Belastungen bezieht der Körper seine Energie aus der Oxidation von Fetten und Kohlenhydraten. Erfolgt eine Belastung über eine längere Zeitspanne mit niedriger Intensität, so dominiert die Energiebereitstellung aus Fetten. Erhöht sich hingegen die Belastungsintensität, werden verstärkt Kohlenhydrate oxidiert [KNECHTLE und BIRCHER, 2005].

Kohlenhydrate haben zwar gegenüber Fetten weniger Energie pro Gewichtseinheit, besitzen allerdings eine höhere energetische Flussrate. Das bedeutet, die pro Zeiteinheit benötigte Energiemenge kann während hohen Belastungsintensitäten mittels aerober Glykolyse, nicht jedoch mit gleicher Geschwindigkeit über den Fettsäureabbau freigesetzt werden. Zur Diskussion steht dabei die Aktivität der Carnitinpalmitoyltransferase -1 (CPT-1) als begrenzender Faktor des Fettsäureabbaus [PRINZHAUSEN u.a., 2010].

Abbildung 3: Substratumsatz und Belastungsintensität [COYLE, 1995].

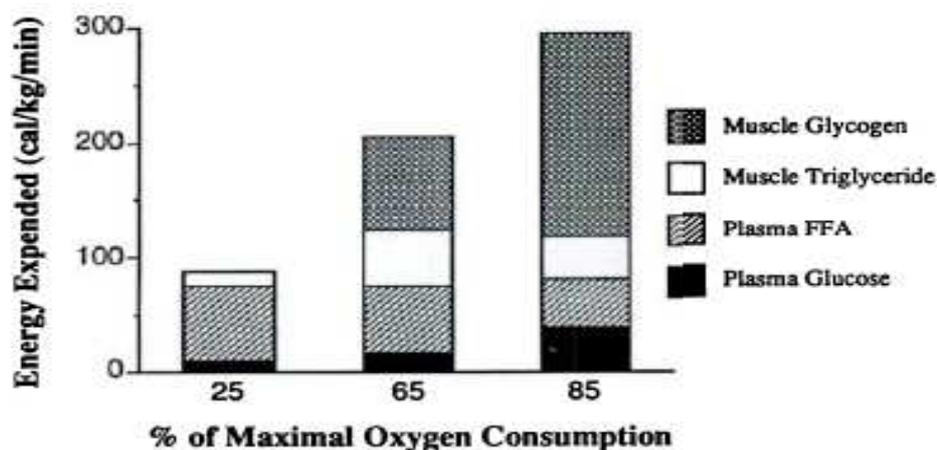


Abb. 3 zeigt den Beitrag der vier Hauptenergiesubstrate am Energieumsatz nach 30-minütiger Belastung bei 25, 65 und 85 % der $VO_2\max$ [COYLE, 1995].

Mit steigender Belastungsintensität nimmt der Verbrauch an IMTG ab, während der Verbrauch von Muskelglykogen stark zunimmt.

Der Kalorienverbrauch nimmt mit ansteigender Belastungsintensität zu. Zuerst wird der gestiegene Kalorienverbrauch bei intensiver Beanspruchung durch den vermehrten Abbau von intramuskulären Energiesubstraten gedeckt. Der Grund dafür besteht darin, dass es infolge von Membrantransporten eine strukturell bedingte Begrenzung des Transports von Fetten und Kohlenhydraten aus der Blutbahn in die Muskelfasern gibt [KNECHTLE und BIRCHER, 2005].

Kohlenhydrate und Fette gelangen bei mäßiger Arbeitsintensität (d.h. bei 40 – 50 % der $VO_2\max$) aus dem mikrovaskulären System in die Muskelzelle. Erhöht sich die Arbeitsintensität, müssen die intrazellulären Energiesubstrate oxidiert werden. Bei Ausdauer-trainierten Sportlern finden sich größere intramuskuläre Energiespeicher [HOPPELER, 1999].

Abbildung 4: Fettoxidationsraten vs. Belastungsintensität [ACHTEN und JEUKENDRUP, 2003]

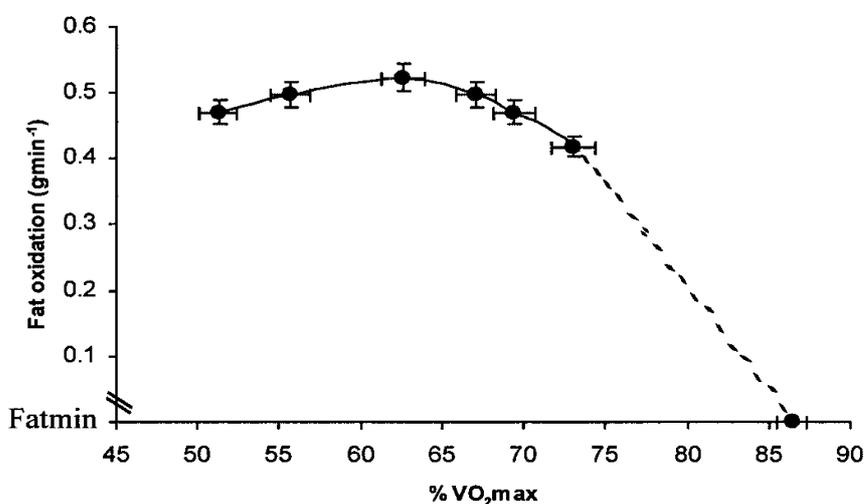


Abb. 4 zeigt, dass Belastungen bei 50 – 70 % der VO_2max die höchsten Fettoxidationsraten aufweisen. Ab etwa 86 % der VO_2max und darüber sind die Fettoxidationsraten vernachlässigbar. Bei einer mittleren Belastungsintensität von 63 % VO_2max war die Fettoxidation am höchsten [ACHTEN und JEUKENDRUP, 2003].

Die Gründe für die große Spannweite von 50 – 75 % VO_2max bei den höchsten Fettoxidationsraten dürften die Art der Belastung, der Trainingsstatus der Probanden sowie das Geschlecht sein. Bei einer Intensität von 75 % wird am meisten Fett verbrannt, jedoch stammt der Hauptteil der Energie aus dem Kohlenhydratabbau. Diese Intensität kann jedoch nicht lange aufrechterhalten werden, weil es zu einer raschen Depletion der muskulären Kohlenhydratspeicher kommt. Eine Ursache für die Hemmung des Fettsäureabbaus bei hohen Belastungsintensitäten könnte ein erhöhter Laktat Spiegel sein, da er die Lipolyse im Fettgewebe unterdrückt. Zu einer vollständigen Hemmung der Lipolyse kommt es bei Laktatwerten über 8,4 mmol/l [KNECHTLE und BIRCHER, 2005].

Bei höheren Belastungsintensitäten (85 % VO_2max) stellen Kohlenhydrate das Hauptenergiesubstrat dar [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010 ; VAN LOON u.a. 2001].

Der Energiebereitstellung aus dem Abbau von Glykogen sind Grenzen gesetzt, da die vorhandenen Mengen bis zu 520 g bei Trainierten sowie zirka 300 g bei Untrainierten ausmachen. Ohne eine Nahrungsaufnahme reichen die vorhandenen Glykogenmengen für eine Belastungsdauer von 90 – 120 Minuten. Die IMTG decken den Energiebedarf bei Ausdauerbelastungen, die über 120 Minuten hinausgehen [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Erfolgt eine körperliche Beanspruchung von 4 Stunden Dauer, stammen 63 % der benötigten Energie aus dem Fettsäureabbau. Die Muskelglykogenkonzentration sinkt im Zuge dieser Belastungsdauer auf 30 – 50 % des Ausgangsniveaus ab [KNECHTLE und BIRCHER, 2006].

2.3.2. Alter

Mit zunehmendem Alter verringert sich die FOX, das wird hauptsächlich auf die altersbedingte Abnahme der fettfreien Masse zurückgeführt [POEHLMAN u.a., 1995].

Die Fettverbrennung ist dabei sowohl in Ruhe als auch während Belastungen herabgesetzt [CALLES-ESCANDÓN und POEHLMAN 1997].

Bei Belastungen mittlerer Intensität beziehen älteren Personen mehr Energie aus der Kohlenhydrat- als aus der Fettoxidation [MITTENDORFER und KLEIN, 2001].

Im Laufe des Alters kommt es zu einem Rückgang der quergestreiften Skelettmuskulatur und einer Erhöhung des Oberkörperfettanteils. Infolge der schwindenden Muskelmasse verringert sich sowohl der Proteinstoffwechsel als auch der Grundumsatz. Des Weiteren beeinträchtigt der Verlust an Muskelmasse auch noch die FOX. Der verminderte Fettsäureabbau könnte die Folge einer geringeren Aufnahme von langkettigen Fettsäuren in die Mitochondrien sein. Die Lipolyse aus dem Fettgewebe ist vom Altersgang jedoch nicht betroffen [KNECHTLE und BIRCHER, 2006].

2.3.3. Geschlecht

Im Allgemeinen besitzen Frauen einen höheren Körperfettanteil als Männer. Frauen speichern in erster Linie ihr Fett an Gesäß, Oberschenkeln und Hüften, während Männer mehr Fett im abdominalen Bereich ansammeln. Die Unterschiede in der Körperfettverteilung haben eine Auswirkung auf die Mobilisation und Oxidation von Fettsäuren [BLAAK, 2001].

Frauen oxidieren im Vergleich zu Männern bei Belastungen mittlerer Intensität mehr Fett, jedoch weniger Kohlenhydrate. Generell besitzen sie auch eine bessere Ultra-Ausdauerleistungsfähigkeit. Während Ausdauerbelastungen weisen sie eine höhere Ganzkörperlipolyse, eine bessere Verwertung von IMTG sowie eine größere Aufnahme von freien Fettsäuren aus dem Plasma auf. Daneben besitzen sie noch einen höheren Gehalt an IMTG [MAHER u.a., 2010].

Die Unterschiede, sowohl in Ruhe als auch unter Belastung, für den besseren Transport von Fettsäuren in den Skelettmuskel sowie der besseren β -Oxidation und IMTG-Synthese dürften genetisch bedingt sein. Es wurden nämlich Geschlechtsunterschiede in der Expression von Genen, die an der transkriptionellen Regulation des Fettstoffwechsels beteiligt sind, festgestellt. Bei Frauen fand man dabei einen höheren Proteingehalt von β -Oxidationsenzymen, die für den Abbau von mittel- und langkettigen Fettsäuren verantwortlich sind [MAHER u.a., 2010].

Die Ergebnisse einer Schweizer Forschergruppe zeigten, dass bei einer 3-stündigen Belastung bei 50 % der VO_2 max die mittlere Fettoxidation gleich blieb, während jedoch die Kohlenhydratoxidation bei Männern signifikant höher ausfiel als bei Frauen [ZEHNDER u.a., 2005].

3. Einfluss der Ernährung auf die Leistungsfähigkeit im Ausdauersport

Die Ernährung erfüllt die Aufgabe, den durch Grundumsatz (GU) und Leistungsumsatz (LU) hervorgerufenen Energieverlust mittels adäquater Nahrungsaufnahme zu kompensieren. Sportler müssen sehr darauf achten, den entstandenen Energieverbrauch wieder auszugleichen. Lediglich durch einen optimalen Ernährungs- und Trainingszustand können Höchstleistungen erbracht werden. Es existieren fünf Energiebilanzen (Kalorien-, Nährstoff-, Vitamin-, Mineralstoffwechsel- und Flüssigkeitsbilanz), die von der Ernährung aufrechterhalten werden [WEINECK, 2004].

3.1. Energiebedarf des Sportlers

Sowohl die Art als auch die Dauer der Belastung beeinflussen die Energiegewinnung der Muskulatur. Für Sporttreibende lässt sich kein einheitlicher Nährstoffbedarf festlegen, da die Belastungen je nach Sportart verschieden sind. Die Summe aus Grundumsatz und Leistungsumsatz ergibt den Energiebedarf. Um Empfehlungen für die Energiezufuhr zu geben, muss die Körperzusammensetzung miteinbezogen werden. Für Sportler mit großen Muskelmassen steigert sich nämlich der Energiebedarf pro kg Körpergewicht. Der Energiebedarf beim Sportler hängt stark von seinem Leistungsumsatz ab. Der Leistungsumsatz ist schwer festzusetzen, da seine Bestimmung Kenntnisse über die Dauer, Intensität und Häufigkeit des Trainings erfordert [ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

Der Trainingsstatus wirkt sich ebenfalls auf die Energiebilanz aus. Gut trainierte Athleten weisen einen geringeren Energieumsatz auf, da das Training den Wirkungsgrad der Muskelarbeit verbessert und ökonomischere Bewegungsabläufe bewirkt. Daher ist es nur beschränkt sinnvoll, allgemeine Empfehlungen für die Energiezufuhr abzugeben und wenn, dann sollte ein Schwankungsbereich berücksichtigt werden. Die Empfehlungen für die Energiezufuhr müssen in Bezug auf Frauen um zirka 10 % herabgesetzt werden. Die Energiezufuhr kann auch nicht uneingeschränkt erfolgen. Es können über eine längere Zeitspanne lediglich 7000 – 8000 kcal pro Tag

über die Nahrung zugeführt werden. Die Gründe hierfür liegen sowohl an der begrenzten Aufnahmekapazität des Magen-Darm-Trakts als auch an der limitierten enzymatischen Aufspaltung der Nahrung.

Infolge sportlicher Belastungen können negative Energiebilanzen entstehen, daher muss auf eine ausreichende Nahrungsaufnahme geachtet werden. Die Konsequenzen einer unzureichenden Zufuhr sind Substanzverluste und Leistungseinbußen [ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

Im Zuge der Nahrungsaufnahme bzw. -Verarbeitung kommt es wegen des Ab- und Umbaus der Nährstoffe zu Energieverlusten. Diese müssen daher bei der notwendigen Kalorienzufuhr miteinbezogen werden. Bei Proteinen ergeben sich Verluste von etwa 22 %, bei Kohlenhydraten von 8 % und bei den Lipiden von 4 %. Rund 10 % beträgt der Verlust bei einer ausgewogenen Mischkost [WEINECK, 2004].

Breitensportler verbrauchen im Durchschnitt zusätzlich zum Grundumsatz etwas weniger als 1000 kcal pro Tag. Der zusätzliche Energieverbrauch von Leistungssportlern liegt zwischen 1000 und 3000 kcal pro Tag. Extremsportler wie Ironman- oder Race-Across-Amerika-Teilnehmer können einen Gesamtenergiebedarf von rund 10.000 kcal pro Tag aufweisen [SCHEK, 2008].

Abbildung 5: Gerundeter Energieverbrauch diverser Sportarten [SCHEK, 2008].

Sportart	Energieverbrauch
Kanu, Tennis, Badminton	6-7 kcal/kg KG/h
Reiten, Krafttraining, Aerobic, Fußball	8-9 kcal/kg KG/h
Tanzen, Schwimmen, Radrennen, Judo	10-11 kcal/kg KG/h
Squash, Skilanglauf, Laufen (< 6 min/km)	12-13 kcal/kg KG/h

Die Höhe des Energieverbrauchs während einer Belastung kann bei bekannter Wattleistung ermittelt werden. Die Sauerstoffaufnahme setzt sich aus dem Belastungsbedarf ($\text{Watt}/\text{min} \times 0,0113$) und dem Sauerstoffbedarf in Ruhe (0,3 l/min) zusammen. Für einen Liter Sauerstoff werden 5 kcal gebraucht. Bei einer Leistung von 125 Watt/min werden pro Stunde 510 kcal verbraucht [HAUNER und BERG, 2000].

3.2. Kohlenhydrate im Ausdauersport

Kohlenhydrate sind in der Ernährung des Sportlers von großer Bedeutung. Besonders im Bereich des Ausdauersports haben die Kohlenhydratreserven und somit eine adäquate Kohlenhydratversorgung einen großen Einfluss auf das Leistungsvermögen [ELMADFA und LEITZMANN, 2004]. Das für Athleten so wichtige Glykogen wird lediglich in der Muskulatur und der Leber gespeichert. Die Energiemenge, die aus dem Glykogen bereitgestellt werden kann, beträgt 1600 kcal. Davon entfallen rund 400 kcal auf die Leber und etwa 1200 kcal auf die Muskulatur. Ausdauertraining kann die Fähigkeit zur Glykogenspeicherung erheblich steigern (beinahe verdoppeln). Da jedoch die Glykogenspeicher verglichen mit den Fettdepots limitiert sind, können sie besonders bei hohen Belastungsintensitäten das Leistungsvermögen begrenzen [BERG u.a., 2008]. In diesen Situationen, wo die Glykogenreserven einen leistungsbegrenzenden Faktor darstellen (intensive Belastungen über 90 Minuten), kann durch eine Kohlenhydratgabe die Leistung länger aufrechterhalten werden [SCHEK, 2008]. Jedoch können pro Minute nur 1 – 1,1 g der exogenen Kohlenhydrate oxidiert werden. Diese Oxidationsraten zeigen sich bei einer Kohlenhydrataufnahme von 1,5 g / min. Allerdings können die Oxidationsraten auch durch eine gesteigerte Kohlenhydrataufnahme nicht weiter erhöht werden. Der Trainingsstatus hat ebenfalls keinen Einfluss auf die Oxidation der exogenen Kohlenhydrate [JEUKENDRUP und JENTJENS, 2000]. Lediglich mit einem hohen Kohlenhydratanteil an der Energiebereitstellung können intensive Ausdauerbelastungen (> 75 – 90 min, mit 70 – 75 % der VO₂max) bewerkstelligt werden [KÖNIG u.a., 2006]. Optimal gefüllte Glykogenspeicher steigern das Leistungsvermögen um 2 bis 3 % und verlängern die Belastungsdauer im steady state um 20 % [JEUKENDRUP, 2003]. Wenn die Glykogenreserven erschöpft sind bzw. es zu einer Abnahme der Blutglukose kommt, kann die Belastung nicht mehr mit derselben Intensität fortgeführt werden. Aus mehreren kontrollierten Studien geht hervor, dass zwischen der Belastungsdauer und der Größe der Glykogenspeicher ein positiver Zusammenhang besteht [BERG u.a., 2008].

3.2.1. Kohlenhydratbedarf

Man ist größtenteils einer Meinung, dass die durch sportliche Aktivitäten verbrauchte Energie vorzugsweise über eine entsprechende Kohlenhydrataufnahme erfolgen soll. Athleten wird daher ein Kohlenhydratanteil von 60 – 65 % an der Gesamtenergiezufuhr empfohlen [BERG u.a., 2008]. Daneben gibt es auch noch Empfehlungen, die in Gramm pro Kilogramm Körpergewicht angegeben werden [BERG u.a., 2008 ; MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Der Kohlenhydratbedarf von Athleten unterscheidet sich jedoch deutlich von dem des Nichtsportlers (3,5 g / kg KG / Tag) und beträgt bei normalen Trainingsphasen 5 – 7 g / kg KG / Tag [CARLSOHN und MAYER, 2010]. Bei größeren Belastungsumfängen empfiehlt sich für Ausdauersportler eine Kohlenhydrataufnahme von 7 – 10 g / kg KM / Tag [BURKE u.a., 2001]. Innerhalb eines Tages können die Glykogendepots bei einer ausreichenden Kohlenhydrataufnahme (7 – 10 g / kg KM / Tag) wieder aufgefüllt werden [JEUKENDRUP, 2003].

Tabelle 1: Richtlinien der Kohlenhydrataufnahme für Sportler [BURKE u.a., 2001, aus MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Kurzfristig auf Einzelleistung ausgerichtet:	Empfohlene Kohlenhydratzufuhr
Täglich optimale Glykogenspeicherung (z.B. Regeneration nach Leistungen oder gezielte Kohlenhydratladung vor Leistungen)	7–10 g/kg KM/Tag
Schnelles Wiederauffüllen der Glykogenspeicher bei Erholungszeiten < 8 h zwischen den Einzelleistungen	1 g/kg KM, alle 2 h
Vorleistungsmahlzeit zur Steigerung der Kohlenhydratverfügbarkeit vor Langzeitleistungen	1–4 g/kg KM, 1–4 h vor Leistungsbeginn
Kohlenhydratzufuhr während Leistungen mittlerer Intensität oder intermittierenden Leistungen > 1 h	0,5–1 g/kg KM/h (30–60 g/h)
Längerfristig auf den Alltag ausgerichtet:	
Täglicher Bedarf bei niedriger Leistungsintensität und niederem Leistungsumfang (< 1 h pro Tag)	5–7 g/kg KM/Tag
Täglicher Bedarf bei höheren Leistungsintensitäten und -umfängen im Ausdauersport (1–3 h mittel- bis hochintensive Leistung pro Tag)	7–10 g/kg KM/Tag
Täglicher Bedarf bei Höchstleistungen (> 4–5 h mittel- bis hochintensive Leistung pro Tag)	10–>12 g/kg KM/Tag

KM = Körpermasse h = Stunde(n)

Eine unzureichende Kohlenhydrataufnahme beeinträchtigt die FOX, sodass diese nicht mehr komplett ablaufen kann. Die Folgen sind eine verstärkte Bildung von Ketonkörpern und der Abbau von Muskelprotein [MANNHART und COLOMBANI, 2001]. Bei zu geringer Kohlenhydrataufnahme steigt auch das Risiko für einen Mangel an Mikronährstoffen [MACK und HAUNER, 2007].

Kohlenhydrataufnahmen über 600 g pro Tag können zwar die Glykogenspeicher erhöhen, scheinen aber keine Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit zu haben. Von überhöhten Kohlenhydrataufnahmen wird allerdings eher abgeraten, da sie nicht notwendig sind, um das Leistungsvermögen zu verbessern. Außerdem können sie das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen steigern [JEUKENDRUP, 2003].

3.2.2. Welche Kohlenhydrate sollten bevorzugt werden?

Insbesondere in der Basisernährung sollten Nahrungsmittel mit einem niedrigen bis mittleren Glykämischen Index (GI) aufgenommen werden bzw. die isolierte Zufuhr von Nahrungsmitteln mit einem hohen GI vermieden werden. Dadurch unterliegt der Glukose- und damit auch der Insulinstoffwechsel nicht allzu großen Schwankungen, was wiederum längerfristig gesehen Einfluss auf verschiedene Stoffwechsellaspekte nehmen kann [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Polysaccharide besitzen gegenüber niedermolekularen Zuckern eine geringere Osmolarität, wodurch der Wasserhaushalt weniger belastet wird. Außerdem tragen sie nicht zu einer überhöhten Insulinfreisetzung bei. Da die Polysaccharide längerfristig wirken, wird ein größerer Anteil der Kohlenhydrate als Glykogen und somit weniger in Form von Fett gespeichert. Da niedermolekulare Kohlenhydrate eine hohe Osmolarität besitzen (z.B. 5 g Glukose braucht 100 ml Flüssigkeit), entziehen sie dem Gewebe bei nicht vorhandener Flüssigkeitszufuhr viel Flüssigkeit. Aus diesem Grund sollten Getränke, die einen Glukose- oder Saccharoseanteil über 10 % aufweisen, vermieden werden [ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

Sieht man von der Zeit während und direkt nach der Belastung ab, besteht aus leistung physiologischer Sicht keine Veranlassung, weshalb Athleten vermehrt einfache Kohlenhydrate aufnehmen sollten.

Bei Gesunden und Normalgewichtigen und vor allem bei Sportlern hat die Aufnahme von Nahrungsmitteln mit einem hohen GI im Gegensatz zu Übergewichtigen keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit und steht auch in Kombination mit Trainingseffekten in keinem Zusammenhang mit einem Verlust der Insulinsensitivität. Aus diesem Grund ist auch bei Athleten die Gewichtung des gesundheitlichen Aspekts der Kohlenhydratqualität und ihrer Insulinantwort gegenüber sportlich untätigen Menschen relativ kompliziert [BERG u.a., 2008].

Zusammenfassend kann dennoch gesagt werden, dass auch Athleten in ihrer Basisernährung ballaststoffreiche und stärkehaltige Nahrungsmittel gegenüber Lebensmitteln mit niedermolekularen Zuckern bevorzugen sollten.

3.2.3. Kohlenhydrat-Laden (KL)

Im Jahr 1967 berichteten erstmals Bergström u.a. von der „Kohlenhydrat - Superkompensation“ und es konnte auch gleich eine leistungssteigernde Wirkung ausgemacht werden. Die Intention des Kohlenhydrat-Ladens (KL) ist es, den Glykogengehalt in der Leber und der Muskulatur und somit die Glukoseverfügbarkeit im beanspruchten Muskel über das normale Ausgangsniveau hinaus zu steigern [SCHEK, 2003]. Durch die Superkompensation ist es möglich, dass der normale Gehalt der Glykogenspeicher (350 – 800 mmol / kg trockene Muskelmasse) auf über das Doppelte (500 – 900 mmol / kg trockene MM) ansteigt [JEUKENDRUP, 2003]. Zu beachten ist jedoch, dass das Kohlenhydrat-Laden nur in jenen Muskeln erfolgt, in denen zuvor die Glykogenreserven durch eine entsprechende Belastung aufgebraucht wurden. Die Glykogen-Superkompensation bleibt, sofern in der Zwischenzeit kein Sport betrieben wird, in etwa 5 Tage bestehen [TOMASITS und HABER, 2008]. Angebracht ist die Muskelglykogen-Superkompensation in erster Linie bei Belastungsintensitäten > 65 % der VO_2max und einer Belastungsdauer über 90 Minuten [HAWLEY u.a., 1997 (a)]. Bei Ausdauerbelastungen > 1,5 h steigert das Kohlenhydrat-Laden die Leistungsfähigkeit um 2 bis 3 % und verlängert die Dauer einer Belastung um 20 %, indem das Auftreten der Erschöpfung hinausgezögert wird [HAWLEY u.a., 1997 (b)].

Es gibt aber auch Hinweise dafür, dass eine Muskelglykogen-Superkompensation die Leistung bei kurzzeitigen Belastungen (< 10 min) mit hoher Intensität (> 90 % der VO_2max) verbessert [HAWLEY u.a., 1997 (a)].

In einer Studie von Pizza u.a., die die Wirkung des Kohlenhydrat-Laden auf die Leistung bei kurzen und intensiven Belastungen an gut trainierten Läufern untersuchten, konnte die Leistung in der KL-Gruppe im Vergleich zur Mischkost-Gruppe (Diät jeweils 6 Tage) verbessert werden [PIZZA u.a., 1995].

3.2.3.1. Modelle des KL

Bei der Glykogen-Superkompensation bedient man sich der Tatsache, dass Glykogen äußerst effizient und in größeren Mengen in den Muskel eingelagert werden kann, wenn die Speicher zuvor depletiert wurden [SCHURR, 2004].

Es kommen mehrere unterschiedliche Techniken bei der Glykogen-Superkompensation zum Einsatz:

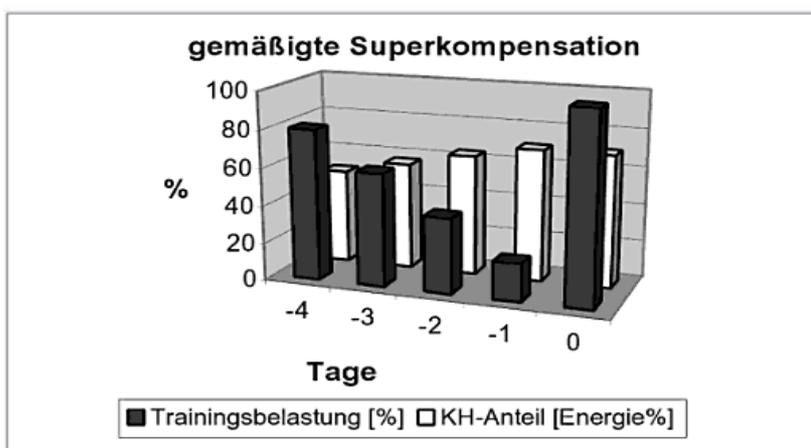
- Klassisches 7-Tage-Kohlenhydrat-Laden
- Moderates Kohlenhydrat-Laden nach Sherman u.a.
- Kurzfristiges Kohlenhydrat-Laden nach Fairchild u.a.

Beim klassischen 1-wöchigen carbo-loading-Modell erfolgt am ersten Tag eine erschöpfende muskellykogenentleerende Belastung, gefolgt von einer fett- und proteinreichen Diät für die nächsten drei Tage [SHINOHARA u.a., 2010]. Nach dieser „Entleerungsphase“ mit hartem Training und kohlenhydratarmer Kost schließt eine dreitägige „Aufladephase“ mit kohlenhydratreichen Mahlzeiten und einer Reduktion des Trainingsumfangs („tapering“) an. Dieses Modell ist jedoch mit einigen Nachteilen behaftet. Speziell nach der kohlenhydratarmen und fettreichen Diät kann es vorkommen, dass gastrointestinale Beschwerden auftreten. Ohne einer adäquaten Kohlenhydrataufnahme ist es den Athleten auch nicht möglich, sich von den harten Trainingseinheiten in der Woche davor zu erholen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass in der Woche vor dem Wettkampf kein normales Training stattfinden kann.

Zudem bindet jedes Gramm Glykogen 3 bis 5 Gramm Wasser, was wiederum zu einer Gewichtszunahme um 2 bis 3 % führen kann [JEUKENDRUP, 2003]. Obendrein wird von vielen Athleten das Training in der Entleerungsphase sowohl mental als auch körperlich als äußerst belastend empfunden [SCHURR, 2004].

Die moderate carbo-loading-Strategie ist etwas kürzer als die klassische Variante und beginnt 3 bis 4 Tage vor dem Wettkampf [JEUKENDRUP, 2003]. Bei diesem Regime erhöht man die Kohlenhydrataufnahme schrittweise in den 3 Tagen vor der Ausdauerbelastung von 8 auf 10 g / kg KM und reduziert parallel dazu den Trainingsumfang [SCHEK, 2003].

Abbildung 6: Moderates Kohlenhydrat-Laden [SCHURR, 2004].



Die gemäßigte Form hat gegenüber der traditionellen den Vorteil, dass sie psychisch weit weniger belastend empfunden wird [SCHEK, 2003]. Diese Methode eignet sich zudem besser für die Wettkampfvorbereitung als die klassische, da sie keine trainingsbedingten Ermüdungserscheinungen evoziert. Durch das moderate KL lassen sich nahezu gleich hohe Muskelglykogenkonzentrationen erzielen wie mit der klassischen Variante [JEUKENDRUP, 2003]. Auch mit dieser Methode lässt sich die Muskelglykogenkonzentration gegenüber dem Ausgangswert verdoppeln [SCHURR, 2004].

Sowohl das moderate als auch das klassische Modell der Superkompensation hat allerdings den Nachteil, dass es relativ lange dauert. Mittlerweile gibt es aber mit der kurzfristigen carbo-loading-Variante von Fairchild u.a einen neueren Ansatz, der ebenfalls eine Steigerung des Muskelglykogengehalts über das normale Maß hinaus bewirkt [SCHEK, 2003].

Bei dem carbo-loading Regime von Fairchild u.a. erfolgt zuerst eine kurze (180 Sekunden) hochintensive Belastung (bei 130 % der $VO_2\text{max}$). Darauf folgt eine 1-tägige Ladephase mit einer Kohlenhydrataufnahme von 10,3 g / kg KM, wobei ausschließlich Nahrungsmittel mit einem hohen Glykämischen Index verzehrt werden dürfen. Die innerhalb von 24 Stunden erzielten Werte waren vergleichbar oder teilweise sogar höher als jene, die mit längerfristigen Methoden erreicht wurden. Fairchild u.a. erbrachten mit ihrer Studie somit den Beweis, dass es für Athleten auch in einem Tag möglich ist, ein supranormales Muskelglykogen-Niveau zu erreichen [FAIRCHILD u.a., 2002].

Es gilt jedoch zu beachten, dass dieses KL-Regime an Ausdauersportlern getestet wurde. Laut Jeukendrup ist diese rapide Muskelglykogenresynthese wahrscheinlich nur gut trainierten Athleten vorbehalten [JEUKENDRUP, 2003]. Da Trainierte eine höhere GLUT-4-Konzentration aufweisen als Untrainierte und der GLUT-4-Gehalt im Muskel wahrscheinlich die Glykogenakkumulation nach einer glykogenentleerenden Belastung begünstigt [HICKNER u.a., 1997].

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass normal gefüllte Speicher genügen dürften, um den Energiebedarf bei Belastungen von weniger als 60 bis 90 Minuten Dauer (z. B. Halbmarathon) zu decken. Superkompensierte Glykogendepots führen voraussichtlich unter diesen Bedingungen zu keiner verbesserten Leistung [JEUKENDRUP, 2003].

3.2.3.2. Einfluss von Kreatin auf die Muskelglykogen-Superkompensation

In einer Studie von Nelson u.a. wurde die Wirkung einer Kreatinsupplementation auf die Muskelglykogen-Superkompensation untersucht. Dafür wurden zwei Standard Glykogenbeladungsprotokolle durchgeführt, das eine ohne und das andere mit einer vorangestellten 5-tägigen Kreatinsupplementation (20 g / d). Das anfängliche Glykogenbeladungsprotokoll zeigte einen Anstieg der Muskelglykogenkonzentration um 4 %. Das zweite Protokoll, welches nach der Kreatinaufnahme ausgeführt wurde, ließ jedoch eine deutliche Steigerung (53 %) der Muskelglykogenkonzentration erkennen. Die Autoren vermuten, dass die Glykogeneinlagerung durch das „Kreatin-Laden“ begünstigt wird, aufgrund des dadurch wahrscheinlich vergrößerten Zellvolumens [NELSON u.a., 2001]. Auch in einer Studie von Van Loon u.a. konnte die positive Wirkung einer Kreatinsupplementation auf die Glykogenspeicherung nachgewiesen werden [VAN LOON u.a., 2004].

3.2.4. Kohlenhydratzufuhr vor einer Belastung

Es hat sich gezeigt, dass eine Nahrungsaufnahme vor dem Training im Gegensatz zu einer Nahrungskarenz davor die Leistung verbessern kann [RODRIGUEZ u.a., 2009]. Deshalb empfiehlt es sich, den Tag nicht nüchtern zu beginnen, da eine mehrstündige Nahrungsabstinenz (z. B. über Nacht) zu einer Depletion der Leberglykogendepots führt [SCHEK, 2003]. Kurz vor der Belastung sollten jedoch kleine Mahlzeiten konsumiert werden, um noch eine Entleerung des Magens zu ermöglichen. Genaue Angaben bezüglich der Nahrungsmenge und des Zeitpunktes der Mahlzeit vor einer Belastung sind jedoch nicht möglich [RODRIGUEZ u.a., 2009].

Es scheint, dass eine Kohlenhydratzufuhr von 200 – 300 g drei bis vier Stunden vor der Belastung am günstigsten ist, um die Leistung zu verbessern [RODRIGUEZ u.a., 2009]. Geraten wird dabei zu einer Kohlenhydrataufnahme in Form von Nahrungsmitteln mit einem mittleren Glykämischen Index, da diese verhältnismäßig rasch verstoffwechselt werden, ohne dabei eine postprandiale Hyperinsulinämie auszulösen.

Diese würde nämlich bei einer darauffolgenden Belastung zu einer verminderten Substratverfügbarkeit führen, da das Insulin die Lipolyse unterdrückt und die Kohlenhydratoxidation fördert. Deshalb wird für den Zeitraum von 30 – 60 Minuten vor der Belastung empfohlen, Nahrungsmittel mit einem niedrigen GI aufzunehmen anstatt solche mit einem hohen GI [SCHEK, 2003].

Paul u.a. untersuchten an gut trainierten Männern den Einfluss einer kohlenhydrathaltigen Mahlzeit unmittelbar vor einer Belastung. Zu diesem Zweck konsumierten die Probanden 3,5 Stunden vor der Belastung eine kohlenhydrathaltige (3 g / kg KM) bzw. eine isoenergetische fettreiche Mahlzeit (1,3 g / kg KM) oder ein Placebo (kein Energiegehalt). In der Kohlenhydratgruppe wurde zwar gegenüber der Fettgruppe eine geringere Fettoxidation festgestellt, jedoch hatte die Kohlenhydrataufnahme vor der Belastung weder auf die Kohlenhydratoxidation noch auf die Leistung einen Einfluss [PAUL u.a., 2003].

In einer Studie von Wright u.a., die an gut trainierten Radfahrern den Einfluss einer Kohlenhydrataufnahme (333 g KH bzw. 5 g / kg KM) drei Stunden vor der Belastung untersuchten, konnte die Leistung gegenüber der Placebogruppe (keine KH) signifikant verbessert werden (um 18 %). Hierbei wurde jedoch die Zeit bis zur Erschöpfung (bei 70 % der VO_2max) herangezogen anstatt des üblichen Zeitfahrens im Anschluss an eine längere submaximale Belastung [WRIGHT u.a., 1991].

Auch Hargreaves u.a. berichteten, dass die Einnahme von Kohlenhydraten 3 bis 4 Stunden vor der Belastung die Leistung verbessert [HARGREAVES u.a., 2004].

Laut Mannhart soll sowohl der Nerven- als auch der Hirnstoffwechsel gezielt angeregt werden, wenn der Mund kurz vor einer intensiven Beanspruchung für etwa 5 Sekunden mit einem kohlenhydrathaltigen Getränk gespült wird. Die Aktivierung von Nerven- und Hirnstoffwechsel kann sich dann positiv auf die sportliche Leistung auswirken [MANNHART, 2009].

Vom derzeitigen Wissenstand aus betrachtet, fehlen allerdings eindeutige Beweise, die einen leistungssteigernden Effekt durch eine kurzfristige Kohlenhydratzufuhr (für den Zeitraum von 90 min bis 4 h) vor einer Belastung belegen.

In den meisten Studien konnten jedoch keine signifikanten Auswirkungen auf die sportliche Leistung festgestellt werden, trotz einer geringeren Verfügbarkeit an freien Fettsäuren und einer zumeist erhöhten Kohlenhydratoxidation [RODRIGUEZ u.a., 2009].

3.2.5. Kohlenhydratzufuhr während einer Belastung

Kohlenhydratgaben während einer Belastung gelten als anerkannt und haben sich in der Praxis als hilfreich erwiesen, da sie die Glukoseverfügbarkeit steigern und die Leistungsfähigkeit verbessern [SCHEK, 2003 ; RODRIGUEZ u.a., 2009].

Es hat sich aber auch gezeigt, dass durch Kohlenhydratgaben während einer Belastung nicht nur die sportliche Leistung bei längeren Belastungen (> 2 h), sondern auch bei kürzeren intensiven Belastungen (ca. 1 h bei 75 % der VO₂max) gesteigert werden konnte. Die Gründe für eine Leistungssteigerung bei längeren Ausdauerbelastungen sind wahrscheinlich in der Aufrechterhaltung hoher Kohlenhydratoxidationsraten sowie in der Vermeidung von Hypoglykämien zu sehen [JEUKENDRUP, 2004].

Der Konsum von Kohlenhydraten während einer Belastung ist noch umso wichtiger, wenn Sportler eine Nahrungsrestriktion zum Zweck einer Gewichtsabnahme betreiben, auf das Kohlenhydrat-Laden verzichten, oder vor dem Training keine Mahlzeiten aufnehmen [RODRIGUEZ u.a., 2009].

Für längere Ausdauerbelastungen hat sich eine Kohlenhydrataufnahme von 0,7 g / kg KM pro Stunde (~ 30 – 60 g / h) bewährt, um die Ausdauerleistung zu verbessern. Die Kohlenhydrataufnahme sollte jedoch schon kurz nach Belastungsbeginn erfolgen. Am effektivsten sind Aufnahmen in 15-bis-20-Minuten-Intervallen. Eine Zufuhr der gleichen Kohlenhydratmenge nach 2-stündiger Belastungszeit erzielt jedoch nicht den gleichen Effekt. Ob die gleiche Kohlenhydratmenge in flüssiger oder fester Form aufgenommen wird, scheint keine Rolle zu spielen [RODRIGUEZ u.a., 2009].

Nahrungsmittel bzw. Getränke, die einen hohen oder einen mittleren GI aufweisen, sind gegenüber jenen mit einem niedrigen GI zu bevorzugen, da die Glukose rascher vom Dünndarm in die Blutbahn gelangen kann [SCHEK, 2003].

Der Kohlenhydratträger sollte in erster Linie Glukose (hoher GI) liefern. Fruktose (tiefer GI) alleine ist weitaus weniger effektiv und ihr Konsum kann auch zu Durchfällen führen [RODRIGUEZ u.a., 2009].

Eine Arbeit von Jentjens & Jeukendrup hat allerdings gezeigt, dass eine Mischung aus Glukose und Fruktose zu höheren Oxidationsraten (um 55 %) führte, verglichen mit der Einnahme einer isokalorischen Glukosemenge [JENTJENS und JEUKENDRUP, 2005].

Eine neuere Studie von Currell & Jeukendrup bestätigte dieses Ergebnis.

Neben der erhöhten Oxidation von exogenen Kohlenhydraten führte die Glukose/Fruktose- Mischung (im Verhältnis 2:1) gegenüber Glukose allein zu einer verbesserten Leistung (um 8 %) im Zeitfahren, nach zwei stündigem Radfahren bei 55 % der VO_{2max} [CURRELL und JEUKENDRUP, 2008].

3.2.6. Kohlenhydratzufuhr nach einer Belastung

Neben der Relevanz einer bedarfsgerechten Kohlenhydrataufnahme vor einer Belastung spielen auch die Menge und der Zeitpunkt der Kohlenhydrataufnahme nach einer Belastung eine wesentliche Rolle im Hinblick auf eine schnelle und vollständige Wiederauffüllung der Glykogenspeicher [BERG u.a., 2008]. Nach hochintensiven Belastungen (< 60 Minuten) können die Glykogenreserven so stark aufgebraucht werden, dass ihr Ausgangswert um 30 % unterschritten wird [MANNHART und COLOMBANI, 2001]. Mehrere Studien haben gezeigt, dass die Glykogenresyntheseraten größer sind, wenn die Kohlenhydrataufnahme in der unmittelbaren Nachbelastungsphase erfolgt, als wenn die Aufnahme nach mehreren Stunden stattfindet [TARNOPOLSKY, 2003]. Der Grund dafür ist sowohl die erhöhte Aktivität des muskulären Glukosetransporters (GLUT-4) als auch die der Glykogensynthese zu Beginn der Erholungsphase [BERG u.a., 2008]. Deshalb wird direkt nach der Belastung eine Kohlenhydrataufnahme von 1 bis 1,5 g / kg KM empfohlen. Diese soll im Zwei-Stunden-Intervall bis zu 6 Stunden nach dem Belastungsende erfolgen [RODRIGUEZ u.a., 2009]. Wesentlich höhere Kohlenhydrataufnahmen bewirken größtenteils keine gesteigerte Glykogenresynthese [BERG u.a., 2008].

Die Kohlenhydrataufnahme von 8 – 10 g / kg KM gewährleistet die Wiederauffüllung der Muskelglykogendepots innerhalb von 24 Stunden [SCHEK, 2003].

Tabelle 2: Faktoren, die einen Einfluss auf die Muskelglykogenresynthese nehmen [BURKE, 2000, aus MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Resyntheserate steigernd
1. Entleerte Speicher - je höher der Entleerungsgrad, desto rascher die Wiedereinlagerung
2. Unmittelbare Kohlenhydrataufnahme nach Belastungsende
3. Adäquate Kohlenhydratmengen:
a) 1–1.5 g · kg ⁻¹ Körpermasse (KM) sofort nach Belastung
b) 7–10 g · kg ⁻¹ KM pro 24 h
c) Einnahme von kohlenhydratreichen Lebensmitteln mit hohem glykämischen Index (flüssig + fest)
Resyntheserate kaum beeinflussend
Leichtes Training während Erholungsphase
Zeitliche Verteilung und Häufigkeit von Mahlzeiten oder Snacks (vorausgesetzt, die gesamte Kohlenhydratmenge ist ausreichend)
Protein- oder fettreiche Lebensmittel (vorausgesetzt, die gesamte Kohlenhydratmenge ist ausreichend)
Resyntheserate verzögernd
Muskelschaden (verursacht durch exzentrische Belastung)
Kohlenhydrataufnahme nicht unmittelbar nach Belastungsende beginnend
Aufnahme unzureichender Kohlenhydratmenge
Aufnahme von Lebensmittel mit vorwiegend niedrigem glykämischen Index
Intensives Training während Erholungsphase

Aufgrund der Tatsache, dass das Insulin die Glykogenspeicherung unterstützt, indem es den Einstrom von Glukose in die Körperzellen fördert, darf spekuliert werden, ob man nicht Nahrungsmitteln, die einen hohen GI aufweisen, gegenüber solchen, die einen niedrigen GI besitzen, den Vorzug geben sollte [SCHEK, 2003].

Eine Studie von Burke u.a. hat gezeigt, dass die Aufnahme von Nahrungsmitteln mit einem hohen GI zu einem größeren Anstieg der Muskelglykogenkonzentration innerhalb der ersten 24 Stunden führte als die Aufnahme von Lebensmitteln mit einem niedrigen GI. Dazu absolvierten die Radsportler eine Trainingseinheit (2 h Radfahren bei 75 % der VO₂max gefolgt von vier 30-sec-Sprints), die zu einer Depletion der Glykogenspeicher führte.

In der anschließenden Ruhephase (24 h) wurden ausschließlich Kohlenhydrate (10 g / kg KM) konsumiert, wobei die eine Gruppe Lebensmittel mit einem hohen, die andere Lebensmittel mit einem niedrigen GI aufnahm [BURKE u.a., 1993].

Auch eine Recherche von Rodriguez u.a. kam zum gleichen Ergebnis. Beim Vergleich von einfachen Zuckern mit einem hohen GI wie Glukose und Saccharose hat sich gezeigt, dass sie gleichermaßen die Muskelglykogenkonzentration erhöhen, wenn Mengen von 1 bis 1,5 g / kg KM verzehrt werden. Demgegenüber trug Fruktose (niedriger GI) alleine weniger dazu bei, die Muskelglykogenkonzentration zu erhöhen [RODRIGUEZ u.a., 2009].

Es schien jedoch keine Rolle zu spielen, wenn innerhalb von 24 Stunden nach der Belastung die idente Kohlenhydratmenge (10 g / kg KM ; LM mit hohem GI) in vier größeren Portionen (nach 0, 4, 8 und 20 h), oder jede der Mahlzeiten in vier Snacks aufgeteilt und im Stundentakt (von 0 – 11, 20 – 23 h) verabreicht wurde [BURKE u.a., 1996].

Bezieht man die Tatsache mit ein, dass größere Mahlzeiten eine stärkere Insulinantwort auslösen, kann daraus gefolgert werden, dass die während der Nachbelastungsphase aufgenommene Kohlenhydratmenge die Glykogenspeicherung mehr beeinflusst als der GI eines Lebensmittels. Vorgeschlagen werden für die Zeit nach der Belastung Nahrungsmittel, die einen hohen oder moderaten GI aufweisen. Zweifelsohne leisten aber auch jene Nahrungsmittel mit einem tiefen GI einen Beitrag an der gesamten Kohlenhydrataufnahme [SCHEK, 2003].

3.3. Proteine im Ausdauersport

Der Körper verfügt, neben den Fetten und Kohlenhydraten, mit dem Muskelprotein noch über einen weiteren wesentlichen Energiespeicher. Proteine haben zwar für den Baustoffwechsel eine essenzielle Bedeutung, besitzen jedoch im Muskelstoffwechsel eine eher untergeordnete Rolle [WEINECK, 2004].

Aminosäuren stellen die Grundbausteine der Proteine dar. Grob können sie in essenzielle und nicht-essenzielle unterteilt werden. Lebensnotwendig sind dabei Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Proteine machen 40 % der Muskulatur aus, dabei entfällt ein Fünftel auf die kontraktilen Proteine Actin, Myosin, Nebulin und Titin. Aufgrund des belastungsabhängigen Verlusts an Muskelproteinen kommt es zu einem täglichen Austausch von Aminosäuren, welcher bis zu 6 % bei normalem Training und bis zu 15 % bei Wettkämpfen ausmachen kann [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Der Proteinstoffwechsel während und nach einer Belastung wird von Geschlecht, Alter, Intensität, Dauer und Art der Belastung, der Energieaufnahme und der Kohlenhydratverfügbarkeit beeinflusst. Eine bedarfsangepasste Energieaufnahme mit einem hohen Kohlenhydratanteil ist wichtig für den Proteinstoffwechsel, da die Aminosäuren somit für die Proteinsynthese anstatt für die Energiebereitstellung verwendet werden können [RODRIGUEZ u.a., 2009].

Das Ausdauertraining scheint einen proteinsparenden Effekt zu haben, denn je trainierter eine Person ist, desto weniger Proteine werden während der Belastung oxidiert [JEUKENDRUP und GLEESON, 2010].

3.3.1. Proteinbedarf

Der Aminosäure- bzw. Proteinbedarf lässt sich mit Hilfe der Stickstoff-Bilanzmethode ermitteln. Dabei erfolgt eine Messung der gesamten Stickstoffverluste bei eiweißfreier, energetisch ausreichender Kost. Anhand der gesamten Stickstoffausscheidung können dann Rückschlüsse auf die Eiweißverlustrate gezogen werden. Somit erhält man den Mindestbedarf an Eiweiß, der täglich aufgenommen werden muss, um den obligatorischen Verlust an Stickstoff auszugleichen. Um daraus die Empfehlungen für die Eiweißaufnahme abzuleiten, müssen Korrekturfaktoren als auch die zweifache Standardabweichung miteinbezogen werden. Die täglich empfohlene Proteinaufnahme für Erwachsene wird von der DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) mit 0,8 g/kg Körpergewicht angegeben [GABMANN, 2006 ; ELMADFA, 2004].

Sportler haben verglichen mit körperlich untätigen Personen einen höheren Proteinbedarf. Streng genommen handelt es sich dabei um den Bedarf an essenziellen Aminosäuren und Stickstoff. Der gestiegene Proteinbedarf betrifft Ausdauersportler ebenso wie Kraftsportler [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Im Kraftsport werden Aminosäuren hauptsächlich für Reperaturprozesse und den Aufbau von Muskelsubstanz benötigt. Ihr Beitrag an der Energiebereitstellung ist dabei zu vernachlässigen [SCHEK, 2004].

Beim Ausdauersport werden Proteine zur Regeneration von lädierten Muskelfasern verwendet. Daneben können sie von Ausdauersportlern noch als eine weitere Energiequelle genutzt werden [ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

Anhand von Stickstoffbilanzmessungen konnte gezeigt werden, dass Kraftsportler einen um 10 – 20 % und Ausdauerathleten einen bis zu 70 % erhöhten Eiweißbedarf, ausgehend von den Proteinzufuhrempfehlungen für Erwachsene, aufweisen [BERG u.a., 2008].

Laut Tarnopolsky kann sich der Proteinbedarf bei weiblichen Sportlern um etwa 50 – 60 % und bei männlichen Sportlern maximal um 100 % steigern [TARNOPOLSKY, 2000].

Tabelle 3: Geschätzter Eiweißbedarf [SCHEK, 2008].

Untersuchungsgruppe	Proteinbedarf (g/kg/d)
Nichtsportler: Männer und Frauen	0,8–1,0
Breitensportler: 4–5 x pro Woche 30 min bei 55 % VO_{2max}	0,8–1,0
Kraftsportler: im steady state	1,0–1,2
Ausdauersportler: 4–5 x pro Woche 60 min bei 65 % VO_{2max}	1,2
Männliche Elite-Ausdauersportler	1,6
Kraftsportler: in einer frühen Trainingsphase (Anfänger)	1,5–1,7
Weibliche Sportler	10–20 % weniger als männliche

Bei Breitensportlern, die geringe Trainingsumfänge aufweisen, entspricht der Proteinbedarf den Empfehlungen für Erwachsene (0,8 g/kg KG/d) [SCHEK, 2004]. Leistungssportler, die täglich weniger als 1 g/kg KG an Proteinen zuführen, weisen eine negative Stickstoffbilanz auf [NEUMANN u.a., 2011].

Eine Proteinaufnahme über 2 g/kg KG/d erscheint nach dem neuesten Erkenntnisstand als inakzeptabel [BERG u.a., 2008 ; MANNHART und COLOMBANI, 2001]. Die Einnahme von Eiweißpräparaten ist trotz der erhöhten Erfordernisse nicht zwingend notwendig [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Derzeit kann man davon ausgehen, dass eine Proteinaufnahme über 2 g/kg KM/d weder den Muskelzuwachs begünstigt noch eine Verbesserung der Kraftleistungsfähigkeit eintritt. Zu einem Rückgang an Muskelmasse kann es bei gesunden Sportlern lediglich bei Diät- und Trainingszwängen mit energiereduzierter Ernährungsweise kommen [BERG u.a., 2008].

Mit einer ausgewogenen Mischkost lässt sich sowohl der Bedarf des Breitensportlers als auch der des Leistungssportlers decken, da der Eiweißbedarf nicht überproportional zum Energiebedarf ansteigt [SCHEK, 2004].

Ausgehend von einer gemischten Kost können jedoch Trainingsumfänge über 20 Stunden/Woche und das über eine längere Zeitspanne hinweg nicht ohne eine adäquate oder zusätzliche Einnahme von Eiweiß aufrechterhalten werden [NEUMANN u.a., 2011].

Proteinaufnahmen, die 2 g / kg KM / d überschreiten, sind allgemein wie auch für Sportler nicht empfehlenswert. Die Nieren können dabei überlastet werden, da es zu einer Ansammlung harnpflichtiger schwefel- und stickstoffhaltiger Substanzen kommen kann. Ihre Ausscheidung kann in weiterer Folge zu gesteigerten Wasserverlusten führen [ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

Die Kalziumausscheidung im Urin wird ebenfalls erhöht. Daneben kann es auch noch zu Aminosäuredysbalancen, einer verminderten endogenen Glutaminsynthese und einem erhöhten Ammoniakgehalt im Blut kommen. Hyperammonämien stehen im Verdacht, dass sie die Leistungsfähigkeit herabsetzen [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

3.3.2. Qualität der Proteine

Eiweiß kann sowohl über pflanzliche als auch tierische Nahrungsmittel bezogen werden. Die Qualität der Eiweißquellen ist jedoch unterschiedlich. Der qualitative Unterschied kann durch die experimentelle Feststellung der biologischen Wertigkeit (BW) ausgemacht werden. Umso größer die BW, desto ähnlicher ist die Aminosäurezusammensetzung des Nahrungsmittels der des Menschen und desto mehr körpereigenes Eiweiß lässt sich aus einer bestimmten Menge an Nahrungseiweiß herstellen. Grundsätzlich besitzt pflanzliches Eiweiß im Vergleich zu tierischem eine geringere BW. Die Kombination von pflanzlichem und tierischem Eiweiß verbessert die BW gegenüber einer getrennten Aufnahme von Nahrungsproteinen [SCHEK, 2004].

Tabelle 4: BW von Nahrungsproteinen und Lebensmittelkombinationen [SCHEK, 2004].

Hühnerei + Kartoffeln	136
Hühnerei + Weizenmehl	118
Kuhmilch + Kartoffeln	114
Hühnerei + Bohnen	108
Kuhmilch + Roggenmehl	101
Hühnerei	100
Kuhmilch	91
Schweinefleisch	85
Rindfleisch	80
Geflügel	79
Kartoffeln	71
Weizenmehl	54
Bohnen	49

Bei der Proteinaufnahme sollten auch Sportler darauf achten, dass maximal 40 – 50 % der zugeführten Proteine tierischer Herkunft sind. Der Anteil von pflanzlichem Eiweiß an der Eiweißaufnahme sollte mehr als 50 % ausmachen. Die Zufuhr von pflanzlichem Eiweiß hat den Vorteil, dass die Ernährung weniger fett-, cholesterin- und purinhaltig ist. Gleichzeitig erhöht sich der Kohlenhydratanteil in der Ernährung, was gerade im Bereich des Ausdauersports von Nutzen ist. Pflanzliche Proteine wirken sich ebenfalls positiv auf die Stickstoffbilanz aus [BERG u.a., 2008].

3.3.3. Proteinstoffwechsel

Während einer körperlichen Belastung nimmt die Proteolyse zu. Von wo jedoch die abgebauten Proteine herkommen, lässt sich derzeit nicht eindeutig festlegen. Man geht davon aus, dass sie eher aus der Leber als aus dem Muskel stammen. Die Synthese von Muskelproteinen ist in der Nachbelastungsphase erhöht. Unter der Prämisse, dass währenddessen genügend Nährstoffe aufgenommen werden, dominiert der Muskelproteinaufbau gegenüber dem Abbau, sodass die Nettomuskelproteinbilanz insgesamt positiv ausfällt. Aminosäuren, die während einer Belastung verstoffwechselt werden, dienen nur indirekt der Energiebereitstellung. Ihre Aufgabe scheint vielmehr die Entfernung von Stoffwechselendprodukten (hps. NH_3) zu sein als auch die Bereitstellung von intermediären Substanzen des Krebszyklus, um den oxidativen Abbau von Acetyl-CoA-Einheiten zu gewährleisten [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Bei aeroben körperlichen Aktivitäten mit Belastungsintensitäten zwischen 50 und 70 % der VO_2max kann der Anteil der Eiweißoxidation an der Energiegewinnung 5 – 15 % ausmachen [HOLLMANN und STRÜDER, 2009]. Es werden aber auch bestimmte Aminosäuren während submaximalen Belastungen oxidiert [SCHEK, 2004]. Die Energiegewinnung aus Aminosäuren ist bei geringen intramuskulären Glykogenvorräten jedoch erhöht. Der Nettoproteinumsatz während einer Belastung lässt sich anhand der Aminosäure Tyrosin bestimmen, da die Muskelzelle diese nicht verstoffwechselt [HOLLMANN und STRÜDER, 2009].

In Ruhe metabolisiert der Muskel lediglich die Aminosäuren, Asparagin, Aspartat, Glutamat, Isoleucin, Leucin und Valin [WAGENMAKERS, 1998].

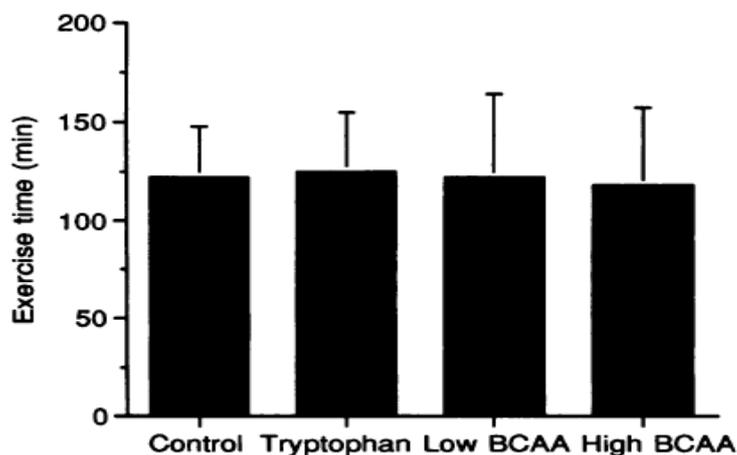
Ausdauerbelastungen hingegen sind assoziiert mit einer gesteigerten Leucinoxidation. Die Leucinoxidation verhält sich proportional zur Belastungsintensität [PHILLIPS, 2006].

3.3.4. BCAA-Stoffwechsel

Verzweigt-kettige Aminosäuren (Branched-Chain Amino Acids; BCAA) werden nach ihrer Aufnahme durch den Darm in der nachfolgenden Leberpassage kaum abgebaut. Ihr Abbau obliegt in weiterer Folge dem Skelettmuskel. Sowohl Glutamin als auch Alanin werden von der Muskulatur für BCAAs ausgetauscht und in die Blutbahn entlassen. Langzeitausdauerbelastungen bewirken eine gesteigerte Oxidation von BCAAs, indem sie das BC-Komplex-Enzym aktivieren, welches eine eminente Bedeutung im Abbau der BCAAs besitzt. Gleichzeitig dazu kann man auch eine gesteigerte Abgabe von Glutamin aus dem Skelettmuskel beobachten. Glutamin reguliert sowohl die Muskelproteinsynthese als auch den –abbau. Rund 50 – 60 % der gesamten freien Aminosäuren in der Muskulatur macht das Glutamin aus. Die BCAAs Isoleucin, Leucin und Valin werden auch während Ausdauerbelastungen, da sie vermehrt vom Muskel aufgenommen werden, für die Energiegewinnung herangezogen [HOLLMANN und STRÜDER, 2009].

Freies Tryptophan und die BCCAs konkurrieren an der Blut-Hirn-Schranke um den gleichen carrier-vermittelten Eintritt ins Gehirn. Sinkt die Konzentration von BCAAs im Blut während Ausdauerbelastungen, erhöht sich gleichzeitig auch die Wahrscheinlichkeit für einen Eintritt von freiem Tryptophan ins Gehirn [HOLLMANN und STRÜDER, 2009]. Die Folge wäre ein Anstieg des Neurotransmitters Serotonin, da Tryptophan im Gehirn zu Serotonin umgewandelt wird. Eine erhöhte serotonerge Aktivität könnte zu belastungsbedingten Ermüdungen führen. Laut dieser Ermüdungshypothese wäre somit ein Anlass für die Notwendigkeit einer BCAA-Aufnahme gegeben. Im Falle ihrer Richtigkeit müsste im Gegenzug aber auch die Einnahme von Tryptophan eine Ermüdung hinauszögern. Jedoch belegen die Ergebnisse von mehreren Studien mit einer gezielten Einnahme von Tryptophan vor und nach Belastungen keine gewünschten Effekte [GLEESON, 2005].

Abbildung 7: Zeit bis zur Erschöpfung während des Radfahrens bei 75 % der $VO_2\text{max}$ [VAN HALL u.a., 1995].



Die Ausdauerathleten mussten eines von vier Getränken vor und alle 15 min während der Belastung trinken. Die Getränke beinhalteten: 1. Kontroll-Gruppe (6 % Saccharose); 2. Tryptophan-Gruppe (6 % Saccharose + 3 g/l Tryptophan); 3. BCAA-Gruppe (6 % Saccharose + 6 g/l BCAAs); 4. BCAA-Gruppe↑ (6 % Saccharose + 18 g/l BCAAs). Durch die Aufnahme dieser Getränke konnte bei den Athleten weder eine Leistungssteigerung erzielt noch eine Erschöpfung hinausgezögert werden [VAN HALL u.a., 1995].

Es wurde aber auch festgestellt, dass die BCAA-Transaminase-Aktivierung gleichzeitig mit der belastungsinduzierten Muskelglykogen-Reduktion einsetzt. In einer Studie von Gualano u.a. konnten daher eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Ermüdung sowie eine gesteigerte Fettoxidation während einer Belastung bei entleerten Glykogendepots durch die Aufnahme von BCAAs gezeigt werden [GUALANO u.a., 2011].

Verzweigt-kettige Aminosäuren können neben Kohlenhydraten und Fetten als zusätzliche Energiequelle dienen, jedoch sind die Aktivitäten der Enzyme, die an der Oxidation der BCAAs beteiligt sind, zu gering, um einen wichtigen Beitrag für die Energiebereitstellung zu leisten. Wie detaillierte Studien mit ^{13}C -markiertem Leucin belegen, ist die Oxidation von BCAAs während einer Belastung lediglich um das 2- bis 3-Fache erhöht, wohingegen die Oxidation von Kohlenhydraten und Fetten um das 10- bis 20-Fache erhöht ist.

Auch die Einnahme von Kohlenhydraten verhindert eine gesteigerte BCAA-Oxidation. Von diesem Standpunkt aus betrachtet scheint eine Supplementation von BCAAs während einer Belastung unnötig zu sein [GLEESON, 2005].

In der Mehrzahl der Studien konnte keine leistungssteigernde Wirkung einer BCAA-Supplementierung nachgewiesen werden. Es konnte jedoch die Wirkung einer chronischen Gabe von BCAAs auf die sportliche Leistungsfähigkeit festgestellt werden. Im Rahmen eines 40-km-Radrennens verbesserte sich die Leistung der Radsportler nach 2-wöchiger BCAA-Einnahme (16 g/d) gegenüber der Kontrollgruppe um 12 %. Der Einfluss einer chronischen BCAA-Aufnahme rechtfertigt weitere Untersuchungen [GLEESON, 2005].

Trotz fehlender eindeutiger Beweise über die Wirksamkeit von BCAA-Supplementen werden sie von den Athleten weiterhin genutzt. Die Supplementierung in Tablettenform scheint unnötig zu sein, wenn man bedenkt, dass z. B. eine Hühnerbrust (100 g) rund 375 g Isoleucin, 656 mg Leucin und 470 mg Valin enthält, gegenüber einer typischen Tablette mit 50 mg Isoleucin, 100 mg Leucin und 100 mg Valin. Eine BCAA-Aufnahme bis zu 450 mg / kg KM / d scheint für gesunde Erwachsene keine Nebenwirkungen zu verursachen [GLEESON, 2005].

Die Bedeutung von BCAAs ist eher in ihrer anabolen Wirkung auf den Proteinstoffwechsel zu sehen. Insbesondere bei Leucin konnten im ruhenden Muskel eine gesteigerte Proteinsynthese sowie ein verminderter Proteinabbau beobachtet werden. Die Einnahme von BCAAs direkt nach einer Ausdauerbelastung stimulierte in der Erholungsphase ebenfalls die Proteinsynthese, wohingegen während einer Belastung keine entsprechenden Effekte ausfindig gemacht werden konnten [BLOMSTRAND u.a., 2006].

3.3.5. Proteinzufuhr vor, während und nach einer Belastung

Der Zweck einer Proteinaufnahme liegt in Konservierung und Aufbau von Muskelgewebe, Verhinderung einer katabolen Stoffwechsellage und einer optimalen Regenerationsfähigkeit nach Belastungen [KÖNIG u.a., 2010].

Im Verlauf einer Ausdauerbelastung verringern sich die Glykogendepots und des Weiteren setzt auch noch die Glukoneogenese ein. Für die Neubildung von Glukose in der Leber dienen die glukogenen Aminosäuren [NEUMANN u.a., 2011]. Lediglich die Aminosäuren Leucin und Lysin sind nicht glukogen, aus allen anderen, die für den Menschen von Bedeutung sind, kann Glukose hergestellt werden [ELMADFA, 2004]. Eine gezielte Proteinaufnahme sowohl vor als auch nach einer Belastung bewirkt eine verbesserte zelluläre Aminosäureverfügbarkeit und übt einen positiven Einfluss auf die Glykogenresynthese aus [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Bei Ausdauerbelastungen, wenn die Kohlenhydratverfügbarkeit eingeschränkt ist, kann die Proteinoxidation rund 10 % an der gesamten Energiebereitstellung ausmachen [JEUKENDRUP und GLEESON, 2010]. Umso höher der Abbau von Aminosäuren ausfällt, desto mehr Zeit benötigt man für die Rekonstitution nach Langzeitbelastungen. Nach Wettkämpfen zeigen sich etwa 4 bis 6 Tage lang erhöhte Serumharnstoffwerte. Daher ist die Proteinzufuhr besonders nach extremen Belastungen von Nutzen, um eine rasche Regeneration zu gewährleisten [NEUMANN u.a., 2011]. Eine Proteinaufnahme von 20 g in den ersten Stunden der Erholungsphase scheint eine maximale Muskelproteinsyntheserate zu erlauben [BEELEN u.a., 2010]. Mit kurzfristig erhöhten Einnahmen vor einer Belastung lässt sich kaum eine Wirkung erzielen. Demzufolge muss die Proteinzufuhr längerfristig erfolgen [NEUMANN u.a., 2011].

Hulston u.a., die die Wirkung einer Proteinaufnahme während einer Belastung (3 Stunden Radfahren) untersuchten, konnten keine erhöhte Proteinsynthese innerhalb der hochaktiven Beinmuskulatur feststellen. Allerdings wurde währenddessen die Proteinsynthese in der wenig aktiven Beinmuskulatur stimuliert. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass sich die Proteinzufuhr während der Belastung günstig auf die Muskelproteinsynthese in der Nachbelastungsphase auswirkt [HULSTON u.a., 2011].

3.4. Fette im Ausdauersport

In Abhängigkeit von der Belastungsintensität und der Kohlenhydratverfügbarkeit werden Fette zur Energiegewinnung herangezogen. Regelmäßiges Ausdauertraining bewirkt eine verbesserte Fettoxidation. Das hat den Vorteil, dass während einer Beanspruchung mehr Fett für die Energiegewinnung genutzt werden kann und somit die Kohlenhydratreserven geschont werden [BERG u.a., 2008]. Für ein Fettstoffwechseltraining sollte eine Belastungsintensität unter 75 % der $VO_2\text{max}$ und eine Belastungsdauer über eine Stunde gewählt werden. Dadurch lässt sich die Aktivität der Enzyme der Fettoxidation steigern. Während allen mehrstündigen Belastungen stellen Fette das ausschlaggebende Substrat für eine stabile Energieversorgung dar [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

Abbildung 8: Hauptenergiequellen an der Energiebereitstellung [JEUKENDRUP und GLEESON, 2010].

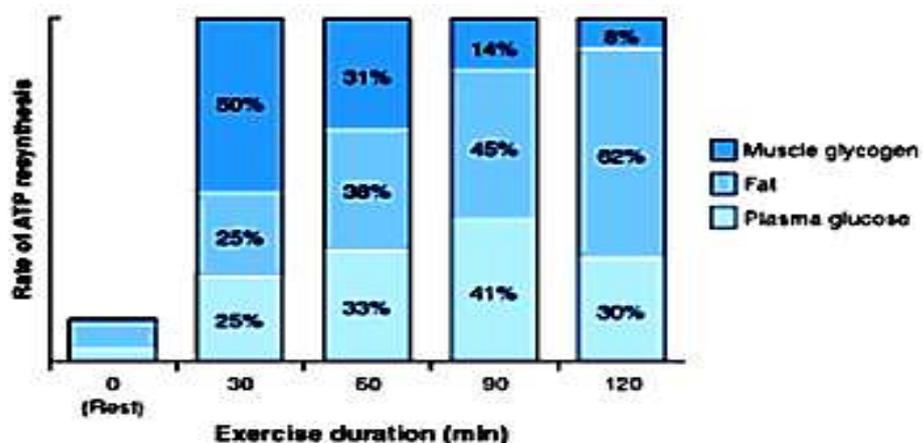


Abbildung 8: zeigt die Veränderungen der relativen Beiträge der Hauptenergiequellen an der Energiegewinnung während submaximalen Belastungen mit Intensitäten von 60 % der $VO_2\text{max}$ [JEUKENDRUP und GLEESON, 2010].

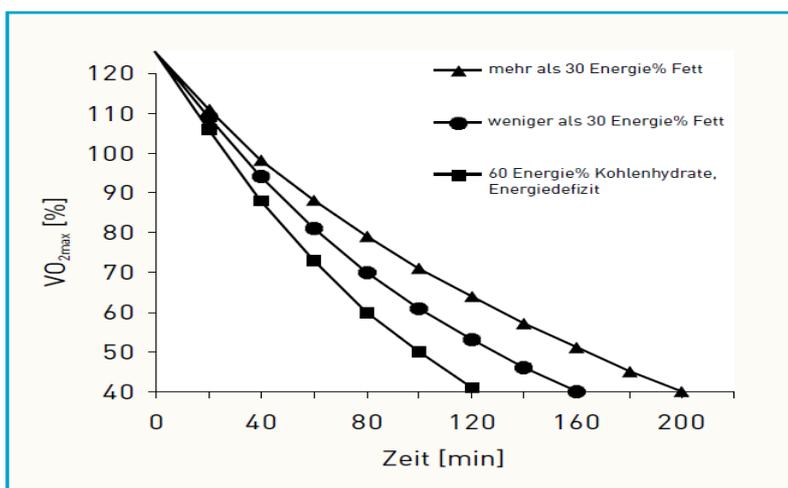
Beim Fettsäureabbau wird jedoch am wenigsten Energie pro Zeiteinheit gewonnen. Bei einer unzureichenden Kohlenhydrat-Versorgung bilden sich bei der β -Oxidation der Fettsäuren Ketonkörper.

Diese werden dann vom Gehirn als „Ersatzkohlenhydrat“ verwendet. Im Rahmen von Langzeitausdauerbelastungen, eingeschränkter KH-Aufnahme und bei einer Nahrungskarenz kommt es zu einer gesteigerten Ketonkörperproduktion. Bei einem Energiedefizit können Ketonkörper bis zu 7 % des Energiebedarfs abdecken [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

3.4.1. Fettbedarf

Fette können im Vergleich zu Kohlenhydraten ohne Probleme gespeichert werden. Daher ist die Fettaufnahme im Sport kein Faktor, der das Leistungsvermögen begrenzt. Der leistungsphysiologische Nutzen einer fettbetonten Kost für die Athleten konnte auch in kontrollierten Studien nicht belegt werden [BERG u.a., 2008]. Daher sollte auch für Sportler die Fettaufnahme nur 20 bis 35 % an der gesamten Energiezufuhr ausmachen. Eine Fettzufuhr von 20 Energieprozent (E %) und darunter beeinflusst jedoch das sportliche Leistungsvermögen negativ [RODRIGUEZ u.a., 2009].

Abbildung 9: Zeitpunkt der Erschöpfung bei unterschiedlicher Fettaufnahme [PENDERGAST u.a., 2000, aus SCHEK, 2008].



Laut Schek können Belastungen über vergleichbare Zeitspannen nur dann durchgehalten werden, wenn zumindest 30 % der Energie aus den Fetten stammt und der Energiebedarf abgedeckt wird.

Optimal für anspruchsvolle Ausdauerbelastungen dürfte eine Fettzufuhr von 35 E % sein. Diese Menge an Fett scheint notwendig, um die IMTG-Depots aufzufüllen [SCHEK, 2008].

Wenn die Fettzufuhr zu gering ausfällt, kann die Aufnahme essenzieller Fettsäuren als auch die der fettlöslichen Vitamine nicht mehr gewährleistet werden [MANNHART und COLOMBANI, 2001]. Gerade wenn der Energiebedarf (z. B. bei Wettkämpfen, Trainingslagern) sehr stark ansteigt, liefern Fette genügend Energie. Diese könnte wegen der beschränkten Aufnahmekapazität des Gastrointestinaltraktes mit einer kohlenhydratbetonten Ernährungsweise nicht mehr bereitgestellt werden [ELMADFA und LEITZMANN, 2004]. Hingegen vermindert eine bedarfsgerechte Kohlenhydrataufnahme kombiniert mit der Aufnahme hochwertiger Fette das Nahrungsvolumen und trägt erheblich zu einer ausgeglichenen Energiebilanz bei. Neben der Fettmenge sollte aber auch auf deren Qualität geachtet werden [MANNHART und COLOMBANI, 2001]. Für Athleten wird ein Fettsäureverhältnis empfohlen, das zu je 10% aus gesättigten, mehrfach ungesättigten und einfach ungesättigten Fettsäuren besteht [RODRIGUEZ u.a., 2009]. Im Bezug auf das Verhältnis von n-6-zu n-3-Fettsäuren fehlen für Athleten exakte Angaben [SCHEK, 2008]. Mittels einer gesteigerten n-3-Fettsäureaufnahme hofft man, dass der Zellmembranstoffwechsel aktiv beeinflusst wird. Ob jedoch eine gesteigerte n-3-Fettsäureaufnahme über die günstigen entzündungshemmenden, gefäßerweiternden und immunmodulierenden Wirkungen unmittelbar die Leistung verbessert, scheint derzeit mehr als fraglich [MANNHART und COLOMBANI, 2001]. Empfehlenswert dürfte ein n-6-zu n-3-Verhältnis von 5:1 sein [SCHEK, 2008].

3.4.2. Fett-loading (FL)

Ziel des „Fatloading“ ist es, mithilfe einer gesteigerten Fettsäureoxidation die Glykogenreserven zu schonen. Fettreiche Diäten dienen daher dazu, die Konzentration an IMTG, VLDL-TG als auch die der freien Fettsäuren im Blut zu erhöhen. Schon eine 5-tägige Fettaufladung (> 65 E %) bewirkt gegenüber einer kohlenhydratreichen Ernährung (> 70 E %) eine verbesserte Fettsäureoxidation [SCHEK, 2003].

Die Fettaufladung kann nach ihrer Art und Länge wie folgt eingeteilt werden.

- Kurzfristiges FL ohne Kohlenhydratladen (KL)
- Langfristiges FL ohne KL
- Mittelfristiges FL mit KL
- Langfristiges FL mit KL [SCHEK, 2003].

3.4.2.1. Kurzfristiges FL ohne KL

Eine fettreiche Ernährung über 1 bis 3 Tage beeinflusst die Ausdauerleistungsfähigkeit negativ. In diesem Zeitraum ist auch eine Adaption der Enzymsysteme an eine gesteigerte Fettsäureverfügbarkeit nicht möglich. Des Weiteren führt kurzfristiges FL zu einer Verringerung der Glykogenvorräte in Muskulatur und Leber [SCHEK, 2003].

Im Rahmen einer Studie von Stepto u.a. konnte an Ausdauersportlern gezeigt werden, dass intensive Trainingseinheiten (20 min Aufwärmen bei 65 % VO_2 max (232W) unmittelbar gefolgt von 8 x 5 Minuten bei 86 % VO_2 max (323 W) mit jeweils 60 Sekunden Erholungsphase) mit einer fettreichen Diät (3 Tage) zwar durchgehalten werden, aber verglichen mit einer kohlenhydratreichen Kost die Belastungen als strapaziöser empfunden werden [STEPTO u.a., 2002].

3.4.2.2. Langfristiges FL ohne KL

Goedecke u.a. untersuchten an Radsportlern die Wirkung einer langfristigen Fettaufladung. Die Kontrollgruppe nahm während dieser 15 Tage eine herkömmliche Kost mit einem 30%igen Fettanteil auf, während die andere Gruppe eine kalorisch angepasste Kost mit einem 69%igen Fettanteil zuführte. Bei dem Leistungstest (2,5 h Radfahren bei 70 % der VO_2max , gefolgt von einem 40-km-Radzeitfahren) wies die Fettdiät-Gruppe während des 2,5-stündigen Radfahrens eine geringere Oxidation von Muskelglykogen auf, jedoch konnte im anschließenden Zeitfahren keine Leistungssteigerung beobachtet werden. Des Weiteren wurden in der Fettdiät-Gruppe eine erhöhte Plasmaglukosekonzentration sowie eine gesteigerte Aktivität der Carnitin-Acyltransferase (CAT) vorgefunden. Die gesteigerte Aktivität der CAT während der Belastung dürfte auf die Verschiebung von der Kohlenhydratoxidation auf die FOX zurückzuführen sein [GOEDECKE u.a., 1999]. Man vermutet, dass der positive Effekt einer gesteigerten Fettsäureoxidation durch die geringere Verfügbarkeit von Glykogen kaputt gemacht wird [SCHEK, 2003].

3.4.2.3. Mittelfristiges FL mit KL

In einer Studie von Burke u.a. wurde an Sportlern die Wirkung einer mittelfristigen Fettaufladung in Verbindung mit einer kohlenhydratreichen Diät untersucht. Die Probanden konsumierten dabei entweder eine kohlenhydratreiche Diät oder eine isoenergetische fettreiche Kost für 5 Tage. Der sechste Tag blieb trainingsfrei und beide Gruppen nahmen dann jeweils die kohlenhydratreiche Kost auf. Am 7 Tag wurde dann ein Leistungstest (2 h Radfahren im Steady-State (SS) bei 70 % der VO_2max mit anschließendem Zeitfahren) durchgeführt. Sowohl vor als auch während des Tests wurden Kohlenhydrate aufgenommen. In der Gruppe mit der fettreichen Diät blieb gegenüber der Kohlenhydrat-Gruppe während des gesamten steady-state die Fettoxidation erhöht, zusätzlich konnte noch eine verminderte Kohlenhydratoxidation beobachtet werden. Jedoch konnte kein Beweis für einen leistungssteigernden Effekt erbracht werden, da die Leistung im anschließenden Zeitfahren (25 min) gegenüber der Kohlenhydrat-Gruppe nicht verbessert werden konnte [BURKE u.a., 2002].

Wahrscheinlich reicht die verbesserte Fettoxidation allein nicht aus, um die Leistung zu heben, obwohl die Glykogenvorräte geschont werden [SCHEK, 2003].

3.4.2.4. Langfristiges FL mit KL

In einer Studie von Helge u.a., die den Nutzen von langfristigem FL in Kombination mit KL an untrainierten Männern untersuchte, konnte keine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit durch eine fettreiche Ernährung in Verbindung mit einem Ausdauertraining über einen Zeitraum von 8 Wochen festgestellt werden. Für diesen Versuch wurden die Probanden in zwei Gruppen unterteilt, von denen sich die eine kohlenhydratreich (65 E % KH; 20 E % Fett; 15 E % Protein), die andere fettreich (62 E % Fett; 21 E % KH; 17 E % Protein) ernährte. Zusätzlich dazu wurde ein Ausdauertrainingsprogramm (a 60 – 70 min bei 50 – 85 % der VO_{2max}) 3 bis 4 x pro Woche über 7 Wochen hinweg abgehalten. In der achten Trainingswoche nahmen beide Gruppen nur noch die kohlenhydratreiche Kost auf. Im Gegensatz zur Gruppe mit der fettreichen Diät zeigte die Gruppe mit der kohlenhydratreichen Kost eine Leistungssteigerung. Man geht davon aus, dass eine fettreiche Diät während solcher Ausdauertrainingsprogramme eher schlecht ist für eine Verbesserung der Ausdauerleistung [HELGE u.a., 1996].

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das FL zwar eine gesteigerte Fettsäureoxidation bewirkt, gleichzeitig aber die Muskelglykogenvorräte so massiv dezimiert, dass es zu einer Minderung der Ausdauerleistung kommt [SCHEK, 2008].

3.4.3. Fettaufnahme vor, während und nach einer Belastung

Whitley u.a. testeten an Radsportlern den Einfluss einer fettbetonten Kost vor einer Ausdauerbelastung auf das Leistungsvermögen. Die Versuchspersonen wurden hierfür entweder nach einer nächtlichen Nahrungskarenz oder nach einer fettreichen bzw. kalorisch adaptierten kohlenhydratbetonten Mahlzeit untersucht. Vier Stunden nach dem Verzehr der Mahlzeiten (bzw. Fasten) mussten die Probanden 90 Minuten bei 70 % der VO_{2max} radfahren. Nach 3-minütiger Erholungsphase folgte ein Radzeitfahren über 10 km.

In dieser Studie konnte zwar ein verändertes Substratangebot im Plasma, jedoch keine Leistungssteigerung durch eine vorangegangene fettreiche Mahlzeit festgestellt werden. Ein möglicher Grund für die Tatsache, dass keine Leistungssteigerung im Zeitfahren beobachtet wurde, könnte daran liegen, dass die Substratverfügbarkeit in solchen Situationen keinen limitierenden Faktor darstellt, sondern vielmehr dürfte diesbezüglich die Laktatakkumulation eine Rolle spielen [WHITLEY u.a., 1998].

Sowohl vor als auch während einer Belastung stellt weder die Aufnahme von lang- noch die von mittelkettigen Triglyzeriden einen praktischen Ansatz für eine verbesserte Fettverbrennung dar. Die langkettigen TG benötigen sehr lange für ihren Eintritt in die Blutbahn. Es hat sich gezeigt, dass nach der Aufnahme innerhalb von 6 Stunden lediglich ein kleiner Teil der exogenen langkettigen TG oxidiert wird. Im Gegensatz zu den langkettigen TG stehen die mittelkettigen TG rascher für die Oxidation zur Verfügung, da sie besser resorbiert werden und somit schneller in die Mitochondrien gelangen können. Die Menge an mittelkettigen TG, die am Stück toleriert wird, ist jedoch begrenzt und beträgt 25 bis 30 g. Die Einnahme größerer Mengen verursacht schwere gastrointestinale Beschwerden. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass auch die Aufnahme der tolerierten Mengen vor einer Belastung weder die Fettoxidation verbessern noch Muskelglykogen eingespart werden kann. Die Oxidationsrate für diese Menge liegt nur bei rund 6 – 9 g/h, daher ist auch die Energiemenge (~ 0,2 – 0,3 MJ/h), die dabei zur Verfügung gestellt werden kann, sehr gering [HOROWITZ und KLEIN, 2000]. Wie es eine Studie von Starling u.a. belegt, dürfte die Aufnahme fettreicher Mahlzeiten nach einer Ausdauerbelastung ebenfalls keinen Effekt im Hinblick auf eine Leistungssteigerung haben. Durch die Aufnahme einer fettreichen Diät (68 E % Fett, 16 E % KH, 16 E % Protein) nach einer Ausdauerbelastung erhöhte sich zwar die TG-Konzentration im Muskel um 36 % binnen eines Tages, jedoch zeigte sich beim Radfahren ein Leistungsabfall gegenüber der Gruppe, die sich nach der Belastung kohlenhydratbetont (83 E % KH, 12 E % Protein, 5 E % Fett) ernährte [STARLING u.a., 1997]. Für sämtliche sportliche Belastungen mit Umfängen über 90 Minuten empfiehlt sich sowohl vor als auch während der Belastung eine kohlenhydratfixierte Ernährungsweise.

Dabei sollten Kohlenhydrate mit mittlerem bis hohem GI bevorzugt werden. In diesen Phasen sollte von einer Fetteinnahme abgesehen werden. Auch in der Regenerationsphase haben die Kohlenhydrate gegenüber den Fetten Vorrang [SCHEK, 2003].

3.4.4. Einfluss von L-Carnitin auf die Leistungsfähigkeit

Das Carnitin ist erforderlich, um langkettige Fettsäuren in die Mitochondrien einzuschleußen. Dort werden sie dann für die Energiegewinnung herangezogen [ELMADFA, 2004]. Von vielen Athleten wird inzwischen L-Carnitin genutzt, um den Fettsäureabbau anzukurbeln und um eine Verbesserung der Leistung zu erzielen. Während intensiver körperlicher Beanspruchungen werden vermehrt L-Carnitiner im Urin gefunden. Diese Tatsache spricht für einen gesteigerten Bedarf bei sportlichen Aktivitäten. Eine Verbesserung der Ausdauerleistung über die Anregung des Fettsäureabbaus durch die alleinige Einnahme von L-Carnitin wäre lediglich dann möglich, wenn im Muskel die Konzentration zuvor bereits erniedrigt war. Dies wäre auf eine unzureichende Aufnahme, gestiegene Verluste oder auf eine Beeinträchtigung der körpereigenen Synthese zurückzuführen. Es wäre daher ein Irrtum für Nichtsportler zu glauben, dass sich allein mithilfe höherer Einnahmen von L-Carnitin die Fettverbrennung steigern lässt. Bei katabolen Zuständen wie sie z. B. bei Langzeitausdauerbelastungen auftreten können, schützt es vorrangig Proteine vor dem Abbau und wirkt somit Leistungsverlusten entgegen. Da bislang keine nachteiligen Effekte einer L-Carnitin-Aufnahme beschrieben wurden und belastungsbedingte Mängel leicht auftreten können, wäre es besonders bei intensiven Belastungen ratsam auf eine adäquate Einnahme mittels einer ausgewogenen Mischkost zu achten [LUPPA, 2004]. Tägliche Aufnahmen oberhalb von 5 g über mehrere Wochen hinweg sollten dennoch vermieden werden, da sie zu einer Einstellung der körpereigenen Produktion führen könnten [ELMADFA, 2004].

3.5. Flüssigkeitszufuhr im Ausdauersport

Wasser stellt die bedeutendste leistungslimitierende Größe bei körperlichen Belastungen dar. Täglich sollen 2 bis 3 Liter an Wasser zugeführt werden oder 0,8 l pro 4 MJ zugeführter Energie, wobei Schweißverluste nicht inkludiert sind. Die Getränkeaufnahme trägt etwas mehr als die Hälfte zur Deckung des Wasserbedarfs bei. Durch feste Nahrung und das Oxidationswasser wird der verbleibende Wasserbedarf komplettiert. Für eine ausgeglichene Flüssigkeitsbilanz benötigt man noch eine zusätzliche Flüssigkeitsaufnahme von 1,5 l pro Liter Schweißverlust. Schon ein Flüssigkeitsverlust von 1 bis 2 % des Körpergewichts beeinträchtigt das körperliche Leistungsvermögen [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Athleten wird daher geraten, so viel zu trinken, dass Körpergewichtsverluste, welche durch thermoregulationsbedingte Wasserverluste (hauptsächlich Schwitzen) hervorgerufen werden, nicht mehr als 1 bis 2 % des Ausgangsniveaus betragen. Bei kühlen klimatischen Verhältnissen können auch Verluste bis zu maximal 3 % akzeptiert werden. Sofern die Schweißverluste nicht entsprechend kompensiert werden, kommt es zu einer Abnahme des Blutplasmavolumens, was wiederum den Blutfluss zur Haut drosselt bzw. die Abfuhr von Wärme an die Umgebung. Zusätzlich kommt es noch zu einem Anstieg der Herzfrequenz und der Körperkerntemperatur. Dies kann neben Leistungseinbußen auch noch weitreichende gesundheitliche Konsequenzen (Hitzschlag) nach sich ziehen. Um das Wasserdefizit möglichst schnell auszugleichen, empfiehlt sich sowohl eine Flüssigkeitszufuhr kurz vor der Belastung als auch die regelmäßige Aufnahme größerer Flüssigkeitsmengen während der Beanspruchung [SCHEK, 2008].

Eine kohlenhydratfixierte Ernährungsweise kann ebenfalls dabei helfen, die Wasserbilanz zu stabilisieren, da Glykogen die Fähigkeit besitzt, Wasser und Kalium zu binden. 2,7 g Wasser werden von einem Gramm Glykogen gebunden, was bei vollen Glykogendepots eine Menge von einem Liter Wasser ergeben würde. Die während einer Belastung entstandenen Defizite können dabei zum Teil durch das beim Glykogenabbau freiwerdende Wasser und Kalium wieder kompensiert werden [ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

Bei Belastungen die mehr als eine Stunde in Anspruch nehmen, kann die Leistung durch eine entsprechende Kohlenhydrat- bzw. Flüssigkeitsaufnahme länger aufrecht erhalten werden [SCHEK, 2008].

Allgemeine Empfehlungen zur Flüssigkeitsaufnahme vor und während der Belastung (> 1 h):

- Von einem kalten (15 bis 20 °C) kohlenhydrathaltigen Getränk, das gut schmeckt, Gebrauch machen.
- Kohlenhydratzufuhr von 30 – 60 g / h
- Alkoholverbot
- Frühzeitig zu trinken beginnen und alle 15 Minuten 100 bis 200 ml Flüssigkeit aufnehmen.
- Die sportliche Aufgabe gut hydratisiert angehen [SCHEK, 2008].

3.5.1. Kohlenhydrat- und Elektrolytzufuhr

Durch die Aufnahme von Kohlenhydrat-Elektrolytgetränken sowohl während als auch nach einer Belastung kann das Risiko von unmittelbaren leistungsbegrenzenden Faktoren (Hyponatriämie, Unterzuckerung, Dehydratation) verringert werden. Daneben unterstützen sie noch die Regeneration, indem sie den Glukose- und Insulinspiegel heben [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Dabei haben sich isotonische Getränke mit einem Zucker- und Natriumzusatz (10 – 30 mmol/l) bewährt. Die rascheste Resorption erlaubt eine 8-prozentige Saccharose- bzw. 4-prozentige Glukoselösung. Neben einem Zusatz von Natrium (-chlorid) besteht während der Belastung kein weiterer Bedarf für die Aufnahme anderer Elektrolyte [SCHEK, 2008].

Tabelle 5: Verwendung und Dosierung von Kohlenhydrat-Elektrolytgetränken in Abhängigkeit von Belastungsdauer und –intensität [MANNHART und COLOMBANI, 2001].

Intensität: Leistungsdauer:	80–130% VO ₂ max < 1h	60–90% VO ₂ max > 1 h < 3 h	30–70 % VO ₂ max > 3 h
a) Prähydratation*			
– Kohlenhydratgehalt	0% bis 6–10%		6–10%
– Kohlenhydratart	Glucosepolymere (Glu, Saccharose)		Glucosepolymere (Glu, Saccharose)
– Elektrolyte	–		–
– Einnahmemenge	300–500 ml		300–500 ml
– Einnahmezeitpunkt	Minuten vor der Leistung in aufgewärmtem Zustand		Minuten vor der Leistung in aufgewärmtem Zustand
b) Hydratation*			
– Kohlenhydratgehalt	Wasser		6–8%
– Kohlenhydratart	Wasser		Glucosepolymere (Glu, Saccharose)
– Elektrolyte	–		1–1.5 g NaCl·l ⁻¹
– Einnahmemenge/h	500–1000 ml		500–1000 ml
– Einnahmezeitpunkt	verteilt auf ca. 5 Einnahmen		verteilt auf ca. 5 Einnahmen
– Osmolalität	< 300 mmol·kg ⁻¹		< 300 mmol·kg ⁻¹
c) Rehydratation, Glykogenresynthese Regeneration			
– Kohlenhydratgehalt		6–10%	
– Kohlenhydratart		Glu, Saccharose, Glucosepolymere (Minimalmenge 25 g·h ⁻¹)	
– Elektrolyte		ca. 1–1.5 g NaCl·l ⁻¹ (+ eventuell K)	
– Einnahmemenge		in Abhängigkeit von Rehydratation	
– Einnahmezeitpunkt		sofort nach der Leistung beginnen	
– Osmolalität		< 300 mmol·kg ⁻¹	

3.5.2. Flüssigkeitszufuhr vor, während und nach einer Belastung

Mindestens vier Stunden vor der Belastung sollte eine Flüssigkeitsaufnahme (ca. 5 – 7 ml / kg KG) in Form von Wasser oder Sportgetränken erfolgen. Diese Zeit ist erforderlich, um den Hydratationsstatus zu optimieren und die Ausscheidung von überschüssiger Flüssigkeit zu gewährleisten [RODRIGUEZ u.a., 2009]. Eine Hyperhydratation mit Flüssigkeiten, die die extra- und intrazellulären Räume erweitern (z. B. H₂O und Glycerin-Lösungen), erhöht das Risiko für eine Flüssigkeitsausscheidung während der Belastung und bewirkt gegenüber einem normalen Hydratationsstatus weder einen Leistungs- noch einen physiologischen Vorteil. Darüber hinaus kann eine Hyperhydratation die Natriumkonzentration im Blut erheblich senken, was wiederum das Risiko für eine Hyponatriämie erhöht [SAWKA u.a., 2007].

Eine Flüssigkeitsaufnahme während der Belastung soll sowohl eine übermäßige Dehydratation (> 2 % des KG) als auch exzessive Veränderungen des Elektrolythaushalts verhindern. Die Menge und Geschwindigkeit des Flüssigkeitsersatzes hängen von der Belastungsdauer, der individuellen Schweißverlustrate und den Trinkmöglichkeiten ab. Wenn es die Bedingungen erlauben, sollte in regelmäßigen Abständen getrunken werden [SAWKA u.a., 2007]. Dabei empfiehlt sich alle 15 Minuten 100 – 200 ml in Form von Sportgetränken, die Mineralstoffe und Kohlenhydrate enthalten, zu trinken. Die Getränke sollten kalt sein, da sie rascher resorbiert werden können als warme und zudem noch die Körpertemperatur senken [ELMADFA und LEITZMANN, 2004]. Der Flüssigkeits- und Elektrolytbedarf hängt von den Umgebungsbedingungen, der Art, der Intensität und der Dauer der Belastung ab. Kohlenhydrat-Elektrolytgetränke mit Natrium und Kalium helfen dabei, die schweißbedingten Elektrolytverluste zu ersetzen, während die Kohlenhydrate für die notwendige Energie sorgen. Des Weiteren stimuliert Natrium den Durst und die Flüssigkeitsretention. Ein Kohlenhydratanteil von 6 – 8 % wird für Belastungen über einer Stunde Dauer empfohlen [RODRIGUEZ u.a., 2009]. Von höheren Kohlenhydrataufnahmen (> 8 %) wird jedoch abgeraten, da sie die Magenentleerung behindern [SAWKA u.a., 2007].

Nach der Belastung gilt es, das Flüssigkeits- und Elektrolytdefizit wieder auszugleichen. Wie schnell die Rehydratation zu erfolgen hat, hängt von der Größe des Flüssigkeits- und Elektrolytdefizits ab [SAWKA u.a., 2007]. Flüssigkeitsaufnahmen ($> 1 \text{ l/h}$) während einer sportlichen Aktivität können des Öfteren Magenprobleme und Diarrhöen verursachen, deshalb werden die Belastungen oft mit einem Flüssigkeitsdefizit beendet [TOMASITS und HABER, 2008]. Wenn es die Zeit erlaubt, genügen normale Mahlzeiten, sofern ihr Natriumgehalt ausreichend ist, um die Schweißverluste zu ersetzen und Wasser reicht aus, um wieder einen normalen Hydratationsstatus zu erlangen. Wenn die Dehydratation groß ist und die Erholungsphasen relativ kurz ($< 12 \text{ h}$) sind, muss auf eine rasche Wiederherstellung geachtet werden. Für eine rasche und vollständige Genesung nach der Belastung sollten $\sim 1,5$ Liter für jedes während der Belastung verlorene Kilogramm getrunken werden [SAWKA u.a., 2007].

4. Material und Methoden

4.1. Das Studiendesign

4.1.1. Probanden

An dieser Studie nahmen 21 männliche Freizeitsportler im Alter von 18 bis 44 Jahren teil. Die Auswahl der Probanden für den 5000-Meter-Lauf fand in meinem persönlichen Umfeld statt und wurde erst nach einer mündlichen Unterredung getroffen, da es zuerst galt, die Teilnahmevoraussetzungen zu prüfen. Diese implizierten im Wesentlichen folgende Kriterien:

- Guter Gesundheitszustand
- Keine Einnahme von Dopingmitteln
- Keine Hochleistungssportler
- Keine Erkrankungen, die in irgendeiner Form die sportliche Leistung beeinträchtigen oder im Rahmen dieser Veranstaltung die eigene Gesundheit gefährden könnten.
- Nicht adipös (BMI > 30)
- Normale sportliche Konstitution
- Mindestens 1 Stunde Sport pro Woche

Die Teilnahme an diesem Feldtest fand ausschließlich auf freiwilliger Basis statt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung übten von den 21 Probanden 13 eine sitzende ($\bar{\text{PAL}} 1,55^2$) und 8 eine stehende ($\bar{\text{PAL}} 1,85^2$) berufliche Tätigkeit aus. Die sportlichen Aktivitäten der Untersuchungsgruppe sind breit gestreut. Die am öftesten genannte Sportart ist Laufen (10) gefolgt von Krafttraining (9) und Radfahren (8).

² [Elmadfa, 2004].

Darstellung der Probandendaten sortiert nach Ernährungsplan:

Tabelle 6: Daten der Kohlenhydrat-Gruppe

Kohlenhydrat-Gruppe (n = 11)	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD (σ)
Größe [cm]	172	193	181,5	6,8
Gewicht [kg]	62	96	78,2	12,1
BMI [kg/m ²]	19,9	26,9	23,6	2,5
Alter [Jahre]	18	41	28,8	8,6
Wöchentliche Nettotrainingszeit – Ausdauer[h]	0	15	4	5,4
Wöchentliche Gesamttrainingszeit [h]	1	15	6,2	5

Tabelle 7: Daten der Protein-Gruppe

Protein-Gruppe (n = 10)	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD (σ)
Größe [cm]	164	188	180	7,05
Gewicht [kg]	72	94	79,8	7,11
BMI [kg/m ²]	21,5	27,5	24,6	2,04
Alter [Jahre]	20	44	30,9	9,67
Wöchentliche Nettotrainingszeit – Ausdauer[h]	0	12	3,3	4,55
Wöchentliche Gesamttrainingszeit [h]	2	12	6,6	3,81

Der wöchentliche Trainingsumfang der Probanden wurde mündlich erfragt. Das Untersuchungskollektiv brachte es dabei auf eine mittlere wöchentliche Trainingszeit (Ausdauer) von $3,6 \pm 4,9$ Stunden.

Der durchschnittliche BMI der Studienteilnehmer lag bei $24,1 \pm 2,3$ (kg/m^2). In der Protein-Gruppe ($n = 10$) lagen 4 Probanden, in der Kohlenhydrat-Gruppe ($n = 11$) 7 im Normalgewichtsbereich (BMI 20 – 25). Die restlichen Probanden wiesen laut diesem Gewichtsklassifikationsschema ein Übergewicht (BMI 25 – 30) auf. Es sollte jedoch bedacht werden, dass es sich bei diesem Untersuchungskollektiv um Breitensportler handelt, von denen der Großteil regelmäßig Sport betreibt. Daher kann man davon ausgehen, dass die Mehrheit der Probanden auch einen höheren Anteil an Muskelmasse aufweist als sportlich inaktive Personen. Die zum Teil relativ hohen BMI-Werte (27,5 höchster Wert) sind daher wahrscheinlich auf den höheren Anteil an Muskelmasse zurückzuführen, wenn man die Tatsache bedenkt, dass das Muskelgewebe eine höhere Dichte hat als das Fettgewebe.

Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei $29,8 \pm 8,9$ Jahren.

4.1.2. Einteilung der Probanden

Nachdem die Probandenselektion getroffen worden war und die Teilnehmerzahl mit 21 Versuchspersonen feststand, erfolgte die Gruppenzuweisung. Ursprünglich sollten 20 Personen an dieser Studie teilnehmen. Es war mir jedoch ein persönliches Anliegen, selbst an der eigenen Studie teilzunehmen, um nicht nur ein theoretisches Bild von der praktischen Versuchsanweisung zu haben. Nachträglich betrachtet half es mir sehr bei der praktischen Planung und Ausrichtung des Versuchs. So konnten bereits präventiv mögliche Fehlerquellen minimiert und die Probanden auf eventuell auftretende Probleme hingewiesen werden.

Die Einteilung der Probanden in eine der beiden Ernährungsgruppen erfolgte nicht randomisiert. Das lag an der Tatsache, dass sich einige Vegetarier unter den Testpersonen befanden und sich die proteinbetonte Ernährungsvorschrift neben Eiern, Hülsenfrüchten und Milchprodukten hauptsächlich aus Fisch und Fleischprodukten zusammensetzte. Nachdem die Lebensmittelauswahl ohnehin schon stark eingeschränkt war und kohlenhydratarmer Ernährungsweisen häufig als sehr belastend empfunden werden, wollte ich die betroffenen Probanden nicht noch zusätzlich strapazieren. Um ihrer Bitte nachzukommen, wurden die vier Vegetarier daher schon im Vorfeld der Gruppe mit der kohlenhydratreichen Diät zugewiesen.

Die restliche Gruppeneinteilung erfolgte zufällig, so dass sich schlussendlich von den insgesamt 21 Testpersonen 11 kohlenhydratreich und 10 proteinbetont ernährten.

4.1.3. Der Studienablauf

Die Felduntersuchung, in der ein Leistungsvergleich zwischen zwei Ernährungsformen (Kohlenhydrat vs. Protein) durchgeführt wurde, fand in Klagenfurt auf der Leichtathletik-Laufbahn des Klagenfurter Turnvereins (KTV) statt. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 15. August 2010 bis zum 12. Oktober 2010. Vor dem ersten Leistungstest wurden die Anthropometrischen Kennzahlen (Körpergewicht und Körpergröße) der Probanden ermittelt. Zusätzlich wurden noch das Alter, die berufliche Tätigkeit und die wöchentliche Trainingszeit (Sportart in h/Woche) der Probanden aufgenommen. Aus diesen Daten wurden dann die individuellen BMI – Werte errechnet, die Ausdauertrainingszeit pro Woche abgeleitet und der individuelle Tagesenergieumsatz geschätzt.

Die Leistung wurde in zwei 5000-Meter-Läufen im Abstand von einer Woche ermittelt, wobei der erste Lauf vor Inkrafttreten der Ernährungsvorschriften vollzogen wurde. Im Anschluss an den ersten 5000-Meter-Lauf wurde mit der einwöchigen kohlenhydrat- bzw. proteinreichen Diät begonnen.

Abbildung 10: Beispiel für eine Testwoche

Sa (18 ⁰⁰ Uhr)	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa (18 ⁰⁰ Uhr)
1. Lauf							2. Lauf
Beginn:							Ende:
Ernährungsplan							Ernährungsplan

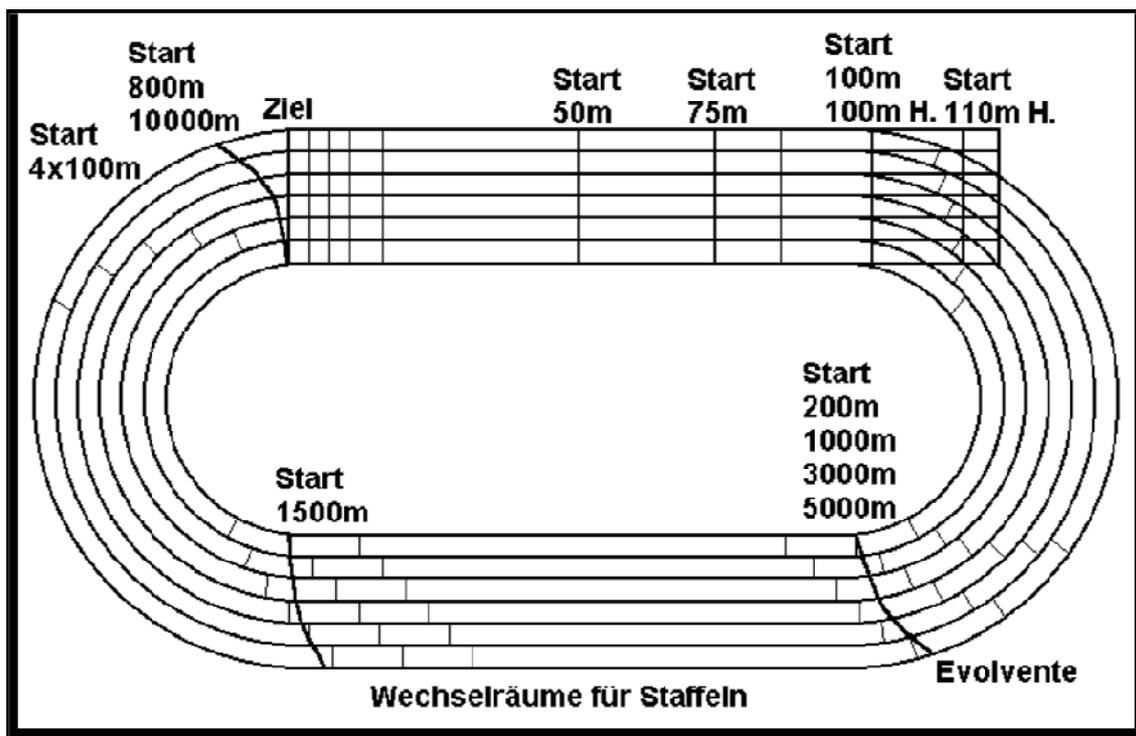
Während der gesamten Testwoche waren die Probanden dazu angehalten, auf das Training zu verzichten, um vor allem in der Kohlenhydrat-Gruppe einer Entleerung der Glykogenspeicher vorzubeugen.

Die Leistungsdiagnostik wurde immer erst am späten Nachmittag durchgeführt, um den Probanden relativ ähnliche bzw. vergleichbare klimatische Voraussetzungen zu gewährleisten.

Der 5000-Meter-Lauf bzw. die Zeitmessung

Begonnen wird der 5000-Meter-Lauf am 200-Meter-Punkt der Leichtathletik-Laufbahn. Der Startpunkt befindet sich am Ende der Gegengeraden bzw. vor der Kurve, welche an die Zielgerade anschließt (siehe Abbildung 11). Die 5000-Meter-Distanz entspricht exakt 12,5 Runden auf der Laufbahn (1 Runde = 400 m).

Abbildung 11: Leichtathletik-Laufbahn³



³ Quelle: URL: <http://www.sport.expertsharing.de/sportunterricht/LA-Skript2010.pdf> [letzter Zugriff: 04.05.2011].

Folgendes galt es für die Probanden vor der Leistungsdiagnostik zu beachten:

- Auf einen erholsamen Schlaf achten → gut ausgeruht zum Lauf erscheinen.
- Kein Kaffee und Alkohol an den Testtagen.
- Am Tag vor dem ersten Test auf intensive körperliche Belastungen verzichten.
- Auf eine bequeme Laufbekleidung achten (z. B. keine neuen Laufschuhe verwenden).
- Vier Stunden vor der Belastung sollte mit der Flüssigkeitsaufnahme (Wasser, Sportgetränke) begonnen werden.
- Die letzte Mahlzeit sollte 3 – 4 Stunden vor dem Start aufgenommen werden.
- Nicht zu schnell loslaufen!

Begonnen wurde mit dem Lauf nach einer 10- bis 20-minütigen Aufwärmphase (individuelle Gestaltung). Danach mussten die Probanden 12,5 Runden auf der Laufbahn zurücklegen. Zur Leistungsermittlung wurde die Zeit, die für die Absolvierung der 5000 Meter benötigt wurde, gemessen⁴. Alle Teilnehmer wurden dazu angehalten, in beiden Läufen die 5000 Meter in ihrem persönlichen Maximaltempo zu laufen. Die zwei Zeitmessungen wurden mit jedem Probanden einzeln durchgeführt, um die individuelle Laufleistung nicht zu beeinflussen (zu hohe Laufgeschwindigkeit → Konkurrenzkampf etc.).

Begleitet wurde der praktische Teil der Studie von Dr. med. Erwin Frimmel. Einerseits unterstützte er mich bei der Zeitmessung, andererseits konnte somit auch die gesundheitliche Sicherheit der Läufer während des Leistungstests gewährleistet werden. Alle 5000-Meter-Läufe konnten ohne gesundheitliche Probleme der Probanden abgeschlossen werden. Das gesamte Untersuchungskollektiv wurde ausführlich über die Ernährungsvorschriften und den gesamten Versuchsablauf unterrichtet.

⁴ Für die Zeitmessung wurde eine digitale Stoppuhr (Spartan Sport[®]) verwendet.

4.2. Die Ernährung

Für diesen Feldversuch wurden zwei Ernährungsvorschriften entwickelt. Ein Ernährungsplan basierte dabei auf einer kohlenhydratreichen, der andere auf einer proteinreichen Ernährungsweise. Beide Diätvorschriften mussten eine Woche lang ausgeführt werden.

Bei der kohlenhydratbetonten Ernährungsvorschrift handelt es sich um kein gängiges Carbo-loading-Regime, sondern um ein eigens für diesen Feldtest entwickeltes Muskelglykogensuperkompensationsmodell. Der erste Lauf mit maximaler Beanspruchung ist dabei als muskelglykogenentleerende Belastung anzusehen. Die folgenden Tage bis zur zweiten Zeitmessung, mit der Vorgabe einer möglichst hohen Kohlenhydrataufnahme von 65 E % und darüber, dienten der Auffüllung der Glykogendepots.

Die andere Ernährungsvorschrift strebte eine (unter den allgemeinen Empfehlungen) stark reduzierte Kohlenhydrataufnahme bei gleichzeitig gesteigerter Proteinzufuhr an. Beide Ernährungsvorschriften waren primär weder dazu gedacht Gewicht abzubauen noch Gewicht zuzunehmen. Die Ernährungspläne erheben auch keinen Anspruch auf eine bedarfsdeckende Kost. Außerdem sind sie nicht als Dauerkostform geeignet. Sie wurden ausschließlich für diesen Versuch konzipiert. Das Untersuchungskollektiv wurde auch ausdrücklich darauf hingewiesen.

4.2.1. Erstellung der Ernährungspläne

Bei der Ausarbeitung der Ernährungspläne wurde der individuelle Tagesenergieumsatz der Probanden berücksichtigt. Dazu wurde der GU mit 1,55 (PAL für sitzende berufliche Tätigkeiten) oder mit 1,85 (PAL für stehende berufliche Tätigkeiten) multipliziert. PAL-Zuschläge für sportliche Betätigungen wurden nicht mit einkalkuliert, da es den Probanden während des einwöchigen Untersuchungszeitraums untersagt war, Sport zu betreiben. Diese ungefähre Schätzung des Tagesenergieumsatzes sollte den Probanden lediglich als Orientierungshilfe dienen, um grober energetischer Unter- bzw. Überversorgungen vorzubeugen.

So wies beispielsweise ein durchschnittlicher Proband (79 kg) mit einem sitzenden Beruf (PAL 1,55) einen täglichen Energiebedarf von ca. 2940 kcal auf. Die Probanden wurden daher dazu angehalten, ihre tägliche Kalorienaufnahme umschlagsmäßig mit Hilfe der Energieangabe auf den Lebensmittelverpackungen zu überprüfen und sich in diesem Rahmen zu bewegen.

Die Konzeption des Ernährungsplans basierte auf fünf Mahlzeiten pro Tag. Beispiel für einen idealen Tag:

- Frühstück (25 E %)
- Snack (10 E %)
- Mittagessen (30 E %)
- Snack (10 E %)
- Abendessen (25 E %)

Es wurde versucht, die Ernährungspläne so einfach wie möglich zu gestalten. Daher wurde primär beiden Ernährungsplänen jeweils eine Auflistung von kohlenhydrat- und proteinreichen Nahrungsmitteln vorangestellt, zum Zweck einer grundsätzlichen Vermittlung von „erlaubten“ und „nicht erlaubten“ Nahrungsmitteln. Die später beschriebenen Menüvorschläge sind lediglich als Anregungen zu verstehen, um den Probanden die tägliche Menüzusammenstellung zu erleichtern. Unter Berücksichtigung der jeweils gültigen Ernährungsvorschrift war es den Probanden somit selbst möglich, die tägliche Nahrungsaufnahme anhand der für sie zutreffenden Lebensmittelauswahl individuell zu gestalten. Folglich war es auch ernährungsbewussten Probanden teilweise möglich, trotz der eingeschränkten Lebensmittelauswahl eine passable ernährungsphysiologische Nahrungsaufnahme anzustreben.

Tabelle 8: Auflistung kohlenhydratreicher Lebensmittel

KOHLLENHYDRATREICHE NAHRUNGSMITTEL

- Nudelwaren/Vollkornnudelwaren
- Teigwaren
- Obst
- Gemüse (Salat = Blattgemüse)
- Getreide (Reis, Weizen, Hafer, Roggen, Hirse, Mais, Dinkel, Gerste etc.)
- Brot
- Müsli
- Süßigkeiten
- Säfte

Tabelle 9: Aufzählung proteinreicher bzw. -haltiger Lebensmittel

PROTEINREICHE NAHRUNGSMITTEL

- Fleisch
- Fisch, Meeresfrüchte
- Eier
- Milch & Milchprodukte
- Nüsse
- Pilze
- Hülsenfrüchte (z. B. Erbsen, Kichererbsen, Bohnen, Sojabohnen und Linsen)
- Tofu
- Quorn
- Seitan

Essensvorschläge für die Kohlenhydrat-Gruppe

Die jeweiligen Vorschläge der 3 Hauptmahlzeiten waren untereinander austauschbar.

Abbildung 12: Hilfestellungen zur Menükomposition

Frühstück	Mittagessen	Abendessen	Snack
➤ Müsli mit Früchten	➤ Gemüselasagne	➤ Gazpacho	➤ Obst
➤ Obstsalat	➤ Getreidelaiabchen mit Gemüse	➤ Gemüse-Risotto	➤ Rohes Gemüse
➤ Diverse Früchte	➤ Diverse Salate (ohne Fisch, Fleisch und Ei)	➤ Pizza (ohne Fleisch-, Fisch- oder Eiaufgabe)	➤ Apfelmus
➤ Kompott	➤ Zwiebelsuppe	➤ Spaghetti mit Tomatensauce	➤ Dörrobst
➤ Obstkuchen	➤ Minestrone	➤ Spaghetti aglio e olio	➤ Kekse
➤ Schoko- bzw. Vanille-Croissant	➤ Spaghetti mit Pesto	➤ Spinatstrudel	➤ Müsli – riegel
➤ Gebäck	➤ Kartoffelgulasch ohne Wurst	➤ Fritatten-, Grießnockerl-, Nudel-Suppe	➤ Kornspitz
	➤ Gemüserais	➤ Krautfleckerln	
	➤ Gemüsenuel	➤ Kartoffelsalat	
	➤ Kartoffelpuffer	➤ Marmelade-Palatschinken	
	➤ Mohnnuel	➤ Gemüselaiabchen	
		➤ Ratatouille	

Getränkeauswahl Kohlenhydrat-Gruppe:

Im Rahmen dieses Ernährungsplans konnten Mineralwasser, Wasser, diverse Sportgetränke, Tee, Kaffee, Fruchtsäfte, Energiedrinks, Verdünnungssäfte (Sirup) und Limonaden getrunken werden. Empfohlen wurde eine Flüssigkeitsaufnahme von 30 ml pro kg KM. Speziell für die Probanden der Kohlenhydratgruppe bestand ein striktes Alkoholverbot während der gesamten Testwoche, da Alkohol die Glykogeneinlagerung verzögert und den Glykogenabbau aus der Leber vermindert [ELMADFA, 2004].

Essensvorschläge für die Protein-Gruppe

Abbildung 13: Hilfestellungen zur Menükomposition

Frühstück	Mittagessen	Abendessen	Snack
➤ Sojapudding	➤ Chilli con carne	➤ Tofu in	➤ Joghurt
➤ Joghurt/mit	➤ Specklinsen	Sojasauce	➤ Diverse
Nüssen	➤ Bohnensalat	➤ Selchfleisch	Nüsse
➤ Käse	➤ Saures	mit	(Maroni,
➤ Ham & Eggs	Essigfleisch	Erbsenpüree	Kokosnuss,
➤ Omlette mit	➤ Eierschwammerln	➤ Kichererbsen	Mandeln,
Champignons	geröstet mit Ei	– Eintopf	Erdnuss...)
➤ Käseomlette	➤ Geschnetzeltes	➤ Fischsuppe	➤ Hartes Ei
➤ gekochtes Ei	➤ Erbsensuppe mit	➤ Wurstsalat	➤ Buttermilch
	Würstel	➤ Schwammerl	➤ Proteinshake
	➤ Rinds-	–gulasch	
	„Hühnersuppe mit	➤ Gegrillter	
	Fleischeinlage (z.	Fisch	
	B. Leberknödel,	➤ Linsensuppe	
	Rindfleisch)	➤ Backhuhn	
	➤ Gulasch	➤ Brathuhn	
	➤ Gebäckener	➤ Seitan	
	Emmentaler		
	➤ Quorn		

Auch hierbei war es für die Probanden möglich, die Hauptmahlzeiten bei Bedarf gegeneinander auszutauschen.

Getränkeauswahl Protein-Gruppe:

Im Rahmen dieses Ernährungsplans sollten bevorzugt ungezuckerte Getränke (wie z. B. Trink-/Mineralwasser, Früchte- oder Kräutertee) aufgenommen werden. Weitere Trinkalternativen waren Milch, Molke, Buttermilch, ungesüßter Kaffee, Sauermilch und Proteinshakes. Aufgrund des hohen Kohlenhydratgehalts musste auf Säfte, Sirup, Limonaden etc. verzichtet werden. Gleiches galt für alkoholhaltige Getränke. Die empfohlene Trinkmenge wurde ebenfalls mit 30 ml pro kg KG angegeben.

4.3. Ziele der Untersuchung

Der Stellenwert einer kohlenhydratbetonten Ernährung für sportliche Unternehmungen als auch ihr Einfluss auf die Leistungsfähigkeit wurden bereits im Literaturteil besprochen. Der Literatur (...) zufolge kann man daher annehmen, dass kohlenhydratbetonte Ernährung für Ausdauerleistungen günstiger ist, als eine proteinbetonte Ernährungsweise.

Diese Annahme wird statistisch wie folgt getestet:

Männliche Probanden einer Kohlenhydrat-Gruppe (KGr.) und einer Protein-Gruppe (PGr.) laufen je zweimal 5000 Meter im Abstand von einer Woche. Vor dem ersten Lauf ernähren sich die Probanden wie gewohnt. Zwischen den beiden Läufen nehmen die KGr-Probanden kohlenhydratbetonte Kost zu sich, die PGr-Probanden proteinbetonte. Für jeden Läufer wird die Durchschnittsgeschwindigkeit des ersten Laufes von der des zweiten subtrahiert. Die Differenz der Durchschnittsgeschwindigkeiten wird als Maß für eine Verbesserung oder Verschlechterung der Ausdauerleistungsfähigkeit des Studienteilnehmers angesehen.

Stimmt die Annahme, dann kann man erwarten, dass in der Kohlenhydrat-Gruppe größere Differenzen auftreten als in der Protein-Gruppe. Der statistische Test soll zeigen, ob die Differenzen der Kohlenhydrat-Gruppe größer sind als die Differenzen der Protein-Gruppe. Dazu dient ein Vergleich der Mittelwerte dieser Differenzen (μ_{KGr} und μ_{PGr}).

Die Nullhypothese lautet: $H_0: \mu_{KGr} - \mu_{PGr} \leq 0$

Die Alternativhypothese ist daher: $H_1: \mu_{KGr} - \mu_{PGr} > 0$

4.4. Datenanalyse

Die Grafiken und die statistischen Tests wurden mit MS-Office Excel 2007 und dem Statistikprogramm SPSS 16.0 durchgeführt.

Testvoraussetzungen:

Die Stichproben sind unverbunden, da sich die Kohlenhydrat- und die Protein-Gruppe aus verschiedenen Personen zusammensetzt. Man kann nicht voraussetzen, dass die Differenzen normalverteilt wären, hat aber auch keinen Grund zu der Vermutung, dass ihre Verteilung extrem von einer Normalverteilung abweichen würde. Die Varianzen der Differenzen sind unbekannt und man hat keinen Grund zu vermuten, sie wären gleich. Daher wird ein t-Test mit unverbundenen Stichproben ohne Voraussetzung bezüglich der Varianzen durchgeführt. Da H_0 nur abgelehnt wird, wenn die Differenzen der Kohlenhydrat-Gruppe signifikant größer sind als die Differenzen der Protein-Gruppe, ist der Test einseitig.

Prüfung der relevanten Untersuchungsparameter auf Normalverteilung:

Da ein t-Test eine Normalverteilung voraussetzt, wird mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests die Normalverteilung der relevanten Untersuchungsparameter (Alter, Größe, Gewicht, BMI, WNTZ-Ausdauer) geprüft.

Tabelle 10: Deskriptive Statistiken für den Kolmogorov-Smirnov-Test

Probanden		N	Mittelwert	Standardabw.	Minimum	Maximum
KGr	Alter [Jahre]	11	28,82	8,635	18	41
	Größe [m]	11	1,8155	,06802	1,72	1,93
	Gewicht [kg]	11	78,18	12,057	62	96
	BMI [kg/m ²]	11	23,564	2,5335	19,9	26,8
	WNTZ-Ausdauer [h]	11	4,00	5,441	0	15
	Differenz (nach-vor)[km/h]	11	,1155	,27692	-,26	,52

PGr	Alter [Jahre]	10	30,90	9,666	20	44
	Größe [m]	10	1,8000	,07055	1,64	1,88
	Gewicht [kg]	10	79,80	7,115	72	94
	BMI [kg/m ²]	10	24,600	2,0548	21,4	27,5
	WNTZ-Ausdauer [h]	10	3,30	4,547	0	12
	Differenz (nach-vor)[km/h]	10	,3340	,45608	-,26	1,33

Tabelle 11: Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests

			Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest					
Probanden			Alter	Größe	Gewicht	BMI	WNTZ-	Differenz
			[Jahre]	[m]	[kg]	[kg/m ²]	Ausdauer	[km/h]
KGr	N		11	11	11	11	11	11
	Parameter der	Mittelwert	28,82	1,8155	78,18	23,564	4,00	,1155
	Normalverteilung ^a	Standardabweichung	8,635	,06802	12,057	2,5335	5,441	,27692
	Extremste Differenzen	Absolut	,175	,136	,169	,129	,318	,191
		Positiv	,173	,135	,164	,108	,318	,191
		Negativ	-,175	-,136	-,169	-,129	-,231	-,138
	Kolmogorov-Smirnov-Z		,581	,452	,559	,429	1,055	,635
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,889	,987	,913	,993	,215	,815
PGr	N		10	10	10	10	10	10
	Parameter der	Mittelwert	30,90	1,8000	79,80	24,600	3,30	,3340
	Normalverteilung ^a	Standardabweichung	9,666	,07055	7,115	2,0548	4,547	,45608
	Extremste Differenzen	Absolut	,196	,185	,193	,182	,313	,230
		Positiv	,196	,128	,193	,182	,313	,230
		Negativ	-,195	-,185	-,136	-,177	-,234	-,106
	Kolmogorov-Smirnov-Z		,619	,586	,609	,575	,988	,726
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,838	,882	,852	,895	,283	,667

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

Da alle Werte der asymptotischen Signifikanz über 0,05 liegen wird die Nullhypothese (H_0 : die Untersuchungsparameter entsprechen einer Normalverteilung) für alle sechs Untersuchungsparameter angenommen. Demnach sind die getesteten Parameter in beiden Ernährungs-Gruppen normalverteilt. Somit kann ein Vergleich der Mittelwerte mit dem t-Test durchgeführt werden.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1. Vergleich der Gruppenergebnisse

An der Untersuchung nahmen 21 Personen teil. Davon waren 11 Probanden der Kohlenhydrat-Gruppe und 10 der Protein-Gruppe zugeordnet (vgl. Kapitel 4.1). Die negativen Vorzeichen bedeuten eine Abnahme der Laufgeschwindigkeit nach Einhaltung der Ernährungsvorschrift. Die Geschwindigkeitsdifferenzen beider Ernährungsgruppen wurden durch die Subtraktion der Geschwindigkeit vor dem Ernährungsplan von jener nach dem Ernährungsplan errechnet.

Tabelle 12: Zeiten und Geschwindigkeiten der KGr.

Probanden (n=11)	Zeit vor Diät [min]	Zeit nach Diät [min]	Geschwindigkeit vor Diät [km/h]	Geschwindigkeit nach Diät [km/h]	Differenz [km/h]
1	27:40	26:24	10,84	11,36	0,52
2	23:08	23:27	12,97	12,78	(-)0,18
3	24:17	23:56	12,35	12,53	0,19
4	20:27	20:32	14,67	14,61	(-)0,06
5	35:34	34:50	8,43	8,61	0,18
6	25:19	24:26	11,85	12,27	0,42
7	27:24	26:57	10,94	11,13	0,18
8	26:12	26:27	11,45	11,34	(-)0,11
9	28:04	28:46	10,68	10,42	(-)0,26
10	25:42	25:55	11,67	11,57	(-)0,10
11	22:40	21:52	13,23	13,71	0,49

Für den ersten 5000-Meter-Lauf ergab sich in der KGr. eine mittlere Laufzeit von 26,02 \pm 3,55 für den Zweiten eine von 25,46 \pm 3,49 Minuten. Die schnellste gemessene Zeit betrug 20 Minuten und 27 Sekunden.

In der Kohlenhydrat-Gruppe verbesserte sich die Laufgeschwindigkeit nach Einhaltung des Ernährungsplans bei sechs von elf Teilnehmern, bei den verbleibenden fünf Probanden zeigte sich eine Abnahme der Laufgeschwindigkeit. Im Durchschnitt verbesserte sich die Laufgeschwindigkeit in der Kohlenhydrat-Gruppe um 1 %.

Tabelle 13: Zeiten und Geschwindigkeiten der PGr.

Probanden (n=10)	Zeit vor Diät [min]	Zeit nach Diät [min]	Geschwindigkeit vor Diät [km/h]	Geschwindigkeit nach Diät [km/h]	Differenz [km/h]
1	25:19	24:56	11,84	12,03	0,18
2	37:27	34:18	8,01	8,75	0,74
3	35:08	30:23	8,54	9,87	1,33
4	22:41	22:32	13,22	13,31	0,09
5	24:26	23:13	12,28	12,91	0,63
6	25:21	25:26	11,83	11,79	(-)0,04
7	25:31	25:01	11,75	11,99	0,24
8	27:17	27:57	10,99	10,73	(-)0,26
9	17:34	17:15	17,08	17,38	0,30
10	26:47	26:29	11,20	11,32	0,13

Für den ersten 5000-Meter-Lauf ergab sich in der PGr. eine durchschnittliche Laufzeit von $26,45 \pm 5,44$ Minuten. Die mittlere Zeit für den zweiten 5000-Meter-Lauf lag bei $25,45 \pm 4,35$ Minuten. Die schnellste gemessene Zeit lag bei 17 Minuten und 15 Sekunden.

In der Protein-Gruppe verbesserte sich die Laufgeschwindigkeit nach Einhaltung des Ernährungsplans bei acht von zehn Teilnehmern, lediglich bei zwei Probanden zeigte sich eine Abnahme der Laufgeschwindigkeit. Im Durchschnitt konnte sich die Geschwindigkeit in der Proteingruppe um 3% verbessern.

Tabelle 14: Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen nach Ernährungsplan

			Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert
Ernährungsplan	Kohlehydrat	Geschwindigkeit sdifferenz (km/h)	11	-,26	,52	,12
	Protein	Geschwindigkeit sdifferenz (km/h)	10	-,26	1,33	,33

Wie Tabelle 12 zeigt, sind die höchsten Abnahmen der Laufgeschwindigkeit mit (-)0,26 [km/h] in beiden Gruppen ident. Die größte Geschwindigkeitszunahme wurde in der Protein-Gruppe mit (+) 1,33 [km/h] festgestellt. Letzterer Wert spricht möglicherweise dafür, dass der Proband während des ersten 5000-Meter-Laufes nicht mit maximaler Geschwindigkeit gelaufen ist.

5.2. Kennzahlen der Probanden

t-Test bei unabhängigen Stichproben:

Dieser Test soll prüfen, ob sich die beiden Gruppen (KGr und PGr) hinsichtlich Körpergewicht, Körpergröße, Bodymass-Index, wöchentlicher Ausdauertrainingszeit und Alter unterscheiden bzw. aus derselben Verteilung stammen. Die Nullhypothese lautet: Die Ernährungs-Gruppen sind in den Kategorien Alter, Größe, Gewicht, BMI, WNTZ-Ausdauer, ident. Die Alternativhypothese ist daher: Die Ernährungs-Gruppen sind in den fünf Kategorien nicht ident.

Tabelle 15: Deskriptive Statistik für den ungepaarten t-Test

Gruppenstatistiken					
	Probanden	N	Mittelwert	Standardabw.	Standardfehler des Mittelwertes
Alter [Jahre]	KGr	11	28,82	8,635	2,604
	PGr	10	30,90	9,666	3,057
Größe [m]	KGr	11	1,8155	,06802	,02051
	PGr	10	1,8000	,07055	,02231
Gewicht [kg]	KGr	11	78,18	12,057	3,635
	PGr	10	79,80	7,115	2,250
BMI [kg/m ²]	KGr	11	23,564	2,5335	,7639
	PGr	10	24,600	2,0548	,6498
WNTZ-Ausdauer [h]	KGr	11	4,00	5,441	1,640
	PGr	10	3,30	4,547	1,438

Tabelle 16: t-Test bei unabhängigen Stichproben

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
Alter [Jahre]	Varianzen sind gleich	,184	,672	-,521	19	,608	-2,082	3,993	-10,439	6,275
	Varianzen sind nicht gleich			-,518	18,183	,610	-2,082	4,015	-10,511	6,348
Größe [m]	Varianzen sind gleich	,030	,864	,511	19	,615	,01545	,03025	-,04786	,07877
	Varianzen sind nicht gleich			,510	18,651	,616	,01545	,03031	-,04806	,07897
Gewicht [kg]	Varianzen sind gleich	6,649	,018	-,369	19	,716	-1,618	4,380	-10,785	7,549
	Varianzen sind nicht gleich			-,379	16,447	,710	-1,618	4,275	-10,661	7,425
BMI [kg/m ²]	Varianzen sind gleich	,528	,476	-1,023	19	,319	-1,0364	1,0133	-3,1572	1,0845
	Varianzen sind nicht gleich			-1,033	18,781	,315	-1,0364	1,0029	-3,1370	1,0643
WNTZ-Ausdauer [h]	Varianzen sind gleich	,000	,999	,318	19	,754	,700	2,201	-3,907	5,307
	Varianzen sind nicht gleich			,321	18,884	,752	,700	2,181	-3,868	5,268

Für die Parameter Alter, Größe, WNTZ-Ausdauer und BMI, hat der Levene-Test die Gleichheit der Varianzen bestätigt. Daher wurde die erste Spalte des t-Tests für die Beurteilung herangezogen. Für den Parameter Gewicht war die Signifikanz des Levene-Tests mit 0,018 kleiner als 0,05. Darum wurde in diesem Fall die Nullhypothese über die Gleichheit der Varianzen abgelehnt und somit die zweite Spalte des t-Tests für die Bewertung herangezogen.

Wie der t-Test gezeigt hat unterscheiden sich beide Ernährungs-Gruppen in allen 5 Kategorien nicht signifikant voneinander, da alle p-Werte⁵ des t-Tests größer als 0,05 sind. Somit wird die Nullhypothese für alle Kategorien beibehalten.

Daher besteht, trotz der nicht randomisierten Gruppeneinteilung, kein Grund zu der Annahme, dass diese im weiteren Sinn für den Feldversuch maßgebenden Kennzahlen der Studienteilnehmer den Ergebnis-Ausgang entscheidend beeinflusst haben.

5.3. Leistungsvergleich Kohlenhydrat- vs. Protein-Diät

Einseitiger t-Test bei unabhängigen Stichproben:

Mit diesem statistischen Test soll geprüft werden, ob sich die Ausdauerleistung mittels kohlenhydratbetonter Ernährung stärker verbessern lässt als mit proteinbetonter.

Die Nullhypothese lautet: Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz bei Kohlenhydrat-Ernährung ist nicht größer als bei der Protein-Ernährung. Die Alternativhypothese lautet daher: Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz bei Kohlenhydrat- Ernährung ist größer als bei der Protein-Ernährung.

Tabelle 17: Deskriptive Gruppen-Statistik für den ungepaarten t-Test

	Probanden	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Differenz (nach-vor)[km/h]	KGr	11	,1155	,27692	,08350
	PGr	10	,3340	,45608	,14422

⁵ p = Irrtums-Wahrscheinlichkeit. Wird unter der Bezeichnung Sig. (2-seitig) geführt.

Tabelle 18: t-Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	90% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
Differenz (nach-vor)[km/h]	Varianzen sind gleich	1,256	,276	-1,342	19	,195	-,21855	,16284	-,50011	,06302
	Varianzen sind nicht gleich			-1,311	14,571	,210	-,21855	,16665	-,51126	,07417

Da zuvor im Kapitel 4.4. (siehe Testvoraussetzungen) keine Varianz-Gleichheit angenommen wurde, wurde daher die zweite Spalte des t-Test für die Beurteilung herangezogen. Aufgrund dessen, dass der t-Test einseitig geführt wurde, muss für die Beurteilung die zweiseitige Signifikanz halbiert ($p/2$) werden.

Testausgang:

Der Einseitige-t-Test zeigt eine Signifikanz von 0,105 ($p/2$). Dieser Wert ist jedoch immer noch zu groß um die Nullhypothese abzulehnen. Daher muss die Nullhypothese (H_0) beibehalten werden. Die Nullhypothese (H_0) wäre auf dem 0,05-Niveau abgelehnt worden, wenn die zweiseitige Signifikanz (p) unter 0,1 gelegen wäre.

Unabhängig von jeder Testmethode kann H_0 nicht verworfen werden, weil ja in der Stichprobe die Kohlenhydrat-Gruppe schlechter abgeschnitten hat als die Protein-Gruppe und daher mit keinem Test geschlossen werden könnte, dass in der Gesamtheit kohlenhydratbetonte Ernährung für Ausdauerleistungen günstiger wäre als proteinbetonte.

5.4. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse

Das genannte Ziel der Untersuchung zu beweisen, dass kohlenhydratbetonte Ernährung für Ausdauerleistungen günstiger ist als proteinbetonte, konnte in diesem Feldversuch unter den in Kapitel 4. genannten Versuchsbedingungen nicht realisiert werden.

Denn wie die Ergebnisse dieser Feldstudie belegen, konnte in der Kohlenhydrat-Gruppe gegenüber der Protein-Gruppe keine signifikante Verbesserung der Ausdauerleistung festgestellt werden. Somit musste die Nullhypothese: „Kohlenhydratreiche Ernährung ist für die Leistung in einem 5000-Meter-Lauf nicht günstiger als proteinbetonte“ angenommen werden.

Eine Ursache, weshalb jene Annahme in diesem Feldversuch nicht verifiziert werden konnte, könnte sein, dass sich die Probanden der Protein-Gruppe nicht exakt an die Ernährungsvorschriften gehalten haben und dabei womöglich ihre Ernährung wieder zu stark mit Kohlenhydraten besetzt war und die Ernährung somit einer Mischkost gleichkam. Das würde auch die Tatsache erklären, warum in der Protein-Gruppe bei der zweiten Leistungsdiagnostik kaum Leistungseinbußen zu verzeichnen waren. Denn bei acht von zehn Teilnehmern konnte eine Zunahme der Laufgeschwindigkeit, sprich eine Verbesserung der Leistung, festgestellt werden.

Eine andere, aber eher unwahrscheinlichere Erklärung, dass von den Teilnehmern der Kohlenhydrat-Gruppe eine zu geringe Kohlenhydrat-Aufnahme zu Gunsten der Proteine erfolgte, scheint an dieser Stelle eher vernachlässigbar zu sein, wenn man bedenkt, dass sich im Großteil der Nahrungsmittel eher ein hoher Gehalt an Kohlenhydraten als von Proteinen findet. Schließt man weitere Parameter wie Training während der Testwoche, bekannte Laufbedingungen, Laufutensilien, genetische Faktoren, keine maximale Laufgeschwindigkeit, psychischen Stress, Energiedefizite, klimatische Verhältnisse etc. mit ein, so betreffen diese beide Ernährungs-Gruppen gleichermaßen.

Ein vielleicht entscheidender Punkt, warum die Annahme nicht verifiziert werden konnte, könnte die zu geringe Belastungsdauer sein.

Denn die mittlere Belastungsdauer des gesamten Untersuchungskollektivs, wobei beide Läufe berücksichtigt wurden, lag bei 26 ± 4 Minuten. Aus der Literatur (siehe Jeukendrup, 2003; Hawley u.a., 1997; Schek, 2008; König u.a., 2006) geht hervor, dass eine bedarfsgerechte Kohlenhydrataufnahme, sprich normal gefüllte Speicher, ausreichend erscheinen, um den Energiebedarf bei Anlässen unter 60 bis 90 Minuten zu decken. Daher lässt diese Argumentation den Schluss zu, dass die Dauer der Belastung zu kurz war, um die bekannten leistungsfördernden Wirkungen einer kohlenhydratbetonten Ernährung ersichtlich zu machen.

Was wiederum gegen eine zu geringe Belastungsdauer spricht, sind die hohen Belastungsintensitäten (zirka 88 – 96 % der $VO_2\max$ ⁶), die während eines 5000-Meter-Laufs auftreten. Denn gerade bei hohen Belastungsintensitäten (> 85 % der $VO_2\max$) werden vorwiegend die Glykogenreserven für die Energiegewinnung herangezogen [6]. Da diese Annahme an männlichen Breitensportlern im Alter von 18 bis 44 Jahren getestet wurde, wo man verglichen mit Leistungssportlern auch von einer weniger effizienten Glykogenspeicherung ausgehen kann, darf spekuliert werden, inwieweit sich die hier erhaltenen Ergebnisse auf professionelle Ausdauersportler als auch auf andere Studienpopulationen übertragen lassen.

⁶ [HOTTENROTT und NEUMANN, 2010].

6. Schlussbetrachtung

Basierend auf den Ergebnissen des 5000-Meter-Laufes zweier Gruppen von Breitensportlern, die jeweils in eine Gruppe (11 Probanden) mit sehr kohlenhydratbetonter Ernährung und eine Gruppe (10 Probanden) mit proteinreicher Ernährung eingeteilt und anschließend miteinander verglichen wurden, konnte keine statistisch signifikante Leistungssteigerung in der Kohlenhydrat-Gruppe festgestellt werden, obwohl dies aufgrund sportwissenschaftlicher Erkenntnisse (siehe „Carbo-loading“) zu erwarten gewesen wäre.

Dies impliziert natürlich, mögliche Ursachen-Faktoren dafür anzunehmen und eventuell zu evaluieren. Es könnte möglicherweise die zu geringe Anzahl der Testpersonen sein oder die zu kurze Dauer der Belastung bei einem 5000-Meter-Lauf, um den Profit des Carbo-loadings ausnutzen zu können. So wie es bei den o.a. Testergebnissen aussieht, scheint sich ein Vorteil der sehr kohlenhydratreichen Ernährung erst ab längeren Ausdauerbelastungen als solcher herauszukristallisieren. Aufgrund dieses Vergleichstestes wäre es aber ebenso unzulässig, die Hypothese „Proteinreiche Ernährung führt zu einer Leistungssteigerung“ aufzustellen.

Möglicherweise wäre es ratsam, weitere Untersuchungen unter anderen, neu konzipierten Versuchsbedingungen folgen zu lassen, um die Testergebnisse besser zu verstehen.

Aufgrund der hier vorliegenden Untersuchungsergebnisse scheint die Aufnahme einer gesunden, ausgewogenen Mischkost für Breitensportler der vernünftigste Kompromiss zur Erhaltung und Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit zu sein.

7. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Untersuchung bestand darin herauszufinden, ob sich bei männlichen Freizeitsportlern die Leistung im Rahmen einer hochintensiven in etwa 25-minütigen Ausdauerbelastung mit einem Kohlenhydrat-Ernährungsregime stärker verbessern lässt als mit einer proteinbetonten bzw. kohlenhydratarmen Ernährungsweise. Zu diesem Zweck wurden 21 Freizeitsportler nach einem ersten 5000-Meter-Testlauf in zwei Ernährungsgruppen aufgeteilt. Eine Gruppe (11 Probanden) ernährte sich danach 7 Tage lang kohlenhydratreich unter größtmöglichem Verzicht auf Proteine, die andere Gruppe (10 Probanden) war dazu angehalten, eine Woche lang ihren Energiebedarf vorzugsweise mit proteinreichen Nahrungsmitteln zu decken, bei gleichzeitig weitestgehender Reduktion der Kohlenhydrate.

Zur Ermittlung der Ausdauerleistung der Studienteilnehmer wurden die beiden Laufzeiten gemessen, die für die Absolvierung der 5000-Meter-Distanz benötigt wurden. Aus den erhaltenen Laufzeiten wurden die individuellen Laufgeschwindigkeiten der Probanden errechnet. Als Beurteilungsgröße für eine Verbesserung oder Verschlechterung der Ausdauerleistungsfähigkeit des Studienteilnehmers wurde die Differenz der Durchschnittsgeschwindigkeit herangezogen, welche sich durch die Subtraktion der Durchschnittsgeschwindigkeit des ersten von jener des zweiten Laufes ergab.

Die Auswertung der Ergebnisse wurde mit dem Statistikprogramm SPSS 16.0. durchgeführt. Die für diesen Leistungsvergleich relevante Testgröße wurde mit dem t-Test für unabhängige Stichproben auf dem Signifikanzniveau von 0,05 geprüft. Wie der Testausgang zeigte, konnten die Probanden mit der kohlenhydratreichen Ernährung ihre Leistung im 5000-Meter-Lauf gegenüber den Probanden, die sich proteinbetont ernährten, nicht verbessern.

Die genauen Gründe, warum die Annahme, dass kohlenhydratbetonte Ernährung für die Ausdauerleistung günstiger sei als proteinbetonte, nicht bestätigt wurde, konnte an dieser Stelle nicht eindeutig geklärt werden. Am wahrscheinlichsten scheinen eine zu kurze Belastungsdauer und eine zu ungenaue Einhaltung der Ernährungsvorschrift in der Protein-Gruppe zu sein.

Sofern letzterer Fall vorliegt, kann vermutet werden, ob möglicherweise der Energiebedarf in weiterer Folge doch zu einem höheren Prozentsatz als erlaubt mit Kohlenhydraten gedeckt wurde und die Ernährung somit einer ausgewogenen Mischkost glich.

Die Ergebnisse dieser Feldstudie lassen vermuten, dass eine extreme Ernährungsumstellung, sprich eine reine Kohlenhydrat-Ernährung ohne bzw. mit minimaler Proteinaufnahme, nicht erforderlich ist, um die Ausdauerleistung von Breitensportlern im Rahmen eines 5000-Meter-Laufes zu verbessern. Viel eher scheint es im Bereich des Breitensports angebracht, eine ausgewogene Mischkost zu wählen.

7. Abstract

The goal of this investigation was to find out whether a carbohydrate-orientated diet regime would lead to a more pronounced improvement of the performance of male amateur athletes during a high-intensity, 25-minute endurance test than a protein-rich, low-carb diet. To this end, 21 amateur athletes were divided into two dietary groups after a 5000-metre test run. For the next 7 days, one group (11 test persons) then adhered to a diet that was rich in carbohydrates and excluded protein as much as possible, while the other group (10 test persons) consumed mostly protein for this period while excluding carbohydrates to the greatest extent possible.

To determine the endurance performance of the study participants, the two times needed to complete the 5000-metre distance run (before and after dietary adjustment) were measured and used to analyse the individual running times of each test person. The average speed difference, resulting from subtracting the average speed of the first from that of the second run, was used as the evaluation value for determining the improvement or deterioration of each study participant's endurance performance.

Results were evaluated using the statistics programme SPSS 16.0. The relevant test value for this performance comparison was checked using the t-test for independent samples at a significance level of 0.05. The test showed that the test persons adhering to the high-carb regime were not able to improve their performance in the 5000 metre run compared with the test persons who followed a high-protein diet.

The precise reasons behind the assumption that a high-carb diet is better for endurance performance than a diet high in protein could not be investigated in detail in this study. Most likely, reasons include an insufficiently long endurance duration and imprecise adherence to the dietary rules in the protein group.

If the latter is the case, we may speculate whether test persons in the protein group did not after all consume a higher percentage of carbohydrates than permitted by the dietary regulations, thus ultimately following a balanced, diversified dietary regime.

The results of this field study give rise to the assumption that an extreme dietary adjustment, i.e. a purely carbohydrate-based diet with minimal protein intake, is not required to improve the endurance performance of amateur athletics as part of a 5000-

metre run. In fact, a balanced diet including both protein and carbohydrates seems more feasible for popular sports.

8. Literaturverzeichnis

ACHTEN J., JEUKENDRUP A.E.: Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int. J. Sports Med.* 24: 603 – 608, 2003

BEELEN M., BURKE L.M., GIBALA M.J., VAN LOON L.J.C.: Nutritional strategies to promote postexercise recovery. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 20(6): 515 – 532, 2010

BERG A., DEIBERT P., KÖNIG D.: Ernährungsempfehlungen für Sporttreibende. Vorteile für Leistungsfähigkeit und Gesundheit. *Ernährungs – Umschau.* 55: 662 – 669, 2008

BERG A., DICKHUTH H.H.: Sportmedizinische Aspekte des Energiestoffwechsels. In: *Sportmedizin für Ärzte. Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP).* (Dickhuth H.H., Mayer F., Röcker K., Berg A., Hrsg). 2. Auflage, Deutscher Ärzte – Verlag, Köln, 2010, 17 – 29.

BILLAT V.L., SIRVENT P., PY G., KORALSZTEIN J.P., MERCIER J.: The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med.* 33(6): 407 – 426, 2003

BLAAK E.: Gender differences in fat metabolism. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 4 (6): 499 – 502, 2001

BLOMSTRAND E., ELIASSON J., KARLSSON H.K., KÖHNKE R.: Branched – chain amino acids activate key enzymes in protein synthesis after physical exercise. *J. Nutr.* 136(1): 269 – 273, 2006

BURKE L.M., COLLIER G.R., DAVIS P.G., FRICKER P.A., SANIGORSKI A.J., HARGREAVES M.: Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings. *Am. J. Clin. Nutr.* 64(1): 115 – 119, 1996

- BURKE L.M., COLLIER G.R., HARGREAVES M.: Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *J. Appl. Physiol.* 75(2): 1019 – 1023, 1993
- BURKE L.M., COX G.R., CULMMINGS N.K., DESBROW B.: Guidelines for daily carbohydrate intake: do athletes achieve them? *Sports Med.* 31(4): 267 – 299, 2001
- BURKE L.M., HAWLEY J.A., ANGUS D.J., COX G.R., CLARK S.A., CUMMINGS N.K., DESBROW B., HARGREAVES M.: Adaptations to short – term high – fat diet persist during exercise despite high carbohydrate availability. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34(1): 83 – 91, 2002
- CALLES-ESCANDÓN J., POEHLMAN E.T.: Aging, fat oxidation and exercise. *Aging (Milano).* 9: 57 – 63, 1997
- CARLSOHN A., MAYER F.: Ernährung im Ausdauersport. *Aktuel. Ernährungsmed.* 35(4): 173 – 177, 2010
- COYLE E.F.: Substrate utilization during exercise in active people. *Am J Clin Nutr.* 61: 968 – 979, 1995
- CURRELL K., JEUKENDRUP A.E.: Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40(2): 275 – 281, 2008
- ELMADFA I., LEITZMANN C.: Ernährung bestimmter Bevölkerungsgruppen. In: *Ernährung des Menschen.* 4. Auflage, Eugen Ulmer – Verlag, Stuttgart, 2004, 480 – 518.
- ELMADFA I.: Makronährstoffe – energieliefernde Nahrungsbestandteile. In: *Ernährungslehre.* 1. Auflage, Eugen Ulmer – Verlag, Stuttgart, 2004, 57 – 108.
- FAIRCHILD T.J., FLETCHER S., STEELE P., GOODMAN C., DAWSON B., FOURNIER P.A.: Rapid carbohydrate loading after a short bout of near maximal – intensity exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34(6): 980 – 986, 2002

GAßMANN B.: Aminosäuren und Proteine. Teil 2: Proteine. Ernährungs – Umschau. 53 (Heft 5): 176 – 181, 2006

GLEESON M.: Interrelationship between Physical Activity and Branched-Chain Amino Acids. J. Nutr. 135(6): 1591 – 1595, 2005

GOEDECKE J.H., CHRISTIE C., WILSON G., DENNIS S.C., NOAKES T.D., HOPKINS W.G., LAMBERT E.V.: Metabolic adaptations to a high – fat diet in endurance cyclists. Metabolism. 48(12): 1509 – 1517, 1999

GRAF C., ROST R.: Physiologische Grundlagen. In: Sport- und Bewegungstherapie bei Inneren Krankheiten. Lehrbuch für Sportlehrer, Übungsleiter, Physiotherapeuten und Sportmediziner. (Rost R., Hrsg). 3. Auflage, Deutscher Ärzte – Verlag, Köln, 2005, 7 – 19.

GUALANO A.B., BOZZA T., LOPES DE CAMPOS P., ROSCHEL H., DOS SANTOS COSTA A., LUIZ MARQUEZI M., BENATTI F., HERBERT LANCHI JUNIOR A.: Branched-chain amino acids supplementation enhances exercise capacity and lipid oxidation during endurance exercise after muscle glycogen depletion. J. Sports Med. Phys. Fitness. 51(1): 82 – 88, 2011

HARGREAVES M., HAWLEY J.A., JEUKENDRUP A.: Pre – exercise carbohydrate and fat ingestion: effects on metabolism and performance. J. Sports Sci. 22(1): 31 – 38, 2004

HAUNER H., BERG A.: Körperliche Bewegung zur Prävention und Behandlung der Adipositas. Deutsches Ärzteblatt. 97 (Heft 12): 768 – 774, 2000

HAWLEY J.A., PALMER G.S., NOAKES T.D.: Effects of 3 days of carbohydrate supplementation on muscle glycogen content and utilisation during a 1 – h cycling performance. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 75(5): 407 – 412, 1997 (a)

HAWLEY J.A., SCHABORT E.J., NOAKES T.D., DENNIS S.C.: Carbohydrate – loading and exercise performance. An update. Sports Med. 24(2): 73 – 81, 1997 (b)

HELGE J.W., RICHTER E.A., KIENS B.: Interaction of training and diet on metabolism and endurance during exercise in man. *J. Physiol.* 492(1): 293 – 306, 1996

HICKNER R.C., FISHER J.S., HANSEN P.A., RACETTE S.B., MIER C.M., TURNER M.J., HOLLOSZY J.O.: Muscle glycogen accumulation after endurance exercise in trained and untrained individuals. *J. Appl. Physiol.* 83(3): 897 – 903, 1997

HOLLMANN W., STRÜDER H.K.: Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin. 5. Auflage, Schattauer – Verlag, Stuttgart, 2009

HOPPELER H.: Skeletal muscle substrate metabolism. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 23: 7 – 10, 1999

HOROWITZ J.F., KLEIN S.: Lipid metabolism during endurance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 72(2): 558 – 563, 2000

HOTTENROTT K., NEUMANN G.: Trainingswissenschaft. 1. Auflage, Meyer & Meyer – Verlag, Aachen, 2010

HULSTON C.J., WOLSK E., GRØNDAHL T.S., YFANTI C., HALL G.V.: Protein Intake Does Not Increase Vastus Lateralis Muscle Protein Synthesis during Cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2011

JENTJENS R.L., JEUKENDRUP A.E.: High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *Br. J. Nutr.* 93(4): 485 – 492, 2005

JEUKENDRUP A., GLEESON M.: Protein and Amino Acids. In: *Sport Nutrition: An Introduction to Energy Production and Performance*. 2nd. Edition, Human Kinetics, Champaign, 2010, 169 – 195.

JEUKENDRUP A.: High – carbohydrate versus high – fat diets in endurance sports. *Schweiz. Ztschr. Sportmed. Sporttraum.* 51(1): 17 – 23, 2003

- JEUKENDRUP A.E., JENTJENS R.: Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med.* 29(6): 407 – 424, 2000
- JEUKENDRUP A.E.: Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition.* 20(7-8): 669 – 677, 2004
- KNECHTLE B., BIRCHER S.: Determination of the intensity of the highest fat oxidation – theory and practice. *Clinical Sports Medicine.* 6(2): 39 – 45, 2005
- KNECHTLE B., BIRCHER S.: Limitierende Faktoren der Fettverbrennung. *Schweiz. Ztschr. Sportmed. Sporttraum.* 54 (2): 51 – 56, 2006
- KÖNIG D., DEIBERT P., BERG A.: Kohlenhydrate als Energieträger im Sport und ihr Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. *Aktuel. Ernährungsmed.* 31: 89 – 95, 2006
- KÖNIG D., HAMM M., DICKHUTH H.H., BERG A.: Proteinzufuhr im Sport – Bedeutung für Aufbau und Erhalt der muskulären Leistungsfähigkeit. *Sport- und Präventivmedizin.* 40(3): 7 – 11, 2010
- LANG F., LANG P.: Arbeits und Leistungsphysiologie. In: *Basiswissen Physiologie.* 2. Auflage, Springer – Verlag, Heidelberg, 2007, 139 – 149.
- LUPPA D.: Beteiligung von L – Carnitin an der Regulation des Fett- und Kohlenhydratstoffwechsels. *Klin. Sportmed.* 5(1): 25 – 34, 2004
- MACK I., HAUNER H.: Low Carb. Kohlenhydratarme Kostformen unter die Lupe genommen. *Ernährungs Umschau.* 12: 720 – 726, 2007
- MAHER A.C., AKHTAR M., VOCKLEY J., TARNOPOLSKY M.A.: Women have higher protein content of beta-oxidation enzymes in skeletal muscle than men. *PLoS ONE* 5 (8): e12025, 2010

MANNHART C., COLOMBANI P.: Grundlagen der Sporternährung – die elementare Bedeutung der Energie -, Makronährstoff- und Flüssigkeitszufuhr. Schweiz. Ztschr. Sportmed. Sporttraum. 49 (3): 125 – 130, 2001

MANNHART C.: Ernährung/Supplemente in der Kälte. In: Basics for success. Ratgeber zur optimalen Vorbereitung auf die olympischen Spiele in Vancouver 2010. Swiss Olympic Haus des Sports, Bern, 2009, 34 – 52.

MITTENDORFER B., KLEIN S.: Effect of aging on glucose and lipid metabolism during endurance exercise. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 11: 86 – 91, 2001

NELSON A.G., ARNALL D.A., KOKKONEN J., DAY R., EVANS J.: Muscle glycogen supercompensation is enhanced by prior creatine supplementation. Med. Sci. Sports Exerc. 33(7): 1096 – 1100, 2001

NEUMANN G., PFÜTZNER A., BERBALK A.: Sporternährung. In: Optimiertes Ausdauertraining. Trainingsplanung, Leistungsaufbau, Ernährungstipps. 6. Auflage, Meyer & Meyer – Verlag, Aachen, 2011, 257 – 285.

PAUL D., JACOBS K.A., GEOR R.J., HINCHCLIFF K.W.: No effect of pre – exercise meal on substrate metabolism and time trial performance during intense endurance exercise. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 13(4): 489 – 503, 2003

PHILLIPS S.M.: Dietary protein for athletes: from requirements to metabolic advantage. Appl. Physiol. Nutr. Metab. 31(6): 647 – 654, 2006

PIZZA F.X., FLYNN M.G., DUSCHA B.D., HOLDEN J., KUBITZ E.R.: A carbohydrate loading regimen improves high intensity, short duration exercise performance. Int. J. Sport Nutr. 5(2): 110 – 116, 1995

POEHLMAN E.T., TOTH M.J., FONONG T.: Exercise, substrate utilization and energy requirements in the elderly. Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord. 19: 93 – 96, 1995

- PRINZHAUSEN J., FIKENZER S., HERGET M., BÄNSCH M., ALBERS T.:
Nutrition in Endurance Sports: Adapting the Macronutrient Ratio to Fit the Level of
Exercise Intensity. *Clinical Sports Medicine*. 11 (1): 1 – 17, 2010
- RODRIGUEZ N.R., DI MARCO N.M., LANGLEY S.: American College of Sports
Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*
41(3): 709 – 731, 2009
- RUSKO H., LUHTANEN P., RAHKILA P., VIITASALO J., REHUNEN S.,
HÄRKÖNEN M.: Muscle metabolism, blood lactate and oxygen uptake in steady state
exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55 (2): 181 – 186,
1986
- SAFDAR A., LITTLE J.P., STOKL A.J., HETTINGA B.P., AKHTAR M.,
TARNOPOLSKY M.A.: Exercise increases mitochondrial PGC-1{alpha} content and
promotes nuclear-mitochondrial cross – talk to coordinate mitochondrial biogenesis. *J*
Biol Chem., 2011
- SAWKA M.N., BURKE L.M., EICHNER E.R., MAUGHAN R.J., MONTAIN S.J.,
STACHENFELD N.S.: American College of Sports Medicine position stand. Exercise
and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39(2): 377 – 390, 2007
- SCHEK A.: Die Ernährung des Sportlers. Empfehlungen für die leistungsorientierte
Trainingspraxis. *Ernährungs Umschau*. 6: 362 – 370, 2008
- SCHEK A.: Grundlagen der Sportlerernährung. *Ernährung – Wissenschaft und Praxis*. 2
(5): 196 – 204, 2008
- SCHEK A.: Mediterrane Kost auch für Leistungssportler?! *Leistungssport*. 5: 16 – 25,
2003
- SCHEK A.: Protein in der Sportler – Ernährung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*.
55 (3): 83, 2004

SCHURR S.: Ernährung Im Ausdauersport. In: Ernährung Im Ausdauersport: Leitfaden für Optimale Leistungsfähigkeit in Training und Wettkampf. Books on Demand – Verlag, Norderstedt, 2004, 44 – 68.

SHINOHARA A., TAKAKURA J., YAMANE A., SUZUKI M.: Effect of the classic 1-week glycogen – loading regimen on fat – loading in rats and humans. J. Nutr. Sci. Vitaminol (Tokyo). 56(5): 299 – 304, 2010

SMEKAL G.: Substratutilisation muskulärer Energiestoffwechsel. In: Kompendium der Sportmedizin. Physiologie, innere Medizin und Pädiatrie. (Pokan R., Förster H., Hofmann P., Hörtnagl H., Ledl - Kurkowski E., Wonisch M., Hrsg.). Springer – Verlag, Wien, 2004, 83 – 103.

STARLING R.D., TRAPPE T.A., PARCELL A.C., KERR C.G., FINK W.J., COSTILL D.L.: Effects of diet on muscle triglyceride and endurance performance. J. Appl. Physiol. 82(4): 1185 – 1189, 1997

STEPTO N.K., CAREY A.L., STAUDACHER H.M., CUMMINGS N.K., BURKE L.M., HAWLEY J.A.: Effect of short – term fat adaptation on high – intensity training. Med. Sci. Sports Exerc. 34(3): 449 – 455, 2002

TARNOPOLSKY M.A.: Females and males: should nutritional recommendations be gender specific? Schweiz. Ztschr. Sportmed. Sporttraum. 51(1): 39 – 46, 2003

TARNOPOLSKY M.A.: Gender differences in metabolism; nutrition and supplements. J. Sci. Med. Sport. 3(3): 287 – 298, 2000

TOMASITS J., HABER P.: Leistungsphysiologie. Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur. 3. Auflage, Springer – Verlag, Wien, 2008

VAN HALL G., RAAYMAKERS J.S., SARIS W.H., WAGENMAKERS A.J.: Ingestion of branched – chain amino acids and tryptophan during sustained exercise in man: failure to affect performance. J. Physiol. 486(3): 789 – 794, 1995

VAN LOON L.J., GREENHAFF P.L., CONSTANTIN-TEODOSIU D., SARIS W.H., WAGENMAKERS A.J.: The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J. Physiol.* 536: 295 – 304, 2001

VAN LOON L.J., MURPHY R., OOSTERLAAR A.M., CAMERON – SMITH D., HARGREAVES M., WAGENMAKERS A.J., SNOW R.: Creatine supplementation increases glycogen storage but not GLUT-4 expression in human skeletal muscle. *Clin. Sci.* 106(1): 99 – 106, 2004

WAGENMAKERS A.J.: Muscle amino acid metabolism at rest and during exercise: role in human physiology and metabolism. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 26: 287 – 314, 1998

WEINECK J.: *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung es Kinder und Jugendtrainings.* 14. Auflage, Spitta – Verlag, Balingen, 2004

WHITLEY H.A., HUMPHREYS S.M., CAMPBELL I.T., KEEGAN M.A., JAYANETTI T.D., SPERRY D.A., MACLAREN D.P., REILLY T., FRAYN K.N.: Metabolic and performance responses during endurance exercise after high – fat and high – carbohydrate meals. *J. Appl. Physiol.* 85(2): 418 – 424, 1998

WILMORE J.H., COSTILL D.L., KENNEY W.L.: *Physiology of sport and Exercise.* Fourth Edition, Human Kinetics, Champaign, United states, 2008

WRIGHT D.A., SHERMAN W.M., DERNBACH A.R.: Carbohydrate feedings before, during, or in combination improve cycling endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 71(3): 1082 – 1088, 1991

ZEHNDER M., ITH M., KREIS R., SARIS W., BOUTELLIER U., BOESCH C.: Gender-specific usage of intramyocellular lipids and glycogen during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 (9): 1517 – 1524, 2005

9. Anhang

Anhang 1: Ernährungspläne

Anhang 2: Rohdaten

Anhang 3: Lebenslauf

Anhang 1: Ernährungspläne

Ernährungsplan – kohlenhydratreiche Kost

(Dauer 1 Woche)

Kohlenhydratreiche Nahrungsmittel:

- **Nudelwaren/Vollkornnudelwaren**
- **Teigwaren**
- **Obst**
- **Gemüse (Salat = Blattgemüse)**
- **Getreide (Reis, Weizen, Hafer, Roggen, Hirse, Mais, Dinkel, Gerste etc.)**
- **Brot**
- **Müsli**
- **Süßigkeiten**
- **Säfte**

Eiweißreiche bzw.- haltige Lebensmittel:

- **Fleisch**
- **Fisch, Meeresfrüchte**
- **Eier**
- **Milch & Milchprodukte**
- **Nüsse**
- **Pilze**
- **Hülsenfrüchte (z. B. Erbsen, Kichererbsen, Bohnen, Sojabohnen und Linsen)**
- **Tofu**
- **Quorn⁷**
- **Seitan⁸**

⁷ eiweißreicher vegetarischer Fleischersatz (Pilzeiweiß).

⁸ eiweißreicher vegetarischer Fleischersatz (Weizeneiweiß).

Für diesen Ernährungsplan gilt bevorzugt kohlenhydratreiche Lebensmittel aufzunehmen und die eiweißhaltigen Lebensmittel mehr oder weniger auszusparen!! Diese stark kohlenhydratfixierte Ernährungsweise hat den Zweck, die Muskelglykogenspeicher aufzufüllen.

Milch & Hülsenfrüchte:

Milch bzw. Milchprodukte sowie Hülsenfrüchte nehmen eine Sonderstellung ein, da sie sowohl kohlenhydrat-, als auch eiweißreich sind! Man sollte sie also im Rahmen dieses Ernährungsplans auch nur in Maßen genießen, damit die Ernährung nicht zu eiweißreich wird.

Energieaufnahme:

Ratsam wäre es, die tägliche Nahrungsaufnahme auf fünf Mahlzeiten aufzuteilen. Empfohlen wird daher, die tägliche Nahrungsaufnahme (Angabe in Energieprozent) wie folgt zu gestalten:

- Frühstück (~ 25 E %)
- Snack (~10 E %)
- Mittagsessen (~ 30 E %)
- Snack (~ 10 E %)
- Abendessen (~ 25 E %)

Versuchen Sie, Ihren täglichen Energieverbrauch mit Hilfe der Energieangabe (kcal) auf den Lebensmittelverpackungen (gilt auch für Getränke!) überschlagmäßig zu überprüfen und grobe kalorische Über- und Unterschreitungen (± 300 kcal) zu vermeiden. Besonders bei dieser Ernährungsvorschrift wäre eine stark energiereduzierte Ernährungsweise hinderlich für die Muskelglykogeneinlagerung.

Ihr geschätzter Tagesenergieverbrauch beträgt

~ kcal/Tag.

Essensvorschläge:

Es obliegt Ihnen, mit den oben genannten Vorgaben Ihren eigenen Speiseplan ganz individuell zusammenzustellen. Die Vorschläge sind lediglich als Hilfestellung gedacht, um Ihnen Anregungen zu geben und Ihnen die Menüzusammenstellung zu erleichtern.

Frühstück:

- Müsli mit Früchten
- Obstsalat
- Früchte
- Kompott
- Obstkuchen
- Schoko bzw. Vanille-Croissant
- Gebäck
- Butterbrot mit Marmelade oder Honig – jedoch in Maßen und nicht täglich, siehe Erläuterung zu den Milchprodukten.

Mittagessen:

- Gemüselasagne
- Getreidelaiabchen mit Gemüse
- Diverse Salate ohne Fisch, Fleisch und Ei
- Zwiebelsuppe
- Minestrone
- Spaghetti mit Pesto
- Kartoffelgulasch ohne Wurst
- Gemüseris/Gemüsenudel
- Kartoffelpuffer
- Mohnnudel

Snack:

- Obst
- Rohes Gemüse
- Apfelmus
- Dörrobst
- Kekse
- Müsliriegel
- Kornspitz

Abendessen:

- Gazpacho
- Gemüse-Risotto
- Pizza ohne Fleisch-, Fisch- oder Eiaufgabe – jedoch auch in Maßen wegen der Käseaufgabe
- Spaghetti mit Tomatensauce
- Spaghetti aglio e olio
- Spinatstrudel
- Fritatten-, Grießnockerl-, Nudel-Suppe
- Krautfleckerln
- Kartoffelsalat
- Marmelade-Palatschinken
- Gemüselaiabchen
- Ratatouille

Getränke:

Prinzipiell sind so gut wie alle Getränke erlaubt, mit Ausnahme von Eiweißshakes und alkoholischen Getränken. Alkohol beeinträchtigt das sportliche Leistungsvermögen!

Auch Milchgetränke sollten im Rahmen dieser Ernährungsvorschrift mit Zurückhaltung konsumiert werden, da ein regelmäßiger Konsum zu einer erhöhten Eiweißaufnahme führen würde. Das bedeutet jedoch nicht, dass man seinen Kaffee nicht mit Milch trinken kann.

Zur Auswahl stehen somit: **Mineralwasser, Wasser, Tee, Kaffee, Limonaden, Fruchtsäfte, Energiegetränke, Sirup, Sportgetränke.**

Die tägliche Flüssigkeitszufuhr sollte in etwa **30 ml pro kg KG** ausmachen. Das wären im Fall einer 80 kg schweren Person 2,4 Liter.

Aus ernährungswissenschaftlicher Sicht möchte ich jedoch anmerken, dass gezuckerte (Säfte, Limonaden, Energiedrinks etc.) und koffeinhaltige Getränke zu den Genussmitteln zählen und daher im normalen Alltag nur mit Bedacht konsumiert werden sollten.

Allgemeine Informationen:

Im Rahmen meiner Diplomarbeit „Einfluss von Kohlenhydrat- versus Protein-Diät auf die Leistung im 5000-Meter-Lauf“ muss ich 20 männliche Personen hinsichtlich Ihrer Leistung (anhand des 5000-Meter-Laufs) vor und nach dem Ernährungsplan testen. Es werden zwei unterschiedliche Ernährungspläne angefertigt, einer auf der Basis von kohlenhydratreicher Kost, der andere beruht auf einer eiweißreichen Kost.

Im Anschluss an den ersten 5000-Meter-Lauf ernährt sich eine Gruppe eine Woche lang kohlenhydratreich, die andere proteinbetont. Ziel ist es, zu testen, welchen Einfluss die unterschiedlichen Ernährungsformen auf die Leistung haben.

Der Lauf erfolgt auf einer Leichtathletik-Laufbahn. Eine Laufbahnrunde entspricht genau 400 Metern. Insgesamt müssen für die Absolvierung der 5000 Meter 12 ½ Runden zurückgelegt werden.

Während der gesamten Testwoche sollte auf sportliche Aktivitäten verzichtet werden!

Worauf sollte ich vor dem Lauf achten?

- Bequeme Laufkleidung mitnehmen (z. B. keine neuen Laufschuhe testen)
- Ausgeruht zum Lauf erscheinen (ausreichend schlafen)
- 3 bis 4 Stunden vor dem Start sollte die letzte Nahrungsaufnahme stattfinden
- Am Tag vor dem ersten Lauf nicht intensiv Sport betreiben
- Kein Kaffee und Alkohol an den Testtagen
- Kräfte einteilen (nicht zu schnell loslaufen)
- 4 Stunden vor dem Lauf sollte mit dem Trinken begonnen werden
- Nicht aufs Aufwärmen vergessen (planen Sie sich dafür 10 – 20 Minuten ein)!

Ad Ernährung:

Die Ernährungspläne wurden lediglich für diese Untersuchung angefertigt. Sie dienen primär weder zur Gewichtsabnahme noch dazu, Gewicht zuzunehmen. Beide Ernährungsvorschriften erheben auch keinen Anspruch auf eine bedarfsdeckende Kost. Ebenso wenig sind sie als Dauerkostform geeignet.

Als Dauerkostform gilt die Lebensmittelpyramide der deutschen Gesellschaft für Ernährung sowie die dazu verfassten „10 Regeln der DGE“. Nähere Informationen finden Sie unter: www.dge.de

Wie schnell muss bzw. soll ich laufen?

Hierbei kommt es nicht auf die Zeit an, sondern jeder soll in beiden 5000-Meter-Läufen an seinem persönlichen Limit, sprich mit maximaler Geschwindigkeit, laufen.

Ich wünsche Ihnen gutes Gelingen bei der Umsetzung des Ernährungsplans und bedanke mich herzlichst für Ihre tatkräftige Mitarbeit sowie Ihren sportlichen Ehrgeiz.

Mit freundlichen Grüßen

Clemens Frimmel

Ernährungsplan – proteinreiche Kost

(Dauer 1 Woche)

Eiweißreiche bzw.- haltige Lebensmittel:

- **Fleisch**
- **Fisch, Meeresfrüchte**
- **Eier**
- **Milch & Milchprodukte**
- **Nüsse**
- **Pilze**
- **Hülsenfrüchte (z. B. Erbsen, Kichererbsen, Bohnen, Sojabohnen und Linsen)**
- **Tofu**
- **Quorn⁹**
- **Seitan¹⁰**

Kohlenhydratreiche Nahrungsmittel:

- **Nudelwaren/Vollkornnudelwaren**
- **Teigwaren**
- **Obst**
- **Gemüse (Salat = Blattgemüse)**
- **Getreide (Reis, Weizen, Hafer, Roggen, Hirse, Mais, Dinkel, Gerste etc.)**
- **Brot**
- **Müsli**
- **Süßigkeiten**
- **Säfte**

⁹ eiweißreicher vegetarischer Fleischersatz (Pilzeiweiß).

¹⁰ eiweißreicher vegetarischer Fleischersatz (Weizeneiweiß).

Für diesen Ernährungsplan gilt, bevorzugt eiweißreiche Lebensmittel aufzunehmen und die kohlenhydrathaltigen Lebensmittel mehr oder weniger auszusparen.

Auch Getreide (Reis, Weizen, Mais, Hafer, Roggen, Hirse etc.) enthält mehr oder weniger Anteile an Eiweiß. Da man sie **nicht** zu den eiweißreichen Nahrungsmitteln zählt, sollte man sie im Rahmen dieses Ernährungsplans eher aussparen. Durch einen regelmäßigen Konsum wäre die Kost hierfür zu kohlenhydratlastig. Selbiges gilt für diverse Obst- und Gemüsesorten.

Energieaufnahme:

Ratsam wäre, die tägliche Nahrungsaufnahme auf fünf Mahlzeiten aufzuteilen. Empfohlen wird daher die tägliche Nahrungsaufnahme (Angabe in Energieprozent) wie folgt zu gestalten:

- Frühstück (~ 25 E %)
- Snack (~10 E %)
- Mittagsessen (~ 30 E %)
- Snack (~ 10 E %)
- Abendessen (~ 25 E %)

Versuchen Sie, Ihren täglichen Energieverbrauch mit Hilfe der Energieangabe (kcal) auf den Lebensmittelverpackungen (gilt auch für Getränke!) überschlagmäßig zu überprüfen und grobe kalorische Über- und Unterschreitungen (± 300 kcal) zu vermeiden!

Ihr geschätzter Tagesenergieverbrauch beträgt

~ kcal/Tag.

Essensvorschläge:

Es obliegt Ihnen, mit den oben genannten Vorgaben Ihren eigenen Speiseplan ganz individuell zusammenzustellen. Die Vorschläge sind lediglich als Hilfestellung gedacht, um Ihnen Anregungen zu geben und Ihnen die Menüzusammenstellung zu erleichtern.

Frühstück:

- Sojapudding
- Joghurt/mit Nüssen
- Käse ohne klassische Beilage
- Ham & Eggs
- Omlette mit Champignons
- Käseomlette
- Gekochtes Ei

Mittagessen:

- Chilli con carne
- Specklinsen
- Bohnensalat
- Saures Essigfleisch
- Eierschwammerln geröstet mit Ei
- Geschnetzertes
- Erbsensuppe mit Würstel
- Rinds-, Hühnersuppe mit Fleischeinlage (z. B. Leberknödel, Rindfleisch)
- Gulasch
- Gebackener Emmentaler
- Quorn

Snack:

- Diverse Nüsse (Erdnüsse, Maroni, Pistazien, Kokosnuss, Mandeln)
- Joghurt
- Proteinshake
- Hartes Ei

Abendessen:

- Tofu in Sojasauce
- Selchfleisch mit Erbsenpüree
- Kichererbseneintopf
- Fischsuppe
- Wurstsalat
- Schwammerlgulasch
- Gegrillter Fisch
- Linsensuppe
- Back-, Brathuhn
- Seitan

Prinzipiell kann jedes Fleisch- und Fischgericht gegessen werden sowie alle anderen Lebensmittel in der oben genannten Liste für eiweißreiche Nahrungsmittel. Es sei hier nochmals erwähnt, dass „**klassische Beilagen**“ wie etwa, Reis, Kartoffeln, Nudeln, Semmelknödel, Obst, Gemüse, Brot und Getreide-Produkte etc. ausgespart werden sollten.

Getränke:

Zur Auswahl stehen: **Mineralwasser, Trinkwasser, Tee, Kaffee (jeweils ungesüßt), Proteinshakes (Eiweißpulver mit Wasser oder Milch aufgemixt), Butter-/Sauermilch, Molke.**

Die tägliche Flüssigkeitszufuhr sollte in etwa **30 ml pro kg KG** ausmachen. Das wären im Fall einer 80 kg schweren Person 2,4 Liter.

Auf zuckerhaltige Getränke (*Fruchtsäfte, Sirup, Limonaden, Energiedrinks, Sportgetränke*) sollte im Rahmen dieser Ernährungsvorschrift verzichtet werden, da sie sehr kohlenhydratreich sind. Gleiches gilt für alkoholische Getränke, zudem beeinträchtigt Alkohol die sportliche Leistungsfähigkeit.

Allgemeine Informationen:

Im Rahmen meiner Diplomarbeit „Einfluss von Kohlenhydrat- versus Protein-Diät auf die Leistung im 5000-Meter-Lauf“ muss ich 20 männliche Personen hinsichtlich Ihrer Leistung (anhand des 5000-Meter-Laufs) vor und nach dem Ernährungsplan testen. Es werden zwei unterschiedliche Ernährungspläne angefertigt, einer auf der Basis von kohlenhydratreicher Kost, der andere beruht auf einer eiweißreichen Kost.

Im Anschluss an den ersten 5000-Meter-Lauf ernährt sich eine Gruppe eine Woche lang kohlenhydratreich, die andere proteinbetont. Ziel ist es, zu testen, welchen Einfluss die unterschiedlichen Ernährungsformen auf die Leistung haben.

Der Lauf erfolgt auf einer Leichtathletik-Laufbahn. Eine Laufbahnrunde entspricht genau 400 Metern. Insgesamt müssen für die Absolvierung der 5000 Meter 12 ½ Runden zurückgelegt werden.

Während der gesamten Testwoche sollte auf sportliche Aktivitäten verzichtet werden!

Worauf sollte ich vor dem Lauf achten?

- Bequeme Laufkleidung mitnehmen (z. B. keine neuen Laufschuhe testen)
- Ausgeruht zum Lauf erscheinen (ausreichend schlafen)
- 3 bis 4 Stunden vor dem Start sollte die letzte Nahrungsaufnahme stattfinden
- Am Tag vor dem ersten Lauf nicht intensiv Sport betreiben
- Kein Kaffee und Alkohol an den Testtagen
- Kräfte einteilen (nicht zu schnell loslaufen)
- 4 Stunden vor dem Lauf sollte mit dem Trinken begonnen werden
- Nicht aufs Aufwärmen vergessen (planen Sie sich dafür 10 – 20 Minuten ein)!

Ad Ernährung:

Die Ernährungspläne wurden lediglich für diese Untersuchung angefertigt. Sie dienen primär weder zur Gewichtsabnahme noch dazu, Gewicht zuzunehmen. Beide Ernährungsvorschriften erheben auch keinen Anspruch auf eine bedarfsdeckende Kost. Ebenso wenig sind sie als Dauerkostform geeignet.

Als Dauerkostform gilt die Lebensmittelpyramide der deutschen Gesellschaft für Ernährung sowie die dazu verfassten „10 Regeln der DGE“. Nähere Informationen finden Sie unter: www.dge.de

Wie schnell muss bzw. soll ich laufen?

Hierbei kommt es nicht auf die Zeit an, sondern jeder soll in beiden 5000-Meter-Läufen an seinem persönlichen Limit, sprich mit maximaler Geschwindigkeit, laufen.

Ich wünsche Ihnen gutes Gelingen bei der Umsetzung des Ernährungsplans und bedanke mich herzlichst für Ihre tatkräftige Mitarbeit sowie Ihren sportlichen Ehrgeiz.

Mit freundlichen Grüßen

Clemens Frimmel

Anhang 2: Rohdaten

Probanden	Alter [Jahre]	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m ²]	Beruf	WNTZ Ausdauer	WNTZ Gesamt	Ernährungsplan	Zeit vor Ernährungsplan	Zeit nach Ernährungsplan	Geschwindigkeit vor [km/h]	Geschwindigkeit nach [km/h]	Differenz (nach-vor) [km/h]
PGr	29	1,78	73	23,0	sitzend	1	4	Protein	25:19,67 min	24:55,72 min	11,84	12,03	0,18
PGr	20	1,83	72	21,5	sitzend	0	2	Protein	37:27 min	34:18 min	8,01	8,75	0,74
PGr	31	1,84	86	25,4	sitzend	0	2	Protein	35:08 min	30:23 min	8,54	9,87	1,33
PGr	23	1,88	80	22,6	stehend	9	9	Protein	22:41,50 min	22:32,78 min	13,22	13,31	0,09
PGr	44	1,83	84	25,1	sitzend	2	6	Protein	24:26,03 min	23:13,97 min	12,28	12,91	0,63
PGr	43	1,88	94	26,6	sitzend	8	8	Protein	25:21,01 min	25:26,42 min	11,83	11,79	-0,04
PGr	44	1,84	74	27,5	sitzend	0	12	Protein	25:31,7 min	25:01,13 min	11,75	11,99	0,24
PGr	20	1,77	79	25,2	stehend	1	8	Protein	27:17,59 min	27:57,62 min	10,99	10,73	-0,26
PGr	24	1,79	73	22,8	sitzend	12	12	Protein	17:34,12 min	17:15,73 min	17,08	17,38	0,3
PGr	31	1,76	83	26,8	stehend	0	3	Protein	26:47,31 min	26:29,54 min	11,2	11,32	0,13
KGr	20	1,74	65	21,5	sitzend	0	1	Kohlenhydrat	27:40,21 min	26:24,10 min	10,84	11,36	0,52
KGr	19	1,85	75	21,9	stehend	4	11	Kohlenhydrat	23:08,13 min	23:27,91 min	12,97	12,78	-0,18
KGr	41	1,78	75	23,7	sitzend	3	6	Kohlenhydrat	24:17,09 min	23:55,03 min	12,35	12,53	0,19
KGr	41	1,75	62	20,2	stehend	15	15	Kohlenhydrat	20:27,00 min	20:32,12 min	14,67	14,61	-0,06
KGr	30	1,8	85	26,2	stehend	0	2	Kohlenhydrat	35:34 min	34:50 min	8,43	8,61	0,18
KGr	29	1,72	88	23,0	stehend	0	4	Kohlenhydrat	25:19,43 min	24:26,88 min	11,85	12,27	0,42
KGr	18	1,82	66	19,9	sitzend	0	3	Kohlenhydrat	27:24,60 min	26:57,52 min	10,94	11,13	0,18
KGr	40	1,93	90	24,2	stehend	14	14	Kohlenhydrat	26:12,39 min	26:27,04 min	11,45	11,34	-0,11
KGr	26	1,89	91	25,5	sitzend	1	1	Kohlenhydrat	28:04,62 min	28:46,73 min	10,68	10,42	-0,26
KGr	24	1,89	96	26,9	stehend	4	7	Kohlenhydrat	25:42,28 min	25:55,09 min	11,67	11,57	-0,1
KGr	29	1,8	87	26,9	sitzend	3	4	Kohlenhydrat	22:40,72 min	21:52,99 min	13,23	13,71	0,49

Probanden	Distanz [m]	Zeit 1 [min]	Zeit 1 [sec]	Gesamtzeit 1 [sec]	Geschwindigkeit vor [m/s]	Geschwindigkeit vor [km/h]	Zeit 2 [min]	Zeit 2 [sec]	Gesamtzeit 2 [sec]	Geschwindigkeit danach [m/s]	Geschwindigkeit danach [km/h]	Differenz [km/h]
PGr	5000	25	19,67	1519,67	3,293188001	11,846768	24	56,72	1496,72	3,346638396	12,0262975	0,186520999
PGr	5000	37	27	2247	2,225189141	8,01068998	34	18	2058	2,429543246	8,746555885	0,736574777
PGr	5000	35	8	2108	2,371916509	8,538999431	30	23	1823	2,742731761	9,873834339	1,339934008
PGr	5000	22	41,5	1361,5	3,67420125	13,2107245	22	32,78	1352,78	3,696092991	13,31693297	0,086220518
PGr	5000	24	26,18	1466,03	3,401574407	12,27085707	23	13,97	1393,97	3,586877766	12,97275996	0,634702893
PGr	5000	25	21,01	1521,01	3,28728967	11,83424172	25	26,42	1526,42	3,275638422	11,79229832	-0,041943402
PGr	5000	25	31,72	1531,72	3,26430481	11,75149505	25	1,13	1501,13	3,330824113	11,9906681	0,239471754
PGr	5000	27	17,99	1637,99	3,053267301	10,99176228	27	57,62	1677,62	2,990412728	10,72948392	-0,262776466
PGr	5000	17	34,12	1054,12	4,749293984	17,0786474	17	15,73	1035,73	4,827512962	17,3794666	0,303191921
PGr	5000	26	47,31	1607,31	3,110787889	11,1988332	26	29,54	1589,54	3,145564125	11,32403085	0,125195331
KGr	5000	27	40,21	1660,21	3,01167199	10,84200192	26	24,1	1584,1	3,156366391	11,36291391	0,520971092
KGr	5000	23	8,13	1388,13	3,601968115	12,9670852	23	27,91	1407,91	3,551333388	12,7894083	-0,182177089
KGr	5000	24	17,69	1457,69	3,430084686	12,34830451	23	56,08	1436,08	3,48182141	12,53455708	0,186252568
KGr	5000	20	27	1227	4,074979625	14,6699665	20	32,12	1232,12	4,058046294	14,61896666	-0,060999911
KGr	5000	35	34	2134	2,343012807	8,434864105	34	50	2090	2,392344898	8,612440191	0,177576086
KGr	5000	25	19,43	1519,43	3,2907077	11,8454772	24	26,88	1466,88	3,408595113	12,27094241	0,42439469
KGr	5000	27	24,6	1644,6	3,040252949	10,94491062	26	57,52	1627,52	3,091151887	11,12814679	0,188236176
KGr	5000	26	12,39	1572,39	3,17987678	11,44754164	26	27,04	1587,04	3,150519206	11,3488914	-0,1056775
KGr	5000	28	4,62	1684,62	2,968028998	10,68491023	28	46,73	1726,73	2,895646685	10,42432807	-0,26574168
KGr	5000	25	42,18	1542,18	3,24216869	11,67178929	25	55,09	1555,09	3,215247992	11,57089277	-0,056865314
KGr	5000	22	40,72	1360,72	3,674525351	13,2282909	21	52,59	1312,59	3,809261603	13,7134357	0,486194466

Anhang 3: Lebenslauf

Name: Frimmel Clemens
Geburtsdatum: 25.08.1981
Geburtsort: Klagenfurt (9020), Kärnten
Staatsangehörigkeit: Österreich
Familienstand: Ledig
Religionsbekenntnis: Römisch-Katholisch

Ausbildung:

Schule: AHS-Matura (Erhalt am: 6. Februar 2001). Höhere Bundes – Lehr und Versuchsanstalt für chemische Industrie (in Wien) Wintersemester 2007/2008 bis Sommersemester 2008/2009.

Studium:**Universität Graz:**

Sommersemester 2001 Studium der Medizin (danach geschlossen).

Universität Klagenfurt:

Wintersemester 2001 Studium der Angewandten Betriebswirtschaft und Psychologie (danach geschlossen). Sommersemester 2005 Studium der Angewandten Betriebswirtschaft, Psychologie und Publizistik (danach geschlossen). Wintersemester 2006 bis Sommersemester 2007 Studium der Psychologie und Publizistik (danach geschlossen).

Universität Wien:

Sommersemester 2002 bis Sommersemester 2004 Diplomstudium
Ernährungswissenschaften. Fortsetzung im Sommersemester 2005.

Berufsbildende Praktika:

- 01.07. bis 30.09. 2009 Medizinisches Labor Dr. med. univ. et Dr. phil. chem. Johann Perné (Aufgabenbereich: Allergiediagnostik, Klinische Chemie, Hämatologie, Hormon- und Infektionsserologie).
- 01.06.2007 bis 30.01. 2008 Club Danube Fitnesscenter (Aufgabenbereich: Erstellung von Ernährungs- und Trainingsplänen).

Sprachkenntnisse:

- Deutsch (Muttersprache)
- Englisch (Maturaniveau)