

Aus dem Institut für Ernährungswissenschaften  
(Direktor: Prof. Dr. habil. K. Eder)

**Untersuchungen zur Ernährungssituation von jungen Leistungssportlern  
verschiedener Disziplinen unter der besonderen Berücksichtigung von Zink  
und seiner Bedeutung für das Immunsystem**

Der Landwirtschaftlichen Fakultät  
der  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

als

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ernährungswissenschaften  
(Dr. troph.)

vorgelegt von

Diplom-Oecotrophologin

Mareike Großhauser

geb. am 12. Februar 1975

in Göttingen

Gutachter:           1. Prof. Dr. habil. K. Eder  
                          2. Prof. Dr. med. habil. J. Langner  
                          3. PD Dr. med. A. Schmied

Dekan: Prof. Dr. agr. habil. W. Merbach

Verteidigung am:    09. Dezember 2002

Halle/Saale 2002

**urn:nbn:de:gbv:3-000004342**

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000004342>]

---

## Inhaltsverzeichnis

		Seite
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Studie zur Ermittlung der Ernährungssituation von Leistungssportlern</b>	<b>6</b>
2.1.1	Charakterisierung des Studienkollektivs	6
2.1.2	Anthropometrische Daten	6
2.1.3	Studienaufbau	7
2.1.3.1	Aufklärungsgespräche	7
2.1.3.2	Berechnung des Trainingsumfangs	8
2.1.3.3	Schätzung des Energiebedarfs	9
2.1.3.4	Erfassung der Energie- und Nährstoffzufuhr	10
2.1.3.4.1	Ernährungsprotokoll	10
2.1.3.4.2	Datenverarbeitung mit Prodi 4.5/03 expert	10
2.1.3.4.3	Kodierung neuer Lebensmittel	11
2.1.3.4.4	Blutentnahme	12
2.1.4	Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben	12
2.1.4.1	Verwendete Reagenzien	12
2.1.4.2	Aufbereitung der Blutproben	13
2.1.4.3	Bestimmung klinisch-relevanter Parameter	13
2.1.4.3.1	Bestimmung der Hämoglobinkonzentration im Vollblut	13
2.1.4.3.2	Bestimmung der Kreatininkonzentration im Plasma	14
2.1.4.3.3	Bestimmung der Aktivität der Glutathionperoxidase im Plasma	14
2.1.4.3.4	Bestimmung der Konzentrationen von T <sub>4</sub> , fT <sub>4</sub> und T <sub>3</sub> im Plasma	14
2.1.4.4	Bestimmung ernährungs-relevanter Parameter	15
2.1.4.4.1	Bestimmung der Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten	15
2.1.4.4.2	Bestimmung der Cholesterinkonzentration im Plasma	15
2.1.4.4.3	Bestimmung der Triglyceridkonzentration im Plasma	16
2.1.4.4.4	Bestimmung der Vitamin A-Konzentration im Plasma	16
2.1.4.4.5	Bestimmung der Vitamin E-Konzentration im Plasma	17
2.1.4.4.6	Bestimmung der Vitamin B <sub>12</sub> -Konzentration im Plasma	18
2.1.4.4.7	Bestimmung der Folsäurekonzentration im Plasma	18
2.1.4.4.8	Bestimmung der Homocysteinkonzentration im Plasma	18
2.1.4.4.9	Bestimmung der Zinkkonzentration im Plasma	20
<b>2.2</b>	<b>Studie zur Zinksupplementierung von Leistungssportlern</b>	<b>20</b>
2.2.1	Charakterisierung des Studienkollektivs	20
2.2.2	Anthropometrische Daten	20
2.2.3	Studienaufbau	21
2.2.3.1	Behandlung	21
2.2.3.2	Aufklärungsgespräche	21
2.2.3.3	Berechnung des Trainingsumfangs	22
2.2.3.4	Gesundheitsfragebogen und Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage	22
2.2.3.5	Blutproben-Entnahme vor und nach der Zinksupplementierung	23
2.2.4	Klinisch-chemische Untersuchung von Blutproben vor und nach einer Zinksupplementierung	24
2.2.4.1	Verwendete Reagenzien	24
2.2.4.2	Aufbereitung der Blutproben	25
2.2.4.3	Hämatologische Untersuchungen	25
2.2.4.3.1	Bestimmung des Hämatokrits	25
2.2.4.3.2	Bestimmung der Hämoglobinkonzentration im Vollblut	25
2.2.4.3.3	Berechnung der mittleren korpuskulären Hämoglobinkonzentration	25
2.2.4.3.4	Bestimmung der Konzentration des C-reaktiven Proteins im Plasma	26
2.2.4.3.5	Bestimmung der Haptoglobinkonzentration im Serum	26
2.2.4.3.6	Bestimmung der Hämolyseresistenz von Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen	26

---

## Inhaltsverzeichnis

2.2.4.4	Ermittlung des Zinkstatus	27
2.2.4.4.1	Bestimmung der Zinkkonzentration im Plasma	27
2.2.4.4.2	Bestimmung der Zink-Bindungskapazität im Plasma	27
2.2.4.4.3	Bestimmung der Aktivität der Alkalischen Phosphatase im Plasma	28
2.2.4.5	Ermittlung des Immunstatus	29
2.2.4.5.1	Bestimmung der Leukozytenzahl	29
2.2.4.5.2	Bestimmung der Serumkonzentrationen von IgG und IgM	29
2.2.4.5.3	Immunphäotypisierung	29
2.2.4.5.4	Stimulierung der T-Zellen zur Produktion der Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$ und IL-2	30
2.3	Statistische Auswertung	31
2.3.1	Statistik zur Ernährungssituation von Leistungssportlern	31
2.3.2	Statistik zur Zinksupplementierung von Leistungssportlern	32
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Studie zur Ermittlung der Ernährungssituation von Leistungssportlern</b>	<b>33</b>
3.1.1	Schätzung des Energiebedarfs	33
3.1.2	Erfassung der durchschnittlichen Energie- und Nährstoffzufuhr	34
3.1.2.1	Mittlere Zufuhr von Energie, Makronährstoffen, Ballaststoffen und Cholesterin	34
3.1.2.2	Mittlere Zufuhr von $\beta$ -Karotin, Vitamin A, E, B <sub>12</sub> und Folsäure	38
3.1.2.3	Mittlere Zufuhr von Kalzium, Magnesium, Eisen und Zink	40
3.1.2.4	Durchschnittliche Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln	41
3.1.3	Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben	42
3.1.3.1	Bestimmung der klinisch-relevanten Parameter Hämoglobin, Kreatinin, Enzymaktivität der GSH-Px und der Konzentrationen von T <sub>4</sub> , fT <sub>4</sub> und T <sub>3</sub>	42
3.1.3.2	Bestimmung ernährungs-relevanter Parameter	43
3.1.3.2.1	Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten	43
3.1.3.2.2	Cholesterin- und Triglyceridkonzentrationen im Plasma	45
3.1.3.2.3	Plasmakonzentrationen von Vitamin A, E, B <sub>12</sub> , Folsäure und Homocystein	46
3.1.3.2.4	Zinkkonzentrationen im Plasma	47
<b>3.2</b>	<b>Studie zur Zinksupplementierung von Leistungssportlern</b>	<b>48</b>
3.2.1	Gesundheitsfragebogen und Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage	48
3.2.2	Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben	50
3.2.2.1	Einfluss der Zinksupplementierung auf hämatologische Parameter	50
3.2.2.1.1	Hkt, Hb, MCHC, CRP und Haptoglobin	50
3.2.2.1.2	Hämolyseresistenz der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen	51
3.2.2.2	Einfluss der Zinksupplementierung auf Parameter des Zinkstatus	52
3.2.2.2.1	Zinkkonzentration und Zink-Bindungskapazität im Plasma	52
3.2.2.2.2	Enzymaktivität der AP im Plasma	53
3.2.2.3	Einfluss der Zinksupplementierung auf Parameter des Immunstatus	54
3.2.2.3.1	Serumkonzentrationen von IgG und IgM	54
3.2.2.3.2	Ergebnisse der Immunphäotypisierung	55
3.2.2.3.2.1	Leukozyten und deren Subpopulationen	55
3.2.2.3.2.2	Subpopulationen der Lymphozyten	56
3.2.2.3.2.3	Subpopulationen der T-Lymphozyten	58
3.2.2.3.3	Stimulierung der T-Zellen zur Produktion der Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$ und IL-2	59
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>61</b>
<b>4.1</b>	<b>Studie zur Ermittlung der Ernährungssituation von Leistungssportlern</b>	<b>61</b>

---

## Inhaltsverzeichnis

4.1.1	Anthropometrische Daten	61
4.1.2	Datenerhebung und Auswertung	62
4.1.2.1	Trainingsumfang	62
4.1.2.2	Protokollierung der täglichen Ernährung	63
4.1.2.3	Dateneingabe und Auswertung mit Prodi 4.3/05 expert	63
4.1.3	Ermittlung des Ernährungsstatus der Athleten	64
4.1.3.1	Vergleich von Energiezufuhr und -verbrauch	64
4.1.3.2	Zufuhr von Kohlenhydraten und Fett	66
4.1.3.3	Zufuhr von GFS, EUFS, MUFS und Fettsäurezusammensetzung in den Membranphospholipiden der Erythrozyten	69
4.1.3.4	Zufuhr von Eiweiß	75
4.1.3.5	Zufuhr von Ballaststoffen	78
4.1.3.6	Zufuhr von Cholesterin	79
4.1.3.7	Versorgung mit Vitamin A und $\beta$ -Karotin	80
4.1.3.8	Versorgung mit Vitamin E	82
4.1.3.9	Versorgung mit Vitamin B <sub>12</sub> und Folsäure unter der Einbeziehung von Homocystein	86
4.1.3.10	Versorgung mit Kalzium	90
4.1.3.11	Versorgung mit Magnesium	91
4.1.3.12	Versorgung mit Zink	92
4.1.3.13	Eisenzufuhr und Hämoglobinkonzentration	95
4.1.4	Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben	97
4.1.4.1	Cholesterinkonzentrationen im Plasma	97
4.1.4.2	Triglyceridkonzentrationen im Plasma	98
4.1.4.3	Kreatininkonzentrationen im Plasma	99
4.1.4.4	Aktivität der Glutathionperoxidase im Plasma	100
4.1.4.5	Konzentrationen der Schilddrüsenhormone T <sub>4</sub> , fT <sub>4</sub> und T <sub>3</sub> im Plasma	101
<b>4.2</b>	<b>Studie zur Zinksupplementierung von Leistungssportlern</b>	<b>106</b>
4.2.1	Studiendesign	106
4.2.2	Anthropometrische Daten	106
4.2.3	Datenerhebung und Auswertung	107
4.2.3.1	Trainingsumfang der Sportler	107
4.2.3.2	Gesundheitsfragebogen und Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage	107
4.2.4	Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben	108
4.2.4.1	Einfluss der Zinksupplementierung auf hämatologische Parameter	108
4.2.4.1.1	Hämatokrit und Hämoglobin	108
4.2.4.1.2	Hämolyseresistenz der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen und Haptoglobin als Hämolysemarkers	109
4.2.4.2	Einfluss der Zinksupplementierung auf Parameter des Zinkstatus	110
4.2.4.2.1	Zinkkonzentration und Zink-Bindungskapazität im Plasma	110
4.2.4.2.2	Aktivität der Alkalischen Phosphatase im Plasma	112
4.2.4.3	Einfluss der Zinksupplementierung auf Parameter des Immunstatus	114
4.2.4.3.1	Wirkung des Zinkstatus auf Parameter des Immunsystems vor der Behandlung mit Zink	114
4.2.4.3.2	Wirkung einer sechswöchigen Zinksupplementierung auf Parameter des Immunsystems von Personen mit unterschiedlichem Zinkstatus	126
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>134</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>142</b>
	<b>Anhang</b>	

---

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Die zellulären, spezifischen und unspezifischen Bestandteile des Immunsystems.	3
Abb. 2:	Prozentanteil der Sportler innerhalb jeder der drei Gruppen, die zu Beginn der Zinksupplementierung angaben: 1. Oft abgespannt zu sein, 2. Eine mittelmäßige Wundheilung zu haben, 3. Eher unzufrieden mit ihrem Gesundheitszustand zu sein und 4. Öfters Atemwegserkrankungen zu erleiden.	49
Abb. 3:	Prozentanteil der Krankheitstage innerhalb der Woche 1 bis 4 und innerhalb der Woche 5 und 6 der Zinksupplementierung für die Athleten der drei Gruppen.	50
Abb. 4:	Hämolyseresistenz von Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen vor und nach der Zinkeinnahme.	52

---

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Gesamtanzahl und Anzahl der Sportler getrennt nach Geschlecht in Abhängigkeit von den Sportarten	6
Tab. 2:	Anthropometrische Daten der Sportler in Abhängigkeit von den Sportarten	7
Tab. 3:	Durchschnittliche Trainingsstunden und Trainingstage der Sportler pro Woche	8
Tab. 4:	Mit dem Ernährungsprogramm Prodi 4.5/03 expert ausgewertete Energie und Nährstoffe	10
Tab. 5:	Übersicht über die benutzerdefinierten Lebensmitteleingaben	11
Tab. 6:	Einteilung des Untersuchungskollektivs	20
Tab. 7:	Anthropometrische Daten der Sportler innerhalb der drei Gruppen	21
Tab. 8:	Durchschnittliche Trainingsstunden und Trainingstage der drei Gruppen pro Woche	22
Tab. 9:	Schätzung des täglichen Energiebedarfs	33
Tab. 10:	Mittlere Tageszufuhr von Energie, Kohlenhydraten und Fett	34
Tab. 11:	Mittlere Tageszufuhr von gesättigten (GFS), einfach ungesättigten (EUFS) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) in Prozentanteilen der durchschnittlichen Tagesenergiezufuhr	36
Tab. 12:	Mittlere Tageszufuhr von gesättigten (GFS), einfach ungesättigten (EUFS) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) [g]	37
Tab. 13:	Mittlere Tageszufuhr von Eiweiß, unterteilt in pflanzliches und tierisches Eiweiß, Ballaststoffen und Cholesterin	38
Tab. 14:	Mittlere Tageszufuhr von $\beta$ -Karotin, Vitamin A, E, B <sub>12</sub> und Folsäure	39
Tab. 15:	Mittlere Tageszufuhr von Kalzium, Magnesium Eisen und Zink	40
Tab. 16:	Mittlere Tageseinnahme ausgewählter Vitamine und Mineralstoffe einiger Athleten in Form von Zusatzpräparaten	41
Tab. 17:	Konzentration von Hämoglobin im Vollblut, die Plasmakonzentration von Kreatinin, die Aktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) sowie die Konzentrationen der Schilddrüsenhormone T <sub>4</sub> , fT <sub>4</sub> und T <sub>3</sub> im Plasma	42
Tab. 18:	Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten [%]	44
Tab. 19:	Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten, dargestellt in ausgewählten Quotienten zwischen wichtigen Fettsäuren	45
Tab. 20:	Cholesterin- und Triglyceridkonzentrationen im Plasma	46
Tab. 21:	Mittlere Plasmakonzentrationen von Vitamin A, E, B <sub>12</sub> , Folsäure und Homocystein	47
Tab. 22:	Zinkkonzentration im Plasma	48

---

## Tabellenverzeichnis

Tab. 23:	Durchschnittlicher Hämatokrit, Hämoglobinkonzentration, MCHC, CRP- und Haptoglobinkonzentrationen der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung	51
Tab. 24:	Zinkkonzentration und Zink-Bindungskapazität der drei Gruppen im Plasma vor und nach der Zinksupplementierung	53
Tab. 25:	Aktivität der Alkalischen Phosphatase im Plasma vor und nach der Zinkgabe	54
Tab. 26:	Durchschnittliche Konzentration der Immunglobuline IgG und IgM der drei Gruppen im Serum vor und nach der Zinksupplementierung	55
Tab. 27:	Durchschnittliche Leukozytenzahl und deren Subpopulationen in Zellen/ $\mu$ l und in Prozenten der Gesamtleukozytenzahl der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung	56
Tab. 28:	Subpopulationen der Lymphozyten in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung	57
Tab. 29:	Subpopulationen der T-Lymphozyten in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung	59
Tab. 30:	Durchschnittlicher Anteil der Zytokine produzierenden T-Zellen (CD3 <sup>+</sup> ) in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent vor und nach der Zinksupplementierung in Abhängigkeit der drei Gruppen	60
Tab. 31:	Mittlere Tageszufuhr von Kohlenhydraten und Fett [g] und der auf der Basis des Energiebedarfs ermittelte, tägliche Kohlenhydratbedarf sowie die empfohlene tägliche Fettzufuhr [g] für die Athleten	67
Tab. 32:	Zufuhrempfehlungen für GFS, EUFS und MUFS [g], basierend auf den prozentualen Empfehlungen der DGE (2000) und bezogen auf den geschätzten Energiebedarf der Athleten	70
Tab.33:	Mittlere Tageszufuhr von Eiweiß [g] und der auf der Basis des Energiebedarfs ermittelte tägliche Eiweißbedarf [g] für die Athleten	77
Tab. 34:	Schätzung des täglichen Vitamin-E-Bedarfs in Abhängigkeit der aufgenommenen Linolsäure über die Nahrung und unter der Berücksichtigung des Grundbedarfs von 4 mg pro Tag	83
Tab. 35:	Angenommene Zinkbilanzierung im Leistungssport	93

---

## Abkürzungsverzeichnis

µg	Microgramm
µl	Microliter
% v. E.	Prozentanteil von der mittleren Tagesenergiezufuhr
Σ Vit. A	Vitamin A + β-Karotin
A1 - A9	Ruderer
Abb.	Abbildung
Ausdauer	Ausdauersportarten
B1 - B8	Ringer
BMI	Body Mass Index
Ballast.	Ballaststoffe
C2 - C5	Weit-und Dreispringer
C 14:0	Myristinsäure
C 16:0	Palmitinsäure
C 18:0	Stearinsäure
C 22:0	Behensäure
C 18:1 (n-9)	Ölsäure
C 18:2 (n-6)	Linolsäure
C 18:3 (n-3)	α-Linolensäure
C 20:4 (n-6)	Arachidonsäure
C 20:5 (n-3)	Eicosapentaensäure
C 22:5 (n-3)	Docosapentaensäure
C 22:6 (n-3)	Docosahexaensäure
Ca	Kalzium
CD	Cluster of differentiation (international standardisierte Nomenklatur für Antigene auf Zelloberflächen)
CD3 <sup>+</sup>	T-Zellen oder T-Lymphozyten
CD3 <sup>+</sup> HLA-DR <sup>+</sup>	Aktivierete T-Zellen
CD3 <sup>+</sup> CD16/CD56 <sup>+</sup>	Natürliche Killerzellen
CD3 <sup>+</sup> CD16/CD56 <sup>+</sup>	Große, granulirte Lymphozyten
CD4 <sup>+</sup>	T-Helferzellen
CD8 <sup>+</sup>	Zytotoxische T-Zellen
CD4/CD8	Verhältnis der beiden Zellarten
CD19 <sup>+</sup>	B-Zellen oder B-Lymphozyten
Chol.	Cholesterin
CRP	C-reaktives Protein
D	Tag
D1 - D5	Geher
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
dl	Deziliter
E1 - E16	Mittelstreckenläufer
EUFS	Einfach ungesättigte Fettsäuren
Erw.	Erwachsene
EW	Eiweiß
F	Frauen
F1 - F13	Turner
Fe	Eisen
fT <sub>4</sub>	freies Thyroxin
G	Gramm
G1 - G19	Schwimmer
GFS	Gesättigte Fettsäuren
Gruppe 1	Zinkkonzentration im Plasma: < 80 µg/dl
Gruppe 2	Zinkkonzentration im Plasma: 80 bis 95 µg/dl
Gruppe 3	Zinkkonzentration im Plasma: > 95 µg/dl
GSH-Px	Glutathionperoxidase
GU	Grundumsatz
h	Stunde
H1 - H7	Mehrkämpfer (Leichtathletik)

---

## Abkürzungsverzeichnis

Hb	Hämoglobin
Hkt	Hämatokrit
HPLC	Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie
I2 - I10	Wasserspringer
J	Jungen
J1 - J9	Judoka
Jugendl.	Jugendliche
K1 - K5	Siebenkämpfer
Kampf	Kampfsportarten
Kcal	Kilokalorien
Kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
KH	Kohlenhydrate
Kraft	Kraftsportarten
l	Liter
L1 - L4	Sprinter
LGL	Große, granuliert Lymphozyten
Lymph.	Lymphozyten
M	Mädchen
M1 - M3	Rhythmische Sportgymnastinnen
Max	Maximum
MCHC	Mittlere, korpuskuläre Hämoglobinkonzentration
Mg	Milligramm
Mg	Magnesium
Min	Minimum
MTA	Medizin-technische Assistentin
MUFS	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren
N	Anzahl
N4 - N8	Kugelstoßer
NK-Zellen	Natürliche Killerzellen
P	Irrtumswahrscheinlichkeit
Pfl.	Pflanzlich
SD	Standardabweichung
Sportart 1	Ausdauersportarten (Rudern, Gehen, Laufen, Schwimmen)
Sportart 2	Kampfsportarten (Ringern, Judo)
Sportart 3	Kraft/Schnellkraftsportarten (Weitsprung, Mehrkampf, Siebenkampf, Sprint, Kugelstoßen)
Sportart 4	Technisch-kompositorische Sportarten (Turnen, Wasserspringen, Rhythmische Sportgymnastik)
Stck.	Stück
T <sub>3</sub>	Trijodthyronin
T <sub>4</sub>	Thyroxin
Tab.	Tabelle
Tier.	Tierisch
TK	Technisch-kompositorische Sportarten
U	Units
v.	von
Vit.	Vitamin
W	Woche
$\bar{x}$	Mittelwert
Zn	Zink

## 1 Einleitung

Eine optimale Versorgung mit allen Nährstoffen ist ebenso eine notwendige Voraussetzung für die volle Leistungsfähigkeit von Sportlern wie ein regelmäßiges und intensives Trainingsprogramm. Diese Tatsache ist zwar den meisten Sportlern bekannt, dennoch ist die praktische Umsetzung aufgrund von bestehenden, ungünstigen Ernährungsgewohnheiten und zugleich unzureichenden ernährungsphysiologischen Kenntnissen oftmals ungenügend (Rokitzki et al., 1990). Eine vollwertige Ernährung hat die Aufgabe, den Bedarf essentieller Nährstoffe zu sichern und auf dieser Basis die Gesundheit, die Regenerationsfähigkeit und damit die Leistungsfähigkeit der Sportler zu fördern. Insbesondere bei jungen Athleten werden äußerst ungünstige Ernährungsgewohnheiten wie z. B. ein zu hoher Zucker- und Fettkonsum, eine zu geringe Zufuhr von Spurenelementen und essentiellen Fettsäuren sowie auch unausgewogene Energiebilanzen beobachtet, welche dem erhöhten Bedarf an Nährstoffen aufgrund der Wachstumsphase, der gesteigerten Muskelbeanspruchung und Schweißsekretion nicht gerecht werden (Zonderland et al., 1985; Reggiani et al., 1989; Faber et al., 1990). Wegen dieser individuellen Ernährungsfehler sind oftmals Versorgungsdefizite bei einzelnen Nährstoffen zu erwarten. Deshalb ist es von größter Wichtigkeit, den Ernährungsstatus junger Spitzensportler umfassend zu betrachten, um auf der Basis der gewonnenen Untersuchungsergebnisse, wie z. B. Körperfettanteil, Nahrungsaufnahme und Versorgung mit einzelnen Makro- und Mikronährstoffen, gezielte und praktische Verbesserungsvorschläge für die Nährstoffversorgung sowie auch detaillierte Informationen zu einer sportgerechten und bedarfsdeckenden Ernährung geben zu können. Durch diese Vorgehensweise kann ein erfolgsversprechender Einfluss auf das Essverhalten und damit auf den Gesundheitszustand dieser Sportler genommen werden. Unzureichende Versorgungszustände an einzelnen Vitaminen und Mineralstoffen führen neben spezifischen Mangelsymptomen zu massiven Einschränkungen der individuellen Leistungsfähigkeit aufgrund gesundheitlicher Beeinträchtigungen wie z. B. durch eine erhöhte Infektanfälligkeit, ein erhöhtes Verletzungsrisiko, Anämien u. v. m. Aber auch das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen kann sich aufgrund unzureichender Zufuhren von z. B. mehrfach ungesättigten Fettsäuren oder von den Vitaminen B<sub>12</sub> und Folsäure bereits in jungen Jahren erhöhen. Ferner gehören ausbleibende Menstruationen und Wachstumsverzögerungen zu weiteren möglichen negativen Begleiterscheinungen aufgrund sehr intensiver Trainingsbelastungen, in Verbindung mit vitamin- und mineralstoffarmen Ernährungsweisen.

Es kann einerseits durch eine sehr selektierte Lebensmittelauswahl (z. B. bei Vegetariern, bei wettkampfbedingter Gewichtsreduktion) bei einigen Sportlern zu vereinzelteten Versorgungsdefiziten an Vitaminen oder Spurenelementen kommen und andererseits durch die hohe körperliche Belastung eine erhöhte Ausscheidung bestimmter Spurenelemente über Urin und Schweiß stattfinden. Dies trifft ganz besonders für Zink zu. Eine Folge ist, dass aufgrund einer fleischlosen Ernährung die Zinkzufuhr verringert ist und zudem die Resorption von Zink aus pflanzlichen Lebensmitteln durch viele Einflussfaktoren negativ beeinträchtigt wird. Daraus können niedrige Zinkkonzentrationen im Plasma resultieren (Kadřabova et al., 1995; Rauma und Mykkanen, 2000). Zu den hemmenden Einflussfaktoren der Nahrung gehören z. B. die Phytinsäure in Vollkornpro-

dukten, der Kalziumgehalt in Milchprodukten, aber auch Stresssituationen üben einen mindernden Resorptionseffekt aus (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 2000). Durch eine geringe Zufuhr dieses Nährstoffes einerseits und durch erschwerte Absorptionsbedingungen aufgrund verschiedener Komplexbildungen mit Zink im Körper andererseits, ergibt sich daher relativ schnell eine unzureichende Versorgungslage. Zudem enthält der Körper keine großen Zinkspeicher, die er bei einer Mangelversorgung mobilisieren könnte. Eine kontinuierliche Zinkzufuhr ist daher notwendig.

Zink erfüllt im Stoffwechsel spezifische Funktionen als Bestandteil oder Aktivator von zahlreichen Enzymen des Protein-, Kohlenhydrat-, Fett- und Nukleinsäurestoffwechsels sowie auch von Hormonen und Rezeptoren. Wegen seiner herausragenden Funktion als Baustein von mehr als 300 Enzymen und Strukturproteinen kommt dem Spurenelement Zink in der Sportlerernährung eine Sonderrolle zu (Kieffer, 1990; Berg und Keul, 1990 b; Haralambie, 1981). Berg et al. (1990 b) zeigten bei Leistungssportlern einen eindeutigen Zusammenhang von geringen Serum-Zinkwerten und erniedrigten Enzymaktivitäten z. B. von der Alkalischen Phosphatase im Plasma (Samman et al., 1996). Die Autoren bewerteten dies als generelle Zink-Unterversorgung bei Leistungssportlern. Gerade unter den Gesichtspunkten des Leistungssports ist die Regulation des Zinkstoffwechsels besonders zu beachten, da Zink bei der im Leistungssport üblichen psychischen und physischen Mehrbelastung anders als unter Normalbedingungen in größeren Mengen über den Schweiß und Urin dem Organismus verloren gehen kann. Daraus ergeben sich die nachteiligen Effekte wie Wachstumsverzögerungen, verzögerte Wundheilung, eine erhöhte Infektanfälligkeit und Leistungseinbußen (Daly et al., 1990; Newsholme, 1993; Watson, 1984). Die Beeinträchtigung des Immunsystems ist beim Mangel am Spurenelement Zink bekannt (Schroten, 1993). Aus Untersuchungen mit Mäusen weiß man, dass eine suboptimale Zinkzufuhr bereits nach 30 Tagen zu einem 30 bis 80 %igen Verlust der Abwehrkapazität führt (Fraker et al., 2000). Diese Ergebnisse zeigen, dass das Funktionieren des Immunsystems eng an den Versorgungszustand mit Zink verknüpft ist.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die zellulären Bestandteile des Immunsystems. Das Immunsystem besteht aus unspezifischen Abwehrzellen (angeborenen), die zugleich die erste Verteidigungslinie des Körpers darstellen, und aus spezifischen (erworbenen). Während die Immunzellen der angeborenen Abwehr (Granulozyten, Monozyten, Natürliche Killerzellen) gegen viele verschiedene Antigene wirksam werden können, können die der erworbenen Abwehr (Lymphozyten mit T- und B-Lymphozyten, T-Helfer- und Zytotoxischen T-Zellen) nur gegen jeweils spezifische Antigene vorgehen. Die Monozyten sind wie die Granulozyten phagozytierende Zellen, die zugleich ein Bindeglied zwischen der unspezifischen und spezifischen zellulären Immunabwehr darstellen. Sie sind für die Funktion des spezifischen Immunsystems aufgrund einer durch Antigenpräsentation eingeleiteten Aktivierung dieser unverzichtbar. Während die T-Lymphozyten in Form der T-Helferzellen sowohl regulatorische, als auch in Form der Zytotoxischen T-Zellen zerstörende Funktionen haben können, können sich die B-Lymphozyten unter der Mithilfe von T-Helferzellen zu Plasmazellen differenzieren und in diesem aktivierten Zustand Antikörper (Immunglobuline) produzieren. Diese binden nach Freisetzung an ihr Antigen und neutralisieren so z. B.

Viren oder markieren Bakterien für die Phagozytose. Werden die T-Lymphozyten durch antigen-präsentierende Zellen wie z. B. Monozyten aktiviert, können sie durch die Produktion bestimmter Zytokine gezielten Einfluss auf die immunologischen Prozesse nehmen. Im spezifischen Immunsystem finden Anpassungsvorgänge statt, die eine verbesserte und stark zielgerichtete Immunreaktion ermöglichen. Trotz seiner höheren Effizienz kann das adaptive Immunsystem das angeborene nicht ersetzen, da es im Gegensatz zu diesem nach einer Infektion etwa 5 bis 10 Tage braucht, um wirksam zu werden.

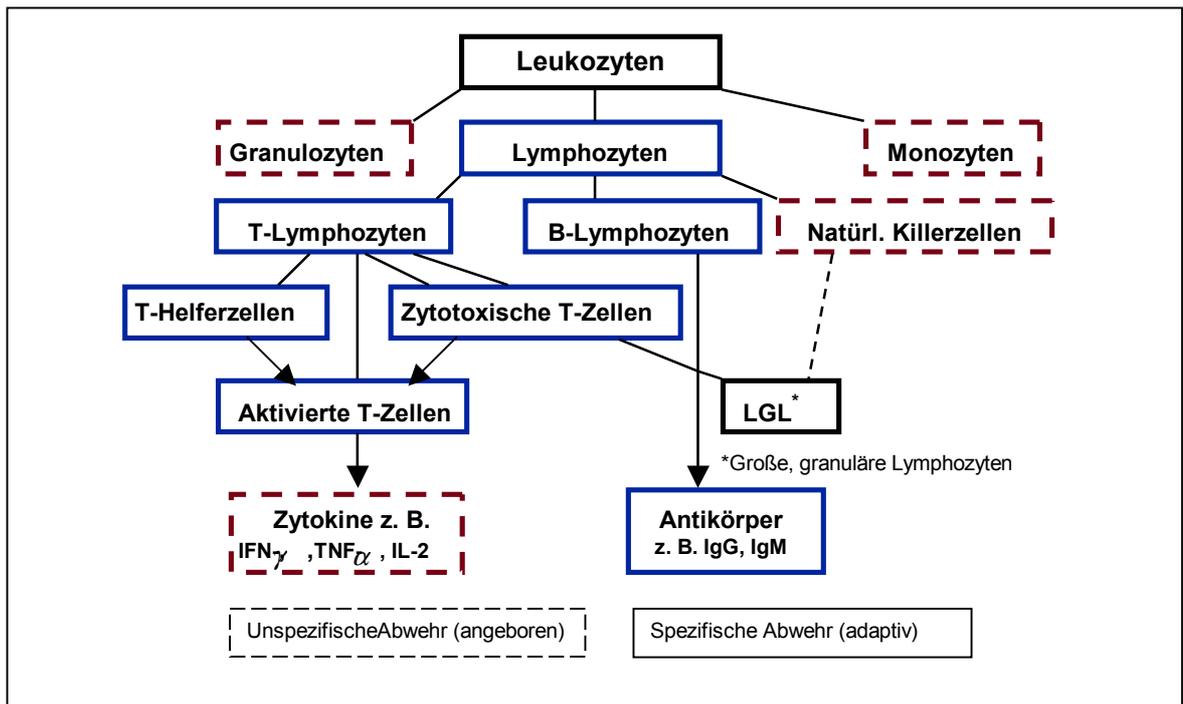


Abb. 1: Die zellulären, spezifischen und unspezifischen Bestandteile des Immunsystems.

Als eine der Ursachen für die negative Beeinträchtigung des Immunsystems im Falle einer unzureichenden Zinkversorgung kann eine eingeschränkte Proteinsynthese angesehen werden, da Zink von mehr als 300 Enzymen ein wichtiger Cofaktor ist und somit vielfältig in allgemeine zelluläre Funktionen wie z. B. Signaltransduktion, Transkription und Replikation eingreift (Coleman, 1992; Vallee und Falchuk, 1993). Außerdem werden bei Zinkmangel vermehrt Glukokortikoide ausgeschüttet, welche für den Untergang von einigen Zellen verantwortlich gemacht werden und zugleich die Neubildung von lymphoiden Zellpopulationen einschränken (DePasquale-Jardieu und Fraker, 1980). Eine verringerte Zinkversorgung des Körpers verursacht signifikante Veränderungen endokriner Funktionen, so dass es über diese physiologischen Veränderungen zu einem Ungleichgewicht bezüglich der Immunabwehr, insbesondere bei der Lymphopoese kommen kann. Es gibt zwar einige Untersuchungen zum Spurenelement Zink und seiner Bedeutung im Immunsystem, doch handelt es sich dabei größtenteils um Tierversuche. Ferner gibt es auch Humanstudien zu diesem Thema, dennoch wurden oftmals Personen mit gravierenden Zinkmangelzuständen wie z. B. Patienten mit Acrodermatitis Enteropathica oder mit Sichelzellanämie sowie

auch Risikogruppen, zu welchen Rekonvaleszente, Senioren, Schwangere, Stillende oder Diabetiker zählen, ausgewählt. Auch Sportler können aufgrund der gegenüber Nichtsporttreibenden erhöhten Zinkverluste über Urin (1,0 mg/d – 1,8 mg/d gegenüber 0,5 mg/d - 0,8 mg/d) und Schweiß (0,5 mg/d - 2,0 mg/d gegenüber 0,3 mg/d - 0,7 mg/d) zu dieser Gruppe gerechnet werden (Berg et al., 1996). Eine im Juni 2000 durchgeführte internationale Konferenz der neugebildeten International Zinc Nutrition Consultative Group (IZINCG) in Stockholm zeigt, dass Zink immer noch ein sehr aktuelles Thema in der menschlichen Ernährung ist. Ziel dieser Vereinigung ist es, eine bessere Zinkversorgung für anfällige Menschen zu ermöglichen. Nach Aussagen der IZINCG leidet die Hälfte der Weltbevölkerung unter Zinkmangel. Dabei ist aber weniger der schwere Zinkmangel, sondern vielmehr der „milde“, zu welchem es im Gegensatz zu der schweren Form immer noch keine klar definierten Diagnoseparameter gibt, in der Bevölkerung weit verbreitet. Auch die in der Literatur berichteten Einflüsse von Zink auf das Immunsystem des Menschen sind teilweise sehr unterschiedlich.

In der vorliegenden Arbeit wurden Untersuchungen mit insgesamt 99 jungen Leistungssportlern und -sportlerinnen verschiedener Ausdauer-, Kampf-, Kraft- und Technisch-Kompositorischer Sportarten des Olympiastützpunktes Halle/Saale durchgeführt. Die Athleten nahmen regelmäßig an Landesmeisterschaften, Deutschen Meisterschaften, zum Teil auch an Junioren-Europa- und Junioren-Weltmeisterschaften teil. Die Studie unterteilte sich in zwei Untersuchungsabschnitte. Die Zielsetzung des ersten Teils war es, die Ernährungssituation und den Ernährungszustand von jungen Leistungssportlern im Alter von 11 bis 22 Jahren zu ermitteln. Die Athleten sollten dazu über sieben Tage Ernährungsprotokolle führen, um das Nahrungsangebot und die Aufnahme einzelner Nährstoffe erfassen zu können. Die Protokolle wurden bezüglich der Zufuhr von Energie, Makronährstoffen (Kohlenhydrate, Fett, gesättigte, einfach ungesättigte, mehrfach ungesättigte Fettsäuren und Eiweiß), Ballaststoffen, Cholesterin sowie auch von ausgewählten Vitaminen (Vitamin A,  $\beta$ -Karotin, Vitamin E, B<sub>12</sub>, Folsäure) und Mineralstoffen (Kalzium, Magnesium, Eisen und Zink) mit einer speziellen Ernährungssoftware (Prodi 4.5/03 expert) ausgewertet. Es sollten erste Informationen über bestehende Ernährungsgewohnheiten dieser Leistungssportler gewonnen und Fragen zur Quantität und Qualität der Nahrungsaufnahme junger Athleten beantwortet werden. Außerdem wurde die zusätzliche Aufnahme von Zusatzpräparaten durch einzelne Athleten dokumentiert und bei der Bewertung der zugeführten Nährstoffe berücksichtigt. Da aus den ausgewerteten Ernährungsprotokollen eine Unterversorgung an bestimmten Nährstoffen ermittelt werden konnte, wurden anschließend klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben dieser Sportler durchgeführt, um weitere Auskünfte über den tatsächlichen Versorgungszustand der Sportler zu erhalten. Es wurden neben *klinisch-relevanten* Parametern wie z. B. den Konzentrationen von Hämoglobin, Kreatinin, der Schilddrüsenhormone T<sub>4</sub>, fT<sub>4</sub> und T<sub>3</sub> und der Enzymaktivität der Glutathionperoxidase, auch *ernährungs-relevante* Parameter wie z. B. die Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten, die Konzentrationen von Cholesterin, Triglyceriden, Vitamin A, E, B<sub>12</sub>, Folsäure, Homocystein als Marker für den Vitamin-B<sub>12</sub>- und Folsäurestatus sowie auch von Zink im Plasma bestimmt. Der Fettsäurestatus, insbeson-

dere der Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, wurde anhand der Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten der Sportler charakterisiert.

Der zweite Teil der Untersuchung beschäftigte sich mit einer sechswöchigen Zinksupplementierung von  $2 \times 10$  mg am Tag als Zink-DL-Aspartat-Filmtablette (Köhler Pharma GmbH, Alsbach-Hähnlein, Deutschland) bei insgesamt 36 Athleten im Alter von 12 bis 23 Jahren. Die Sportler übten verschiedene Ausdauer- und Kraftsportarten aus. Die Zielsetzung des zweiten Teils der vorliegenden Studie war es, durch zusätzliche Zinkgaben einen möglichen Einfluss auf ausgewählte hämatologische Parameter sowie auch auf Parameter des Zink- und Immunstatus der Athleten zu ermitteln. Es wurde in diesem Teil der Arbeit der Einfluss einer Zinkgabe auf folgende Parameter untersucht: Hämatologische Parameter (Hämatokrit, Hämoglobinkonzentration im Vollblut, mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration, C-reaktives Protein, Haptoglobinkonzentration im Plasma sowie die Hämolyseresistenz der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen), Parameter des Zinkstatus (Zinkkonzentration, Zink-Bindungskapazität und die Aktivität der Alkalischen Phosphatase im Plasma) und Parameter des Immunstatus (Serumkonzentrationen der Immunglobuline IgG und IgM, Leukozytenzahlen und deren Subpopulationen Granulozyten, Monozyten und Lymphozyten, die Lymphozytensubpopulationen T-Zellen, LGL (große granuläre Lymphozyten), Aktivierte T-Zellen (HLA-DR<sup>+</sup>), B-Zellen, Natürliche Killerzellen, die T-Zellen-Subpopulationen T-Helferzellen (CD4<sup>+</sup>), Zytotoxische T-Zellen (CD8<sup>+</sup>) und das Verhältnis von CD4<sup>+</sup>/CD8<sup>+</sup>). Zusätzlich wurde zur Beurteilung der Funktionstüchtigkeit der T-Zellen eine Stimulierung dieser Zellen in vitro zur Produktion der Zytokine INF- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 durchgeführt. Es sollte untersucht werden, ob die Zytokinbildung der T-Zellen durch Zink beeinflusst werden kann und ob bzw. wie dadurch die Immunantwort moduliert werden kann.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studie zur Ermittlung der Ernährungssituation von Leistungssportlern

#### 2.1.1 Charakterisierung des Studienkollektivs

An der Studie nahmen 99 Athleten und Athletinnen vom Olympiastützpunkt Halle teil. Die Einbeziehung der Sportler in die Studie erfolgte auf freiwilliger Basis durch persönliche Kontaktaufnahme während der Wettkampfsaison im Sommer 2000. Das Studienkollektiv setzte sich aus 14 verschiedenen Sportarten zusammen, die in die vier Sportgruppen (Ausdauer-, Kampf-, Kraft-/Schnellkraft- und Technisch-kompositorische Sportarten) zusammengefasst wurden (Tab. 1).

Tab. 1: Gesamtanzahl und Anzahl der Sportler getrennt nach Geschlecht in Abhängigkeit von den Sportarten

Parameter	Ausdauer	Kampf	Kraft	TK	Gesamt
Gesamtanzahl	41	16	21	21	99
Jungen	26	9	6	7	48
Mädchen	15	7	15	14	51
Disziplinen	Rudern, Schwimmen, Gehen, Mittelstrecke	Ringen, Judo	Sprint, Siebenkampf, Weitsprung, Hammerwerfen, Leichtathletik	Wasserspringen, Rhythmische Sportgymnastik, Turnen	14 Sportarten

Alle Sportler des Kollektivs nahmen regelmäßig an Landesmeisterschaften, Deutschen Meisterschaften, zum Teil auch an Junioren-Europa- und Junioren-Weltmeisterschaften teil. Sportliche Titel wie z. B. Europameister, Deutsche Meister und Landesmeister spiegelten das hohe Leistungsniveau einiger Athleten wieder.

#### 2.1.2 Anthropometrische Daten

Bei der Ermittlung der anthropometrischen Daten wurden folgende Parameter von jedem Sportler aufgenommen: Körpergröße, Körpergewicht, Body Mass Index (BMI) und Körperfettanteil (Tab. 2). Die Daten wurden gleichzeitig im Rahmen der Blutabnahme durch die Sportärztin am Olympiastützpunkt ermittelt. Die Einzelwerte der Sportler wurden in der Anhangstabelle 1 (a + b) aufgelistet. Der prozentuale Körperfettanteil der Leistungssportler wurde von der Sportärztin nach der Methode von Parizkova (1962) gemessen. Danach wurde mit einem Kalipermeter die Hautfaltdicke an folgenden zehn verschiedenen Körperstellen bestimmt:

- Gesicht: Linie zwischen Ohrenansatz und Nasenspitze; Hautfalte 1 cm vom Ohr entfernt, quer abheben
- Kniefalte: längs unter dem Knie

- vordere Axillarlinie: im Verlauf des Pectoralisrandes
- Arm: Mitte zwischen Acromion und Ellenbogen längs
- Scapular: an der Spitze des Schulterblattes im Rippenverlauf
- Brust: im Verlauf der 10. Rippe, die natürliche sich ergebende Speckfalte
- Bauch: Linie zwischen Spina ilica ventralis und Nabel, Falte im Viertel neben Nabel
- Darmbeinkamm: quer
- Patella: oberhalb der Patella längs
- Unterschenkel: quer unterhalb der Kniekehle

Die zehn „Hautfaltendicke-Werte“ wurden zu einem Summenwert addiert. In einer von Parizkova (1962) veröffentlichten Tabelle konnte der prozentuale Körperfettanteil zugeordnet werden. Sie unterscheidet die Altersklassen Mädchen und Jungen zusammen 9 - 12 Jahre, Mädchen und Jungen getrennt jeweils 13 - 16 Jahre, Frauen und Männer getrennt jeweils 17 - 40 Jahre.

Tab. 2: Anthropometrische Daten der Sportler in Abhängigkeit von den Sportarten

Sportarten/ Geschlecht	Alter [a]	Körpergröße [m]	Körpergewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Körperfett [%]
Ausdauer	J: 15,9 ± 1,77	1,80 ± 0,09	67,1 ± 14,9	20,4 ± 2,70	7,52 ± 2,26
	M: 15,3 ± 1,88	1,67 ± 0,06	53,5 ± 7,00	19,0 ± 1,94	11,6 ± 3,93
Kampf	J: 15,7 ± 1,25	1,67 ± 0,09	59,5 ± 12,7	21,2 ± 2,85	9,34 ± 4,07
	M: 17,9 ± 1,12	1,67 ± 0,06	65,2 ± 9,66	23,2 ± 2,76	10,2 ± 2,88
Kraft	J: 13,3 ± 0,94	1,80 ± 0,06	64,2 ± 7,42	20,8 ± 3,20	14,4 ± 7,30
	M: 16,9 ± 2,35	1,71 ± 0,04	58,1 ± 4,54	19,9 ± 1,28	9,55 ± 4,85
TK	J: 14,4 ± 1,59	1,61 ± 0,10	48,8 ± 13,5	18,4 ± 3,34	7,34 ± 4,11
	M: 13,9 ± 1,60	1,56 ± 0,08	46,1 ± 10,1	18,2 ± 2,96	10,7 ± 3,92
Geschlecht	J: 15,3 ± 1,82	1,75 ± 0,12	62,4 ± 15,0	20,3 ± 3,01	8,27 ± 3,79
	M: 15,7 ± 2,37	1,66 ± 0,08	54,6 ± 9,94	19,7 ± 2,73	10,6 ± 4,17
Sportarten					
Ausdauer:	15,7 ± 1,84	1,76 ± 0,10	61,8 ± 14,1	19,9 ± 2,54	9,06 ± 3,59
Kampf:	16,6 ± 1,62	1,67 ± 0,08	62,0 ± 11,8	22,1 ± 2,99	9,67 ± 3,66
Kraft:	15,9 ± 2,62	1,73 ± 0,06	59,8 ± 6,17	20,2 ± 2,06	10,2 ± 5,49
TK:	14,0 ± 1,62	1,58 ± 0,09	47,1 ± 11,5	18,3 ± 3,09	9,82 ± 4,42

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD.

### 2.1.3 Studienaufbau

#### 2.1.3.1 Aufklärungsgespräche

Zu Beginn der Studie fanden Aufklärungsgespräche mit den Athleten und deren Trainern statt. In Gruppenbesprechungen konnten die wichtigsten Informationen für das gewissenhafte Ausfüllen der Trainings- und Ernährungsprotokolle gegeben werden. Neben der umfassenden Erläuterung der Führung von Ernährungsprotokollen, wurde den Teilnehmern die haushaltsüblichen Maße für die Ernährungsprotokollierung vorgestellt und auch deren Benutzung erklärt. Ein ausführlich darge-

stelltes Beispiel zur Führung eines Ernährungsprotokolls wurde in den jeweiligen Trainingsgruppen besprochen. Außerdem wurde die Methode des Abwiegens von Lebensmitteln ausführlich behandelt. Für das verlässliche Eintragen der Lebensmittel in das Protokoll wurde den Sportlern empfohlen, die Speisen und Getränke unmittelbar nach ihrem Verzehr zu notieren. Nicht alle teilnehmenden Athleten haben wochentags zu Hause gegessen. Der größte Teil der Sportler, nämlich 67 %, nahm seine Hauptmahlzeiten in der Schulküche des Sportinternats ein. Für eine ebenso genaue Angabe der Verzehrsmengen, der Speisenzusammensetzung und –zubereitung wurde Kontakt zur Küchenchefin aufgenommen. Mit ihrer Hilfe war es möglich, die Speisepläne zusammen mit diversen Informationen wie z. B. den Portionsgrößen und der Zubereitungsart zu erhalten. Außerdem wurden Packungsbeilagen mit den entsprechenden Nährstoffzusammensetzungen von bevorzugten Sportriegeln, Sportgetränken, Nahrungsergänzungspräparaten und Süßwaren eingesammelt und als benutzerdefinierte Lebensmittel in Prodi 4.5/03 expert kodiert. Es bestand ein ständiger Kontakt zwischen Sportlern, Trainern und der Autorin der Arbeit. Die Trainer erklärten sich zur Betreuung der Athleten bei der Protokollierung der Trainingseinheiten bereit.

### 2.1.3.2 Berechnung des Trainingsumfangs

Die Sportler wurden aufgefordert, ihre täglichen Trainingseinheiten für eine Woche in einem vorgefertigten Trainingsprotokoll aufzuschreiben (Anhang, Abb. 1). Tabelle 3 enthält die wichtigsten Trainingsdaten der Sportler, welche dem Trainingsprotokoll entnommen werden konnten.

Tab. 3: Durchschnittliche Trainingsstunden und Trainingstage der Sportler pro Woche

Sportarten/Geschlecht		Trainingstunden [h/w]	Trainingstage [d/w]
Ausdauer	J:	15,9 ± 5,42	5,88 ± 0,42
	M:	15,5 ± 5,45	6,07 ± 0,26
Kampf	J:	14,1 ± 3,10	5,00 ± 0,00
	M:	9,86 ± 1,48	4,29 ± 0,45
Kraft	J:	14,0 ± 1,73	5,33 ± 0,47
	M:	13,5 ± 2,57	5,47 ± 0,62
TK	J:	19,9 ± 3,61	5,43 ± 0,49
	M:	19,3 ± 4,87	5,00 ± 1,00
Geschlecht	J:	16,4 ± 5,88	5,58 ± 0,53
	M:	15,4 ± 5,69	5,34 ± 0,89
Sportarten			
Ausdauer:		16,4 ± 6,62	5,95 ± 0,38
Kampf:		12,2 ± 3,27	4,69 ± 0,46
Kraft:		13,6 ± 2,37	5,43 ± 0,58
TK:		20,0 ± 5,21	5,14 ± 0,89

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD.

Der Zweck dieses Trainingsprotokolls bestand darin, die Anzahl der Trainingsstunden sowie der Trainingstage pro Woche zu ermitteln. Die entsprechenden Einzelwerte der Athleten sind in der Anhangstabelle 1 (a + b) dargestellt.

### 2.1.3.3 Schätzung des Energiebedarfs

Der tägliche Energiebedarf der Sportler wurde auf der Basis von Erhaltungsbedarf, Wachstumszuschlag und Leistungsumsatz geschätzt. Der Erhaltungsbedarf wurde als ein Vielfaches des Grundumsatzes ermittelt. Die Berechnung des Grundumsatzes erfolgte nach Angaben des Department of Health (1991) in Abhängigkeit des Geschlechts, des Alters und des Körpergewichtes nach folgenden Formeln:

Männer im Alter von 10 - 17 Jahre:	$0,074 \text{ (KG in kg)} + 658,9 \text{ [kcal/Tag]}$
Männer im Alter von 18 - 29 Jahre:	$0,063 \text{ (KG in kg)} + 692,8 \text{ [kcal/Tag]}$
Frauen im Alter von 10 - 17 Jahre:	$0,056 \text{ (KG in kg)} + 821,5 \text{ [kcal/Tag]}$
Frauen im Alter von 18 - 29 Jahre:	$0,062 \text{ (KG in kg)} + 487,1 \text{ [kcal/Tag]}$

Aufgrund der Tatsache, dass die Sportler im Durchschnitt 2mal am Tag trainierten, wurde in der restlichen Freizeit keine größere körperliche Anstrengung der Athleten vermutet. Deshalb wurde nach Angaben der Recommended Nutrient Intakes (NHMRC, 1990) zur Berechnung des Erhaltungsbedarfs ein Multiplikationsfaktor (= Aktivitätslevel) von 1,7 für die männlichen und 1,6 für die weiblichen Athleten verwendet, um die alltägliche, mittelmäßige körperliche Aktivität zu berücksichtigen. Zusätzlich wurden nach Angaben von Recommended Nutrient Intakes (NHMRC, 1990) Wachstumszuschläge für die Athleten bis einschließlich des 18. Lebensjahres in folgenden Höhen vorgenommen:

Jungen und Mädchen mit 10 bis 14 Jahren:	1,91 kcal pro kg Körpergewicht (KG)
Jungen und Mädchen mit 15 Jahren:	0,96 kcal pro kg KG
Jungen und Mädchen mit 16 bis 18 Jahren:	0,48 kcal pro kg KG.

Der Leistungsumsatz der Athleten wurde auf der Basis des von Williams (1997) angegebenen Kalorienverbrauchs pro min bei verschiedenen Bewegungsformen und Sportarten in Abhängigkeit des Körpergewichts sowie der geleisteten Trainingsstunden pro Woche errechnet und zusammen mit den bereits vorgestellten Parametern zum gesamten Tagesenergiebedarf (Durchschnittswert von sieben Tagen) der Athleten addiert. Die entsprechenden Tabellenwerte von Williams können der Anhangstabelle 2 entnommen werden. Für die Schwimmer wurde je ein Drittel der Trainingsstunden auf das Brust-, Kraul- und Rückenschwimmen verteilt. Bei den Turnern, Wasserspringern und den weiblichen Athleten der Rhythmischen Sportgymnastik wurden keine Angaben zum Energieverbrauch während des Trainings gefunden. Das Training der drei Disziplinen besteht allerdings aus intensiven Gymnastikeinheiten und Kräftigungsübungen (Krafttraining), so dass hier die Anzahl der Trainingsstunden auf diese beiden Trainingskomponenten verteilt wurde. Ebenso wur-

de für die Ruderer und für die Kraftsportler (Weitspringer, Diskuswerfer, Sprinter, Siebenkämpfer und Mehrkämpfer) ein individueller Leistungsumsatz auf der Basis des Krafttrainings errechnet.

### 2.1.3.4 Erfassung der Energie- und Nährstoffzufuhr

#### 2.1.3.4.1 Ernährungsprotokoll

Mit Hilfe von Ernährungsprotokollen (Anhang, Abb. 2), die dem Sportlerkollektiv für einen Zeitraum von sieben Tagen ausgeteilt wurden, war es möglich, die tägliche Energie- und Nährstoffzufuhr der Sportler zu erfassen. Die auszufüllenden Protokolle wurden dem Kollektiv nach einer mündlichen Einweisung zusammen mit einem Anleitungsformular (Anhang, Abb. 3), das die wichtigsten Informationen zur Führung eines Ernährungsprotokolls enthielt, ausgeteilt. Insgesamt wurden die Ernährungsprotokolle hinsichtlich 18 Inhaltsstoffe analysiert. Das Ernährungsprogramm Prodi 4.5/03 expert hätte zwar die Auswertung zahlreicher weiterer Inhaltsstoffe ermöglicht, dennoch wurden für diese Studie 18 relevante Nährstoffe ausgewählt und in Tabelle 4 aufgelistet.

Tab. 4: Mit dem Ernährungsprogramm Prodi 4.5/03 expert ausgewertete Energie und Nährstoffe

Nährstoffgruppe	Einzelne Nährstoffe
Energie und Makronährstoffe	Energie, Kohlenhydrate, Eiweiß, Fett, gesättigte, einfach ungesättigte, mehrfach ungesättigte Fettsäuren
Sonstiges	Ballaststoffe, Cholesterin
Fettlösliche Vitamine	Vitamin A, $\beta$ -Karotin, Vitamin E
Wasserlösliche Vitamine	Vitamin B <sub>12</sub> , Folsäure
Mengenelemente	Kalzium, Magnesium
Spurenelemente	Eisen, Zink

#### 2.1.3.4.2 Datenverarbeitung mit Prodi 4.5/03 expert

Die Auswertung der Ernährungsprotokolle wurde mit der Ernährungssoftware Prodi 4.5/03 expert (Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, 2000) durchgeführt. Diese Programmversion beinhaltet die Ernährungsdatenbank NutriBase, welche ihre Lebensmittelanalysen aus folgenden vier Datenbanken bezieht:

- Bundeslebensmittelschlüssel, Version II.3. (Berlin, 1999) als Datenbankextrakt (1600 Lebensmittel)
- SOUCI SW, FACHMANN W, KRAUT H: Nährwerttabellen (Stuttgart, 1995/1996) (1000 Lebensmittel)
- Produktdaten der Lebensmittelindustrie
- Benutzerdefinierte Lebensmitteldaten

Bei jedem Teilnehmer wurden die an sieben Tagen protokollierten Lebensmittelmengen eingegeben. Jedes verzehrte Lebensmittel wurde mit der angegebenen Portionsgröße gespeichert. Um

Maßangaben wie ein Tee- oder Esslöffel oder eine Scheibe Käse bzw. Schinken bezüglich des Gewichtes in Gramm zu vereinheitlichen, wurde die MONICA-MENGENLISTE (AID SPECIAL, 1991) verwendet.

#### 2.1.3.4.3 Kodierung neuer Lebensmittel

Die Kodierung von 23 neuen Lebensmitteln war aufgrund des häufigen Verzehrs für eine Auswertung mit dem Computerprogramm Prodi 4.5/03 expert erforderlich (Tab. 5). Als Kodierungen wurden die Ziffernfolgen # 00001 - # 000023 gewählt.

Tab. 5: Übersicht über die benutzerdefinierten Lebensmitteleingaben

<b>Ausgewählte Kodierung</b>	<b>Benutzerdefinierte Lebensmittel</b>
# 00001	Milchschnitte
# 00002	Twix
# 00003	Yes-Törtchen
# 00004	Fanfare Haselnuss
# 00005	Hanuta
# 00006	Mars
# 00007	KitKat
# 00008	Lion
# 00009	Duplo
# 00010	Snickers
# 00011	Gelee-Früchte
# 00012	Schokolinsen
# 00013	Doppelkeks mit Schokocreame
# 00014	Toffifee
# 00015	Peeroton
# 00016	Life Konzept
# 00017	BCAAs (verzweigt-kettige Aminosäuren)
# 00018	Sanuzella-Zym
# 00019	Gatorade
# 00020 / # 00021	Power Bar Erdnuss / Harvest Schokolade
# 00022 / # 00023	Isostar Riegel Banane / Fruchtgeschmack

Als Datengrundlage für die 23 neuen Lebensmittel wurden sowohl Packungsangaben zur Nährstoffzusammensetzung der Lebensmittel, als auch Nährwerttabellen des Buches „Kalorien mündgerecht“ (Umschau-Buchverlag, Frankfurt/Main 1996) verwendet. 14 von den 23 benutzerdefinierten Lebensmitteln (# 00001 - # 00014) wurden in der Lebensmittelgruppe Süßwaren, Zucker, Eiscreme und neun in der Lebensmittelgruppe Diätetische Lebensmittel (# 00015 - # 00023) der Lebensmitteldatenbank von Prodi 4.5/03 expert gespeichert.

#### 2.1.3.4.4 Blutentnahme

Die Studie zur Ermittlung der Ernährungssituation von jungen Leistungssportlern und eine damit verbundene Blutproben-Entnahme zur Analyse relevanter Blutparameter wurde von der zuständigen Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, geprüft und genehmigt. Erst nachdem die Ernährungsprotokolle der nahezu 100 Athleten computergestützt ausgewertet waren, wurde im Rahmen der vorliegenden Studie eine Blutproben-Entnahme durch die Sportärztin für diese Athleten am Olympiastützpunkt Halle organisiert. Es wurde dazu den Athleten frühmorgens (6:30 Uhr bis 7:30 Uhr) im nüchternen Zustand 10 ml Blut für eine heparinisierte und 2,7 ml für eine mit EDTA behandelte Monovette (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland) von der Sportärztin entnommen. Schriftliche Genehmigungen von den Eltern der minderjährigen Athleten bzw. von den volljährigen Athleten wurden eingeholt (Anhang, Abb. 4). Aufgrund der zeitlichen Verschiebung kann kein direkter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Ernährungsprotokolle und den anschließend durchgeführten Blutproben-Analysen erwartet werden.

### 2.1.4 Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben<sup>1)</sup>

#### 2.1.4.1 Verwendete Reagenzien

Für die Analysen zur Ermittlung der Ernährungssituation der jungen Leistungssportler wurden folgende Reagenzien verwendet:

##### Reagenzien:

Ammonium-7-Fluorobenzo-2-Oxa-1,3-Diazole-4-Sulfonat,  
reinst zur Analyse

Butyl-Hydroperoxid-Lösung

Butyl-Hydroxy-Toluen, > 99,0 %

Borsäure, zur Analyse

Di-Natrium-Hydrogen-Phosphat, zur Analyse

Dimethyl-Formamid

Eisessig (100 %)

Ethylen-Diamin-Tetraessigsäure, getestet 100,7 %

Ethanol absolut, > 99,8 %, zur Analyse

Glucose, reinst zur Analyse

Glutathion

Glutathionreduktase

##### Firma:

Fluka Chemie GmbH, Schweiz

Boehringer, Mannheim

Sigma-Aldrich Chemie GmbH,  
Steinheim

Laborchemie Apolda

Merck KGaA, Darmstadt

Jenapharm-Laborchemie Apolda

Merck KGaA, Darmstadt

Sigma-Aldrich Chemie GmbH,  
Steinheim

Roth GmbH, Karlsruhe

Sigma-Aldrich Chemie GmbH,  
Steinheim

Boehringer, Mannheim

Boehringer, Mannheim

<sup>1)</sup>: Auf die Durchführung der Messungen in auswärtigen Laboreinrichtungen wurde jeweils hingewiesen. Ansonsten wurden die Analysen am Institut für Ernährungswissenschaften durchgeführt.

Isopropanol, > 99,9 %	Roth GmbH, Karlsruhe
Kalium-Hydroxid, reinst zur Analyse	Laborchemie Apolda
Methanol, > 99,9 %	Roth GmbH, Karlsruhe
Magnesiumsulfat-Heptahydrat	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
NADPH	Boehringer, Mannheim
n-Hexan, > 97,5 %	Roth GmbH, Karlsruhe
Natrium-Acetat-3-Hydrat, reinst zur Analyse	Gemed, Deutschland
Natriumbromid, reinst, > 99,5 %	Merck KGaA, Darmstadt
Natriumchlorid, reinst zur Analyse	Merck KGaA, Darmstadt
Natrium-Dihydrogen-Phosphat, 98,0 - 100,5 %	Merck KGaA, Darmstadt
Natrium-Hydrogencarbonat, zur Analyse	Merck KGaA, Darmstadt
Natrium-Hydroxid, reinst zur Analyse	Merck KGaA, Darmstadt
Perchlorsäure, 70 %, zur Analyse	Laborchemie Apolda
Pyrogallol	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
Tri-Methyl-Sulfoniumhydroxid	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
Tri-n-Butylphosphin	ICN Biomedicals GmbH, Eschwege

#### **2.1.4.2      Aufbereitung der Blutproben**

Das Plasma wurde durch Zentrifugation des heparinisierten Vollblutes bei 3000 Umdrehungen pro min (1800 g) für 10 min bei 4 °C abgetrennt und fünf gewonnene Aliquote von je 600 µl wurden bis zur Bestimmung der Analysenparameter bei - 20 °C gelagert. Die Erythrozyten im verbleibenden Pellet wurden dreimal mit 4 ml einer physiologischer Kochsalzlösung (0,9 %; 4 °C) gewaschen und jeweils bei 1800 U/min (700 g) für 10 min bei 4 °C zentrifugiert. Die weiteren Behandlungsschritte zur Bestimmung der Fettsäurezusammensetzung in der Erythrozytenmembran werden in Punkt 2.1.4.4 beschrieben.

#### **2.1.4.3      Bestimmung klinisch-relevanter Parameter**

##### **2.1.4.3.1    Bestimmung der Hämoglobinkonzentration im Vollblut**

Zur Messung der Hämoglobinkonzentration im EDTA-Vollblut wurde eine Testkombination der Firma Merck KGaA (Nr. 3317) angewendet. Die Bestimmung erfolgte entsprechend der Testvorschrift.

### *Messprinzip*

Mit Hilfe einer Reaktionslösung erfolgt eine quantitative Umwandlung der Hämoglobinderivate (Ausnahme: Verdoglobin) in Hämiglobincyanid. Bereits nach drei min ist die Umsetzung beendet und der gebildete Farbstoff wird bei einer Wellenlänge von 546 nm spektralphotometrisch (Ultrospec 2000, UV/Visible Spektralphotometer, Amersham Pharmacia Biotech, Cambridge, UK) gegen die Reaktionslösung als Referenzwert gemessen.

#### **2.1.4.3.2 Bestimmung der Kreatininkonzentration im Plasma**

Die Bestimmung der Kreatininkonzentration im Plasma erfolgte mittels eines Testkits der Firma Merck KGaA (Nr. 1.03385.0001) am Spektralphotometer (Amersham Pharmacia Biotech).

### *Messprinzip*

Kreatinin bildet in alkalischer Lösung mit Pikrinsäure eine gelb-orange gefärbte Verbindung. Durch die bei dieser Methode angewandte niedrige Pikrinsäurekonzentration kommt es nicht zu einer Eiweißausfällung. Die Konzentration des während einer bestimmten Reaktionszeit gebildeten Farbstoffs ist ein Maß für die Kreatininkonzentration.

#### **2.1.4.3.3 Bestimmung der Aktivität der Glutathionperoxidase im Plasma**

Die Enzymaktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) wurde nach der Methode von Paglia und Valentine (1967), von Levander et al. (1983) modifiziert, bestimmt. Dabei wird die Aktivität der Glutathionperoxidase indirekt über den Verbrauch von NADPH ermittelt.

### *Messprinzip*

Die Glutathionperoxidase katalysiert die Oxidation von Glutathion mit  $\text{H}_2\text{O}_2$  zu Glutathiondisulfid. Die Glutathionreduktase regeneriert unter Verbrauch von NADPH das Glutathiondisulfid. Bei einer Wellenlänge von 340 nm und einer Temperatur von 25 °C wird die Extinktionsänderung mit einem Spektralphotometer (Amersham Pharmacia Biotech) gemessen. Die Extinktionsabnahme pro min ist das Maß für die Aktivität der Glutathionperoxidase.

#### **2.1.4.3.4 Bestimmung der Konzentrationen von $T_4$ , $fT_4$ und $T_3$ im Plasma**

Die Konzentrationen von Thyroxin ( $T_4$ ), des freien Thyroxin ( $fT_4$ ) sowie von Trijodthyronin ( $T_3$ ) im Plasma wurden mit Hilfe der RIA Kits  $T_4$  MAb, FREE  $T_4$  und  $T_3$  der Fa. ICN-Biomedicals GmbH (Eschwege, Deutschland) gemessen.

### *Messprinzip*

Markierte und unmarkierte Antigene (Hormone) konkurrieren um eine begrenzte Anzahl von freien Bindungsstellen an einem Antikörper. Mit zunehmenden Mengen unmarkierter Antigene reduzieren sich die freien Bindungsstellen für die  $^{125}\text{J}$ -markierten Antigene. Die Menge der gebundenen Radioaktivität ist somit umgekehrt proportional zur Antigenkonzentration im Plasma bzw. im Standard. Nach einer ausreichenden Inkubationszeit wurden die gebundenen und freien Anteile getrennt. Durch die Zugabe von 3 ml Szintillatormischung wurde die Radioaktivität im Flüssigkeits-Szintillations-Zähler ermittelt.

#### **2.1.4.4 Bestimmung ernährungs-relevanter Parameter**

##### **2.1.4.4.1 Bestimmung der Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten**

Die Bestimmung der Fettsäuren im Lipidextrakt der Erythrozytenmembran erfolgte nach der Methode von Morrison und Smith (1964), modifiziert nach Eder et al. (1991). Die Extraktion der Phospholipide erfolgte nach der Methode von Hara und Radin (1978), modifiziert nach Eder und Kirchgessner (1993), mit n-Hexan : Isopropanol (3 : 2, v/v) für 20 h bei Raumtemperatur im Schüttelinkubator (300 rpm, Model G 25, New Brunswick Scientific CO. INC Edison, New Jersey, U.S.A.). Die Proben wurden dann für 10 min bei 800 g zentrifugiert. Aliquote der Lipidextrakte wurden unter Stickstoffbegasung eingeengt und zur Bestimmung des Fettsäuremusters herangezogen. Die Fettsäuren wurden mit 50  $\mu\text{l}$  Trimethylsulfoniumhydroxid verestert (Morrison und Smith, 1964) und mit Hilfe eines Gaschromatographen (HP 5890, Autosampler HP 7673, Hewlett Packard GmbH, Waldbronn, Deutschland) bestimmt. Die Proben wurden automatisch injiziert, mittels einer polaren Kapillarsäule (FFAp, 0,53 mm ID, Fa. Macherey und Nagel, Düren, Deutschland) und dem Trägergas Helium bei einer Fließgeschwindigkeit von 7,6 ml/min aufgetrennt und durch Flammenionisation detektiert. Es wurde 1  $\mu\text{l}$  injiziert. Die Identifizierung der Fettsäuren erfolgte mit der HP 3365 Datastation (Hewlett Packard GmbH) durch Vergleich der Retentionszeiten mit denen von Standards.

##### **2.1.4.4.2 Bestimmung der Cholesterinkonzentration im Plasma**

Die Cholesterinkonzentration im Plasma wurde mittels eines Testkits der Firma Merck KGaA (Nr. 1.14830.0001) am Spektralphotometer (Amersham Pharmacia Biotech) nach der vorgegebenen Testvorschrift gemessen.

### *Messprinzip*

Nach der Freisetzung von Cholesterin und seinen Estern aus Lipoproteinen durch zugegebene Detergenzien, werden die Ester durch die Cholesterinesterase hydrolysiert. Es erfolgt anschließend eine enzymatische Oxidation durch die Cholesterinoxidase, bei welcher  $\text{H}_2\text{O}_2$  entsteht.

Dieses wird in einer Peroxidase-katalysierten Reaktion mit 4-Amino-antipyrin und Salicylalkohol zu einem farbigen Chinonimin umgesetzt.

#### 2.1.4.4.3 Bestimmung der Triglyceridkonzentration im Plasma

Die Bestimmung der Triglyceridkonzentration im Plasma erfolgte nach einer Testkombination der Firma Merck KGaA (Nr. 1.14856.0001) am Spektralphotometer (Amersham Pharmacia Biotech).

##### *Messprinzip*

Mit Hilfe spezieller Lipasen werden Triglyceride enzymatisch zu Glycerin und freien Fettsäuren hydrolysiert. Bei der weiteren Umsetzung von Glycerin entsteht neben weiteren Abbauprodukten  $H_2O_2$ , welches in einer Peroxidase-katalysierten Reaktion mit 4-Amino-antipyrin und Salicylalkohol zu einem farbigen Chinonimin umgewandelt wird.

#### 2.1.4.4.4 Bestimmung der Vitamin-A-Konzentration im Plasma

Die Konzentration von Vitamin A im Plasma wurde mittels der Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC) bestimmt. Dabei erfolgte die Extraktion mit n-Hexan nach der Methode von Suzuki und Katoh (1990), die Chromatographie wurde modifiziert nach Ake et al. (1998) und die Detektion nach Sobczak et al. (1991).

##### *Pipettierschema*

Ins Reagenzglas werden pipettiert:	
	200 µl Plasma
+	200 µl 0,045 %iges Butyl-Hydroxy-Toluen in Ethanol absolut
30 sec mischen	
+	0,5 ml n-Hexan (Extraktion)
2 min mischen	
10 min zentrifugieren bei 1000 U/min (45 g) und 4 °C	
200 µl ins braune HPLC-Gläschen pipettieren	

##### *HPLC-Bedingungen*

Gerät: Hewlett Packard GmbH (Waldbronn, Deutschland) mit Autosampler und UV-Detektor

Säule: 250 × 4 / Vertex nucleosil 100 C 18 Knauer (Berlin, Deutschland)

Eluent:	Acetonitril
Detektor:	UV-Detektion (Anregung: 330 nm, Emission: 470 nm)
Fluss:	1 ml/min
Temperatur:	30 °C
Injektionsvolumen:	10 µl

Die Berechnung der Vitamin-A-Konzentration im Plasma erfolgte mittels eines eingesetzten Standards der Firma Calbiochem/Merck KGaA.

#### 2.1.4.4.5 Bestimmung der Vitamin-E-Konzentration im Plasma

Die Konzentration von Vitamin E im Plasma wurde nach der Methode von Balz et al. (1993) mittels HPLC bestimmt.

##### *Pipettierschema*

Ins Reagenzglas werden pipettiert:
200 µl Plasma
+ 1 ml 1 %iger Pyrogallol in absoluten Ethanol (4 °C)
+ 150 µl NaOH (gesättigt)
Gut mischen !
Inkubation: 30 min bei 70 °C (Verseifung)
+ 2 ml n-Hexan (Extraktion)
+ 1 ml destilliertes Wasser
Gut mischen !
Von der oberen Phase 1000 µl in HPLC-Gläschen pipettieren

##### *HPLC-Bedingungen*

Gerät:	Hewlett Packard GmbH mit Autosampler und UV-Detektor
Säule:	250 × 4 / LiChrosorb Si 60 Säule (5 µm)
Eluent:	n-Hexan und 1,4 Dioxan (96 : 4, v/v)
Detektor:	UV-Detektion (Anregung: 330 nm, Emission: 295 nm)
Fluss:	1 ml/min
Temperatur:	30 °C
Injektionsvolumen:	10 µl

Die Berechnung der Vitamin-E-Konzentration im Plasma erfolgte mittels eines eingesetzten Standards der Firma Calbiochem/Merck KGaA.

#### **2.1.4.4.6 Bestimmung der Vitamin-B<sub>12</sub>-Konzentration im Plasma**

Die Vitamin-B<sub>12</sub>-Konzentration im Plasma wurde mit Hilfe des ElektroChemilumineszenz Immunoassay „ECLIA“ (Nr. 1820753) am Roche Immunoassay Analysenautomaten Elecsys 2010 (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Deutschland) am Institut für Klinische Chemie und Pathobiochemie, der Medizinischen Fakultät an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg, bestimmt. Es wurden pro Probe 15 µl Plasma verwendet.

##### *Messprinzip*

Das Vitamin B<sub>12</sub> in der Probe konkurriert mit dem exogen zugesetzten biotinylierten Vitamin B<sub>12</sub> um die Bindungsstellen am mit Ruthenium-Komplex markierten „Intrinsic factor“.

#### **2.1.4.4.7 Bestimmung der Folsäurekonzentration im Plasma**

Die Messung der Folsäurekonzentration im Plasma wurde mit Hilfe des ElektroChemilumineszenzImmunoAssay „ECLIA“ (Nr. 1820761) an dem Roche Immunoassay Analysenautomaten Elecsys 2010 der Firma Roche Diagnostics GmbH am Institut für Klinische Chemie und Pathobiochemie, der Medizinischen Fakultät an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg, durchgeführt. Es wurden jeweils 15 µl Plasma benötigt.

##### *Messprinzip*

Das Folat in der Probe konkurriert mit exogen zugesetztem biotinyliertem Folat um die Bindungsstellen an dem mit Ruthenium-Komplex markierten Folat-Bindungsproteinen.

#### **2.1.4.4.8 Bestimmung der Homocysteinkonzentration im Plasma**

Die Homocysteinkonzentration im Plasma wurde mit Hilfe der HPLC nach der Methode von Vester und Rasmussen (1991) bestimmt.

##### *Messprinzip*

Die Probe wird mit Tri-n-Butylphosphin reduziert. Anschließend werden die Proteine gefällt. Es erfolgt eine Derivatisierung mit dem Farbstoff Ammonium-7-Fluorobenzo-2-Oxa-1,3-Diazole-4-Sulfonat.

*Pipettierschema*

In ein Eppendorf-Reaktionsgefäß werden pipettiert:	
	150 µl Plasma
+	50 µl Standard
Gut mischen !	
+	20 µl 100 ml/l Tri-n-Butylphosphin in Dimethylformamid
30 min bei 4 °C inkubieren lassen	
+	125 µl 0,6 mol/l Perchlorsäure
Gut mischen !	
10 min bei Raumtemperatur inkubieren lassen	
10 min bei 13 000 U/min (4000 g) zentrifugieren	
Vom mittleren Überstand 100 µl in ein neues Eppendorf-Reaktionsgefäß abpipettieren	
+	200 µl von Puffer 2
Gut mischen !	
+	100 µl von der Mischung: 1mg Ammonium-7-Fluorobenzo-2-Oxa-1,3-Diazole-4-Sulfonat in 1 ml Puffer 3
Gut mischen; für 60 min bei 60 °C inkubieren und nach dem Abkühlen im Eisbad in HPLC-Gläschen geben	

*HPLC-Bedingungen*

Gerät:	Hewlett Packard GmbH mit Autosampler und Fluoreszenz-Detektor
Säule:	HP LiChroCart <sup>R</sup> 250-4
Vorsäule:	LiChrospher <sup>R</sup> 100 RP-18e (5 µm), 4 × 4 mm
Eluent:	0,1 mol/l Acetat-Puffer (pH 4,0; 2 % MeOH) ; 0,1 mol/l Phosphat-Puffer (pH 6,0; 5 % MeOH)
Detektor:	Fluoreszenz-Detektion (Anregung: 385 nm, Emission: 515 nm)
Fluss:	1,1 ml/min
Temperatur:	30 °C
Injektionsvolumen:	10 µl

*Reagenzien*

Puffer 1: 0,1 mol/l Kalium-Borat (pH 9,5) + 2 mmol/l EDTA × Na<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>; Puffer 2: 2 mol/l Kalium-Borat (pH 10,5) + 5 mmol/l EDTA × Na<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>; Puffer 3: 2 mol/l Kalium-Borat (pH 9,5).

Mit Hilfe definierter Homocysteinkonzentrationen (Sigma-Aldrich Chemie GmbH) konnten die Retentionszeiten ermittelt und die Linearität überprüft werden.

### 2.1.4.4.9 Bestimmung der Zinkkonzentration im Plasma

Die Bestimmung der Zinkkonzentration im Plasma erfolgte photometrisch nach einer Methode der Firma Wako Chemicals GmbH, Neuss, Deutschland (Nr. 435-14909) bei einer Wellenlänge von 560 nm.

#### *Messprinzip*

Zink-Ionen bilden mit 5-Br-PAPS in alkalischer Lösung ein wasserlösliches rot-violettes Chelat, dessen Farbintensität der Zinkkonzentration proportional ist. Eisen, Kupfer, Nickel und Kobalt werden mit Citrat, Dimethylglyoxim und Salicylaldehyd maskiert.

## 2.2 Studie zur Zinksupplementierung von Leistungssportlern

### 2.2.1 Charakterisierung des Studienkollektivs

An der Studie nahmen auf freiwilliger Basis 36 Athleten, größtenteils aus dem ersten Untersuchungskollektiv, teil (Tab. 6).

Tab. 6: Einteilung des Untersuchungskollektivs

Parameter	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Zinkkonzentration im Plasma [ $\mu\text{g}/\text{dl}$ ]	< 80	80 bis 95	> 95
Gesamtanzahl [N]	9	13	14
Anzahl Mädchen [N]	7	7	4
Anzahl Jungen [N]	2	6	10
Ausdauersportler/innen [N]	2	8	4
Kraftsportler/innen [N]	7	5	10

Die jungen 18 weiblichen und 18 männlichen Leistungssportler wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen Zinkkonzentrationen im Plasma zu Beginn der Studie in drei Gruppen eingeteilt. Von den 36 Athleten übten 14 Ausdauersportarten (Schwimmen, Rudern) und 22 Athleten Kraftsportarten (Dreisprung, Sprint, Siebenkampf, Wasserspringen, Turnen, Judo, Ringen) aus.

### 2.2.2 Anthropometrische Daten

Im Rahmen der Blutuntersuchung, welche sowohl vor als auch nach einer sechswöchigen Zinksupplementierung stattgefunden haben, wurden zu Beginn der Zinkzufuhr die anthropometrischen Daten Körpergröße, Körpergewicht, BMI und der Körperfettanteil der Sportler durch die Sportärztin am Olympiastützpunkt ermittelt (Tab. 7). Die Einzelwerte können der Anhangstabelle 10 entnommen werden. Im Rahmen der Körperfettmessung wurde die Hautfaldendicke mit Hilfe eines Kalipers nach der Methode von Parizkova (1962) gemessen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode erfolgte bereits unter Punkt 2.1.2.

Tab. 7: Anthropometrische Daten der Sportler innerhalb der drei Gruppen

Parameter	Zinkkonz. [µg/dl]	Alter [a]	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Körperfett [%]
Gruppe 1: Min. - Max.	< 80 Anzahl: 9	16,7 ± 1,76 14,0 - 20,0	1,70 ± 0,05 1,60 - 1,76	63,8 ± 8,53 47,0 - 78,0	22,2 ± 2,64 16,2 - 25,6	12,6 ± 3,42 8,50 - 18,1
Gruppe 2: Min. - Max.	80 bis 95 Anzahl: 13	16,9 ± 2,97 13,0 - 23,0	1,76 ± 0,11 1,63 - 1,99	66,5 ± 12,8 50,5 - 94,5	21,2 ± 2,09 18,2 - 24,8	10,4 ± 2,88 3,90 - 15,1
Gruppe 3: Min. - Max.	> 95 Anzahl: 14	16,8 ± 2,08 14,0 - 22,0	1,73 ± 0,10 1,50 - 1,90	63,1 ± 12,7 42,5 - 89,5	20,8 ± 2,27 16,7 - 24,8	8,20 ± 2,75 2,60 - 13,8

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD

### 2.2.3 Studienaufbau

#### 2.2.3.1 Behandlung

Die Studie zur Durchführung einer Zinksupplementierung von jungen Leistungssportlern und einer damit verbundenen Blutproben-Entnahme zur Analyse relevanter hämatologischer Parameter sowie auch ausgewählter Parameter des Zink- und Immunstatus wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, geprüft und genehmigt. Die Zielstellung dieser Studie lautete, einen möglichen Einfluss unterschiedlicher Zinkversorgungszustände sowie mögliche Auswirkungen einer gezielten Zinksupplementierung auf hämatologische Parameter und ausgewählte Parameter des Zink- und Immunstatus von Personen mit unterschiedlichem Zinkstatus zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurden Untersuchungen von Blutproben sowohl vor als auch nach einer sechswöchigen Behandlung mit Zink durchgeführt. 36 Athleten, die freiwillig an dieser Studie teilgenommen haben, erhielten dazu das Zinkpräparat Unizink der Firma Köhler Pharma GmbH, Ansbach, in einer Dosierung von 2 × 10 mg/Tag als Zink-DL-Aspartat.

#### 2.2.3.2 Aufklärungsgespräche

Allen beteiligten Athleten und Athletinnen, sowie auch deren Trainern, wurde der Verlauf der Studie in persönlichen Gesprächen ausführlich erklärt. In einem kurzen Vortrag wurde auf die Aufgaben von Zink, die Auswirkungen eines Zinkmangels und die Ursachen dafür erläutert. Dabei wurde insbesondere auf das Anliegen dieser sechs Wochen dauernden Studie, die Wirkung einer Zinksupplementierung auf den Zink- und Immunstatus, eingegangen. Allen Athleten wurde erklärt, dass es sich um das Zinkpräparat Unizink der Firma Köhler Pharma GmbH, welches aus der Apotheke rezeptfrei bezogen werden kann, handle. Das Zinkpräparat sollte in einer Dosierung von 2 × 10 mg Zink-DL-Aspartat in Form einer Filmtablette täglich von den Sportlern supplementiert werden. Ein Kopieabzug des Beipackzettels des Zinkpräparates Unizink der Firma Köhler Pharma GmbH wurde den Sportlern ausgeteilt und auf die von der Firma vermerkte Verträglichkeit des Präparates und empfohlene Dosis für Heranwachsende (1 - 2 Filmtabletten pro Tag) wurde ebenso hingewiesen wie auf die Eignung des Präparates in der empfohlenen Dosis zur Langzeitanwendung. Zudem

wurde betont, dass die regelmäßige Einnahme des Zinkpräparates zu den vereinbarten Tageszeiten (sowohl frühmorgens, vor dem Frühstück, als auch abends, vor dem Abendessen), jeweils 30 bis 60 min vor der Mahlzeit, ausschlaggebend für die Ergebnisse dieser Studie seien und somit größte Zuverlässigkeit erwartet werde. Den Eltern der an der Studie beteiligten Sportler wurde schriftliches Informationsmaterial über die Bedeutung und den Ablauf der Studie zugeschickt. Zudem war die beigefügte Einwilligungserklärung zur Teilnahme an dieser Studie (Anhang, Abb. 5) für minderjährige Athleten von den Eltern und für volljährige Sportler selbst zu unterschreiben. Den Athleten wurde sowohl der Gesundheitsfragebogen, als auch das über sechs Wochen zuführende Trainingsprotokoll ausführlich erklärt. Im Anschluss daran wurden die Termine der ersten und der zweiten Blutproben-Entnahme, die durch die Sportärztin des Olympiastützpunktes vorgenommen wurde, vereinbart. Die Autorin stand den Sportlern jederzeit telefonisch oder auch persönlich für Fragen zu dieser Studie zur Verfügung.

### 2.2.3.3 Berechnung des Trainingumfangs

Das Trainings- und Wettkampfprotokoll der zweiten Studie (Anhang, Abb. 6) wurde von den Athleten sechs Wochen lang geführt. Der mittlere, wöchentliche Trainingsumfang in Stunden pro Woche und die Anzahl der Trainingstage pro Woche wurden den Protokollen entnommen und in Tabelle 8 dargestellt. Die Auswertung der Trainingsprotokolle ergab, dass Gruppe 1 durchschnittlich 15,2 Stunden an 5,26 Trainingstagen, Gruppe 2 17,3 Stunden an 5,23 Trainingstagen und Gruppe 3 14,0 Stunden an 4,63 Trainingstagen pro Woche trainierte. Das wöchentliche Trainingspensum der Athleten betrug minimal 6,00 und maximal 22,7 Trainingsstunden pro Woche. Die Einzelwerte der Sportler sind in der Anhangstabelle 10 aufgelistet.

Tab. 8: Durchschnittliche Trainingsstunden und Trainingstage pro Woche

<b>Trainingsumfang</b>	<b>Gruppe 1 &lt; 80 µg/dl</b>	<b>Gruppe 2 80 bis 95 µg/dl</b>	<b>Gruppe 3 &gt; 95 µg/dl</b>
Trainingsstunden [h/w]	15,2 ± 3,89	17,3 ± 3,71	14,0 ± 5,29
Min. - Max.	8,50 - 20,9	12,3 - 22,7	6,00 - 21,8
Trainingstage [d/w]	5,26 ± 0,65	5,23 ± 0,53	4,63 ± 0,89
Min. - Max.	3,67 - 5,83	4,17 - 5,67	3,17 - 6,00

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD

### 2.2.3.4 Gesundheitsfragebogen und Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage

Ein erstellter Gesundheitsfragebogen (Anhang, Abb. 7) den die Athleten am Tag der ersten Blutproben-Entnahme am Olympiastützpunkt zum sofortigen Ausfüllen bekamen, diente zur Auskunft über den allgemeinen Gesundheitszustand der Sportler vor Beginn der Zinksupplementierung. Der

Gesundheitsfragebogen wurde anschließend wieder eingesammelt. Folgende Fragen wurden in die verbale Einschätzung des Gesundheitszustandes der Sportler herangezogen:

1. Fühlst Du Dich oft schlapp und abgespannt ?
2. Verheilen Deine Wunden gut ?
3. Bist Du mit Deinem Gesundheitszustand zufrieden ?
4. Leidest Du an Atemwegserkrankungen (Schnupfen, Bronchitits, Erkältung, Grippe) ?

Die Antworten sollten mit ja oder nein angegeben werden. Prozentual wurde dann der Anteil der Sportler, die mit „ja“ oder „nein“ antworteten, bezogen auf die Gesamtgruppe errechnet. Zusätzlich erhielten die Athleten ein Protokoll zur Erfassung ihrer Gesundheits- und Krankheitstage (Anhang, Abb. 8) während der sechswöchigen Zink-Einnahme. Dieses Protokoll wurde zur zweiten Blutproben-Entnahme wieder eingesammelt. In diesem Bogen sollten neben dem Datum, das persönliche Befinden mit „g“ wie gesund oder „k“ wie krank, Symptome der Krankheit, der Name der evtl. eingenommenen Medikamente sowie ein krankheitsbedingter Ausfall von Schule und Training eingetragen werden. Zur Bewertung des Gesundheitszustandes der Athleten während der sechswöchigen Zinksupplementierung wurden die ersten vier Wochen nach Beginn der Supplementierung getrennt zu den letzten zwei Wochen vor dem Ende der Zink-Einnahme betrachtet, um einen möglichen Effekt der Zinksupplementierung am Ende der Einnahme im Vergleich zur anfänglichen Einnahme überprüfen zu können. Folgendes Bewertungsmaß wurde dabei aufgestellt: Es wurden die Tage der Athleten innerhalb jeder Gruppe addiert, an welchen sich die Sportler während der ersten vier und auch während der letzten beiden Wochen der Zink-Einnahme kränzlich gefühlt hatten. Die gesamte Anzahl der Krankheitstage der Athleten einer Gruppe wurden in Beziehung zu den jeweiligen beiden Zeiträumen gesetzt, wobei für jeden Athleten vier Wochen bzw. zwei Wochen angenommen wurde. Das hatte den Vorteil, den Prozentanteil der Krankheitstage der Athleten von den drei Gruppen unabhängig von der Größe der beiden zu betrachtenden Zeiträume ermitteln zu können.

#### **2.2.3.5 Blutproben-Entnahme vor und nach der Zinksupplementierung**

Zur ersten Blutproben-Entnahme brachten die 36 Sportler die unterschriebenen Einwilligungserklärungen zu dieser Studie zur Sportärztin am Olympiastützpunkt mit. Die Blutproben-Entnahme erfolgte durch die Sportärztin am Olympiastützpunkt frühmorgens und im nüchternen Zustand der Sportler. Es wurden insgesamt 18,1 ml Blut abgenommen. Davon wurden 10 ml Blut in heparinisierten Polyethylenmonovetten zur Bestimmung der Hämolyseresistenz von Erythrozyten in hypotonen Kochsalzlösungen, der C-reaktiven Proteinkonzentration, der Zinkkonzentration, der Zink-Bindungskapazität und zur Bestimmung der Enzymaktivität der Alkalischen Phosphatase im Plasma, weitere 2,7 ml Blut, ebenfalls in heparinisierten Polyethylenmonovetten, zur Durchführung einer maximalen In-vitro-Stimulierung von T-Lymphozyten zur Produktion von Zytokinen (IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2) sowie auch 2,7 ml Blut in mit EDTA-behandelten Monovetten zur Bestimmung der Leukozytensubpopulationen mittels Durchflusszytometrie und 2,7 ml Blut in unbeschichteten Poly-

ethylenmonovetten zur Bestimmung der Plasmakonzentrationen von Haptoglobin und der Immunglobuline IgG und IgM, benötigt. Den Athleten wurden Fragen zur bisherigen Einnahme von Nahrungsergänzungspräparaten gestellt. Außerdem wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass während der sechswöchigen Zinksupplementierung keine weiteren Zusatzpräparate eingenommen werden dürften. Nach der ersten Blutentnahme wurde den Sportlern in einem persönlichen Gespräch das Zinkpräparat Unizink 50 der Firma Köhler Pharma GmbH (Alsbach-Hähnlein, Deutschland) und eine Mappe mit den bereits besprochenen Unterlagen (Gesundheitsfragebogen, Trainingsprotokoll, Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage) ausgehändigt. Nach der sechswöchigen Zinksupplementierung wurde von jedem Sportler erneut 18,1 ml Blut frühmorgens zu den gleichen Zeitpunkten im nüchternen Zustand zur wiederholten Bestimmung der Parameter abgenommen. Die ausgefüllten Unterlagen (Trainingsprotokoll, Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage) wurden eingesammelt.

## **2.2.4 Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben vor und nach der Zinksupplementierung**

### **2.2.4.1 Verwendete Reagenzien**

Für die Analysen zur Zinksupplementierung von jungen Leistungssportlern wurden folgende Reagenzien verwendet:

#### **Reagenzien:**

AIM-V-Medium (L-Glutamin, 50 µg/ml Streptomycinsulfat,  
10 µg/ml Gentamicinsulfat, 0,25 % humanes Serumalbumin)  
Di-Natrium-Hydrogen-Phosphat, zur Analyse

Essigsäure, 100 %

Ionomycin

Kochsalz, zur Analyse, ≥ 99,5 %

Magnesiumcarbonat, basisch

Monensin

Natrium-Dihydrogen-Phosphat, 98,0 - 100,5 %

Natrium-Hydroxid, reinst zur Analyse

Phorbol 12-Myristat 13-Acetat

Pyrogallol

Salzsäure Roth GmbH, Karlsruhe,

Tris-Succinat

Zinkchlorid, zur Analyse

#### **Firma:**

Gibco BRL, Karlsruhe,  
Deutschland

Merck KGaA, Darmstadt,  
Deutschland

Merck KGaA

Sigma-Aldrich Chemie GmbH,  
Steinheim, Deutschland

Merck KGaA

Jenapharm-Laborchemie Apolda,  
Deutschland

Sigma-Aldrich Chemie GmbH

Merck KGaA

Merck KGaA

Calbiochem-Novabiochem

GmbH, Bad Soden, Deutschland

Sigma-Aldrich Chemie GmbH

Deutschland

Sigma-Aldrich Chemie GmbH

Merck KGaA

### **2.2.4.2     Aufbereitung der Blutproben**

Das Plasma wurde durch Zentrifugation des Vollblutes (10 ml) bei 3000 U/min (1800 g) für 10 min bei 4 °C abgetrennt. Aliquote wurden bis zur Bestimmung der Analysenparameter bei - 20 °C gelagert. Die Bestimmung des C-reaktiven Proteins im Plasma, der Immunglobuline IgG, IgM und von Haptoglobin im Serum erfolgte im Zentrallabor vom Klinikum der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg. Die Erythrozyten im verbleibenden Pellet wurden dreimal mit 4 ml einer 0,9 %igen NaCl (4 °C) gewaschen und dann bei 1800 U/min (700 g) für 10 min bei 4 °C zentrifugiert.

### **2.2.4.3     Hämatologische Untersuchungen**

#### **2.2.4.3.1   Bestimmung des Hämatokrits**

Der Volumenanteil der roten Blutkörperchen am Gesamtblutvolumen wird als Hämatokrit (Hkt) bezeichnet. Der Hkt wurde von einer MTA der Sportärztin in der Arztpraxis am Olympiastützpunkt Halle ermittelt.

#### *Messprinzip und Durchführung*

Heparinisierte Kapillarröhrchen (50 mm lang) wurden bis zu 4/5 ihrer Länge mit Vollblut aus dem Ohr gefüllt. Das vom Blut nicht benetzte Ende des Röhrchen wurde mit einer geeigneten Kittmasse wie z. B. mit Segling Wax (Radiometer, Copenhagen) zugekittet. Das Röhrchen wurde mit geschlossenem Ende nach außen in die Aussparungen des Rotors der Zentrifuge gelegt und bei 1800 g für 4 min zentrifugiert (Mikrohämatokritzentrifuge, TH11, Janetzki, Deutschland). Das Ablesen des prozentualen Anteils der Erythrozytensäule am Gesamtvolumen erfolgte mit einer Ablesevorrichtung (Nomogramm).

#### **2.2.4.3.2   Bestimmung der Hämoglobinkonzentration im Vollblut**

Die Bestimmung der Hämoglobinkonzentration (Hb) im Vollblut erfolgte nach der Testanwendung, die bereits unter Punkt 2.1.4.3.1 beschrieben wurde.

#### **2.2.4.3.3   Berechnung der mittleren korpuskulären Hämoglobinkonzentration**

Zur Berechnung der mittleren korpuskulären Hämoglobinkonzentrationen (MCHC) wurden die gemessenen Konzentrationen von Hb durch die entsprechenden Hkt dividiert.

#### *Berechnung*

$$\text{MCHC [g/dl]} = \frac{\text{Hb [g/dl]}}{\text{Hkt}}$$

#### **2.2.4.3.4 Bestimmung der Konzentration des C-reaktiven Proteins**

Die Bestimmung der Konzentration des C-reaktiven Proteins (CRP) im Plasma erfolgte nach einer Methode der Fa. Beckman Coulter GmbH (Krefeld, Deutschland) mittels Immunturbidimetrie am SYNCHRON-LX-System (Nr. 465131). Das Probenvolumen betrug 10 µl Plasma. Die Konzentrationen an CRP wurden im Zentrallabor vom Klinikum der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, ermittelt.

##### *Messprinzip*

CRP verbindet sich mit spezifischem Antikörper (Anti-CRP-Antikörper) zu Antigen-Antikörper-Komplexen. Es wird die Absorptions-Änderung bei 340 nm gemessen. Sie ist der Konzentration von CRP in der Probe direkt proportional und dient zur Berechnung der Konzentration von CRP auf der Grundlage einer angepassten, vorbestimmten Einpunkt-Kalibrationskurve.

#### **2.2.4.3.5 Bestimmung der Haptoglobinkonzentration im Serum**

Die Haptoglobinkonzentration wurde im Serum nach einem Verfahren der Fa. Beckman Coulter GmbH (Krefeld, Deutschland) mit Hilfe kinetischer Nephelometrie (Nr. 446480) bestimmt. Das Probenvolumen betrug 100 µl Serum. Die Messungen wurden im Zentrallabor vom Klinikum der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, durchgeführt.

##### *Messprinzip*

Bei der Bestimmung von Haptoglobin wird durch das Analysengerät Nephelometer IMAGE der Fa. Beckman-Coulter GmbH die Zunahme des Streulichts gemessen, das von in der Lösung schwebenden Partikeln verursacht wird. Diese Partikel entstehen bei der Bildung von Antigen-Antikörper-Komplexen.

#### **2.2.4.3.6 Bestimmung der Hämolyseresistenz von Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen**

Zur Beurteilung der Membranstabilität von Erythrozyten wurde deren Resistenz gegenüber hypotonen NaCl-Lösungen unterschiedlicher Konzentrationen nach einer von O'Dell et al. (1987) modifizierten Methode nach Cartwright (1963) bestimmt.

##### *Messprinzip*

Heparinisiertes Vollblut wird in einer Menge von jeweils 15 µl in hypotonen NaCl-Lösungen (Menge: je 1,5 ml) unterschiedlicher Konzentrationen (0 % und 0,38 - 0,90 %) pipettiert und für 15 min bei Raumtemperatur inkubiert. Dabei hämolysieren die Erythrozyten umso stärker, je hypotoner die

NaCl-Lösung und je fragiler deren Membran ist. Die Hämolyse äußert sich in dem Austritt von Hämoglobin in das Inkubationsmedium. Nach dem Zentrifugieren für 10 min bei 3000 U/min (500 g) wird der Hämoglobingehalt im Überstand spektralphotometrisch (Photometer: Amersham Pharmacia Biotech, Cambridge, England) bei einer Wellenlänge von 540 nm gemessen.

#### *Berechnung*

Ermittelt wird die Hämolyse im Verhältnis zur Totalhämolyse. Der Extinktionswert der Lösung mit 0,00 % NaCl-Gehalt (= Totalhämolyse) wurde dabei gleich 100 % gesetzt und die Extinktionswerte der restlichen Ansätze (0,38 - 0,90 %ige NaCl) als prozentuale Hämolyse in Relation zur Totalhämolyse errechnet.

$$\text{Hämolyse [\%]} = \frac{E_x}{E_0} \times 100 \%$$

$E_x$ : Extinktion einer x %igen NaCl-Lösung

$E_0$ : Extinktion der 0 %igen NaCl-Lösung

### **2.2.4.4 Ermittlung des Zinkstatus**

#### **2.2.4.4.1 Bestimmung der Zinkkonzentration im Plasma**

Die Bestimmung der Zinkkonzentration im Plasma erfolgte nach der bereits unter Punkt 2.1.4.4.9 beschriebenen Testkombination der Firma Wako Chemicals GmbH, Neuss.

#### **2.2.4.4.2 Bestimmung der Zink-Bindungskapazität im Plasma**

Die Zink-Bindungskapazität des Plasmas [%] ist ein Maß für die relative Anzahl der freien Zink-Bindungsstellen an den Plasmaproteinen Albumin und Transferrin. Sie wurde im Mikromaßstab nach einer von Kincaid und Cronrath (1979) beschriebenen Methode, modifiziert von Roth und Kirchgessner (1980), bestimmt. Die Messung der Zinkkonzentration erfolgte mit Hilfe der ICP-OES (ICP: Induktiv gekoppeltes Hochfrequenzplasma, OES: Optische Emissionsspektrometrie; Bezeichnung des Gerätes: JobinYVON, Gerätetyp IY 70 Plus; Firma: Division d'Instruments S.A., Paris, Frankreich).

#### *Messprinzip*

Das Plasma wird mit einer wässrigen Zinkchloridlösung ( $500 \mu\text{g Zn}^{2+}/100 \text{ ml}$ ) verdünnt, um die freien Zink-Bindungsstellen der Serumproteine abzusättigen. Danach wird mit Magnesiumcarbonat das nicht an Protein gebundene freie Zink entfernt. Es wird nun der Zinkgehalt des mit  $\text{ZnCl}_2$  abgesättigten Plasmas mit Hilfe der ICP-OES bei einer Wellenlänge von 213,8 nm ermittelt.

*Pipettierschema*

In ein Reagenzglas pipettieren:	
	500 µl Plasma
+	500 µl ZnCl <sub>2</sub> -Lösung (500 µg Zn <sup>2+</sup> /100 ml)
Gut mischen !	
+	50 mg MgCO <sub>3</sub>
5 × 2 min gut mischen !	
zentrifugieren für 10 min bei 3000 U/min (1800 g) und 4 °C	
Niederschlag verwerfen	
	400 µl vom Überstand abpipettieren
+	1600 µl 0,1 N HCL
Gut mischen !	
Zink-Bestimmung im Zink-gesättigten Plasma mittels ICP-OES bei 213,8 nm	

*Berechnung der Zink-Bindungskapazität in [%]*

$$= \frac{\text{Zn - Gehalt}_{\text{abgesaettigtes Plasma}} [\mu\text{g/dl}] - \text{Zn - Gehalt}_{\text{unbehandeltes Plasma}} [\mu\text{g/dl}]}{\text{Zn - Gehalt}_{\text{abgesaettigtes Plasma}} [\mu\text{g/dl}]} \times 100$$

**2.2.4.4.3 Bestimmung der Aktivität der Alkalischen Phosphatase im Plasma**

Die Enzymaktivität der Alkalischen Phosphatase (AP) wurde im Plasma am Spektralphotometer (Amersham Pharmacia Biotech) bei einer Wellenlänge von 405 nm für 3 min gemessen. Es wurde für die Aktivitätsbestimmung des Enzyms im Plasma eine Testkombination der Firma Merck KGaA (Nr. 1.14858.0001) verwendet.

*Messprinzip*

Die Alkalische Phosphatase katalysiert die Umwandlung von 4-Nitrophenylphosphat und Wasser zu Phosphat und 4-Nitrophenolat. Die Geschwindigkeit der 4-Nitrophenolat-Zunahme wird photometrisch bestimmt und ist der Enzymaktivität der Alkalischen Phosphatase im Probenmaterial direkt proportional.

### **2.2.4.5 Ermittlung des Immunstatus**

#### **2.2.4.5.1 Bestimmung der Leukozytenzahl**

Die Bestimmung der Leukozyten-Gesamtzahl pro Volumeneinheit Blut, in Zellen pro  $\mu\text{l}$  oder Giga-partikel ( $= 10^9$ ) pro Liter, erfolgte mit Hilfe der Neubauer-Zählkammer durch eine angestellte MTA der Sportärztin in der Arztpraxis am Olympiastützpunkt Halle.

#### *Durchführung*

In die Leukozytenmischpipette wird Kapillarblut luftblasenfrei bis zur Marke 0,5 aufgezogen. Anschließend wird 3 %ige Essigsäure zur Hämolyse der Erythrozyten bis zur Markierung 11 nachgezogen. Die Pipette wird in Längsrichtung für 30 sec kräftig geschüttelt. Nachdem Verwerfen der ersten drei Tropfen werden die vier großen Eckquadrate der Neubauer-Zählkammer luftblasenfrei gefüllt. Nach einer Sedimentationszeit von ca. 3 min werden die vier Eckquadrate bei etwa 100facher Vergrößerung unter dem Mikroskop ausgezählt. Nach dem SI-System werden die Leukozyten in Milliarden Zellen ( $10^9 = \text{Giga}$ ) pro Liter angegeben.

#### **2.2.4.5.2 Bestimmung der Serumkonzentrationen der Immunglobuline IgG und IgM**

Die Konzentrationen der Immunglobuline IgG (Nr. 446400) und IgM (Nr. 447610) im Serum wurden nach dem gleichen Verfahren wie bei der Bestimmung von Haptoglobin im Serum am Analysengerät Nephelometer IMAGE der Fa Beckman-Coulter GmbH (Krefeld, Deutschland) bestimmt (Punkt 2.2.4.3.4). Zur Ermittlung der Konzentrationen der Immunglobuline IgG und IgM in g/l wurden jeweils 100  $\mu\text{l}$  Serum verwendet. Die Messungen wurden im Zentrallabor vom Klinikum der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, durchgeführt.

#### **2.2.4.5.3 Immunphänotypisierung**

Mit Hilfe des FACScan-Durchflusszytometers (Becton Dickinson Bioscience, Heidelberg, Deutschland) werden Einzelzellsuspensionen, nachdem sie mit spezifischen Farbstoffen markiert wurden, aufgrund unterschiedlicher Fluoreszenz- und Streulichteigenschaften analysiert. Die Zellen werden sowohl in Zellen/ $\mu\text{l}$ , als auch in Prozenten der entsprechenden Gesamtzellzahl angegeben. Monozyten und polymorphonukleäre Leukozyten besitzen bestimmte Oberflächenantigene, anhand derer sie sich in verschiedene Subpopulationen einteilen lassen. Monoklonale Antikörper der Maus (Simultest™IMK Plus Testkit (Nr. 349217), Becton Dickinson Bioscience, Heidelberg, Deutschland), die mit den Fluoreszenzfarbstoffen Fluoresceinisothiocyanat (FITC) bzw. Phycoerythrin (PE) konjugiert sind, binden sich an das entsprechende Antigen und markieren dadurch spezifische Zellen. Nach einer bestimmten Inkubationszeit wurden die ungebundenen Antikörper ausgewaschen und der prozentuale Anteil der markierten Subpopulationen an den Zellen konnte am FACScan-Durchflusszytometer bestimmt werden. Zuerst erfolgte eine Unterscheidung der Leukozyten in Lymphozyten, Monozyten und Granulozyten. Dazu wurden die charakteristischen Oberflächen-

antigene CD45<sup>+</sup> und CD14<sup>+</sup> zur Identifizierung der drei Zellarten eingesetzt. Dabei ist CD45<sup>+</sup> zwar für alle Leukozyten charakteristisch, dennoch ist es auf den Lymphozyten am stärksten (3mal stärker im Vergleich zu Monozyten und 3 - 5mal schwächer im Vergleich zu Granulozyten) ausgeprägt. Dagegen ist CD14<sup>+</sup> bei den Monozyten am stärksten vertreten. Durch die unterschiedliche Ausprägung der Oberflächenantigene auf den drei Zellpopulationen emittieren die auf den Antikörpern konjugierten Fluoreszenzfarbstoffe Fluoreszenzlicht mit einer unterschiedlichen Intensität. Das ermöglicht eine Unterscheidung der drei Zellpopulationen. Das Abgrenzen der Lymphozyten von den Monozyten und Granulozyten (Gating) erfolgt bei der Messung automatisch oder per Hand aufgrund der Streulichteigenschaften. Das Lymphozytengate, welches zur Bestimmung der Lymphozyten und deren Subpopulationen erstellt wird, kann so optimiert werden, dass der Anteil an Lymphozyten möglichst hoch ( $\geq 95\%$  Lymphozyten) und der Anteil der das Lymphozytengate verunreinigenden Zellarten wie z. B. Monozyten/Makrophagen, Epithelzellen, Erythrozyten und Zellkerne möglichst gering ist. Folgende Lymphozytensubpopulationen wurden mit den entsprechend markierten Oberflächenantigenen im Vollblut analysiert:

- T-Lymphozyten: CD3<sup>+</sup> und aktivierte CD3<sup>+</sup>HLA-DR<sup>+</sup>
- LGL (große granuläre Lymphozyten) CD3<sup>+</sup>CD16/CD56<sup>+</sup> (von T-Lymphozyten)
- T-Helferzellen: CD4<sup>+</sup>
- Zytotoxische T-Zellen: CD8<sup>+</sup>
- Das Verhältnis: CD4<sup>+</sup>/CD8<sup>+</sup>
- B-Lymphozyten: CD19<sup>+</sup>
- Natürliche Killerzellen: CD3<sup>-</sup>CD16/CD56<sup>+</sup>

### *Durchführung*

Eine frische Blutprobe (je 100  $\mu$ l „EDTA-Blut“) wurde in sechs Röhrchen mit jeweils sechs unterschiedlichen Antikörperreagenzien (A – F des Simultest-Kits, je 5  $\mu$ l) gefärbt. Diese wurden jeweils gut gemischt und im Dunkeln für 15 min bei Raumtemperatur inkubiert. Anschließend wurden zu den gefärbten Proben jeweils 2 ml einer mit destilliertem Wasser 1 : 10 verdünnten FACS-Lysing Solution pipettiert, um die Erythrozyten zu lysieren. Die Proben wurden 5 - 7 min bei 1300 U/min (250 g) zentrifugiert. Der Überstand wurde verworfen und es wurden je 2 ml PBS-Puffer pro Probenröhrchen pipettiert. Dieser Waschvorgang wurde wiederholt. Zur Messung wurde den nach der wiederholten Zentrifugation abgegossenen Probenröhrchen 0,5 ml PBS-Puffer hinzugefügt.

#### **2.2.4.5.4 Stimulierung der T-Zellen zur Produktion der Zytokine INF- $\gamma$ , TNF- $\alpha$ und IL-2**

Mit Hilfe der Durchflusszytometrie kann der Anteil der T-Lymphozyten bestimmt werden, welche nach maximaler Stimulierung in vitro die Zytokine INF- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 produziert haben. Der Anteil der T-Lymphozyten, welche in vitro Zytokine gebildet haben, wird sowohl als absolute Zellzahl in Zellen/ $\mu$ l, als auch in Prozent der gesamten T-Lymphozytenzahl angegeben.

### *Durchführung*

Zu 120 µl Vollblut wurden unter dem Abzug 1080 µl AIM-V-Medium sowie 60 µl von 80 nmol Phorbol 12-Myristat 13-Acetat (PMA), 6 µl von 0,5 µmol Ionomycin und 24 µl von 1 µmol Monensin in ein FACS-Röhrchen pipettiert. Nach einem kurzen Vermischen wurden die durch PMA und Ionomycin zur Zytokin-Produktion angeregten Proben für 16 h bei 37 °C und 5 % CO<sub>2</sub>-Atmosphäre im Brutschrank inkubiert. Das dazugegebene Monensin hat die Aufgabe, die Sekretion der in den T-Lymphozyten produzierten Zytokine aus den Zellen zu verhindern. Nach 16 h erfolgte das Ansetzen der Proben zur Färbung mit markierten Antikörpern. Nach zweimaligem Zentrifugieren für jeweils 6 min bei 1300 U/min (250 g) und Verwerfen des Überstandes sowie auch Waschen mit je 2 ml PBS-Puffer (pH 7,2), wurden 200 µl PBS-Puffer zu den Proben gegeben. Von einer Zellsuspension wurden jeweils 50 µl auf fünf mit den jeweiligen Antikörpern beschichtete Röhrchen verteilt und zur Fixierung der Zellwände 100 µl Fix + Perm-Lösung-A hinzugefügt. Die Proben wurden gut gemischt und für 15 min im Dunkeln bei Raumtemperatur inkubiert. Nach erneutem Zentrifugieren (6 min bei 1300 U/min (250 g)) wurde der vorherige Waschvorgang mit je 2 ml PBS-Puffer in zweifacher Ausführung wiederholt. Anschließend wurde zur Permeabilisierung der Zellwände 100 µl Fix + Perm-Lösung-B dazugegeben. Nachdem die Proben gemischt wurden, erfolgte gleichzeitig eine Färbung der Oberflächenantigene CD3 der T-Lymphozyten mittels Anti-CD3-PE (Farbstoff: Phycoerythrin) bzw. Anti-CD3-FITC (Farbstoff: Fluoresceinisothiocyanat) und anschließend wurden jeweils 1 µl der spezifischen Antikörper von INF- $\gamma$  (Anti-IFN- $\gamma$ -FITC), TNF- $\alpha$  (Anti-TNF- $\alpha$ -PE) oder IL-2 (Anti-IL-2-PE) in das jeweilige Röhrchen pipettiert. Nach dem Mischen wurden die Proben für 15 min im Dunkeln bei Raumtemperatur inkubiert. Nach zwei weiteren Waschvorgängen mit jeweils 2 ml PBS-Puffer wurde jedes Probenröhrchen mit je 0,2 ml PBS-Puffer versehen.

### *Reagenzien*

Das FIX & PERM-Cell Permeabilization Kit (Nr. CAT-002) mit den Lösungen A und B stammt von der Firma AN DER GRUB GmbH, Kaumberg in Österreich und die monoklonalen Maus-Antikörper *Anti-human IFN- $\gamma$  FITC* (8914; clone 45.15, Subtyp: Mouse IgG<sub>1</sub>), *Anti-human IL-2 PE* (1852; clone N7-48A, Subtyp: Mouse IgG<sub>2a</sub>) und *Anti-human TNF- $\alpha$  FITC* (8206; Subtyp: Mouse IgG<sub>1K</sub>) von der Firma Hölzel Diagnostika Handels GmbH in Köln.

## **2.3 Statistische Auswertung**

### **2.3.1 Statistik zur Ernährungssituation von Leistungssportlern**

Die statistische Auswertung des Datenmaterials erfolgte mit dem Statistikprogramm Minitab (Version 7.1 (1989), ADDITIVE GmbH, Friedrichsdorf/Ts, Deutschland). Alle Untersuchungsergebnisse wurden mittels der mehrfaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet. Es wurde der Einfluss von qualitativen Merkmalen (Sportart, Geschlecht) auf ein bestimmtes quantitatives Merkmal (Messergebnis) untersucht. Nicht jede Sportart bestand aus weiblichen und männlichen Athleten. Deshalb wurden die 14 verschiedenen Sportarten zu den vier Sportgruppen Ausdauer- (26 Jungen und 15

Mädchen), Kampf- (9 Jungen und 7 Mädchen), Kraft/Schnellkraft- (6 Jungen und 15 Mädchen) und Technisch-kompositorische Sportarten (7 Jungen und 14 Mädchen) zusammengefasst. Mit Hilfe dieser Einteilung war es möglich, sowohl eine sportartenspezifische, eine geschlechterspezifische Variabilität, als auch signifikante Wechselwirkungen (Interaktion: Sportart und Geschlecht) zwischen einzelnen Merkmalen zu ermitteln. Unterschiede zwischen den Sportgruppen, den Geschlechtern oder zwischen beiden Faktoren gleichzeitig (nach Geschlechtern getrennte Sportgruppen) wurden mit Hilfe des Fisher-Tests (Anova, One way, Fisher's LSD) ermittelt. Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gewählt. Zur Ermittlung von stochastischen Zusammenhängen zwischen zwei Parametern wurde eine Korrelationsanalyse (lineare Korrelation nach Pearson) durchgeführt. Im Ergebnisteil sind die Mittelwerte der vier Sportgruppen mit den Standardabweichungen dargestellt. Hochbuchstaben (<sup>a, b, c</sup>) geben signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppen an. Zusätzlich bedeuten Hochzahlen (<sup>1, 2, 3</sup>) eine Signifikanz der Faktoren Sportart, Geschlecht oder Interaktion Sportart × Geschlecht. Bei  $P < 0,05$  wird ein Unterschied als signifikant bezeichnet.

### 2.3.2 Statistik zur Zinksupplementierung von Leistungssportlern

Bei den Untersuchungen des zweiten Versuchsabschnittes wurden der Zinkstatus und der immunologische Zustand der beteiligten Sportler vor und nach sechs Wochen der Zinksupplementierung ermittelt. Die Einteilung in drei Gruppen erfolgte aufgrund der unterschiedlichen Versorgungszustände mit Zink ( $< 80 \mu\text{g/dl}$ ,  $80$  bis  $95 \mu\text{g/dl}$  und  $> 95 \mu\text{g/dl}$ ). Entscheidend hierfür war die ermittelte Zinkkonzentration der Athleten im Plasma. Die statistische Auswertung des Datenmaterials erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 10.7, 1995, SPSS GmbH Software, München, Deutschland). Für die Bestimmung der Gesamteffekte (Gruppeneffekt, Zeiteffekt und Interaktion zwischen Gruppe und Zeit) diente das Modell der zweifaktoriellen Varianzanalyse (Allgemeines Lineares Model) mit einem unabhängigen Faktor Gruppe und einem abhängigen Faktor Zeit. Es wurde sowohl der Einfluss des unabhängigen Faktors Gruppe, als auch des abhängigen Faktors Zeit sowie deren Interaktion (Zeit × Gruppe) auf hämatologische Parameter und Parameter des Zink- und Immunstatus statistisch ermittelt. Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gewählt. Im Ergebnisteil sind die Mittelwerte der drei Gruppen mit den dazugehörigen Standardabweichungen (SD) dargestellt. Die Einzelwerte sind im Tabellenanhang aufgeführt. Signifikante Unterschiede der Mittelwerte der Gruppen wurden durch unterschiedliche Hochbuchstaben (<sup>a, b, c</sup>) gekennzeichnet (Fisher's LSD), während unterschiedliche Hochzahlen (<sup>1, 2, 3</sup>) für signifikante Zeiteffekte, Gruppeneffekte bzw. signifikante Interaktionen zwischen Zeit und Gruppe stehen. Das Vorhandensein von Sternen (<sup>\*</sup>) markiert signifikante Unterschiede eines Messwertes vor und nach der Zinksupplementierung innerhalb einer Gruppe (T-Test für verbundene Stichproben). Bei  $P < 0,05$  wurde ein Unterschied als signifikant bezeichnet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Studie zur Ermittlung der Ernährungssituation von Leistungssportlern

##### 3.1.1 Schätzung des Energiebedarfs

Der durchschnittliche Tagesenergiebedarf der Athleten wurde auf der Basis von Grundumsatz (GU), Erhaltungsbedarf und Leistungsumsatz geschätzt. Der Erhaltungsbedarf stellt ein Vielfaches des vom Geschlecht, Alter und Körpergewicht abhängigen Grundumsatzes dar. Es wurden die Aktivitätsfaktoren 1,7 bzw. 1,6 für mittelmäßige körperliche Aktivität der männlichen und weiblichen Sportler in deren restlichen Freizeit zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs gewählt. Der zusätzlich berücksichtigte Wachstumszuschlag für einschließlich 18jährige Athleten wird in Tabelle 9 aufgrund eines sehr geringen Anteils nicht mit aufgeführt. Die Einzelwerte befinden sich in der Anhangstabelle 3 (a + b).

Tab. 9: Schätzung des täglichen Energiebedarfs

Sportart/ Geschlecht	GU <sup>1,2</sup> [kcal]	Erhaltung <sup>1,2</sup> [kcal]	Leistung <sup>1,2,3</sup> [kcal]	Energiebedarf <sup>1,2,3</sup> [kcal]
Ausdauer	J: 1802 ± 221 <sup>a</sup>	3063 ± 377 <sup>a</sup>	1629 ± 511 <sup>a</sup>	4749 ± 839 <sup>a</sup>
	M: 1486 ± 139 <sup>c</sup>	2378 ± 223 <sup>c</sup>	966 ± 319 <sup>bc</sup>	3406 ± 466 <sup>c</sup>
Kampf	J: 1695 ± 212 <sup>ab</sup>	2882 ± 361 <sup>ab</sup>	1191 ± 214 <sup>b</sup>	4125 ± 504 <sup>b</sup>
	M: 1591 ± 189 <sup>bc</sup>	2546 ± 302 <sup>bc</sup>	923 ± 159 <sup>bc</sup>	3491 ± 416 <sup>c</sup>
Kraft	J: 1795 ± 131 <sup>ab</sup>	3052 ± 223 <sup>a</sup>	789 ± 59,5 <sup>c</sup>	3952 ± 246 <sup>bc</sup>
	M: 1499 ± 140 <sup>bc</sup>	2399 ± 224 <sup>bc</sup>	693 ± 135 <sup>c</sup>	3131 ± 333 <sup>cd</sup>
TK	J: 1523 ± 239 <sup>bc</sup>	2590 ± 406 <sup>b</sup>	1273 ± 260 <sup>b</sup>	3922 ± 573 <sup>bc</sup>
	M: 1422 ± 144 <sup>c</sup>	2275 ± 231 <sup>c</sup>	1158 ± 299 <sup>b</sup>	3497 ± 438 <sup>c</sup>
Geschlecht	J: 1740 ± 235 <sup>a</sup>	2959 ± 399 <sup>a</sup>	1390 ± 496 <sup>a</sup>	4412 ± 789 <sup>a</sup>
	M: 1487 ± 157 <sup>b</sup>	2379 ± 252 <sup>b</sup>	932 ± 307 <sup>b</sup>	3361 ± 443 <sup>b</sup>
Sportarten				
Ausdauer:	1686 ± 248 <sup>a</sup>	2813 ± 466 <sup>a</sup>	1397 ± 552 <sup>a</sup>	4279 ± 971 <sup>a</sup>
Kampf:	1650 ± 209 <sup>a</sup>	2735 ± 375 <sup>ab</sup>	1074 ± 234 <sup>b</sup>	3848 ± 564 <sup>ab</sup>
Kraft:	1584 ± 192 <sup>ab</sup>	2585 ± 370 <sup>b</sup>	721 ± 126 <sup>c</sup>	3366 ± 484 <sup>b</sup>
TK:	1456 ± 187 <sup>b</sup>	2380 ± 335 <sup>bc</sup>	1196 ± 292 <sup>ab</sup>	3638 ± 527 <sup>b</sup>

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

Grundumsatz (GU) nach Department of Health (1991), Erhaltung: Erhaltungsbedarf = Grundumsatz × Aktivitätsfaktor (1,7 für Jungen; 1,6 für Mädchen) nach Recommended Nutrient Intakes (1990), Leistung: Leistungsumsatz nach Williams (1997);

a,b,c: Unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht (P < 0,05).

Für den durchschnittlichen Grundumsatz der männlichen Sportler wurden 1740 kcal und für die weiblichen Sportler 1487 kcal am Tag errechnet. Bei den männlichen Ausdauersportlern konnte mit 1802 kcal der größte Grundumsatz festgestellt werden und der geringste mit 1422 kcal am Tag bei den Athletinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen. Der geringste Grundumsatz einer Athletin lag bei 1197 kcal und der größte eines Athleten bei 2319 kcal am Tag. Die männlichen Sportler hatten einen Erhaltungsbedarf von 2959 kcal und die weiblichen von 2379 kcal am Tag.

Der höchste Erhaltungsbedarf war bei den männlichen Ausdauersportlern mit 3063 kcal zu finden und der geringste mit 2275 kcal bei den Athletinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen. Insgesamt betrug der kleinste Erhaltungsbedarf der Athleten 1915 kcal und der größte 3943 kcal am Tag. Der Leistungsumsatz der Athleten bewegte sich zwischen 215 und 2614 kcal am Tag. Davon hatten die männlichen Sportler einen durchschnittlichen Leistungsumsatz von 1390 kcal und die weiblichen von 932 kcal am Tag. Der geringste Leistungsumsatz wurde bei den weiblichen Kraftathleten mit 693 kcal am Tag festgestellt und der größte mit 1629 kcal bei den männlichen Ausdauersportlern. Insgesamt wurde für die männlichen Athleten ein durchschnittlicher Tagesenergiebedarf von 4412 kcal und für die weiblichen Sportler von 3361 kcal geschätzt. Dieser schwankte für alle Athleten zwischen 2463 kcal und 6477 kcal am Tag. Der höchste Energiebedarf wurde für die männlichen Ausdauersportler mit 4749 kcal am Tag und der geringste mit 3131 kcal für die weiblichen Kraftsportler festgestellt.

### 3.1.2 Erfassung der durchschnittlichen Energie- und Nährstoffzufuhr

#### 3.1.2.1 Mittlere Zufuhr von Energie, Makronährstoffen, Ballaststoffen und Cholesterin

Tabelle 10 enthält die Zufuhr von Energie, Kohlenhydraten und Fett. Die Einzelwerte der Athleten sind in der Anhangstabelle 4 (a + b) aufgelistet.

Tab. 10: Mittlere Tageszufuhr von Energie, Kohlenhydraten und Fett

Sportart/ Geschlecht	Energie <sup>1,2,3</sup> [kcal]	KH <sup>2</sup> [% v. E.]	KH <sup>1,2</sup> [g]	Fett <sup>2</sup> [% v. E.]	Fett <sup>1,2</sup> [g]
Ausdauer J:	3722 ± 982 <sup>a</sup>	51,7 ± 5,43 <sup>b</sup>	469 ± 133 <sup>a</sup>	34,9 ± 5,56 <sup>a</sup>	139 ± 43,7 <sup>a</sup>
M:	2325 ± 597 <sup>b</sup>	55,1 ± 4,92 <sup>ab</sup>	312 ± 82,1 <sup>bc</sup>	31,6 ± 4,74 <sup>ab</sup>	79,1 ± 23,9 <sup>cd</sup>
Kampf J:	2848 ± 272 <sup>b</sup>	48,3 ± 4,66 <sup>bc</sup>	334 ± 34,2 <sup>b</sup>	36,1 ± 6,18 <sup>a</sup>	111 ± 24,8 <sup>b</sup>
M:	1639 ± 501 <sup>c</sup>	58,9 ± 4,28 <sup>a</sup>	232 ± 66,1 <sup>c</sup>	28,7 ± 3,80 <sup>b</sup>	51,7 ± 18,7 <sup>d</sup>
Kraft J:	2853 ± 609 <sup>b</sup>	50,1 ± 3,80 <sup>b</sup>	352 ± 92,2 <sup>b</sup>	35,8 ± 3,03 <sup>a</sup>	109 ± 20,8 <sup>bc</sup>
M:	2439 ± 509 <sup>b</sup>	54,5 ± 6,12 <sup>ab</sup>	329 ± 94,0 <sup>b</sup>	32,2 ± 6,21 <sup>ab</sup>	82,9 ± 17,7 <sup>c</sup>
TK J:	2063 ± 435 <sup>bc</sup>	49,6 ± 5,43 <sup>bc</sup>	247 ± 47,3 <sup>bcd</sup>	36,6 ± 5,20 <sup>a</sup>	82,6 ± 24,9 <sup>bcd</sup>
M:	1529 ± 462 <sup>c</sup>	52,6 ± 6,60 <sup>b</sup>	193 ± 49,4 <sup>cd</sup>	34,5 ± 6,08 <sup>a</sup>	58,6 ± 25,4 <sup>d</sup>
Geschlecht J:	3208 ± 992 <sup>a</sup>	50,5 ± 5,29 <sup>b</sup>	397 ± 135 <sup>a</sup>	35,3 ± 5,48 <sup>a</sup>	122 ± 41,6 <sup>a</sup>
M:	2046 ± 662 <sup>b</sup>	54,8 ± 6,02 <sup>a</sup>	273 ± 96,0 <sup>b</sup>	32,2 ± 5,77 <sup>b</sup>	70,8 ± 25,3 <sup>b</sup>
Sportarten					
Ausdauer:	3211 ± 1093 <sup>a</sup>	52,9 ± 5,52	411 ± 139 <sup>a</sup>	33,5 ± 5,51	117 ± 47,6 <sup>a</sup>
Kampf:	2319 ± 1140 <sup>b</sup>	52,9 ± 8,59	290 ± 71,7 <sup>b</sup>	32,9 ± 7,00	85,3 ± 37,1 <sup>bc</sup>
Kraft:	2557 ± 571 <sup>b</sup>	53,2 ± 5,90	335 ± 94,1 <sup>b</sup>	33,2 ± 5,72	90,3 ± 22,0 <sup>b</sup>
TK:	1707 ± 518 <sup>c</sup>	51,6 ± 6,40	211 ± 55,0 <sup>c</sup>	35,2 ± 5,88	66,6 ± 27,7 <sup>c</sup>

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten

(P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht (P < 0,05).

Die durchschnittliche Energiezufuhr der männlichen Athleten betrug 3208 kcal und der weiblichen 2046 kcal pro Tag. Die männlichen Ausdauersportler hatten mit 3722 kcal die signifikant größte Energiezufuhr und die geringste mit 1529 kcal am Tag die Athletinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen. Die geringste Energiezufuhr einer Athletin lag bei 661 kcal und die größte eines Athleten bei 5606 kcal am Tag. Die männlichen Sportler nahmen 50,5 % der Tagesenergie in Form von Kohlenhydraten zu sich, was einer absoluten Menge von 397 g am Tag entsprach. Bei den weiblichen Athleten lag dieser Anteil bei 54,8 % und war einer Menge von 273 g Kohlenhydrate am Tag gleich. Die weiblichen Kampfsportler nahmen mit 58,9 % (= 232 g) am meisten Kohlenhydrate zu sich, wobei die männlichen Athleten dieser Sportart mit 48,3 % (= 334 g) am wenigsten Kohlenhydrate zuführten. Mengenmäßig betrachtet war die Kohlenhydrataufnahme mit 469 g am Tag bei den männlichen Ausdauersportlern am höchsten und bei den weiblichen TK-Sportlern mit 193 g am Tag am geringsten. Die tägliche Kohlenhydratzufuhr schwankte zwischen 39,5 % und 66,3 % bzw. 105 g bis 769 g am Tag. Bezüglich der Fettzufuhr hatten die männlichen Athleten mit 35,3 % von der Tagesenergie eine signifikant höhere Aufnahme als die weiblichen Sportler mit 32,2 %. Diese Prozentanteile entsprachen den absoluten Tagesmengen von 122 g bzw. 70,8 g am Tag. Die größte prozentuale Fettzufuhr wurde bei den männlichen TK-Sportlern (36,6 %) und die geringste bei den weiblichen Kampfsportlern (28,7 %) festgestellt. Bezogen auf die absoluten Mengen wiesen die männlichen Ausdauersportler die größte Fettzufuhr mit 139 g am Tag auf, während für die weiblichen Athleten der Kampfsportarten mit 51,7 g die geringste Fettzufuhr festgestellt wurde. Die geringste Fettzufuhr der Athleten betrug 20,1 % bzw. mengenmäßig gesehen 16 g und die größte 48,7 % der Tagesenergie bzw. 274 g am Tag.

Bei der Fettzufuhr wurde zwischen der Aufnahme von gesättigten, einfach ungesättigten und mehrfach ungesättigten Fettsäuren unterschieden (Tab. 11 und 12). Die entsprechenden Einzelwerte der Athleten sind in der Anhangstabelle 5 (a + b) aufgeführt. Die männlichen Sportler nahmen im Durchschnitt mit 14,6 % der Tagesenergiezufuhr (= 45,4 g/d) signifikant mehr gesättigte Fettsäuren auf als die weiblichen mit 12,7 % (= 28,1 g). Die größte Zufuhr von gesättigten Fettsäuren hatten mit 15,0 % von der Tagesenergiezufuhr die männlichen Kraftsportler und die geringste Fettzufuhr mit 10,9 % die weiblichen Kampfsportler. Die durchschnittliche Zufuhr betrug maximal 5,40 % und maximal 22,3 % von der Tagesenergiezufuhr. Die männlichen Ausdauersportler wiesen mit 58,4 g am Tag die größte Zufuhr gesättigter Fettsäuren auf, wohingegen die weiblichen Kampfsportler mit 19,5 g am Tag die geringste hatten. Die Aufnahme gesättigter Fettsäuren schwankte für die Athleten zwischen 7,27 g und 121 g am Tag. Die mittlere Tageszufuhr einfach ungesättigter Fettsäuren machte bei den männlichen Sportlern 11,2 % (= 38,4 g am Tag) und bei den weiblichen Athleten 9,71 % von der Tagesenergiezufuhr (= 21,4 g am Tag) aus. Für die männlichen Kampfsportler konnte mit 12,4 % von der Tagesenergiezufuhr die größte Zufuhr einfach ungesättigter Fettsäuren ermittelt werden und bei den weiblichen Kampfsportlern mit 8,15 % die geringste. Die männlichen Ausdauersportler hatten mit 43,3 g am Tag mengenmäßig die größte Zufuhr einfach ungesättigter Fettsäuren und die weiblichen Kampfsportler mit 14,4 g am Tag die geringste. Die Zufuhr einfach ungesättigter Fettsäuren schwankte für alle Sportler zwischen 5,24 % und 17,5 % von der zugeführten Tagesenergie bzw. zwischen 5,35 g und 92,0 g am Tag.

Tab. 11: Mittlere Tageszufuhr von gesättigten (GFS), einfach ungesättigten (EUFS) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) in Prozentanteilen der durchschnittlichen Tagesenergiezufuhr

<b>Sportart/ Geschlecht</b>	<b>GFS<sup>1</sup> [% v. E.]</b>	<b>EUFS<sup>1,2</sup> [% v. E.]</b>	<b>MUFS [% v. E.]</b>	<b>P/S-Quotient</b>
Ausdauer	J: 14,5 ± 3,25 <sup>a</sup>	10,8 ± 1,70 <sup>ab</sup>	3,51 ± 0,62 <sup>ab</sup>	0,25 ± 0,06 <sup>b</sup>
	M: 12,5 ± 2,77 <sup>ab</sup>	10,2 ± 1,76 <sup>b</sup>	3,68 ± 1,07 <sup>ab</sup>	0,30 ± 0,09 <sup>ab</sup>
Kampf	J: 14,9 ± 3,51 <sup>a</sup>	12,4 ± 2,81 <sup>a</sup>	4,15 ± 0,89 <sup>a</sup>	0,29 ± 0,10 <sup>ab</sup>
	M: 10,9 ± 1,42 <sup>b</sup>	8,15 ± 0,97 <sup>c</sup>	3,06 ± 0,55 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,06 <sup>ab</sup>
Kraft	J: 15,0 ± 1,02 <sup>a</sup>	11,2 ± 2,03 <sup>ab</sup>	3,54 ± 0,70 <sup>ab</sup>	0,24 ± 0,05 <sup>ab</sup>
	M: 12,6 ± 3,00 <sup>ab</sup>	9,44 ± 1,99 <sup>bc</sup>	3,80 ± 0,72 <sup>ab</sup>	0,34 ± 0,18 <sup>a</sup>
TK	J: 14,5 ± 2,05 <sup>a</sup>	11,2 ± 1,62 <sup>ab</sup>	3,74 ± 0,84 <sup>ab</sup>	0,27 ± 0,10 <sup>ab</sup>
	M: 14,0 ± 3,73 <sup>a</sup>	10,2 ± 2,74 <sup>b</sup>	3,53 ± 0,90 <sup>ab</sup>	0,27 ± 0,12 <sup>ab</sup>
Geschlecht	J: 14,6 ± 2,97 <sup>a</sup>	11,2 ± 2,07 <sup>a</sup>	3,67 ± 0,76	0,29 ± 0,12
	M: 12,7 ± 3,15 <sup>b</sup>	9,71 ± 2,18 <sup>b</sup>	3,59 ± 0,90	0,30 ± 0,13
Sportarten				
Ausdauer:	13,8 ± 3,23	10,6 ± 1,75	3,58 ± 0,82	0,30 ± 0,12
Kampf:	13,2 ± 3,41	10,5 ± 3,05	3,67 ± 0,93	0,29 ± 0,08
Kraft:	13,3 ± 2,81	10,0 ± 2,16	3,73 ± 0,72	0,31 ± 0,16
TK:	14,2 ± 3,28	10,6 ± 2,46	3,60 ± 0,89	0,27 ± 0,11

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren <sup>1</sup>Geschlecht, <sup>2</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht (P < 0,05).

Von den mehrfach ungesättigten Fettsäuren nahmen die männlichen Athleten 3,67 % der Tagesenergie (= 12,4 g am Tag) zu sich und die weiblichen 3,59 % (= 8,04 g am Tag). Mit 4,15 % von der gesamten Energiezufuhr nahmen die männlichen Kampfsportler am meisten von den mehrfach ungesättigten Fettsäuren zu sich und die weiblichen Sportler der gleichen Sportarten mit 3,06 % am wenigsten. Mengenmäßig betrachtet wurde die höchste Zufuhr mehrfach ungesättigter Fettsäuren bei den männlichen Ausdauersportlern mit 13,8 g am Tag festgestellt und die geringste bei den weiblichen Kampfsportlern mit 5,57 g am Tag. Die mittlere Zufuhr von mehrfach ungesättigten Fettsäuren schwankte zwischen einem Minimum von 2,31 % und einem Maximum von 6,85 % bzw. zwischen 1,82 g und 23,0 g am Tag. Zusätzlich wurde der P/S-Quotient, der das Verhältnis der mehrfach ungesättigten zu den gesättigten Fettsäuren darstellt, für die Athleten ermittelt. Die männlichen Sportler hatten einen mittleren P/S-Quotienten von 0,29 und die weiblichen von 0,30. Die weiblichen Kraftsportler konnten mit 0,34 den größten P/S-Quotienten aufweisen und die männlichen Athleten dieser Sportart mit 0,24 den geringsten.

Tab. 12: Mittlere Tageszufuhr von gesättigten (GFS), einfach ungesättigten (EUFS) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) [g]

Sportart/ Geschlecht	GFS <sup>1,2</sup> [g]	EUFS <sup>1,2,3</sup> [g]	MUFS <sup>1,2,3</sup> [g]
Ausdauer	J: 58,4 ± 22,0 <sup>a</sup>	43,3 ± 14,0 <sup>a</sup>	13,8 ± 3,56 <sup>a</sup>
	M: 31,4 ± 10,9 <sup>c</sup>	25,2 ± 6,81 <sup>c</sup>	9,22 ± 3,41 <sup>c</sup>
Kampf	J: 46,0 ± 13,1 <sup>b</sup>	37,9 ± 9,54 <sup>ab</sup>	12,6 ± 2,82 <sup>ab</sup>
	M: 19,5 ± 7,15 <sup>c</sup>	14,4 ± 4,39 <sup>d</sup>	5,57 ± 2,27 <sup>d</sup>
Kraft	J: 45,8 ± 9,68 <sup>abc</sup>	33,7 ± 5,58 <sup>bc</sup>	10,7 ± 2,46 <sup>bc</sup>
	M: 32,2 ± 8,24 <sup>c</sup>	24,2 ± 5,14 <sup>c</sup>	10,1 ± 3,15 <sup>bc</sup>
TK	J: 32,7 ± 9,28 <sup>bc</sup>	24,8 ± 5,87 <sup>bc</sup>	8,05 ± 1,48 <sup>dc</sup>
	M: 24,2 ± 12,4 <sup>c</sup>	17,8 ± 9,34 <sup>dc</sup>	5,84 ± 2,40 <sup>d</sup>
Geschlecht	J: 50,7 ± 20,1 <sup>a</sup>	38,4 ± 13,2 <sup>a</sup>	12,4 ± 3,70 <sup>a</sup>
	M: 28,1 ± 11,2 <sup>b</sup>	21,4 ± 8,06 <sup>b</sup>	8,04 ± 3,52 <sup>b</sup>
Sportarten			
Ausdauer:	48,5 ± 22,8 <sup>a</sup>	36,7 ± 14,8 <sup>a</sup>	12,1 ± 4,15 <sup>a</sup>
Kampf:	34,4 ± 17,0 <sup>b</sup>	27,6 ± 14,0 <sup>b</sup>	9,53 ± 4,35 <sup>b</sup>
Kraft:	36,1 ± 10,6 <sup>b</sup>	26,9 ± 6,78 <sup>b</sup>	10,3 ± 2,98 <sup>ab</sup>
TK:	27,0 ± 12,1 <sup>b</sup>	20,2 ± 8,97 <sup>b</sup>	6,57 ± 2,38 <sup>c</sup>

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten

(P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht (P < 0,05).

Tabelle 13 beinhaltet die tägliche Eiweißzufuhr der Athleten, den Anteil pflanzlichen Eiweißes sowie den Gehalt an Ballaststoffen und Cholesterin in der Ernährung der Athleten. Die dazugehörigen Einzelwerte der Athleten befinden sich in der Anhangstabelle 4 und 5 (jeweils a + b). Die männlichen Athleten nahmen durchschnittlich 1,87 g und die weiblichen 1,32 g Eiweiß pro kg Körpergewicht (KG) am Tag auf, was einer täglichen Gesamtzufuhr von 117 g bzw. 70,4 g Eiweiß entspricht. Mit 1,98 g Eiweiß pro kg KG und einer Gesamtmenge von 133 g Eiweiß am Tag führten die männlichen Ausdauersportler am meisten und mit 0,83 g/kg KG (= 54,8 g am Tag) die weiblichen Kampfsportler zusammen mit den weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 53,5 g Eiweiß am Tag am wenigsten Eiweiß zu sich. In der protokollierten Woche war die geringste Eiweißzufuhr einer Athletin 0,31 und die größte 2,91 g/kg KG. Die täglich zugeführte Eiweißmenge schwankte für die Athleten zwischen 19,5 g und 202 g. Der Anteil des pflanzlichen Eiweißes betrug bei den männlichen Athleten 34 % und bei den weiblichen 35 %, die restlichen 66 % bzw. 65 % stammten aus tierischen Lebensmitteln. Mit 37 % von der gesamten Eiweißzufuhr hatten die männlichen Kampf- und TK-Sportler die größte Aufnahme pflanzlichen Eiweißes, während die männlichen Kraftsportler mit nur 27 % die geringste hatten. Die durchschnittliche Zufuhr von pflanzlichem Eiweiß schwankte für die Athleten zwischen 21 % und 60 %, wohingegen die Aufnahme von tierischem Eiweiß zwischen 40 % und 79 % lag.

Tab. 13: Mittlere Tageszufuhr von Eiweiß, pflanzliches Eiweiß, Ballaststoffen und Cholesterin

Sportart/ Geschlecht	Eiweiß <sup>1,2,3</sup> [g/kg KG]	Eiweiß <sup>1,2</sup> [g]	Pfl. EW. <sup>1</sup> [%] <sup>#</sup>	Ballaststoffe <sup>1,2</sup> [g]	Chol. <sup>1,2</sup> [mg]
Ausdauer J:	1,98 ± 0,41 <sup>a</sup>	133 ± 39,9 <sup>a</sup>	34 ± 5 <sup>a</sup>	27,0 ± 7,35 <sup>a</sup>	476 ± 149 <sup>a</sup>
Ausdauer M:	1,54 ± 0,51 <sup>b</sup>	81,3 ± 24,9 <sup>c</sup>	36 ± 7 <sup>a</sup>	23,8 ± 7,77 <sup>ab</sup>	308 ± 136 <sup>b</sup>
Kampf J:	1,95 ± 0,46 <sup>a</sup>	112 ± 20,7 <sup>b</sup>	37 ± 12 <sup>a</sup>	19,0 ± 3,82 <sup>b</sup>	340 ± 126 <sup>ab</sup>
Kampf M:	0,83 ± 0,24 <sup>d</sup>	54,8 ± 19,1 <sup>d</sup>	35 ± 7 <sup>a</sup>	12,5 ± 3,22 <sup>c</sup>	203 ± 93 <sup>bc</sup>
Kraft J:	1,64 ± 0,43 <sup>ab</sup>	102 ± 16,8 <sup>bc</sup>	27 ± 3 <sup>b</sup>	21,0 ± 7,67 <sup>ab</sup>	422 ± 107 <sup>ab</sup>
Kraft M:	1,42 ± 0,20 <sup>bc</sup>	82,6 ± 13,1 <sup>c</sup>	34 ± 8 <sup>a</sup>	23,9 ± 10,3 <sup>ab</sup>	303 ± 119 <sup>b</sup>
TK J:	1,59 ± 0,31 <sup>bc</sup>	74,7 ± 14,6 <sup>cd</sup>	37 ± 10 <sup>a</sup>	16,5 ± 2,62 <sup>bc</sup>	259 ± 60 <sup>b</sup>
TK M:	1,22 ± 0,35 <sup>c</sup>	53,5 ± 16,9 <sup>d</sup>	35 ± 8 <sup>a</sup>	13,7 ± 2,86 <sup>bc</sup>	227 ± 120 <sup>bc</sup>
Geschlecht J:	1,87 ± 0,44 <sup>a</sup>	117 ± 38,0 <sup>a</sup>	34 ± 8	23,2 ± 7,66 <sup>a</sup>	412 ± 154 <sup>a</sup>
Geschlecht M:	1,32 ± 0,43 <sup>b</sup>	70,4 ± 23,5 <sup>b</sup>	35 ± 8	19,5 ± 8,94 <sup>b</sup>	270 ± 129 <sup>b</sup>
Sportarten					
Ausdauer:	1,82 ± 0,49 <sup>a</sup>	114 ± 43,2 <sup>a</sup>	35 ± 6	25,8 ± 7,67 <sup>a</sup>	415 ± 165 <sup>a</sup>
Kampf:	1,46 ± 0,61 <sup>b</sup>	86,7 ± 34,6 <sup>b</sup>	36 ± 10	16,1 ± 8,92 <sup>b</sup>	280 ± 179 <sup>bc</sup>
Kraft:	1,49 ± 0,30 <sup>b</sup>	88,2 ± 16,8 <sup>b</sup>	32 ± 8	23,1 ± 9,73 <sup>a</sup>	337 ± 128 <sup>b</sup>
TK:	1,34 ± 0,38 <sup>b</sup>	60,6 ± 19,0 <sup>c</sup>	36 ± 9	14,6 ± 3,08 <sup>b</sup>	238 ± 105 <sup>c</sup>

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht (P < 0,05);

<sup>#</sup>: Die restlichen Prozentanteile liefern tierische Eiweißquellen

Bezüglich der Ballaststoffzufuhr nahmen die männlichen Athleten mit 23,2 g Ballaststoffen signifikant größere Mengen zu sich als ihre weiblichen Kollegen mit 19,5 g Ballaststoffen am Tag. Die größte Ballaststoffzufuhr hatten mit 27,0 g am Tag die männlichen Ausdauersportler und die geringste mit 13,7 g am Tag die weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen. Die geringste Ballaststoffaufnahme einer Athletin lag bei 7,25 g und die größte bei 52,7 g am Tag. Durchschnittlich führten die männlichen Sportler mit 412 mg pro Tag signifikant mehr Cholesterin zu als die weiblichen Sportlerinnen mit 270 mg pro Tag. Bei den männlichen Ausdauersportlern konnte mit 476 mg am Tag die größte Cholesterinzufuhr festgestellt werden und bei den weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit durchschnittlich 227 mg am Tag die geringste Cholesterinzufuhr. Die durchschnittliche Cholesterinzufuhr schwankte für die Athleten zwischen 40 mg und 845 mg am Tag.

### 3.1.2.2 Mittlere Zufuhr von $\beta$ -Karotin, Vitamin A, Vitamin E, Vitamin B<sub>12</sub> und Folsäure

Bezüglich der Vitamine wurden das Provitamin  $\beta$ -Karotin und die Vitamine A, E, B<sub>12</sub>, sowie auch Folsäure in ihrer Zufuhr analysiert. Die Werte sind als Durchschnittswerte in Tabelle 14 aufgeführt, wobei hier auf zusätzlich eingenommene Nahrungsergänzungspräparate nicht eingegangen wird. Dieses erfolgt in einem nachfolgenden Kapitel unter Punkt 3.1.3.4. Die Einzelwerte der Sportler können Anhangstabelle 6 (a + b) entnommen werden.

Tab. 14: Mittlere Tageszufuhr von  $\beta$ -Karotin, Vitamin A, E, B<sub>12</sub> und Folsäure

Sportarten	$\beta$ -Karotin <sup>1</sup> [mg]	Vit. A <sup>1,2,3</sup> [mg]	$\Sigma$ Vit. A <sup>1</sup> [mg]	Vit. E <sup>1</sup> [mg]	Vit. B <sub>12</sub> <sup>1,2</sup> [ $\mu$ g]	Folsäure <sup>1,2</sup> [ $\mu$ g]
Ausdauer J:	3,38 $\pm$ 1,57 <sup>ab</sup>	0,82 $\pm$ 0,54 <sup>a</sup>	1,38 $\pm$ 0,55 <sup>a</sup>	15,6 $\pm$ 6,57 <sup>a</sup>	8,12 $\pm$ 3,65 <sup>a</sup>	280 $\pm$ 76,7 <sup>a</sup>
M:	4,01 $\pm$ 2,51 <sup>a</sup>	0,38 $\pm$ 0,12 <sup>b</sup>	1,05 $\pm$ 0,44 <sup>b</sup>	11,0 $\pm$ 3,93 <sup>b</sup>	4,36 $\pm$ 1,69 <sup>bc</sup>	229 $\pm$ 60,1 <sup>b</sup>
Kampf J:	1,70 $\pm$ 0,66 <sup>b</sup>	0,45 $\pm$ 0,25 <sup>b</sup>	0,73 $\pm$ 0,33 <sup>bc</sup>	9,40 $\pm$ 0,89 <sup>bc</sup>	5,63 $\pm$ 2,45 <sup>b</sup>	193 $\pm$ 38,7 <sup>bc</sup>
M:	2,52 $\pm$ 1,95 <sup>ab</sup>	0,54 $\pm$ 0,35 <sup>ab</sup>	0,96 $\pm$ 0,40 <sup>bc</sup>	8,60 $\pm$ 4,25 <sup>bc</sup>	3,70 $\pm$ 1,37 <sup>bc</sup>	137 $\pm$ 44,4 <sup>c</sup>
Kraft J:	2,25 $\pm$ 1,45 <sup>b</sup>	0,50 $\pm$ 0,14 <sup>b</sup>	0,87 $\pm$ 0,36 <sup>bc</sup>	11,8 $\pm$ 4,1 <sup>abc</sup>	6,30 $\pm$ 1,36 <sup>ab</sup>	218 $\pm$ 73,1 <sup>b</sup>
M:	2,99 $\pm$ 1,81 <sup>ab</sup>	0,45 $\pm$ 0,19 <sup>b</sup>	0,95 $\pm$ 0,33 <sup>bc</sup>	14,9 $\pm$ 6,25 <sup>a</sup>	4,31 $\pm$ 1,17 <sup>bc</sup>	219 $\pm$ 91,5 <sup>b</sup>
TK J:	1,54 $\pm$ 0,33 <sup>bc</sup>	0,38 $\pm$ 0,20 <sup>b</sup>	0,64 $\pm$ 0,24 <sup>c</sup>	7,20 $\pm$ 1,34 <sup>bc</sup>	3,50 $\pm$ 0,85 <sup>bc</sup>	155 $\pm$ 31,9 <sup>c</sup>
M:	2,08 $\pm$ 0,99 <sup>bc</sup>	0,33 $\pm$ 0,21 <sup>b</sup>	0,68 $\pm$ 0,24 <sup>c</sup>	7,09 $\pm$ 3,26 <sup>c</sup>	2,78 $\pm$ 1,28 <sup>c</sup>	131 $\pm$ 39,8 <sup>c</sup>
Geschl. J:	2,65 $\pm$ 1,53	0,65 $\pm$ 0,46 <sup>a</sup>	1,09 $\pm$ 0,56	12,7 $\pm$ 6,07	6,75 $\pm$ 3,40 <sup>a</sup>	238 $\pm$ 81,7 <sup>a</sup>
M:	2,98 $\pm$ 2,04	0,41 $\pm$ 0,22 <sup>b</sup>	0,91 $\pm$ 0,39	10,8 $\pm$ 5,55	3,82 $\pm$ 1,55 <sup>b</sup>	187 $\pm$ 79,1 <sup>b</sup>
Sportart						
Ausdauer:	3,61 $\pm$ 1,99 <sup>a</sup>	0,66 $\pm$ 0,48 <sup>a</sup>	1,26 $\pm$ 0,54 <sup>a</sup>	13,9 $\pm$ 6,14 <sup>a</sup>	6,75 $\pm$ 3,57 <sup>a</sup>	261 $\pm$ 75,2 <sup>a</sup>
Kampf:	2,06 $\pm$ 1,44 <sup>ab</sup>	0,49 $\pm$ 0,30 <sup>ab</sup>	0,83 $\pm$ 0,38 <sup>b</sup>	9,05 $\pm$ 2,92 <sup>b</sup>	4,79 $\pm$ 2,26 <sup>bc</sup>	169 $\pm$ 49,9 <sup>bc</sup>
Kraft:	2,78 $\pm$ 1,75 <sup>ab</sup>	0,46 $\pm$ 0,18 <sup>b</sup>	0,93 $\pm$ 0,34 <sup>b</sup>	14,0 $\pm$ 5,89 <sup>a</sup>	4,88 $\pm$ 1,53 <sup>b</sup>	219 $\pm$ 86,7 <sup>b</sup>
TK:	1,90 $\pm$ 0,87 <sup>b</sup>	0,35 $\pm$ 0,21 <sup>b</sup>	0,66 $\pm$ 0,24 <sup>b</sup>	7,13 $\pm$ 2,77 <sup>b</sup>	3,02 $\pm$ 1,20 <sup>c</sup>	139 $\pm$ 39,0 <sup>c</sup>

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte  $\pm$  SD;

Umrechnung von  $\beta$ -Karotin in Vitamin-A-Einheiten: 1 mg Vitamin A (Retinol) entspricht 6 mg all-trans- $\beta$ -Karotin (DGE, 2000); Geschl.: Geschlecht;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten

( $P < 0,05$ );

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht ( $P < 0,05$ ).

Die männlichen Sportler nahmen 2,65 mg  $\beta$ -Karotin auf und die weiblichen Sportlerinnen 2,98 mg am Tag. Die größte Zufuhr von  $\beta$ -Karotin betrug 4,01 mg am Tag und war bei den weiblichen Ausdauersportlern festzustellen, die geringste dagegen mit 1,54 mg bei den männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Sportarten. Die geringste  $\beta$ -Karotin-Aufnahme betrug 0,52 mg und die größte 10,0 mg am Tag. Die durchschnittliche tägliche Vitamin-A-Zufuhr betrug bei den männlichen Teilnehmern 0,65 mg und bei den weiblichen 0,41 mg Vitamin A. Die weiblichen Sportlerinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen hatten mit 0,33 mg die geringste, die männlichen Ausdauersportler dagegen mit 0,82 mg Vitamin A am Tag die höchste Zufuhr. Die durchschnittliche Vitamin-A-Zufuhr der Athleten betrug minimal 0,06 mg und maximal 3,00 mg am Tag. Werden die zusätzlichen Vitamin-A-Einheiten durch die Aufnahme von  $\beta$ -Karotin berücksichtigt, dann verbesserte sich die Vitamin-A-Zufuhr der männlichen Sportler auf 1,09 mg und bei den weiblichen auf 0,91 mg am Tag. Mit 1,38 mg hatten die männlichen Ausdauersportler die größte Vitamin-A-Zufuhr unter der Berücksichtigung der Aufnahme von  $\beta$ -Karotin und mit 0,64 mg die männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen die geringste. Die geringste Zufuhr von Vitamin A einer weiblichen Athletin betrug unter der Berücksichtigung von  $\beta$ -Karotin 0,25 mg und die größte eines männlichen Sportlers 3,29 mg am Tag. Im Durchschnitt nahmen die männlichen Teilnehmer 12,7 mg Vitamin E und die weiblichen 10,8 mg Vitamin E am Tag zu sich. Für die männlichen Ausdauersportler konnte mit 15,6 mg am Tag die größte Vitamin-E-Zufuhr festgestellt werden und für die weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit

7,09 mg am Tag die geringste Vitamin-E-Aufnahme am Tag. Die durchschnittliche Zufuhr von Vitamin E schwankte für alle Sportler zwischen 5,02 mg und 32,9 mg am Tag. Die mittlere Vitamin-B<sub>12</sub>-Zufuhr betrug bei den männlichen Sportlern 6,75 µg und war signifikant verschieden von den 3,82 µg Vitamin B<sub>12</sub> der weiblichen Athleten. Die Ausdauersportler hatten mit 8,12 µg Vitamin B<sub>12</sub> am Tag die größte Zufuhr und die weiblichen Sportler der Technisch-kompositorischen Sportarten mit 2,78 µg am Tag die geringste. Mit 0,77 µg am Tag nahm eine Athletin am wenigsten Vitamin B<sub>12</sub> zu sich und mit 17,0 µg ein Athlet am meisten. Von der Folsäure wurden von den männlichen Athleten mit 238 µg am Tag signifikant mehr zugeführt als von den weiblichen Athleten mit 187 µg am Tag. Am wenigsten Folsäure mit 131 µg am Tag nahmen die weiblichen Teilnehmerinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen zu sich, dagegen die männlichen Ausdauersportler mit 280 µg am meisten. Die durchschnittliche Folsäurezufuhr der Athleten lag zwischen 57,1 µg und 465 µg am Tag.

### 3.1.2.3 Mittlere Zufuhr von Kalzium, Magnesium, Eisen und Zink

Tabelle 15 beinhaltet die durchschnittliche Zufuhr der beiden ausgewählten Mengenelemente Kalzium und Magnesium, sowie auch der Spurenelemente Eisen und Zink der Sportler. In der Anhangstabelle 6 (a + b) sind die betreffenden Einzelwerte der Athleten dargestellt. Auf zusätzlich von den Athleten eingenommene Nahrungsergänzungspräparate, welche die oben erwähnten Mineralstoffe enthalten, wird im nachfolgenden Kapitel (siehe Punkt 3.1.3.4) eingegangen.

Tab. 15: Mittlere Tageszufuhr von Kalzium, Magnesium Eisen und Zink

Sportarten		Kalzium <sup>1,2</sup> [mg]	Magnesium <sup>1,2</sup> [mg]	Eisen <sup>1,2</sup> [mg]	Zink <sup>1,2</sup> [mg]
Ausdauer	J:	1728 ± 747 <sup>a</sup>	544 ± 160 <sup>a</sup>	18,9 ± 4,68 <sup>a</sup>	15,8 ± 4,26 <sup>a</sup>
	M:	1140 ± 288 <sup>bc</sup>	380 ± 93,4 <sup>b</sup>	12,8 ± 3,45 <sup>b</sup>	10,3 ± 2,67 <sup>b</sup>
Kampf	J:	1266 ± 669 <sup>b</sup>	370 ± 88,2 <sup>b</sup>	12,1 ± 1,54 <sup>b</sup>	11,7 ± 2,58 <sup>b</sup>
	M:	864 ± 375 <sup>bc</sup>	260 ± 78,9 <sup>c</sup>	8,98 ± 2,44 <sup>c</sup>	6,67 ± 2,30 <sup>c</sup>
Kraft	J:	1445 ± 449 <sup>ab</sup>	433 ± 126 <sup>ab</sup>	14,6 ± 2,62 <sup>b</sup>	13,7 ± 2,66 <sup>ab</sup>
	M:	1279 ± 399 <sup>b</sup>	416 ± 160 <sup>b</sup>	14,1 ± 5,47 <sup>b</sup>	10,7 ± 2,00 <sup>b</sup>
TK	J:	717 ± 334 <sup>c</sup>	267 ± 52,9 <sup>c</sup>	10,2 ± 1,57 <sup>bc</sup>	8,15 ± 1,57 <sup>c</sup>
	M:	776 ± 318 <sup>c</sup>	243 ± 70,4 <sup>c</sup>	8,50 ± 2,13 <sup>c</sup>	6,84 ± 2,21 <sup>c</sup>
Geschlecht	J:	1459 ± 744 <sup>a</sup>	457 ± 169 <sup>a</sup>	15,8 ± 5,11 <sup>a</sup>	13,6 ± 4,45 <sup>a</sup>
	M:	1043 ± 402 <sup>b</sup>	336 ± 134 <sup>b</sup>	11,5 ± 4,49 <sup>b</sup>	8,98 ± 2,96 <sup>b</sup>
Sportart					
Ausdauer:		1513 ± 682 <sup>a</sup>	484 ± 160 <sup>a</sup>	16,7 ± 5,18 <sup>a</sup>	13,8 ± 4,58 <sup>a</sup>
Kampf:		1090 ± 594 <sup>b</sup>	322 ± 100 <sup>b</sup>	10,7 ± 2,51 <sup>c</sup>	9,53 ± 3,52 <sup>b</sup>
Kraft:		1327 ± 421 <sup>ab</sup>	421 ± 151 <sup>a</sup>	14,2 ± 4,83 <sup>b</sup>	11,6 ± 2,58 <sup>b</sup>
TK:		756 ± 324 <sup>bc</sup>	251 ± 66,1 <sup>b</sup>	9,06 ± 2,12 <sup>c</sup>	7,28 ± 2,11 <sup>c</sup>

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen Mittelwerten (P < 0,05);  
Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht (P < 0,05).

Die durchschnittliche Kalziumzufuhr der männlichen Athleten war mit 1459 mg von den weiblichen Athletinnen mit 1043 mg am Tag signifikant verschieden. Die männlichen Ausdauersportler führten mit 1728 mg am Tag am meisten Kalzium zu, dagegen die männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 717 mg am geringsten. Die durchschnittliche Kalziumzufuhr der Athleten lag zwischen 392 mg und 3700 mg am Tag. Durchschnittlich 457 mg Magnesium am Tag nahmen die männlichen Sportler, signifikant verschieden zu den 336 mg der weiblichen Athleten, zu sich. Mit 544 mg am Tag hatten die männlichen Ausdauersportler die größte Magnesiumzufuhr, im Gegensatz dazu die weiblichen Athletinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 243 mg am Tag die niedrigste. Die niedrigste Magnesiumzufuhr einer Athletin betrug 148 mg und die größte 912 mg am Tag. Die durchschnittliche Eisen- und Zinkzufuhr lag bei den männlichen Sportlern bei 15,8 mg bzw. 13,6 mg am Tag, bei den weiblichen bei 11,5 mg und 8,98 mg am Tag. Auch hier bestanden für beide Spurenelemente signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Die männlichen Ausdauersportler nahmen mit durchschnittlich 18,9 mg bzw. 15,8 mg am Tag am meisten Eisen bzw. Zink zu sich, dagegen die weiblichen Athletinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 8,50 mg Eisen und die weiblichen Kampfsportlerinnen mit 6,67 mg Zink am Tag am wenigsten. Die geringste Eisen- und Zinkzufuhr einer Athletin lag bei 4,28 mg Eisen und 2,23 mg Zink, dagegen die größte eines Athleten bei 29,3 mg Eisen und 24,8 mg Zink am Tag.

#### 3.1.2.4 Durchschnittliche Einnahme von Nahrungsergänzungspräparaten

Die durchschnittliche Anzahl der Athleten, welche zusätzlich Vitamine und Mineralstoffe in der jeweiligen, durchschnittlichen Dosierung eingenommen haben, sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Tab. 16: Mittlere Tageseinnahme ausgewählter Vitamine und Mineralstoffe einiger Athleten in Form von Zusatzpräparaten

	<b>Vit. A [mg]</b>	<b>Vit. E [mg]</b>	<b>Vit. B<sub>12</sub> [µg]</b>	<b>Folsäure [µg]</b>	<b>Kalzium [mg]</b>	<b>Magnesium [mg]</b>	<b>Eisen [mg]</b>	<b>Zink [mg]</b>
Anzahl N	3	10	7	9	4	15	7	3
$\bar{x}$	1,69	3,94	0,80	73,0	185	80,3	31,3	2,06

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte.

23 Sportler, davon sieben Ausdauer-, fünf Kampf-, sieben Kraftsportler sowie vier Sportler der Technisch-kompositorischen Disziplinen, hatten während der einwöchigen Protokollierung ihrer Ernährung Nahrungsergänzungspräparate zu den Vitaminen A, E, B<sub>12</sub>, Folsäure und den Mineralstoffen Kalzium, Magnesium, Eisen und Zink eingenommen. Davon hatten 13 Athleten ein Zusatzpräparat mit mehreren Inhaltsstoffen gewählt und zehn Sportler mit nur jeweils einem Element. Am meisten wurde von insgesamt 15 Athleten Magnesium in einer durchschnittlichen Dosis von 80,3 mg am Tag eingenommen.

### 3.1.3 Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben

#### 3.1.3.1 Bestimmung der klinisch-relevanten Parameter Hämoglobin, Kreatinin, Enzymaktivität der GSH-Px und der Konzentrationen von $T_4$ , $fT_4$ und $T_3$

Tabelle 17 beinhaltet die klinisch-relevanten Parameter Hämoglobin- und Kreatininkonzentration, die Enzymaktivität der GSH-Px, sowie auch die Schilddrüsenhormone Thyroxin ( $T_4$ ), freies Thyroxin ( $fT_4$ ) und Trijodthyronin ( $T_3$ ) als Durchschnittswerte der Sportler. Die dazugehörigen Einzelwerte sind in der Anhangstabelle 7 (a + b) dargestellt. Die männlichen Athleten hatten eine mittlere Hämoglobinkonzentration von 15,3 g/dl und unterschieden sich damit signifikant von den 14,5 g/dl der weiblichen Sportler. Die größte Hämoglobinkonzentration betrug 15,7 g/dl und war bei den männlichen Ausdauersportlern festzustellen, die geringste von 14,0 g/dl bei den männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Sportarten. Die Hämoglobinkonzentrationen der Sportler befanden sich zwischen 11,7 g/dl und 18,5 g/dl. Die männlichen Sportler hatten eine Kreatininkonzentration im Plasma von 0,78 mg/dl und die weiblichen von 0,74 mg/dl. Mit 0,83 mg/dl hatten die weiblichen Kampfsportlerinnen die größte Kreatininkonzentration im Plasma, während die weiblichen Ausdauersportler mit 0,68 mg/dl die geringste hatten. Die geringste Kreatininkonzentration eines Athleten betrug 0,43 mg/dl und die höchste 1,24 mg/dl.

Tab. 17: Konzentration von Hämoglobin im Vollblut, die Plasmakonzentration von Kreatinin, die Aktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) sowie die Konzentrationen der Schilddrüsenhormone  $T_4$ ,  $fT_4$  und  $T_3$  im Plasma

Sportarten/ Geschlecht	Hb <sup>2,3</sup> [g/dl]	Kreatinin <sup>3</sup> [mg/dl]	GSH-Px [U/l]	$T_4$ <sup>1,2</sup> [nmol/l]	$fT_4$ <sup>1,2</sup> [pmol/l]	$T_3$ <sup>2,3</sup> [nmol/l]
Ausdauer J:	15,7 ± 0,90 <sup>a</sup>	0,82 ± 0,15 <sup>a</sup>	592 ± 134	112 ± 18,4 <sup>bc</sup>	27,9 ± 7,83 <sup>a</sup>	2,35 ± 0,45 <sup>b</sup>
M:	14,1 ± 0,92 <sup>bc</sup>	0,68 ± 0,07 <sup>bc</sup>	593 ± 164	124 ± 21,5 <sup>b</sup>	24,9 ± 7,99 <sup>ab</sup>	2,08 ± 0,49 <sup>b</sup>
Kampf J:	15,3 ± 1,47 <sup>ab</sup>	0,76 ± 0,06 <sup>ab</sup>	631 ± 163	119 ± 18,1 <sup>bc</sup>	26,7 ± 5,38 <sup>ab</sup>	2,73 ± 0,57 <sup>a</sup>
M:	14,7 ± 1,00 <sup>b</sup>	0,83 ± 0,08 <sup>a</sup>	545 ± 134	159 ± 35,0 <sup>a</sup>	22,0 ± 3,77 <sup>b</sup>	1,49 ± 0,36 <sup>d</sup>
Kraft J:	15,1 ± 1,12 <sup>ab</sup>	0,73 ± 0,17 <sup>ab</sup>	563 ± 80,4	123 ± 19,3 <sup>bc</sup>	20,8 ± 6,69 <sup>b</sup>	1,72 ± 0,35 <sup>cd</sup>
M:	14,9 ± 1,36 <sup>b</sup>	0,80 ± 0,16 <sup>ab</sup>	590 ± 114	137 ± 26,4 <sup>ab</sup>	22,4 ± 4,25 <sup>b</sup>	1,99 ± 0,55 <sup>c</sup>
TK J:	14,0 ± 0,67 <sup>bc</sup>	0,69 ± 0,13 <sup>b</sup>	625 ± 130	100 ± 17,4 <sup>c</sup>	21,1 ± 4,28 <sup>b</sup>	2,48 ± 0,58 <sup>ab</sup>
M:	14,6 ± 1,10 <sup>b</sup>	0,70 ± 0,07 <sup>bc</sup>	574 ± 143	120 ± 26,5 <sup>bc</sup>	22,1 ± 3,60 <sup>b</sup>	2,03 ± 0,38 <sup>b</sup>
Geschl. J:	15,3 ± 1,19 <sup>a</sup>	0,78 ± 0,15	600 ± 135	113 ± 19,4 <sup>b</sup>	25,8 ± 7,48 <sup>a</sup>	2,36 ± 0,56 <sup>a</sup>
M:	14,5 ± 1,16 <sup>b</sup>	0,74 ± 0,12	580 ± 141	131 ± 29,4 <sup>a</sup>	23,0 ± 5,58 <sup>b</sup>	1,96 ± 0,50 <sup>b</sup>
Sportarten						
Ausdauer:	15,1 ± 1,19 <sup>a</sup>	0,77 ± 0,14 <sup>ab</sup>	592 ± 146	116 ± 20,3 <sup>b</sup>	26,8 ± 8,02 <sup>a</sup>	2,25 ± 0,48 <sup>a</sup>
Kampf:	15,0 ± 1,32 <sup>ab</sup>	0,79 ± 0,08 <sup>a</sup>	591 ± 156	136 ± 33,4 <sup>a</sup>	24,6 ± 5,28 <sup>ab</sup>	2,19 ± 0,79 <sup>ab</sup>
Kraft:	15,0 ± 1,30 <sup>ab</sup>	0,78 ± 0,16 <sup>a</sup>	582 ± 106	133 ± 25,5 <sup>a</sup>	21,9 ± 5,12 <sup>b</sup>	1,91 ± 0,52 <sup>b</sup>
TK:	14,4 ± 1,01 <sup>b</sup>	0,69 ± 0,10 <sup>b</sup>	591 ± 141	113 ± 25,6 <sup>b</sup>	21,8 ± 3,88 <sup>b</sup>	2,18 ± 0,50 <sup>ab</sup>

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

Geschl.: Geschlecht

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten

( $P < 0,05$ );

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht ( $P < 0,05$ ).

Die Aktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) im Plasma betrug bei den Jungen 600 U/l und bei den Mädchen 580 U/l. Die minimale Aktivität der GSH-Px lag für die Athleten bei 277 U/l und das Maximum bei 965 U/l. Die männlichen Athleten wiesen bezüglich der Konzentrationen von  $T_4$ ,  $fT_4$  und  $T_3$  im Plasma die Werte 113 nmol/l, 25,8 pmol/l und 2,36 nmol/l auf. Die Konzentrationen der Schilddrüsenhormone lagen für die weiblichen Athleten bei 131 nmol/l, 23,0 pmol/l und 1,96 nmol/l. Sowohl für  $T_4$  als auch für  $fT_4$  und  $T_3$  gab es signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern, welche der Tabelle 14 entnommen werden können. Für die weiblichen Kampfsportler konnte mit 159 nmol/l die höchste  $T_4$ -Konzentration im Plasma gefunden werden, während die männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Sportarten mit 100 nmol/l die geringste besaßen. Für alle Athleten schwankten die Konzentrationen von  $T_4$  zwischen 77,1 nmol/l und 219 nmol/l. Bezüglich der  $fT_4$ -Konzentration im Plasma hatten die männlichen Ausdauersportler mit durchschnittlich 27,9 pmol/L die höchsten Werte, während mit 20,8 pmol/L für die männlichen Kraftsportler die geringsten  $fT_4$ -Konzentrationen ermittelt wurden. Die Plasmakonzentrationen von  $fT_4$  befanden sich für alle Sportler zwischen 7,01 pmol/l und 52,4 pmol/l. Die höchste durchschnittliche Konzentration von  $T_3$  im Plasma wurde für die männlichen Kampfsportler mit 2,73 nmol/l bestimmt und die geringste mit 1,49 nmol/l für die weiblichen Kampfsportler. Die Konzentrationen für  $T_3$  schwankten für die Athleten zwischen minimal 0,91 nmol/l und maximal 3,60 nmol/l.

### **3.1.3.2 Bestimmung ernährungs-relevanter Parameter**

#### **3.1.3.2.1 Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide der Erythrozyten**

Die wichtigsten Vertreter der n-9-, n-6- und n-3-Fettsäuren an den Gesamtfettsäuren in Prozent in den Membranphospholipiden der Erythrozyten sind in Tabelle 18 dargestellt, einige Quotienten zwischen diesen Fettsäuren befinden sich in Tabelle 19. Zusätzlich ermittelte Fettsäuren können der Anhangstabelle 8 (a + b + c) entnommen werden. Für die Anteile der Ölsäure C 18:1 (n-9) [%] gab es weder zwischen den Sportarten noch zwischen den Geschlechtern signifikante Unterschiede. Für die weiblichen und männlichen Sportler wurde jeweils ein prozentualer Anteil von 18,9 für die C 18:1 (n-9) ermittelt. Die Prozentwerte befanden sich für alle Sportler zwischen 13,8 und 24,0. Bezüglich der Linolsäure C 18:2 (n-6) wurde bei den weiblichen Athleten ein durchschnittlicher Anteil von 12,1 % und für die männlichen Sportler von 11,9 % in den Membranphospholipiden der Erythrozyten bestimmt. Die männlichen Kampfsportler wiesen mit durchschnittlich 13,0 % den höchsten Anteil auf, während mit 11,5 % die männlichen Sportler der Technisch-kompositorischen Disziplinen den geringsten besaßen. Mit 14,6 % konnte bei den weiblichen Athleten ein signifikant höherer Prozentanteil der Arachidonsäure C 20:4 (n-6) in den Membranphospholipiden der Erythrozyten festgestellt werden als bei den männlichen mit 13,7 %. Die weiblichen Sportler der Technisch-kompositorischen Disziplinen hatten mit 15,2 % den größten Anteil der C 20:4 (n-6), während mit 12,1 % die männlichen Kampfsportler den geringsten Anteil der C 20:4 (n-6) aufwiesen. Insgesamt befanden sich die Prozentanteile der C 20:4 (n-6) für alle Athleten zwischen 10,6 und 17,5. Die weiblichen Athleten hatten einen Prozentanteil für die  $\alpha$ -Linolensäure C 18:3 (n-3) von 0,48 und die männlichen von 0,49. Den höchsten Wert für die C 18:3 (n-3) wiesen die weiblichen

Kampfsportarten mit 0,71 und den geringsten mit 0,43 die weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen auf.

Tab. 18: Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten [%]

Sportarten/ Geschlecht	C 18:1 (n-9) [%]	C 18:2 (n-6) [%]	C 20:4(n-6) <sup>1,2,3</sup> [%]	C 18:3 (n-3) <sup>3</sup> [%]	C20:5 (n-3) <sup>1</sup> [%]
Ausdauer	J: 18,6 ± 2,04	11,8 ± 1,48 <sup>b</sup>	13,9 ± 1,39 <sup>b</sup>	0,46 ± 0,15 <sup>b</sup>	0,87 ± 0,30 <sup>a</sup>
	M: 19,2 ± 2,25	12,6 ± 1,47 <sup>ab</sup>	13,7 ± 0,91 <sup>b</sup>	0,44 ± 0,13 <sup>b</sup>	0,89 ± 0,35 <sup>a</sup>
Kampf	J: 20,0 ± 1,09	13,0 ± 0,52 <sup>a</sup>	12,1 ± 1,15 <sup>c</sup>	0,46 ± 0,10 <sup>b</sup>	0,48 ± 0,14 <sup>bc</sup>
	M: 18,9 ± 1,13	11,8 ± 1,98 <sup>ab</sup>	14,4 ± 1,62 <sup>ab</sup>	0,71 ± 0,42 <sup>a</sup>	0,58 ± 0,13 <sup>b</sup>
Kraft	J: 18,7 ± 1,29	11,7 ± 1,22 <sup>ab</sup>	13,4 ± 0,73 <sup>bc</sup>	0,49 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,83 ± 0,10 <sup>ab</sup>
	M: 18,7 ± 1,52	12,0 ± 1,41 <sup>ab</sup>	15,1 ± 1,29 <sup>a</sup>	0,45 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,79 ± 0,14 <sup>ab</sup>
TK.	J: 18,9 ± 2,11	11,5 ± 1,55 <sup>b</sup>	15,1 ± 1,84 <sup>a</sup>	0,62 ± 0,32 <sup>ab</sup>	0,61 ± 0,29 <sup>b</sup>
	M: 19,0 ± 2,00	11,8 ± 1,45 <sup>ab</sup>	15,2 ± 1,37 <sup>a</sup>	0,43 ± 0,12 <sup>b</sup>	0,72 ± 0,16 <sup>ab</sup>
Geschlecht	J: 18,9 ± 1,90	11,9 ± 1,42	13,7 ± 1,59 <sup>b</sup>	0,49 ± 0,17	0,76 ± 0,30
	M: 18,9 ± 1,87	12,1 ± 1,55	14,6 ± 1,42 <sup>a</sup>	0,48 ± 0,22	0,77 ± 0,25
Sportarten					
Ausdauer:	18,8 ± 2,13	12,1 ± 1,53	13,8 ± 1,21 <sup>b</sup>	0,46 ± 0,15	0,88 ± 0,32 <sup>a</sup>
Kampf:	19,5 ± 1,25	12,5 ± 1,43	13,1 ± 1,74 <sup>b</sup>	0,57 ± 0,31	0,52 ± 0,14 <sup>c</sup>
Kraft:	18,7 ± 1,46	11,9 ± 1,36	14,6 ± 1,38 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,07	0,80 ± 0,13 <sup>ab</sup>
TK:	18,9 ± 2,04	11,7 ± 1,49	15,1 ± 1,54 <sup>a</sup>	0,48 ± 0,21	0,68 ± 0,22 <sup>b</sup>

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht (P < 0,05).

Die Prozentanteile schwankten für alle Athleten zwischen 0,24 und 1,66. Der Anteil der Eicosa-pentaensäure C 20:5 (n-3) betrug für die Jungen 0,76 % und für Mädchen 0,77 %. Mit 0,89 % konnte bei den weiblichen Ausdauersportlern der höchste und mit 0,48 % bei den männlichen Kampfsportarten der geringste Anteil bezüglich der C 20:5 (n-3) in den Membranphospholipiden der Erythrozyten festgestellt werden. Insgesamt lagen die Werte für die Athleten zwischen 0,12 % und 1,59 %. Der Fettsäurequotient zwischen den beiden Fettsäuren C 18:2 (n-6) und C18:1(n-9) betrug bei den männlichen Sportlern 0,63 und bei den weiblichen 0,64 (Tab. 18). Der Fettsäurequotient zwischen C 18:2 (n-6) und C 18:1 (n-9) schwankte zwischen 0,40 und 0,84. Der Quotient aus den beiden Fettsäuren (C 20:4 (n-6)) und (C 20:5 (n-3)) betrug bei den männlichen Athleten 21,8 und bei den weiblichen 20,9. Mit 35,0 hatten die männlichen TK-Sportler den höchsten Wert, während mit 16,4 die männlichen Kraftsportler den geringsten aufwiesen. Dieser Quotient lag bei den Athleten zwischen 8,47 und 96,7.

Tab. 19: Fettsäurezusammensetzung in den Membranphospholipiden der Erythrozyten, dargestellt in ausgewählten Quotienten zwischen wichtigen Fettsäuren

Sportarten/ Geschlecht		C 18:2 (n-6) / C 18:1 (n-9)	C 20:4 (n-6) / C 20:5 (n-3) <sup>1</sup>
Ausdauer	J:	0,63 ± 0,06	17,8 ± 6,49 <sup>bc</sup>
	M:	0,66 ± 0,07	18,4 ± 9,61 <sup>bc</sup>
Kampf	J:	0,65 ± 0,04	26,8 ± 5,23 <sup>ab</sup>
	M:	0,63 ± 0,12	25,5 ± 3,78 <sup>abc</sup>
Kraft	J:	0,62 ± 0,06	16,4 ± 2,98 <sup>bc</sup>
	M:	0,65 ± 0,09	19,9 ± 4,45 <sup>b</sup>
TK.	J:	0,61 ± 0,05	35,0 ± 26,0 <sup>a</sup>
	M:	0,62 ± 0,04	22,3 ± 5,66 <sup>b</sup>
Geschlecht	J:	0,63 ± 0,06	21,8 ± 13,0
	M:	0,64 ± 0,08	20,9 ± 7,02
Sportarten			
Ausdauer:		0,64 ± 0,07	18,0 ± 7,78 <sup>b</sup>
Kampf:		0,64 ± 0,08	26,2 ± 4,70 <sup>a</sup>
Kraft:		0,64 ± 0,08	18,9 ± 4,37 <sup>b</sup>
TK:		0,62 ± 0,05	26,5 ± 16,8 <sup>a</sup>

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht (P < 0,05).

### 3.1.3.2.2 Cholesterin- und Triglyceridkonzentrationen im Plasma

Bei den männlichen Sportlern wurde eine mittlere Cholesterin- und Triglyceridkonzentration im Plasma von 150 mg bzw. 72,9 mg ermittelt, bei den weiblichen Sportlerinnen hingegen von 161 mg bzw. 77,8 mg (Tab. 20). Die Einzelwerte sind in der Anhangstabelle 9 (a + b) dargestellt. Die höchste Cholesterinkonzentration wurde bei den weiblichen Kraftsportlern (180 mg/dl) festgestellt, die geringste bei den männlichen Ausdauerathleten (145 mg/dl). Die weiblichen TK-Sportler hatten die höchste Triglyceridkonzentration mit 83,9 mg/dl und die geringste dagegen die männlichen TK-Sportler mit 56,0 mg/dl. Die durchschnittlichen Cholesterin- und Triglyceridkonzentrationen der Sportler schwankten zwischen 43,7 mg und 248 mg bzw. 16,0 mg und 195 mg.

Tab. 20: Cholesterin- und Triglyceridkonzentrationen im Plasma

Sportarten/ Geschlecht		Cholesterin [mg/dl]	Triglyceride [mg/dl]
Ausdauer	J:	145 ± 27,8 <sup>b</sup>	73,6 ± 32,9 <sup>ab</sup>
	M:	155 ± 22,3 <sup>b</sup>	78,3 ± 43,6 <sup>ab</sup>
Kampf	J:	153 ± 29,4 <sup>ab</sup>	77,0 ± 44,7 <sup>ab</sup>
	M:	157 ± 23,0 <sup>ab</sup>	70,9 ± 35,2 <sup>ab</sup>
Kraft	J:	160 ± 53,4 <sup>ab</sup>	83,3 ± 37,0 <sup>ab</sup>
	M:	180 ± 26,6 <sup>a</sup>	75,2 ± 35,3 <sup>ab</sup>
TK	J:	156 ± 32,5 <sup>ab</sup>	56,0 ± 27,5 <sup>b</sup>
	M:	148 ± 39,2 <sup>b</sup>	83,9 ± 34,2 <sup>a</sup>
Geschlecht	J:	150 ± 33,5	72,9 ± 36,1
	M:	161 ± 31,9	77,8 ± 37,9
Sportarten			
Ausdauer:		149 ± 26,3 <sup>b</sup>	75,3 ± 37,2
Kampf:		155 ± 26,8 <sup>ab</sup>	74,3 ± 40,9
Kraft:		174 ± 37,4 <sup>a</sup>	77,5 ± 36,0
TK:		151 ± 37,3 <sup>b</sup>	74,2 ± 34,6

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05).

### 3.1.3.2.3 Plasmakonzentrationen von Vitamin A, E, B<sub>12</sub>, Folsäure und Homocystein

Die Plasmakonzentrationen der Vitamine A, E, B<sub>12</sub>, Folsäure und von Homocystein sind in Tabelle 21 dargestellt. Die Einzelwerte der Athleten sind in der Anhangstabelle 9 (a + b) aufgeführt. Die Konzentrationen von Vitamin A im Plasma lagen bei den männlichen Athleten bei 42,0 µg/dl, bei den weiblichen bei 43,0 µg/dl und schwankten für alle Athleten zwischen 27,0 µg/dl und 71,1 µg/dl. Die weiblichen Kampfsportler wiesen mit durchschnittlich 57,5 µg/dl die höchste Konzentration von Vitamin A im Plasma auf, die männlichen TK-Sportler die geringste mit 35,9 µg/dl. Die männlichen Sportler hatten eine durchschnittliche Vitamin-E-Konzentration von 1,05 mg/dl und die weiblichen von 1,12 mg/dl. Mit durchschnittlich 1,20 mg/dl wurde bei den weiblichen Ausdauerathleten die größte und mit 0,94 mg/dl bei den weiblichen Kampfsportler die geringste Vitamin-E-Plasmakonzentration festgestellt. Die Werte befanden sich hier für die Athleten zwischen 0,65 mg/dl und 1,84 mg/dl. Für die Plasmakonzentrationen von Vitamin B<sub>12</sub> gab es keine statistischen Unterschiede zwischen den Sportarten, den Geschlechtern oder deren Wechselwirkung. Die Plasmakonzentration von Vitamin B<sub>12</sub> betrug für die männlichen Sportler 513 pg/ml und für die weiblichen 557 pg/ml. Die Konzentrationen der Athleten für Vitamin B<sub>12</sub> lagen in einem Bereich von minimal 258 pg/ml und maximal 1100 pg/ml.

Tab. 21: Mittlere Plasmakonzentrationen von Vitamin A, E, B<sub>12</sub>, Folsäure und Homocystein

Sportart:	Vitamin A <sup>1,3</sup> [µg/dl]	Vitamin E [mg/dl]	Vitamin B <sub>12</sub> [pg/ml]	Folsäure <sup>1</sup> [ng/ml]	Homocystein <sup>2</sup> [µmol/l]
Ausdauer J:	43,8 ± 9,10 <sup>b</sup>	1,07 ± 0,19 <sup>ab</sup>	543 ± 149	12,7 ± 5,46 <sup>ab</sup>	9,59 ± 2,31 <sup>a</sup>
Ausdauer M:	44,0 ± 8,58 <sup>b</sup>	1,20 ± 0,23 <sup>a</sup>	545 ± 223	13,2 ± 3,10 <sup>ab</sup>	8,18 ± 1,66 <sup>ab</sup>
Kampf J:	42,6 ± 9,47 <sup>bc</sup>	1,04 ± 0,18 <sup>ab</sup>	470 ± 143	9,8 ± 2,06 <sup>b</sup>	9,30 ± 3,17 <sup>ab</sup>
Kampf M:	57,5 ± 10,1 <sup>a</sup>	0,94 ± 0,11 <sup>b</sup>	464 ± 143	10,9 ± 3,17 <sup>ab</sup>	8,73 ± 2,18 <sup>ab</sup>
Kraft J:	40,9 ± 6,05 <sup>bc</sup>	1,07 ± 0,27 <sup>ab</sup>	505 ± 88,4	11,6 ± 2,71 <sup>ab</sup>	8,69 ± 0,90 <sup>ab</sup>
Kraft M:	41,3 ± 9,12 <sup>bc</sup>	1,14 ± 0,27 <sup>ab</sup>	563 ± 122	13,4 ± 5,44 <sup>a</sup>	8,93 ± 1,56 <sup>ab</sup>
TK J:	35,9 ± 5,81 <sup>c</sup>	1,01 ± 0,14 <sup>ab</sup>	466 ± 117	10,5 ± 2,53 <sup>ab</sup>	9,38 ± 2,79 <sup>ab</sup>
TK M:	36,7 ± 6,70 <sup>c</sup>	1,10 ± 0,30 <sup>ab</sup>	608 ± 185	10,5 ± 2,14 <sup>ab</sup>	8,00 ± 2,64 <sup>b</sup>
Geschlecht J:	42,0 ± 8,86	1,05 ± 0,20	513 ± 141	11,7 ± 4,47	9,39 ± 2,47 <sup>a</sup>
Geschlecht M:	43,0 ± 10,7	1,12 ± 0,26	557 ± 182	12,2 ± 3,99	8,43 ± 2,06 <sup>b</sup>
Sportarten					
Ausdauer:	43,9 ± 8,91 <sup>a</sup>	1,12 ± 0,22	544 ± 180	12,9 ± 4,72 <sup>a</sup>	9,06 ± 2,20
Kampf:	49,1 ± 12,2 <sup>a</sup>	1,00 ± 0,16	468 ± 143	10,3 ± 2,66 <sup>b</sup>	9,05 ± 2,80
Kraft:	41,1 ± 8,36 <sup>ab</sup>	1,12 ± 0,27	546 ± 117	12,9 ± 4,89 <sup>ab</sup>	8,86 ± 1,41
TK:	36,4 ± 6,43 <sup>b</sup>	1,07 ± 0,26	561 ± 179	10,5 ± 2,28 <sup>b</sup>	8,46 ± 2,77

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

a,b,c: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten

(P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten signifikante Wirkung der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart, <sup>2</sup>Geschlecht und <sup>3</sup>Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht (P < 0,05).

Die Folsäurekonzentration im Plasma betrug bei den männlichen Sportlern 11,7 ng/ml und bei den weiblichen 12,2 ng/ml. Die größte Folsäurekonzentration wurde bei den weiblichen Kraftsportlern (13,4 ng/ml) und die geringste bei den männlichen Kampfsportlern (9,8 ng/ml) ermittelt. Die Plasmakonzentrationen von Folsäure lagen für die Athleten zwischen 6,06 ng/ml und 30,6 ng/ml. Die männlichen Athleten hatten mit 9,39 µmol/l eine signifikant höhere Homocysteinkonzentration im Plasma als die weiblichen Athleten, die nur 8,43 µmol/l aufwiesen. Die höchste Homocysteinkonzentration im Plasma wurde bei den männlichen Ausdauersportlern (9,59 µmol/l) gefunden, die geringste bei den weiblichen TK-Athleten (8,00 µmol/l). Die Homocysteinkonzentrationen im Plasma schwankten für alle Athleten zwischen 3,25 µmol/l und 17,1 µmol/l.

### 3.1.3.2.4 Zinkkonzentrationen im Plasma

Tabelle 22 beinhaltet die Zinkkonzentrationen der Athleten im Plasma. Die Einzelwerte sind in der Anhangstabelle 9 (a + b) aufgelistet. Die Bestimmung der Zinkkonzentration im Plasma ergab, dass die männlichen Athleten und die weiblichen Athleten etwa die gleichen Konzentrationen an Zink mit 88,1 µg/dl bzw. 88,0 µg/dl im Plasma hatten.

Tab. 22: Zinkkonzentration der Sportler im Plasma

Zink [µg/dl]	Ausdauer	Kampf	Kraft	TK	Jungen	Mädchen
J:	89,5 ± 10,7 <sup>a</sup>	88,9 ± 12,1 <sup>ab</sup>	88,4 ± 11,5 <sup>ab</sup>	82,1 ± 8,67 <sup>b</sup>	88,1 ± 11,2	88,0 ± 11,7
M:	81,9 ± 7,75 <sup>b</sup>	95,2 ± 10,9 <sup>a</sup>	89,5 ± 10,7 <sup>ab</sup>	88,9 ± 13,6 <sup>ab</sup>		
Alle:	86,8 ± 10,5	91,7 ± 12,0	89,2 ± 10,9	86,6 ± 12,6	-	-

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05).

Mit 95,2 µg/dl hatten die weiblichen Kampfsportler die höchste Zinkkonzentration im Plasma, die weiblichen Ausdauersportler mit 81,9 µg/dl die geringste. Die Plasmakonzentrationen von Zink schwankten zwischen 65,9 µg/dl und 117 µg/dl. Aus den Einzelwerten (Anhang, Tab. 9a + 9b) ging hervor, dass 12,1 % der Sportler eine sehr niedrige Zinkkonzentration im Plasma aufwiesen und sich damit im unteren Bereich bzw. sogar außerhalb des Referenzbereiches (< 70,0 µg/dl) befanden. Zwischen den vier Sportarten, den Geschlechtern und deren Wechselwirkungen gab es keine signifikanten Unterschiede.

### 3.2 Studie zur Zinksupplementierung von Leistungssportlern

#### 3.2.1 Gesundheitsfragebogen und Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage

Von dem zu Beginn der Zinksupplementierung ausgefüllten Gesundheitsfragebogen wurden in Abbildung 2 einige wichtige Antworten, bezüglich des gesundheitlichen Zustandes der Sportler, dargestellt. Die dazugehörigen Antworten der einzelnen Sportler können zusammen mit den Ergebnissen der ausgewerteten Protokolle zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage der Anhangstabelle 11 entnommen werden. 66,7 % der befragten Athleten in Gruppe 1 gaben an, sich oft abgespannt zu fühlen. Dagegen waren es in Gruppe 2 und Gruppe 3 nur 38,5 % bzw. 42,9 % aller Athleten. Ebenso viele Athleten aus Gruppe 1 berichteten, dass ihre Wunden nur mittelmäßig verheilen würden, während es bei Gruppe 2 und Gruppe 3 mit 30,8 bzw. 57,1 % weniger Athleten waren. In Gruppe 1 waren 88,9 %, in Gruppe 2 und Gruppe 3 nur 30,8 bzw. 42,9 % der befragten Athleten unzufrieden mit ihrem allgemeinen Gesundheitszustand. 22,2 % der Athleten aus Gruppe 1 gaben an, an Atemwegserkrankungen zu leiden, während es bei Gruppe 2 30,8 und bei Gruppe 3 nur 14,3 % der Athleten waren.

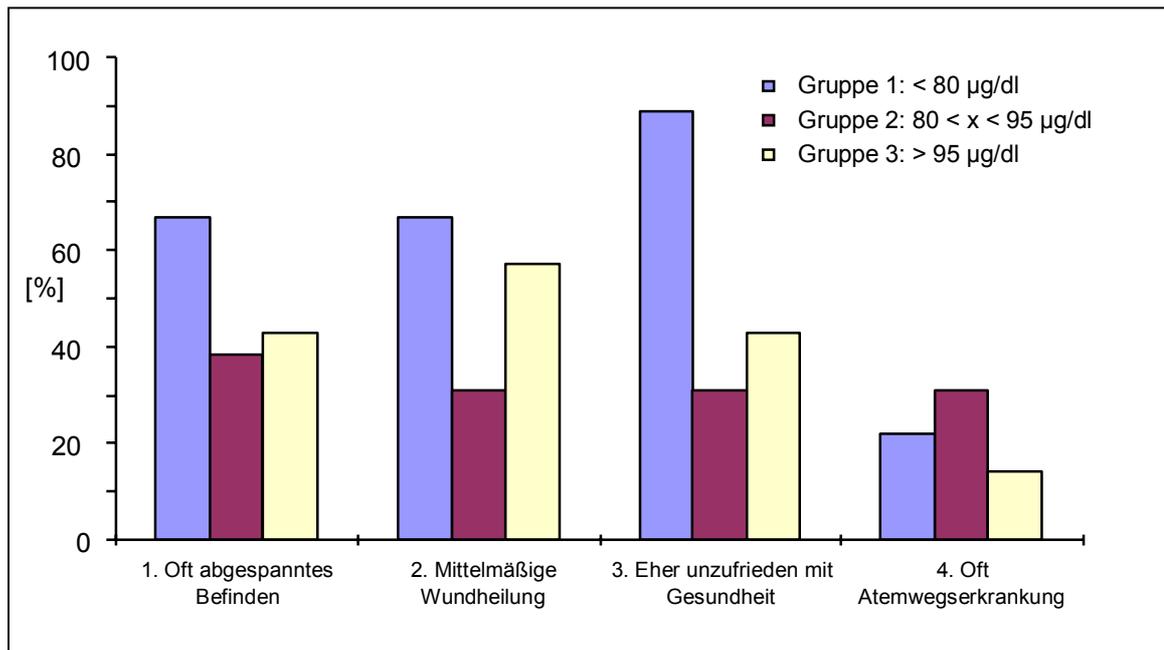


Abb. 2: Prozentanteil der Sportler innerhalb jeder der drei Gruppen, die zu Beginn der Zinksupplementierung angaben: 1. Oft abgespannt zu sein, 2. Eine mittelmäßige Wundheilung zu haben, 3. Eher unzufrieden mit ihrem Gesundheitszustand zu sein und 4. Öfters Atemwegserkrankungen zu erleiden.

Die Auswertung des Fragebogens zu den Krankheitstagen, die während der sechswöchigen Zinksupplementierung bei den Sportlern der drei Gruppen aufgetreten sind, ist in Abbildung 3 dargestellt. Dargestellt ist der Prozentanteil der Krankheitstage innerhalb der ersten vier und auch während der letzten beiden Wochen der Zinksupplementierung für die Athleten der drei Gruppen. Während in den ersten vier Wochen für die Athleten von Gruppe 1 11,9 % Krankheitstage ermittelt wurden, waren es für Gruppe 2 und Gruppe 3 15,9 % bzw. 9,7 %. Der prozentuale Anteil der Krankheitstage sank für alle drei Gruppen in den letzten beiden Wochen der Zinksupplementierung ab. Für Gruppe 1 konnten 7,1 %, für Gruppe 2 4,4 % und für Gruppe 3 nur noch 5,10 % der letzten 14 Tage der Zink-Einnahme als Krankheitstage festgestellt werden.

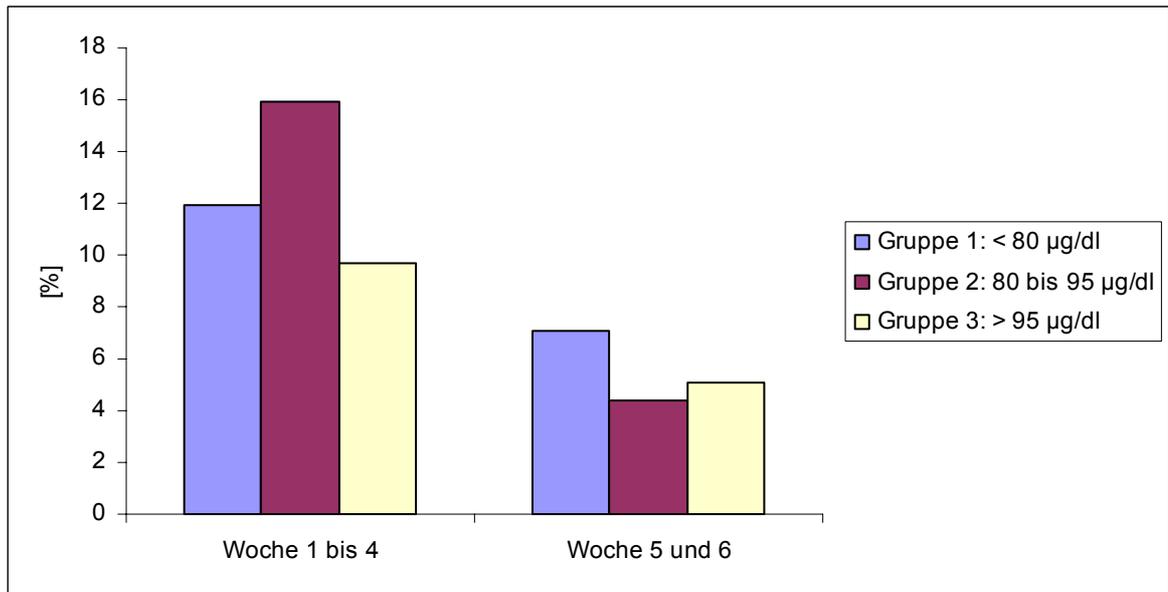


Abb. 3: Prozentanteil der Krankheitstage innerhalb der Woche 1 bis 4 und innerhalb der Woche 5 und 6 der Zinksupplementierung für die Athleten der drei Gruppen.

### 3.2.2 Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben vor und nach der Zinksupplementierung

#### 3.2.2.1 Einfluss der Zinksupplementierung auf hämatologische Parameter

##### 3.2.2.1.1 Hkt, Hb, MCHC, CRP und Haptoglobin

Es wurden vor und nach der Zinksupplementierung folgende hämatologische Parameter der drei Gruppen in Abhängigkeit der Zinkversorgung untersucht (Tab. 23): Hkt, die Konzentrationen von Hb im Vollblut, MCHC, sowie die Konzentrationen von CRP und von Haptoglobin im Plasma. Die hämatologischen Daten der Athleten sind in der Anhangstabelle 12 aufgeführt. Die durchschnittlichen Hkt, Hb-Konzentrationen, MCHC-Werte, CRP- und Haptoglobinkonzentrationen befanden sich für alle drei Gruppen, mit Ausnahme des durchschnittlichen MCHC-Wertes für Gruppe 3 nach der Zink-Einnahme, sowohl vor als auch nach der Supplementierung in den entsprechenden Referenzbereichen. Bezüglich dieser hämatologischer Parameter gab es sowohl vor als auch nach der Zink-Einnahme keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Der Hämatokritwert sank für alle Athleten nach der sechswöchigen Zinkzufuhr signifikant ab, so dass sich die Werte für Gruppe 1 und Gruppe 3 jeweils vor und nach der Supplementierung signifikant voneinander unterschieden. In allen drei Gruppen kam es nach der Zink-Einnahme zu einem signifikanten Absinken der Hämoglobinkonzentration (Zeiteffekt aller Gruppen), wobei Gruppe 3 nach der Zinkgabe eine signifikant geringere Hämoglobinkonzentration hatte als vor der Zinksupplementierung. Sowohl für die mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration, als auch für die Konzentration von CRP und Haptoglobin im Plasma gab es vor und nach der Zinkverabreichung keine signifikanten Gruppenunterschiede oder signifikante, behandlungsabhängige Veränderungen.

Tab. 23: Durchschnittlicher Hämatokrit, Hämoglobinkonzentration, MCHC, CRP- und Haptoglobinkonzentrationen der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung

Parameter		Gruppe 1 < 80 µg/dl	Gruppe 2 80 bis 95 µg/dl	Gruppe 3 > 95 µg/dl	Referenzbereich
Hämatokrit <sup>1</sup>	vor:	0,49 ± 0,05	0,50 ± 0,06	0,49 ± 0,05	M <sup>°</sup> : 0,40 - 0,54 F <sup>°</sup> : 0,37 - 0,47
	nach:	0,46 ± 0,03*	0,49 ± 0,04	0,48 ± 0,04*	
Hämoglobin <sup>1</sup> [g/dl]	vor:	15,8 ± 1,42	16,0 ± 1,95	15,9 ± 1,69	M <sup>#</sup> : 14,0 - 18,0 F <sup>#</sup> : 12,0 - 16,0
	nach:	15,0 ± 1,10	15,8 ± 1,32	14,9 ± 1,61*	
MCHC [g/dl]	vor:	32,6 ± 0,74	32,3 ± 0,76	32,2 ± 0,60	13 -16 J.: 32 - 36" Erw.: 33 - 66"
	nach:	32,9 ± 1,52	32,6 ± 0,74	31,5 ± 3,37	
CRP [mg/l]	vor:	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0 <sup>+</sup>
	nach:	< 5,0	< 5,0	< 5,0	
Haptoglobin [g/l]	vor:	0,58 ± 0,24	0,56 ± 0,28	0,42 ± 0,18	0,40 - 2,00"
	nach:	0,61 ± 0,28	0,66 ± 0,33	0,45 ± 0,31	

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

M: Männer, F: Frauen, Erw.: Erwachsene, J: Jahre;

\*: Signifikante Unterschiede des Messwertes vor und nach der Supplementierung innerhalb der Gruppen (P < 0,05);

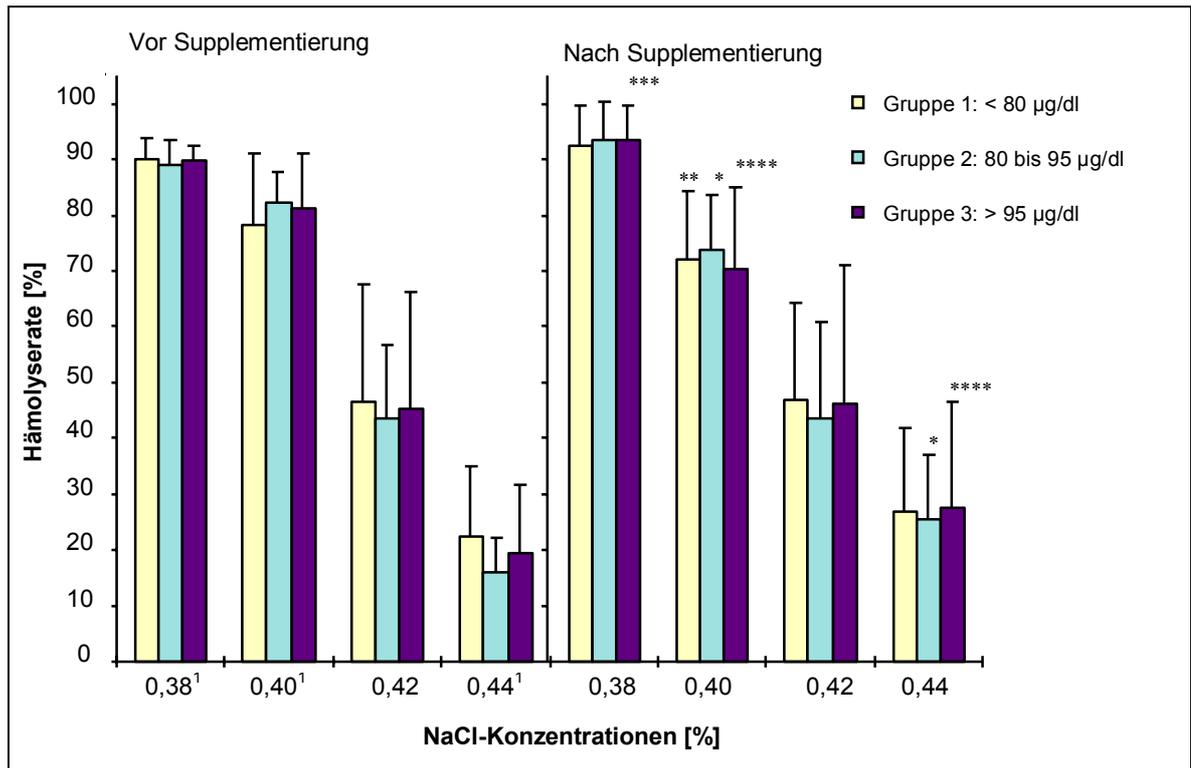
Hochzahl bedeutet Signifikanz des Faktors: <sup>1</sup>Zeit (P < 0,05);

Referenzbereiche: ° nach Seim et al. (2000); # nach Van Kampen (1961); " nach Thomas (2000);

<sup>+</sup> Nachweisempfindlichkeit von 5 mg/L ( Fa Beckman Coulter GmbH, Krefeld, Deutschland).

### 3.2.2.1.2 Hämolyseresistenz der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen

Es sollte die Fähigkeit der Erythrozytenmembran der Sportler gegenüber einer Hämolyse durch hypotone NaCl-Lösungen in Abhängigkeit von der Zinksupplementierung untersucht werden. Die entsprechenden Einzelwerte der Athleten sind in der Anhangstabelle 13 dargestellt. Abbildung 4 zeigt die prozentuale Hämolyse der Erythrozyten in verschiedenen NaCl-Konzentrationen (0 %, 0,38 % bis 0,44 % NaCl). Mit zunehmender Hypotonie der Lösung stieg für jede Gruppe, also unabhängig von der Zinkkonzentration im Plasma, die Hämolyse neigung der Erythrozyten an. Sowohl vor als auch nach der Supplementierung gab es bei keiner getesteten NaCl-Lösung signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Bemerkenswert war, dass bei einer NaCl-Konzentration von 0,38 % die Hämolyse neigung für Gruppe 3 (ausreichende Zinkkonzentration im Plasma) signifikant anstieg, ebenso bei der 0,44 % NaCl-Konzentration, hier auch für Gruppe 2. Bei der Untersuchung der Erythrozyten in einer 0,40 %igen NaCl-Lösung wurde für alle drei Gruppen ein signifikanter Abfall beobachtet (Zeiteffekt für alle drei Gruppen).



Die Hochzahl 1 steht für signifikante Zeiteffekte und die Sternchen charakterisieren signifikante Unterschiede innerhalb einer Gruppe zwischen den Ausgangswerten vor und nach der Supplementierung ( $P < 0,05$ ;  $^{**}P < 0,01$ ;  $^{***}P < 0,005$ ;  $^{****}P < 0,001$ ).

Abb. 4: Hämolyseresistenz von Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen vor und nach der Zinkeinnahme.

### 3.2.2.2 Einfluss der Zinksupplementierung auf Parameter des Zinkstatus

#### 3.2.2.2.1 Zinkkonzentration und Zink-Bindungskapazität im Plasma

Es wurden die Zinkkonzentrationen vor und nach der Zinksupplementierung bestimmt. Die Zink-Bindungskapazität sollte zusätzlich Aufschluss über den Versorgungszustand der Gruppen mit Zink geben. Tabelle 24 beinhaltet die durchschnittlichen Zinkkonzentrationen und Zink-Bindungskapazitäten der drei Gruppen im Plasma. Die dazugehörigen Einzelwerte der Anhangstabelle 12 entnommen werden. Vor der Zinksupplementierung unterschied sich Gruppe 1 mit einer durchschnittlichen Zinkkonzentration von 72,4 µg/dl im Plasma signifikant von Gruppe 2 mit 88,6 µg/dl und Gruppe 3 mit 102 µg/dl. Damit lag die Gruppe 1 vor dem Beginn der Zink-Einnahme außerhalb des Referenzbereiches. Mit einem 34 %igen Anstieg verbesserte Gruppe 1 signifikant ihre Zinkkonzentration im Plasma auf 97,0 µg/dl. In Gruppe 2 und 3 dagegen gab es keine signifikanten Veränderungen bezüglich der Zinkkonzentration im Plasma. Die Zinkkonzentration im Plasma pendelte sich für alle drei Gruppen nach der Zinkgabe bei einem Wert von ca. 96 µg/dl ein.

Tab. 24: Zinkkonzentration und Zink-Bindungskapazität der drei Gruppen im Plasma vor und nach der Zinksupplementierung

Parameter		Gruppe 1 < 80 µg/dl	Gruppe 2 80 bis 95 µg/dl	Gruppe 3 > 95 µg/dl	Referenzbereich
Zink <sup>1</sup> [µg/dl]	vor:	72,4 ± 6,36 <sup>c</sup>	88,6 ± 3,55 <sup>b</sup>	102 ± 3,27 <sup>a</sup>	M°: 72,6 - 127
	nach:	97,0 ± 14,8 <sup>**</sup>	95,3 ± 17,4	96,1 ± 12,8	F°: 70,0 - 114
Zn-Bin.kapazität <sup>1</sup> [%]	vor:	76,8 ± 3,48 <sup>a</sup>	72,6 ± 2,07 <sup>b</sup>	69,3 ± 2,27 <sup>c</sup>	60 - 70 <sup>#</sup>
	nach:	70,9 ± 5,62 <sup>*</sup>	72,0 ± 4,23	71,2 ± 4,57	

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

M: Männer, F: Frauen;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Hochzahl bedeutet Signifikanz von: <sup>1</sup>Interaktion (Zeit × Gruppe) (P < 0,05);

<sup>\*</sup>: Signifikante Unterschiede des Messwertes vor und nach der Supplementierung innerhalb der Gruppen (P < 0,05; <sup>\*\*</sup>P < 0,005);

Referenzbereiche: ° nach Herstellerangaben (Wako Chemicals GmbH, Neuss, Deutschland) und

<sup>#</sup> nach Roth und Kirchgessner (1980).

Gegenläufig zur Zinkkonzentration verhielt sich erwartungsgemäß die Zink-Bindungskapazität im Plasma d. h. je niedriger die Zinkkonzentration im Plasma, umso höher war die Zink-Bindungskapazität im Plasma. Es bestand für alle Athleten eine negative Korrelation zwischen Zinkkonzentration im Plasma und der Zink-Bindungskapazität im Plasma (P < 0,05). Bezüglich der Zink-Bindungskapazität traten bei Gruppe 1 und Gruppe 2 zu Beginn der Zinkzufuhr höhere Werte als im Referenzbereich angegeben, auf. Gruppe 3 dagegen befand sich im angegebenen Bereich. Nach der Zinkzufuhr näherten sich Gruppe 1 und Gruppe 2 dem Referenzbereich an. Bezüglich der Zink-Bindungskapazität ließen sich die gleichen signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen wie es für die Zinkkonzentration im Plasma zu beobachten war. Mit 76,8 % hatte Gruppe 1 die signifikant größte Zink-Bindungskapazität im Plasma im Vergleich zu Gruppe 2 mit 72,6 % und Gruppe 3 mit 69,3 %. Nur für Gruppe 1 kam es zu einer signifikanten Erniedrigung der Zink-Bindungskapazität nach der Zinksupplementierung. Die Zink-Bindungskapazität im Plasma pendelte sich nach der Supplementierung für alle drei Gruppen bei einem Wert von ca. 71 % ein. Sowohl für die Zinkkonzentration als auch die Zink-Bindungskapazität im Plasma gab es signifikante Interaktion zwischen Zeit und Gruppe.

### 3.2.2.2 Enzymaktivität der AP im Plasma

Die Alkalische Phosphatase (AP) ist ein zinkabhängiges Metalloenzym, dessen Aktivität vom Versorgungszustand mit Zink beeinflusst wird. Die Enzymaktivität der Alkalischen Phosphatase ist in Tabelle 25 dargestellt. Die einzelnen Enzymaktivitäten der Athleten sind in der Anhangstabelle 12 aufgeführt.

Tab. 25: Aktivität der Alkalische Phosphatase im Plasma vor und nach der Zinkgabe

Parameter	Gruppe 1 < 80 µg/dl	Gruppe 2 80 bis 95 µg/dl	Gruppe 3 > 95 µg/dl	Referenzbereich
AP <sup>1,2</sup> vor:	148 ± 78,1 <sup>b</sup>	219 ± 112 <sup>ab</sup>	280 ± 157 <sup>a</sup>	Jugendl. (≤ 17 J): ≤ 300
[U/l] nach:	131 ± 78,2 <sup>b*</sup>	179 ± 87,4 <sup>ab**</sup>	253 ± 151 <sup>a***</sup>	

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

a,b: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Hochzahlen bedeuten Signifikanz der Faktoren: <sup>1</sup>Zeit und <sup>2</sup>Gruppe (P < 0,05);

\*: Signifikante Unterschiede des Messwertes vor und nach der Supplementierung innerhalb der Gruppen (P < 0,05; \*\* P < 0,01; \*\*\*P < 0,001);

Referenzbereich: ° nach Rick (1977).

Alle drei Gruppen hatten im Durchschnitt eine Enzymaktivität innerhalb des Referenzbereiches von ≤ 300 U/l. Gruppe 1 hatte vor der Zinkgabe mit 148 U/l die signifikant niedrigste Enzymaktivität vor Gruppe 2 mit 219 U/l und Gruppe 3 mit 280 U/l. Nach der Zinksupplementierung sank die Aktivität der AP generell signifikant gegenüber der Aktivität vor der Zinkgabe (Zeiteffekt), sowie auch gruppenabhängig (Gruppeneffekt) ab. Gruppe 1 zeigte wieder die signifikant niedrigste Enzymaktivität von 131 U/l nach der sechswöchigen Zink-Einnahme gegenüber der Gruppe 3 mit der höchsten Aktivität der AP von 253 U/l.

### 3.2.2.3 Einfluss von Zink auf Parameter des Immunstatus

#### 3.2.2.3.1 Serumkonzentrationen von IgG und IgM

Die Immunglobuline IgG und IgM sind wichtig für alle wesentlichen Abwehrfunktionen im Organismus. Während IgG u. a. zur Diagnose von bestehenden Infektionen herangezogen wird, unterstützt die Bestimmung von IgM die Diagnose von Abweichungen im Proteinstoffwechsel und einer Abwehrschwäche gegenüber Infektionserregern (Thomas, 2000). Alle drei Gruppen lagen sowohl vor als auch nach der Zinkverabreichung in den jeweiligen Referenzbereichen, der für die Immunglobuline IgG und IgM (Tab. 26) angegeben wird. Die entsprechenden Einzelwerte befinden sich in der Anhangstabelle 14. Gruppe 1 hatte vor der Zink-Einnahme mit 12,1 g/l die signifikant größte IgG-Konzentration im Serum vor Gruppe 3 mit 10,8 g/l und Gruppe 2 mit 9,82 g/l. Nach der Zinksupplementierung zeigte Gruppe 1 immer noch die signifikant höchste IgG-Konzentration mit 11,5 g/l gegenüber Gruppe 2 mit 9,98 g/l (signifikanter Gruppeneffekt). Die IgG-Konzentrationen im Serum nach der Zink-Einnahme unterschieden sich für alle drei Gruppen jedoch nicht signifikant von denen vor der Zinkgabe. Bezüglich der IgM-Konzentration im Serum gab es weder signifikante Gruppenunterschiede vor bzw. nach der Supplementierung, noch veränderte sich die IgM-Konzentration signifikant nach der sechswöchigen Zinkeinnahme.

Tab. 26: Durchschnittliche Konzentration der Immunglobuline IgG und IgM der drei Gruppen im Serum vor und nach der Zinksupplementierung

Parameter	Gruppe 1 < 80 µg/dl	Gruppe 2 80 bis 95 µg/dl	Gruppe 3 > 95 µg/dl	Referenzbereich <sup>°</sup>
IgG <sup>1</sup> [g/l]	vor: 12,1 ± 1,30 <sup>a</sup>	9,82 ± 1,03 <sup>b</sup>	10,8 ± 1,58 <sup>b</sup>	7,00 - 16,0
	nach: 11,5 ± 1,30 <sup>a</sup>	9,98 ± 1,15 <sup>b</sup>	10,4 ± 1,44 <sup>ab</sup>	
IgM [g/l]	vor: 0,99 ± 0,29	1,10 ± 0,53	1,04 ± 0,39	0,40 - 2,30
	nach: 1,03 ± 0,29	1,11 ± 0,49	1,06 ± 0,39	

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten

( $P < 0,05$ );

Hochzahl bedeutet Signifikanz des Faktors: <sup>1</sup>Gruppe ( $P < 0,05$ );

<sup>°</sup>: nach Herstellerangaben (Fa Beckman-Coulter GmbH).

### 3.2.2.3.2 Ergebnisse der Immunphäotypisierung

#### 3.2.2.3.2.1 Leukozyten und deren Subpopulationen

Es wurde sofort nach der Blutproben-Entnahme die absolute Leukozytenzahl jedes Athleten ausgezählt, welche zur Bestimmung der Leukozytensubpopulationen dem FACS-an-Durchflusssytometer manuell eingegeben werden muss. In Tabelle 27 sind die Werte sowohl in Zellen/µl als auch in Prozenten von der Gesamtleukozytenzahl zusammengestellt. Die Einzelwerte sind in den Anhangstabellen 14 und 15 zusammengetragen. Vor der Zinksupplementierung wiesen die Athleten der drei Gruppen im Referenzbereich nach Jacobs et al. (1990) befindliche Leukozyten- [Gpt/l], Granulozyten-, Lymphozyten- und Monozytenzahlen [Zellen/µl] auf. Gruppe 1 hatte vor der Zinkzufuhr mit 3705 Zellen/µl eine größere Lymphozytenzahl als Gruppe 3 mit 2827 Zellen/µl. Bei der Betrachtung der Relativwerte, welche als Prozentzahlen von der Gesamtleukozytenzahl dargestellt wurden, befanden sich vor der Zinkgabe die Granulozyten [%] unterhalb und die Lymphozyten [%] oberhalb der von Jacobs et al. (1990) angegebenen Mittelwerte zu diesen Zellzahlen, während es bezüglich der Monozyten [%] keine Auffälligkeiten gab.

Nach der Zinksupplementierung konnte ein signifikantes Absinken (signifikanter Zeiteffekt) der Leukozyten- [Gpt/l] und Lymphozytenzahlen (signifikanter Zeit- und Gruppeneffekt) [Zellen/µl] für alle drei Gruppen beobachtet werden, wohingegen die Monozytenzahlen [Zellen/µl] für alle drei Gruppen angestiegen sind (signifikanter Zeiteffekt). Nach der Zinkgabe kam es zu einem signifikanten Anstieg der Granulozyten (signifikanter Zeiteffekt) [%], welcher allerdings aufgrund einer signifikanten Verringerung der absoluten (signifikanter Zeit- und Gruppeneffekt) und relativen Lymphozytenzahlen (signifikanter Zeiteffekt) zustande kam, da die absoluten Granulozytenzahlen nach der Zinksupplementierung für alle drei Gruppen unverändert blieben. Dagegen sind sowohl die absoluten, als auch relativen Monozytenzahlen nach der Zink-Einnahme für alle drei Gruppen angestiegen (signifikante Zeiteffekte), so dass sich für Gruppe 1 und Gruppe 3 jeweils signifikant höhere

Werte Monozytenzahlen in Zellen/ $\mu$ l und Prozent im Vergleich zu den Ausgangswerten vor der Zink-Einnahme ergaben.

Tab. 27: Durchschnittliche Leukozytenzahl und deren Subpopulationen in Zellen/ $\mu$ l und in Prozenten der Gesamtleukozytenzahl der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung

Parameter		Gruppe 1 < 80 $\mu$ g/dl	Gruppe 2 80 bis 95 $\mu$ g/dl	Gruppe 3 > 95 $\mu$ g/dl	Referenzbereich <sup>#</sup>
Leukozyten <sup>1</sup> [Gpt/l]	vor: nach:	7,63 $\pm$ 1,75 6,78 $\pm$ 1,66	6,95 $\pm$ 1,97 6,05 $\pm$ 1,36	6,27 $\pm$ 1,36 6,10 $\pm$ 1,33	14 – 17 J: 4,5 - 13,0 18 – 19 J: 4,0 - 12,5
Granulozyten [Zellen/ $\mu$ l]	vor: nach:	3597 $\pm$ 1720 3587 $\pm$ 1122	3336 $\pm$ 1492 3169 $\pm$ 993	3175 $\pm$ 1378 3304 $\pm$ 1049	14-16 J: 1800 - 8000 18-21 J: 1800 - 7700
Granulozyten <sup>1</sup> [%]	vor: nach:	45,0 $\pm$ 12,5 52,0 $\pm$ 8,36	46,4 $\pm$ 10,1 52,4 $\pm$ 9,55	49,5 $\pm$ 10,7 53,3 $\pm$ 8,54	14 J: 56 % 16 – 18 J: 57 %
Lymphozyten <sup>1,2</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: nach:	3705 $\pm$ 590 <sup>a</sup> 2742 $\pm$ 680	3229 $\pm$ 785 <sup>ab</sup> 2454 $\pm$ 748	2827 $\pm$ 666 <sup>b</sup> 2338 $\pm$ 481	16 J: 1200 - 5200 18 J: 1000 - 5000
Lymphozyten <sup>1</sup> [%]	vor: nach:	50,9 $\pm$ 13,1 41,4 $\pm$ 8,93	48,0 $\pm$ 10,2 40,5 $\pm$ 8,99	46,1 $\pm$ 10,3 39,4 $\pm$ 8,94	16 J: 35 % 18 J: 35 %
Monozyten <sup>1</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: nach:	331 $\pm$ 183 449 $\pm$ 214 <sup>*</sup>	381 $\pm$ 210 459 $\pm$ 181	291 $\pm$ 125 458 $\pm$ 184 <sup>*</sup>	> 14 J: 0 - 800
Monozyten <sup>1</sup> [%]	vor: nach:	4,11 $\pm$ 1,61 6,52 $\pm$ 2,34 <sup>**</sup>	5,58 $\pm$ 2,79 7,69 $\pm$ 3,66	4,82 $\pm$ 1,59 7,38 $\pm$ 2,21 <sup>**</sup>	16 J: 5,1 % 18 - 20 J: 5,2 %

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte  $\pm$  SD;

<sup>a,b</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Hochzahlen bedeuten Signifikanz der Faktoren: <sup>1</sup>Zeit und <sup>2</sup>Gruppe (P < 0,05);

<sup>\*</sup>: Signifikante Unterschiede des Messwertes vor und nach der Supplementierung (<sup>\*</sup>P < 0,05; <sup>\*\*</sup>P < 0,005);

<sup>#</sup>: nach Jacobs et al. (1990);

Auch am Ende der Zinksupplementierung befanden sich alle drei Gruppen bezüglich der Leukozyten-, Granulozyten-, Lymphozyten- und Monozytenzahlen in Zellen/ $\mu$ l in den jeweiligen Referenzbereichen. Das signifikante Absinken der absoluten Lymphozyten machte sich auch in einem signifikanten Absinken der relativen Lymphozyten in Richtung des von Jacobs et al. (1990) angegebenen Mittelwerts von 35 % für alle drei Gruppen bemerkbar. Dagegen konnte für die Monozyten [%] mit über 5,1 % bzw. 5,2 % eine deutliche und in Gruppe 1 und 3 signifikante Steigerung der Prozentwerte nach der Zinkgabe festgestellt werden.

### 3.2.2.3.2.2 Subpopulationen der Lymphozyten

Als Lymphozytensubpopulationen wurden mittels Durchflusszytometrie T-Lymphozyten, T-Zellen im aktivierten Zustand (hier nur mit HLA-DR<sup>+</sup> markierte T-Zellen), LGL (große granuläre Lymphozyten, anteilig an den T-Zellen), B-Lymphozyten und Natürliche Killerzellen (NK-Zellen) erfasst. Die Zellzahlen werden sowohl als Zellen/ $\mu$ l, als auch als Prozentwerte von der Gesamtlmphozytenzahl dargestellt (Tab. 28). Zu Beginn der Zinksupplementierung befanden sich, mit Ausnahme von Gruppe 1 bezüglich der B-Zellen [Zellen/ $\mu$ l], alle Athleten der drei Gruppen innerhalb des Perzentilenbereiches von 90 % für die dargestellten Zellpopulationen. Bezüglich der aufgeführten Zell-

zahlen in Prozenten konnten für jede der drei Gruppen im Referenzbereich liegende Werte ermittelt werden. Vor der Zinkgabe hatte Gruppe 1 mit 2609 Zellen/ $\mu$ l signifikant höhere T-Lymphozyten und mit 621 Zellen/ $\mu$ l bzw. 16,9 % der Gesamtlymphozytenzahl auch signifikant höhere B-Lymphozyten gegenüber Gruppe 3 (1903 T-Zellen/ $\mu$ l, 455 B-Zellen/ $\mu$ l und 15,6 % B-Zellen der Gesamtlymphozytenzahl). Das konnte auch als Erklärung für die signifikant erhöhte Lymphozytenzahl [Zellen/ $\mu$ l] von Gruppe 1 gegenüber Gruppe 3 gesehen werden.

Nach der Zinksupplementierung kam es zu einem signifikanten Absinken (signifikante Zeiteffekte) der T-Zellen (signifikanter Gruppeneffekt), der Aktivierten T-Zellen, der LGL –Zahlen, der B-Zellen (signifikanter Gruppeneffekt) sowie auch der NK-Zellen, jeweils in Zellen/ $\mu$ l, für alle drei Gruppen. Damit kann das Absinken der Lymphozyten [Zellen/ $\mu$ l] (Tab. 27) für die drei Gruppen nach der Zinksupplementierung erklärt werden. Neben den Aktivierten T-Zellen und LGL-Zahlen sanken auch die prozentualen Zellanteile dieser Zellpopulationen in allen drei Gruppen ab. Die B-Zellen [%] änderten sich nicht signifikant nach der Zinkgabe für die drei Gruppen.

Tab. 28: Subpopulationen der Lymphozyten in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung

Parameter	Gruppe 1 < 80 $\mu$ g/dl	Gruppe 2 80 bis 95 $\mu$ g/dl	Gruppe 3 > 95 $\mu$ g/dl	Referenzbereich <sup>#</sup>
T-Zellen <sup>1,2</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: 2609 $\pm$ 663 <sup>a</sup> nach: 2004 $\pm$ 609 <sup>*</sup>	2359 $\pm$ 660 <sup>ab</sup> 1765 $\pm$ 612 <sup>**</sup>	1903 $\pm$ 516 <sup>b</sup> 1593 $\pm$ 283	10 - 16 J.: 800 - 3500 Erw.: 700 - 2100
T-Zellen <sup>3</sup> [% v. Lymph.]	vor: 69,5 $\pm$ 8,33 nach: 72,3 $\pm$ 5,84 <sup>*</sup>	72,7 $\pm$ 5,84 71,7 $\pm$ 6,88	67,1 $\pm$ 6,61 68,8 $\pm$ 5,50	10 - 16 J.: 52 - 78 Erw.: 55 - 83
Aktiv. T-Zellen <sup>1</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: 95,6 $\pm$ 29,2 nach: 57,1 $\pm$ 24,4 <sup>*</sup>	147 $\pm$ 65,4 79,3 $\pm$ 45,3 <sup>***</sup>	91,6 $\pm$ 43,7 55,1 $\pm$ 26,8 <sup>*</sup>	10 - 16 J.: 20 - 200 Erw.: 30 - 200
Aktiv. T-Zellen <sup>1</sup> [%]	vor: 4,83 $\pm$ 3,39 nach: 3,96 $\pm$ 3,29	6,27 $\pm$ 2,19 4,53 $\pm$ 2,53 <sup>*</sup>	5,01 $\pm$ 2,48 3,57 $\pm$ 1,82 <sup>*</sup>	10 - 16 J.: 1 - 8 Erw.: 2 - 12
LGL <sup>1</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: 100 $\pm$ 49,9 nach: 63,9 $\pm$ 47,8	95,3 $\pm$ 57,2 55,4 $\pm$ 36,7 <sup>*</sup>	91,6 $\pm$ 59,0 51,4 $\pm$ 29,2 <sup>***</sup>	-
LGL <sup>1</sup> [% v. T-Zellen]	vor: 3,89 $\pm$ 1,76 nach: 2,80 $\pm$ 1,47	4,25 $\pm$ 2,72 3,31 $\pm$ 1,98	4,56 $\pm$ 2,10 3,35 $\pm$ 2,02 <sup>****</sup>	7 - 18 J. <sup>†</sup> : 0,9 - 9,5
B-Zellen <sup>1,2</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: 621 $\pm$ 143 <sup>a</sup> nach: 475 $\pm$ 132 <sup>a*</sup>	448 $\pm$ 152 <sup>b</sup> 333 $\pm$ 97 <sup>b*</sup>	455 $\pm$ 191 <sup>b</sup> 365 $\pm$ 117 <sup>b</sup>	10 - 16 J.: 200 - 600 Erw.: 100 - 500
B-Zellen [% v. Lymph.]	vor: 16,9 $\pm$ 4,02 <sup>a</sup> nach: 17,7 $\pm$ 4,50	14,4 $\pm$ 4,77 <sup>b</sup> 14,1 $\pm$ 3,62	15,6 $\pm$ 4,07 <sup>b</sup> 15,8 $\pm$ 4,50	10 - 16 J.: 8 - 24 Erw.: 6 - 19
NK-Zellen <sup>1</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: 475 $\pm$ 181 nach: 262 $\pm$ 80,4 <sup>**</sup>	422 $\pm$ 208 355 $\pm$ 156	469 $\pm$ 162 379 $\pm$ 201 <sup>*</sup>	10 - 16 J.: 70 - 1200 Erw.: 90 - 600
NK-Zellen <sup>3</sup> [% v. Lymph.]	vor: 13,7 $\pm$ 6,49 nach: 10,1 $\pm$ 3,68 <sup>b</sup>	12,9 $\pm$ 4,25 14,2 $\pm$ 4,75 <sup>ab</sup>	17,3 $\pm$ 7,19 15,4 $\pm$ 6,12 <sup>a</sup>	10 - 16 J.: 6 - 27 Erw.: 7 - 31

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte  $\pm$  SD;

<sup>a,b</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Hochzahlen bedeuten Signifikanz der Faktoren: <sup>1</sup>Zeit, <sup>2</sup>Gruppe und <sup>3</sup>Interaktion Zeit  $\times$  Gruppe (P < 0,05);

<sup>\*</sup>: Signifikante Unterschiede des Messwertes vor und nach der Supplementierung (P < 0,05; <sup>\*\*</sup> P < 0,01;

<sup>\*\*\*</sup> P < 0,005; <sup>\*\*\*\*</sup> P < 0,001);

<sup>#</sup>: Angabe in Perzentilen (P5-P95) nach Comans-Bitter et al. (1997); <sup>†</sup>: nach Regeczy et al.(2001).

Außerdem konnten für die T-Zellen und NK-Zellen nach der Zink-Einnahme signifikante Interaktionen zwischen Gruppe und Zeit festgestellt werden. Diese beruhen darauf, dass für Gruppe 1 und Gruppe 3 im Gegensatz zur Gruppe 2 ein Anstieg der T-Zellen [%] gefunden werden konnte, der sich allerdings durch die absinkenden NK-Zellen [%] für diese beiden Gruppen erklären ließ, zumal die absoluten T-Zellen abgesunken waren. Bei Gruppe 2 dagegen bewirkte der abfallende Anteil der T-Zellen [%] eine Erhöhung der NK-Zellen [%], da die NK-Zellen in Zellen/ $\mu$ l auch für Gruppe 2 gesunken sind. Am Ende der Zinksupplementierung befanden sich alle drei Gruppen sowohl bezüglich der absoluten, in der Tabelle 28 aufgeführten Zellpopulationen, als auch der relativen Zellzahlen innerhalb der entsprechenden Referenzbereiche mit der 5. bis 95. Perzentile. Gruppe 1 wies nach der Zink-Einnahme eine signifikant geringere NK-Zellzahl mit 10,1 % im Vergleich zu Gruppe 3 mit 15,4 % auf.

### 3.2.2.3.2.3 Subpopulationen der T-Lymphozyten

Von den T-Lymphozyten wurden die T-Helferzellen ( $CD4^+$ ) und die Zytotoxischen T-Zellen ( $CD8^+$ ) mittels FACSan-Durchflusszytometer ermittelt. Das Verhältnis beider Zellarten zueinander ( $CD4^+/CD8^+$ ) kann wichtige Informationen zum Vorliegen von Krankheiten (z. B. Virusinfektionen, HIV usw.) geben. Die Zellzahlen werden sowohl als Zellen/ $\mu$ l, als auch als Prozentwerte von der gesamten T-Lymphozytenzahl in Tabelle 29 aufgeführt. Einzelwerte der Athleten können der Anhangstabelle 18 entnommen werden. Es wurde der Referenzbereich nach Angaben von Comans-Bitter et al. (1997) als Perzentilenbereich von 90 % übernommen. Vor der Zinksupplementierung wurden für alle drei Gruppen im Referenzbereich liegende  $CD4^+$ - und  $CD8^+$ -Zellen [Zellen/ $\mu$ l] gefunden. Gruppe 1 wies zu Beginn der Zink-Einnahme mit 904 Zellen/ $\mu$ l eine signifikant höhere  $CD8^+$ -Zellzahl gegenüber Gruppe 3 mit 647 Zellen/ $\mu$ l auf. Prozentual gesehen, wurden für alle drei Gruppen außerhalb des Referenzbereiches mit der 5. bis 95. Perzentile liegende  $CD4^+$ - Zellzahlen bestimmt. Ebenso war auffällig, dass sich die prozentualen Anteile der  $CD8^+$ -Zellen der drei Gruppen im oberen Bereich des Perzentilenbereiches von 90 % befanden. Das Verhältnis zwischen  $CD4^+$ - und  $CD8^+$ -Zellen befand sich in dem Perzentilenbereich von 5 % bis 95 % für alle drei Gruppen.

Nach der Zinksupplementierung kam es für alle drei Gruppen zu einem signifikanten Absinken (signifikante Zeit- und Gruppeneffekte) der  $CD4^+$ - und  $CD8^+$ -Zellen [Zellen/ $\mu$ l], während die Prozentwerte der  $CD4^+$ - und  $CD8^+$ -Zellen sowie auch deren Verhältnis ( $CD4^+/CD8^+$ ) zueinander für alle drei Gruppen unverändert blieben. Am Ende der Zink-Einnahme befanden sich die  $CD4^+$ - und auch die  $CD8^+$ -Zellen für alle drei Gruppen in den entsprechenden Perzentilenbereichen. Gruppe 1 hatte signifikant geringere  $CD8^+$ -Zellen als zu Beginn der Zinksupplementierung.

Tab. 29: Subpopulationen der T-Lymphozyten in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung

Parameter	Gruppe 1 < 80 $\mu$ g/dl	Gruppe 2 80 bis 95 $\mu$ g/dl	Gruppe 3 > 95 $\mu$ g/dl	Referenzbereich <sup>#</sup>
CD4+ <sup>1,2</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: 1430 $\pm$ 476 nach: 1195 $\pm$ 458	1275 $\pm$ 434 1000 $\pm$ 435*	1095 $\pm$ 343 903 $\pm$ 164	10 - 16 J.: 400 - 2100 Erw.: 300 - 1400
CD4+ [% v. T-Zellen]	vor: 54,4 $\pm$ 9,12 nach: 58,6 $\pm$ 6,39	54,5 $\pm$ 9,08 56,2 $\pm$ 9,75	57,1 $\pm$ 10,1 56,8 $\pm$ 4,58	10 - 16 J.: 25 - 48 Erw.: 28 - 57
CD8+ <sup>1,2</sup> [Zellen/ $\mu$ l]	vor: 904 $\pm$ 290 <sup>a</sup> nach: 650 $\pm$ 174*	790 $\pm$ 300 <sup>ab</sup> 598 $\pm$ 224*	647 $\pm$ 216 <sup>b</sup> 547 $\pm$ 138	10 - 16 J.: 200 - 1200 Erw.: 200 - 900
CD8+ [% v. T-Zellen]	vor: 34,6 $\pm$ 6,39 nach: 33,6 $\pm$ 8,00	33,0 $\pm$ 5,84 34,3 $\pm$ 7,33	33,9 $\pm$ 5,10 34,0 $\pm$ 3,48	10 - 16 J.: 9 - 35 Erw.: 10 - 39
CD4+/CD8+	vor: 1,66 $\pm$ 0,52 nach: 1,88 $\pm$ 0,63**	1,73 $\pm$ 0,50 1,75 $\pm$ 0,56	1,76 $\pm$ 0,54 1,69 $\pm$ 0,26	10 - 16 J.: 0,9 - 3,4 Erw.: 1,0 - 3,6

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte  $\pm$  SD;

<sup>a,b</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Hochzahlen bedeuten Signifikanz der Faktoren: <sup>1</sup>Zeit und <sup>2</sup>Gruppe (P < 0,05);

\*: Signifikante Unterschiede des Messwertes vor und nach der Supplementierung (\*P < 0,05; \*\*P < 0,01);

# : Angabe in Perzentilen (P5-P95) nach Comans-Bitter et al. (1997);

### 3.2.2.3.3 Stimulierung der T-Zellen zur Produktion der Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$ und IL-2

Die im Blut der Sportler befindlichen T-Lymphozyten wurden mit den Substanzen PMA, Ionomycin und Monensin maximal stimuliert und für 16 h bei 37 °C im Brutschrank inkubiert. Anschließend konnte zur Ermittlung der Funktionstüchtigkeit der T-Lymphozyten der prozentuale Anteil der T-Zellen festgestellt werden, der nach maximaler Stimulierung die Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 produzierte. In Tabelle 30 ist der mittlere Anteil der stimulierten T-Lymphozyten (CD3<sup>+</sup>) in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent der gesamten T-Lymphozytenzahl aufgeführt. Die dazugehörigen Einzelwerte der Athleten sind in den Anhangstabellen 19 und 20 zu finden. Für den Anteil Zytokine-produzierender T-Lymphozyten konnten in der Literatur keine Referenzbereiche mit den gleichen Versuchsbedingungen gefunden werden. Allerdings gibt es nach Angabe der Firma Hölzel Diagnostika (Handels GmbH, Köln) für die in vitro Stimulation der T-Zellen folgende Erfahrungswerte: Nach maximaler Stimulation lag der Anteil IFN- $\gamma$ -produzierender T-Zellen bei 20 % bis 30 %, der von TNF- $\alpha$  bei 10 % bis 15 % und der von IL-2 bei 20 % bis 30 % der gesamten T-Zellzahl. Bei der Betrachtung der IFN- $\gamma$ -produzierenden T-Zellen gab es im Vergleich zu den Erfahrungswerten für alle drei Gruppen keine Auffälligkeiten, wohingegen der Anteil TNF- $\alpha$ -produzierender T-Zellen für alle drei Gruppen insbesondere nach der Zinkzufuhr deutlich über 10 % bis 15 % lag. Der Prozentanteil der maximal stimulierten T-Zellen, welche IL-2 produziert haben, lag für alle drei Gruppen sowohl vor, als auch nach der Zinksupplementierung unterhalb der Angabe von 20 % bis 30 %.

Tab. 30: Durchschnittlicher Anteil der Zytokine produzierenden T-Zellen (CD3<sup>+</sup>) in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent vor und nach der Zinksupplementierung in Abhängigkeit der drei Gruppen

Parameter	Gruppe 1 < 80 $\mu$ g/dl	Gruppe 2 80 bis 95 $\mu$ g/dl	Gruppe 3 > 95 $\mu$ g/dl
CD3 <sup>+</sup> [Zellen/ $\mu$ l] vor:	561 $\pm$ 285	573 $\pm$ 220	542 $\pm$ 284
IFN- $\gamma$ nach:	352 $\pm$ 175*	345 $\pm$ 142***	376 $\pm$ 149*
CD3 <sup>+</sup> [%] vor:	21,2 $\pm$ 7,12	24,9 $\pm$ 9,31	27,3 $\pm$ 7,68
IFN- $\gamma$ nach:	17,5 $\pm$ 6,55	21,3 $\pm$ 9,21	23,6 $\pm$ 7,81*
CD3 <sup>+</sup> [Zellen/ $\mu$ l] vor:	351 $\pm$ 301	360 $\pm$ 219	363 $\pm$ 299
TNF- $\alpha$ nach:	534 $\pm$ 318	466 $\pm$ 192	471 $\pm$ 261
CD3 <sup>+</sup> [%] vor:	12,8 $\pm$ 8,39	15,4 $\pm$ 9,28	18,2 $\pm$ 10,6
TNF- $\alpha$ nach:	24,9 $\pm$ 8,94***	28,5 $\pm$ 13,8*	29,7 $\pm$ 15,9
CD3 <sup>+</sup> [Zellen/ $\mu$ l] vor:	424 $\pm$ 278	394 $\pm$ 212	365 $\pm$ 186
IL-2 nach:	304 $\pm$ 199	171 $\pm$ 85,4***	224 $\pm$ 95,7**
CD3 <sup>+</sup> [%] vor:	16,4 $\pm$ 9,68	16,8 $\pm$ 7,37	18,9 $\pm$ 7,93
IL-2 nach:	14,1 $\pm$ 7,68	10,6 $\pm$ 5,50*	14,1 $\pm$ 6,04*

Die Angaben sind dargestellt als Mittelwerte  $\pm$  SD;

Hochzahl bedeutet Signifikanz des Faktors: <sup>1</sup>Zeit (P < 0,05);

\*: Signifikante Unterschiede des Messwertes vor und nach der Supplementierung (\*P < 0,05; \*\*P < 0,01; \*\*\*P < 0,005).

Vor und nach der Zinkgabe gab es keine signifikanten Gruppenunterschiede bezüglich des Anteils an stimulierten T-Zellen in Zellen/ $\mu$ l und Prozent, welche sowohl IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  oder IL-2 in vitro produzierten. Jedoch bestanden signifikante Zeiteffekte für alle Athleten. Einerseits sank für alle drei Gruppen der Anteil der T-Zellen ( in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent), die IFN- $\gamma$  oder IL-2 produziert haben, nach der Zinkzufuhr signifikant ab (signifikanter Zeiteffekt), andererseits kam es für alle drei Gruppen zu einem signifikanten Anstieg (signifikanter Zeiteffekt) des Anteiles der TNF- $\alpha$ -produzierenden T-Zellen.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Studie zur Ermittlung der Ernährungssituation von Leistungsportlern**

#### **4.1.1 Anthropometrische Daten**

Zur Beurteilung des Körpergewichts wurde eine Einschätzung nach Hergenroeder und Klish (1990) für jugendliche Athleten im Alter von 12 bis 17 Jahren und für Erwachsene von 18 bis 74 Jahren angewendet. Dabei wurde das aktuelle Körpergewicht als eine Funktion von Alter, Geschlecht und Körpergröße gesehen. Das ideale Körpergewicht wurde in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Körpergröße einer Tabelle als 50. Gewichtsperzentile entnommen. Es wurde der prozentuale Anteil des vorhandenen Körpergewichts am Idealgewicht ermittelt. Das Körpergewicht sollte nach Aussagen der Autoren 90 % bis 110 % des idealen Körpergewichts betragen. Fettleibigkeit wird bei einem Körpergewicht von mehr als 120 % und Unterernährung bei weniger als 80 % des idealen Körpergewichtes definiert. Mit einem durchschnittlichen Alter von 15,3 Jahren, einer durchschnittlichen Körpergröße von 1,75 cm und einem mittleren Körpergewicht von 62,4 kg (Punkt 2.1.2) betrug nach Tabellenangaben für die männlichen Athleten das ideale Körpergewicht 64,3 kg. Das ideale Körpergewicht der männlichen Teilnehmer machte demzufolge nach 97,0 % aus und schwankte zwischen minimal 72,8 % und maximal 143 %. Die weiblichen hingegen hatten einen Durchschnittswert von 94,7 %. Die Einzelwerte der Athleten befanden sich zwischen 76,8 % und 140 %. Drei Athleten (1 Athlet, 2 Athletinnen) konnten aufgrund fehlender Tabellenangaben bei der Umrechnung in Prozent vom Idealkörpergewicht nicht berücksichtigt werden, so dass dies für 47 männliche und 49 weibliche Sportler vorgenommen wurde. Insgesamt lagen 34,0 % der männlichen Athleten unterhalb und 10,6 % oberhalb des idealen Bereiches von 90 % bis 110 %, bei den weiblichen Athleten waren es 30,6 %, die sich unterhalb, und 8,16 %, die sich oberhalb des idealen Bereiches befanden. Nach vorliegendem Bewertungsschema konnten drei Athleten (2 Jungen, 1 Mädchen) als fettleibig eingestuft werden, da sie höhere prozentuale Körpergewichte als 120 % des Idealgewichtes besaßen. Im Gegensatz dazu wurde bei sieben Sportlern (davon 3 Jungen, 4 Mädchen) eine mögliche Unterernährung festgestellt, da sie mit ihrem aktuellen Körpergewicht weniger als 80 % des Idealgewichts erreichten.

Um das aktuelle Körpergewicht der Athleten zusätzlich bewerten zu können, wurde der BMI aus Körpergröße und Körpergewicht für die Sportler errechnet. Für die männlichen Sportler betrug dieser durchschnittlich  $20,3 \text{ kg/m}^2$  und für die weiblichen  $19,7 \text{ kg/m}^2$  (Punkt 2.1.2). Nach Angaben der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE, 1991) liegt der empfohlene BMI-Bereich für die höchste Lebenserwartung bei Männern zwischen  $20 \text{ kg/m}^2$  und  $25 \text{ kg/m}^2$ , sowie für Frauen zwischen  $19 \text{ kg/m}^2$  und  $24 \text{ kg/m}^2$ . Sowohl der Wert der männlichen, als auch der weiblichen Sportler befanden sich zwar im unteren, aber dennoch in einem günstigen BMI-Bereich. Nach den Angaben der errechneten BMI-Werte wiesen die Sportler demzufolge nach im Durchschnitt ein gutes Verhältnis zwischen Körpergewicht und Körpergröße auf. Der minimale BMI-Wert war  $13,9 \text{ kg/m}^2$  und der maximale  $29,1 \text{ kg/m}^2$ . Zusätzlich muss bei der Bewertung des BMI-Wertes beachtet werden, dass er für jüngere Generationen nicht die allgemeingültige Aussagefähigkeit besitzt, da oftmals in jungen Jahren ein physiologisch-bedingt ungünstiges Verhältnis zwischen Körpergewicht

und Körpergröße besteht, welches den BMI zu gering erscheinen lässt. Dagegen können sehr muskulöse Athleten einen hohen BMI haben, der allerdings aufgrund einer muskelbedingten Gewichtszunahme zustande kommen kann.

Deshalb ist ein weiterer wichtiger Parameter zur Beurteilung des körperlichen Zustandes die Bestimmung des prozentualen Körperfettanteils. Bei neun männlichen und vier weiblichen Athleten konnte aus organisatorischen Gründen kein Körperfettanteil ermittelt werden. Sie wurden bei der Bewertung ausgeschlossen. Die Messung der Hautfaltendicke ergab bei den männlichen Athleten (N = 39) einen durchschnittlich Körperfettanteil von 8,27 %, der signifikant geringer war als der der weiblichen Athleten (N = 47) mit 10,6 % (Punkt 2.1.2). Der Körperfettanteil der männlichen Athleten schwankte zwischen 2,30 % und 21,7 % und bei den weiblichen Athleten zwischen 0,40 % und 20,5 %. 76,9 % der männlichen und 42,6 % der weiblichen Sportler hatten einen Körperfettanteil von weniger als 10 %, was insbesondere in den jungen Jahren der Athleten als gering angesehen werden muss. Die Betrachtung der Einzelwerte ergab, dass 92,3 % der männlichen und 42,6 % der weiblichen Sportler einen niedrigen bis sehr niedrigen (Minimum einer Athletin: 0,4 %) Körperfettanteil aufwiesen. Für die vorliegende Studie konnte festgestellt werden, dass die Athleten aufgrund ihres hohen und regelmäßigen Trainingsumfangs und auch aufgrund der später diskutierten Energiezufuhr (Punkt 4.1.3.1) größtenteils niedrige bis sehr niedrige Körperfettwerte besaßen, zumal der Körperfettanteil insbesondere im Wachstumsalter aus physiologischen Gründen durchaus in höheren Bereichen liegen kann bzw. liegt. Es bestand eine signifikante negative Korrelation zwischen dem Alter und dem Körperfettanteil der Athleten ( $P < 0,05$ ). Je jünger die Athleten waren, umso höher war auch ihr Körperfettanteil. Zwischen dem Trainingsumfang und dem Körperfettanteil konnte jedoch keine signifikante Korrelation ermittelt werden. Wilmore et al. (1977) berichten in einer Studie mit weiblichen Läuferinnen von einem mittleren Körperfettanteil von weniger als 12 %. Auch Williams (1997) stellt eine Obergrenze von 10 % Körperfettanteil für Langläuferinnen fest. Insbesondere Sportler in Disziplinen, in denen ein hohes Körpergewicht einen Nachteil für die Leistungsfähigkeit darstellt, haben sehr niedrige Körperfettwerte. So hatten nach seinen Angaben männliche Sportler wie z. B. Ringer oder Turner Körperfettanteile von 5 % bis 7 %, um ihr Leistungsoptimum zu erreichen. Fleck (1983) bezeichnet extrem niedrige Körperfettanteile als nicht erforderlich für sportliche Erfolge und Williams (1997) hält aus gesundheitlicher Sicht ein Minimum an essentiellen Fett, nämlich 3 % der Körpermasse für den Mann und 12 % bis 15 % für die Frau für notwendig.

#### **4.1.2 Datenerhebung und Auswertung**

##### **4.1.2.1 Trainingsumfang**

Die männlichen Athleten trainierten im Durchschnitt 16,4 Stunden an 5,58 Trainingstagen und die weiblichen Athleten 15,4 Stunden an 5,34 Trainingstagen in der Woche (Punkt 2.1.3.2). Der zum Teil hohe Trainingsumfang bestätigte das hohe Leistungsniveau einiger Athleten und war mit einer großen körperlichen Anstrengung verbunden. Außerdem konnte größtenteils der hohe Leistungs-

umfang durch die niedrigen, teilweise sehr niedrigen Körperfettwerte der Athleten bestätigt werden.

#### **4.1.2.2 Protokollierung der täglichen Ernährung**

Das verwendete 7-Tages-Ernährungsprotokoll zählt zu der vereinfachten Wiegemethode. Die verzehrten Mengen an Getränken und Speisen wurden entweder durch das Wiegen auf einer Küchenwaage festgestellt oder in haushaltsüblichen Maßen geschätzt und anschließend in das Ernährungsprotokoll eingetragen. Haushaltsübliche Maße wie Esslöffel und Teelöffel sind zwar als ungenauer einzustufen, erleichterten und verkürzten aber den Arbeitsaufwand für die Teilnehmer. Als Zeitraum für die Protokollierung der Ernährung ergaben sich für das Gesamtkollektiv dieser Studie sieben Tage. Winkler (1993) hält sogar für viele Nährstoffe drei Tage bei einer genügend großen Stichprobenzahl und Zufallsauswahl für Auswertungen auf Gruppenebene als ausreichend. Die Speisen der Schulküche konnten aufgrund der bekannten Portionsgrößen in ihren durchschnittlichen Mengen in das Ernährungsprogramm eingegeben werden. Allerdings war nicht jede ausgegebene Portionsgröße gleich groß, was aber bei der Angabe in das Protokoll nicht berücksichtigt wurde. Eine zusätzliche Beschreibung der fertig zubereiteten Salate verbesserte zwar die Genauigkeit bei der späteren Auswertung, konnte aber nicht die ursprüngliche und genaue Zusammensetzung der Salate und anderer Speisen ersetzen. Eine Auswertung der verwendeten Fette, sowohl für selbst zubereitete Speisen und Salate, als auch für Fertiggerichte in Restaurants oder Imbissständen, konnte bezüglich der verwendeten Fettart und der zugeführten Menge nur annäherungsweise gelingen. Auch dies stellte eine Fehlerquelle da, die durch Sportlerbefragungen nicht ganz eliminiert werden konnte. Anhand dieser Protokollmethode kann zwar der Verzehr für den definierten Zeitraum am genauesten und detailliertesten von allen Ernährungserhebungsmethoden gemessen werden (Pekkarinen, 1970; Marr, 1971; Kersting, 1975; Sichert et al., 1984; Bingham, 1983; Willet, 1990), eine mögliche Veränderung der Ernährungsweise während der Protokollführung kann allerdings nicht überprüft werden (Pekkarinen, 1970; Sichert et al., 1984; Wahrburg et al., 1985; Matiaske et al., 1988; Block, 1989). Außerdem können trotz der ausführlichen Erhebung des Verzehrs einige Nährstoffe, wie zum Beispiel Natrium oder Jod nicht genau ermittelt werden. Nachsalzen mit einfachem oder jodiertem Kochsalz bei Tisch oder schon beim Kochen kann kaum erfasst werden (Bingham, 1983; Winkler, 1993). Nach Sichert et al. (1984) wird nicht die übliche, typische Ernährung (usual diet) durch das Ernährungsprotokoll gemessen, sondern vielmehr die aktuelle Ernährung an den zu protokollierenden Tagen. Es wurde allerdings in persönlichen Gesprächen deutlich darauf hingewiesen, dass sich die Athleten so wie bisher ernähren sollten und nicht wegen der Protokollierung ihre Ernährung umstellten sollten.

#### **4.1.2.3 Dateneingabe und Auswertung mit Prodi 4.5/03 expert**

Obst-, Gemüsesorten und deren Erzeugnisse wurden entweder in abgewogenen Mengenangaben oder als Stückzahl mit einer durchschnittlichen Mengenangabe nach der MONICA-MENGENLISTE (AID SPECIAL, 1991) bei der Auswertung berücksichtigt. Schwieriger war die Eingabe von

fertig zubereiteten Salaten oder von diversen Warmspeisen. Durch die Absprachen mit der Küchenchefin und deren Personal konnten zwar Informationen über Portionsgrößen der Warmspeisen gewonnen werden, aber deren genaue Zusammensetzung konnte nur annäherungsweise durch die in Prodi 4.5/03 expert programmierten Lebensmittel nachgestellt werden. Eine genauere Lösung bot sich hierfür nicht an. Die Auswertung der Gesamtmenge an Lebensmitteln erfolgte durch die Datenbank Extrakt des Bundeslebensmittelschlüssels Version II.3, welche insgesamt 1600 Lebensmittel beinhaltet, durch die von Soucis-Fachmann-Kraut analysierten weiteren 1000 Lebensmitteln, sowie zusätzlichen Produktdaten der Lebensmittelindustrie. Von großer Bedeutung für die Genauigkeit der Auswertung der Ernährungsprotokolle war die Lebensmittelquelle der „Benutzerdefinierten Lebensmittel“. Zu diesen gehörten 23 neu programmierte Lebensmittel, welche hauptsächlich aus Süßigkeiten und sportspezifischen Produkten bestanden (Punkt 2.1.3.4.3). Durch die Definition der Zusammensetzung dieser Lebensmittel in Prodi 4.5/03 expert ergab sich eine Erhöhung der Genauigkeit der Auswertung, welche auf der Basis 18 ausgewählter Inhaltsstoffe erfolgte. Dazu gehörten die Zufuhr von Energie, Kohlenhydraten, Eiweiß, Fett, der gesättigten, einfach ungesättigten und mehrfach ungesättigten Fettsäuren, Ballaststoffen, Cholesterin, Vitamin A,  $\beta$ -Karotin, Vitamin E, Vitamin B<sub>12</sub>, Folsäure, Kalzium, Magnesium, Eisen und von Zink.

#### **4.1.3 Ermittlung des Ernährungsstatus der Athleten**

##### **4.1.3.1 Vergleich von Energiezufuhr und –verbrauch**

Die Energiezufuhr der männlichen Athleten betrug 3208 kcal und der weiblichen 2046 kcal pro Tag (Punkt 3.1.2.1). Die männlichen Ausdauersportler hatten mit 3722 kcal die größte und die Athletinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 1529 kcal am Tag die geringste Energiezufuhr. Die Energiezufuhr der Athleten schwankte zwischen 661 kcal und 5606 kcal am Tag. Die geringe Energiezufuhr von 661 kcal am Tag konnte durch eine bewusste Gewichtsreduzierung dieser Athletin in der protokollierten Woche erklärt werden. Zur Bewertung der täglich zugeführten Energie über die Nahrung wurde für jeden Athleten ein individueller Energiebedarf auf der Basis von Grundumsatz bzw. Erhaltungsbedarf, Wachstumszuschlag sowie auch Leistungsumsatz geschätzt. Die Berechnung des individuellen Energiebedarfs pro Tag stellt ausschließlich eine Annäherung an den tatsächlichen Bedarf dar, der ansonsten nur durch aufwendigste Methoden, insbesondere zur Messung des Energieverbrauchs während intensiver Trainingseinheiten, ermittelt werden müsste. Der durchschnittliche Energiebedarf der männlichen Athleten betrug 4412 kcal am Tag und setzte sich zusammen aus einem Grundumsatz von 1740 kcal bzw. aus dem daraus berechneten Erhaltungsbedarf von 2959 kcal sowie aus einem für jeden Sportler geschätzten Leistungsumsatz von durchschnittlich 1390 kcal am Tag (Punkt 3.1.1). Zudem wurde bei den männlichen und weiblichen Sportlern bis zum 18. Lebensjahr ein Wachstumszuschlag von maximal 146 kcal bei der Ermittlung des Energiebedarfs vorgenommen. Bei den weiblichen Athleten konnte ein mittlerer Energiebedarf von 3361 kcal am Tag ermittelt werden, der sich aus einem Grundumsatz von 1487 kcal bzw. einem auf dieser Basis errechneten Erhaltungsbedarf von 2379 kcal und einem Leistungsumsatz von 932 kcal am Tag zusammensetzte. Den größten Energiebedarf hatten die

männlichen Ausdauersportler mit 4749 kcal am Tag bei einem Leistungsumsatz von 1629 kcal am Tag, den geringsten wiesen die weiblichen Kraftsportler mit 3131 kcal am Tag bei einem Leistungsumsatz von 693 kcal am Tag auf. Der Energiebedarf der Athleten schwankte zwischen 2463 kcal und 6477 kcal am Tag. Je höher das Körpergewicht, die Körpergröße, der Body Mass Index und der Körperfettanteil der Athleten waren, umso höher war die Energiezufuhr der Athleten ( $P < 0,05$ ). Durch den Vergleich von Energiezufuhr und -bedarf sollte die Energieversorgung der Athleten bewertet werden. Bei dem Vergleich der durchschnittlichen Energiezufuhr der männlichen Athleten (3208 kcal) mit dem geschätzten täglichen Energiebedarf (4412 kcal) konnte ein Energie-defizit von 1204 kcal festgestellt werden, was zugleich einem Prozentanteil von 27 % entsprach. Bei den weiblichen Athleten standen sich eine mittlere Tagesenergiezufuhr von 2046 kcal und ein ermittelter Energiebedarf von 3361 kcal gegenüber. Die zu wenig zugeführten Kalorien in Höhe von 1315 kcal stellten ein Energiedefizit von 39 % dar. Während die männlichen Athleten ihren Energiebedarf zu 73 % decken konnten, gelang dies den weiblichen Athleten nur zu 61 %. Betrachtete man die einzelnen Sportgruppen, getrennt nach Geschlechtern, dann war auffallend, dass die männlichen Ausdauersportler mit einer Energiezufuhr von 3722 kcal und einem Energiebedarf von 4749 kcal ein Energiedefizit von 1027 kcal aufwiesen, aber dennoch am besten, nämlich zu 78,4 %, ihren Bedarf decken konnten. Die weiblichen Kraftsportler konnten mit einer Bedarfsdeckung von 77,9 % bei einem mittleren Energiedefizit von 692 kcal am Tag ebenfalls noch mit am besten abschneiden. Dagegen wurde bei den weiblichen TK-Sportlern das höchste Energiedefizit mit 1968 kcal am Tag festgestellt, was sich einer sehr geringen Deckung des Energiebedarfs von nur 43,7 % äußerste. Insgesamt nahm keine der acht Sportgruppen gemäß ihren hohen Leistungsumfängen von 16,4 Trainingsstunden für die männlichen bzw. 15,4 für die weiblichen Athleten ausreichend Energie zu sich. Neben Berg et al. (1992) berichten viele andere Autoren von unzureichenden Tagesenergiebilanzierungen bei Sportlern (Chen et. al, 1989; Grandjean, 1989; Guillard et al., 1989; Van Erp-Baart et al., 1989), obwohl gerade im Leistungssport von einer deutlichen Mehraktivität mit entsprechend erhöhten Energieumsätzen auszugehen ist. Bei Ausdauersportlern der nationalen Klasse sind Mehrumsätze von ca. 2500 kcal pro Tag zu erwarten, bei Ausdauersportlern der Weltklasse Tagesmehrumsätze von sogar über 6000 kcal (Berg et al., 1992). Die zu berücksichtigenden Leistungsumsätze der Sportler der vorliegenden Studie lagen zwischen 215 kcal und 2614 kcal am Tag, wobei die höheren Werte insbesondere bei den Ausdauersportlern (Rudern) festgestellt werden konnten. Insgesamt führten nahezu alle Athleten nicht ausreichend Energie zu, wobei bei 25 % (6 Jungen, 19 Mädchen) die Energieaufnahme deutlich niedriger war als der Energiebedarf. Das größte Energiedefizit, das eine weibliche Kampfsportlerin einging, betrug 82 % und entsprach 2974 kcal/Tag. Diese, bereits erwähnte Sportlerin wollte bewusst ihr Gewicht reduzieren. Dennoch gab es auch bei den nicht gewichtsreduzierenden Athleten energetische Unterversorgungen von bis zu 72 % in der protokollierten Woche. Dies betraf insbesondere die weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen. Nach Angaben von Saris et al. (1989) und Reggiani et al. (1989) hatten Sportlerinnen in Disziplinen, für die ein niedriges Körpergewicht von Vorteil ist, in der Regel erschreckend geringe Energiezufuhren. Die mittlere Tagesenergiezufuhr lag trotz intensiver Trainingsumfänge bei nur 1500 kcal. Berg et al. (1992) bezeichnet Energiebilanzierungen von weniger als 2500 Tageskalorien bei männlichen und

von weniger als 2000 Tageskalorien bei weiblichen Leistungssportlern auf Grund des trainingsbedingten Energiemehrbedarfs als alarmierend für die Erhaltung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Die American Academy of Pediatrics (2000) weist darauf hin, dass eine den hohen Trainingsanforderungen angemessene Energiezufuhr für ein adäquates Wachstum junger Athleten notwendig sei. Insbesondere Sportler der Technisch-kompositorischen Sportarten sollten darauf achten, aufgrund ihres niedrig zu haltenden Körpergewichts und der damit verbundenen eingeschränkten Kalorienzufuhr kein gesundheitliches Risiko einzugehen. Auf der anderen Seite konnten auch vier Athleten ermittelt werden, die mehr Energie aufnahmen als ihrem Bedarf entsprach. Allerdings handelte es sich dabei im Maximalfall nur um 6,6 % bzw. 261 kcal, die zuviel zugeführt wurden. Die unzureichende energetische Versorgung der Athleten zeigte sich auch in den anthropometrischen Daten der Athleten (Punkt 4.1.1.1). Nach der Einschätzung des Körpergewichtes gemäß Hergenroeder und Klish (1990) konnten für 34 % der männlichen und für 31 % der weiblichen Athleten sehr niedrige Körpergewichte für die entsprechenden Altersklassen festgestellt werden. Damit lagen 65 Athleten der vorliegenden Studie unterhalb des von Hergenroeder und Klish für Idealgewicht definierten Gewichtsbereichs. Außerdem wurden bei 76,9 % der jungen männlichen und 42,6 % der jungen weiblichen Sportler Körperfettanteile von weniger als 10 % festgestellt, was das Bild einer unzureichenden energetischen Versorgung der Athleten teilweise unterstützen kann. Es wurde deshalb vermutet, dass der Körperfettanteil einiger Sportler nicht nur durch das intensive Trainingsprogramm beeinflusst, sondern teilweise auch durch eine nicht ausreichende energetische Versorgung einiger Athleten vermindert war.

#### **4.1.3.2 Zufuhr von Kohlenhydraten und Fett**

Die durchschnittliche Kohlenhydratzufuhr der männlichen Athleten machte 50,5 % der Tagesenergiezufuhr aus und unterschied sich signifikant von den 54,8 % der weiblichen Athleten (Punkt 3.1.2.1). Die weiblichen Kampfsportler hatten die höchste Kohlenhydratzufuhr mit 58,9 % und die männlichen Athleten dieser Sportgruppe die geringste mit 48,3 %. Den geringsten Prozentanteil der Kohlenhydrate hatte von allen Athleten ein männlicher Schwimmer mit nur 39,5 % und den größten eine Siebenkämpferin mit 66,3 %. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE, 2000) empfiehlt eine tägliche Kohlenhydratzufuhr von mindestens 50 % an der Gesamtenergieaufnahme. Nach Keul und Hamm (1998) sollten 60 % der zugeführten Energie zur Erhöhung der Ausdauerleistungsfähigkeit in Form von Kohlehydraten aufgenommen werden. Nach Auffassung der American and Canadian Dietetic Association (1993) kann die Aufnahme von Kohlenhydraten sogar auf 65 % bis 70 % gesteigert werden, um dadurch ein optimales Auffüllen der Glykogenspeicher zu gewährleisten. Sowohl die männlichen Kampfsportler, als auch männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen lagen mit 48,3 % und 49,6 % knapp unter der geforderten Mindestzufuhr der DGE (2000). Insgesamt nahmen 31 % der Sportler weniger als 50 % der Energie in Form von Kohlenhydrate zu sich. Dieser relativ hohe Prozentsatz von Athleten, die einen relativ geringen Anteil der Tagesenergie in Form von Kohlenhydraten [%] aufnahmen, war beachtlich, da Kohlenhydrate die Hauptenergielieferanten für sportliche Belastungen sind. Aufgrund von Erfahrungen berichten Berg et al. (1996), dass Empfehlungen für einen Kohlenhydrat-

anteil von 60 - 65 % an der Gesamtenergie von den meisten Sportlern nicht erreicht werden. In dieser Studie hatten 13 % der Sportler eine Kohlenhydratzufuhr von mehr als 60 % der Tagesenergiezufuhr.

Ausgehend von einer für Sportler empfohlenen Kohlenhydratzufuhr in Höhe von 60 % und der Fettzufuhr von 25 % der Tagesenergie wurden spezifische Bedarfsmengen (für Kohlenhydrate) bzw. Zufuhrempfehlungen (für Fett) in Gramm auf der Basis des individuellen Energiebedarfs ermittelt und in Tabelle 31 zusammengestellt. Ziel war es, die Bedarfsdeckung der Sportler für Kohlenhydrate und Fette genauer zu betrachten. Die männlichen Sportler nahmen 50,5 % der Tagesenergie in Form von Kohlenhydraten zu sich und die weiblichen 54,8 %, was jeweils einer absoluten Menge von 397 g bzw. 273 g Kohlenhydrate am Tag entsprach (Punkt 3.1.2.1). Bezogen auf die absoluten Bedarfsmengen für Kohlenhydrate konnten die männlichen und weiblichen Athleten ihren Kohlenhydratbedarf nur zu 62 % bzw. 56 % decken. Wenn man bedenkt, wie wichtig die Kohlenhydrate für die Energiebereitstellung während körperlicher Aktivität sind, ist die Bedarfsdeckung von Kohlenhydraten bei den männlichen sowie auch weiblichen Athleten erschreckend gering und sollte zugunsten der körperlichen Leistungsfähigkeit erhöht werden. Die größte prozentuale Kohlenhydratzufuhr wiesen die weiblichen Kampfsportler mit 58,9 % auf, welche aber wegen einer viel zu geringen Energiezufuhr von nur 1639 kcal am Tag zustande kam.

Tab. 31: Mittlere Tageszufuhr von Kohlenhydraten und Fett [g] und der auf der Basis des Energiebedarfs ermittelte tägliche Kohlenhydratbedarf sowie die empfohlene tägliche Fettzufuhr [g] für die Athleten

Sportart/ Geschlecht	KH <sup>1,2</sup> [g]	Bedarf KH <sup>#</sup> [g]	Fett <sup>1,2</sup> [g]	Empfohlene Fettzufuhr <sup>#</sup> [g]
Ausdauer	J: 469 ± 133 <sup>a</sup> M: 312 ± 82,1 <sup>bc</sup>	695 ± 123 498 ± 68,1	139 ± 43,7 <sup>a</sup> 79,1 ± 23,9 <sup>cd</sup>	128 ± 22,5 91,6 ± 12,5
Kampf	J: 334 ± 34,2 <sup>b</sup> M: 232 ± 66,1 <sup>c</sup>	604 ± 73,8 511 ± 60,9	111 ± 24,8 <sup>b</sup> 51,7 ± 18,7 <sup>d</sup>	111 ± 13,6 93,8 ± 11,2
Kraft	J: 352 ± 92,2 <sup>b</sup> M: 329 ± 94,0 <sup>b</sup>	578 ± 36,0 458 ± 48,7	109 ± 20,8 <sup>bc</sup> 82,9 ± 17,7 <sup>c</sup>	106 ± 6,61 84,2 ± 8,95
TK	J: 247 ± 47,3 <sup>bcd</sup> M: 193 ± 49,4 <sup>cd</sup>	574 ± 83,9 512 ± 64,1	82,6 ± 24,9 <sup>bcd</sup> 58,6 ± 25,4 <sup>d</sup>	105 ± 15,4 94,0 ± 11,8
Geschlecht	J: 397 ± 135 <sup>a</sup> M: 273 ± 96,0 <sup>b</sup>	646 ± 115 492 ± 64,8	122 ± 41,6 <sup>a</sup> 70,8 ± 25,3 <sup>b</sup>	119 ± 21,2 90,3 ± 11,9
Sportarten				
Ausdauer:	411 ± 139 <sup>a</sup>	626 ± 142	117 ± 47,6 <sup>a</sup>	115 ± 26,1
Kampf:	290 ± 71,7 <sup>b</sup>	563 ± 82,5	85,3 ± 37,1 <sup>bc</sup>	103 ± 15,1
Kraft:	335 ± 94,1 <sup>b</sup>	493 ± 70,8	90,3 ± 22,0 <sup>b</sup>	90,5 ± 13,0
TK:	211 ± 55,0 <sup>c</sup>	532 ± 77,1	66,6 ± 27,7 <sup>c</sup>	97,8 ± 14,2

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b,c,d</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten Signifikanz der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart und <sup>2</sup>Geschlecht (P < 0,05);

<sup>#</sup>: abgeleitet auf der Basis des geschätzten Energiebedarfs der Athleten.

Geht man von einem täglichen Energiebedarf der weiblichen Kampfsportlerinnen von 3491 kcal aus, dann liegt die ideale Kohlenhydrataufnahme bei 511 g am Tag. Im Vergleich dazu führten sie nur 232 g am Tag zu. Der relativ hohe Prozentanteil der weiblichen Kampfsportlerinnen für Kohlenhydrate ist nur scheinbar optimal, da sie ausgehend von den absoluten Kohlenhydratmengen ihren Bedarf nur zu 45 % decken konnten. Die geringste prozentuale Kohlenhydrataufnahme betrug bei den männlichen Kampfsportlern 48,3 %, was einer absoluten Kohlenhydratmenge von 334 g am Tag entsprach. Diese Sportler konnten ihren tatsächlichen Kohlenhydratbedarf nur zu 55 % decken und nahmen damit nicht unbedingt weniger Kohlenhydrate zu sich als die anderen Athleten. Die höchste Kohlenhydrataufnahme hatten die männlichen Ausdauersportler mit 469 g am Tag. Dennoch konnten auch sie ihren Kohlenhydratbedarf nur zu 68 % erreichen. Abschließend ließ sich feststellen, dass die Deckung des Kohlenhydratbedarfs zwischen 20 % und 98 % bei den Athleten schwankte. Bei Betrachtung der Einzelwerte fiel auf, dass insgesamt nur sieben Athleten (1 Junge, 6 Mädchen) ihren Kohlenhydratbedarf zu mehr als 90 % erreichen konnten. Von den einzelnen Sportgruppen schnitten die weiblichen Kampfsportler mit einer nur 38 %igen Bedarfsdeckung am schlechtesten ab, während die weiblichen Kraftsportler mit 72 % den höchsten Anteil zur Bedarfsdeckung der Kohlenhydrate aufweisen konnten.

Die mittlere Fettzufuhr der männlichen Teilnehmer betrug 35,3 % von der Tagesenergiezufuhr und war signifikant von den 32,2 % der weiblichen Athleten verschieden (Punkt 3.1.2.1). Zwischen den vier Sportarten konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Die minimale Fettzufuhr hatte eine Rhythmische Sportgymnastin mit 20,1 % und die maximale von 48,7 % ein Ringer. Nach der Empfehlung der DGE (2000) sollen 30 % der täglich zugeführten Energie in Form von Fett aufgenommen werden. Die DGE (2000) spricht bei erheblicher Muskelarbeit und einem damit verbundenem hohen Energieverbrauch von einer erhöhten Fettaufnahme von bis zu 40 %, um dadurch das Nahrungsvolumen zu verringern und trotzdem den erhöhten Energiebedarf decken zu können. Nach Ansicht von Van Erp-Baart et al. (1989) sollte die Fettzufuhr dennoch zu Gunsten einer höheren Kohlenhydrataufnahme reduziert werden und für Sportler 25 % von der gesamten Tagesenergiezufuhr betragen. 70,7 % der Athleten nahmen mehr als 30 % von der gesamten Energiezufuhr in Form von Fett zu sich, davon lagen 13,1 % der Sportler über 40 %, was zu Lasten der Kohlenhydratzufuhr ging. Rokitzki et al. (1992) berichten ebenfalls einer deutlich erhöhten Fettzufuhr von 41 % bei Ringern. Im Durchschnitt betrachtet hatten alle vier Sportgruppen Fettzufuhren von über 30 %. Nur 29,3 % der Sportler lagen unter 30 % der täglich zugeführten Energie in Form von Fett. Berg et al. (1996) bestätigte ebenfalls eine oftmals über der Empfehlung liegende Fettzufuhr bei Sportlern. Während prozentual gesehen sowohl die männlichen als auch die weiblichen Athleten mehr als 25 % von der Tagesenergie in Form von Fett zuführten, konnte dies ausgehend von den absoluten Mengen nicht immer bestätigt werden. Die männlichen und weiblichen Athleten konnten die empfohlene Fettzufuhr in Gramm zu 103 % bzw. nur zu 79 % erreichen. Aufgrund der zu geringen Energiezufuhr der weiblichen Athleten (2046 kcal) konnte diese auch nicht ausreichend Fett zuführen. Mit 36,6 % von der gesamten Tagesenergie nahmen die männlichen TK-Sportler am meisten Fett zu sich. Betrachtet man das Verhältnis von der absoluten Fettmenge von 82,6 g am Tag (Punkt 3.1.2.1) zur geschätzten Empfehlung von 105 g am Tag,

dann konnten diese Sportler ihre wünschenswerte Fettzufuhr nur zu 79 % erreichen. Auch hier täuscht eine viel zu geringe Energiezufuhr (2063 kcal) eine zu hohe prozentuale Fettaufnahme dieser Athleten vor. Die männlichen Ausdauersportler hatten die höchste Fettzufuhr mit 139 g am Tag und konnten damit die Empfehlung für die Fettzufuhr zu 109 % erreichen. Die Bedarfsdeckung der Athleten für Fett erfolgte zu 17 % bis 182 %. Insgesamt nahmen 37 % der Athleten (Mädchen, Jungen) mehr Fett [g] zu sich, als empfohlen wird. 63 % der Athleten schafften es allerdings nicht ausreichend Fett zuzuführen, da ihre Aufnahme aufgrund einer zu geringen Energiezufuhr zu gering war. Die weiblichen Kampfsportler konnten aufgrund der kalorienreduzierten Kost zur Gewichtsreduzierung die Empfehlung für die Fettaufnahme nur zu 55 % erreichen. Eine ausreichende Fettzufuhr, die von den acht Sportgruppen nur die männlichen Athleten der Ausdauer-, Kampf- und Kraftsportarten erreicht haben, ist für eine ausreichende Zufuhr essentieller Fettsäuren, fettlöslicher Vitamine usw. unerlässlich. Eine dem Energiebedarf der Athleten angemessene Fettzufuhr erleichtert neben einer optimierten Kohlenhydrataufnahme das Erreichen einer ausgeglichenen Tagesenergiebilanz, die bei diesen Sportlern eindeutig zu gering ausfiel.

#### **4.1.3.3 Zufuhr von GFS, EUFS, MUFS und Fettsäurezusammensetzung in den Membranphospholipiden der Erythrozyten**

Bezüglich der Fettzufuhr wurde zwischen der Aufnahme gesättigter, einfach ungesättigter sowie mehrfach ungesättigter Fettsäuren unterschieden. Im Mittel führten die männlichen Sportler mit 14,6 % der täglichen Energieaufnahme signifikant mehr an gesättigten Fettsäuren zu als die weiblichen Sportler mit 12,7 % ( $P < 0,005$ ) der Tagesenergiezufuhr (Punkt 3.1.2.1). Die männlichen Kraftsportler führten am meisten von den gesättigten Fettsäuren zu (15 %), während bei den weiblichen Kampfsportlern die geringste Aufnahme (10,9 %) festgestellt wurde. Die Zufuhr von gesättigten Fettsäuren schwankte zwischen 5,40 % und 22,3 %. Der Anteil der gesättigten Fettsäuren an der Tagesenergiezufuhr sollte nach Angaben der DGE (2000) maximal 10 % betragen. Sowohl die männlichen als auch die weiblichen Athleten jeder Sportart nahmen im Durchschnitt mehr als 10 % der zugeführten Energie in Form von gesättigten Fettsäuren zu sich. Keine der acht Sportgruppen wies eine geringere Zufuhr von gesättigten Fettsäuren auf als die von der DGE (2000) empfohlenen 10 % an der gesamten Energiezufuhr. Insgesamt führten sogar 88 % der Athleten mehr als 10 % der Tagesenergieaufnahme in Form von gesättigten Fettsäuren zu. Die physiologische Rolle der gesättigten Fettsäuren ist im Wesentlichen in der Energiebereitstellung zu sehen (Berg et al., 1996). Außerdem sind es insbesondere die gesättigten Fettsäuren in der Nahrung, die zu einem Anstieg der Cholesterinkonzentration im Plasma führen und damit das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöhen können, was allerdings in der vorliegenden Studie aufgrund normaler Cholesterinkonzentrationen im Plasma für die Mehrheit der Athleten nicht festgestellt wurde. Um die Zufuhr der Fettsäuren besser beurteilen zu können, wurden die zugeführten Fettsäuren [g] (Punkt 3.1.2.1) mit den berechneten Zufuhrempfehlungen der Fettsäuren [g] (Tab. 32), welche auf den prozentualen Empfehlungen der DGE (2000) basierten und auf den individuell geschätzten Energiebedarf der Athleten bezogen wurden, verglichen. Während die männlichen Athleten mit 50,7 g gesättigten Fettsäuren am Tag kaum über der Empfehlung von 47,4 g am Tag

(10 % des geschätzten Energiebedarfs) lagen, befanden sich die weiblichen Sportler sogar unterhalb dieser Empfehlung. Auch für die acht Sportgruppen konnte beobachtet werden, dass sich deren Aufnahmen gesättigter Fettsäuren größtenteils unterhalb der Empfehlung befanden und im Maximalfall nur unwesentlich erhöht waren. Lediglich die männlichen Athleten der Ausdauer-, Kampf- und Kraftsportarten, welche auch eine ausreichende Fettzufuhr hatten, wiesen eine leicht über der Empfehlung liegende Zufuhr gesättigter Fettsäuren auf. Bei der Betrachtung der Einzelwerte konnte für 37 % der Athleten eine erhöhte Aufnahme gesättigter Fettsäuren [g] beobachtet werden. So wurde im Maximalfall sogar das Doppelte der empfohlenen Aufnahme für gesättigte Fettsäuren zugeführt. Zugleich wiesen fünf (1 Junge, 4 Mädchen) von diesen 37 % der Athleten erhöhte Cholesterinkonzentrationen im Plasma auf, was für eine Reduzierung der Zufuhr gesättigter Fettsäuren über die Nahrung für diese Athleten spricht.

Tab. 32: Zufuhrempfehlungen für GFS, EUFS und MUFS [g], basierend auf den prozentualen Empfehlungen der DGE (2000) und bezogen auf den geschätzten Energiebedarf der Athleten

<b>Sportart / Geschlecht</b>	<b>10 % des Energiebedarfs in Form von GFS [g]</b>	<b>10 % des Energiebedarfs in Form von EUFS [g]</b>	<b>7 % des Energiebedarfs in Form von MUFS [g]</b>
Ausdauer J:	51,1 ± 9,02	51,1 ± 9,02	35,7 ± 6,31
M:	36,6 ± 5,01	36,6 ± 5,01	25,6 ± 3,50
Kampf J:	44,4 ± 5,42	44,4 ± 5,42	31,0 ± 3,79
M:	37,5 ± 4,47	37,5 ± 4,47	26,3 ± 3,13
Kraft J:	42,5 ± 2,64	42,5 ± 2,64	29,7 ± 1,85
M:	33,7 ± 3,58	33,7 ± 3,58	23,6 ± 2,51
TK J:	42,2 ± 6,16	42,2 ± 6,16	29,5 ± 4,31
M:	37,6 ± 4,71	37,6 ± 4,71	26,3 ± 3,30
Geschlecht J:	47,4 ± 8,48	47,4 ± 8,48	33,2 ± 5,94
M:	36,1 ± 4,76	36,1 ± 4,76	25,3 ± 3,33
Sportarten			
Ausdauer:	46,0 ± 10,4	46,0 ± 10,4	32,2 ± 7,31
Kampf:	41,4 ± 6,06	41,4 ± 6,06	29,0 ± 4,24
Kraft:	36,2 ± 5,20	36,2 ± 5,20	25,3 ± 3,64
TK:	39,1 ± 5,67	39,1 ± 5,67	27,4 ± 3,97

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD.

Für den größten Teil der Athleten (63 %) wurde dennoch eine normale oder sogar geringere Zufuhr von gesättigten Fettsäuren gegenüber den empfohlenen 10 % des Energiebedarfs festgestellt, so dass die erhöhten prozentualen Anteile der gesättigten Fettsäuren von der Tagesenergiezufuhr aufgrund der geringen Energie- und Fettaufnahme der Athleten zustande kamen. Aufgrund des erhöhten, geschätzten Energiebedarfs kann die Zufuhr von gesättigten Fettsäuren für die Mehrheit der Athleten als gering angesehen werden. Die gemessenen Cholesterinkonzentrationen konnten eine normale bzw. niedrige Zufuhr von gesättigten Fettsäuren für die Mehrheit der Athleten bestätigen.

Von den einfach ungesättigten Fettsäuren nahmen die männlichen Athleten 11,2 % und die weiblichen 9,71 % der gesamten Energiezufuhr auf. Es bestand eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sportart und Geschlecht. Die männlichen Kampfsportler (12,4 %) hatten die höchste Zufuhr einfach ungesättigter Fettsäuren und die weiblichen Kampfsportler (8,15 %) die geringste. Die geringste Zufuhr einfach ungesättigter Fettsäuren von allen Sportlern betrug 5,24 % und die größte 17,5 % von der täglichen Gesamtenergiezufuhr. Nach Angaben der DGE (2000) können einfach ungesättigte Fettsäuren in einer Menge von mehr als 10 % der Gesamtenergie zugeführt werden. Beträgt die Fettaufnahme mehr als 30 % der Gesamtenergiezufuhr, sollte das mehr aufgenommene Fett vor allem einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren enthalten, um die Cholesterinkonzentration im Plasma nicht anzuheben (DGE, 2000). Insgesamt nahmen dennoch 39,4 % der Athleten weniger als 10 % der Gesamtenergie in Form von einfach ungesättigten Fettsäuren zu sich. Bei der Betrachtung der absoluten Mengen (10 % des täglichen Energiebedarfs) einfach ungesättigter Fettsäuren wurde festgestellt, dass sowohl die männlichen als auch die weiblichen Athleten sowie auch alle acht Sportgruppen weniger einfach ungesättigte Fettsäuren zuführten als die empfohlenen 10 % des täglichen Energiebedarfs (DGE, 2000). Auch die männlichen Ausdauer-, Kampf- und Kraftathleten, die eine ausreichende Fettzufuhr aufwiesen, hatten eine unterhalb der Empfehlung liegende Aufnahme einfach ungesättigter Fettsäuren. Insgesamt nahmen nur 13 % der Athleten (8 Jungen, 5 Mädchen) mehr als die Empfehlung der DGE (2000) zu sich. Die restlichen 87 % wiesen eine geringere Aufnahme als 10 % des täglichen Energiebedarfs in Form von einfach ungesättigten Fettsäuren auf.

Die durchschnittliche Zufuhr mehrfach ungesättigter Fettsäuren betrug bei den männlichen Teilnehmern 3,67 % und bei den weiblichen 3,59 % der Tagesenergiezufuhr. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen Sportart und Geschlecht. Die geringste Zufuhr von mehrfach ungesättigten Fettsäuren wurde mit 2,09 % und die größte mit 6,85 % festgestellt. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren sollten etwa 7 % der Nahrungsenergie liefern, bzw. bis zu 10 %, wenn die Zufuhr von gesättigten Fettsäuren 10 % der Gesamtenergie überschreitet (DGE, 2000), um einem Anstieg der Cholesterinkonzentration im Plasma entgegenzuwirken (Katan et al., 1994). Kein Athlet erreichte die empfohlene Zufuhr für mehrfach ungesättigte Fettsäuren. Je mehr Fett (in Gramm und in Prozent) von den Athleten zugeführt wurde, umso mehr gesättigte, einfach ungesättigte und mehrfach ungesättigte Fettsäuren (in Gramm und in Prozent) wurden aufgenommen ( $P < 0,005$ ). Berg et al. (1992) berichten in einer Studie mit 36 Ausdauersportlern, die ebenfalls über sieben Tage Ernährungsprotokolle geführt haben, von einer unzureichenden Zufuhr an mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Seiner Ansicht nach scheinen mangelhafte Versorgungszustände von Sportlern an essentiellen Fettsäuren durch unzureichende Aufnahmen über die Ernährung nicht allzu selten zu sein. Eine unzureichende Zufuhr mehrfach ungesättigter Fettsäuren konnte auch bezüglich der Mengen in Gramm für die Athleten festgestellt werden, da sowohl die männlichen als auch die weiblichen Sportler weniger als 7 % des geschätzten Tagesenergiebedarfs in Form von mehrfach ungesättigten Fettsäuren zuführten. Kein Athlet dieser Studie konnte seinem geschätzten Energiebedarf entsprechend eine ausreichende Menge mehrfach ungesättigter Fettsäuren zu sich nehmen. Die Versorgung, insbesondere mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren

schien deshalb ein Problem in der Ernährung der Athleten zu sein, zumal die Athleten nicht ausreichend Energie und Fett zugeführt haben. Die Versorgung des Körpers mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist von größter Wichtigkeit, da diese Fettsäuren Bestandteile aller Zellmembranen sind und für den Körper wichtige Ausgangssubstanzen von Gewebshormonen (Eicosanoide) darstellen. Unter der Annahme, dass mindestens 80 % von den über die Nahrung aufgenommenen mehrfach ungesättigten Fettsäuren die Linolsäure ausmacht, könnte es sein, dass die Linolsäureversorgung der Athleten nicht ausreichend war. Die Versorgung der Athleten mit Linolsäure wird in späteren Absätzen dieses Kapitels noch genauer diskutiert.

Die niedrige Zufuhr mehrfach ungesättigter Fettsäuren spiegelte sich auch in einem ungünstigen P/S-Quotienten der Nahrung (Verhältnis von mehrfach ungesättigten zu gesättigten Fettsäuren) wieder. Sowohl die männlichen als auch die weiblichen Sportler hatten mit 0,29 und 0,30 sehr geringen P/S-Quotienten (Punkt 3.1.2.1). Von den acht Sportgruppen wiesen die weiblichen Kraftsportler noch den höchsten P/S-Quotienten auf (0,34), während die männlichen Ausdauersportler (0,25) den geringsten besaßen. Von allen Athleten betrug der niedrigste P/S-Quotient 0,15 und der größte 0,97. Die DGE (2000) empfiehlt einen P/S-Quotienten von 1 in der Ernährung. Keiner der Athleten konnte den empfohlenen P/S-Quotienten erreichen. Auch Berg et al. (1996) ermittelten in einer Studie mit 36 Ausdauersportlern einen sehr geringen P/S-Quotienten von durchschnittlich 0,42 bei einer Schwankungsbreite zwischen 0,09 und 0,73. Abschließend lässt sich zur Fettzufuhr der Athleten sagen, dass sowohl die Zufuhr von gesättigten als auch von einfach ungesättigten sowie auch von mehrfach ungesättigten Fettsäuren unterhalb der empfohlenen Tagesmenge [g], bezogen auf den individuell geschätzten Tagesenergiebedarf der Athleten, lag.

Nach Aussagen einiger Autoren spiegelt die Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide der Erythrozyten die tägliche Fettsäurezufuhr der vorausgegangenen Wochen oder Monate wieder (Holman et al., 1964; Farquhar und Ahrens, 1963; Moilanen et al., 1985). Um den Fettsäurestatus der Athleten charakterisieren zu können, wurden deshalb einzelne Fettsäuren anteilig an den Gesamtfettsäuren in den Membranphospholipiden der Erythrozyten mittels Gaschromatographie bestimmt und das Verhältnis wichtiger Fettsäuren zueinander berechnet. Zu den wichtigsten Fettsäuren zählen die Linolsäure C 18:2 (n-6), die  $\alpha$ -Linolensäure C 18:3 (n-3), sowie die aus Linolsäure C 18:2 (n-6) gebildete Arachidonsäure C 20:4 (n-6) und die aus C 18:3 (n-3) gebildete Eicosapentaensäure C 20:5 (n-3). Die essentiellen Fettsäuren C 18:2 (n-6) und C 18:3 (n-3) stellen die Ausgangssubstanzen der endogenen Eicosanoidsynthese (Gewebshormone) dar und sind außerdem wichtige Strukturlipide in den Geweben. Die über die Zwischenprodukte C 20:4 (n-6) und C 20:5 (n-3) gebildeten Eicosanoide beeinflussen die Funktionen von glatten Muskelzellen, Endothelien, Monozyten, Thrombozyten sowie Entzündungs- und Immunreaktionen (DGE, 2000). Sie üben eine Vielzahl oft antagonistischer Wirkungen, die meist lokal begrenzt sind, aus (Biesalski und Grimm, 1999). Bei einer zu hohen Zufuhr von n-6- und zugleich geringen von n-3-Fettsäuren steigt das Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten. In einer Interventionsstudie wurde durch  $\alpha$ -Linolensäure bei Patienten nach einem Herzinfarkt eine signifikante Senkung der Reinfarktrate erzielt (De Lorgeril et al., 1999). Dabei lag das Verhältnis zwischen der C 18:2 (n-6) und

der C 18:3 (n-3) bei etwa 4:1. Die genannten Fettsäuren der n-3- und n-6-Reihe konkurrieren bei der Biosynthese der physiologisch wichtigen langkettigen und hochungesättigten Fettsäuren um das gleiche Enzymsystem. Die Rate der Umsetzung zu den längerkettigen Derivaten hängt wegen dieser Konkurrenzsituation unter anderem von der Fettsäurezusammensetzung der Nahrung ab (DGE, 2000). Deshalb ist das Verhältnis der Fettsäuren zueinander von physiologischer Bedeutung. Zugleich gibt es auch Aufschluss über die Fettsäurezusammensetzung der Nahrung (Glatz et al., 1989). Es wurden deshalb zur Beurteilung des Fettsäurenstatus der Athleten zwei verschiedene Fettsäurequotienten in den Membranphospholipiden der Erythrozyten gebildet. Dazu gehörten die Quotienten aus C 18:2 (n-6) und C 18:1 (n-9) sowie auch das Verhältnis von C 20:4 (n-6) zur C 20:5 (n-3) (Punkt 3.1.3.2.1).

Das durchschnittliche Verhältnis von C 18:2 (n-6) zur C 18:1 (n-9) betrug bei den männlichen Athleten 0,63 und bei den weiblichen 0,64. Der geringste Fettsäurequotient wurde mit 0,40 und der größte mit 0,84 ermittelt. Aufgrund der Tatsache, dass sich nach Angaben von Glatz et al. (1989) der P/S-Quotient in der Nahrung vor allem in dem Gehalt der beiden Fettsäuren C 18:2 (n-6) und C 18:1 (n-9) sowie auch in deren Verhältnis zueinander in den Membranphospholipiden der Erythrozyten bemerkbar macht (Glatz et al., 1989), wurde der Quotient dieser beiden Fettsäuren gebildet. Der P/S-Quotient stellt die Aufnahme von mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Verhältnis zu den gesättigten Fettsäuren dar. Während die C 18:2 (n-6) in pflanzlichen Ölen wie z. B. Sonnenblumenöl vertreten ist und somit insbesondere bei einem hohen P/S-Quotienten der Nahrung in die Membranphospholipide der Erythrozyten aufgenommen wird, wird die C 18:1 (n-9) in Verbindung mit einem niedrigen P/S-Quotienten der Nahrung gebracht, da sie größtenteils über Olivenöl und auch über tierische Produkte aufgenommen und ebenfalls in die Membranphospholipide der Erythrozyten eingelagert wird. Niedrige P/S-Quotienten erhöhen den Anteil der Ölsäure C18:1(n-9) in den Membranphospholipiden der Erythrozyten. Hinzu kommt, dass die Ölsäure C18:1(n-9) auch vom Menschen synthetisiert wird (DGE, 2000). Glatz et al. (1989) berichten in einer Studie von einer dreiwöchigen gezielten Fettzufuhr mit unterschiedlichen P/S-Quotienten. Dieser war für das Kollektiv für die ersten drei Wochen 0,2 und für die anschließenden drei Wochen 2,0. Bei der Diät mit dem niedrigen P/S-Quotient von 0,2 wurde im Durchschnitt ein deutlich geringeres Verhältnis der beiden Fettsäuren C 18:2 (n-6) und C 18:1 (n-9) von 0,69 in den Membranphospholipiden der Erythrozyten ermittelt. Bei der Diät mit einem hohen P/S-Quotienten von 2,0 stieg das Verhältnis der beiden Fettsäuren auf 1,02 an. Ein hoher P/S-Quotient in der Nahrung ließ das Verhältnis von C 18:2 (n-6) und C 18:1 (n-9) ansteigen, da vermehrt C 18:2 (n-6) in die Membranphospholipide eingelagert wurde. In der vorliegenden Studie hatten die männlichen und weiblichen Athleten einen Fettsäurequotienten von C 18:2 (n-6) zur C 18:1 (n-9) von 0,63 bzw. 0,64, der in Anlehnung an Glatz et al. einen niedrigen P/S-Quotienten in der Ernährung der Sportler vermuten ließ. Die Fettsäurequotienten zwischen C 18:2 (n-6) und C 18:1 (n-9) waren für alle Athleten sehr ähnlich und nach Angaben von Glatz et al. (1989) auf einen niedrigen P/S-Quotienten in der Ernährung zurückzuführen. Auch in der vorliegenden Studie konnten die ausgewerteten Ernährungsprotokolle für alle Athleten niedrige P/S-Quotienten der Nahrung bestätigen, was wiederum für eine bevorzugte Zufuhr von gesättigten Fettsäuren sprach. Die Aufnahme gesättigter

Fettsäuren war zumindest nach der Auswertung der Ernährungsprotokolle aufgrund des hohen, geschätzten Energiebedarfs kein Problem. Außerdem könnte der Quotient in den Membranphospholipiden der Erythrozyten auch aufgrund einer niedrigen Linolsäure-Zufuhr über die Nahrung verringert sein. Eine Messung der Mead-Fettsäure C 20:3 (n-9) im Plasma und in den Geweben könnte weiteren Aufschluss über eine unzureichende Versorgung mit der C 18:2 (n-6) geben, da diese im Falle eines Mangels ansteigt (DGE, 2000). Allerdings ist ein Mangel an essentiellen Fettsäuren, wie z. B. der Linolsäure sehr selten, da das Fettgewebe des normalgewichtigen Erwachsenen über 500 g Linolsäure enthält, so dass mit einem Mangel bestenfalls bei chronischer Fettmalabsorption oder bei fettfreier künstlicher Ernährung zu rechnen ist (Bjerve et al., 1989). Allerdings ergab sich die Schlussfolgerung, dass der Anteil von mehrfach ungesättigten Fettsäuren in der Ernährung der Athleten gering war und in einem eher unausgewogenen Verhältnis zur Aufnahme gesättigter Fettsäuren über die Nahrung stand, so dass auch ein niedriger Quotient der beiden Fettsäuren C 18:2 (n-6) zur C 18:1 (n-9) in den Membranphospholipiden der Erythrozyten festgestellt werden konnte.

Auch nach Angaben von Berg et al. (1996) spiegelt sich die Zusammensetzung der Nahrungsfettsäuren u. a. in den Membranphospholipiden von zirkulierenden Blutpartikeln sowie in Zellen und Zellorganellen wieder. Dabei ist der Einbau dieser Fettsäuren in die Zellmembranen einerseits in hohem Maße gewebespezifisch, andererseits konkurrieren die einzelnen n-6- und n-3-mehrfach ungesättigten Fettsäuren untereinander um den Einbau in die Membranphospholipide (Barzanti et al., 1995). Da die  $\alpha$ -Linolensäure C 18:3 (n-3) nur zu einem relativ geringen Prozentanteil in den Membranphospholipiden der Erythrozytenmembran vorhanden ist und sehr effizient in ihre länger-kettigen Derivate Eicosapentaensäure C 20:5 (n-3) sowie Docosahexaensäure C 22:6 (n-3) umgewandelt wird, wurde zur weiteren Bewertung des Fettsäurestatus der Athleten, insbesondere hinsichtlich der Aufnahme von n-6- und n-3-Fettsäuren über die Nahrung, der Fettsäurequotient zwischen der Arachidonsäure C 20:4 (n-6) und der Eicosapentaensäure C 20:5 (n-3) in den Membranphospholipiden der Erythrozyten ermittelt. Der Fettsäurequotient zwischen der C 20:4 (n-6) und der C 20:5 (n-3) betrug bei den männlichen Athleten 21,8 und bei den weiblichen 20,9. Die männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen wiesen den größten Fettsäurequotienten (35,0) zwischen C 20:4 (n-6) und C 20:5 (n-3) auf und die männlichen Kraftsportler (16,4) den geringsten von den acht Sportgruppen. Der Fettsäurequotient zwischen C 20:4 (n-6) und C 20:5 (n-3) schwankte zwischen 8,47 und 96,7. Das Verhältnis zwischen der C 20:4 (n-6) und der C 20:5 (n-3) in den Membranphospholipiden der Erythrozyten ließ wiederum eine im Vergleich zu den n-3-Fettsäuren bevorzugte Aufnahme von n-6-Fettsäuren in der Ernährung der Athleten erkennen. Der unausgewogene Quotient zwischen C 20:4 (n-6) und C 20:5 (n-3) bei allen acht Sportgruppen wies auf eine ausreichende Versorgung mit C 20:4 (n-6) hin, welche neben der Zufuhr über die Nahrung zusätzlich aus der Linolsäure C 18:2 (n-6) gebildet wird. Demzufolge wurde auch für die Mehrheit der Athleten eine bevorzugte Aufnahme der C 18:2 (n-6) vermutet, was zu Lasten der C 18:3 (n-3) ging. Insgesamt wurde aufgrund des niedrigen Anteils der C 20:5 (n-3) in den Membranphospholipiden der Erythrozyten eine nicht optimale Versorgung der Athleten bzw. auch der acht Sportgruppen mit den beiden n-3-Fettsäuren C 18:3 (n-3) und C 20:5 (n-3) ange-

nommen. Eine insgesamt zu geringe Zufuhr mehrfach ungesättigter Fettsäuren konnte auch durch die Auswertung der Ernährungsprotokolle für die Ernährung der Sportler bestätigt werden. Allerdings erfolgte bei der Auswertung der Ernährungsprotokolle keine Feindifferenzierung in einzelne Fettsäuren der n-6- oder n-3-Reihe, so dass an dieser Stelle von einer unzureichenden Zufuhr mehrfach ungesättigter Fettsäuren über die Nahrung gesprochen werden muss.

#### 4.1.3.4 Zufuhr von Eiweiß

Die durchschnittliche Eiweißzufuhr der männlichen Athleten betrug 1,87 g/kg KG und der weiblichen 1,32 g/kg KG (Punkt 3.1.2.1). Die männlichen Ausdauerathleten hatten mit 1,98 g/kg KG die höchste und die weiblichen Kampfsportler mit 0,83 g/kg KG die geringste Eiweißzufuhr gegenüber den anderen Sportlern. Die geringste Eiweißaufnahme aller Sportler wies eine Kampfsportlerin (Judo) mit 0,31 g/kg KG und die größte eine Ausdauerathletin (Schwimmen) mit 2,91 g/kg KG auf. Je höher die Energieaufnahme der Athleten war, umso höher war auch die zugeführte Menge an Eiweiß (in Gramm und in Gramm pro kg KG) ( $P < 0,001$ ). Je geringer der Body Mass Index oder der Körperfettanteil der Athleten war, umso höher war auch die Eiweißaufnahme (in Gramm und in Gramm pro kg KG) der Athleten ( $P < 0,05$ ). Für männliche und weibliche Jugendliche (15 bis unter 19 Jahre) empfiehlt die DGE (2000) 0,9 bzw. 0,8 g/kg KG Eiweiß aufzunehmen. Die Empfehlung bezieht sich allerdings auf normale körperliche Tätigkeit und berücksichtigt deshalb den Mehrbedarf an Eiweiß für sportliche Belastungen nicht. Der Bedarf an Eiweiß ist im Grunde genommen ein Bedarf an den neun essentiellen Aminosäuren Histidin, Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin, die mit der Nahrung zugeführt werden müssen. Die Qualität (Biologische Wertigkeit) eines mit der Nahrung aufgenommenen Proteins wird bestimmt durch die Fähigkeit, daraus körperspezifische Proteine zu bilden. Zur Synthese von Proteinen im Intermediärstoffwechsel ist die gleichzeitige Anwesenheit aller für die Sequenz erforderlichen Aminosäuren unabdingbar. Ein Protein ist zudem umso höherwertiger, je mehr die Relation der Bausteine untereinander dem Bedarfsmuster des Körpers entspricht (Elmadfa und Leitzmann, 1998). Besondere Bedeutung kommt dabei den limitierenden Aminosäuren zu, welche die Proteinsynthese begrenzen. In der Ernährung sind dies insbesondere Lysin in Getreide- und anderen Pflanzenproteinen sowie auch Methionin in Kuhmilch- und Fleischproteinen. Ebenso können z. B. auch Threonin (Weizen, Roggen) und Tryptophan (Milch, Mais, Reis) dazugezählt werden. Der Aminosäurebedarf des erwachsenen Menschen ist derzeit Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion (Young und Borgonha, 1999). Die Empfehlungen sind dennoch für die Proteinzufuhr formuliert, da die Aufnahme der Aminosäuren beim gesunden Menschen ausschließlich auf diesem Wege erfolgt (DGE, 2000). Vier weibliche Athleten führten weniger Eiweiß als die empfohlenen 0,8 g/kg KG (Minimum: 0,31 g/kg KG) für „Nichtsporttreibende“ zu. Zwei dieser Athleten führten eine kurzzeitige Gewichtsreduzierung auf der Basis einer kalorienreduzierten Kost durch. Williams (1997) berichtet, dass es auch bei Sportlern zu einer unzureichenden Eiweißversorgung aufgrund regelmäßiger Gewichtsreduzierungen, insbesondere in den Sportarten Turnen, Balletttanz, Ringen oder Boxen, kommen kann. Folge davon kann eine negative Stickstoffbilanz sein. Daraus resultiert ein Verlust an körpereigenen Proteinen, der sich je nach Ausmaß in einer ent-

sprechenden Reduktion der Leistungsfähigkeit im Kraft- und Ausdauerbereich bemerkbar macht. Deshalb muss, auch im Falle einer kalorienreduzierten Kost, auf einen ausreichenden hohen Eiweißanteil in der Nahrung der Athleten geachtet werden. Nach Angaben von Berg et al. (1996) wird bei Sportlern für den Muskelaufbau und wegen der Gluconeogenese während sportlicher Belastungen in Abhängigkeit von Umfang und Intensität der Leistung ein erhöhter Proteinbedarf postuliert. Entsprechend werden deshalb Sportlern Tagesproteinzufuhren in einer Höhe von ca. 1,2 g/kg bis 1,4 g/kg KG Eiweiß empfohlen. Insgesamt hatten 78 % der Athleten eine Eiweißzufuhr von über 1,2 g/kg KG und davon wiederum 22 % von über 2,0 g/kg KG. Nach Angaben von Hawley und Burke (1998) werden Ausdauerathleten ebenfalls 1,2 g bis 1,4 g Eiweiß pro kg Körpergewicht empfohlen. Die männlichen Ausdauersportler dieser Studie führten mit 1,98 g/kg KG mehr Eiweiß zu sich. Dennoch empfehlen Hawley und Burke für Athleten mit großen Trainingsumfängen, auch wenn sie sich noch im Wachstum befinden, maximal 2 g Eiweiß pro kg KG zuzuführen. Für Kraftsportler halten die Autoren während schwerer Trainingsphasen eine durchschnittliche Eiweißzufuhr von 1,2 g/kg KG bis 1,7 g/kg KG für angemessen. Die männlichen Kraftathleten dieser Studie haben durchschnittlich 1,64 g/kg KG Eiweiß zugeführt und die weiblichen 1,42 g/kg KG. Beide befinden sich in dem von Hawley und Burke empfohlenen Bereich einer angemessenen Eiweißzufuhr. 5 % der Sportler nahmen mehr als 2,5 g/kg KG Eiweiß zu sich. Mehrere Studien konnten zeigen, dass eine tägliche Proteinzufuhr von 2,5 g pro kg KG keine Änderung in der Gesamtkörper-Proteinturnoverrate sowie der fettfreien Körpermasse ergab und dass selbst bei stark belastendem Training keine Erhöhung der Muskelmasse oder -kraft resultierte (Carraro et al., 1990; Garlick et al., 1999; Lemon et al., 1992; Millward et al., 1994). Eine über die empfohlene Menge hinausgehende Proteinzufuhr hat zwar nach heutigem Kenntnisstand keine schädigende Wirkung, aber auch keine positiven, physiologischen Effekte (Metges und Barth, 2000). Je mehr Protein zugeführt wird, umso höher ist die Menge an ausscheidungspflichtigen Endmetaboliten des Proteinstoffwechsels (Brändle et al., 1996). Einige Autoren berichten von einer erhöhten renalen Kalzium-Exkretion als Folge einer erhöhten Proteinzufuhr (Ball und Maughan, 1997; Itoh et al., 1998; Zemel, 1988), was einen negativen Effekt auf die Kalzium-Bilanz und damit auf die Knochengesundheit haben kann (Barzel und Massey, 1998; Feskanich et al., 1996). Außerdem wird berichtet, dass eine Proteinzufuhr von über 2 g pro kg KG am Tag mit einer Verminderung der Plasma-konzentrationen bestimmter Aminosäuren einhergeht (Forslund et al., 2000; Matthews und Campbell, 1992), wie sie sonst nur unter katabolen Stressbedingungen auftreten (Abcouwer et al., 1997; Calder, 1995). Als Obergrenze für die Proteinzufuhr werden aus den genannten Gründen für Erwachsene 2,0 g Eiweiß pro kg KG und Tag bezeichnet (Durnin et al., 1999). Abschließend konnte festgestellt werden, dass 78 % aller Athleten die empfohlene Eiweißzufuhr für Sportler von mindestens 1,2 g/kg KG erreicht haben, wobei von diesen 78 % der Athleten 22 % sogar über 2,0 g/kg KG Eiweiß zuführten. Die restlichen 22 % der Athleten befanden sich unterhalb dieser Mindestzufuhr für Sportler und sollten aufgrund der zuvor diskutierten Gründe auf eine Erhöhung der Eiweißaufnahme achten.

Unter der Berücksichtigung, dass mindestens 60 % bzw. 25 % der Tagesenergie in Form von Kohlenhydraten und Fetten zugeführt werden sollten, ergeben sich 15 % der Tagesenergie für

Eiweiß. Tabelle 33 beinhaltet dazu die in Gramm zugeführten Eiweißmengen der Athleten (Punkt 3.1.2.1) sowie den auf der Basis des individuellen Energiebedarfs ermittelten Eiweißbedarf (15 % des Energiebedarfs) der Athleten in Gramm. Gemessen an dem geschätzten Energiebedarf der Athleten haben weder die männlichen noch die weiblichen Athleten ausreichend Eiweiß zugeführt, so dass der ermittelte Eiweißbedarf nur zu 71,8 % bzw. 58,5 % gedeckt werden konnte. Am besten schnitten noch die männlichen Ausdauersportler ab, die ihren geschätzten Bedarf zu 76,2 % decken konnten, und am schlechtesten die weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit einer 42,0 %igen Bedarfsdeckung für Eiweiß. Insgesamt konnten die Athleten ihre Empfehlung für Eiweiß zu minimal 14,7 % und zu maximal 141 % erreichen. Nur 4 % der Athleten (2 Jungen, 2 Mädchen) nahmen mehr Eiweiß zu sich. Während es bezüglich der Eiweißzufuhr in Gramm pro kg KG nur 22 % der Athleten waren, die zu wenig Eiweiß zuführten, ergab der Vergleich mit den ermittelten Eiweißbedarfsmengen, dass nahezu alle Athleten eine unzureichende Eiweißzufuhr hatten. Auch das war das Ergebnis einer energetischen Unterversorgung der Athleten.

Tab. 33: Mittlere Tageszufuhr von Eiweiß [g] und der auf der Basis des Energiebedarfs ermittelte tägliche Eiweißbedarf [g] für die Athleten

Sportarten/ Geschlecht		Eiweißzufuhr <sup>1,2</sup> [g]	Eiweißbedarf <sup>#</sup> [g]	Bedarfsdeckung [%]
Ausdauer	J:	133 ± 39,9 <sup>a</sup>	174 ± 30,7	76,2 ± 16,8
	M:	81,3 ± 24,9 <sup>c</sup>	125 ± 17,0	67,2 ± 27,8
Kampf	J:	112 ± 20,7 <sup>b</sup>	151 ± 18,4	74,6 ± 13,2
	M:	54,8 ± 19,1 <sup>d</sup>	128 ± 15,2	42,9 ± 13,8
Kraft	J:	102 ± 16,8 <sup>bc</sup>	145 ± 9,00	71,6 ± 15,6
	M:	82,6 ± 13,1 <sup>c</sup>	115 ± 12,2	73,0 ± 13,8
TK.	J:	74,7 ± 14,6 <sup>cd</sup>	143 ± 21,0	51,9 ± 5,24
	M:	53,5 ± 16,9 <sup>d</sup>	128 ± 16,0	42,0 ± 12,4
Geschlecht	J:	117 ± 38,0 <sup>a</sup>	161 ± 28,9	71,8 ± 17,0
	M:	70,4 ± 23,5 <sup>b</sup>	123 ± 16,2	58,5 ± 23,2
Sportart				
Ausdauer:		114 ± 43,2 <sup>a</sup>	157 ± 35,5	73,1 ± 21,7
Kampf:		86,7 ± 34,6 <sup>b</sup>	141 ± 20,6	60,7 ± 20,7
Kraft:		88,2 ± 16,8 <sup>b</sup>	123 ± 17,7	72,6 ± 14,4
TK:		60,6 ± 19,0 <sup>c</sup>	133 ± 19,3	45,3 ± 11,5

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

a,b,c,d: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (P < 0,05);

Unterschiedliche Hochzahlen bedeuten Signifikanz der Faktoren: <sup>1</sup>Sportart und <sup>2</sup>Geschlecht (P < 0,05);

<sup>#</sup>: 15 % des geschätzten Energiebedarfs in Form von Eiweiß und umgerechnet in Gramm.

Wenn man allerdings die berechneten Bedarfswerte der Athleten für eine dem geschätzten Energiebedarf angemessene Eiweißzufuhr in Gramm pro kg/KG umrechnen würde, würde man größtenteils Werte von über 2,0 g/kg KG für die Athleten erhalten. Die geschätzte Eiweißzufuhr [g/kg KG] sollte demzufolge nach für die männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen

Disziplinen bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von 48,8 kg und einem geschätzten Eiweißbedarf von 143 g am Tag bei 2,93 g/kg KG liegen. Eine Eiweißzufuhr von mehr als 2 g/kg KG ist aber nach Aussagen der zuvor zitierten Autoren (Forsslund et al., 2000; Matthews und Campbell, 1992; Durnin et al., 1999) nicht zu empfehlen. Der hohe Energiebedarf der Athleten sollte deshalb durch einen höheren Anteil von Kohlenhydraten und Fetten gedeckt werden, da diese Aufnahmen für den größten Teil der Athleten zu gering waren. Bei höheren Zufuhrwerten der Kohlenhydrate und Fette ergeben sich zwangsläufig geringere Prozentanteile für die Eiweißaufnahme an der Tagesenergie. Die Beurteilung einer ausreichenden Eiweißzufuhr sollte deshalb auf der Basis von Gramm pro kg KG für jeden Athleten geschehen.

In der gemischten Kost ergänzen sich pflanzliche und tierische Eiweißlieferanten in den Aminosäurenbausteinmustern so, dass Versorgungslücken des einen durch Überschüsse eines anderen Proteins geschlossen und ungünstige Verhältnisse ausgeglichen werden können. Das Eiweiß in tierischen Lebensmitteln ist als biologisch höherwertig anzusehen als das pflanzliche. Allerdings enthalten tierische Eiweißprodukte neben einigen Vitaminen und Mineralstoffen auch unterschiedliche Mengen an Fett, Cholesterin und Purinen. Deshalb wird u. a. empfohlen das Eiweiß über tierische und pflanzliche Lebensmittel in einem Verhältnis von 2 : 3 zuzuführen (DGE, 1992). Durchschnittlich nahmen die männlichen Athleten 34 % der gesamten Eiweißzufuhr als Eiweiß pflanzlicher Herkunft sowie die restlichen 66 % als Eiweiß tierischer Herkunft zu sich (Punkt 3.1.2.1). Bei den Mädchen ergaben sich ähnliche Prozentanteile von 35 % und 65 %. Der Anteil von tierischem Eiweiß an der Eiweißversorgung der Athleten lag höher als von der DGE (2000) empfohlen. Insbesondere die männlichen Kraftsportler nahmen mit nur 27 % sehr wenig pflanzliche und zugleich sehr viel tierische Eiweißquellen zu sich. Im Einzelfall wurden sogar 79 % der gesamten Eiweißzufuhr über tierische Lebensmittel aufgenommen. Das tierische Eiweiß ist zwar biologisch höherwertig als das pflanzliche, dennoch muss aufgrund der unterschiedlichen limitierenden Aminosäuren in pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln ein dem körpereigenem Protein optimales Aminosäurenbedarfsmuster durch ein ideales Verhältnis von beiden Eiweißquellen geschaffen werden. Das ist die Voraussetzung für ein optimales Muskelwachstum. Berg et al. (1996) berichten von bundesdeutschen Spitzensportlern, welche mehr als 50 % der Eiweißzufuhr tierisches Protein zuführten. Obwohl nahezu alle Athleten nach Angaben der DGE (2000) zu viel tierische (> 40 %) und zu wenig pflanzliche Eiweiße (< 50 %) zu sich nahmen, führte die Mehrheit der Sportler aufgrund des hohen Energiebedarfs nicht zuviel Fett, gesättigte Fettsäuren oder Cholesterin durch den bevorzugten Verzehr tierischer Eiweißquellen zu.

#### **4.1.3.5 Zufuhr von Ballaststoffen**

Von den unverdaubaren Kohlenhydraten, den Ballaststoffen, nahmen die männlichen Athleten im Durchschnitt mit 23,2 g am Tag signifikant mehr zu sich als die weiblichen Sportler mit 19,5 g (Punkt 3.1.2.1). Die höchste Ballaststoffzufuhr wiesen die männlichen Ausdauersportler (27,0 g am Tag) und die geringste die weiblichen Kampfsportler (12,5 g am Tag) auf. Die geringste Ballaststoffzufuhr eines Athleten betrug 7,25 g und die größte 52,7 g am Tag. Je höher die Energiezufuhr

der Athleten war, umso höher war auch die Ballaststoffaufnahme der Sportler ( $P < 0,001$ ). Nach Angaben der DGE (2000) sollte die Ballaststoffzufuhr mindestens 30 g am Tag betragen. Im Durchschnitt erreichten weder die männlichen noch die weiblichen Athleten der vier Sportarten die Mindestmenge von 30 g Ballaststoffen am Tag. Nur 16,2 % aller Sportler nahmen mehr als 30 g Ballaststoffe am Tag zu sich. Ebenfalls niedrige Ballaststoffzufuhren werden von Faber et al. (1990) in einer Untersuchung mit Athleten verschiedener Wurfdisziplinen in einer Höhe von 24,8 g für die männlichen und 19,3 g am Tag für die weiblichen Sportler berichtet. Ballaststoffe erfüllen eine Reihe wichtiger, zum Teil sehr unterschiedlicher Funktionen im Verdauungstrakt und haben Auswirkungen auf den Stoffwechsel (Kritchevsky, 1988; Schneemann und Tietyen, 1994). Außerdem sollen Ballaststoffe der Entstehung von Obstipation, Dickdarmvertikulose, Dickdarmkrebs, Gallensteine, Übergewicht, Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus und Arteriosklerose entgegenwirken (Brown et al., 1999; Rimm et al., 1996; Schneemann und Tietyen, 1994; Wolk et al., 1999). Sportler sollten aus gesundheitlichen Aspekten ebenfalls auf eine ausreichende Ballaststoffzufuhr achten, diese jedoch nicht wegen möglicher Verdauungsprobleme unmittelbar vor intensiven Trainingseinheiten oder Wettkämpfen verzehren.

#### **4.1.3.6 Zufuhr von Cholesterin**

Durchschnittlich nahmen die männlichen Sportler mit täglich 412 mg signifikant mehr Cholesterin zu sich als die weiblichen mit 270 mg (Punkt 3.1.2.1). Die männlichen Ausdauersportler hatten mit 476 mg Cholesterin am Tag die höchste Zufuhr und die weiblichen Kampfsportler mit 280 mg die geringste. Mit zunehmender Zufuhr von Energie, Fett (in Gramm und Prozent) und gesättigten Fettsäuren (in Gramm und Prozent) stieg auch die Aufnahme von Cholesterin für die Athleten an ( $P < 0,005$ ). Die geringste Tagesaufnahme von Cholesterin betrug 40 mg und die größte 845 mg. Die DGE (2000) empfiehlt nicht mehr als 300 mg Cholesterin am Tag zuzuführen. Von allen Athleten nahmen 54,5 % mehr als 300 mg Cholesterin zu sich. In ihrer Untersuchung mit Ausdauersportlern und Ringern berichten Berg et al. (1996) und Rokitzki et al. (1990) ebenfalls von erhöhten Cholesterinzufuhren von durchschnittlich 409 mg bzw. 872 mg am Tag. Im Vergleich zu den Untersuchungsergebnissen von Faber et al. (1990), die von einer durchschnittlichen Tagescholesterinzufuhr von 625 mg bzw. von 1015 mg bei weiblichen und männlichen Athleten verschiedener Wurfdisziplinen berichten, hatten die Athleten der Ausdauer- und Kraftsportarten in der vorliegenden Studie mit durchschnittlich 476 mg bzw. 422 mg eine nur unwesentlich erhöhte Cholesterinzufuhr. Als Ursache berichten die Autoren von ungünstigeren und über dem Bedarf liegenden Energieaufnahmen der Athleten verschiedener Wurfdisziplinen. In dieser Studie konnten auch einzelne Ausreißer mit einer durchschnittlichen Cholesterinzufuhr von 845 mg am Tag festgestellt werden. Allerdings kamen diese relativ hohen Cholesterinaufnahmen weniger Athleten aufgrund eines hohen Verzehrs von tierischen Lebensmitteln mit hohen Cholesteringehalten zustande. Bezugnehmend zu den Cholesterinkonzentrationen im Plasma ließ sich feststellen, dass die Cholesterinzufuhr über die Nahrung kein Problem darstellte, da die Cholesterinwerte im Plasma für die Mehrheit der Athleten nicht erhöht waren. Zudem nahmen ca. 45 % der Athleten weniger als 300 mg Cholesterin am Tag zu sich. Das Cholesterin, welches über die Nahrung zugeführt wird, erhöht die

Cholesterinkonzentration im Plasma im Gegensatz zu den gesättigten Fettsäuren zwar nur geringfügig (Katan et al., 1994). Dennoch sollte nach Angaben von Hayes und Khosla (1992) aus gesundheitlichen Gründen die Zufuhr von Cholesterin mit der Nahrung 300 mg am Tag nicht wesentlich übersteigen.

#### 4.1.3.7 Versorgung mit Vitamin A und $\beta$ -Karotin

Der Bedarf von Vitamin A wird durch vorgebildetes Vitamin A aus Lebensmitteln tierischer Herkunft und durch Provitamine (z. B.  $\beta$ -Karotin) gedeckt, die von Pflanzen gebildet werden (DGE, 2000). Um den Anteil der Provitamine an der Bedarfsdeckung von Vitamin A berücksichtigen zu können, wird nach Angaben der DGE (2000) folgende Umrechnung zugrundegelegt: 1 mg Retinol entspricht 6 mg all-trans- $\beta$ -Karotin. Die Auswertung der Ernährungsprotokolle der Sportler ergab, dass die männlichen Athleten 0,65 mg und die weiblichen 0,41 mg Vitamin A am Tag zu sich nahmen (Punkt 3.1.2.2). Die höchste Tageszufuhr von Vitamin A konnte bei den männlichen Ausdauerathleten mit 0,82 mg und die geringste bei den weiblichen TK-Sportlern mit 0,33 mg festgestellt werden. Die geringste Vitamin-A-Aufnahme wurde bei einer Kampfsportlerin (Judo) mit nur 0,06 mg am Tag und die größte bei einem Ausdauersportler (Mittelstrecke) mit 3,00 mg am Tag ermittelt. Die Vitamin-A-Zufuhr korrelierte positiv mit der Energieaufnahme ( $P < 0,001$ ), mit der Zufuhr von Fett (in Gramm und in Prozent) ( $P < 0,01$ ) sowie mit der Aufnahme gesättigter Fettsäuren (in Gramm und in Prozent) ( $P < 0,05$ ) und der Zufuhr von Cholesterin ( $P < 0,001$ ). Die DGE (2000) empfiehlt männlichen und weiblichen Jugendlichen im Alter von 15 bis unter 19 Jahren 1,1 mg bzw. 0,9 mg am Tag. Die männlichen Sportler erreichten zu 59,1 % und die weiblichen nur zu 45,6 % die von der DGE empfohlene Tagesdosis für Vitamin A. Vier männliche Athleten lagen über 1,1 mg und nur eine Athletin erreichte mehr als 0,9 mg Vitamin A am Tag. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass 94,9 % der Athleten die Zufuhrempfehlung der DGE, welche sich auf gesunde Menschen mit normaler, körperlicher Tätigkeit im Alltag bezieht, von Vitamin A nicht erreicht haben. Zusätzlich muss allerdings bei der Versorgung mit Vitamin A die Aufnahme von  $\beta$ -Karotin berücksichtigt werden, da diese die Vitamin-A-Zufuhr verbessert. Es wird zunächst die Versorgung mit  $\beta$ -Karotin betrachtet. Die männlichen Athleten nahmen 2,65 mg und die weiblichen 2,98 mg  $\beta$ -Karotin am Tag zu sich. Die weiblichen Ausdauersportler hatten mit 4,01 mg am Tag die höchste  $\beta$ -Karotin-Zufuhr und die männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 1,54 mg die geringste. Die niedrigste Aufnahme von  $\beta$ -Karotin betrug 0,52 mg und die größte 10,0 mg am Tag. Die Zufuhr von Vitamin A unter der Berücksichtigung von  $\beta$ -Karotin war umso höher bei den Athleten, je mehr Energie, Fett [g], gesättigte Fettsäuren [g] und Ballaststoffe zugeführt wurden (für alles:  $P < 0,001$ ). Die DGE (2000) gibt aufgrund krankheitsvorbeugender Wirkungen von  $\beta$ -Karotin ein Schätzwertbereich von 2 - 4 mg pro Tag an. 42,4 % der Athleten nahmen weniger als 2 mg  $\beta$ -Karotin und 21,2 % mehr als 4 mg am Tag zu sich. Unter der zusätzlichen Beachtung der zugeführten Menge an  $\beta$ -Karotin konnten die männlichen Athleten ihre Vitamin-A-Aufnahme auf 1,09 mg am Tag, was 99,1 % der Tagesempfehlung (1,1 mg) für Vitamin A ausmacht, erhöhen. Die weiblichen Athleten steigerten ihre Vitamin-A-Zufuhr auf 0,91 mg, was einem Prozentanteil von 101 % der DGE-Empfehlung (0,9 mg) entspricht. Die männlichen Aus-

dauersportler hatten auch unter der Berücksichtigung der  $\beta$ -Karotin-Zufuhr die höchste Vitamin-A-Aufnahme (1,38 mg), dagegen schnitten die männlichen und weiblichen TK-Sportler am schlechtesten ab (0,64 mg bzw. 0,68 mg) und konnten damit auch unter der Beachtung der  $\beta$ -Karotin-Zufuhr die Empfehlung für Vitamin A nicht erreichen. Dasselbe traf auch für die männlichen und weiblichen Athleten der Kampf- und Kraftsportarten zu. Die geringste Zufuhr von Vitamin A betrug unter Beachtung des  $\beta$ -Karotinanteils 0,25 mg und die größte 3,29 mg am Tag. Insgesamt wurde bei 54,5 % aller Athleten auch unter Berücksichtigung der  $\beta$ -Karotinzufuhr eine zu geringe Vitamin-A-Aufnahme festgestellt. Das erste klinische Anzeichen einer unzureichenden Vitamin-A-Versorgung ist die Nachtblindheit und im ausgeprägteren Falle die Bildung von gelblich verhornten Bitot-Flecken an der Augenbindehaut (DGE, 2000). Auf eine ausreichende Zufuhr von Vitamin A muss geachtet werden, da es ebenso für das Wachstum sowie auch für das Immunsystem und die Entwicklung von Zellen und Geweben unterschiedlichster Art von essentieller Bedeutung ist (DGE, 2000).

Drei der insgesamt 99 Athleten führten zudem ein Zusatzpräparat mit einer durchschnittlichen Dosierung von 1,69 mg Vitamin A zu (Punkt 3.1.2.4). Alle drei Athleten konnten dadurch ihre Vitamin-A-Aufnahme verbessern und die empfohlene Tagesdosis erreichen. Dabei nahm eine Athletin mit 3,94 mg am meisten Vitamin A am Tag auf. Bei Kindern können bei chronischer Zufuhr von mehr als 5 mg Vitamin A pro Tag Wachstumsstörungen eintreten und bei Erwachsenen sollten Tagesdosen von mehr als 15 mg nicht über längere Zeiträume eingenommen werden. Für  $\beta$ -Karotin hat sich eine tägliche Aufnahme von bis zu 10 mg  $\beta$ -Karotin über die Nahrung als unbedenklich erwiesen (DGE, 2000). Keiner der Athleten überschritt diese tolerierbaren Obergrenzen für Vitamin A bzw.  $\beta$ -Karotin. Die ausgewerteten Ernährungsprotokolle ließen vielmehr eine unzureichende Vitamin-A-Zufuhr der meisten Athleten vermuten.

Die Ermittlung eines Vitamin-A-Mangels richtet sich nach WHO-Definition nach den Plasmaspiegeln (Biesalski et al., 1998). Daraufhin wurden nun die tatsächlichen Konzentrationen von Vitamin A im Plasma bestimmt. Nach Biesalski et al. (1997) sollte für Jugendliche ( $\leq 15$  Jahre) die Plasmakonzentration von Vitamin A zwischen 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$  und 55  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , und für Erwachsene zwischen 50  $\mu\text{g}/\text{dl}$  und 85  $\mu\text{g}/\text{dl}$  liegen. Nur die männlichen und weiblichen Sportler der Technisch-kompositorischen Disziplinen lagen im Durchschnitt mit 35,9  $\mu\text{g}/\text{dl}$  bzw. 36,7  $\mu\text{g}/\text{dl}$  unter den von Biesalski et al. (1997) geforderten 40,0  $\mu\text{g}/\text{dl}$  für Vitamin A für Jugendliche (Punkt 3.1.3.2.3). 40,4 % der Athleten bis zum 15. Lebensjahr (22 Jungen, 18 Mädchen) hatten geringere Plasmakonzentrationen für Vitamin A als 40,0  $\mu\text{g}/\text{dl}$  und lagen damit unterhalb des Referenzbereiches. Ferner konnten für 27,3 % der erwachsenen Sportler (13 Jungen, 14 Mädchen) niedrigere Plasmakonzentrationen von weniger als die empfohlenen 50,0  $\mu\text{g}/\text{dl}$  Vitamin A gefunden werden. Die geringste Vitamin-A-Konzentration im Plasma betrug bei den Athleten 27,0 und die größte 71,1  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . Nach Angabe der WHO wird bei Plasmakonzentrationen für Vitamin A von unter 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  ein ausgeprägter und zwischen 10 - 20  $\mu\text{g}/\text{dl}$  ein beginnender Vitamin-A-Mangel diagnostiziert. Keiner der 99 Athleten hatte eine geringere Vitamin-A-Plasmakonzentration von 20  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . Demzufolge hatte nach Angaben der WHO kein Athleten einen beginnenden Vitamin-A-Mangel. Insgesamt wiesen 67,7 % aller

Athleten (35 Jungen, 32 Mädchen) nach Ansicht von Biesalski et al. (1997) dennoch eine unzureichende Plasmakonzentration für Vitamin A auf. Biesalski et al. (1997) berichten, dass als diagnostischer Parameter zur Beurteilung des Vitamin-A-Status oftmals Plasmakonzentrationen von Vitamin A bestimmt werden, dennoch kann man aufgrund einer homöostatischen Regulierung den Status für Vitamin A nicht genau ermitteln. Zu einer eindeutigen Erniedrigung der Vitamin-A-Spiegel unter die Normalwerte kommt es erst, wenn die Leberspeicher bis unter einen kritischen Punkt von weniger als 100 µg/g (unter 10 %) entleert wurden. Die Vitamin-A-Speicher in der Leber gleichen zwar Schwankungen in der Zufuhr weitgehend aus, aber dennoch kann es bei unzureichender Zufuhr auch beim Gesunden langfristig zu einem marginalen Mangel ohne klinische Symptome kommen und damit zu einer Unterversorgung abhängiger Gewebe. Obwohl es zwischen der Zufuhr von Vitamin A inkl. der berücksichtigten Zufuhr von  $\beta$ -Karotin und den Vitamin-A-Plasmakonzentrationen keine signifikante Korrelation gab, konnte bei 14,1 % der Jungen (N = 14) und bei 19,2 % der Mädchen (N = 19) ein Zusammenhang zwischen einer unterhalb des entsprechenden Referenzbereiches liegenden Vitamin-A-Plasmakonzentration und einer ebenso unterhalb der empfohlenen Zufuhr befindlichen Vitamin-A-Aufnahme (inkl.  $\beta$ -Karotin) über die Nahrung beobachtet werden. Damit gab es insgesamt bei 33,3 % der Athleten Übereinstimmungen bezüglich einer niedrigen Plasmakonzentration und einer unterhalb der empfohlenen Tagesdosis für Vitamin A liegenden Zufuhr über die Nahrung. Das Ergebnis ließ deshalb vermuten, dass bei ca. einem Drittel der Athleten (N = 33) die Vitamin-A-Versorgung nicht optimal zu sein schien.

#### 4.1.3.8 Versorgung mit Vitamin E

Unter dem Namen Vitamin E werden acht strukturelle Isomere von Tocopherolen oder Tocotrienolen zusammengefasst. Unter diesen acht ist  $\alpha$ -Tocopherol das bekannteste und besitzt die größte antioxidative Aktivität (Janero, 1991). Um diesen verschiedenen Verbindungen mit unterschiedlicher Vitamin-E-Aktivität in der Nahrung ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Tocopherol, Tocotrienole) Rechnung zu tragen, wird vorgeschlagen, als Referenzsubstanz RRR- $\alpha$ -Tocopherol zu benutzen und die Vitamin-E-Aktivität in Wirkungsäquivalenten relativ zu RRR- $\alpha$ -Tocopherol (= 100 %) in RRR- $\alpha$ -Tocopherol-Äquivalenten anzugeben (Food and Nutrition Board 1989, DGE 1991). In der vorliegenden Studie ist unter der Zufuhr von Vitamin E die Aufnahme von RRR- $\alpha$ -Tocopherol-Äquivalenten zu verstehen. Die mittlere Zufuhr von Vitamin E betrug bei den männlichen Sportlern 12,7 mg und bei den weiblichen 10,8 mg am Tag (Punkt 3.1.2.2). Die höchste Vitamin-E-Zufuhr wiesen die männlichen Ausdauersportler (15,6 mg am Tag) auf und die geringste die weiblichen TK-Sportler (7,09 mg am Tag). Die Vitamin-E-Zufuhr schwankte für die Athleten zwischen 3,66 mg und 32,9 mg am Tag. Wegen der sehr engen Beziehung zwischen Vitamin E und ungesättigten Fettsäuren kann die Formulierung der empfohlenen Zufuhr für Vitamin E nur unter Berücksichtigung der Zufuhr an ungesättigten Fettsäuren erfolgen (Gassmann und Kübler, 1996). Der Grundbedarf von Vitamin E beträgt beim gesunden Menschen, mit normaler körperlicher Aktivität 4 mg am Tag (DGE, 2000). Diese Menge wird zum Schutz der bei Stoffwechselfvorgängen im Körper gebildeten Doppelbindungen vor Peroxidation für notwendig gehalten (Horwitt, 1974). Berücksichtigt man zusätzlich die von allen Fettsäuren mengenmäßig am meisten zugeführte Linolsäure

(Annahme: > 80 % des zugeführten Fettes), so sollten über den Grundbedarf hinaus 0,6 mg Vitamin E pro g über die Nahrung aufgenommener Linolsäure aufgenommen werden (Harris und Embree, 1963; Muggli, 1994). Im Grunde müssten andere zugeführte mehrfach ungesättigte Fettsäuren ebenfalls bei der Bedarfsschätzung von Vitamin E berücksichtigt werden, dennoch erhöhen sie mengenmäßig die Empfehlung für Vitamin E nur sehr gering. Deshalb wird in der vorliegenden Studie der Vitamin-E-Bedarf auf der Basis des Grundbedarfs und der zusätzlich empfohlenen Vitamin-E-Aufnahme von 0,6 mg pro g Linolsäure für die Athleten berechnet (Tabelle 34), um zumindest eine dem gesunden Menschen mit normaler körperlicher Aktivität adäquate Zufuhr von Vitamin E abschätzen zu können. Allerdings muss beachtet werden, dass die tatsächliche Aufnahme der Linolsäure, welche über die Ernährungsprotokolle ermittelt wurde, nur abgeschätzt werden kann und deshalb den Bedarf der Sportler nur annähernd wiedergeben kann. Je höher die Zufuhr von Energie und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (in Prozent) in der Ernährung der Athleten war, umso mehr Vitamin E wurde aufgenommen ( $P < 0,05$ ). Ausgehend von einem Grundbedarf von 4 mg Vitamin E am Tag und einer Linolsäure-Aufnahme der Athleten von 1,04 g bis zu 21,9 g am Tag ergaben sich die in Tabelle 31 ermittelten Bedarfswerte für die Sportler.

Tab. 34: Schätzung des täglichen Vitamin-E-Bedarfs in Abhängigkeit der aufgenommenen Linolsäure über die Nahrung und unter der Berücksichtigung des Grundbedarfs von 4 mg pro Tag

Sportarten/ Geschlecht		Vitamin E-Zufuhr <sup>1</sup> [mg]	Vitamin E-Bedarf* [mg]	Bedarfsdeckung [%]
Ausdauer	J:	15,6 ± 6,57 <sup>a</sup>	11,8 ± 2,55	131 ± 46,1
	M:	11,0 ± 3,93 <sup>b</sup>	8,79 ± 1,76	124 ± 30,2
Kampf	J:	9,40 ± 0,89 <sup>bc</sup>	10,6 ± 1,21	89,9 ± 10,6
	M:	8,60 ± 4,25 <sup>bc</sup>	7,58 ± 1,93	107 ± 28,3
Kraft	J:	11,8 ± 4,11 <sup>abc</sup>	10,5 ± 1,59	110 ± 27,3
	M:	14,9 ± 6,25 <sup>a</sup>	10,2 ± 2,45	141 ± 35,2
TK.	J:	7,20 ± 1,34 <sup>bc</sup>	7,81 ± 0,75	91,7 ± 11,5
	M:	7,09 ± 3,26 <sup>c</sup>	7,28 ± 1,58	93,3 ± 23,1
Geschlecht	J:	12,7 ± 6,07	10,8 ± 2,46	115 ± 40,2
	M:	10,8 ± 5,55	8,62 ± 2,29	118 ± 35,3
Sportart				
Ausdauer:		13,9 ± 6,14 <sup>a</sup>	10,7 ± 2,70	128 ± 41,1
Kampf:		9,05 ± 2,92 <sup>b</sup>	9,25 ± 2,16	97,5 ± 22,1
Kraft:		14,0 ± 5,89 <sup>a</sup>	10,3 ± 2,24	133 ± 36,0
TK:		7,13 ± 2,77 <sup>b</sup>	7,46 ± 1,38	92,8 ± 20,0

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte ± SD;

<sup>a,b,c</sup>: unterschiedliche Hochbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten

( $P < 0,05$ );

Hochzahl bedeutet Signifikanz des Faktors: <sup>1</sup>Sportart, ( $P < 0,05$ );

\*ermittelter Bedarf ausgehend von einem Grundbedarf (4 mg/Tag) und unter der Berücksichtigung der Linolsäure-Zufuhr über die Nahrung (0,6 mg Vitamin E/g Linolsäure); Vitamin E als RRR- $\alpha$ -Tocopherol-Äquivalente;

Sowohl die männlichen als auch die weiblichen Athleten konnten in Abhängigkeit der aufgenommenen Menge von Linolsäure den Vitamin-E-Bedarf von 10,8 mg bzw. 8,62 mg am Tag zu 115 % bzw. 118 % decken. Von den acht Sportgruppen gelang dies den männlichen Kampfsportlern und den Sportlern der Technisch-kompositorischen Disziplinen nicht. Eine Athletin der Technisch-kompositorischen Sportarten führte sogar weniger als den Grundbedarf von 4 mg Vitamin E zu. Damit ist vermutlich kein ausreichender Peroxidationsschutz der zugeführten Linolsäure gegeben. Insgesamt konnten 38 % der Athleten (21 Jungen, 17 Mädchen) ihren von der Linolsäure-Zufuhr abhängigen Bedarf für Vitamin E nicht decken. Insgesamt verwendeten zehn Athleten ein Zusatzpräparat mit einer durchschnittlichen Dosis von 3,94 mg Vitamin E am Tag (Punkt 3.1.2.4). Davon hatten sechs Athleten bereits eine ausreichende Vitamin-E-Zufuhr (Punkt 3.1.2.2) und konnten damit ihren Bedarf für Vitamin E decken. Die restlichen vier dieser zehn Athleten konnten durch die Supplementierung mit Vitamin E ihren von der Linolsäure abhängigen, geschätzten Vitamin-E-Bedarf decken.

Die Bedeutung einer ausreichenden Vitamin E-Zufuhr besteht in seiner antioxidativen Funktionsweise und gerade sportliche Belastungen gehören zu den Situationen, die zu einem verstärkten Auftreten freier Radikale im Organismus führen (Ziegler, 1995; Lippa, 1991). Auch nach Angaben von Biesalski et al. (1997) führen körperliche Bewegungen zu einem Anstieg der Bildung freier Radikale im Skelettmuskel, was wiederum Konsequenzen für die Integrität der Zellmembranen hat (Biesalski, 1997). Bei einer nicht ausreichenden Vitamin-E-Versorgung kann es z. B. zu einer verstärkten Hämolyse der Erythrozyten, zu einer erhöhten Anfälligkeit gegen Muskelschädigungen sowie zu einer Gefährdung der Zellmembranintegrität kommen. Daher ist insbesondere bei länger dauernden körperlichen Belastungen auf eine ausreichende Zufuhr von Antioxidanzien, im speziellen von Vitamin E, zu achten. Für Vitamin E besitzt der Körper keine akut verfügbaren Speicher, so dass eine kontinuierliche Vitamin-E-Zufuhr gemäß dem Bedarf erfolgen sollte. Leistungssportler werden von einigen Autoren als Personen mit anerkannt höherer Exposition gegenüber oxidativem Stress durch belastungsbedingt vermehrt anfallende freie Radikale bezeichnet (Biesalski, 1995; Watzl, 1996), was wiederum die Frage nach einem erhöhten Vitamin-E-Bedarf aufkommen lässt. Eine Konsensus-Konferenz hat 1995 eine tägliche Zufuhr von 15 mg bis 30 mg Vitamin E ( $\alpha$ -Tocopherol-Äquivalente) mit der Nahrung empfohlen (Biesalski, 1995), mit der Plasmakonzentrationen von gesunden Personen, die keinem besonderen oxidativen Stress ausgesetzt sind, von  $> 30 \mu\text{mol/L}$  erreicht werden sollen. Lachance (1996) nennt für Risikogruppen zum Schutz vor möglichen chronischen Erkrankungen einen idealen Bereich für die Vitamin-E-Zufuhr in Höhe von 23 mg - 100 mg am Tag, der seiner Ansicht nach auch für Leistungssportler empfohlen werden sollte. Allerdings muss beachtet werden, dass die Tocopherolabsorption dosisabhängig ist und deshalb bei höheren Zufuhren von z. B. 24 mg statt 12 mg am Tag von 54 % auf 30 % bzw. bei 200 mg am Tag auf nur etwa 10 % absinkt (DGE, 2000). Es fehlen derzeit immer noch genaue Angaben über die notwendige Zufuhr und exakte Daten über die Bilanzierung zu antioxidativen Vitaminen, insbesondere von Vitamin E, bei Risikogruppen, zu welchen auch Leistungssportler gezählt werden (Berg et al., 1998). Berg et al. (1992 b) sind der Auffassung, dass die bisher vorliegenden Erkenntnisse bei Trainierten keine überschießenden Peroxidationsraten unter

körperlicher Aktivität vermuten lassen. Lediglich unter besonderen Umständen wie z. B. bei Hypoxie in großen Höhen (Berg et al., 1987; Simon-Schnaß et al., 1987), oder bei Vorschädigungen wie z. B. durch Hypercholesterinämie oder Diabetes (Zahavi et al., 1981; Richter et al., 1987; Berg et al., 1990 a; Berg et al., 1991 a) gibt es bisher Anzeichen für eine Störung im Regulationssystem der peripheren Oxidation und eine damit verbundene Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit nach der Gabe von Antioxidantien wie Vitamin E. Li Li Ji (1995) kommt zu dem Entschluss, dass eine Supplementierung mit Antioxidantien, insbesondere mit Vitamin E, für körperliche aktive Personen gerechtfertigt sein kann, da langandauernde, intensive Trainingseinheiten eine vorübergehende Reduktion der Vitamin E-Konzentration im Gewebe verursachen können. Tanaka et al. (1989) berichtet von einer vierwöchigen Vitamin-E-Supplementierung in einer Höhe von 300 mg, welche eine trainingsbedingte Lipidperoxidation reduzieren konnte. In einer aktuellen Untersuchung von Dawson et al. (2002) zu einer vierwöchigen Vitamin-E- und -C-Supplementierung in einer Höhe von 500 mg bzw. 1000 mg am Tag wurden bei den Läufern, die diese Vitamine täglich einnahmen, keine reduzierten Muskelschäden nach einem Halbmarathon gegenüber der Kontrollgruppe (ohne Vitaminzufuhr) festgestellt. Auch Goldfarb (1992) ist der Ansicht, dass Vitamin-E-Supplementierungen bei Menschen, die verstärkt der Lipidoxidation ausgesetzt sind, noch nicht ausreichend untersucht sind und auch die Frage, ob zusätzliche Vitamin-E-Gaben trainingsbedingten oxidativen Stress bei mit Vitamin E ausreichend versorgten Athleten verhindern kann, erst noch beantwortet werden muss. Zudem besitzen regelmäßig trainierende Athleten ein verbessertes Schutzsystem wie z. B. die Glutathionperoxidase zur Bekämpfung von vermehrt auftretenden Radikalen (Garrow et al., 2002) während sportlicher Belastungen.

Der Hauptanteil des im Körper befindlichen Vitamin E ist im Fettgewebe und in der Muskulatur lokalisiert, zwei nicht leicht verfügbaren Vitamin-E-Speicher (Biesalski et al., 1997). Bei einer nicht ausreichenden Vitamin-E-Versorgung kommt es zu einem schnellen Absinken der Vitamin-E-Konzentrationen im Plasma und in der Leber, während der Spiegel im Fettgewebe und in der Muskulatur lange Zeit vollkommen unverändert bleibt. Für einen Vitamin-E-Mangel ist charakteristisch, dass sich nur bei schwersten Mangelzuständen akute Symptome wie z. B. eine verkürzte Halbwertszeit der Erythrozyten mit hämolytischer Anämie zeigen, während es bei marginalen Defiziten bzw. suboptimaler Versorgung erst nach längerer Zeit zu den bekannten pathologischen Folgen des oxidativen Stresses kommt. Bei einer unzureichenden Zufuhr über die Nahrung kann Vitamin E über längere Zeiträume in geringen Mengen aus den großen Speichern im Depotfett mobilisiert werden, so dass sich Mangelerscheinungen bei gefüllten Depots erst nach 1 bis 2 Jahren manifestieren (Biesalski et al., 1997). Nach Angaben der DGE (2000) spiegelt sich eine bedarfsdeckende Versorgung von Vitamin E in den Vitamin-E-Konzentrationen des Plasmas sowie auch in den Vitamin-E-Konzentrationen der Blutzellen wider. Zur weiteren Beurteilung der Vitamin-E-Versorgung wurden deshalb die Konzentrationen von Vitamin E im Plasma für die Athleten bestimmt. Die männlichen Sportler hatten im Durchschnitt eine Vitamin-E-Konzentration im Plasma von 1,05 mg/dl und die weiblichen von 1,12 mg/dl (Punkt 3.1.3.2.3). Die höchste Vitamin-E-Plasmakonzentration wiesen die weiblichen Ausdauersportler mit 1,20 mg/dl auf und die weiblichen Kampfsportler mit 0,94 mg/dl die geringste. Die Plasmakonzentrationen für Vitamin E

schwankten für die Athleten zwischen 0,65 mg/dl und 1,84 mg/dl. Nach Angaben von Behrens et al. (1982) ist bei Männern das LDL-Cholesterin der Hauptträger von Vitamin E, während dies bei Frauen das HDL-Cholesterin ist. Aufgrund dessen ergaben sich erwartungsgemäß signifikante positive Korrelationen zur Gesamtcholesterinkonzentration im Plasma ( $P < 0,05$ ). Je geringer die Vitamin-E-Konzentration im Plasma war, umso geringer war auch die Cholesterinkonzentration der Athleten im Plasma ( $P < 0,001$ ). Zwischen der zugeführten Menge an Vitamin E und der Plasmakonzentration von Vitamin E bestand für die Athleten keine signifikante Korrelation. Die DGE (2000) bezeichnet als Normalwerte für Erwachsene 0,5 mg/dl - 2,0 mg/dl Vitamin E im Plasma, wobei aufgrund der Ergebnisse zahlreicher Fallstudien (Eichholzer et al., 1996) Plasmakonzentrationen von mehr als 1,3 mg/dl (= 30  $\mu\text{mol/l}$ ) als präventiv gegen Krebs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei gesunden Erwachsenen und damit als wünschenswert angesehen werden. Dies betont auch Biesalski (1995) und hält eine Vitamin-E-Plasmakonzentration von 1,25 mg/dl für wünschenswert. Im Durchschnitt hatte keine der acht Sportgruppen sowie bei Betrachtung der Einzelwerte keiner der Athleten Plasmakonzentrationen für Vitamin E von weniger als 0,5 mg/dl. Allerdings wiesen insgesamt nur 17 % der Athleten (6 Jungen, 11 Mädchen) eine über 1,25 mg/dl liegende Vitamin-E-Plasmakonzentration auf und befanden sich somit im Bereich, der für eine Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen nach Angaben von Biesalski (1995) wichtig zu sein scheint. Obwohl 33 % aller Athleten ihren ermittelten Bedarf für Vitamin E nicht erreichen konnten, wiesen alle Athleten eine im Normbereich von über 0,5 mg/dl (DGE, 2000) befindliche Plasmakonzentration für Vitamin E auf. Deshalb schien aufgrund der im Normbereich liegenden Plasmakonzentrationen die Vitamin-E-Versorgung nach Angaben der DGE (2000) für die Athleten ausreichend, aber nach Auffassung von Biesalski (1995) aus präventiv-wirksamen Gründen für die Gesundheit der Athleten auf über 1,25 mg/dl verbesserungswürdig zu sein.

#### **4.1.3.9 Versorgung mit Vitamin B<sub>12</sub> und Folsäure unter der Einbeziehung von Homocystein**

Durchschnittlich hatten die männlichen Athleten eine tägliche Vitamin-B<sub>12</sub>-Aufnahme von 6,75  $\mu\text{g}$  am Tag und unterschieden sich signifikant von den weiblichen mit 3,82  $\mu\text{g}$  am Tag (Punkt 3.1.2.2). Die männlichen Ausdauersportler wiesen mit durchschnittlich 8,12  $\mu\text{g}$  die höchste Vitamin-B<sub>12</sub>-Zufuhr auf und die weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Sportarten mit 2,78  $\mu\text{g}$  am Tag die niedrigste. Die geringste Vitamin-B<sub>12</sub>-Aufnahme der Sportler betrug 0,77  $\mu\text{g}$  und die größte 17,0  $\mu\text{g}$  am Tag. Je höher die Energieaufnahme der Athleten war, umso mehr Vitamin B<sub>12</sub> wurde zugeführt ( $P < 0,001$ ). Ebenso korrelierte die Vitamin-B<sub>12</sub>-Aufnahme positiv mit der Zufuhr gesättigter Fettsäuren (in Gramm und in Prozent) und von Cholesterin ( $P < 0,05$ ), zwei hauptsächlich in tierischen Lebensmitteln vorkommende Nahrungsbestandteile. Aufgrund der bestehenden positiven Korrelationen wird eine bevorzugte Vitamin-B<sub>12</sub>-Zufuhr über den Verzehr von tierischen Produkten bei den Athleten angenommen. Jugendliche im Alter von 15 bis unter 19 Jahre sollten nach Angaben der DGE (2000) 3  $\mu\text{g}$  Vitamin B<sub>12</sub> am Tag zuführen. Nach Aussage der DGE (2000) werden mit der üblichen Ernährung in Mitteleuropa Vitamin-B<sub>12</sub>-Mengen zugeführt, die erheblich über dem Tagesbedarf liegen. Eine mit der Nahrung über die Empfehlung für Vitamin B<sub>12</sub> hinaus-

reichende Mehrzufuhr ist aber unbedenklich (DGE, 2000). Mit Ausnahme der weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen, die nur 2,78 µg Vitamin B<sub>12</sub> aufnahmen und damit nicht einmal die empfohlene Tagesdosis für körperlich normal aktive, gesunde Menschen erreichten, führten die anderen Sportgruppen mehr als 3 µg Vitamin B<sub>12</sub> am Tag zu. Insgesamt nahmen dennoch 14 % der Athleten weniger als 3 µg Vitamin B<sub>12</sub> am Tag zu sich. Das über die Nahrung zugeführte Vitamin B<sub>12</sub> wird vom Organismus in die aktiven Coenzyme Adenosyl- und Methylcobalamin umgebaut, welche für den Abbau bestimmter Fettsäuren zuständig sind sowie u.a. auch bei der Überführung der Speicher- und Transportformen der Folsäure in ihre Wirkform eine wesentliche Rolle spielen (Parry, 1987). Eine strikt vegetarische Kost, die weder Fleisch noch Milchprodukte und Eier enthält, kann eine unzureichende Vitamin-B<sub>12</sub>-Zufuhr bewirken. Vitamin B<sub>12</sub> ist neben Vitamin B<sub>6</sub> und Folsäure für die Blutbildung sehr wichtig. Diese spielt für den Sportler aufgrund eines gesteigerten Verbrauchs von Sauerstoff, welcher über das Blut transportiert wird, wegen der körperlichen Belastung eine große Rolle.

Zusätzlich führten sieben Athleten durchschnittlich 0,80 µg Vitamin B<sub>12</sub> über Zusatzpräparate zu (Punkt 3.1.2.4). Sechs von den sieben Athleten nahmen bereits ohne Präparat mehr als 3 µg Vitamin B<sub>12</sub> zu sich und ein Athlet konnte auch mit Einnahme des Nahrungsergänzungsmittels nicht die gewünschte Tagesdosis erreichen. Für 14 % der Athleten schien die Vitamin-B<sub>12</sub>-Versorgung unzureichend zu sein und sollte durch anschließende Bestimmungen der Vitamin-B<sub>12</sub>-Plasmakonzentrationen überprüft werden.

Nach Angaben einiger Autoren eignet sich zur Beurteilung der Bedarfsdeckung von Einzelpersonen die Messung der Vitamin-B<sub>12</sub>-Konzentration im Blutplasma sowie auch die Bestimmung hämatologischer Parameter (Herbert, 1987; Narayanan et al., 1991; Stewart et al., 1970), da ein fortgeschrittener Vitamin-B<sub>12</sub>-Mangel infolge einer Störung der Zellbildung im Knochenmark zu einer Blutarmut mit charakteristischen, sehr großen roten Blutkörperchen (megaloblastäre Anämie) (Chanarin, 1990) führt. Zum Teil ist dies die Folge eines gestörten Folsäureumsatzes (DGE, 2000). Betroffen vom Vitamin-B<sub>12</sub>-Mangel sind vor allem die Myelopoese, der Gastrointestinaltrakt und das Nervensystem (Clemens, 1992). Da Vitamin B<sub>12</sub> in der üblichen Nahrung in ausreichenden Mengen vorhanden ist, sind ernährungsbedingte Mangelzustände deshalb außerordentlich selten und entwickeln sich erst nach mehrjähriger (frühestens nach 5 bis 10 Jahren) Vitamin-B<sub>12</sub>-freier Ernährung (Biesalski et al., 1997). Die Speicher (Leber) können über Jahre die für den Stoffwechsel erforderlichen Mengen bereitstellen. Nur bei strengen Veganern, die keine tierischen Produkte zu sich nehmen, wurden Perniziosa-ähnliche Anämieformen beschrieben (Chanarin et al., 1985). Im Durchschnitt befanden sich alle männlichen (513 pg/ml) und weiblichen (557 pg/ml) Athleten innerhalb des Referenzbereiches von 197 pg/ml bis 866 pg/ml (Punkt 3.1.3.2.3). Die geringste Vitamin-B<sub>12</sub>-Konzentration wurde mit 258 pg/ml und die größte mit 1100 pg/ml festgestellt. Zwischen den verschiedenen Sportgruppen und den Geschlechtern gab es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Vitamin-B<sub>12</sub>-Konzentrationen im Plasma. Abschließend kann gesagt werden, dass trotz einer unzureichenden Vitamin-B<sub>12</sub>-Zufuhr bei 14 % der Athleten über die Nah-

rung aufgrund im Normbereich befindlicher Plasmakonzentrationen von einer ausreichenden Vitamin B<sub>12</sub>-Versorgung für alle Athleten ausgegangen werden kann.

Bei den männlichen Athleten konnte mit durchschnittlich 238 µg am Tag eine signifikant höhere Folsäurezufuhr gegenüber den weiblichen mit 187 µg festgestellt werden (Punkt 3.1.2.2). Die männlichen Ausdauersportler hatten die größte Folsäure-Zufuhr (280 µg) und die weiblichen TK-Sportler die geringste (131 µg). Die geringste Folsäuremenge lag bei 57,1 µg und die größte bei 465 µg am Tag. Es bestanden signifikante positive Korrelationen zwischen der Folsäurezufuhr und der aufgenommenen Energie sowie auch zum Ballaststoffgehalt der Nahrung der Athleten ( $P < 0,001$ ). Jugendliche im Alter von 15 bis unter 19 Jahre sollten täglich 400 µg Folsäure am Tag zu sich nehmen (DGE, 2000). Bemerkenswert war, dass keine der männlichen und weiblichen Sportgruppen im Durchschnitt die empfohlene Tagesdosis von 400 µg für Folsäure erreicht haben. Von allen Athleten nahmen insgesamt nur zwei Ausdauersportler mehr als 400 µg Folsäure am Tag zu sich. Rokitzki et al. (1992) und Reggiani et al. (1989) berichten bei jungen Ringern bzw. jungen Gymnastinnen ebenfalls von einer geringen Folsäure-Zufuhr von durchschnittlich nur 211 µg bzw. sogar 38,5 µg am Tag. Nach Angaben der DGE (2000) reichen 50 µg bis 100 µg Folsäure am Tag aus, um Mangelsymptomen wie z. B. einer megaloblastischen Anämie entgegenzuwirken. Ein Folatmangel manifestiert sich an Zellsystemen mit hoher Zellteilungsrate. Dazu gehören neben den weißen und roten Blutkörperchen, die Zellen der Schleimhaut des Darms, sowie des Urogenital-Traktes (DGE, 2000). Bei suboptimaler Versorgung des Organismus mit Folsäure über die Nahrung steigen die Homocysteinkonzentrationen im Plasma an und stellen ein erhöhtes Risiko für Arteriosklerose dar (Boushey et al., 1995). Berücksichtigt man zusätzlich die Höhe der Homocysteinkonzentration im Plasma, als frühen Indikator einer unzureichenden Folatversorgung, so konnte gezeigt werden, dass erst bei einer regelmäßigen Aufnahme von ca. 400 µg Folat-Äquivalenten mit der Nahrung eine maximale Senkung des Homocysteinspiegel erreicht werden konnte. Einige Autoren berichten, dass bei einer noch höheren Folataufnahme mit der Nahrung keine wesentliche Beeinflussung des Homocysteinspiegels erreicht werden kann (Pietrzik und Brönstrup, 1997; Selhub et al., 1993). Deshalb wird eine tägliche Folatzufuhr von 400 µg mit der Nahrung empfohlen (O'Keefe et al., 1995; Sauberlich et al., 1987).

Neun Athleten der vorliegenden Studie nahmen zusätzlich durchschnittlich 73,0 µg Folsäure in Form von Zusatzpräparaten ein (Punkt 3.1.2.4). Zwei von neun Athleten konnten dadurch ihre Folsäure-Aufnahme gemäß der Empfehlung der DGE (2000) auf mindestens 400 µg verbessern, die restlichen sieben dagegen lagen immer noch niedriger als die geforderten 400 µg am Tag. Die maximal zugeführte Folsäuremenge betrug einschließlich des aufgenommenen Zusatzpräparates 513 µg am Tag. Die Unbedenklichkeitsgrenze für Folsäure liegt bei maximal 1400 µg Folsäure am Tag, zusammengesetzt aus 400 µg Folsäure über die Nahrung und maximal 1000 µg Folsäure über Zusatzpräparate (Food and Nutrition Board/Institute of Medicine, 1998). Nahezu alle Athleten (Ausnahme: 2 Athleten) hatten Schwierigkeiten die von der DGE (2000) empfohlene Tagesdosis für Folsäure von 400 µg zu erreichen. Folsäure ist enthalten in Hefe, Salaten, Gemüse, Obst, Leber, Eiern, Fisch, Bier, Kuhmilch und Milchprodukten (Biesalski et al., 1997). Nach Angaben von

Parry (1987) kann bei inadäquater Zufuhr relativ schnell ein Folsäure-Mangel auftreten. Auch nach Angaben von Biesalski et al. (1997) liegen die mit der Nahrung zugeführten Mengen an Folsäure meist nur wenig über dem Tagesbedarf, so dass es bei inadäquater Zufuhr relativ schnell zu einem Mangel kommen kann. Deshalb wurden unzureichende Versorgungszustände der Athleten mit Folsäure vermutet und daraufhin die Plasmakonzentrationen von Folsäure bestimmt.

Erstaunlicherweise befanden sich alle Athleten im bzw. sogar über dem empfohlenen Normbereich von 2,0 ng/ml bis 9,1 ng/ml (Punkt 3.1.3.2.3). Die geringste Folsäurekonzentration betrug 6,06 ng/ml und die größte 30,6 ng/ml. Das traf auch für die einzelnen Sportgruppen zu. Im Gegensatz zu der unzureichenden Folsäurezufuhr nahezu aller Athleten dieser Studie über die Nahrung, lassen die im Referenzbereich liegenden Plasmakonzentrationen eine ausreichende Versorgung der Athleten mit Folsäure vermuten. Biesalski et al. (1997) berichtet allerdings von stark fluktuierenden Serumfolatspiegeln, die keine endgültigen Aussagen über den Versorgungszustand mit Folsäure zulassen. Dagegen könnte der Folsäurespiegel in den Erythrozyten mehr Aufschluss über die Folsäureaufnahme in einem längeren Zeitraum geben (Parry, 1987). Diese wurden allerdings in der vorliegenden Studie nicht bestimmt. Es ist aber aus zahlreichen Studien bekannt, dass Folsäure eine große Bedeutung zur Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen durch eine Senkung des Homocysteinspiegels hat (Pietrzik et al., 1995). Homocystein entsteht bei der Übertragung von Methylgruppen aus Methionin. Zur Regenerierung wird es in einem Vitamin-B<sub>12</sub>-abhängigen Vorgang (Homocystein-Methyltransferase) remethyliert, wobei 5-Methyl-Tetrahydrofolsäure als Methylgruppendonator fungiert (Biesalski und Grimm, 1999). Bei suboptimalen Folsäurekonzentrationen im Blut kommt es zu einer unzureichenden Bereitstellung von Methylgruppen, um Homocystein in Methionin umzuwandeln (DGE, 2000). Es resultiert ein Anstieg der intrazellulären Homocysteinkonzentration. Da Homocystein zelltoxisch ist, wird es aus der Zelle ausgeschleust. Die Folge ist, dass die Konzentration des Homocysteins im Plasma ansteigt und nun das vaskuläre Gewebe, insbesondere das Endothel, den toxischen Effekten des Homocysteins ausgesetzt ist (Thomas, 2000). Wird die Homocysteinkonzentration im Plasma als funktioneller Marker eines optimalen Folatbedarfs eingesetzt, so sind Folatkonzentrationen im Plasma von 10 nmol/L erforderlich, um die Homocysteinkonzentration bei gesunden Personen unter 10 µmol/L zu halten (Brouwer et al., 1998). Deshalb wurden u. a. zur Überprüfung der Folsäure- und zugleich auch der Vitamin B<sub>12</sub>-Versorgung der Athleten die Homocysteinkonzentrationen im Plasma bestimmt.

Stein und McBride (1998) nennen als tolerierbare Obergrenze für die Homocysteinkonzentration im Plasma 12 µmol/l, da aus zahlreichen Studien bekannt ist, dass erhöhte Homocysteinkonzentrationen im Plasma mit einem gesteigerten Arterioskleroserisiko einhergehen und die Hyperhomocysteinämie ein unabhängiger Risikofaktor für den Herzinfarkt ist (Boushey et al., 1995). Sowohl die männlichen als auch die weiblichen Athleten befanden sich unterhalb von 12 µmol/l (Punkt 3.1.3.2.3). Die männlichen Athleten (9,39 µmol/l) hatten eine signifikant höhere Homocysteinkonzentration im Plasma als die weiblichen Athleten (8,43 µmol/l), wobei für Männer und Frauen unter 30 Jahren der gleiche Referenzbereich angenommen wird (Rasmussen et al., 1996). Die größte Homocysteinkonzentration im Plasma wiesen mit 9,59 µmol/l die männlichen Ausdauer-

sportler und die niedrigste mit 8,00  $\mu\text{mol/l}$  die weiblichen TK-Sportler. Die geringste Homocystein-konzentration einer Athletin betrug 3,25  $\mu\text{mol/l}$  und die größte eines Athleten 17,1  $\mu\text{mol/l}$ . Insgesamt hatten 8,01 % der Athleten (5 Jungen, 3 Mädchen) eine Homocysteinkonzentration von größer als 12  $\mu\text{mol/l}$ . In den Homocystein- bzw. Methioninstoffwechsel greifen außer Folsäure (metabolisch aktive Tetrahydrofolsäure) die Vitamine B<sub>12</sub> (Homocystein-Methyltransferase) und B<sub>6</sub> (Cystationinsynthase) ein. Ebenso spielt auch Vitamin B<sub>2</sub> beim Stoffwechsel der Folsäure in FAD-abhängigen Reaktionen eine Rolle (Thomas, 2000). Nach Angaben von Thomas (2000) liegen bei der milden bis moderaten Homocysteinerhöhung, welche bereits ein Risikofaktor für vaskuläre Erkrankungen wie z. B. koronare Herz-Erkrankungen, Bluthochdruck und Schlaganfall darstellen, die Homocysteinkonzentrationen im Plasma zwischen 13  $\mu\text{mol/l}$  und 24  $\mu\text{mol/l}$ . Im Mittel liegt dabei die Homocysteinkonzentration bei diesen Erkrankungen nur um 31 % höher als bei gesunden Kontrollen (Ueland et al., 1992). Stein et al. (1998) berichten von einem bereits erhöhten Atheroskleroserisiko bei Homocysteinkonzentrationen von 13  $\mu\text{mol/l}$  bis 15  $\mu\text{mol/l}$  im Plasma. Für die Mehrheit der Sportler der vorliegenden Studie (92 %) zeigten die relativ niedrigen Homocysteinkonzentrationen eine gute Versorgung mit den Vitaminen Folsäure und Vitamin B<sub>12</sub>. Bei den restlichen 8 % der Athleten konnten leicht erhöhte Homocysteinkonzentrationen festgestellt werden (Maximum: 17,1  $\mu\text{mol/l}$ ). Diese Athleten wiesen allerdings im Normbereich liegende Plasmakonzentrationen für Folsäure und Vitamin B<sub>12</sub> auf. Viele Studien konnten zeigen, dass sich die Homocysteinkonzentration im Plasma umgekehrt proportional zur Folsäurekonzentration im Plasma verhält. Für die Homocysteinkonzentration im Plasma der Athleten dieser Studie ergaben sich damit erwartungsgemäß sowohl mit den Plasmakonzentrationen von Folsäure, als auch von Vitamin B<sub>12</sub> negative, signifikante Korrelationen ( $P < 0,005$ ). Je höher die Plasmakonzentrationen von Folsäure bzw. Vitamin B<sub>12</sub> waren, desto niedrigere Homocysteinkonzentrationen im Plasma konnten festgestellt werden.

#### 4.1.3.10 Versorgung mit Kalzium

Die männlichen Athleten führten im Durchschnitt 1459 mg Kalzium am Tag zu sich und hatten damit eine signifikant höhere Kalziumzufuhr als die weiblichen Athleten mit 1043 mg am Tag (Punkt 3.1.2.2). Die männlichen Ausdauersportler hatten die höchste Kalziumzufuhr (1728 mg am Tag) und die männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen (717 mg am Tag) die geringste. Die Kalziumaufnahme der Athleten schwankte zwischen 392 mg und 3700 mg am Tag. Mit steigender Energie- und Eiweißzufuhr (in Gramm und in Gramm pro kg KG) der Athleten, stieg auch die Zufuhr von Kalzium signifikant an ( $P < 0,001$ ). Die Zufuhrempfehlung der DGE (2000) für die tägliche Kalziumaufnahme für männliche und weibliche Jugendliche im Alter von 15 bis unter 19 Jahre liegt bei 1200 mg. Im Gegensatz zu den männlichen Athleten führten die weiblichen Sportler zu wenig Kalzium zu sich. Ebenso konnten die weiblichen Ausdauer- und Kampfsportler mit 1140 mg bzw. 864 mg sowie die weiblichen und männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 776 mg bzw. 717 mg nicht die empfohlene Tagesdosis für Kalzium erreichen. Insgesamt nahmen 49 % der Athleten (32 Mädchen, 17 Jungen) weniger als die von der DGE empfohlene Kalziummenge von 1200 mg am Tag zu sich. Kalziumionen sind für die

Lebensfähigkeit jeder Zelle unerlässlich (DGE, 2000). Sie besitzen wichtige Funktionen bei der Stabilisierung von Zellmembranen, der intrazellulären Signalübermittlung, der Reizübertragung im Nervensystem, der elektromechanischen Kopplung im Muskel sowie bei der Blutgerinnung. Zudem stabilisieren Kalziumsalze die Hartsubstanzen wie Knochen und Zähne. Nach Angaben von Biesalski et al. (2002) besteht bei Sportlern aufgrund belastungsbedingter Adaptationsprozesse zur Kräftigung der Knochen ein erhöhter Kalziumbedarf. Konopka (1994) weist außerdem auf Kalziumverluste über den Schweiß in Höhe von 160 mg/l hin. Diese, beim Sportler vermehrt anfallenden Kalziumverluste müssen zusätzlich berücksichtigt werden. Insbesondere bei gewichtsbesessenen bzw. gewichtsreduzierenden Sportlerinnen kann nach Angaben des Autors der Kalziumbedarf nicht gedeckt werden. Bereits in jungen Jahren sollte aber auf eine Optimierung der maximalen Knochenmasse durch eine adäquate Kalziumzufuhr zur Vorbeugung einer Osteoporose Wert gelegt werden (DGE, 2000). Zusätzlich nahmen vier Athleten durchschnittlich 185 mg Kalzium am Tag über Nahrungsergänzungspräparate ein. Allerdings konnte ein Athlet von den vier auch dadurch nicht die empfohlene Tagesdosis für Kalzium erreichen und die anderen drei Sportler führten bereits mehr als 1200 mg am Tag zu. Die Kalziumabsorption wird durch Vitamin D gesteigert, während Oxalate, Phytate, Lignine und Uronsäuren die Bioverfügbarkeit von Kalzium herabsetzen können (DGE, 2000). Die mittlere Absorptionsrate liegt bei ca. 20 % bis 40 %, bei einer Schwankungsbreite von 10 % bis 60 % (Heaney und Recker, 1986). Da in der Literatur keine eindeutige Angabe zum Kalziummehrbedarf bei Sportlern gefunden werden konnte, muss abschließend daraufhin gewiesen werden, dass nahezu die Hälfte aller Athleten in der vorliegenden Studie nicht einmal die empfohlene Tagesdosis der DGE (2000) für Kalzium erreichen konnten. Diese mangelhaften Kalziumaufnahmen der Athleten können zu gesundheitlichen Problemen wie Osteoporose führen und sollten deshalb erhöht werden.

#### **4.1.3.11 Versorgung mit Magnesium**

Die Magnesiumzufuhr der männlichen Athleten betrug 457 mg am Tag und war signifikant verschieden zu den 336 mg der weiblichen Athleten (Punkt 3.1.2.2). Mit 544 mg am Tag hatten die männlichen Ausdauersportler die höchste Magnesiumzufuhr und die weiblichen Athletinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 243 mg am Tag die geringste. Die niedrigste Magnesiumzufuhr einer Athletin betrug 148 mg, wobei die größte bei 912 mg am Tag lag. Mit zunehmender Energiezufuhr der Athleten stieg die Aufnahme von Magnesium signifikant an ( $P < 0,001$ ). Die DGE (2000) empfiehlt männlichen und weiblichen Jugendlichen (15 bis unter 19 Jahre) 400 mg bzw. 350 mg Magnesium am Tag zuzuführen. Im Gegensatz zu den männlichen Athleten konnten die weiblichen die empfohlene Tagesdosis für Magnesium im Durchschnitt nicht erreichen. Dies traf auch für die männlichen und weiblichen Sportler der Kampf- (370 mg und 260 mg am Tag) und Technisch-kompositorischen Sportarten (267 mg bzw. 243 mg am Tag) zu. Insgesamt nahmen 44 % der Sportler (26 Mädchen, 18 Jungen) weniger Magnesium zu sich, als von der DGE für gesunde Menschen mit normaler, körperlicher Aktivität empfohlen werden. Für Leistungssportler wird sogar aufgrund hoher Schweißverluste (36 mg Magnesium pro Liter Schweiß; Konopka, 1994) von einer Bedarfserhöhung gesprochen, die eine größere Zufuhr erforderlich machen (DGE,

2000). Sportler mit unzureichender Magnesiumversorgung neigen vermehrt zu Muskelkrämpfen, ebenso klagen sie häufiger über unspezifische muskuläre Beschwerden (Berg und Keul, 1986). Deshalb sollte insbesondere für den Sporttreibenden eine ausreichende Magnesiumversorgung garantiert sein (Economos et al, 1992).

Magnesium wurde von 15 Athleten in einer durchschnittlichen Dosierung von 80,3 mg am Tag supplementiert (Punkt 3.1.2.4). Es ist dennoch verwunderlich, dass von den 15 Athleten zwei auch mit der Supplementierung nicht die Tagesempfehlung der DGE (2000) erreichen konnten, während die anderen 13 Athleten bereits ohne Magnesiumsupplementierung um ein Vielfaches über der empfohlenen Tagesdosis der DGE (2000) lagen. 20 % bis 30 % des mit der Nahrung zugeführten Magnesiums werden durch einen aktiven Transport und eine einfache Diffusion absorbiert (Schwarz, 1984). Dabei wird nach Angaben von (Spencer et al., 1994) die Absorptionsquote durch die angebotene Menge und die Löslichkeit des Magnesiumsalzes sowie durch den Gehalt der aufgenommenen Nahrung an Phytat, Ballaststoffen, Kalzium und langkettigen Triglyceriden beeinflusst. Zusammenfassend kann zur Magnesiumversorgung der Athleten gesagt werden, dass 44 % der Athleten nicht einmal die Zufuhrempfehlung der DGE erreichen konnten. Aufgrund dessen wird vermutet, dass diese Sportler keine dem Leistungssport adäquate Magnesiumversorgung aufwiesen können, was eine negative Beeinträchtigung der Muskulatur bis hin zu einer erhöhten Krampfneigung zur Folge haben kann.

#### **4.1.3.12 Versorgung mit Zink**

Es wurde eine mittlere Zinkzufuhr der männlichen Sportler von 13,6 mg am Tag festgestellt, die signifikant höher als 8,98 mg der weiblichen Athleten war (Punkt 3.1.2.2). Im Durchschnitt wiesen die männlichen Ausdauersportler die höchste und die weiblichen Kampfathleten die niedrigste Zinkzufuhr auf. Die geringste Zinkzufuhr einer Athletin betrug 2,23 mg (gewichtssreduzierende Kampfathletin) und die größte eines Athleten 24,8 mg (Ausdauersportler) am Tag. Je größer die Aufnahme von Energie und gesättigten Fettsäuren (in Gramm und Prozent) war, umso höher war auch die Zufuhr von Zink ( $P < 0,05$ ). Für die Altersklasse der 15- bis unter 19-jährigen liegt die Empfehlung der DGE (2000) für männliche und weibliche Jugendliche bei 10 mg bzw. 7 mg am Tag. Sowohl die männlichen als auch die weiblichen Athleten konnten diese Empfehlung im Durchschnitt erreichen. Dagegen befanden sich die weiblichen Sportler der Kampf- und Technisch-kompositorischen Sportarten mit 6,67 mg bzw. 6,84 mg unter den geforderten 7 mg Zink am Tag. 23 % der Athleten (10 Jungen, 13 Mädchen) nahmen zu wenig Zink zu sich. Die empfohlene Zufuhr der DGE (2000) wird mit der üblichen Mischkost von vielen Sportlern nicht erreicht (Berg und Keul, 1991). Eine ausreichende Bilanzierung der Zinkzufuhr ist aber gerade unter Bedingungen des Leistungssportlers zu beachten, weil Zink bei psychischer und körperlicher Mehrbelastung dem Organismus in größeren Mengen über den Urin, Stuhl und Schweiß verloren geht (Tab. 35).

Tab. 35: Angenommene Zinkbilanzierung im Leistungssport

	Tagesbilanzierung <sup>1</sup>	
	Normalpersonen	Sportler
Zinkzufuhr der DGE (2000) [mg]	Männer: 10 Frauen: 7	Keine Angabe Keine Angabe
Mittlere Absorptionsrate Absorbierte Menge [mg]	30 % Männer: 3,0 Frauen: 2,1	Keine Angabe Keine Angabe
Verluste in [mg]		
Gastrointestinal/Pankreas	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5
Urin	0,5 – 0,8	1,0 – 1,8
Schweiß	0,3 – 0,7	0,5 – 2,0
Hautabschilferung	ca. 0,05	ca. 0,05
Sonst. (Haare, Menstruation)	ca. 0,50	ca. 0,50
Wachstum, Repair	ca. 0,20	ca. 0,20
Mittlere Summe:	2,5 – 3,5	3,5 – 6,0

<sup>1</sup>: übernommen von Berg et al. (1996)

Bei dem von Berg et al. (1996) angenommenen Zinkverlust pro Tag müssten Sportler demzufolge bei einer Absorptionsrate von 30 % ca. 20 mg Zink zuführen, um ihre Verluste ausgleichen zu können. Allerdings können bei einer gesteigerten Schweißbildung durchaus noch höhere Zinkverluste angenommen werden. Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse von King und Turnlund (1989) geht die DGE (2000) von obligatorischen Verlusten von Zink über Exkrete und Haut beim Mann von 2,2 mg und bei der Frau von 1,6 mg/Tag aus. Bei einer gemischten Kost und einer durchschnittlichen Absorptionsrate für Zink von etwa 30 % ist für den Ersatz dieser Verluste als durchschnittlicher Bedarf eine tägliche Zufuhr von rund 7,5 mg für den Mann und 5,5 mg für die Frau notwendig. Unter der Berücksichtigung eines Variationskoeffizienten von 15 % für die statistische Verteilung des Bedarfs und eines Sicherheitszuschlages von 30 % ergeben sich nach Angaben der DGE (2000) die Zufuhrempfehlungen von 10 mg/Tag für den Mann und von 7,0 mg/Tag für die Frau. Die DGE (2000) hat ihre Zufuhrempfehlung für Zink wegen neuerer Erkenntnisse über die Absorptionsrate und den obligatorischen Verlusten von Zink verringert. Allerdings wird nach Angaben von Elmadfa und Leitzmann (1998) sogar von einem Zinkverlust von 1,2 mg pro Liter Schweiß ausgegangen. Wenn man nun berücksichtigt, dass Sportler unter intensiven, körperlichen Belastungen mehrere Liter Schweiß verlieren können, dann würde dies bereits einem Verlust von 3,6 mg Zink in drei Liter Schweiß entsprechen, welcher wiederum aufgrund der Absorptionsrate von 30 % durch eine Zufuhr von 12 mg Zink über die Nahrung ausgeglichen werden müsste. Neben der körperlichen Anstrengung hängt die Höhe des Schweißverlusts auch von klimatischen Faktoren ab, so dass Flüssigkeitsverluste von drei Liter pro Stunde durchaus realistisch sein können (Elmadfa und Leitzmann, 1998). Es stellt sich die Frage, ob die Empfehlung der DGE (2000) damit auch für Leistungssportler ausreichend sein kann. Zudem wird das über die Nahrung zugeführte Zink von zahlreichen Einflussfaktoren in der Absorption negativ beeinträchtigt. Hemmende Einflüsse auf die Zinkverwertung üben aus: Kasein, Kalzium, Phytinsäure, Stresssituationen, parasitäre Erkrankungen und Infektionen. Die Empfehlung der DGE (2000) für Zink berücksichtigt demzufolge nach nicht die erhöhten Verluste von Zink über Schweiß, Urin usw. für den Sportler.

Dennoch wird in der Literatur keine genaue Angabe für einen Mehrbedarf von Zink für Sportler gemacht. Insbesondere Sportler mit vegetarischer Ernährungsweise können aufgrund des geringeren Zinkgehalts in pflanzlichen Lebensmitteln gegenüber tierischen sowie auch wegen der negativen Beeinträchtigung zahlreicher in pflanzlichen Lebensmitteln vorkommenden und absorptionshemmenden Begleitstoffen anfällig für unzureichende Zinkversorgungszustände sein. Zusätzlich führten drei Athleten durchschnittlich 2,06 mg Zink in Form von Zusatzpräparaten zu sich (Punkt 3.1.2.4). Allerdings erreichten alle drei Sportler bereits ohne Zinksupplementierung die von der DGE (2000) empfohlene Zinkzufuhr.

Die Plasmakonzentrationen von Zink sollten zusätzlichen Aufschluss über den Versorgungszustand der Athleten mit Zink geben. Die mittlere Zinkkonzentration im Plasma betrug bei den Jungen 88,1 µg/dl und bei den Mädchen 88,0 µg/dl (Punkt 3.1.2.2). Die Werte befanden sich damit im Durchschnitt in den jeweiligen, methodenspezifischen Referenzbereichen von 72,6 und 127 µg/dl für Männer und zwischen 70,0 und 114 µg/dl für Frauen. Lokitch (1996) bezeichnet für Kinder Zinkkonzentrationen von 75 µg/dl bis 100 µg/dl als normal und Haralambie (1981) nannte eine Zinkkonzentration von 75 µg/dl als einen untersten Grenzwert für Sportler. Auch die durchschnittlichen Zinkkonzentrationen der verschiedenen Sportarten befanden sich über 80 µg/dl und lagen damit innerhalb des Normbereiches. Die weiblichen Kampfsportler wiesen die höchste Zinkkonzentration im Plasma (95,2 µg/dl) auf. Die weiblichen Ausdauersportler hatten die geringste Plasmakonzentration von Zink (81,9 µg/dl). Die geringste Zinkkonzentration einer Athletin wurde bei 65,9 µg/dl und die größte eines Athleten bei 117 µg/dl gemessen. Die Plasmakonzentrationen von Zink waren umso höher, je niedriger der Anteil der mit der Nahrung zugeführten Ballaststoffe bei den Sportlern war ( $P < 0,05$ ). 5 % der Sportler (3 Jungen, 2 Mädchen) wiesen Zinkplasmakonzentrationen auf, die sich unterhalb des Referenzbereiches von 72,4 µg/dl bzw. 70,0 µg/dl befanden. Insgesamt lagen 12 % der Sportler unterhalb von 75 µg/dl. Auch Berg et al. (1996) berichten, dass ca. 25 % der von ihnen untersuchten Leistungssportler nicht die sportmedizinisch geforderten Normwerte von mindestens 75 µg/dl Zink im Plasma erreichen. Bemerkenswert war außerdem, dass sich nahezu 54 % der Athleten (29 Jungen, 24 Mädchen) nur im unteren Drittel des Normbereiches befanden. Berg et al. (1996) berichtet von oftmals erniedrigten Zinkkonzentrationen im Plasma bei Leistungssportlern, die in Verbindung mit erniedrigten Enzymaktivitäten (z. B. Alkalische Phosphatase) als Zeichen einer generellen Unterversorgung mit diesem Spurenelement gedeutet werden können. Die Athleten mit den unterhalb des Referenzbereiches liegenden Zinkkonzentrationen im Plasma konnten in der vorliegenden Studie aufgrund der ausgewerteten Ernährungsprotokolle eine zumindest gemäß der DGE ausreichende Zinkzufuhr über die Nahrung aufweisen. Es ist allerdings auch zu beachten, dass ein verminderter Zinkspiegel auch als Zeichen einer stressinduzierten Zinkumverteilung interpretiert werden kann (Berg et al., 1992 b), welcher sich nach anschließender Erholungsphase wieder in die Normbereiche zurückbegibt. Zur Diagnose des Zinkstatus wird wegen seiner leichten Zugänglichkeit am häufigsten das Plasma oder Serum verwendet, dennoch sollte u. a. auch berücksichtigt werden, dass bei unzureichender Zinkversorgung Zink durch homöostatische Regulationsprozesse mobilisiert wird und es erst zu einer Änderung des Plasmaspiegels kommt, wenn die Kapazität der Homöostase überfordert ist (Kirch-

gessner, 1993). Dabei werden z. B. bei Fehlernährung die Serumkonzentrationen durch die Freisetzung von Zink aus dem Muskelgewebe konstant gehalten (Biesalski et al., 1997). Ein Zinkmangel ist im Serum lange Zeit nicht erkennbar, da Muskulatur und Knochen reichlich Zink freisetzen können, wenn sie auch keine eigentlichen Speicherorgane für Zink sind. Abschließend kann gesagt werden, dass 23 % der Athleten nicht einmal die Empfehlung der DGE für Zink erreicht haben und 12 % aller Athleten zudem eine erniedrigte Zinkkonzentration im Plasma aufwiesen, was eine nicht ausreichende Zinkversorgung dieser Athleten vermuten lassen kann. Allerdings sollten zur genaueren Diagnose einer unzureichenden Zinkversorgung bzw. eines Zinkmangels weitere Parameter wie z. B. die zinkabhängige Enzymaktivität der Alkalischen Phosphatase oder die Zink-Bindungskapazität im Plasma herangezogen werden (Roth und Kirchgessner, 1980 a und 1980 b).

#### **4.1.3.13 Eisenzufuhr und Hämoglobinkonzentration**

Die durchschnittliche Eisenzufuhr lag bei den männlichen Sportlern bei 15,8 mg am Tag und war signifikant höher gegenüber den weiblichen mit 11,5 mg am Tag (Punkt 3.1.2.2). Die männlichen Ausdauersportler hatten mit 18,9 mg am Tag die höchste Eisenzufuhr, dagegen die weiblichen Athletinnen der Technisch-kompositorischen Disziplinen mit 8,50 mg Eisen die niedrigste. Die geringste Eisenzufuhr einer Sportlerin lag bei 4,28 mg Eisen und die größte eines Athleten bei 29,3 mg Eisen am Tag. Es bestand eine positive Korrelation zwischen der Zufuhr von Energie und der Eisenaufnahme der Athleten ( $P < 0,001$ ). Die Empfehlung der DGE (2000) für die Eisenzufuhr liegt für männliche Jugendliche (15 bis unter 19 Jahre) bei 12 mg und für weibliche bei 15 mg am Tag. Nach Angaben von de Groot et al. (2001) kommt insbesondere dem Eisenbedarf bei Sportlern eine große Bedeutung zu, da sich der Eisenbedarf durch die Eisenverluste mit dem Schweiß (1,2 mg/l; Konopka, 1994), den höheren Sauerstoffumsatz und dem damit verbundenen höheren Bedarf an Hämoglobin sowie auch durch die größere Gesamtblutmenge und der damit höheren Menge an Hämoglobin erklären lässt. Die Autoren sind deshalb der Auffassung, dass der Tagesbedarf an Eisen bei den männlichen Athleten um ca. 2 mg und bei den weiblichen Athleten um ca. 3 mg am Tag erhöht ist. Im Durchschnitt lagen die weiblichen Athleten sogar unterhalb der Zufuhrempfehlung der DGE für Eisen. Auch die weiblichen Athleten der Kampf- (8,98 mg) und Technisch-kompositorischen Disziplinen (8,50 mg) sowie die männlichen Sportler der Kampf- (12,1 mg), Kraft- (14,6 mg) und Technisch-kompositorischen Sportarten (10,2 mg) konnten nicht einmal die von der DGE empfohlene Eisenzufuhr erreichen. Insgesamt haben 55 % der Athleten (39 Mädchen, 15 Jungen) nicht die von der DGE empfohlene Eisenzufuhr erreicht. Eisen ist ein wichtiger Bestandteil zahlreicher sauerstoff- und elektronenübertragender Wirkgruppen (Hämoglobin und Myoglobin; verschiedene Enzyme, z. B. Zytochrome oder Ribonucleotidreduktase) (DGE, 2000). Eine chronisch erniedrigte Eisenzufuhr über die Nahrung führt zu Eisenmangelanämien, welche die körperliche Leistungsfähigkeit enorm beeinträchtigen, die Thermoregulation stören und die Anfälligkeit gegenüber Infektionen erhöhen. Insbesondere für Frauen ergeben sich aufgrund erhöhter Eisenverluste von mindestens 15 mg im Monat durch die Menstruation unzureichende Eisenversorgungszustände (DGE, 2000).

Insgesamt verwendeten sieben Athleten ein eisenhaltiges Nahrungsergänzungspräparat, welches Eisen in einer Dosierung von durchschnittlich 31,3 mg enthielt (Punkt 3.1.2.4). Allerdings konnte damit nur eine Athletin ihre Eisenzufuhr gemäß der Empfehlung der DGE (2000) ausreichend verbessern. Bei der Auswertung der Ernährungsprotokolle hinsichtlich der Eisenzufuhr konnte nicht zwischen der Aufnahme von Häm- und Nicht-Hämeisen differenziert werden, obgleich dies für die Verfügbarkeit des aufgenommenen Eisens von großer Bedeutung ist. Narasinga (1981) geht davon aus, dass eine gemischte Kost am Tag 5 mg bis 15 mg Nicht-Hämeisen aus pflanzlichen Lebensmitteln und 1 mg bis 5 mg Hämeisen aus tierischen Lebensmitteln enthält. Während die Verfügbarkeit von Hämeisen in Lebensmitteln tierischer Herkunft bei über 20 % liegt, wird die Resorption von Nicht-Hämeisen durch absorptionshemmende Liganden wie z. B. Tannine, Lignine, Oxalsäuren, Phytate und Phosphate in vegetabilen Lebensmitteln wie Getreide, Vollkornreis, Mais, Erbsen, Bohnen und Linsen gehemmt (Momsen, 1988). Zudem vermindern Weizenkleie, Kalziumsalze und Milchprodukte, Sojaprodukte, schwarzer Tee und Kaffee u. v. m. die Resorption von Eisen. Resorptionsfördernd auf die Aufnahme von Nicht-Hämeisen wirken sich Ascorbinsäure oder Zitronensäure (in Früchten) aus. Aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren auf die Verfügbarkeit des Nicht-Hämeisen wird angenommen, dass insgesamt aus pflanzlichen Lebensmitteln kaum mehr als 5 % resorbiert werden (DGE, 2000). Nach WHO-Angaben liegt die mittlere Resorptionsrate von Eisen aus der Nahrung in den meisten industrialisierten Ländern ungefähr zwischen 10 % und 15 % und steigt im Falle eines Eisenmangels auf das 2- bis 3fache an (FAO/WHO, 1988). Abschließend kann festgestellt werden, dass über die Hälfte der Athleten, insbesondere aber die weiblichen, nicht einmal die von der DGE empfohlene Tagesdosis für Eisen erreichen konnten.

Zur genaueren Betrachtung der Eisenversorgung wurden zusätzlich die Hämoglobinkonzentrationen der Sportler im Vollblut herangezogen. Die Hämoglobinkonzentration ist gemeinsam mit dem Hämatokrit und der Erythrozytenzahl ein wichtiges Kriterium zur Diagnostik und Differenzierung von u.a. Anämien (Thomas, 2000). Die männlichen Athleten hatten eine Hämoglobinkonzentration von 15,3 g/dl und lagen damit signifikant höher als die weiblichen mit 14,5 g/dl (Punkt 3.1.3.1). Die höchste Hämoglobinkonzentration mit 15,7 g/dl wiesen die männlichen Ausdauersportler auf, dagegen konnte bei den männlichen TK-Sportlern die geringste mit 14,0 g/dl gefunden werden. Die Hämoglobinkonzentrationen der Athleten schwankten zwischen 11,7 g/dl und 18,5 g/dl. Je weniger Eisen von den Athleten zugeführt wurde, umso niedriger waren auch die Hämoglobinkonzentrationen der Athleten ( $P < 0,05$ ). Nach Angaben von Thomas (2000) handelt es bei einer Hämoglobinkonzentration von 13,0 g/dl für Männer und 12,0 g/dl für Frauen um Hämoglobin-Grenzwerte für Anämien. Der Referenzbereich für Hämoglobin liegt für Männer zwischen 14 g/dl und 18 g/dl, und für Frauen zwischen 12 g/dl und 16 g/dl (Thews et al., 1999). Sowohl die männlichen, als auch die weiblichen Athleten der vier Sportarten befanden sich im Durchschnitt innerhalb des jeweiligen Referenzbereiches. Dennoch hatten 9 % der Athleten (8 Jungen, 1 Mädchen) Hämoglobinkonzentrationen, die unterhalb, und 7 % (1 Junge, 6 Mädchen), die oberhalb des entsprechenden Referenzbereiches lagen. Eine weibliche Athletin (11,7 g/dl) und ein männlicher Sportler (12,8 g/dl) hatten sogar Hämoglobinkonzentrationen unterhalb des genannten Grenz-

wertes für Anämien. Abschließend muss gesagt werden, dass eine Beurteilung des Eisenstoffwechsels beim Sportler sowie die Interpretation der Hämoglobinkonzentrationen aus sportmedizinischer wie auch labormedizinischer Sicht nicht ganz einfach ist (Berg et al., 1995), da akut erniedrigte Hämoglobinwerte im Anschluss an eine erschöpfende Belastung oder im Rahmen eines Trainingsprogramms oftmals Ausdruck einer ablaufenden Ganzkörperreaktion auf den erfolgten muskulären Stress sein können. Aufgrund dessen kommt nach Ansicht der Autoren erniedrigten Hämoglobinwerten keine große pathophysiologische Bedeutung zu, da erfahrungsgemäß innerhalb einer anschließenden Regenerationsphase eine schnelle Normalisierung der Hämoglobinkonzentrationen beobachtet werden kann. Im Gegensatz zu der großen Anzahl der Sportler, die nicht einmal die empfohlene Tagesdosis der DGE (2000) für Eisen erreichten, konnten für 9 % der Athleten unterhalb des Referenzbereiches liegende Hämoglobinkonzentrationen festgestellt werden, wobei zwei Athleten sogar die Grenzwerte für Anämien unterschritten haben. Insbesondere bei diesen zwei Athleten wird eine unzureichende Eisenversorgung vermutet.

#### **4.1.4 Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben**

##### **4.1.4.1 Cholesterinkonzentrationen im Plasma**

Es ist bekannt, dass insbesondere außerhalb der Norm liegende Cholesterinkonzentrationen eine der wichtigsten Risikofaktoren für koronare Herzkrankheiten darstellen (Billmann et al., 1994). Die Bestimmung der Gesamt-Cholesterinkonzentration dient zur Früherkennung eines Atherosklerose-Risikos und stellt eine Basisgröße dar, die Auskunft gibt, ob weitere Lipoproteinstoffwechsel-Untersuchungen durchgeführt werden sollten (Thomas, 2000). Weitere wichtige Information über die Höhe des Cholesterinspiegels und seiner gesundheitsbeeinträchtigenden Wirkung werden durch die Klassifizierung des Cholesterins in LDL- und HDL-Cholesterin gewonnen. Diese sind für den Transport zuständig und spielen in der Pathogenese eine gegensätzliche Rolle. Während das Cholesterin in der Nahrung die Cholesterinkonzentration im Plasma nur geringfügig erhöht, führen insbesondere zu hohe Energieaufnahmen sowie auch eine hohe Zufuhr von gesättigten Fettsäuren zu einem Anstieg dieser (DGE, 2000). Sowohl durch die Fettmenge als auch durch das richtige Verhältnis zwischen gesättigten und ungesättigten Fettsäuren in der Nahrung sowie durch körperliche Aktivität kann auf Dauer positiv auf die Cholesterinkonzentration im Plasma eingewirkt werden (Hayes und Khosla, 1992; Yu-Poth et al., 1999). Ebenso wirkt sich der Verzehr von ballaststoffhaltigen Lebensmitteln günstig auf die Cholesterinkonzentration im Plasma aus (Brown et al., 1999). Bei übergewichtigen Menschen kann im Vergleich zu Normalgewichtigen eine gesteigerte, körpereigene Cholesterinsynthese festgestellt werden. So kann durch eine Normalisierung des Körpergewichtes ein positiver Effekt auf die Höhe der Cholesterinkonzentration im Plasma ausgeübt werden. Außerdem weisen bestimmte Parameter von Hyperlipoproteinämien darauf hin, dass insbesondere genetische Faktoren die Serum-Cholesterinkonzentrationen bestimmen und beeinflussen können (Elmadfa und Leitzmann, 1998). So kann ein genetisch-bedingter Mangel an LDL-Rezeptoren eine erhöhte LDL-Cholesterinkonzentration im Plasma verursachen. Die durchschnittliche Cholesterinkonzentration im Plasma der männlichen Athleten betrug 150 mg/dl und der weiblichen 161 mg/dl (Punkt 3.1.3.2.2). Die weiblichen Kraftsportler wiesen mit 180 mg/dl die höchste

Cholesterinkonzentration auf, während für die männlichen Ausdauersportler mit 145 mg/dl die geringste Cholesterinkonzentration festgestellt wurde. Stockbridge et al. (1989) bezeichnen eine Cholesterinkonzentration von unter 200 mg/dl als normal. Dagegen sind Konzentrationen zwischen 200 mg/dl und 240 mg/dl als zu beachtende Grenzwerte einzustufen und eine Cholesterinkonzentration von mehr als 240 mg/dl gilt als behandlungsbedürftig. Nach Angaben der European Atherosclerosis Society (1992) sind Plasmacholesterinwerte von über 200 mg/dl mit einem erhöhten Risiko für die koronare Herzkrankheit behaftet. Dieses Risiko wird umso größer je höher die Cholesterinkonzentration ist. Auch bei Kindern und Jugendlichen sollten deshalb Gesamt-Cholesterinwerte von mehr als 200 mg/dl weiter abgeklärt werden und als hoch betrachtet werden (Thomas, 2000). Insgesamt wiesen 11 % der Sportler eine Cholesterinkonzentration im Plasma von mehr als 200 mg/dl auf, wobei ein Athlet sogar über 240 mg/dl lag (248 mg/dl). An dieser Stelle muss noch einmal auf den Einfluss von genetischen Faktoren auf die Höhe des Cholesterinspiegels hingewiesen werden, auf welchen in dieser Studie nicht näher eingegangen wurde. Für den größten Teil der Sportler (89 %) ließen sich niedrige und damit gut im Referenzbereich liegende Cholesterinkonzentrationen feststellen. Es bestand keine signifikante Korrelation zwischen der Aufnahme gesättigter Fettsäuren und der Cholesterinkonzentration im Plasma für die Athleten sowie auch nicht zwischen der Cholesterinkonzentration im Plasma und einzelnen anthropometrischen Daten der Sportler (Alter, Gewicht, BMI, Körperfett). Es wurden lediglich bei fünf Athleten (1 Junge, 4 Mädchen) erhöhte Cholesterinkonzentrationen im Plasma und zugleich erhöhte Aufnahmen gesättigter Fettsäuren über die Nahrung festgestellt.

#### **4.1.4.2 Triglyceridkonzentrationen im Plasma**

Ebenso wie die Cholesterinkonzentrationen im Plasma stellt die Triglyceridkonzentration im Plasma ein Risikofaktor der Arteriosklerose dar (DGE, 2000). Insbesondere mit erhöhten LDL-Cholesterinkonzentrationen sind erhöhte Triglyceridgehalte als ein hoher Risikofaktor für koronare Herzkrankheiten einzustufen (Thomas, 2000). Überernährung und Übergewicht sind die häufigsten Ursachen erhöhter Triglyceridkonzentrationen im Plasma (Biesalski et al., 1999). Die Triglyceridkonzentration im Plasma wird durch eine hohe Zufuhr gesättigter Fettsäuren sowie auch durch zu hohe Energieaufnahmen angehoben (DGE, 2000). Eine hyperkalorische Kost sowie auch der Konsum von Alkohol steigern die Triglyceridsynthese in der Leber. Ein hoher Verzehr von Kohlenhydraten, insbesondere von Mono- und/oder Disacchariden, führt ebenfalls über eine gesteigerte hepatische VLDL-Triglyceridsynthese zu einer erhöhten Triglyceridkonzentration im Plasma (Biesalski et al., 1999). Das Ausmaß des Anstieges ist allerdings individuell unterschiedlich und bei Normolipidämie ohne klinische Relevanz. Die männlichen Athleten hatten eine durchschnittliche Triglyceridkonzentration von 72,9 mg/dl und die weiblichen von 77,8 mg/dl im Plasma (Punkt 3.1.3.2.2). Schettler und Nüssel (1975) bezeichnen Triglyceridkonzentrationen, die geringer sind als 150 mg/dl, als normal, während Werte zwischen 150 mg/dl und 200 mg/dl als beachtenswert gelten und Konzentrationen von mehr als 200 mg/dl als erhöht anzusehen sind. Die männlichen und weiblichen Athleten wiesen geringere Triglyceridkonzentrationen als 150 mg/dl im Plasma auf. Das traf auch für alle Sportarten zu. Die weiblichen Athleten der Technisch-kompositorischen

Sportarten hatten mit 83,9 mg/dl die höchste Triglyceridkonzentration und die männlichen Athleten dieser Sportgruppe mit 56,0 mg/dl die geringste. Die größte Triglyceridkonzentration im Plasma von allen Athleten betrug 195 mg/dl. 5 % der Athleten hatten über 150 mg/dl befindliche Triglyceridkonzentrationen, wobei für zwei Athleten zusätzlich über 200 mg/dl liegende Cholesterinkonzentrationen festgestellt wurden. Einer dieser beiden Athleten hatte zusätzlich einen BMI-Wert von 23,5 kg/m<sup>2</sup> sowie auch einen Körperfettanteil von 21,7 %, so dass ein ungünstiges Körpergewicht als Ursache für diesen erhöhten Wert vermutet wird. Aus gesundheitlichen Gründen sollte er durch eine Gewichtsreduzierung und eine bewusste Ernährung eine Verminderung der Cholesterin- und Triglyceridkonzentration anstreben, da bereits in jungen Jahren unter diesen Umständen ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen besteht. Der Konsum von alkoholhaltigen Getränken könnte ebenfalls einen Anstieg der gemessenen Triglyceridkonzentrationen im Plasma der anderen Athleten (N = 3) bewirkt haben. Insgesamt waren dennoch für 95 % der Athleten die Triglyceridkonzentrationen im Plasma als gering anzusehen. Aufgrund der Tatsache, dass die Athleten insgesamt weniger Energie zuführten als ihrem geschätzten Energiebedarf entsprach, schienen auch die zugeführten Mono- und Disaccharide einiger Athleten, insbesondere in Form von Süßigkeiten, keinen Einfluss auf die Höhe der Triglyceridkonzentrationen zu haben. Es bestanden diesbezüglich keine signifikanten Korrelationen für die Athleten.

#### 4.1.4.3 Kreatininkonzentrationen im Plasma

Die Bestimmung von Kreatinin im Plasma erfolgt routinemäßig oder z. B. bei Verdacht auf akute oder chronische Nierenerkrankungen. Das in Leber, Pankreas und Nieren gebildete Kreatin wird im Muskelgewebe in energiereiches Kreatinphosphat umgewandelt. Kreatinphosphat dient im Muskel als Energiespeicher und -transporter. Beim Zerfall von Kreatin und Kreatinphosphat entsteht auf nichtenzymatischem Weg Kreatinin, das vollständig durch glomeruläre Filtration eliminiert wird. Kreatinin hat keine besondere Bedeutung für den Körper, da es aber fast vollständig filtriert wird, wird es zur Überprüfung der Nierenfunktion verwendet. Die durchschnittliche Kreatininkonzentration der männlichen Athleten betrug 0,78 mg/dl und der weiblichen 0,74 mg/dl (Punkt 3.1.3.1). Für die weiblichen Kampfsportler konnte die höchste (0,83 mg/dl) und für die weiblichen Ausdauerathleten die geringste Kreatininkonzentration im Plasma (0,68 mg/dl) festgestellt werden. Die Kreatininkonzentrationen der Athleten schwankten zwischen 0,43 mg/dl und 1,24 mg/dl. Für die Männer liegt der Normbereich für die Kreatininkonzentration im Plasma zwischen 0,7 mg/dl bis 1,1 mg/dl und für Frauen zwischen 0,6 mg/dl bis 0,9 mg/dl. Sowohl die männlichen als auch die weiblichen Athleten befanden sich im Durchschnitt in den jeweiligen Referenzbereichen. Zwischen den Geschlechtern gab es keine signifikanten Unterschiede. Bis auf die männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Sportarten, die eine durchschnittliche Kreatininkonzentration im Plasma von 0,69 mg/dl hatten, befanden sich alle männlichen und weiblichen Athleten der verschiedenen Sportarten im Durchschnitt in den angegebenen Referenzbereichen. Insgesamt hatten dennoch 15 % der Sportler (13 Jungen, 2 Mädchen) unterhalb des Referenzbereiches und 6 % der Athleten (1 Junge, 5 Mädchen) oberhalb des Referenzbereiches befindliche Kreatininkonzentrationen im Plasma. Je höher die aufgenommene Eiweißmenge [g] der Athleten war, umso höher

waren auch die Kreatininkonzentrationen im Plasma ( $P < 0,001$ ). Zu niedrige Kreatininwerte können auch auf eine zu geringe Muskelmasse oder eine Schwangerschaft hindeuten (Thomas, 2000). Eine Verminderung der Muskelmasse führt zu erniedrigten Kreatininkonzentrationen im Plasma. 13 von diesen 15 Athleten hatten bereits niedrige Körperfettwerte, so dass im Falle einer unzureichenden Energiezufuhr und bei den hohen Trainingsbelastungen die Muskelmasse vermindert werden könnte und sich so niedrige Kreatininkonzentrationen im Serum ergeben könnten. Ansonsten gibt es weitere Einflussfaktoren auf die Kreatininkonzentration im Plasma, zu welchen das Geschlecht (Männer mehr als Frauen), das Alter (Jüngere mehr als Ältere) sowie auch die tägliche Kreatinin- und Proteinaufnahme (je größer umso mehr) über die Nahrung und die Nierenfunktion des Körpers (Thomas, 2000) zählen. Mit zunehmender Energiezufuhr nahm auch die Kreatininkonzentration im Plasma der Athleten dieser Studie zu ( $P < 0,001$ ). Außerdem beeinflussen Hydratation, Aktivität des sympathischen Nervensystems und körperliche Belastung die glomeruläre Filtrationsrate der Niere (GFR) und damit den Kreatininwert im Plasma. 6 Athleten wiesen oberhalb des Referenzbereiches liegende Kreatininkonzentrationen im Plasma auf, welche sich aufgrund von Nierenschwäche oder bei Zerstörung von Muskelmasse durch Quetschungen ergeben können. Ursache für die Nierenfunktionsstörung können Schädigungen der Niere z. B. durch Medikamente, entzündliche Prozesse in den Nieren oder aber auch chronische Erkrankungen sein. Seltener ist eine schwere Herzschwäche die Ursache dafür. Ebenso kann ein starkes, körperliches Training die Kreatininkonzentration im Plasma in Abhängigkeit von der Muskelmasse deutlich erhöhen (Thomas, 2000). Je höher der Leistungsumsatz der Athleten in der vorliegenden Studie war, umso höher war auch die Kreatininkonzentration im Plasma ( $P < 0,01$ ). Ebenso wiesen die Athleten mit höherem Körpergewicht eine höhere Kreatininkonzentration im Plasma auf als die mit geringerem Gewicht ( $P < 0,001$ ), was auch für den BMI gefunden werden konnte ( $P < 0,001$ ).

#### **4.1.4.4 Aktivität der Glutathionperoxidase im Plasma**

Aufgrund der Tatsache, dass freie Radikale in allen Körperzellen entstehen können, enthalten die Zellen zu ihrer Neutralisation antioxidative Schutzsysteme. Dazu gehört u. a. die selenabhängige Glutathionperoxidase (GSH-Px), die aus Wasserstoffperoxiden oder organischen Peroxiden Wasser ( $H_2O$ ) und oxidiertes Glutathion (GSSG) entstehen lässt. Peroxide ( $H_2O_2$ ) sind zwar nicht zelltoxisch, wirken aber dennoch prooxidativ, da sie in Verbindung mit Metallionen wie z. B. Eisen oder Kupfer in toxische Hydroxylradikale ( $HO\cdot$ ) umgewandelt werden (Thomas, 2000). Erhöhte Konzentrationen können strukturelle und funktionelle Veränderungen von Lipiden, Proteinen und der DNA bewirken. Die Messung der Enzymaktivität der GSH-Px im Plasma erfolgte, um Rückschlüsse auf den Selenstatus der Athleten zu erlangen. Rudolph and Wong (1978) fanden in ihren Untersuchungen eine hohe Korrelation zwischen der Enzymaktivität der GSH-Px und der Selenkonzentration im Plasma. Nach Angaben von Pleban et al. (1982) kann die Enzymaktivität der GSH-Px lediglich ergänzende Aussagen zum Selenstatus treffen, aber die Bestimmung der Selenkonzentration zur Erfassung des Selenstatus nicht vollständig ersetzen. Aus technischen Gründen konnte die Selenkonzentration im Plasma für die Athleten der vorliegenden Studie nicht bestimmt werden, so dass auf der Basis der gewonnen Ergebnisse bestenfalls Hinweise zum Versorgungs-

zustand der Athleten mit Selen gewonnen werden können. Außerdem sollte die Fragen nach möglichen signifikanten Unterschieden zwischen den verschiedenen Sportgruppen beantwortet werden. Die durchschnittliche Enzymaktivität der GSH-Px betrug bei den Jungen 600 U/l und bei den Mädchen 580 U/l (Punkt 3.1.3.1). Die höchste Enzymaktivität der GSH-Px wiesen die männlichen Kampfsportler mit 631 U/l auf und die niedrigste die weiblichen Athleten dieser Sportgruppe mit 545 U/l. Die Enzymaktivität der GSH-Px schwankte für die Athleten zwischen 277 U/l und 965 U/l. Es gab zwischen den acht verschiedenen Sportgruppen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Enzymaktivität der GSH-Px im Plasma. Kauf et al. (1998) berichten von einer mittleren GSH-Px-Aktivität bei 10- bis 17jährigen Schülern in einer Höhe von 101 U/l. Dagegen bezeichnen Bulucu et al. (2000) eine Enzymaktivität der GSH-Px von gesunden Probanden mit 309 U/l für normal. Garrow et al. (2000) berichten bei Athleten von einem erhöhten Spiegel der GSH-Px, neben anderen wichtigen antioxidativ-wirksamen Enzymen, und deuten dies als Zeichen einer physiologischen Adaptation aufgrund höherer oxidativer Stresszustände während regelmäßiger sportlicher Belastung. Nach Angaben von Poprzecki et al. (1997) führte ein viermonatiges Hürden-training der Athleten zu einem signifikanten Anstieg der Enzymaktivität der GSH-Px. Eine trainingsbedingte Adaptation könnte auch für die Athleten der vorliegenden Studie vorhanden sein, da diese im Gegensatz zu den berichteten Enzymaktivitäten der GSH-Px einheitlich höhere Werte aufwiesen. Deshalb wurde zudem eine ausreichende Selenversorgung der Sportler vermutet, die keinen erhöhten oxidativen Stress aufgrund einer stark reduzierten Enzymaktivität der GSH-Px erkennen ließ. Erniedrigte Aktivitäten der GSH-Px können auch nach Angaben von Ginevri et al. (1989) und Asami et al. (1990) als Zeichen von oxidativen Stress gedeutet werden sowie mit einer unzureichenden Selenversorgung in Verbindung gebracht werden (Poprzecki et al., 1997). Da auch die niedrigste Enzymaktivität der GSH-Px mit 277 U/l einer 12jährigen Ausdauersportlerin immer noch über dem Kauf et al. (1998) berichteten Wert von 101 U/l für 10- bis 17jährigen Schülern lag, wurde bei den Athleten eine ausreichende Selenversorgung und damit auch eine ausreichende, antioxidative Schutzwirkung durch die GSH-Px vermutet.

#### **4.1.4.5 Konzentrationen der Schilddrüsenhormone $T_4$ , $fT_4$ und $T_3$ im Plasma**

In der Schilddrüse werden aus der Aminosäure Tyrosin und Jod über Zwischenstufen die Schilddrüsenhormone Thyroxin ( $T_4$ ) und Trijodthyronin ( $T_3$ ) gebildet. Durch Dejodierung werden 35 % des von der Schilddrüse sezernierten  $T_4$  (Kaufmann und Löhr, 1991) unter Einwirkung der Typ 1,5'-Dejodase in der Peripherie (Leber, Nieren) in das stoffwechselaktivere  $T_3$  umgewandelt (Kasper, 2000). Damit entstehen ca. 80 % des zirkulierenden  $T_3$  aus  $T_4$ , die restlichen 20 % direkt aus der Schilddrüse. Störungen der peripheren  $T_4$ -Dejodierung z. B. bei einer unzureichenden Selenversorgung können somit auch zu einem Absinken der  $T_3$ -Konzentration im Plasma führen (Löffler und Petrides, 1997).  $T_4$  kann aufgrund der gesteuerten Umwandlung zu  $T_3$ , einer effektiven Bindung an Plasmaproteine und einer langen Halbwertszeit (sieben Tage) als wichtiger Speicher für die Schilddrüsenhormone angesehen werden (Biesalski und Grimm, 1999). Die Synthese von  $T_4$  und  $T_3$  in der Schilddrüse steht unter dem stimulierenden Einfluss des thyreotropen Hormons (TSH) und hängt u. a. sehr stark von der Versorgung mit Jod ab. Sinkt die Jodzufuhr mit der

Nahrung, dann werden kompensatorische Mechanismen wirksam, welche die Schilddrüse zu einer steigenden Jodakkumulation befähigen und somit die Sekretion von TSH aus der Hypophyse ansteigen lassen. TSH wiederum hat einen stimulierenden Effekt auf die Proliferation von Thyrocyten und es kommt zu einer sichtlichen Schilddrüsenvergrößerung, dem Struma (Löffler und Petrides, 1997). Es entsteht eine Hypothyreose, die sich aufgrund der verringerten Hormonproduktion von  $T_3$  und/oder auch von  $T_4$  in einer Verlangsamung vieler Stoffwechselprozesse, einer sinkenden Wärmeproduktion, einer abnehmenden Körpertemperatur, einer reduzierten Glukoseutilisation sowie in einem verzögerten LDL-Katabolismus äußert. Dagegen kann aufgrund eines erhöhten Hormonangebots eine Hyperthyreose vorliegen, die die gegensätzlichen Symptome einer Hypothyreose aufweist.

Die  $T_4$ -Bestimmung ist der Basisparameter zur Beurteilung der Schilddrüsenhormonsekretion. Bildet die Schilddrüse zu viel Hormone liegt eine Hyperthyreose vor, bei Hypothyreose werden zu wenig gebildet. Ebenso kann bei einem vorliegenden Jodmangel die  $T_4$ -Konzentration bei gleichzeitiger Erhöhung der  $T_3$ -Konzentration (Hypothyreose) erniedrigt sein. Bei einer nahezu unveränderten Konzentration des Thyreoidea-stimulierenden Hormons (TSH) wird dieser Zustand als präklinische Hypothyreose bezeichnet (Pickardt, 1999). Die Jungen der vorliegenden Studie wiesen eine  $T_4$ -Konzentration von 113 nmol/l auf, die von den Mädchen mit 131 nmol/l signifikant verschieden war (Punkt 3.1.3.1). Die höchste  $T_4$ -Konzentration hatten die weiblichen Kampfsportler mit 159 nmol/l, während für die männlichen TK-Athleten die geringste mit 100 nmol/l festgestellt wurde. Die Konzentrationen von  $T_4$  im Plasma schwankten für alle Sportler zwischen 77,1 nmol/l und 219 nmol/l. Für Thyroxin ( $T_4$ ) liegt der Referenzbereich zwischen 64,5 nmol/l und 155 nmol/l. Von den acht Sportgruppen befanden sich nur die weiblichen Kampfsportler (159 nmol/l) oberhalb des Referenzbereiches. Zugleich wurden für diese Sportlerinnen eine im oberen Bereich befindliche  $fT_4$ - (21,99 pmol/l) sowie auch eine niedrige  $T_3$ -Konzentration (1,49 nmol/l) festgestellt. Das spricht zum einen für eine evtl. erhöhte Produktion von  $T_4$  und zum anderen für eine möglicherweise verringerte Umwandlung von  $T_4$  in  $T_3$  durch die u. a. selenabhängige Typ 1,5'-Dejodase, weshalb die Konzentration von  $T_4$  ansteigen und die von  $T_3$  absinken könnte. Das dürfte allerdings weniger an der Selenversorgung dieser Athletinnen liegen, da auch sie im Vergleich zu den anderen Athleten gleiche Enzymaktivitäten der ebenfalls selenabhängigen Glutathionperoxidase zeigten, was eine ausreichende Selenversorgung dieser Athleten vermuten ließ. Erhöhte  $T_4$ -Konzentrationen können bereits Hinweise für eine Hyperthyreose geben, was z. B. durch eine zusätzliche Bestimmung von TSH, dessen Konzentration im Falle einer Hyperthyreose verringert sein müsste, bestätigt werden könnte (Troncone et al., 1994). Allerdings wurden in dieser Studie keine TSH-Bestimmungen für die Athleten vorgenommen, so dass hier keine endgültige Ursachenerklärung gegeben werden kann. Auch die Versorgungszustände der Athleten mit Jod sind nicht bekannt und wurden auch nicht ermittelt. Ausgehend von den Einzelwerten der Athleten besaßen insgesamt 10 % der Athleten (1 Junge, 9 Mädchen) für  $T_4$  höhere Konzentrationen im Plasma als 155 nmol/L. Von diesen zehn Athleten wiesen ein Junge und zwei Mädchen nur erhöhte  $T_4$ -Konzentrationen bei normalen  $fT_4$ - und  $T_3$ -Konzentrationen, was ebenfalls erste Hinweise auf eine mögliche Hormonüberproduktion der Schilddrüse geben könnte. Außerdem hatten drei Mädchen

erhöhte  $T_4$ - und  $fT_4$ -Konzentrationen bei normalen  $T_3$ -Konzentrationen. Auch hier muss das Bestehen einer Hyperthyreose geklärt werden, da eine Umwandlung von  $T_4$  zu  $T_3$  gestört sein kann, die sich noch nicht in der  $T_3$ -Konzentration bemerkbar gemacht haben könnte.

Der Anteil von  $fT_4$  (freies Thyroxin) im Plasma stellt die stoffwechselaktive Fraktion des  $T_4$  im Plasma dar und spiegelt aktuell die Hormonproduktion und die Elimination (Metabolismus) wider (Thomas, 2000). Die  $fT_4$ -Konzentration der männlichen Athleten betrug 25,8 pmol/L und war signifikant verschieden von den 23,0 pmol/l der weiblichen Sportler (Punkt 3.1.3.1). Für die männlichen Ausdauersportler konnte die höchste  $fT_4$ -Konzentration (27,9 pmol/l) festgestellt werden und für die männlichen Kraftsportler die geringste (20,8 pmol/l). Die Plasmakonzentrationen von  $fT_4$  befanden sich für alle Sportler zwischen 7,01 pmol/l und 52,4 pmol/l. Der Referenzbereich für die Konzentration von  $fT_4$  im Plasma liegt zwischen 9,0 pmol/l und 21,9 pmol/l. Weder die männlichen noch die weiblichen Athleten hatten im Durchschnitt im Referenzbereich liegende Konzentrationen für  $fT_4$  im Plasma. Zugleich konnten allerdings sowohl für die Mädchen als auch die Jungen im Referenzbereich liegende  $T_4$ - und  $T_3$ -Konzentrationen festgestellt werden. Mit Ausnahme der männlichen Kraftsportler (20,8 pmol/l) und der männlichen Athleten der Technisch-kompositorischen Sportarten (21,1 pmol/l), welche beide bezüglich aller drei Schilddrüsenhormone in den jeweiligen Normbereichen lagen, befand sich keine andere Sportgruppe innerhalb des Referenzbereiches für  $fT_4$ . Für fünf der insgesamt acht Sportgruppen (männliche und weibliche Ausdauer- sowie weibliche Kampf-, Kraft- und TK-Sportler) konnten ebenfalls erhöhte  $fT_4$ -Konzentrationen bei normalen  $T_4$ - und  $T_3$ -Konzentrationen festgestellt werden. Eine Ursache dafür könnte eine Störung in der Bindung zwischen  $T_4$  und den Bindungsproteinen sein. Zu diesen gehören das thyroxinbindende Globulin (TBG), das 75 % des  $T_4$  im Serum bindet, dann das thyroxinbindende Präalbumin (TBPA) und das Albumin, das nur ca. 10 % von  $T_4$  bindet (Kaufmann und Löhr, 1991). Insgesamt hatten 62 % der Athleten (36 Jungen, 25 Mädchen) höhere und ein Junge hatte eine niedrigere  $fT_4$ -Konzentration im Vergleich zu den angegebenen Normwerten. Allerdings wurde bei 44 % der Athleten zugleich normale  $T_4$ - und  $T_3$ -Konzentrationen gefunden. Erhöhte  $fT_4$ -Konzentrationen werden auch bei einer Hyperthyreose diagnostiziert, wohingegen zu niedrige Werte Zeichen einer Hypothyreose sein können (Thomas, 2000). 7 % der Athleten wies neben erhöhten  $fT_4$ -Konzentrationen erhöhte  $T_3$ -Konzentrationen bei normalen  $T_4$ -Werten auf. Auch hier könnte die Bestimmung des Schilddrüsenhormons TSH weitere Aufschlüsse geben, welches allerdings in der vorliegenden Studie nicht gemessen wurde.

Die männlichen Sportler hatten  $T_3$ -Konzentrationen im Plasma von 2,36 nmol/l und waren signifikant verschieden von den weiblichen Athleten mit 1,96 nmol/l (Punkt 3.1.3.1). Die höchste Konzentration von  $T_3$  im Plasma wurde bei den männlichen Kampfsportlern mit 2,73 nmol/l und die geringste mit 1,49 nmol/l bei den weiblichen Kampfsportlern ermittelt. Die Konzentrationen für  $T_3$  im Plasma schwankten für die Sportler zwischen 0,91 nmol/l und 3,60 nmol/l. Für Trijodthyronin ( $T_3$ ) liegt der Referenzbereich zwischen 1,5 nmol/l und 2,9 nmol/l. Die männlichen und weiblichen Athleten befanden sich im Durchschnitt in dem angegebenen Normbereich. Von den acht Sportgruppen traf dies nur für die weiblichen Kampfsportler (1,49 nmol/l) nicht zu. Die Werte dieser

Athleten wurden bereits diskutiert. Insgesamt hatten 9 % der Sportler (7 Jungen, 2 Mädchen) über 2,9 nmol/l liegende  $T_3$ -Konzentrationen und 9 % (2 Jungen, 7 Mädchen) geringere als 1,5 nmol/l. Fünf Mädchen wiesen zu niedrige  $T_3$ -Konzentrationen bei sonst normalen  $T_4$ - und  $fT_4$ -Konzentrationen auf. Loucks und Callister (1993) berichten von erniedrigten  $T_3$ -Konzentrationen im Plasma bei weiblichen, intensiv trainierenden Athletinnen insbesondere mit bestehender Amenorrhoe und einer unzureichenden Energieaufnahme. Nach Angaben der Autoren wurden erniedrigte  $T_3$ -Konzentrationen bereits bei Patienten mit Anorexia nervosa beobachtet. Verringerte  $T_3$ -Konzentrationen und als Reaktion darauf erhöhte  $T_4$ -Konzentrationen im Plasma können damit Ausdruck einer reduzierten Energiezufuhr sein, wie es vor allem auch während des Fastens festgestellt werden kann (Loucks und Callister, 1993). Bei diesen Sportlerinnen könnte aufgrund einer energetisch nicht ausreichenden Kost ein Einfluss der Ernährungsweise und des intensiven Trainings auf die  $T_3$ -Konzentrationen vermutet werden, wobei allerdings normale  $T_4$ -Konzentrationen ermittelt werden konnten. Vier Athleten (2 Jungen, 2 Mädchen) hatten erniedrigte  $T_3$ -Konzentrationen, normale  $T_4$ - und erhöhte  $fT_4$ -Werte, was für eine gestörte Bindung von  $T_4$  an die bereits erwähnten Bindungsproteine sprechen könnte oder auch eine verringerte Umwandlung von  $T_4$  zu  $T_3$ . Eine genaue Ursachenerklärung kann nicht gegeben werden. Die  $T_3$ -Plasmakonzentrationen werden bevorzugt zur Diagnose von Hyperthyreose herangezogen und nicht zur Hypothyreose, da in 25 % bis 30 % der Untersuchungsfälle gezeigt werden konnte, dass bei Hypothyreosen die  $T_3$ -Spiegel häufig normal sind (Utiger, 1974). Deshalb kann man nicht zwangsläufig bei erniedrigten  $T_3$ -Konzentrationen von einer Hypothyreose ausgehen. Ein Athlet wies eine oberhalb des Referenzbereiches liegende  $T_3$ -Konzentration bei normalen  $T_4$ - und  $fT_4$ -Konzentrationen auf, was nach Angaben von Siegenthaler (2000) ein Hinweis für eine mögliche atypische  $T_3$ -Hyperthyreose mit alleiniger Überproduktion von  $T_3$  sein könnte.

Die bei der Labordiagnostik von Schilddrüsenerkrankungen erfassten Plasmakonzentrationen von  $T_4$ ,  $fT_4$  und  $T_3$  müssen immer im Zusammenhang sowie auch in Verbindung mit der TSH-Konzentration gesehen werden, um eindeutige Aussagen treffen zu können. Normale TSH-Konzentrationen im Plasma schließen das Vorliegen einer Hypo- bzw. Hyperthyreose nahezu aus (Troncone et al., 1994). Diese wurden in der vorliegenden Studie nicht ermittelt. So können z. B. erniedrigte  $fT_4$ -Werte in Verbindung mit erhöhten TSH-Konzentrationen Aufschluss über eine vorliegende Hypothyreose durch Störung der Schilddrüsenfunktion geben, während erhöhte  $fT_4$ -Werte bei einer gleichzeitigen Erniedrigung der TSH-Konzentrationen die Diagnose einer Hyperthyreose bestätigen können (Thomas, 2000). Insgesamt war es erstaunlich, dass nur bei 27 % der Athleten (8 Jungen, 19 Mädchen) im Referenzbereich liegende  $T_4$ -,  $fT_4$ - und  $T_3$ -Konzentrationen ermittelt werden konnten. Vier Athletinnen (4 %) wiesen für alle drei Schilddrüsenhormone erhöhte Konzentrationen auf, die auf eine erhöhte Aktivität der Schilddrüse im Sinne einer Hyperthyreose deuteten. Allerdings wurden nur in sehr wenigen Fällen (4 %) zugleich erhöhte Konzentrationen von  $T_3$  und  $T_4$  gefunden, so dass in den meisten Fällen keine eindeutige Diagnose zu einer Hyperthyreose gegeben werden konnte. Die Schilddrüse ist ein sehr komplexes System, welches von vielen Faktoren beeinflusst wird. Ein vorliegender Eisenmangel kann auch die Effizienz der Schilddrüsenhormonsynthese verringern (Biesalski et al., 2001). Die zirkulierenden Schilddrüsenhormon-

spiegel von  $T_4$  und  $T_3$  werden durch einen Eisenmangel erniedrigt sowie auch die  $T_3$ -Produktion durch die Leber. Die Mechanismen dieser Interaktionen sind nach Angaben von Biesalski et al. (2001) noch weitgehend unklar. In der vorliegenden Studie konnten weder erniedrigte  $T_4$ -Konzentrationen noch eine Erniedrigung von  $T_4$  und zugleich auch von  $T_3$  vorgefunden werden, die einen Hinweis auf eine unzureichende Eisenversorgung gegeben hätten. Zudem wiesen von allen Athleten auch nur zwei Athleten kritische Hämoglobinkonzentrationen auf, die eine unzureichende Eisenversorgung bestätigen können. Die Behandlung von Östrogenen kann wiederum zu einer Erhöhung der  $T_4$ -Konzentration sowie auch der  $fT_4$ -Konzentrationen führen, so dass auch dies für einen Teil der weiblichen Athleten der vorliegenden Studie nicht außer Acht gelassen werden darf. Nur in sehr wenigen Fällen konnten erniedrigte Konzentrationen einzelner Schilddrüsenhormone für die Athleten ermittelt werden, so dass kein Verdacht einer bestehenden Hypothyreose bei den Athleten anzunehmen war. Es ist bekannt, dass Jod ein zentrales Bestandteil der Schilddrüsenhormone ist und dass es im Falle einer unzureichenden Jodversorgung zu einer Hypothyreose kommen kann (Biesalski et al., 2000). Aufgrund dieser Tatsache wurde eine ausreichende Jodversorgung bei den Athleten dieser Studie vermutet, obgleich keine exakte Beurteilung des Jodstatus auf der Basis der vorliegenden Parameter vorgenommen werden kann. Die Bestimmung der Jodkonzentration im Plasma konnte allerdings aus technischen Gründen nicht durchgeführt werden.

Ein Einfluss sportlicher Aktivität auf die Funktionsleistung der Schilddrüse wird von vielen Autoren kontrovers diskutiert (Alen et al., 1993; Hohtari et al., 1987; Licata et al., 1984; Opstad et al., 1984; Pakarinen et al., 1991; Sander und Rocker, 1988). So ergaben u. a. einige Untersuchungen an Athleten während körperlicher Belastung wie z. B. während eines 14-Meilen-Marsches, einem 15-minütigen Schwimmen bei maximaler Belastung (Lashof et al., 1954) oder während eines Fußballspieles (Volpe et al., 1960) keine Veränderungen in den Plasmakonzentrationen von  $T_3$  und  $T_4$ . Dagegen berichten einige Autoren, dass intensive Ausdauerbelastungen wie z. B. ein 90 km-langes Cross-Ski-Wettrennen (Kirkeby et al., 1977) oder Radfahren am Ergometer mit submaximaler Intensität (Terjung et al., 1971) zu einem signifikanten Anstieg von  $T_4$  und  $fT_4$  führen. Zusätzlich wurden keine Veränderungen der TSH-Konzentrationen festgestellt (Terjung et al., 1971; Odell et al., 1967). Alen et al. (1993) weisen in einer Untersuchung mit elf elitären Kraftsportlern auf einen trainingsbedingten Beeinflussung der Schilddrüsenhormone hin, dennoch betonen sie, dass dieser nicht zu einer länger bestehenden Veränderung der Schilddrüsenfunktion bezüglich der Hormonproduktion von TSH,  $T_4$ ,  $fT_4$  und  $T_3$  führte. Die Autoren meinten, dass es sich bei der Veränderung der Schilddrüsenhormonkonzentrationen nur um physiologische Antworten der Schilddrüse auf körperliche Belastung in Abhängigkeit der Dauer und der Intensität der Trainingseinheit innerhalb des Normbereiches handelte. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es eine Vielzahl von Einflussfaktoren auf die Konzentrationen der Schilddrüsenhormone  $T_4$ ,  $fT_4$  und  $T_3$  gibt, die bei einer umfassenden Diagnose mitberücksichtigt werden müssen. Außerdem müssen die bestimmten Parameter immer im Gesamtzusammenhang bei der Diagnose des Krankheitsbildes gesehen werden.

## **4.2 Studie zur Zinksupplementierung von Leistungssportlern**

### **4.2.1 Studiendesign**

Im Rahmen der Untersuchung zur Wirkung von Zink und einer sechswöchigen Zinksupplementierung auf verschiedene hämatologische Parameter sowie auch auf ausgewählte Parameter des Zink- und Immunstatus wurden sowohl zu Beginn als auch am Ende der Zink-Einnahme Blutproben-Analysen durchgeführt. Zu Beginn der Zink-Einnahme wurden die Athleten (N = 36) in Abhängigkeit ihrer Zinkkonzentration im Plasma in drei Gruppen eingeteilt, um Unterschiede zwischen den Gruppen aufgrund des unterschiedlichen Versorgungszustandes mit Zink bezüglich der ausgewählten Parameter ermitteln zu können. Anschließend nahmen die Athleten sechs Wochen lang an einer Zinksupplementierung teil, an deren Ende die Wirkung der Zink-Einnahme auf dieselben Parameter untersucht wurde. Die gewonnenen Ergebnisse der untersuchten Parameter sind nicht explizit auf die Zinksupplementierung zurückzuführen, da es sich bei dem ermittelten Effekt um einen Zeiteffekt handelt, der allerdings einen Behandlungseffekt mit Zink integriert. Zudem konnten möglicherweise viele andere Faktoren insbesondere auf die Parameter des Immunsystems Einfluss genommen haben, die außerhalb einer möglichen Kontrolle lagen. Ebenso muss die Variabilität der Athleten hinsichtlich des Alters, des Geschlechtes, der Ernährung usw. berücksichtigt werden. Es ist aber zu erwarten, dass insbesondere bei den Athleten mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma (Gruppe 1) die meisten Effekte nach der sechswöchigen Zinkgabe beobachtet werden können. Aufgrund dessen wird bei der Diskussion der Ergebnisse auf Gruppe 1 ein besonderes Augenmerk gerichtet.

### **4.2.2 Anthropometrische Daten**

Zur Beurteilung des Körpergewichts wurde der BMI aus dem Verhältnis von Körpergewicht [kg] und dem Quadrat der Körpergröße [m]<sup>2</sup> errechnet. Der BMI der Athleten von Gruppe 1 (< 80 µg/dl) betrug im Durchschnitt 22,2 kg/m<sup>2</sup>, von Gruppe 2 (80 bis 95 µg/dl) 21,2 kg/m<sup>2</sup> und von Gruppe 3 (> 95 µg/dl) 20,8 kg/m<sup>2</sup> (Punkt 2.2.2). Der für die höchste Lebenserwartung empfohlene BMI-Bereich liegt für Männern zwischen 20 kg/m<sup>2</sup> und 25 kg/m<sup>2</sup> und für Frauen zwischen 19 kg/m<sup>2</sup> und 24 kg/m<sup>2</sup>. (DGE, 1991). Die drei Gruppen befanden sich im Durchschnitt ihrer Werte in dem idealen Bereich von 19 kg/m<sup>2</sup> bis 25 kg/m<sup>2</sup>. Der BMI besitzt allerdings für Kinder im Wachstumsalter und Ältere nur eingeschränkte Aussagekraft, da das Verhältnis zwischen Körpergewicht und Körpergröße wachstumsbedingt unausgewogen sein kann. Ebenso kann ein aufgrund der Muskelmasse erhöhter BMI bei Sportlern ein hohes Gewicht vortäuschen. Deshalb wurde zur genaueren Einschätzung des Körpergewichtes der Anteil der Fettmasse ermittelt, da zwischen einer muskulären und einer fettbedingten Gewichtserhöhung unterschieden werden konnte. Die Sportler von Gruppe 1 hatten mit 12,6 % einen signifikant höheren Körperfettanteil gegenüber den Athleten von Gruppe 2 und Gruppe 3 mit 10,4 % bzw. 8,20 %. 24 Sportler wiesen einen niedrigeren Körperfettanteil von 10 % auf. Die Körperfettmessung ergab niedrige bis sehr niedrige Werte für die Athleten (Minimum: 2,6 %), die in Verbindung mit dem regelmäßigen und teilweise belastungsintensiven Training gesehen werden konnten. In einigen Studien wird eine enge Korrelation zwischen einem

niedrigem Körperfettgehalt und einer hohen Leistungsfähigkeit bei Sportlern beschrieben (Capkova-Parizkova, 1957; 1959). Buskirk und Taylor (1958) berichten von einer engen Beziehung zwischen der Körperzusammensetzung und dem Sauerstoffverbrauch, ein Indikator für die aerobe Leistungsfähigkeit eines Athleten.

#### **4.2.3 Datenerhebung und Auswertung**

##### **4.2.3.1 Trainingsumfang**

Der wöchentliche Trainingsumfang der Sportler von Gruppe 1 umfasste 15,2 Trainingsstunden an 5,26 Trainingstagen, von Gruppe 2 17,3 Stunden an 5,23 Tagen und von Gruppe 3 14,0 Stunden an 4,63 Trainingstagen (Punkt 2.2.3.3). Insgesamt trainierten 22 % der Athleten (N = 8) mehr als 20,0 Stunden pro Woche, was wiederum das hohe Leistungsniveau einiger junger Sportler begründet.

##### **4.2.3.2 Gesundheitsfragebogen und Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage**

Die Auswertung der Gesundheitsfragebögen als Form einer zusätzlichen, verbalen Einschätzung des Gesundheitszustandes der Athleten zeigte, dass 66,7 % der befragten Athleten in der Gruppe 1 mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma sich zu Beginn der Zinksupplementierung oft abgespannt und unwohl fühlten, wohingegen es nur 38,5 % in Gruppe 2 und 42,9 % in Gruppe 3 sind (Punkt 3.2.1). Der gleiche Prozentanteil der Athleten aus Gruppe 1 (66,7 %) gab an, dass eine verzögerte Wundheilung auftreten würde, während dies bei Gruppe 2 (30,8 %) und 3 (57,1 %) weniger Athleten betraf. Es ist aus zahlreichen Studien (McClain et al., 1985; Mills und Lindeman, 1983; Zalewski, 1996) bekannt, dass die Wundheilung bei einer unzureichenden Zinkversorgung gestört ist. Zusätzlich gaben 22,2 % der Athleten aus Gruppe 1 im Vergleich zur Gruppe 3 (ausreichende Zinkkonzentration im Plasma) mit nur 14,3 % an, an Atemwegserkrankungen (Schnupfen, Bronchitis, Erkältung, Grippe) zuleiden. Die Betrachtung der Protokolle zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage ergab, dass der prozentuale Anteil der Krankheitstage in den ersten vier Wochen der Zinksupplementierung für alle drei Gruppen im Vergleich zu dem Prozentanteil der Krankheitstage in den letzten beiden Wochen höher war. Es wurde deshalb ein positiver Einfluss der Zinksupplementierung auf das Wohlbefinden und damit auf den Gesundheitszustand der Athleten vermutet, der sich insbesondere in den letzten beiden Wochen der Zinksupplementierung in einer Reduzierung der Krankheitstage bemerkbar machte. Allerdings muss auch beachtet werden, dass es sich bei jeder Antwort des Gesundheitsfragebogens und auch bei der Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage um subjektive Einschätzungen des persönlichen Wohlbefindens durch die Sportler handelt, auf deren Basis lediglich Hinweise zum Befinden der Sportler gewonnen werden können. In einigen Studien (Mossad et al., 1996; Prasad et al., 2000) wird auf der Grundlage von ausgewerteten Fragebögen von einer verkürzten Krankheitsdauer bei Patienten mit Symptomen einer leichten Erkältung durch ein verabreichtes Zinkpräparat berichtet. Verbale Beschreibungen der Patienten bzw. der befragten Personen zu ihrem Befinden können zur Bewer-

tung des individuellen Gesundheits- bzw. Krankheitszustandes sehr nützlich sein und werden deshalb auch in Form von Fragebögen in einigen Studien angewendet.

#### **4.2.4 Klinisch-chemische Untersuchungen von Blutproben**

##### **4.2.4.1 Einfluss von Zink auf hämatologische Parameter**

###### **4.2.4.1.1 Hämatokrit und Hämoglobin**

Bezüglich der Hämatokritwerte (Hkt) bzw. der Hämoglobinkonzentrationen (Hb) im Plasma gab es weder vor noch nach der Zinksupplementierung signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Punkt 3.2.2.1.1). Somit schien die Zinkversorgung innerhalb der Gruppen keinen Einfluss auf diese hämatologischen Parameter zu haben. Unabhängig von der Zinkkonzentration im Plasma führte die sechswöchige Zink-Einnahme dennoch bei fast allen Athleten zu einem signifikanten Absinken des Hämatokrites und der Hämoglobinkonzentration im Vollblut. Die Sportler von Gruppe 1 und Gruppe 3 hatten nach der Zink-Einnahme signifikant geringere Hämatokritwerte und Hämoglobinkonzentrationen gegenüber den Ausgangswerten vor der Zinkgabe. In einer Untersuchung mit Ratten berichten Boge et al. (1992), dass der Hämatokrit des Blutes proportional zur Schwere des Mangels an Zink erhöht war. Motz et al. (1995) stellten fest, dass die Ratten mit schlechter Zinkversorgung im Vergleich zu den Kontrolltieren höhere Hämatokritwerte und Hämoglobinkonzentrationen im Vollblut aufwiesen. Demzufolge könnte in der vorliegenden Studie die sechswöchige Zinksupplementierung eine Erniedrigung dieser beiden Blutparameter bewirkt haben. In Bezug auf eine Zinkdepletion bei Ratten berichten Schüle et al. (1991) von einer Erhöhung der Erythrozytenzahl, sowie auch von einer Erhöhung der Hämoglobinkonzentration und des Hämatokrites und stellen hierbei insbesondere den Einfluss der Zinkversorgung auf diese hämatologischen Parameter heraus. Als Ursache für die Erhöhung von Hämatokrit und Hämoglobin durch Zinkmangel wird folgendes diskutiert: Zink hat einen starken Einfluss auf die Blutkonsistenz, indem es die Plasmamenge reguliert, die sich aus signifikanten Wasserbewegungen zwischen extrazellulären und intrazellulären Kompartimenten (Bettger et al., 1981; Pallauf und Kirchgessner, 1971) ergibt. Dies bedeutet, dass bei Zinkmangel weniger Plasmawasser und damit höhere Werte für Hämatokrit und Hämoglobin vorliegen. In der vorliegenden Studie wird angenommen, dass sich aufgrund der gezielten Zinkgabe und einer damit verbesserten Zinkversorgung der Athleten die Plasmamenge vermehrt hat, wobei daraus vermutlich eine verringerte Erythrozytenzahl resultierte, was sich wiederum in erniedrigten Hämoglobinkonzentrationen im Vollblut bemerkbar machte. Aus der verringerten Erythrozytenzahl ergab sich dann ein verringerter Hämatokritwert durch die Zinkzufuhr (Paterson und Bettger, 1986; Scheuermann und Lantzsch, 1982). Khaled et al. (1999) berichten bei Untersuchungen mit Sportlern, die mit Zink supplementiert wurden von einer verbesserten Verformbarkeit der Erythrozyten, sowie von einer Erniedrigung der Blutviskosität. Diese Blutviskosität, die trainingsbedingt aufgrund der Wasser- und Elektrolytverluste durch den Schweiß ansteigen würde, wird damit durch Zink herabgesetzt. Kritisch wird bemerkt, dass weitere mögliche Einflussfaktoren auf das Plasmavolumen z. B. einer Vermehrung durch Rehydratation und einer damit verbundenen Verringerung von Hämatokrit und Hämoglobinkonzentration berücksichtigt werden müssten.

#### 4.2.4.1.2 Hämolyseresistenz der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen und Haptoglobin als Hämolysemarker

Sportartenspezifische körperliche Belastungen können bei Athleten zu einer verstärkten, intravaskulären Hämolyse der Erythrozyten führen, welche durch eine mechanische Zerstörung der Erythrozyten an Blutgefäßwänden zustande kommt (Gareau et al., 1990). Die Hämoglobinfreisetzung der Erythrozyten in hypotonen Kochsalzlösungen ist ein allgemein benutztes Kriterium für die Stabilität und Funktion der Erythrozytenmembran (Roth und Kirchgessner, 1991). Zink wird in diesem Zusammenhang eine bedeutende Rolle im Aufbau und der Funktion von biologischen Zellmembranen zugeschrieben (Bettger and O'Dell, 1993). Als Bestandteil verschiedener Membranen z. B. von Erythrozyten wirkt Zink als Stabilisator, indem es Thiolgruppen der Membranen durch Bildung stabiler Mercaptide schützt (Mills und Lindeman, 1983). In diesem Zusammenhang berichten viele Autoren (O'Dell et al., 1987; Paterson und Bettger, 1985; Roth und Kirchgessner, 1994) von steigenden Hämolyseraten der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen bei Ratten mit Zinkmangel. Hierbei wird auf eine Veränderung in der Erythrozytenzellmembran bei Zinkmangel hingewiesen (Avery und Bettger 1988 und 1992; Driscoll und Bettger, 1991; Eder und Kirchgessner 1993; Johanning und O'Dell, 1989, Paterson et al., 1987). Stern (1986) und Wagner et al. (1988) berichten von oxidativen Veränderungen der Zellmembranen bei Zinkmangel, welche verantwortlich sein können für eine unzureichende Stabilität der Zellmembranen und damit Ursache sind für eine steigende Hämolyserate der Erythrozyten. Als eine der Ursache von oxidativen Veränderungen der Zellmembranen im Falle einer unzureichenden Zinkversorgung kann z. B. eine eingeschränkte Aktivität der zinkabhängigen und antioxidativ-wirksamen Superoxid-Dismutase (Cu, Zn) gesehen werden, welche für die Bekämpfung membranschädigender Radikale zuständig ist. Dem Zink wird demnach eine antioxidative Wirkung zugeschrieben (Bettger, 1993). Die Hämolyseresistenz der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Konzentrationen (0,38 %, 0,40 %, 0,42 %, 0,44%) der vorliegenden Studie war sowohl vor, als auch nach der Zinksupplementierung unabhängig von der anfänglichen Zinkversorgung der Athleten (Punkt 3.2.2.1.2). Es konnten diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen festgestellt werden. Nach der sechswöchigen Zinkgabe kam es für alle Athleten zu einem signifikanten Anstieg der Hämolyserate der Erythrozyten bei der 0,38 %igen und 0,44 %igen NaCl-Lösung, während es bei der 0,40 %igen zu einem signifikanten Abfall (signifikante Zeiteffekte) kam. Trotz der bekannten Zusammenhänge zwischen Zink und seiner stabilisierenden Funktionen von Erythrozytenmembranen konnte für die Athleten lediglich eine erhöhte und damit verbesserte Hämolyseresistenz der Erythrozyten in der 0,40 %igen NaCl-Lösung, festgestellt werden. Für die anderen NaCl-Lösungen (0,38 %, 0,42 % und 0,44 %) konnte für keine der drei Gruppen nach der Zinksupplementierung eine erniedrigte Hämolyserate der Erythrozyten ermittelt werden. Demzufolge schien weder zu Beginn der Zinksupplementierung die Gruppe 3 mit der besten Zinkversorgung die niedrigste Hämolyserate gegenüber Gruppe 1 zu haben, noch kam es für alle Athleten aufgrund des eingenommenen Zinkpräparates zu einem signifikantem Absinken der Hämolyserate der Erythrozyten bei allen NaCl-Lösungen. Ein positiver Einfluss der Zinksupplementierung auf die Stabilität der Erythrozytenmembranen gegenüber hypotonen NaCl-Lösungen verschiedener Konzentrationen (0 %, 0,38 %, 0,40 %, 0,42 %, 0,44 %) wurde nicht festgestellt.

0,38 bis 0,90 %) ließ sich daher im Sinne der zitierten Autoren nicht nachweisen. Außerdem muss darauf hingewiesen, dass es sich bei diesem Testverfahren um eine unspezifische und empfindliche Methode zur Erfassung der Hämolyse der Erythrozyten handelt, welche nach Angaben von Roth und Kirchgessner (1991) dennoch ein oft benutztes Verfahren darstellt.

In Verbindungen mit einer im Gefäßsystem erfolgenden Hämolyse von Erythrozyten treten u. a. auch Haptoglobinniedrigungen auf. Das hängt damit zusammen, dass bei der Zerstörung der Erythrozyten aufgrund mechanischer Einwirkungen vermehrt Hämoglobin freigesetzt wird, welches unmittelbar durch Haptoglobin zur Leber transportiert wird. Je höher die intravasculäre Hämolyse rate der Erythrozyten, umso niedriger ist die Haptoglobinkonzentration im Plasma. In diesem Zusammenhang wurden die Plasmakonzentrationen von Haptoglobin der drei Gruppen als sog. Hämolysemarker ermittelt. Weder vor, noch nach der sechswöchigen Zinksupplementierung gab es zwischen den drei Gruppen signifikante Unterschiede bezüglich der Haptoglobinkonzentrationen im Plasma, so dass die unterschiedlichen Versorgungszustände der drei Gruppen mit Zink anscheinend keinen Einfluss auf die Höhe der Haptoglobinkonzentrationen im Plasma hatten (Punkt 3.2.2.1.1). Auch nach der Zinkverabreichung konnten keine signifikanten Veränderungen der Haptoglobinkonzentration im Plasma festgestellt werden. Es ließ sich nur ein tendentielles Ansteigen der Haptoglobinkonzentration nach der Zinkzufuhr innerhalb des Referenzbereiches für alle drei Gruppen beobachten.

#### **4.2.4.2 Einfluss von Zink auf Parameter des Zinkstatus**

##### **4.2.4.2.1 Zinkkonzentration und Zink-Bindungskapazität im Plasma**

Die Sportler von Gruppe 1 hatten vor der sechswöchigen Zink-Einnahme mit 72,4 µg/dl eine signifikant geringere Zinkkonzentration im Plasma im Vergleich zu den Athleten von Gruppe 2 und Gruppe 3 (Punkt 3.2.2.2.1). Gruppe 1 wies zu Beginn der Zinkzufuhr im Durchschnitt eine immer noch im Referenzbereich von 70,0 µg/dl bis 127 µg/dl (methodenspezifisch) liegende Zinkkonzentration im Plasma (72,4 µg/dl) auf. Nach einer Einschätzung von Haralambie (1981), der in einer Untersuchung mit 160 Athleten 75 µg/dl für einen gerade noch akzeptablen Grenzwert der Zinkkonzentration im Plasma hält, hatte Gruppe 1 eine unzureichende Zinkkonzentration im Plasma. Haralambie bezeichnet eine Zinkkonzentration im Plasma in einer Höhe von 70 µg/dl bis 75 µg/dl als möglichen Hinweis einer unzureichenden Zinkversorgung. Nach Angaben von Evans (1986), der eine Zinkkonzentration von 90 µg/dl bis 130 µg/dl im Plasma für ausreichend hält, hatten die Athleten von Gruppe 1 eine unzureichende Zinkkonzentration im Plasma. Gleichzeitig räumt er ein, dass die Zinkkonzentration im Plasma zwar oftmals zur Beurteilung des Zinkstatus herangezogen wird, dass dies aber ein unzuverlässiger Parameter sei. Während die Zinkkonzentration im Plasma durchaus bei Patienten mit schwerem Zinkmangel erniedrigt sein kann, muss dies nicht unbedingt bei leichtem bis moderatem Zinkmangel der Fall sein (Evans, 1986). In marginalen Versorgungszuständen mit Zink liegen die Zinkkonzentrationen im Plasma oftmals innerhalb des normalen Bereiches, weil die Zinkkonzentrationen im Plasma homöostatisch kontrolliert werden (Gibson et al., 1989; Smit Vanderkooy und Gibson, 1987). Es muss beachtet werden, dass bei

Stress, Infektionen oder Entzündungsreaktionen der Abfall der Zinkkonzentration im Plasma (Solomons et al., 1978) einen scheinbaren Zinkmangel vorgeben kann, in Wirklichkeit kommt es aber nur zu einer Umverteilung von Zink aus dem Plasma in die Leber und zu den Lymphozyten während einer Akut-Phase-Antwort (Beisel, 1995). Es wird vermutet, dass es sich dabei um eine adaptierte Antwort auf eindringende Pathogene handelt, mit der Absicht den Pathogenen das Zink für das Zellwachstum zu entziehen (Clohessy und Golden, 1996). So befindet sich die während der Akut-Phase-Reaktion erniedrigte Zinkkonzentration im Plasma nach Angaben der Autoren noch über der Konzentration, die ein Wachstum von vielen Pathogenen begünstigen würde. In dieser akuten Phase der Immunabwehr fällt die Albuminkonzentration ab, was eine Verringerung der Zinkkonzentration im Plasma verstärkt, da Zink im Plasma zu 70 % an Albumin gebunden ist (Naber et al., 1992). Nach Angaben von Cousins und Failla (1980) reagiert die Zinkkonzentration im Plasma homöostatisch auf eine Zinkgabe, so dass ihr Anstieg nur vorübergehend ist und schnell in den normalen Referenzbereich zurückkehrt. Bei vorliegendem Zinkmangel jedoch kommt es nicht zu einer homöostatischen Mobilisierung der Zinkspeicher, um die Zinkkonzentration im Plasma in den Normbereich anzuheben. Nach Aussagen von Thompson (1991) gilt die Zinkkonzentration im Serum bzw. Plasma neben der Enzymaktivität der Alkalischen Phosphatase immer noch zu den gebräuchlichsten Kriterien zur Bestimmung der Zinkversorgung beim Menschen. Roth und Kirchgessner (1979, 1980 a, 1980 b) befürworten die Anwendung einer Response-Technik. Darunter ist eine gezielte Verabreichung von Zink zu verstehen, um unter laborgerechten Kriterien aufgrund einer definierten klinischen oder biochemischen Reaktion eine Diagnose von Zinkmangel bei Mensch und Tier unter kontrollierten Bedingungen treffen zu können (Halsted et al., 1974; Roth und Kirchgessner, 1979, 1980 a, 1980 b). Nach Angaben von Kirchgessner (1993) wird infolge der homöostatischen Regulation der Zinkkonzentration im Plasma bei einer niedrigen Zinkaufnahme zuerst die Resorption erhöht und dann die Zinkausscheidung erniedrigt. So kann im Extremfall einer sehr zinkarmen Nahrungsaufnahme die Resorption für Zink von 20 % bis 50 % auf 93 % ansteigen (Taylor et al., 1991). Allerdings gibt es zusätzlich zahlreiche Faktoren wie z. B. den Phytatgehalt der Nahrung, welcher die Resorption von Zink ebenfalls erheblich beeinflusst und die Resorption von Zink hemmt (Jackson et al., 1984). Je niedriger die Zinkzufuhr, umso höher ist die Resorptionsrate (King et al., 2000). Dies wird vor allem durch eine Vielzahl von Zink-Transportern (McMahon und Cousins, 1998) und intrazellulären Bindungsproteinen erreicht, welche sowohl Resorption als auch den zellulären In- und Efflux von Zink regulieren (Sullivan et al., 1998). Aufgrund dieser Adaptation kann über weite Versorgungsbereiche von Zink eine normale Zinkkonzentration im Plasma aufrechterhalten werden (Kirchgessner, 1993). Nach Angaben von King et al. (2000) scheinen Menschen die Fähigkeit zu besitzen, den Gesamtkörperbestand von Zink bis zu einer 10fachen Veränderung in der Zinkzufuhr zu regulieren. Dennoch geben Roth und Kirchgessner (1979) an, dass sich aufgrund einer Zinksupplementierung im physiologischen Bereich die Zinkkonzentration im Plasma bei einer ausreichenden Zinkversorgung des Körpers kaum verändern würde. Dies würde nur im Falle eines vorliegenden suboptimalen Zinkstatus der Fall sein. Eine eindeutige Erhöhung der Zinkkonzentration im Plasma nach oraler Zink-Verabreichung ist deshalb ein geeigneter Indikator für eine vorliegende Unterversorgung (Capel et al., 1982; Ruz et al., 1992). In der vorliegenden Studie konnte durch die

sechswöchige Zinksupplementierung von  $2 \times 10$  mg Zink am Tag für Gruppe 1 die Zinkkonzentration im Plasma um 34 % erhöht werden, während sie bei Gruppe 3 wie zu erwarten unverändert blieb. Nach den obigen Aussagen von Ruz et al. (1992) und Capel et al. (1982) wird also bei einer gezielten Zinksupplementierung verbunden mit einer erhöhten Zinkkonzentrationen im Plasma das Vorliegen einer suboptimalen Zinkversorgung des Körpers festgestellt. Durch den Anstieg der Zinkkonzentration im Plasma um 34 % nach der sechswöchigen Zinksupplementierung wird eine suboptimale Zinkversorgung von Gruppe 1 zu Beginn der Zinkgabe vermutet.

Zu einer weiteren Beurteilung des Zinkstatus empfehlen Roth und Kirchgessner (1980) die Messung der Zink-Bindungskapazität im Plasma. Zink ist im Serum bzw. Plasma zu 1/3 an  $\alpha_2$ -Makroglobulin (starke Bindung) und zu 2/3 an Albumin (schwache Bindung) gebunden. Zink wird zudem im Plasma von Transferrin transportiert, insbesondere in der Portalzirkulation (Evans und Winter, 1975), wobei aber dennoch eine bevorzugte Bindung von Zink an Albumin besteht (Charlwood, 1979; Chesters und Will, 1981). Der bei alimentärem Zinkmangel bedingte Abfall der Zinkkonzentration im Plasma ist wahrscheinlich auf ein Auflösen der schwachen Bindung von Zink am Albumin zurückzuführen, während der stark gebundene Anteil an Zink mit  $\alpha_2$ -Makroglobulin unverändert bleibt (Roth und Kirchgessner, 1997). Deshalb wird die relative Anzahl der freien Zink-Bindungsstellen an Albumin und zu-gleich auch an Transferrin als ein geeigneter Indikator für den Versorgungszustand eines Tieres oder Menschen an Zink betrachtet. Bei einer ausreichenden Zink-Versorgung erreicht die Zink-Bindungskapazität, welche ein Maß für die relative Anzahl der freien Zink-Bindungsstellen darstellt, einen konstanten Wert zwischen 60 % und 70 %, der sich durch weitere Zinkgaben nicht mehr verändern lässt. Die prozentuale Zink-Bindungskapazität des Plasmas ist umgekehrt proportional zur Zinkkonzentration im Plasma (Roth und Kirchgessner, 1980). Diese negative Korrelation konnte auch in der vorliegenden Studie bestätigt werden ( $P < 0,05$ ). Die Athleten von Gruppe 1 mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma hatten vor der Zinksupplementierung die signifikant höchste Zink-Bindungskapazität mit 76,8 % gegenüber Gruppe 2 (72,6%) und Gruppe 3 (69,3%). Nach der Zinkgabe verringerte sich dieser Wert für Gruppe 1 signifikant auf 70,9 % und es bestanden keine signifikanten Gruppenunterschiede bezüglich der Zink-Bindungskapazität im Plasma mehr. Neben der Zinkkonzentration im Plasma bestätigte also auch die Zink-Bindungskapazität eine durch die sechswöchige Zinksupplementierung signifikant verbesserte Zinkversorgung in Gruppe 1. Im Falle einer ausreichenden Zinkversorgung wäre das nicht eingetreten. Gruppe 2 und Gruppe 3 unterschieden sich zwar auch signifikant voneinander zu Beginn der Zinksupplementierung, dennoch kam es bei beiden zu keiner signifikanten Veränderung der Zink-Bindungskapazität nach der Zinkgabe, d. h. hier lagen ausreichende Zinkversorgungen vor.

#### **4.2.4.2.2 Aktivität der Alkalischen Phosphatase im Plasma**

Die Alkalische Phosphatase (AP) ist ein nichtspezifisches Metalloenzym, welches unterschiedliche Phosphatester bei einem alkalischen pH-Wert in der Anwesenheit von Zink- und Magnesiumionen hydrolysiert, z. B. bei glykolytischen Stoffwechselforgängen (Wolf, 1978). Die AP beinhaltet 4 g

Atome Zink/mol, von denen zwei Zinkatome essentiell für katalytische Aktivitäten sind (Plocke et al., 1962) und die anderen zwei zur Stabilisierung von Proteinstruktur benötigt werden (Simpson und Vallee, 1968). Die im Serum oder Plasma messbare Gesamtaktivität der AP ist die Summe der Aktivitäten multipler Enzymformen, die verschiedenen Geweben entstammen. Bei gesunden Menschen stammt die im Serum oder Plasma messbare Gesamt-AP zu etwa gleichen Anteilen aus der Leber und dem Skelettsystem. 25 % aller gesunden Menschen haben auch eine Dünndarm-AP, die im Nüchternzustand etwa 10 % der gesamten AP im Plasma ausmacht (Thomas, 2000). Bei Kindern in der Wachstumsphase sind physiologische Erhöhungen der gesamten AP, die aufgrund einer erhöhten Knochen-AP bestehen, möglich. In zahlreichen Studien mit zinkdepletierten oder –supplementierten Ratten konnte eine frühzeitige Veränderung der Enzymaktivität der AP im Serum bzw. Plasma nachgewiesen werden (Kirchgessner et al. 1976; Kirchgessner, 1993; Roth und Kirchgessner, 1974, 1979, 1980 b). So verringerte sich die Enzymaktivität der AP im Serum um mehr als 25 % nach einer nur zweitägigen, zinkarmen Fütterung und um 50 % nach vier Tagen (Roth und Kirchgessner, 1974). Bereits 3 Tage nach einer zinkhaltigen Fütterung stieg die Enzymaktivität der AP nahezu auf das Ausgangsniveau der Kontrolltiere wieder an. Es muss je nach der Höhe der festgestellten Differenz zwischen der vor der Zinksupplementierung und der nach der Zinkgabe ermittelten Aktivität der AP eine mehr oder weniger ausgeprägte Zink-Unterversorgung vorgelegen haben, da bei einer optimalen Versorgung die Aktivität der AP durch zusätzliche Zink-Gaben zu keiner Erhöhung geführt hätte. Auch in Studien mit Menschen (Kasarskis und Schuna, 1982; Suita et al., 1978; Weismann und Hoyer, 1985) gibt es Zusammenhänge zwischen einer verringerten Enzymaktivität der AP und einer niedrigen Zinkkonzentration im Plasma bzw. Serum. In der vorliegenden Studie hatten zwar zu Beginn der Zinksupplementierung die Athleten mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma erwartungsgemäß auch eine signifikant geringere Enzymaktivität der zinkabhängigen AP gegenüber Gruppe 3, dennoch kam es unerwartet nach der Zinksupplementierung für alle drei Gruppen zu einem signifikanten und zugleich gruppenabhängigen Absinken (Zeiteffekt und Gruppeneffekt) der Enzymaktivität der AP im Plasma (Punkt 3.2.2.2.2). Die durchschnittlichen Enzymaktivitäten der AP waren nach der Zinksupplementierung für alle drei Gruppen signifikant geringer als zu Beginn der Zinkgabe. Obwohl alle drei Gruppen am Ende der Supplementierung eine annähernd gleiche Zinkkonzentration im Plasma von durchschnittlich ca. 95 µg/dl aufwiesen, unterschied sich Gruppe 1 mit einer Enzymaktivität von 131 U/l immer noch mit einer signifikant geringeren Enzymaktivität der AP von Gruppe 3 (253 U/l). Der in der Literatur zuvor beschriebene Anstieg der Enzymaktivität der AP durch eine gezielte Zinkgabe konnte in der vorliegenden Studie für keine der drei Gruppen beobachtet werden. Weismann und Hoyer (1985) berichten von einer Zinksupplementierung bei drei Gruppen, von denen Gruppe 1, mit einer durchschnittlichen Zinkkonzentration von 55,3 µg/dl im Plasma, aufgrund zusätzlich vorliegender klinischer Symptome einen schweren Zinkmangel hat, Gruppe 2 mit 65 µg/dl Zink im Plasma einen leichten und Gruppe 3 mit 104 µg/dl Zink im Plasma keinen Zinkmangel hat. Die Autoren stellen nach einer gezielten Zinksupplementierung einen signifikanten Anstieg der Zinkkonzentration im Serum und der Enzymaktivität der AP für Gruppe 1 und Gruppe 2 fest, während bei Gruppe 3 ein signifikanter Anstieg der Zinkkonzentration im Plasma über den Normbereich hinaus und ein tendentielles Absinken der Enzymaktivität der

AP beobachtet werden konnte. Nach Aussagen der Autoren schließt der in Gruppe 3 vorhandene Anstieg der Zinkkonzentration im Plasma eine Malabsorption von Zink als Ursache eines fehlenden Anstieges der Enzymaktivität der AP im Plasma aus. Aufgrund des ebenfalls signifikanten Anstieges der Zinkkonzentration im Plasma in Gruppe 1 der vorliegenden Studie, konnte das Absinken der Enzymaktivität der AP auch nicht durch eine Malabsorption von Zink als mögliche Ursache erklärt werden. Dagegen kam es bei Gruppe 2 und Gruppe 3 dieser Studie zu keiner signifikanten Veränderung der Zinkkonzentration im Plasma und in Übereinstimmung mit der Aussage von Weismann und Hoyer (1985) nahm die Enzymaktivität der AP bei ausreichender Zinkkonzentration im Plasma ab. Die Autoren bezeichnen eine fehlende positive Korrelation zwischen der Zinkkonzentration im Plasma und der Enzymaktivität der AP nach der Verabreichung von Zink als Hinweis für das Fehlen eines Zinkmangels. Demzufolge müsste auch Gruppe 1 aufgrund der absinkenden Enzymaktivität der AP noch ausreichend mit Zink versorgt gewesen sein oder eine Unterversorgung war noch nicht lange genug ausgeprägt. In einer Untersuchung mit Leistungssportlern, die keinen Zinkmangel aufwiesen, kam es nach Angaben von Schardt (1994) nach einer vierwöchigen Zinksupplementierung (18,9 mg/d) zuerst zu einem Absinken der Enzymaktivität der AP, während nach insgesamt acht Wochen der Zinkgabe die Enzymaktivität der AP anstieg. Das wiederum legt die Vermutung nahe, dass es erst mit fortschreitendem Anstieg der Zinkkonzentration im Plasma zu einem deutlichen Anstieg der Enzymaktivität der AP im Plasma kommt, wenn zuvor kein Zinkmangel vorlag. In einer Studie mit Frauen wurden während einer experimentellen Zinkdepletion keine signifikanten Veränderungen der Enzymaktivität der AP im Plasma beobachtet (Milne et al., 1987), während dies bei anderen Untersuchungen durchaus der Fall war (Baer et al., 1985). Unter kontrollierten Versuchsbedingungen ist nach Angaben der Autoren Kirchgessner und Roth (1980) die Enzymaktivität der AP ein guter Indikator für den Zinkversorgungszustand, dagegen ist unter freien Versuchsbedingungen zusätzlich eine Vielzahl von individuellen Einflussfaktoren auf die Enzymaktivität der AP zu berücksichtigen z. B. kann es bei Protein-Mangelernährung, Magnesiummangel, Hypothyreose, exzessiven Vitamin-D-Einnahmen oder schweren Anämien sowie auch bei der Einnahme von oralen Kontrazeptiva zu einer Verminderung der Enzymaktivität der AP kommen (Thomas, 2000). Ebenso beeinflussen u. a. auch Leberfunktion, Kalziumversorgung und Knochenstoffwechsel die AP und deren Aktivität im Plasma. Auf mögliche, aber nicht erfasste Einflussfaktoren kann als mögliche Ursachen für die Verringerung der Enzymaktivität der AP im Plasma nach der sechswöchigen Zinksupplementierung, insbesondere bei Gruppe 1 nur hingewiesen werden.

#### **4.2.4.3 Einfluss von Zink auf ausgewählte Parameter des Immunstatus**

##### **4.2.4.3.1 Wirkung des Zinkstatus auf Parameter des Immunsystems vor der Behandlung mit Zink**

Ein Zusammenhang zwischen Zinkmangel und einer erhöhten Infektanfälligkeit beim Menschen wurde erstmals bei Acrodermatitis Enteropathica beschrieben, bei der eine defekte Zinkaufnahme mit einer verminderten zellulären Immunität korreliert (Sandström et al., 1994). Durch gezielte Zinkgaben können krankheitsbedingte Symptome gelindert und die zelluläre Immunität norma-

lisiert werden. Auch bei Personen mit einer suboptimalen Zinkversorgung, wie dies z. B. bei Älteren oder Schwangeren der Fall ist, wird neben anderen Auswirkungen auf den Körper ein immunsuppressiver Effekt beschrieben (Walsh et al. 1994; Zalewski, 1996). Zuerst wurden die drei Gruppen, welche zu Beginn der Untersuchung eine unterschiedliche Zinkversorgung aufwiesen, bezüglich ihres Immunstatus verglichen. Die Frage, ob sich eine unterschiedliche Zinkversorgung des Körpers auf den zellulären Immunstatus bemerkbar macht, sollte beantwortet werden. In dem nachfolgenden Kapitel werden die Auswirkungen einer sechswöchigen Zinksupplementierung auf den Immunstatus der drei Gruppen beschrieben.

Die ermittelten Serumkonzentrationen der Immunglobuline IgG und IgM zeigten, dass sich alle drei Gruppen in den entsprechenden Referenzbereichen befanden und dass Gruppe 1 im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen die höchste IgG-Konzentration (12,1 g/l) im Serum aufwies (Punkt 3.2.2.3.1). Bezüglich der IgM-Konzentration im Serum gab es keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der Zinkkonzentration im Plasma. Da die Immunglobuline spezifische Antikörper (Abwehrstoffe) des Körpers sind, die gezielt gegen einen eindringenden Fremdstoff (Antigen) von den B-Lymphozyten gebildet werden (Thomas, 2000), wurde aufgrund der im Referenzbereich liegenden Serumkonzentrationen von IgG und IgM keine gesteigerte Abwehrbereitschaft des Körpers bei allen drei Gruppen angenommen. Die Aufgabe der Immunglobuline besteht darin, an den eingedrungenen Fremdstoffen zu binden, um diese anderen Immunzellen z. B. den Makrophagen („Fresszellen“) zur vollständigen Vernichtung anzubieten. Eine akute Infektion erkennt man an einer gesteigerten Produktionsrate der Immunglobuline durch die B-Lymphozyten. Wenn die akute Phase einer Infektion überwunden, dann kommt es zu einer Verringerung der Serumkonzentrationen der Immunglobuline. Doch beides traf für keine der drei Gruppen zu. Während das IgG mit 70 % bis 75 % des Immunglobulinpools das Hauptimmunglobulin im humanen Serum ist, macht das IgM nur 10 % des Immunglobulinpools aus. Das IgG ist für die Abwehr von Viren und Bakterien zuständig. Bei Erstinfektionen wird zuerst das IgM gebildet und als Zweitantikörper das IgG. Das bedeutet, dass es bei Erstinfektionen des Organismus mit einem Erreger (Primärreaktion) zu einer isolierten Erhöhung der IgM-Konzentration kommt, da das IgG erst nach ungefähr drei Wochen gebildet wird. Dagegen wird das IgG bei wiederholter Infektion mit dem gleichen Erreger als Erstantikörper produziert, so dass eine Zweitinfektion mit einem bereits bekannten Erreger (Sekundärreaktion) bei gleichzeitig normalen oder nur geringfügig erhöhten IgM-Konzentrationen zu isolierten Konzentrationserhöhungen von IgG, synthetisiert von erneut aktivierten Gedächtniszellen, führt. Es konnte festgestellt werden, dass Gruppe 1 neben der höchsten IgG-Konzentration im Serum auch die größte B-Zellzahl (621 Zellen/ $\mu$ l) aufwies (Punkt 3.2.2.3.2.2), die damit verantwortlich für die signifikant höhere IgG-Konzentration im Serum von Gruppe 1 gemacht werden könnte. Allerdings befindet sich nur die Hälfte des gesamten IgG im menschlichen Serum, während die andere Hälfte in den restlichen Körperflüssigkeiten verteilt ist (Thomas, 2000). Zudem müssen sich nicht alle Immunglobuline produzierenden B-Zellen im Blut befinden. Ein direkter Zusammenhang muss deshalb nicht gegeben sein. Abschließend kann festgestellt werden, dass sich alle drei Gruppen bezüglich der IgG- und IgM-Konzentrationen im Serum innerhalb der entsprechenden Referenzbereiche befunden haben und unabhängig von

ihrem Zinkstatus einen normalen Immunstatus hinsichtlich der Konzentrationen von IgG und IgM aufwiesen.

Eine normale Abwehrbereitschaft des Körpers konnte auch durch die gemessenen Konzentrationen des C-reaktiven Proteins (CRP) für alle drei Gruppen bestätigt werden. Das CRP ist ein klassisches Akut-Phase-Protein, dessen Anstieg im Plasma durch eine Stimulation inflammatorischer Zytokine (z.B. IL-1, IL-6 und TNF- $\alpha$ ) erfolgt und eine Entzündung im Körper wieder spiegelt (Thomas, 2000). Die Plasmakonzentrationen von CRP steigen rasch um ein Vielfaches nach einer Infektion an. Die Aufgabe von CRP ist es, an bestimmte molekulare Gruppen, die es auf einem ganzen Spektrum von Bakterien und Pilzen erkennt, zu binden und somit die Wirkung von Antikörpern (Ig) zu imitieren (Janeway und Travers, 1997). Virale und bakterielle Infektionen können oft anhand des Ausmaßes der CRP-Erhöhung differenziert werden. Die Konzentrationen von CRP zwischen 10 mg/l und 50 mg/l sind mit einer leichten Entzündung, die z. B. im Falle einer lokalen bakteriellen Infektion, einer Bronchitis, einem Abszess und auch den meisten viralen Infektionen auftritt, assoziiert. Bei Atemwegsinfektionen zeigen CRP-Konzentrationen von mehr als 100 mg/l eine bakterielle Infektion an (Thomas, 2000). In Abhängigkeit des Zinkstatus gab es für keine der drei Gruppen eine über dem Grenzwert von 5 mg/l liegende und damit erhöhte Konzentration von CRP im Plasma. Während aufgrund der im Referenzbereich liegenden Werte Infektionen von höherem Ausmaß für die drei Gruppen ausgeschlossen werden konnten, muss man dennoch erwähnen, dass CRP-Konzentrationen, die innerhalb des Referenzbereiches (< 5 mg/l) liegen, die Präsenz einer leichten lokalisierten Entzündung nicht vollkommen ausschließen können (Thomas, 2000). Ein normaler Immunstatus konnte auch durch die CRP-Konzentrationen im Plasma für die drei Gruppen und damit unabhängig vom Zinkstatus bestätigt werden. Ausgehend von diesen beiden Parametern (Ig und CRP), deren Konzentrationen sich im Referenzbereich befanden, wurde für die drei Gruppen eine normale Abwehrbereitschaft des Körpers unabhängig vom Zinkstatus angenommen.

Der Organismus besitzt insgesamt eine Vielfalt von Abwehrmechanismen, welche ihm gegenüber Fremdsubstanzen, z. B. Infektionserregern, eine Resistenz verleihen (Gabriel und Kindermann, 1995). Die für immunologische Abwehrprozesse verantwortlichen Zellen sind überwiegend die Leukozyten, welche die Aufgabe haben, eingedrungene Fremdsubstanzen (Antigene) zu eliminieren. Neben Erkrankungen beeinflussen eine Reihe von physiologischen und exogenen Faktoren die Absolutzahlen und die Verteilung von zirkulierenden weißen Blutzellen (Gabriel et al., 1992). Zu diesen Variablen gehören Alter, Geschlecht, Tageszeit, Rauchen, Medikamente, Stress und Sport (Schick et al., 1975). Generell werden zwei unterschiedliche Abwehrmechanismen unterschieden: Die angeborene (unspezifische) und die erworbene (spezifische) Immunabwehr, wobei erstere hauptsächlich von Phagozyten (Granulozyten/Monozyten-Makrophagen), letztere von den Lymphozyten vermittelt wird. Ein Unterschied zwischen diesen beiden Abwehrmechanismen besteht darin, dass die Antigenerkennung bei der angeborenen Immunabwehr unspezifisch, weniger differenziert, und bei der erworbenen hochspezifisch ist. Außerdem unterscheiden sich die Zellen beider Systeme in ihrem Zirkulationsverhalten. Während die Immunzellen der unspezi-

fischen Abwehr (angeboren) nach dem Verlassen des Blutkreislaufes in umliegende Gewebe auswandern, rezirkulieren die Zellen der spezifischen Abwehr (erworben) zwischen Lymphorganen und der Blutbahn. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist, dass bei der angeborenen Immunität die Resistenz gegenüber den Antigenen auch nach wiederholten Infektionen unverändert bleibt, während sich diese bei der erworbenen Immunität nach wiederholten Infektionen erst einstellt bzw. verbessert. Zudem erfolgt die Abwehr und Elimination eines Antigens primär durch das angeborene Immunsystem im Rahmen einer Entzündungsreaktion. Erst wenn der Fremderreger sich weiter ausbreiten kann im Organismus, wird die spezifische Abwehr aktiviert. Von der unspezifischen Immunabwehr, welche die erste Verteidigungslinie im Organismus darstellt, wurden in der vorliegenden Studie die phagozytierenden Zellen Monozyten, Granulozyten und Natürlichen Killerzellen bestimmt, während von der spezifischen die Lymphozyten und deren Subpopulationen T- und B-Lymphozyten, sowie auch die Untergruppen der T-Lymphozyten, T-Helfer- ( $CD4^+$ ) und Zytotoxische T-Zellen ( $CD8^+$ ), mittels der Durchflusszytometrie ermittelt wurden. Die von den T-Lymphozyten induzierte Abwehr wird als eine zellvermittelte und die von den B-Lymphozyten als eine antikörpervermittelte Immunabwehr bezeichnet.

Die zu Beginn der Zinksupplementierung ermittelten Leukozytenzahlen [Gpt/l] der Athleten lagen im Durchschnitt im Referenzbereich und ließen keine infektionsbedingte Leukozytose erkennen. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen, so dass auch hier die unterschiedliche Zinkversorgung des Körpers keinen Einfluss zu haben schien. Weitere mögliche Einflussfaktoren (z. B. Trainingsbelastung, Trainingszustand u. s. w.) auf die Höhe der Leukozytenzahlen werden bei der Betrachtung der Subpopulationen diskutiert.

Die Monozyten machen von allen drei Subpopulationen der Leukozyten den geringsten Anteil aus (ca. 5 %). Zu ihren wichtigsten Aufgaben gehören die Phagozytose von Mikroorganismen, geschädigten körpereigenen Zellen und gealterten Erythrozyten usw. (Liesen und Baum, 1997). Monozyten sind gegenüber intrazellulär vorkommende Keime, virus-infizierte Zellen oder Tumorzellen zytotoxisch aktiv. Darüberhinaus können Sie durch die Präsentation von Teilstücken spezifischer Antigene (Fremdstoffe) die T-Lymphozyten aktivieren und dadurch die adaptive Immunantwort einleiten. Bezüglich der absoluten und relativen Monozytenzahlen gab es zwischen den drei Gruppen zum Zeitpunkt vor der Zink-Einnahme keine signifikanten Unterschiede, so dass auch hier die Höhe der Monozytenzahl (in Zellen/ $\mu$ l und in Prozenten) als unabhängig von dem Zinkstatus der drei Gruppen angesehen werden konnte (Punkt 3.2.2.3.2.1). Die Monozytenzahlen (in Zellen/ $\mu$ l und in Prozenten) waren für alle drei Gruppen in den entsprechenden Referenzbereichen. King und Fraker (2000) berichten, dass im Falle eines Zinkmangels bei Mäusen im Knochenmark eine erhöhte Anzahl von Monozyten gefunden werden konnte. Nach Angaben dieser Autoren verursacht eine suboptimale Zinkversorgung einen Anstieg von Glukokortikoiden, welche eine wichtige Schutzfunktion für die erste unspezifische Verteidigungslinie von vorübergehender Dauer ermöglichen. So kann nach ihrer Ansicht der Anstieg der Monozyten trotz unzureichender Zinkversorgung erklärt werden. Alle drei Gruppen der vorliegenden Studie, insbesondere aber Gruppe 1 mit der unzureichenden Zinkkonzentration im Plasma, befanden sich zu Beginn der

Zinksupplementierung im Referenzbereich. Gruppe 1 mit dem suboptimalen Zinkstatus wies allerdings keine signifikant höhere Monozytenzahl gegenüber den anderen beiden Gruppen auf, was evtl. durch einen möglichen Anstieg der Glukokortikoide für Gruppe 1 bewirkt hätte werden können. Allerdings wurden in dieser Studie die Glukokortikoide nicht gemessen, so dass diesbezüglich keine genaueren Aussagen möglich waren. Außerdem muss auf einen belastungsbedingten Einfluss des Trainings auf die Monozytenzahlen hingewiesen werden. Liesen und Baum (1997) berichten von einem trainingsbedingten Anstieg der Monozyten bei Sportlern, welcher drei Stunden nach der Belastung das Maximum erreicht, nur langsam wieder absinkt und erst 24 h später werden wieder normale Werte erreicht. Aufgrund der unterschiedlichen Wochentage für die Blutentnahme der Athleten, können unterschiedliche Trainingsbelastungen am Tag vor der Blutentnahme angenommen werden, deren Einflüsse zusätzlich wegen der Unterschiede im Trainingsumfang, der Trainingsintensität und der sportartenspezifischen Trainingsbelastung nicht kontrollierbar waren. Außerdem bestehen nach Angaben von Liesen und Baum (1997) Unterschiede in den Monozytenzahlen zwischen normal- und hochtrainierten Sportlern, wobei der Hochtrainierte im Vergleich zum Normaltrainierten niedrigere Monozytenzahlen aufweisen soll. In der vorliegenden Studie gab es allerdings bezüglich der Monozytenzahlen (in Zellen/ $\mu$ l und Prozent) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, so dass größtenteils ein sehr ähnliches Trainingsniveau der Athleten in den drei Gruppen bei ähnlicher Anzahl der wöchentlichen Trainingsstunden vermutet werden konnte. Die unterschiedlichen Sportarten der Athleten erschweren dennoch einen genaueren Vergleich einzelner Belastungsformen.

Neben den Monozyten gehören auch die Granulozyten mit ca. 60 % von den Leukozyten zu der frühen unspezifischen Verteidigungslinie des Körpers. Sie besitzen ebenfalls die Fähigkeit, eingedrungene Bakterien zu phagozytieren, sowie Krankheitskeime abzutöten und zu verdauen. Die Granulozytenzahlen [Zellen/ $\mu$ l] befanden sich für alle drei Gruppen zu Beginn der Zinkgabe in dem entsprechenden Referenzbereich, während die prozentualen Anteile der Granulozyten aufgrund erhöht erscheinender Lymphozytenzahlen [%] im Vergleich zu dem angegebenen Mittelwert von Jacobs et al. (1990) geringer erschienen (Punkt 3.2.2.3.2.1). Allerdings unterschieden sich die drei Gruppen nicht bezüglich ihrer absoluten und relativen Granulozytenzahlen. Auch hier schien deshalb die unterschiedliche Zinkversorgung des Körpers keinen Einfluss auf die Höhe der Zellzahlen zu haben. King und Fraker (2000) berichten, dass auch im Falle eines Zinkmangels bei Mäusen keine veränderten Granulozytenzahlen im Vergleich zu den Kontrolltieren beobachtet werden konnten, was die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit einer suboptimalen Zinkversorgung für Gruppe 1 bestätigt. Die absoluten Zellzahlen der Granulozyten befanden sich im Durchschnitt für alle drei Gruppen im Referenzbereich, dagegen waren die relativen Granulozytenzahlen für alle drei Gruppen aufgrund erhöhter Lymphozytenzahlen [%] etwas erniedrigt. Es besteht zwar nach Angaben von Liesen und Baum (1997) bezüglich der Granulozytenzahlen kein signifikanter Unterschied zwischen Normal- und Hochtrainierten, dennoch gibt es einen kurzfristigen Einfluss intensiver sportlicher Belastungen. Dieser zeigt sich in einem raschen Anstieg der Granulozyten zu Belastungsbeginn. Das Maximum wird nach Angaben dieser Autoren nach 1,5 bis 4 h nach Belastungsende erreicht und eine Normalisierung tritt auch hier nach 24 h für den Sportler ein. In der

vorliegenden Studie gab es bezüglich der Granulozytenzahlen (in Zellen/ $\mu\text{l}$  und Prozent) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, und die Werte befanden sich zudem für alle drei Gruppen im Referenzbereich, so dass auch hier angenommen wurde, dass sich der Einfluss der vorausgegangenen Trainingsbelastungen in Grenzen hielt.

Die dritte große Subpopulation mit ca. 35 % von den Leukozyten machen die Lymphozyten aus. Sie sind die Hauptträger der spezifischen Abwehr. Es muss insbesondere hinsichtlich der Lymphozytenzahlen auf zahlreiche Einflussfaktoren wie die Blutentnahmebedingungen z. B. das Einhalten der Ruhebedingungen, die Dauer des venösen Staus, die Tageszeit sowie auch die Analysenmethode hingewiesen werden (Landay und Muirhead, 1989), bezüglich welcher in der vorliegenden Studie jeweils optimale Bedingungen angestrebt wurden. Es gibt allerdings noch viele weitere Einflussfaktoren wie akuter und chronischer Stress, vorangegangene sportliche Aktivität der letzten Tage, Ernährungsweise der Athleten, Viruskrankheiten, bakterielle Infektionen u. v. m. (Thomas, 2000; Westermann und Pabst, 1990). Hohe Sportliche Belastungen führen bereits nach 30 sec zu einem massiven Anstieg der Lymphozyten, deren Maximum nach Belastungsende erreicht wird (Liesen und Baum, 1997). Anschließend kommt es so lange zu einem Absinken der Lymphozytenzahlen, bis nach 1 h bis 3 h das Minimum erreicht ist. Nach 24 h haben sich die Werte wieder normalisiert. Dieses Phänomen kann bei ausreichend intensiven Belastungen beobachtet werden, während dies bei Belastungen mit moderat gewählten Intensitäten nicht auftritt. Diese Einflussfaktoren auf die Lymphozytenzahlen der drei Gruppen lagen größtenteils außerhalb einer möglichen Kontrolle, müssen aber aufgrund ihrer Wirkung auf die Zellzahlen erwähnt werden. Außerdem ist zu beachten, dass im gesamten Blutvolumen nur 2 % des gesamten Lymphozytenpools in der Zeiteinheit enthalten sind und dass es eher unwahrscheinlich ist, dass diese geringe Menge für die restlichen 98 % repräsentativ ist. Die mittlere Zirkulationszeit im peripheren Blut beträgt etwa 30 min (Schick et al., 1975). Relativ kleine Veränderungen in Organen, welche sowohl viele Lymphozyten enthalten z. B. Milz, Lymphknoten, als auch Organe, die wie die Lunge z. B. keine Lymphozyten enthalten, können größere Veränderungen in der Blutlymphozytenzahl verursachen (Westermann und Pabst, 1990). Aufgrund dieser Tatsache werden die Lymphozyten und ihre Subpopulationen neben weiteren Untersuchungsparametern zur Diagnostik bestimmter Krankheitsbilder und zur Ermittlung des Immunstatus herangezogen (Peters et al., 1998; Westermann und Pabst, 1990). Zu Beginn der Zinksupplementierung hatte Gruppe 1 (3705 Zellen/ $\mu\text{l}$ ) mit der zu Beginn der Zink-Einnahme geringsten Zinkkonzentration im Plasma signifikant höhere Lymphozytenzahlen als Gruppe 3 (2827 Zellen/ $\mu\text{l}$ ) (Punkt 3.2.2.3.2.1). Als Ursache dafür können die ebenfalls signifikant höheren T-Helfer- und B-Lymphozytenzahlen [Zellen/ $\mu\text{l}$ ] von Gruppe 1 (mit 2609 T-Helferzellen/ $\mu\text{l}$  bzw. 621 B-Zellen/ $\mu\text{l}$ ) gegenüber Gruppe 3 (mit 1903 T-Helferzellen/ $\mu\text{l}$  bzw. 455 B-Zellen/ $\mu\text{l}$ ) gesehen werden. Nach Angaben von Liesen und Baum (1997) haben normaltrainierte Sportler höhere Lymphozytenzahlen als hochtrainierte, so dass bezüglich der Lymphozytenzahlen ein Einfluss des unterschiedlichen Trainingsstatus der Sportler in der vorliegenden Studie nicht ausgeschlossen werden kann. Ebenso kann es aufgrund des zuvor diskutierten Einflusses der unterschiedlichen Trainingsintensität im Vergleich zum Training von Gruppe 1 zu einem Absinken der Lymphozytenzahlen für Gruppe 3 gekommen sein, da diese Gruppe intensiver

trainiert hat und die Lymphozyten 24 h bis zur vollständigen Normalisierung benötigen. Auch das kann nicht ausgeschlossen werden. Die Lymphozytenzahlen aller drei Gruppen befanden sich allerdings in dem jeweilig entsprechenden Referenzbereich für die Lymphozyten. Bezüglich der prozentualen Anteile der Lymphozyten gab es zwischen den drei Gruppen zu Beginn der Zinksupplementierung keine signifikanten Unterschiede. Allerdings waren diese Werte für die drei Gruppen im Vergleich zu dem angegebenen Mittelwert von Jacobs et al. (1990) als höher einzustufen. Die erhöhten Werte kamen aufgrund der geringeren Granulozytenzahlen [%] zustande.

Neben diesen Einflussfaktoren auf die Lymphozytenzahlen der Athleten soll auf die Wirkung von Zink hingewiesen werden. Aus der Literatur ist insbesondere ein Einfluss von Zink auf die Lymphozytenproliferation bekannt, da Zink als Kofaktor zahlreicher Enzyme der Immunantwort wichtige Funktionen ausübt (McClain et al., 1985). Beispiele hierfür sind sowohl die Aktivierung der Proteinkinase C in T-Lymphozyten-Membranen und im Zytosol als auch die Aktivitätseinschränkungen von Plasmamembranen durch die Inhibition von ATPase oder Phospholipase A<sub>2</sub>. Im Zinkmangel können deshalb die Lymphozytenzahlen auf weniger als 1500 Zellen/ $\mu$ l bei Kindern und Jugendlichen verringert sein, was bereits eine Lymphopenie darstellt (Thomas, 2000; Schoentag und Cangiarella, 1993). Allerdings konnte auch bei Gruppe 1 mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma keine verringerte Lymphozytenzahl festgestellt werden. Man muss beachten, dass man in Gruppe 1 aufgrund der niedrigsten Zinkkonzentration bestenfalls von einer suboptimalen Zinkversorgung sprechen konnte und deshalb nicht von einem absoluten Zinkmangel mit erniedrigten Lymphozytenzahlen ausgehen konnte. Wie oben schon erwähnt, lagen die Lymphozytenzahlen für alle drei Gruppen im Referenzbereich.

Die Lymphozyten werden unterteilt in die beiden Hauptgruppen T- und B-Lymphozyten, wobei die T-Zellen ca. 70 % der zirkulierenden Lymphozyten ausmachen und die B-Zellen ca. 10 % (Liesen und Baum, 1997). Bei der Betrachtung der T-Zellen (in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent) befanden sich alle drei Gruppen im Vergleich zum Referenzbereich für Jugendliche (< 17 Jahre) innerhalb des Perzentilenbereiches 90 % (Punkt 3.2.2.3.2.2). Außerdem konnte beobachtet werden, dass Gruppe 1 mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma eine signifikant höhere T-Lymphozytenzahl (2609 Zellen/ $\mu$ l) gegenüber Gruppe 3 hatte, während dies für die Prozentzahlen nicht festgestellt werden konnte. Die signifikant höhere T-Zellzahl [Zellen/ $\mu$ l] von Gruppe 1 kann insbesondere durch die ebenfalls signifikant höhere Zahl der Zytotoxischen T-Zellen dieser Gruppe im Vergleich zur Gruppe 3 erklärt werden. Auch bezüglich der T-Lymphozyten berichten Liesen und Baum (1997), dass normaltrainierte Athleten eine im Vergleich zu hochtrainierten Sportlern höhere T-Lymphozytenzahlen aufweisen. Auch hier scheint nach Angaben der Autoren der Trainingszustand einen Einfluss auf die T-Lymphozytenzahl zu haben, der allerdings in der vorliegenden Studie nicht näher betrachtet werden konnte. Der belastungsbedingte Einfluss auf die Höhe der T-Zellen wird im Zusammenhang mit deren Subpopulationen (T-Helfer- und Zytotoxischen T-Zellen) diskutiert. Bezüglich der B-Lymphozyten, welche die Funktion besitzen, sich zu Plasmazellen weiterzuentwickeln und zur Opsonierung von spezifischen Fremderregern Antikörper (Ig) zu produzieren, wurde für Gruppe 1 im Gegensatz zu den anderen beiden Gruppen eine oberhalb des Perzentilen-

bereiches 90 % für Jugendliche befindliche B-Lymphozytenzahl [Zellen/ $\mu$ l] gefunden. Diese war signifikant höher für Gruppe 1 (621 B-Zellen/ $\mu$ l) mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma im Vergleich zur Gruppe 3 mit einer ausreichenden Zinkkonzentration im Plasma. Die signifikant höheren Zellzahlen von Gruppe 1 bezüglich der T- und B-Zellen führten folglich zu einer signifikant höheren Lymphozytenzahl dieser Gruppe im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen. In einer Untersuchung mit Sportlern schien nach Angaben von Liesen und Baum (1997) der unterschiedliche Trainingszustand der Athleten (Indiz: maximale Sauerstoffaufnahme) keinen Einfluss auf die Höhe der B-Lymphozytenzahl zu haben. Allerdings weisen auch sie auf eine belastungsbedingte Veränderung der B-Zellen, welche der Mobilisierung der T-Helferzellen ähnelt, hin. Die Autoren berichten, dass es mit Beginn des körperlichen Trainings zu einem Anstieg der B-Zellen kommt. Nach dem Belastungsende sinken diese wieder ab und erreichen 3 h später ihr Minimum. Eine Normalisierung der B-Lymphozytenzahl tritt auch hier nach 24 h ein. Deshalb kann auch hier ein unterschiedlicher Einfluss auf die B-Zellzahl der Athleten aufgrund der verschiedenen Trainingsbelastungen zu evtl. unterschiedlichen Trainingszeitpunkten des Vortages nicht ausgeschlossen werden. Im Folgenden soll ein möglicher Einfluss des unterschiedlichen Zinkstatus der drei Gruppen auf die Höhe der T- und B-Zellen diskutiert werden. Aus der Literatur ist bekannt, dass im Vergleich zu anderen Spurenelementen Zink die spezifische Immunreaktion der jeweiligen, für die Abwehrsituation verantwortlichen T- bzw. B-Lymphozyten verstärkt (Kruse-Jarres, 1989). Insbesondere für die Reifung der T-Lymphozyten wird Zink als ein wichtiger Bestandteil des Thymulins benötigt. Thymulin ist ein niedermolekulares Peptid-Hormon der Thymus-Epithelzellen, welches den Reifungsprozess der T-Zellen reguliert und Zink für seine biologische Wirksamkeit benötigt. In der Abwesenheit von Zink verliert Thymulin seine biologische Aktivität, da Zink ein essentieller Bestandteil dieses Thymushormons ist, und der Reifungsprozess der T-Lymphozyten wird nachteilig beeinflusst. Bei Mäusen, welche zwei Wochen mit einer zinkarmen Kost gefüttert wurden, konnte bereits nach zwei Wochen eine reduzierte T- und B-Lymphozytenzahl im Blut beobachtet werden (Fraker et al., 1986). Aber auch bei Menschen und Tieren mit einem Zinkmangel konnte eine erniedrigte Konzentration von lymphoiden Zellpopulationen im Blut festgestellt werden (Fraker et al., 1986; Prasad et al., 1988; Moulder und Steward, 1989). Aufgrund dieser Zusammenhänge wurde bei den Athleten von Gruppe 1 mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen eine niedrigere T- und B-Zellzahl erwartet. Das war aber nicht der Fall. Die Werte für die T- und B-Lymphozyten [Zellen/ $\mu$ l] waren sogar signifikant höher im Vergleich zu Gruppe 2 und Gruppe 3. Die B-Zellen befanden sich zudem für Gruppe 1 oberhalb des Referenzbereiches und könnten damit auch Ausdruck einer erhöhten Abwehrbereitschaft sein. Ricken und Kindermann (1986) berichten, dass 55 % der von ihnen untersuchten 153 Athleten eine im Vergleich zu dem Referenzwert erhöhte B-Zellzahl aufwiesen, was als trainingsbedingte Anpassung diskutiert werden könnte. Es muss allerdings an dieser Stelle noch einmal auf die Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren auf die Höhe der Zellzahlen hingewiesen werden.

T-Zellen werden durch antigenpräsentierende Zellen wie z. B. Makrophagen in einen aktivierten Zustand versetzt, der es ihnen ermöglicht, zu proliferieren und als Effektorzellen verschiedene

Zytokine für die immunologischen Abwehrprozesse zu produzieren. Bezüglich dieser T-Zellen, die bereits im Organismus in einem aktivierten Zustand vorlagen, gab es für die drei Gruppen keine signifikanten Unterschiede (Punkt 3.2.2.3.2.2). Alle Werte befanden sich sowohl in Zellen/ $\mu\text{l}$  als auch in Prozent in dem entsprechenden Perzentilenbereich von 90 % und ließen eine normale Abwehrbereitschaft der drei Gruppen vermuten. Bezüglich der LGL-Zahlen, welche bis zu 10 % der T-Helferzellen und 35 % der Zytotoxischen T-Zellen repräsentieren können (Roitt et al., 1995), gab es auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Die LGL können einige Zielzellen oder Pathogene erkennen und zerstören, die mit einem spezifischen Antikörper beladen wurden. Die prozentualen Anteile der LGL befanden sich für alle drei Gruppen in dem angegebenen Referenzbereich.

Funktionell sind bei den T-Helferzellen noch weitere Unterteilungen ( $\text{TH}_1$ - und  $\text{TH}_2$ -Zellen) möglich, die in der vorliegenden Studie allerdings nicht von Bedeutung sind. Während die T-Helferzellen zentrale Regulationsfunktionen z. B. gegenüber antigen-präsentierenden Zellen und Natürlichen Killerzellen ausüben sowie auch über einen direkten Kontakt und die Aussendung von Zytokinen B- und Zytotoxische T-Zellen beeinflussen können, können die Zytotoxischen T-Zellen virusinfizierte eigene Körperzellen und kranke Zellen (Krebszellen) abtöten (Liesen und Baum, 1997). Das Verhältnis ( $\text{CD4}^+/\text{CD8}^+$ ) dieser beiden Zellpopulationen ist wichtig für ein optimales Abwehrverhalten des Körpers und kann zusätzliche Informationen über den vorliegenden Gesundheits- bzw. Krankheitszustand eines Patienten geben (Koenig und Weidmann, 1984). Bei virusinfizierten Personen z. B. wird oft eine Erniedrigung dieses Quotienten gesehen, da diese vermehrt zytotoxische T-Zellen ( $\text{CD8}^+$ ) zur Virusbekämpfung produzieren. Bei dem Vergleich mit den entsprechenden Referenzbereichen für Jugendliche hatten alle drei Gruppen zu Beginn der Zinksupplementierung im Normbereich liegende  $\text{CD4}^+$ - sowie auch  $\text{CD8}^+$ -Zellzahlen [Zellen/ $\mu\text{l}$ ] (Punkt 3.2.2.3.2.3). Die im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen signifikant erhöhten  $\text{CD8}^+$ -Zellzahlen von Gruppe 1 waren die Ursache für die ebenfalls signifikant höheren T-Zellen dieser Gruppe. Im Gegensatz zu den Absolutwerten schienen die prozentualen Anteile dieser beiden Zellpopulationen im Vergleich zum Referenzbereich für Jugendliche für alle drei Gruppen erhöht zu sein und befanden sich für die  $\text{CD4}^+$ -Zellen bei allen drei Gruppen sogar oberhalb des genannten Prozentbereiches. Allerdings befanden sich die Quotienten zwischen den  $\text{CD4}^+$ - und  $\text{CD8}^+$ -Zellen für alle drei Gruppen in den entsprechenden Referenzbereichen, so die prozentualen Anteile der  $\text{CD4}^+$ - und  $\text{CD8}^+$ -Zellen in einem ausgewogenen Verhältnis für alle drei Gruppen standen. Auch hier schien demzufolge die unterschiedliche Zinkversorgung des Körpers innerhalb der drei Gruppen keinen Einfluss auf den Wert des Quotienten zu haben. Die Wirkung von Zink auf die Reifung von Lymphozyten wurde bereits diskutiert. Die im Falle eines Zinkmangels erniedrigten lymphoiden Zellpopulationen konnten jedoch für Gruppe 1 mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma nicht festgestellt werden, zumal es sich bei Gruppe 1 bestenfalls um eine suboptimale Zinkversorgung des Körpers handelte. Liesen und Baum (1997) weisen auch bezüglich dieser Zellpopulationen auf eine belastungsbedingte Veränderung der  $\text{CD4}^+$ - und  $\text{CD8}^+$ -Zellzahlen hin. Nach Angaben dieser Autoren verdoppelt sich am Ende der sportlichen Belastung die Anzahl der  $\text{CD8}^+$ -Zellen, wohingegen die  $\text{CD4}^+$ -Zellen nur um ca. 50 % ansteigen können. Die  $\text{CD8}^+$ -Zellzahlen

reagieren also stärker auf die Belastung als die  $CD4^+$ -Zellzahlen, was eine kurzfristige Verringerung des  $CD4^+/CD8^+$ -Quotienten bewirkt. Nach der Belastung kommt es zu einem Absinken der  $CD4^+$ - und  $CD8^+$ -Zellzahlen, wobei bereits 3 h später das Minimum für beide Zellpopulationen erreicht wird. Dieses liegt unterhalb der entsprechenden Ausgangswerte vor der Belastung. Auch 24 h nach der Trainingsbelastung befinden sich die  $CD4^+$ -Zellen nach Angaben von Liesen und Baum (1997) noch etwas unterhalb der Ausgangswerte, während die  $CD8^+$ -Zellen leicht oberhalb dieser liegen. Somit kann eine belastungsbedingte, nachhaltige Erhöhung der  $CD8^+$ -Zellzahl aufgrund der vorangegangenen Trainingsbelastung für die Athleten der drei Gruppen nicht ausgeschlossen werden, zumal Gruppe 1 signifikant höhere Zellzahlen gegenüber Gruppe 2 und Gruppe 3 aufwies.

Die dritte große Untergruppe der Lymphozyten stellen die Natürlichen Killerzellen (NK-Zellen) mit ca. 10 % der im Blut zirkulierenden Lymphozyten dar, welche aufgrund ihrer fehlenden Antigen-spezifität ebenfalls zu der unspezifischen Immunabwehr gehören und wichtige Funktionen u. a. in der Abwehr von Virusinfektionen oder von Krebszellen erfüllen (Liesen und Baum, 1997). Für alle drei Gruppen konnten im Referenzbereich befindliche NK-Zellzahlen (in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent) gefunden werden, was eine normale Abwehrbereitschaft des Körpers vermuten ließ (Punkt 3.2.2.3.2.2). Sowohl für die absoluten, als auch für die relativen Zellzahlen der NK-Zellen konnten keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit der unterschiedlichen Zinkversorgungen der drei Gruppen gefunden werden. Der in der Literatur (Rajagopalan et al., 1995) im Falle eines Zinkmangels berichtete Einfluss von Zink auf die Natürlichen Killerzellen bezieht sich auf deren Funktionsleistung, da diese für ihren  $Fc\gamma$ -Antikörper-Rezeptor Zink zur Erkennung von Zielzellen benötigen, und kann nicht auf die absoluten und relativen Zellzahlen der NK-Zellen der drei Gruppen in der vorliegenden Studie übertragen werden. Aber auch hier muss betont werden, dass es sich bestenfalls um eine suboptimale Zinkversorgung bei den Athleten von Gruppe 1 handelt und damit andere Bedingungen gegeben sind. Bei den zu Beginn sportlicher Belastung stark mobilisierten Lymphozyten handelt es sich nach Angaben von Baum und Liesen (1997) vorwiegend um NK-Zellen. Diese können nach Ansicht der Autoren bei sehr intensiven Trainingsbelastungen auf das Fünf- bis Siebenfache, verglichen zum Ausgangswert im Ruhezustand, ansteigen. Für die in der Nachbelastungsphase beobachtete Lymphozytopenie sind überwiegend die stark abfallenden NK-Zellen verantwortlich. Ca. 3 h nach der sportlichen Aktivität steigen sie wieder an und erreichen nach 24 h eine im Vergleich zum Ausgangswert leicht erhöhte Zellzahl. Auch dieser trainingsbedingte Einfluss auf die NK-Zellzahl kann bei den Athleten der vorliegenden Studie nicht ausgeschlossen werden. Zudem weisen Ricken und Kindermann (1986) in einer Untersuchung mit Hochleistungssportlern ( $N = 153$ ) im Alter zwischen 17 Jahren und 33 Jahren daraufhin, dass bei 52 % der Athleten im Vergleich zu den Normalwerten erhöhte NK-Zellzahlen für die Sportler festgestellt werden konnten, was als Zeichen einer möglichen Trainingsadaptation gesehen werden könnte. Das konnte auch in Untersuchungsergebnissen von Pedersen et al. (1989) bestätigt werden. Allerdings gibt es auch Studien dazu, die das nicht unterstützen können (Liesen et al., 1989, Gabriel et al., 1992, Nieman et al., 1995).

In der vorliegenden Studie wurde zusätzlich für jeden Athleten innerhalb der drei Gruppen vor und nach der Zinksupplementierung die Zahl Zytokine produzierender T-Zellen bestimmt. Dazu wurde eine Stimulierung der T-Lymphozyten *in vitro* durch PMA und Ionomycin vorgenommen und durch Einsatz geeigneter, markierter Antikörper die Zahl der T-Lymphozyten durchflusszytometrisch erfasst, die die Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 synthetisierten. Dieses Verfahren erlaubt Rückschlüsse auf die Funktionstüchtigkeit der T-Zellen. PMA und Ionomycin sind aus der Literatur als geeignete Stimulantien für die T-Lymphozyten zur Produktion von Zytokinen (Garcia et al., 2000) bekannt. Die Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 fördern insbesondere die Aktivierung der Makrophagen zur Vernichtung von Fremdstoffen und damit auch proinflammatorische Prozesse (Street et al., 1990). Sie werden als wichtige Signalstoffe für zellvermittelte Abwehrreaktionen u. a. durch die T-Lymphozyten produziert. Ein Einfluss von Zink auf die Produktionsrate dieser Zytokine ist insbesondere im Falle eines Zinkmangels bekannt (Good und Fernandes, 1979). Ob sich auch der Anteil der *in vitro* stimulierbaren T-Lymphozyten durch den unterschiedlichen Zinkversorgungszustand der drei Gruppen beeinflussen lässt, sollte in der vorliegenden Studie ermittelt werden. Es gibt in der Literatur bereits einige Angaben zur Produktion dieser Zytokine, doch beziehen sich diese auf die produzierte Menge dieser Zytokine durch die T-Lymphozyten. So wurde z. B. bei einer Untersuchung mit älteren Personen eine Korrelation zwischen verringerten Produktionsraten der Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 und niedrigen Zinkkonzentrationen im Serum gefunden (Ring und Kirchner, 2000). Diese Unterdrückung der Zytokinbildung (IL-2 und IFN- $\gamma$ ) bei Zinkmangel in peripheren Blutzellen konnte durch Zinkzusatz in eine gesteigerte Sekretion dieser Zytokine umgewandelt werden (Dowd et al., 1986; Moulder und Steward, 1989; Salas und Kirchner, 1987; Wellinghausen und Rink, 1996). Ob eine im Zinkmangel verringerte Produktion von IL-2 durch eine gestörte Zellreifung der T-Helferzellen oder direkt durch einen Effekt von Zink auf die Genexpression von IL-2 zustande kommt, ist noch nicht geklärt (Prasad, 1995). Auch Beck et al. (1997) haben eine erniedrigte Produktion von IFN- $\gamma$  im Falle eines Zinkmangels beobachtet. Eine verringerte Synthese oder Aktivität von Zytokinen konnte im Falle eines Zinkmangels durch die Verabreichung von Zink korrigiert werden (Zalewski, 1996).

In der vorliegenden Studie wurde der Fokus auf die maximale Stimulierbarkeit der T-Lymphozyten gelegt und der Einfluss einer unterschiedlichen Zinkversorgung der drei Gruppen zu Beginn der Zink-Einnahme untersucht. Im nachfolgenden Kapitel (Punkt 4.2.4.3.2) werden die Auswirkungen der Zinksupplementierung beschrieben. Hinsichtlich des stimulierbaren absoluten und relativen Anteils der T-Lymphozyten zur Produktion von IFN- $\gamma$  gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen, so dass der unterschiedliche Zinkversorgungszustand keinen Einfluss auf die Stimulierbarkeit der T-Lymphozyten zu haben schien. IFN- $\gamma$ , welches sowohl von T- als auch von NK-Zellen produziert werden kann, ist ein sehr wichtiger Aktivator der Makrophagen und kann diesbezüglich in seiner Wirkung durch TNF- $\alpha$  verstärkt werden (Roitt et al., 1995). Auch eine synergistische Zusammenarbeit von IFN- $\gamma$  mit IL-2 kann die Aktivität von z. B. den Makrophagen, T- oder NK-Zellen erhöhen. Nach der Aktivierung von T-Lymphozyten durch ein Antigen kann auch von diesen Lymphozyten bei viralen Infektionen IFN- $\gamma$  freigesetzt werden (Liesen und Baum,

1997). Ziel ist es, bei noch nicht virusinfizierten Zielzellen einen Zustand erhöhter Virusresistenz zu erzeugen. Zugleich wird eine Virusvermehrung in virusinfizierten Zellen durch IFN- $\gamma$  gehemmt bzw. der Virus wird sogar völlig eliminiert, ohne diese Zellen dabei zu töten. Ebenso fördert IFN- $\gamma$  die Differenzierung und Proliferationshemmung von B-Zellen (Roitt et al., 1995). Ein Vergleich der IFN- $\gamma$ -produzierenden T-Zellen mit den Erfahrungswerten (Punkt 3.2.2.3.3) von 20 % bis 30 % ließ für alle drei Gruppen eine normale Funktionstüchtigkeit der stimulierten T-Zellen erkennen.

Alle kernhaltigen Zellen können TNF $\alpha$ -Rezeptoren exprimieren und deshalb kann dieses Zytokin auch in allen kernhaltigen Zellen biologische Effekte vermitteln, die natürlich vom Differenzierungsmuster der jeweiligen Zelle abhängen (Thomas, 2000). Produziert wird TNF- $\alpha$  überwiegend von Makrophagen und T-Zellen, und wird vermehrt bei Entzündungsprozessen und katabolischen Vorgängen (z. B. Gewichtsreduktionen) freigesetzt (Liesen und Baum, 1997). Insbesondere TNF- $\alpha$  stimuliert lokale Entzündungsreaktionen, die helfen, Infektionen lokal zu begrenzen (Janeway und Travers, 1997). Es ist wie das IFN- $\gamma$  wichtig für die Aktivierung von Makrophagen, aber auch von Granulozyten und Zytotoxischen Zellen. Zudem steigert TNF- $\alpha$  die Phagozytoseleistung und Zytotoxizität von Makrophagen und fördert den Zelluntergang (Nekrose) in Tumoren (Roitt et al., 1995). TNF- $\alpha$  ist auch ein Induktor des programmierten Zelltods (Apoptose). Einige weitere Eigenschaften von TNF- $\alpha$  sind: eine Erhöhung der mikrobiziden Kapazität von Makrophagen und neutrophilen Granulozyten, eine größere Adhäsions-Fähigkeit der Phagozyten an Blutgefäßwänden, um den Übertritt von entzündlichen Zellen ins Gewebe zu erleichtern, sowie auch das Auslösen von Fieber z. B. in einer Akut-Phase-Reaktion über eine Aktivierung des Hypothalamus. TNF- $\alpha$  regt in dieser Akut-Phase-Reaktion die Leberzellen zur Produktion von Akut-Phase-Proteinen wie z. B. von CRP an. Der stimulierbare absolute und relative Anteil der T-Lymphozyten zur Produktion von TNF- $\alpha$  unterschied sich nicht signifikant innerhalb der drei Gruppen (Punkt 3.2.2.3.3). Auch hier schien der unterschiedliche Zinkstatus keinen Einfluss auf die Stimulierbarkeit der T-Lymphozyten zu haben. Im Vergleich zu den Erfahrungswerten von 10 % bis 15 % wies insbesondere Gruppe 3 mit 18,2 % etwas erhöhte Werte auf. Smith et al. (2000) vertreten die Hypothese, dass während sportlicher Aktivitäten belastungsbedingte Mikrotraumen an Muskel- und Bindegewebe auftreten können, welche die Freisetzung proinflammatorischer Zytokine wie z. B. von TNF- $\alpha$  auslösen und im Falle einer ausreichenden Erholungsphase dadurch den Wundheilungsprozess unterstützen können. Aufgrund dieser Tatsache kann bei Sportlern, die sich regelmäßig intensiven Trainingsbelastungen aussetzen, eine vermehrte Freisetzung von TNF- $\alpha$  vermutet werden. Ob sich diese Bereitschaft auch auf die In-vitro-Stimulation der T-Zellen übertragen lässt, kann in der vorliegenden Studie nicht beantwortet werden.

Der absolute und relative stimulierbare Anteil der T-Lymphozyten, welche in vitro IL-2 produziert haben, war innerhalb der drei Gruppen ebenfalls nicht signifikant verschieden. Der unterschiedliche Zinkversorgungszustand schien deshalb auch hier keinen Einfluss auf die Stimulierbarkeit der T-Zellen zu haben. IL-2 ist der wirksamste T-Zell-Wachstumsfaktor und Aktivator von diesen. Zugleich fördert IL-2 die Proliferation und Differenzierung von T- und B-Zellen, die Freisetzung

von Zytokinen aus T-Zellen und aktiviert zytotoxische T-, NK-Zellen und Makrophagen. Erfahrungswerte haben gezeigt, dass 20 % bis 30 % der in vitro stimulierten T-Zellen IL-2 produzieren, wobei die Athleten der drei Gruppen zu Beginn der Zinkgabe geringere Prozentanteile für die T-Zellen aufwiesen, was u. a. für eine verringerte Teilungsbereitschaft der T-Lymphozyten in vivo sprechen könnte. Eine genaue Ursachenerklärung kann dafür nicht gegeben werden.

#### **4.2.4.3.2 Wirkung einer sechswöchigen Zinksupplementierung auf Parameter des Immunsystems von Personen mit unterschiedlichem Zinkstatus**

Es wurde anschließend der Einfluss einer sechswöchigen Zinksupplementierung auf die bereits diskutierten Parameter des Immunsystems der drei Gruppen mit unterschiedlichem Zinkstatus untersucht. Jede der drei Gruppen, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Zinkkonzentration im Plasma zu Beginn der Studie eingeteilt wurden, erhielt das gleiche Zinkpräparat und nahm dieses auch in der gleichen Dosierung ( $2 \times 10$  mg/Tag) über sechs Wochen ein. Die größten Einflüsse des Zinkpräparates wurden nach der sechswöchigen Supplementierung bei Gruppe 1 mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma erwartet, da sich in dieser Gruppe ein 34 %iger Anstieg der Zinkkonzentration im Plasma ergeben hat, der eine suboptimale Zinkversorgung dieser Athleten bestätigen konnte.

Nach der sechswöchigen Zink-Einnahme wurden keine signifikanten Veränderungen (Zeiteffekte) für die Serumkonzentrationen von IgG und IgM für die drei Gruppen ermittelt. Während für Gruppe 1 mit der niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma immer noch die höchste IgG-Konzentration im Serum nach der Zinkgabe festgestellt wurde, gab es bezüglich der IgM-Konzentrationen im Serum keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Die Werte für IgG und IgM befanden sich wieder in den jeweiligen Referenzbereichen. Die Zinksupplementierung schien keinen signifikanten Einfluss auf die Serumkonzentrationen der beiden Immunglobuline zu haben. Die zusätzlich ermittelten CRP-Konzentrationen im Plasma ließen keine signifikanten Veränderungen für die drei Gruppen nach der Zink-Einnahme erkennen. Alle Werte befanden sich für die drei Gruppen wiederum im Referenzbereich und deuteten auf eine normale Abwehrbereitschaft des Körpers hin.

Nach der Zinksupplementierung konnte für alle drei Gruppen ein signifikantes Absinken (Zeiteffekt) der Leukozyten festgestellt werden, wobei sich allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messwerten vor der Supplementierung und nach der Supplementierung innerhalb einer Gruppe ergaben und die Werte für alle drei Gruppen im Referenzbereich lagen. Demgegenüber stand ein signifikanter Anstieg der Monozyten nach der Zinkgabe für alle drei Gruppen (Zeiteffekt), so dass sich für Gruppe 1 und Gruppe 3 im Vergleich zu den Messwerten vor der Supplementierung signifikant höhere Absolut- und Relativwerte ergaben. Es konnten auch nach der Supplementierung keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Absolut- und Relativwerte der Monozyten zwischen den drei Gruppen festgestellt werden. Die Monozytenzahlen [Zellen/ $\mu$ l] befanden sich für alle drei Gruppen im Referenzbereich. Die prozentualen Anteile der Monozyten,

welche zum einen wegen der gestiegenen absoluten Monozytenzellen, zum anderen wegen der verringerten Lymphozytenzellen [%], die später noch diskutiert werden, gestiegen sind, lagen deutlich über dem angegebenen Mittelwert von Jacobs et al. (1990) (Punkt 3.2.2.3.2.1). Die Zinkverabreichung könnte somit für alle drei Gruppen einen Anstieg der Monozyten bewirkt haben. Da es aber weder zu Beginn der Zink-Einnahme signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen mit der unterschiedlichen Zinkversorgung gab, noch nach der Zinksupplementierung unterschiedliche signifikante Veränderungen bezüglich der absoluten und relativen Monozytenzahlen für die drei Gruppen aufgetreten sind, ist es schwer, diesen Effekt eindeutig auf Zink zurückzuführen. Ein möglicher, trainingsbedingter Einfluss auf die Höhe der Monozytenzahlen (Punkt 4.2.4.3.1) wurde bereits diskutiert und konnte in der Studie nicht ausgeschlossen werden. Dennoch schien es nach der sechswöchigen Zinksupplementierung zu einer verstärkten unspezifischen Abwehr, insbesondere der monozytären, für alle drei Gruppen gekommen zu sein, d.h. dass die Monozytenzahlen nach Zinkgabe für alle Athleten angestiegen sind. Ob Zink in der vorliegenden Studie durch sein Einwirken auf die Genexpression z. B. von IL-1 und IL-3, zwei wichtige Zytokine der Myelopoese im Knochenmark, die Monozytenbildung gesteigert hat oder durch Steigerung der Proteinsynthese oder Aktivierung wichtiger Enzymsysteme einen anderen Einfluss auf die Monozyten genommen hat, kann in der vorliegenden Studie nicht beantwortet werden. Aus in vitro Versuchen ist im Falle eines Zinkmangels eine stimulierende Wirkung von Zink auf die Monozyten bzw. deren Funktionsleistung bekannt. So konnte bei Menschen mit Acrodermatitis Enteropathica festgestellt werden, dass die chemotaktische Antwort der Monozyten erniedrigt ist und nach der Zinkgabe in vitro normalisiert werden konnte (Hambidge et al., 1977; Weston et al., 1977). Ebenso haben die Monozyten zinkarmer Mäuse eine erniedrigte Fähigkeit, Parasiten in vitro zu töten. Dies konnte durch den Zusatz von Zink in vitro sofort korrigiert werden (Wirth et al., 1989). Allerdings sind weitere Studien notwendig, um die Bedingungen verstehen zu können, unter welchen Zink sowohl die Zellzahlen von Monozyten und Makrophagen, als auch deren Funktionsleistungen (Shankar und Prasad, 1998) im Zustand einer suboptimalen Zinkversorgung beeinflusst.

Hinsichtlich der absoluten Granulozytenzahlen [Zellen/ $\mu$ l] konnte für keine der drei Gruppen nach der Zinkgabe eine signifikante Veränderung festgestellt werden (Punkt 3.2.2.3.2.1). Die absoluten Granulozyten blieben für alle drei Gruppen unverändert, so dass die Zink-Einnahme keinen Einfluss zu haben schien, da sich zumal auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen erkennen ließen. Die absoluten Werte befanden sich auch nach der Zinksupplementierung für alle drei Gruppen im Referenzbereich. Bezüglich der relativen Granulozytenzahlen konnte ein signifikanter Anstieg für alle drei Gruppen (Zeiteffekt) beobachtet werden, der allerdings nur durch das prozentuale Absinken der Lymphozyten für alle drei Gruppen und damit indirekt zustande kam. Zink schien auch hier keinen Einfluss auf die Granulozytenzahlen (in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent) zu haben.

Nach der Zink-Einnahme konnte außerdem für alle drei Gruppen, insbesondere aber für Gruppe 1, ein signifikantes Absinken der absoluten Lymphozytenzahlen (Zeiteffekt und Gruppeneffekt) festgestellt werden, so dass die signifikanten Gruppenunterschiede zu Beginn der Supplementierung

nicht mehr zu erkennen waren (Punkt 3.2.2.3.2.1). Auch bezüglich der Relativwerte kam es zu einem signifikanten Absinken der Lymphozyten für alle drei Gruppen (Zeiteffekt), welche sich dem von Jacobs et al. (1990) genannten Mittelwert annäherten. Für das signifikante Absinken der Lymphozytenzahlen der Athleten innerhalb der drei Gruppen nach der Zinksupplementierung stehen verschiedene Gründe wie z. B. eine möglicherweise herabgesetzte Produktion der Lymphozyten, eine gestörte Lymphozytenzirkulation oder eine verkürzte Lebensdauer der Lymphozyten, zur Diskussion. In normalen Situationen, in welchen die Proliferationsrate der Lymphozyten im Blut sehr gering ist (Soop et al., 1988), hängt die Anzahl der Lymphozyten im Blut von ihrem Befinden im Blut, ihrem Übertritt in verschiedene Organe und ihrem Eintritt ins Blut ab. Es wird von einem marginalen Lymphozytenpool berichtet, der sich in einem dynamischen Austausch mit den peripheren Lymphozyten im Blut befindet (Pabst et al., 1987). Viele Faktoren wie z. B. Stress können zu einer raschen Veränderung in der Anzahl und Zusammensetzung der peripheren Lymphozyten im Blut aufgrund des Austausches mit Lymphozyten des marginalen Pools führen. Da sowohl sehr wenig über die Größe und Lokalisation des marginalen Lymphozytenpools, als auch über die Regulierung der Lymphozytenzirkulation bekannt ist (Westermann und Pabst, 1998), kann auf der Grundlage der in der vorliegenden Studie ermittelten Daten keine endgültige Ursachenerklärung für das Absinken der Lymphozytenzahlen nach der sechswöchigen Zinksupplementierung gegeben werden. Zudem sind Shankar und Prasad (1998) der Meinung, dass es schwierig ist, die eigentlichen Effekte von Zink bezüglich des Immunsystems ausschließlich auf der Grundlage von sich verändernden Zellzahlen zu erklären. Veränderungen in den absoluten Zellzahlen sagen nicht zwangsläufig etwas über Auswirkungen bezüglich der Funktionsleistungsfähigkeit dieser Zellen aus. Die Bestimmung von absoluten und relativen Zellzahlen ist getrennt von den Bestimmungen zur Funktionstüchtigkeit dieser Zellen zu sehen. Wenn man das ubiquitäre Eingreifen von Zink in die vielen zellulären Prozesse betrachtet, das von einer veränderten Genexpression z. B. zinkabhängiger Enzyme oder Zytokine bis hin zur Stabilisierung von Zellmembranen reicht (Walsh et al., 1994; Zalewski, 1996; Vallee und Falchuk, 1993), kann man metabolische und strukturelle Mängel in überlebenden Lymphozyten bei unzureichenden Zinkversorgungszuständen beobachten. Bei einer Verbesserung der Zinkversorgung des Körpers aufgrund einer gezielten Zinksupplementierung kann angenommen werden, dass sich auch die Lymphozyten selbst stabilisieren. Schardt (1994) beobachtete in seiner Untersuchung mit Leistungssportlern, die acht Wochen lang 18,9 mg Zink am Tag einnahmen und keinen Zinkmangel aufwiesen, keine signifikanten Veränderungen der Lymphozytenzahlen und deren Subpopulationen nach dieser Zinkgabe. Weitere Studien sind notwendig, um eindeutige Aussagen bezüglich der Einflüsse einer gezielten Zinkgabe auf die Veränderung von Zellen des Immunsystems geben zu können. Zudem wäre es sehr interessant, in weiteren Studien zu untersuchen, ob eine Zinksupplementierung auch Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit der sich verändernden Zellpopulationen (z. B. Lymphozyten, Monozyten) bei Personen mit suboptimaler Zinkversorgung hat.

Zum Ende der Zink-Einnahme war ein signifikantes und gruppenabhängiges Absinken der absoluten T-Lymphozytenzahlen für alle drei Gruppen (Zeiteffekt und Gruppeneffekt) zu erkennen, so dass sich insbesondere für Gruppe 1 signifikant niedrigere Zellzahlen im Vergleich zu den Mess-

werten vor der Zinkbehandlung ergaben (Punkt 3.2.2.3.2.2). Zwischen den drei Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Ob Zink für diesen Effekt verantwortlich gemacht werden kann, ist nicht zu beantworten, da sich für alle drei Gruppen unabhängig des anfänglichen Zinkstatus die gleichen Veränderungen ergeben haben und auch nach der Supplementierung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen waren. Zusätzliche Einflussfaktoren auf die T-Zellen wurden bereits unter Punkt 4.2.4.3.1 diskutiert und lagen außerhalb einer möglichen Kontrolle. Die signifikante Wechselwirkung zwischen Zeit und Gruppe für die prozentualen Anteile der T-Zellen an der Gesamtlymphozytenzahl kamen zustande, da für Gruppe 1 und Gruppe 3 der prozentuale Anteil der T-Lymphozyten angestiegen ist, während er für Gruppe 2 abgesunken ist. Dabei wurden die Anstiege der T-Lymphozyten für Gruppe 1 und 3 nur indirekt durch das Absinken der prozentualen Anteile der jeweiligen B- und NK-Zellen an der Gesamtlymphozytenzahl ermöglicht. Neben dem Absinken der absoluten T-Lymphozyten wurde auch bei den B-Lymphozyten ein signifikantes und gruppenabhängiges Absinken der absoluten Zellzahlen für die drei Gruppen (Zeiteffekt und Gruppeneffekt) festgestellt. Das Absinken der T- und B-Zellen [Zellen/ $\mu$ l] ist somit mit verantwortlich für die Verringerung der Lymphozytenzahlen [Zellen/ $\mu$ l] nach der Zinksupplementierung. Es ergaben sich für Gruppe 1 mit der geringsten Zinkkonzentration im Plasma signifikant geringere B-Zellen (absolut) als vor der Zink-Einnahme. Zudem wies Gruppe 1 auch nach der Zinkgabe immer noch die höchste Anzahl an B-Lymphozyten gegenüber den beiden anderen Gruppen auf. Es war hier auffallend, dass sich die Zellzahlen von Gruppe 1 nach der Zink-Einnahme wieder im Referenzbereich befunden haben. Bezüglich der Relativwerte der B-Zellen konnte keine signifikante Veränderung für die drei Gruppen festgestellt werden. Inwieweit dieser Effekt durch die Zinkgabe beeinflusst wurde oder aufgrund anderer möglicher Einflussfaktoren zustande kam, kann in dieser Studie nicht beantwortet werden.

Für die in vivo bereits im aktivierten Zustand vorliegenden T-Zellen konnten für alle drei Gruppen am Ende der Zink-Einnahme ein signifikantes Absinken (Zeiteffekt) bezüglich der Absolut- und Relativwerte festgestellt werden (3.2.2.3.2.2). Die Werte befanden sich wiederum in dem entsprechenden Referenzbereich. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt werden, so dass auch hier nicht von einem eindeutigen Zinkeffekt gesprochen werden kann. Die nach der Zinksupplementierung signifikant abgesunkenen absoluten und relativen Aktivierten T-Zellen könnten möglicherweise einen Zustand einer verringerten Abwehrbereitschaft nach der Zinksupplementierung vermuten lassen. Insbesondere wenn etwas im Falle eines Abwehrprozesses in Anspruch genommen bzw. verbraucht wurde, kann es zu verringerten Zellbeständen kommen. Genauere Aussagen können diesbezüglich nicht gegeben werden, da nur ein sehr kleiner Anteil dieser Zellen im Blut ermittelt wurde. Nach der Zink-Einnahme kam es auch bezüglich der LGL zu einem signifikanten Absinken der Zellzahlen (in Zellen/ $\mu$ l und in Prozent) für alle drei Gruppen (signifikante Zeiteffekte). Zudem gab es auch nach der Zinksupplementierung keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen, so dass auch hier kein eindeutiger Zinkeffekt angenommen werden konnte. Auf den Einfluss zahlreicher Einflussfaktoren muss auch hier hingewiesen werden.

Die T-Helfer- ( $CD4^+$ ) und Zytotoxischen T-Zellen ( $CD8^+$ ) der drei Gruppen verringerten sich ebenfalls nach der Zinksupplementierung (Zeiteffekt und Gruppeneffekt) für alle drei Gruppen (Punkt 3.2.2.3.2.3) und verursachten dadurch das Absinken der gesamten T-Lymphozyten. Das Absinken der  $CD8^+$ -Zellen (absolut) führte zu einem signifikant geringeren Messwert für Gruppe 1 im Vergleich zu dem vor der Zinkgabe ermittelten Messwert. Die Zellzahlen der  $CD4^+$ - und  $CD8^+$ -Zellen befanden sich für alle drei Gruppen nach der Zinksupplementierung im Referenzbereich. Das Verhältnis der  $CD4^+$ - zu  $CD8^+$ -Zellen zeigte keine signifikante Veränderung nach der sechswöchigen Zink-Einnahme. Es waren zudem auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen erkennbar. Für Gruppe 1 konnte ausschließlich eine signifikant höhere Ratio im Vergleich zum Ausgangswert ermittelt werden, da sich die  $CD8^+$ -Zellen signifikant für Gruppe 1 verringert hatten.

Für die Natürlichen Killerzellen [Zellen/ $\mu$ l] der unspezifischen Immunabwehr konnte für alle drei Gruppen, insbesondere aber für Gruppe 1, ein signifikantes Absinken (Zeiteffekt) beobachtet werden (3.2.2.3.2.2). Gruppe 1 befand sich danach wieder im Referenzbereich. Gruppe 1 und Gruppe 3 hatten nach der Zinkgabe signifikant niedrigere NK-Zellen im Vergleich zu den Zellzahlen vor Beginn der Zink-Einnahme. Zwischen den Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Da die NK-Zellen für alle drei Gruppen unabhängig vom anfänglichen Zinkversorgungszustand abgesunken sind und auch nach der sechswöchigen Zinkgabe keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden worden sind, kann ein eindeutiger Zinkeffekt nicht angenommen werden. Dennoch führte auch das Absinken der NK-Zellen zu einem signifikanten Absinken der gesamten Lymphozytenzahlen der drei Gruppen. Die ermittelte signifikante Wechselwirkung zwischen Zeit und Gruppe bezüglich der relativen NK-Zellen, bezogen auf die Gesamtlymphozytenzahl, kam durch den Anstieg dieser in Gruppe 2 zustande, während die NK-Zellen [%] für Gruppe 1 und Gruppe 3 abgesunken sind. Allerdings wurde der Anstieg der NK-Zellen in Gruppe 2, bezogen auf die Gesamtlymphozytenzahl, nur durch das prozentuale Absinken der Lymphozyten, bezogen auf die Gesamtleukozytenzahl, vorgetäuscht, da auch in Gruppe 2 die absoluten NK-Zellen gesunken sind. Ein möglicher trainingsbedingter Einfluss auf die NK-Zellen wurde bereits im vorangegangenen Kapitel (Punkt 4.2.4.3.1) beschrieben und kann für die Athleten der vorliegenden Studie nicht ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend konnte beobachtet werden, dass es nach der Zinksupplementierung zu einem signifikanten Absinken der Leukozytenzahlen, die sich sowohl vor, als auch nach der Zinkgabe im Referenzbereich befanden, für alle Athleten gekommen ist. Dieses Absinken der Leukozyten für alle Athleten kam wiederum durch ein signifikantes Absinken der Lymphozytenzahlen und deren Subpopulationen T-, B- und NK-Zellen zustande. Mit Ausnahme der B-Zellen gab es keine signifikanten Unterschiede mehr bezüglich der Lymphozyten und deren Subpopulationen zwischen den drei Gruppen nach der Zink-Einnahme. Die T-Zellen der Athleten innerhalb der drei Gruppen verringerten sich aufgrund der ebenfalls abgesunkenen  $CD4^+$ - und  $CD8^+$ -Zellzahlen. Dagegen kam es zu einem signifikanten Anstieg der relativen und absoluten Monozytenzahlen für die Athleten der drei Gruppen. Aufgrund der Tatsache, dass sich für alle drei Gruppen größtenteils die gleichen sig-

nifikanten Veränderungen (Zeiteffekte) nach der Zink-Einnahme ergeben haben und nicht, wie vermutet hauptsächlich bei Gruppe 1 beobachtet werden konnten, kann in der vorliegenden Studie von keinem eindeutigen Behandlungseffekt durch Zink gesprochen werden. Dies wird ebenso durch fehlende signifikante Unterschiede zu Beginn bzw. zum Ende der Zink-Einnahme zwischen den drei Gruppen unterstützt. Auch die in der Literatur gesichteten Ergebnisse sind sehr unterschiedlich, da bei manchen Untersuchungen zu einer Zinksupplementierung keine Effekte ermittelt werden konnten (Allen et al., 1982), während es bei anderen dagegen zu geringfügigen Vorteilen wie z. B. einer verbesserten Funktionsleistung von spezifischen als auch unspezifischen Immunzellen kam (Bjorksten et al., 1980; Briggs et al., 1982). Allerdings muss klar zwischen der Betrachtung von absoluten Zellzahlen und der Betrachtung von Funktionstüchtigkeiten dieser Zellen unterschieden werden. Im Gegensatz zu den Untersuchungen, welche von Zinkmangelzuständen ausgehen und von Effekten einer Zinkgabe auf das Immunsystem im Sinne einer Wiederherstellung der vollen immunologischen Funktionsleistung berichten, gibt es zu wenige Untersuchungen über die möglichen Effekte einer gezielten Zinkgabe auf die zelluläre Abwehr bei bestenfalls suboptimalen Versorgungszuständen, wie sie zeitweise bei Athleten verschiedener Disziplinen auftreten können. Eine genaue Ursachenerklärung für die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bezüglich des Einflusses einer Zinksupplementierung auf die zelluläre Abwehr muss in weiteren In-vitro- und In-vivo-Experimenten untersucht werden. Zudem ist es nahezu unmöglich alle Einflussfaktoren auf die absoluten Zellzahlen zu kontrollieren.

Hinsichtlich der Stimulierbarkeit der T-Lymphozyten zur Produktion der Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 konnten nach der Zinksupplementierung signifikante Veränderungen (signifikante Zeiteffekte) für alle drei Gruppen festgestellt werden (Punkt 3.2.2.3.3). Diese zeigten sich für alle drei Gruppen in einem signifikanten Absinken der IFN- $\gamma$ - und IL-2-produzierenden sowie in einem signifikanten Anstieg der TNF- $\alpha$  produzierenden T-Lymphozyten. Es konnten jeweils keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Deshalb führte auch die zugeführte Zinkmenge zu keiner unterschiedlichen Stimulierbarkeit der T-Lymphozyten zur Produktion der Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 zwischen den drei Gruppen. Das signifikante Absinken der absoluten und prozentualen Anteile der T-Lymphozyten nach der Zinksupplementierung zur Produktion der Zytokine IFN- $\gamma$  und IL-2 spricht für eine verringerte Fähigkeit der T-Lymphozyten, diese Zytokine in vitro zu produzieren, während dies für TNF- $\alpha$  das Gegenteil der Fall ist. Ob aufgrund des verringerten Anteils von T-Lymphozyten mit Produktion von IFN- $\gamma$  und IL-2 eine verlangsamte Reaktionsbereitschaft dieser spezifischen Immunzellen auf potentielle Infektionen angenommen werden muss, kann in dieser Studie nicht beantwortet werden. Einerseits müssen T-Zellen in vivo IFN- $\gamma$  produzieren, um eine weitere Virusvermehrung zu unterbinden und um gleichzeitig weitere Makrophagen zur Vernichtung der Viren in virusinfizierten Zellen zu aktivieren. Nach der sechswöchigen Zinksupplementierung kam es zu einem Absinken der T-Lymphozyten für alle drei Gruppen. Es stellte sich hier die Frage, ob nicht auch ein verringerter Anteil der T-Lymphozyten sowohl hinsichtlich der Produktion von IFN- $\gamma$ , als auch von IL-2 mit einer Verbesserung der gesundheitlichen Situation der Athleten gesehen werden könnte. Erhöhte Konzentrationen von IFN- $\gamma$  können die Diagnose einer vorliegenden Virusinfektion verstärken, während ein Absinken von IFN- $\gamma$  als Zei-

chen einer gesundheitlichen Genesung dieser Infektion gedeutet werden könnte. Es könnte angenommen werden, dass die T-Zellen nicht mehr IFN- $\gamma$  produzieren mussten, da keine Virusinfektionen in vivo bestehen, die dies erfordern würden. Ebenso kam die Frage auf, ob es Sinn machen würde, einen erhöhten Anteil von IL-2 in vitro produzierenden T-Zellen festzustellen, was einer erhöhten Bereitschaft der T-Zellen zur eigenen Proliferation und Differenzierung entsprechen würde, wenn die T-Lymphozyten in vivo für alle drei Gruppen gesunken sind. Ein Absinken des Anteils an maximal stimulierbaren T-Lymphozyten zur Produktion von IL-2 in vitro verhält sich gewissermaßen synchron zur abfallenden T-Zellzahl in vivo. Eine in vivo verringerte T-Zellzahl nach der Zink-supplementierung wird auch in vitro durch diese verringerte Bereitschaft der T-Zellen, IL-2 als wichtigsten T-Zellwachstumsfaktor zu produzieren, gestützt. Wie bereits erwähnt ist TNF- $\alpha$  ein Induktor von Apoptose. Die Apoptose ist für den vielzelligen Organismus eine wichtige Möglichkeit, sich zu organisieren und zu erhalten. Im Verlaufe des Lebens entfernt Apoptose nicht mehr funktionsfähige, gealterte, aber auch kranke Zellen aus dem Organismus. Jede Zelle im menschlichen Organismus besitzt einen physiologischen Selbstzerstörungsmechanismus (Riede und Schaefer, 1999). Dieser Mechanismus kann auf zwei Wegen eingeschaltet werden. Zum einen durch einen „programmierten zellulären Selbstmord“, bei welchem z. B. im Rahmen der Zellalterung nicht mehr funktionsfähige Zellen zerstört werden oder zum anderen durch einen „programmierten zellulären Brudermord“, bei welchem die Beseitigung von z. B. überflüssigen Zellen in der Lymphozytopoese ausgelöst wird. Schließlich müssen Abwehrzellen wie z. B. die T-Zellen abtreten, deren Aufgabe bei der Immunabwehr erfüllt ist (Duke et al., 1997). Die Erkennung von Fremdantigenen hatte sie aus dem Ruhezustand zur Infektionsbekämpfung aktiviert, sie also angeregt, sich zu vermehren und entzündungsfördernde Proteine wie z. B. TNF- $\alpha$  zu produzieren. Diese Tätigkeit ist aber nur so lange wünschenswert, wie der entsprechende Krankheitserreger im Körper ist. Danach sollten die aktivierten Lymphozyten verschwinden, weil sonst die Gefahr bestünde, dass sie überhandnehmen und chronische Entzündungen verursachen. Nach der Zinksupplementierung konnte für alle drei Gruppen abfallende Lymphozyten und deren Subpopulationen beobachtet werden (signifikante Zeiteffekte). Ebenso wurde für die Athleten innerhalb der drei Gruppen nach der Zinksupplementierung erhöhte Anteile der T-Lymphozyten zur Produktion von TNF- $\alpha$  festgestellt. Es könnte angenommen werden, dass die T-Zellen u. a. deshalb stärker stimulierbar waren, TNF- $\alpha$  in vitro zu produzieren, da der Organismus aufgrund einer Verbesserung der gesundheitlichen Situation der Athleten physiologisch eine verstärkte Apoptose von „verbrauchten“ Immunzellen betrieb. Nach Angaben von Riede und Schaeffer (1999) ist das effektive Kernstück eines Zelltodprogramms (Apoptose) ein kaskadenartig aktivierbares System von „Zelltod-Proteasen“ (Caspasen), welche Zytoskelett, Kernproteine und nukleäre Regulator- und Schutzproteine angreifen und letztlich nach Ausschaltung des DNS-Reparaturmechanismus über eine Endonukleaseaktivierung die DNS fragmentieren. Ein Weg zur Einschaltung dieses Zelltodprogramms ist der „Todesrezeptor-Weg“. Hier binden bestimmte Todessignale wie z.B. TNF- $\alpha$  an die Todes-Rezeptoren auf der Zellmembran. Diese Todessignale laufen in einer Todes-Domäne im Zytoplasma zusammen und aktivieren die Caspase-Kaskade. Das Suppressorgen p53 fördert die Apoptose über die CD95-Verlagerung auf die Zellmembranoberfläche. Die Zelle stirbt. TNF- $\alpha$  ist so an der Apoptose von Zellen beteiligt. In der vorliegenden Studie wurde die Stimulierungsbereit-

schaft der T-Lymphozyten zur Produktion von TNF- $\alpha$  für alle drei Gruppen erhöht gefunden. Für TNF- $\alpha$  konnte nach einer Zink-Stimulierung eine erhöhte Freigabe dieses Zytokins beobachtet werden (Wellinghausen, 1996). Als Ursache dafür hält der Autor eine erhöhte Induktion der mRNA-Transkription für wahrscheinlicher als eine gesteigerte Translation oder Stabilisierung der bereits vorhandenen mRNA. In der vorliegenden Studie kann das genaue Eingreifen von Zink in die erhöhte Bereitschaft der T-Lymphozyten zur Produktion von TNF- $\alpha$  nicht geklärt werden, da dies aufgrund fehlender signifikanter Unterschiede zwischen den drei Gruppen nicht ausschließlich auf die Zinksupplementierung zurückzuführen ist. Dennoch ließ eine nach der sechswöchigen Zinksupplementierung gesteigerte Stimulierungsbereitschaft der T-Lymphozyten, *in vitro* TNF- $\alpha$  zu produzieren, eine effizientere Beseitigung von u. a. nicht mehr funktionsfähigen Immunzellen im Rahmen einer durch TNF- $\alpha$  induzierten Apoptose für die Athleten innerhalb der drei Gruppen vermuten. Des Weiteren soll noch einmal auf die belastungsbedingten Mikrotraumen an Muskel- und Bindegewebe, die während sportlicher Trainingseinheiten auftreten können und zu einer Freisetzung von u. a. TNF- $\alpha$  führen können, hingewiesen werden (Smith et al., 2000). Demzufolge nach wäre es auch möglich, dass sich aufgrund eines möglicherweise gesteigerten Trainingsumfangs und einer erhöhten Trainingsintensität der Athleten vermehrt Mikrotraumen der Gewebe gebildet haben könnten, die die Bereitschaft des Körpers aufgrund der regelmäßigen Belastungen erhöht haben, neben anderen Zytokinen u. a. auch TNF- $\alpha$  zu produzieren. Ob dieser Zusammenhang tatsächlich angenommen werden kann und ob sich dies auf die *In-vitro*-Stimulierbarkeit der T-Zellen übertragen lässt, kann in der vorliegenden Studie nicht beantwortet werden.

## 5 Zusammenfassung

Die Grundlagen für einen professionellen Leistungssport werden bereits in jungen Jahren geschaffen. Nicht nur altersbedingte, physiologische Entwicklungen wie z. B. schnelles Wachstum, hormonelle Veränderungen in der Pubertät u. s. w., sondern auch regelmäßige und intensive Trainingsbelastungen erfordern eine vollwertige Ernährung, die den individuellen Bedürfnissen der jungen Athleten gerecht werden muss. Eine bedarfsdeckende Ernährung ist somit nicht nur für die langfristige Sicherung der Gesundheit wichtig, sondern stellt auch die Basis für körperliche Leistungsfähigkeit dar.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Ermittlung der Ernährungssituation von jungen Leistungssportlern verschiedener Disziplinen leisten. Es wurde sowohl die Versorgung wichtiger Nährstoffe mittels einer computergestützten Auswertung und der Analyse von Blutproben, als auch das Vorhandensein von gesundheitlichen Risiken kritisch untersucht. Außerdem wurden Untersuchungen zum Immunstatus der Athleten in Verbindung mit der Zinkversorgung des Körpers durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde in einem ersten Teil der Studie der Ernährungsstatus von 99 Athleten im Alter von 11 bis 22 Jahren mit Hilfe einer computergestützten Auswertung (Prodi 4.5/03 expert) von 7-Tage-Ernährungsprotokollen untersucht. Anschließend wurden die Konzentrationen unzureichend zugeführter Vitamine oder Mineralstoffe im Plasma analysiert, um weitere Informationen über den aktuellen Versorgungsstatus der Athleten zu erhalten. Zusätzlich wurde der Fettsäurestatus der Athleten über die Fettsäurezusammensetzung in den Membranphospholipiden der Erythrozyten bestimmt. Weitere klinisch-relevante Parameter wie die Hämoglobin- und Kreatininkonzentration, die Enzymaktivität der Glutathionperoxidase sowie die Konzentrationen der Schilddrüsenhormone  $T_4$ ,  $fT_4$  und  $T_3$  im Plasma wurden ermittelt. Die Auswertung der Ernährungsprotokolle und Blutanalysen ergab folgende Ergebnisse:

1. Die Energiezufuhr der Athleten war im Vergleich zum geschätzten Energiebedarf deutlich niedriger. Die unzureichende energetische Versorgung der Athleten zeigte sich auch in den anthropometrischen Daten der jungen Athleten, da 65 Athleten der vorliegenden Studie unterhalb des von Hergenroeder und Klish für Idealgewicht definierten Gewichtsbereichs lagen und 76,9 % der männlichen und 42,6 % der weiblichen Sportler Körperfettanteile von weniger als 10 % festgestellt wurden.
2. Bezüglich der absoluten Bedarfsmengen für Kohlenhydrate, die auf der Basis des geschätzten Energiebedarfs für jeden Athleten ermittelt wurden, konnten die männlichen und weiblichen Athleten ihren Kohlenhydratbedarf nur zu 62 % bzw. 56 % decken.
3. Gemessen an dem individuellen Energiebedarf der Athleten schafften es 63 % der Sportler nicht aufgrund einer zu geringen Energiezufuhr ausreichend Fett [g] zuzuführen, was sich auch für die Athleten in einer geringen Zufuhr gesättigter Fettsäuren, einer niedrigen Aufnahme einfach ungesättigter Fettsäuren sowie in einer unzureichenden Zufuhr mehrfach ungesättigter

- Fettsäuren über die Nahrung zeigte. Die in den Membranphospholipiden der Erythrozyten ermittelten Quotienten zwischen der Linolsäure C 18:2 (n-6) und Ölsäure C 18:1 (n-9) sowie auch zwischen der Arachidonsäure C 20:4 (n-6) und Eicosapentaensäure C 20:5 (n-3) ließen ebenfalls eine unzureichende Aufnahme mehrfach ungesättigter Fettsäuren, insbesondere der  $\alpha$ -Linolensäure C 18:3 (n-3) und der Eicosapentaensäure C 20:5 (n-3), in der Ernährung der Athleten vermuten.
4. 78 % der Athleten nahmen mindestens 1,2 g/kg KG und damit ausreichend Eiweiß auf, wobei das von den Athleten bevorzugte Eiweiß größtenteils aus tierischen Produkten stammte.
  5. 55 % der Athleten konnten auch unter der Berücksichtigung von  $\beta$ -Karin nicht einmal die Zufuhrempfehlung der DGE für Vitamin A erreichen, was sich auch für 68 % der Athleten, insbesondere von den Technisch-kompositorischen Disziplinen, in einer unzureichenden Konzentration für Vitamin A im Plasma zeigte und auf eine nicht optimale Vitamin-A-Versorgung einiger Athleten deutete.
  6. 38 % aller Athleten konnte ihren von der Linolsäure abhängigen Bedarf für Vitamin E nicht decken. Dennoch schien aufgrund der im Normbereich liegenden Plasmakonzentrationen die Vitamin-E-Versorgung für die Athleten ausreichend zu sein.
  7. Insgesamt wiesen 14 % der Sportler unzureichende Vitamin-B<sub>12</sub>- und fast alle Athleten zu geringe Folsäure-Aufnahmen auf. Aufgrund der dennoch im Normbereich befindlichen Vitamin-B<sub>12</sub>- und Folsäure-Konzentrationen im Plasma wurden ausreichende Versorgungszustände der Athleten angenommen, was für die Mehrheit der Sportler (92 %) durch relativ niedrige Homocysteinkonzentrationen im Plasma bestätigt werden konnte.
  8. Insbesondere Athleten der Technisch-kompositorischen Disziplinen konnten nicht die von der DGE empfohlene Tagesdosis für Kalzium und Magnesium erreichen, was insgesamt für 49 % der Athleten bezüglich der Kalzium- und für 44 % bezüglich der Magnesiumzufuhr zutrif.
  9. Für 23 % aller Athleten wurde eine unzureichende Zinkzufuhr beobachtet. 5 % der Athleten wiesen zugleich niedrige Zinkkonzentrationen im Plasma auf.
  10. 55 % der Athleten führten weniger Eisen als die von der DGE (2000) empfohlene Menge zu, wobei zugleich 9 % der Athleten Hämoglobinkonzentrationen unterhalb des Referenzbereiches aufwiesen und sich zwei Sportler sogar unterhalb des Grenzwertes für Anämien befanden.
  11. Für 11 % der Athleten wurden Cholesterinkonzentrationen von über 200 mg/dl und für 5 % erhöhte Triglyceridkonzentrationen von über 150 mg/dl im Plasma festgestellt.

12. Die Enzymaktivität der GSH-Px ließ eine ausreichende Selenversorgung der Athleten vermuten.
13. Nur bei 27 % der Athleten wurden im Referenzbereich liegende  $T_4$ -,  $fT_4$ - und  $T_3$ -Konzentrationen ermittelt. Insbesondere für  $fT_4$  wurden bei 62% der Athleten erhöhte Konzentrationen gefunden. Es bestand dagegen kein Verdacht auf eine Hypothyreose, so dass eine ausreichende Jodversorgung bei den Athleten angenommen wurde.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass sowohl die Versorgung mit Vitamin A als auch mit den beiden n-3-Fettsäuren  $\alpha$ -Linolensäure und Eicosapentaensäure für die Mehrheit der jungen Nachwuchssportler unzureichend schien. Diesem Ergebnis muss neben einer zu geringen Energie- und Kohlenhydratzufuhr in zukünftigen Studien mehr Beachtung geschenkt werden.

In dem zweiten Teil der vorliegenden Arbeit waren 36 Athleten verschiedener Ausdauer- und Kraftsportarten im Alter von 13 bis 23 Jahren an einer sechswöchigen Zinksupplementierung beteiligt. Es wurden sowohl die Wirkung eines unterschiedlichen Zinkstatus als auch die Wirkung einer sechswöchigen Zinksupplementierung bei Sportlern mit unterschiedlichem Zinkstatus auf ausgewählte hämatologische Parameter (Hämatokrit, Hämoglobin, MCHC, CRP, Haptoglobin als Hämolysemarker und die Hämolyseresistenz der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen), auf den Zinkstatus (Zinkkonzentration, Zink-Bindungskapazität und Enzymaktivität der Alkalischen Phosphatase im Plasma) sowie auf den Immunstatus der Athleten (IgG, IgM, Leukozyten und deren Subpopulationen, Anteil der T-Lymphozyten zur Produktion der Zytokinen INF- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2) untersucht. Bezüglich des Einflusses von Zink ließ sich folgendes feststellen:

1. Es gab sowohl für die Hkt, als auch für die Hb-Konzentrationen weder vor noch nach der Zinksupplementierung signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Unabhängig von der Zinkkonzentration im Plasma führte die sechswöchige Zink-Einnahme für alle drei Gruppen zu einem signifikanten Absinken des Hämatokrites und der Hämoglobinkonzentration im Vollblut.
2. Die Hämolyseresistenz der Erythrozyten in verschiedenen hypotonen NaCl-Konzentrationen (0,38 %, 0,40 %, 0,42 %, 0,44%) war in der vorliegenden Studie sowohl vor, als auch nach der Zinksupplementierung unabhängig von der anfänglichen Zinkversorgung der Athleten. Lediglich bezüglich der 0,40 %igen NaCl-Lösung konnte für alle drei Gruppen eine erhöhte und damit verbesserte Hämolyseresistenz der Erythrozyten festgestellt werden.
3. Gruppe 1 mit der anfangs niedrigsten Zinkkonzentration im Plasma (72,4  $\mu$ g/dl), konnte im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen, die eine ausreichende Zinkkonzentration im Plasma aufwiesen, ihre Plasmakonzentration nach der Zink-Einnahme um 34 % erhöhen, was eine suboptimale Zinkversorgung von Gruppe 1 bestätigte. Zudem bestand eine negative Korrelation zur Zink-Bindungskapazität ( $P < 0,05$ ).

4. Gruppe 1 wies erwartungsgemäß zu Beginn der Studie die niedrigste Enzymaktivität der Alkalischen Phosphatase auf. Doch nach der Zinksupplementierung wurde auch bei Gruppe 1 keine gesteigerte Aktivität der Alkalischen Phosphatase gemessen.
5. Die Konzentrationen von IgG und IgM im Serum sowie auch die von CRP im Plasma befanden sich für alle drei Gruppen sowohl vor als auch nach der Zinkgabe im Normbereich und wiesen damit unabhängig von der Zinkversorgung auf eine normale Abwehrbereitschaft des Körpers hin.
6. Vor der Zink-Einnahme gab es bezüglich der spezifischen Immunabwehr signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, wobei für Gruppe 1 signifikant höhere Lymphozytensubpopulationen festgestellt werden konnten.
7. Nach der Zinkgabe kam es für alle drei Gruppen zu einem signifikanten Absinken der Leukozytenzahlen, welches durch ein signifikantes Absinken der Lymphozytenzahlen und deren Subpopulationen zustande kam. Die T-Zellen verringerten sich für alle drei Gruppen aufgrund ebenfalls abgesunkener CD4<sup>+</sup>- und CD8<sup>+</sup>-Zellen. Dagegen kam es zu einem signifikanten Anstieg der relativen und absoluten Monozytenzahlen für die Athleten der drei Gruppen.
8. Aufgrund der Tatsache, dass sich für alle drei Gruppen größtenteils die gleichen signifikanten Veränderungen nach der Zink-Einnahme ergeben haben und nicht wie vermutet hauptsächlich bei Gruppe 1, kann in der vorliegenden Studie von keinem eindeutigen Behandlungseffekt durch Zink gesprochen werden.
9. Weder vor noch nach der Zink-Einnahme gab es signifikante Unterschiede bezüglich der Fähigkeit der T-Zellen, die Zytokine IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 in vitro zu bilden. Nach der Zinksupplementierung wurde unabhängig von dem anfänglichen Zinkstatus ein signifikantes Absinken der IFN- $\gamma$ - und IL-2-produzierenden sowie ein signifikantes Ansteigen der TNF- $\alpha$ -produzierenden T-Lymphozyten für alle drei Gruppen festgestellt.

Insgesamt konnten nach der sechswöchigen Zinksupplementierung viele signifikante Veränderungen in den absoluten und relativen Immunzellen festgestellt werden. Im Gegensatz zu Untersuchungen, welche von Zinkmangelzuständen ausgehen und von Effekten einer Zinkgabe auf das Immunsystem im Sinne einer Wiederherstellung der vollen immunologischen Funktionsleistung berichten, gibt es zu wenige Untersuchungen über positive Effekte einer gezielten Zinkgabe auf die zelluläre Abwehr bei suboptimalen Versorgungszuständen, wie sie zeitweise bei Athleten verschiedener Disziplinen auftreten können. Es bedarf in Zukunft noch weiterer Untersuchungen, um den Zusammenhang zwischen Zinkstatus und Immunstatus besser verstehen zu können.

## Summary

The basis for professional high-performance sports is provided at an early age. Not only age-related physiological developments, like for example rapid growth, hormonal changes in puberty and so on, but also regular and intensive sportive activities require an adequate nutrition that suits the individual requirements of the young athletes. A nutrition, which meets the individual demand for nutrients, is not only important for maintaining good health on a long-term, but is also the basis for high performances of the body.

This paper is supposed to contribute to the determination of the nutritional situation of young high-performance athletes of various disciplines. Not only the supply with important nutrients by a computer-based evaluation and the analysis of blood samples, but also the existence of health-risks were critically examined. Also examinations concerning the immunological status of the athletes in correspondence with the supply of zinc were carried out. As a part of this thesis in the first part of the survey the nutritional status of 99 athletes between the age of 11 and 22 years were examined with the help of a computer-based evaluation (Prodi 4.5/03 expert) of 7-day-diet-records. Subsequently the concentration of insufficiently provided vitamins and minerals in the blood plasma was analysed in order to acquire more information on the current supply status of the athletes. Additionally the status of fatty acids was specified by the composition of fatty acids in the phospholipids of erythrocyte membrane. More clinically-relevant parameters like the concentration of hemoglobin und creatinin, the enzymic activity of the glutathione peroxidase as well as the concentrations of the thyroid gland-hormones  $T_4$ ,  $fT_4$  und  $T_3$  in the blood plasma were determined. The results of the diet-records and the blood- analyses were the following:

1. The athlete's energy intake was in comparison to the estimated energy consumption clearly lower. The insufficient supply with energy also showed in the anthropometric datas of the young athletes, because 65 out of the athletes in this study weighed less than the weight defined by Hergenroeder und Klish as the ideal weight, and it showed that 76,9 % of the male as well as 42,6 % of the female athletes had a body-fat compound below 10 %.
2. As for the absolute amount of needed carbohydrates that was determined for each athlete on the basis of the estimated energy demand, the male and female athletes were only able to cover 62 % respectively 56% of their need of carbohydrates.
3. Measured against their individual energy demand, 63 % of the athletes were not able to supply themselves with a sufficient amount of fat [g] due to the lack of energy- intake; this was also visible in the insufficient supply with saturated fats, a low intake of saturated fatty acids as well as an insufficient supply of polyunsaturated fatty acids due to the diet. The quotient determined in the erythrocyte membrane between C 18:2 (n-6) and C 18:1 (n-9) and also between the C 20:4 (n-6) and C 20:5 (n-3) leads to the estimation of an insufficient intake of

- polyunsaturated fatty acids, particularly of n-3 PUFA C 18:3 (n-3) and C 20:5 (n-3), in the diet of the athletes.
4. 78 % of the athletes had a protein intake of at least 1.2 g/kg KG and therefore a sufficient intake of proteins, whereby the athletes mostly preferred animal protein.
  5. 55 % of the athletes were – even considering  $\beta$ -carotin – not able to obtain the DGE's recommendation of intake of retinol, which resulted in 68 % of the athletes, especially those of technically-compository-disciplines showing an insufficient concentration of retinol in the blood plasma, which indicates that several athletes are supplied with retinol below the optimal level.
  6. 38 % of the athletes were not able to cover their demand of  $\alpha$ -tocopherole, which is depending on the linoleic acid. However, the concentrations in the blood plasma being normal, it seems the athletes are sufficiently supplied with  $\alpha$ -tocopherole.
  7. Altogether 14 % of the athletes showed an insufficient intake of Vitamin B<sub>12</sub> and almost all athletes an insufficient intake of folic acid. Nevertheless a sufficient supply of the athletes was presumed due to the normal concentrations of Vitamin B<sub>12</sub> and folic acid in the blood plasma; for the majority of athletes this was confirmed by a relatively low concentration of homocysteine in the blood plasma.
  8. Especially athletes of the technically-compository-disciplines were not able to match the daily dose of calcium and magnesium recommended by the DGE, which applied to 49 % of all athlete's intake of calcium and 44 % of the athlete's intake of magnesium.
  9. For 23 % of all athletes an insufficient intake of zinc was observed. At the same time 5 % showed a concentration of zinc in the blood plasma that was too low.
  10. 55 % of the athletes had an intake of iron that does not match the amount of the DGE's recommendation (2000), whereby 9 % of the athletes showed concentrations of hemoglobin below the reference level and two athletes were even below the border of anemia.
  11. For 11 % concentrations of cholesterol of over 200 mg/dl and for 5% increased concentrations of triglycerides of over 150 mg/dl in the blood plasma were detected.
  12. Because of the enzymic activity of GSH-Px a sufficient supply of the athletes with selenium was assumed.
  13. Only for 27 % of the athletes a concentration of T<sub>4</sub>-, fT<sub>4</sub>- and T<sub>3</sub> within the tolerances was measured. Especially for fT<sub>4</sub> 62 % of the athletes showed increased concentrations. However,

there was no suspicion of hypothyreosis so that a sufficient supply of the athletes with iodine was presumed.

Summing up, it may be said that for the majority of young athletes the supply of retinol as well as of both n-3-fatty-acids alpha-linolenic acid and eicosapentaenoic acid seems insufficient. Besides an insufficient intake of energy and carbohydrates, in future, studies will have to pay more attention to these results.

In the second part of this paper 36 athletes of different endurance- and power-sport-disciplines between the age of 13 and 23 took part in a zinc supplementation that lasted six weeks. The effect of a different zinc status as well as the effect of a zinc supplementation lasting six weeks of athletes with different zinc status on selected hematological parameters (hematokrit, hemoglobin, MCHC, CRP, haptoglobin and the resistance of hemolysis of the erythrocytes to hypotonic NaCl-solutions), on the zinc status (concentration of zinc, zinc-binding-capacity and enzyme activity of the alkaline phosphatase) in the blood plasma as well as the effect on the immunological status of the athletes (IgG, IgM, leucocytes and their subpopulations, T-lymphocytes, which produced in vitro the cytokines INF- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2) was examined. As for the effect of zinc, the following results were found:

1. The hkt, as well as the hb-concentrations showed no significant differences between the groups neither before, nor after the zinc-supplementation. Irrespective of the concentration of zinc in the blood plasma, for all three groups the intake of zinc for a period of six weeks lead to a significant decline of the hkt und the hb-concentrations in the blood.
2. In this survey the hemolysis resistance of the erythrocytes to different hypotonic NaCl-solutions (0,38 %, 0,40 %, 0,42 %, 0,44%) before as well as after the zinc-supplementation was independent of the athlete's supply of zinc at the beginning. Only in relation to the NaCl solution of 40 % a higher and therefor better resistance of the erythrocytes of all three groups was determined.
3. Group 1, beginning with the lowest concentration of zinc in the blood plasma (72,4  $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) , was able to increase the concentration of plasma after the intake of zinc by 34 % in comparison to the other groups that had a sufficient supply in the blood plasma at the beginning. This confirms a suboptimal supply of zinc of group 1. Further, there was a negative correlation to the zinc-binding-capacity ( $P < 0,05$ ).
4. As expected, at the beginning of the survey group 1 showed the lowest enzymic activity of the alkaline phosphatase. But also after the zinc supplementation no increased activity of the alkaline phosphatase was measured.

5. All three groups showed normal concentrations of IgG and IgM in the serum as well as the CRP in the blood plasma before as well as after the intake of zinc and therefor indicated a normal immune resistance of the body irrelevant of the supply of zinc.
6. Before the intake of zinc there were significant differences between the groups regarding the specific immune system, whereby significantly higher lymphocyte subpopulations could be determined for group 1.
7. After the intake of zinc all groups showed a significant decline of leukocytes which is a result of the significant decline of lymphocytes and their subpopulations. The amount of T-cells diminished in all three groups because of the decline of CD4<sup>+</sup>- and CD8<sup>+</sup>-cells. However, there was a significant increase of the absolute and relative numbers of monocytes for the athletes of all three groups.
8. Because of the fact that not only group 1, but all three groups showed mostly the same significant changes after the intake of zinc, no definite effect due to the intake of zinc can be stated.
9. Neither before nor after the intake of zinc there were any significant differences as to the ability of the T-cells, to produce cytokines IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 in vitro. After the zinc supplementation a significant decline of the IFN- $\gamma$ - und IL-2- producing, as well as a significant increase of the TNF- $\alpha$ - producing T-lymphocytes independent of the status of zinc at the beginning, could be determined for all three groups.

Summing up, it can be said that many significant changes in the absolute and relative immunological cells could be determined after the zinc supplementation lasting six weeks. In contrast to surveys that are based on states of lack of zinc and that report of the effects of the intake of zinc on the immunological system in the sense of a restauration of the full immunal capability, there are too few surveys about the positive effects of a zinc supplementation for the cellular defense of suboptimal status of supply, like it happens occasionally to athletes of diverse disciplines. It needs further surveys in future in order to understand the connection between the status of zinc and the immunological status better.

**6 Literaturverzeichnis**

Abcouwer S.F., Lohmann R., Bode B.P., Lustig R.J., Souba W.W.: Induction of glutamine synthetase expression after major burn injury is tissue specific and temporally variable. *J. Trauma*. 1997; 42: 421 - 428.

Aggett P.J.: Workshop on „Assessment of zinc status“: a personal view. *Proc. Nutr. Soc.* 1991; 50: 9 - 17.

Ake M., Hugette F., Malan A. K., Mandrou B.: Column liquid chromatography determination of vitamins A and E in powdered milk and local flour: a validation procedure. *J. Chr. A.* 1998; 826: 183 -189.

Alen M., Pakarinen A., Hakkinen K.: Effects of prolonged training on serum thyrotropin and thyroid hormones in elite strength athletes. *J. Sports Sci.* 1993; 11 (6): 493 - 497.

Allen J. I., Korchi W., Kay N. E., McClain C. J.: Zinc and T-lymphocyte function in hemodialysis patients. *Am. J. Clin. Nutr.* 1982; 36: 410 - 415.

American Academy of Pediatrics, Committee on Sports Medicine and Fitness: Intensive Training and Sports Specialization in Young Athletes. *Pediatrics* July 2000; Vol. 106 (1): 154 - 157.

American Dietetic Association and Canadian Dietetic Association: Position stand on nutrition for physical fitness and athletic performance for adults. *J. Am. Diet. Assoc.* 1993; 93: 691 - 6.

Asami T., Toyabe S., Hashimoto N., Sakai K.: Blood glutathione in idiopathic nephrotic syndrome of childhood. *Nippon Jinzo Gakkai Shi* 1990; 32: 13 - 18.

Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) e.V.: *Monica Mengenliste*, Bonn (1991).

Avery R. A., Bettger W. J.: Effect of dietary zinc deficiency and the associated drop in voluntary food intake on rat erythrocyte membrane polyamines. *J. Nutr.* 1988; 118: 987 - 994.

Baer M. T., King J. C., Tamura T., Margen S., Bradfield R. B., Weston W. L., Daugherty N. A.: Nitrogen utilization, enzyme activity, glucose intolerance and leukocyte chemotaxis in human experimental zinc depletion. *Am. J. Clin. Nutr.* 1985; 41: 1220 - 1235.

Ball D., Maughan R. J.: Blood and urine acid-base status of premenopausal omnivorous and vegetarian women. *Br. J. Nutr.* 1997; 78: 683 - 693.

Balz M. K., Schulte E., Thier H. P.: Simultaneous determination of  $\alpha$ -tocopherol acetate, tocopherols and tocotriens by HPLC with fluorescence detection in foods. *Fat. Sci. Technol.* 1993; 95: 215 - 220.

Barzanti V., Pregolato P., Maranesi M., Bosi I., Baracca A., Solaini G., Turchetto E.: Dietary lipid,  $\gamma$  linolenic acid, Stearidonic acid, Plasma membrane, 5'-nucleotidase. Effect of dietary oils containing graded amounts of 18:3 (n-6) and 18:4 (n-3) on cell plasma membrans. *J. Nutr. Bioch.* 1995; 6: 21 - 26.

Barzel U.S., Massey L.K.: Excess dietary protein can adversely affect bone. *J. Nutr.* 1998; 128: 1051-1053.

Bauer, S., Berg, A., Keul, J.: Ernährungserhebung bei Ausdauersportlern. I. Energiezufuhr und Nährstoffrelation. *Akt. Ernähr.-Med.* 1993; 18: 14 - 20.

Beck F. W. J., Prasad A. S., Kaplan J., Fitzgerald J. T., Brewer G. J.: Changes in cytokine production and T cell subpopulations in experimentally induced zinc-deficient humans. *Am. J. Physiol.* 1997; 272: E1002 - 1007.

Behne D., Wolters W.: Selenium content and glutathione peroxidase activity in plasma and erythrocytes of nonpregnant and pregnant women. *J. Clin. Chem. Clin. Biochem.* 1979; 17: 133 - 135.

- Behrens W. A., Thompson J. N., Madere R.: Distribution of  $\alpha$ -tocopherol in human plasma lipoproteins. *Am. J. Clin. Nutr.* 1982; 35: 691 - 696.
- Beisel W. R., Herman Award Lecture, 1995: infection-induced malnutrition from cholera to cytokines. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995; 62: 813 - 819.
- Berg A., Keul J.: Muskel- und Wadenkrämpfe aus der Sicht des Sportmediziners. In: Mörl H. (ed.): *Muskelkrämpfe*. Springer Verlag, Berlin 1986; 79 - 90.
- Berg, A., Simon-Schnaß, I., Rokitzki, L., Keul, J.: Die Bedeutung des Vitamin E für den Sportler. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1987; 38: 416 - 424.
- Berg, A., Baumstark, M. W., Frey, I., Keul, J.: Einfluss von Probuocol auf die in-vitro-Thrombozytenaggregationsneigung und die Herz-Kreislauf-Regulation bei männlichen Hypercholesterinämikern. *Perfusion* 3 (1990 a), S. 196 - 204.
- Berg A., Keul J.: Spurenelementversorgung beim Sportler. In: *Spurenelemente und Ernährung*, eds. Wolfram, G., M. Kirchgessner. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1990 b: 175 -185.
- Berg, A., Baumstark, M. W., Frey, I., Halle, M., Keul, J.: Clinical and therapeutic use of probuocol. *Eur. J. Clin. Pharmacol.* 1991 a (Suppl. I) ; 40: S81 - S84.
- Berg A., Keul J.: Ernährungserfordernisse aus sportmedizinischer Sicht. Zum Nährstoffbedarf des Sportaktiven. *Akt. Ernähr.-Med.* 1991; 16: 61 - 67.
- Berg A., Bauer S., Keul J.: Energie- und Nährstoffbedarf des Leistungssportlers. *Ernährungs-Umschau* 1992 a, 39; Sonderheft: S 102 - 108.
- Berg A., Northoff H., Keul J.: Immunologie und Sport. *Internist* 1992 b; 33: 169 - 178.
- Berg A., Roessel R., König D., Keul J.: Sport und Laborparameter: Plasmaproteine. *Diagnose u. Labor* 1995; 45: 27 - 35.
- Berg A., König D., Keul J.: Sport und Ernährung 1996. *Akt. Ernähr.-Med.* 1996; 21: 315 - 322.
- Berg A., König D., Grathwohl D., Frey I., Keul J.: Antioxidantien im Leistungssport - Was ist gesichert? *Dtsch. Z. Sportmed.* 1998; 49 (Sonderheft): 86 - 92.
- Bettger W. J., Savage J. E., O'Dell B. L.: *J. Nutr.* 1981; 111: 1013.
- Bettger W. J., O'Dell: Physiological roles of zinc in the plasma membrane of mammalian cells. *J. Nutr. Biochem.* 1993; 4: 194 - 207.
- Biesalski H. K.: Antioxidative Vitamine, in der Prävention. *Dtsch. Ärzteblatt* 1995; 92: 1316 - 1321.
- Biesalski H. K., Schrezenmeir J., Weber P., Weiß H.: *Vitamine. Physiologie, Pathophysiologie, Therapie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1997.
- Biesalski H. K., Grimm P.: *Taschenatlas der Ernährung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1999.
- Biesalski H. K., Fürst P., Kasper H., Kluthe R., Pöler W., Puchstein C., Stähelin H.B.: *Ernährungsmedizin, 2. überarbeitete Auflage*, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 1999.
- Billmann G. E., Hallaq H., Leaf A.: Prevention of ischemia-induced ventricular fibrillation by n-3 fatty acids. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1994; 91: 4427 - 4430.
- Bingham, S.: Surveillance of Dietary Habits of the Population with Regard to Cardiovascular Diseases: Premise and Methods, in de Backer, GG., Tunstall Pedoe, H., Ducimetiere, P., (Hrsg.), *Surveillance of Dietary Habits of the Population with Regard to Cardiovascular Diseases: Report of the EEC Workshop, Ghent, Belgium, (EURONUT Report 2)*, Wageningen 1983, S. 43 - 50.

- Bjerve K. S., Fischer S., Wammer F., Egeland T.:  $\alpha$ -Linolenic acid and long chain  $\omega$ -3 fatty acid supplementation in three patients with  $\omega$ -3 fatty deficiency: effect on lymphocyte function, plasma and red cell lipids, and prostanoid formation. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1989; 49: 290 - 300.
- Bjorksten B., Back O., Gustavson K. H., Hallmans G., Hagglof B., Tarnvik A.: Zinc and immune function in Down's syndrome. *Acta. Paediatr. Scand.* 1980; 69: 183 - 187.
- Block, G.: Human Dietary Assessment: Methods and Issues. *Prev. Med.* 1989; 18: 650 - 660.
- Boge A., Roth H. P., Kirchgessner M.: Zur Verteilung des Zinks im Blut von an Zink depletierten Ratten. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 1992; 67: 225 - 229.
- Boushey C. J., Beresford S. A., Omenn G. S., Motulsky A. G.: A quantitative assessment of plasma homocysteine as a risk factor for vascular disease. Probable benefits of increasing folic acid intakes. *JAMA* 1995; 274: 1049 - 1057.
- Brändle E., Sieberth H. G., Hautmann R. E.: Effect of chronic protein intake on the renal function in healthy subjects. *Eur. J. clin. Nutr.* 1996; 50: 734 - 740.
- Briggs W. A., Pedersen M. M., Mahajan S. K., Sillix D. H., Prasad A. S., McDonald F. D.: Lymphocyte and granulocyte function in zinc-treated and zinc-deficient hemodialysis patients. *Kidney Intl.* 1982; 21: 827 - 832.
- Brown L., Rosner B., Willett W. W., Sacks F. M.: Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 1999; 69: 30 - 42.
- Bulgarini D., Habetswallner D., Boccoli G., Montesoro E., Camagna A., Mastroberardino G., Rosania C., Testa U., Peschle C.: Zinc modulates the mitogenic activation of human peripheral blood lymphocytes. *Ann. Ist. Super. Sanita.* 1989; 25 (3): 463 - 470.
- Bulucu F., Vural A., Aydin A., Sayal A.: Oxidative stress status in adults with nephrotic syndrome. *Clin. Neph.* 2000; 53 (3): 169 - 173.
- Calder P. C.: Fuel utilization by cells of the immune system. *Proc. Nutr.* 1995; 54: 65 - 82.
- Carraro F., Hartl W. H., Stuart C. A., Layman D. K., Jahoor F., Wolfe R. R.: Whole body and plasma protein synthesis in exercise and recovery in human subjects. *Am. J. Physiol.* 1990; 258: E821 - E831.
- Cartwright G.E.: *Diagnostic Laboratory Hematology*. 3. Edition, Grune and Stratton, New York 1963, S. 214.
- Chanarin I., Malkowska V., O'Hea A. M., Rinsler M. G., Price A. B.: Megaloblastic anaemia in a vegetarian Hindu community. *Lancet* 1985; 2: 1168 - 1172.
- Chanarin I.: *The megaloblastic anemias*. 3<sup>rd</sup> ed., Blackwell Scientific, Oxford 1990.
- Charlwood P.A.: The relative affinity of transferrin and albumin for zinc. *Biochim. Biophys. Acta* 1979; 581: 260 - 265.
- Chen J. D., Wang J. F., Zhao Y. W., Wang S. W., Jiao Y., Hou X. Y.: Nutritional problems and measures in elite and amateur athletes. *Am. J. Clin. Nutr.* 1989; Suppl (49) : S1084-S1089.
- Chesters J. K., Will M.: Zinc transport proteins in plasma. *Br. J. Nutr.* 1981; 46: 111 - 118.
- Clemens M. R., Waller H. D.: Lipid peroxidation in erythrocytes. *Chem. Phys. Lipids* 1987; 45: 251 - 268.
- Clemens M. R.: Megaloblastäre Anämien. In: Ostendorf, P.: *Hämatologie*. Urban & Schwarzenberg, München 1992.

Clohessy P. A., Golden B. E.: Microbiostatic activity of human plasma and its relation to zinc and iron availability. *Biochem. Soc. Trans.* 1996; 24: 311 S.

Coleman J. E.: Zinc proteins: enzymes, storage proteins, transcription factors and replication proteins. *Annu. Rev. Biochem.* 1992 ; 16 : 897 - 946.

Comans-Bitter W. M., de Groot R., van den Beemd R., Neijens H. J., Hop W. C. J., Groeneveld K., Hooijkaas H., van Dongen J. J. M.: Immunophenotyping of Blood Lymphocytes in Childhood; Reference values for lymphocyte subpopulations. *J. Pediatr* 1997; 130: 388 - 393.

Cousins R. J., Failla M. L.: Cellular and Molecular Aspects of Mammalian Zinc Metabolism and homeostasis. In: Nriagu J. O. (ed.): *Zinc in the Environment - Part II: Health Effects*, New York: John Wiley and Sons, 1980, pp 121 - 135.

Daly J., Reynolds J., Sigal R. I, et al. : Effect of dietary protein and amino acids on immune function. *Crit. Care Med.* 1990; 18: S86 - S93.

Dawson B., Henry G. J., Goodman C., Gillam I., Beilby J. R., Ching S., Fabian V., Dasig D., Morling P., Kakulus B. A.: Effect of Vitamin C and E supplementation on biochemical and ultra-structural indices of muscle damage after a 21 km run. *Int. J. Sports Med.* 2002 Jan; 23 (1): 10 -15.

De Groot H., Farhadi J., Kranefeld B., Lachenmann U.: *Ernährungswissenschaft. Ernährungslehre 4. Auflage*, Verlag Europa Lehrmittel, Haan-Gruiten 2001.

De Lorgeril M., Salen P., Martin J. L. et al.: Mediterranean Diet, Traditional Risk Factors, and the Rate of Cardiovascular Complications After Myocardial Infarction. Final Report of the Lyon Diet Heart Study. *Circulation* 1999; 99: 779 - 785.

Department of Health: Dietary reference values for food energy and nutrients for the United Kingdom. HMSO, London 1991.

DePasquale-Jardieu P., Fraker P. J.: Further characterization of the role of corticosterone in the loss of humoral immunity in zinc-deficient A/J mice as determined by adrenalectomy. *J. Immunol.* 1980; 124: 2650 - 2655.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE): *Empfehlungen für die Nährstoffzufuhr. Umschau Verlag, Frankfurt/M; 5. Überarbeitung 1991, 1. Korrigierter Nachdruck 1992.*

Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE): *Konzeption und Entwicklung: Arbeitsgruppe „Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr“.- 1. Auflage - Frankfurt am Main: Umschau/Braus Verlag, 2000.*

Dowd P. S., Kelleher J., Guillou P. J.: T lymphocyte subsets and interleukin 2 production in zinc deficient rats. *Br. J. Nutr.* 1986; 55: 59 - 69.

Driessen C., Hirv K., Rink L., Kirchner H.: Induction of cytokines by zinc ions in human peripheral blood mononuclear cells and separated monocytes. *Lymphokine Cytokine Res.* 1994; 13: 15 - 20.

Driscoll E. R., Bettger W. J.: The effect of dietary zinc deficiency on the lipid composition of the rat erythrocyte membrane. *Lipids* 1991; 26: 459 - 466.

Duke R. C., Ojcius D. M, Young J. D.-E.: Die Apoptose-Regeln und Fehler beim Zellselbstmord. *Spektrum der Wissenschaft* 1997; 26 - 35.

Durnin J. V., Garlick P., Jackson A. A., Schürch B., Shetty P. S., Waterlow J. C.: Report of the IDECG Working Group on lower limits of energy and protein and upper limits of protein intakes. International Dietary Energy Consultative Group. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1999; 53 (Suppl 1): S174 -S176.  
Economos C. D., Bortz S. S., Nelson M. E.: Nutritional practices of elite athletes. Practical recommendations. *Sports Med.* 1993; 16: 381 - 399.

- Eder K., Reichlmayr-Lais A. M., Kirchgessner M.: Gas chromatographic analysis of fatty acid methyl esters: Avoiding discrimination by programmed temperature vaporising injection. *J. Chromatogr.* 1991; 588: 265 - 272.
- Eder K., Reichlmayr-Lais A. M., Kirchgessner M.: Studies on the extraction of phospholipids from erythrocyte membranes in the rat. *Clin Chim Acta* 1993 Oct. 15; 219 (1-2): 93 - 104.
- Eder K., Kirchgessner M.: Zum Einfluss von Zinkdepletion auf die Gehalte einzelner Phospholipide in der Erythrozytenmembran und deren Fettsäurezusammensetzung bei zwangsernährten Ratten. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 1993; 69: 79 - 91.
- Eichholzer M., Stähelin H. B., Gey K. F. et al.: Prediction of male cancer mortality by plasma levels of interacting vitamins: 17-year follow-up of the prospective Basel study. *Int. J. Cancer* 1996; 66: 145 - 150.
- Emken E. A., Adlof R. O., Gulley R. M.: Dietary linoleic acid influences desaturation and acylation of deuterium-labeled linoleic and linolenic acids in young adult males. *Biochim. Biophys. Acta* 1994; 2 (3): 277 - 288.
- Evans G. W., Winter T. W.: Zinc transport by transferrin in rat portal blood plasma. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1975; 66: 1218 - 1224.
- Evans G. W.: Zinc and its deficiency diseases. *Clin. Physiol. Biochem.* 1986; 4: 94 - 98.
- Faber M., Spinnler-Benadé A.-J., Daubitzer A.: Dietary Intake, Anthropometric Measurements and Plasma Lipid Levels in Throwing Field Athletes. *Int. J. Sports Med.* 1990; 11: 140 - 145.
- FAO/WHO: Requirements of Vitamin A, Iron, Folate and Vitamin B<sub>12</sub>. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Series, No. 23, FAO, Rom 1988.
- Farquhar J.W., Ahrens E.H.: Effects of dietary fats on human erythrocyte fatty acid patterns. *J. Clin. Invest.* 1963; 42: 675-685.
- Feskanich D., Willett W. C., Stampfer M. J., Colditz G. A.: Protein consumption and bone fractures in women. *Am. J. Epidemiol.* 1996; 143: 472 - 479.
- Fielding Chr. J., Havel R.J., Todd K.M. et al.: Effects of Dietary Cholesterol and Fat Saturation on Plasma Lipoproteins in an Ethnically Diverse Population of Healthy Young Men. *J. Clin. Invest.* 1995; 95: 611 - 618.
- Fleck S. J.: Body composition of elite American athletes. *Am. J. Sports Med.* 1983; 11: 398 - 403.
- Food and Nutrition Board: Commission on Life Science, National Research Council: Recommended Dietary Allowances. Subcommittee on the 10<sup>th</sup> ed. Of the RDAs. Academy Press, Washington, D.C., 1989.
- Food and Nutrition Board/Institute of Medicine: Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B<sub>6</sub>, Folate, Vitamin B<sub>12</sub>, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline. Prepublication Copy. National Academy Press, Washington D.C 1998, 8 – 1 – 8 - 68.
- Forslund A. H., Hambraeus L., van Beurden H., Holmbäck U., El-Khoury A. E., Hjorth G., Olsson R., Stridsberg M., Wide L., Akerfeldt T., Regan M. M., Young V. R.: The inverse relationship between protein intake and certain plasma free amino acid concentrations in healthy men, with physical exercise. *Am. J. Physiol.* 2000; 278: 825 - 837.
- Fraker P. J., Geshwin M. E., Good R. A., Prasad A.: Interrelationships between zinc and immune function. *Fed. Proc.* 1986; 45: 1474 - 1479.
- Fraker P. J., King L. E., Lakko T., Vollmer T. L.: The Dynamic Link between the Integrity of the Immune System and Zinc Status. *J. Nutr.* 2000; 130: 1399S - 1406S.

- Gabriel H., Schwarz L., Urhausen A., Kindermann W.: Leukozyten- und Lymphozytensubpopulationen im peripheren Blut von Sportlerinnen und Sportlern unter Ruhebedingungen. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1992; 43 (5): 196 - 210.
- Gabriel H., Kindermann W.: Infektionen und Sport: Häufigkeit, Ursachen und präventive Aspekte. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1995; Sonderheft (46): 73 - 85.
- Garcia V. J. A., Delgado I., Bornstein R., Alvarez B., Auray M. C., Martin I., Ona F., Gilsanz F.: Comparative intracellular cytokine production by in vitro stimulated T-lymphocytes from human umbilical cord blood (HUCB) and adult peripheral blood (APB). *Analyt. Cell. Path.* 2000; 20: 93 -98.
- Gareau R., Goulet H., Brisson G. R.: Exercise, training and erythrocyte age. *Scien. Sports* 1990; 5 (4): 197 - 202.
- Garlick P. J., McNurlan, Patlak C. S.: Adaptation of protein metabolism in relation to limits to high dietary protein intake. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1999; 53 (Suppl 1): S34 - S43.
- Garrow J. S., James W. P. T., Ralph A.: *Human Nutrition and Dietetics*. Churchill Livingstone 10<sup>th</sup> edition, Edinburgh 2000.
- Gaßmann B., Kübler W.: Ungesättigte Fettsäuren und Vitamin-E-Bedarf. *Ernährungs-Umschau* 43 (1996), 172 - 177.
- Gibson R. S., Smit Vanderkooy P. D., MacDonald A. C., Goldman A., Ryan B., Berry M.: A growth limiting mild zinc deficiency syndrome in some Southern Ontario boys with low growth percentiles. *Am. J. Clin. Nutr.* 1989; 49: 1266 - 1273.
- Ginevri F., Ghiggeri G. M., Candiano G., Oleggini R., Bertelli R., Piccardo M. T., Perfumo F., Gusmano R.: Peroxidative damage of the erythrocyte membrane in children with nephrotic syndrome. *Pediatr. Nephrol.* 1989; 3: 25 - 32.
- Giroux E. L., Durieux M., Schechter P. J.: A Study of Zinc Distribution in Human Serum. *Bioinorg. Chem.* 1976; 5: 211 - 218.
- Good R. A., Fernandes G.: Nutrition, immunity, and cancer - A review. *Clin. Bull.* 1979; 9: 3 - 12.
- Goode H. F., Kelleher J., Walker B. E.: Zinc concentrations in pure populations of peripheral blood neutrophils, lymphocytes and monocytes. *Ann. Clin. Biochem.* 1989; 26: 89 - 95.
- Goldfarb A. H.: Antioxidants: role of supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992; 25 (2): 232 - 236.
- Grandjean A. C.: Macronutrient intake of US athletes compared with the general population and recommendations made for athletes. *Am. J. Clin. Nutr.* 1989; Suppl (49): S1070 - S1076.
- Guilland J. C., Penaranda T., Gallet C., Boggio V., Fuchs F., Klepping J.: Vitamin status of young athletes including the effect of supplementation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1989; 21: 441 - 449.
- Hadden J. W.: The treatment of zinc is an immunotherapy. *Int. J. Immunopharmacol.* 1995; 17: 697 - 701.
- Halsted J. A., Smith J. C., Irwin M. I.: A conspectus of research on zinc requirements of man. *J. Nutr.* 1974; 104: 345 - 378.
- Hambidge K. M., Walravens P. A., Neldner K. H.: The role of zinc in the pathogenesis and treatment of acrodermatitis enteropathica. In: Brewer G. J., Prasad A. S., eds.: *Zinc metabolism: current aspects in health and disease*. New York: Alan R. Liss, 1977: 329 - 340.
- Hara A., Radin N. S.: Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Anal. Biochem.* 1978 Oct. 1; 90 (1): 420 - 426.
- Haralambie G.: Serum zinc in athletes in training. *Int. J. Sports Med.* 1981; 2: 135 - 136.

- Harris P. L., Embree N. D.: Quantitative consideration of the effect of polyunsaturated fatty acid content of the diet upon the requirements for vitamin E. *Am. J. Clin. Nutr.* 1963; 13: 395.
- Hawley J., Burke L.: *Peak Performance. Training and nutritional strategies for sport.* Allen & Unwin, Australia 1998.
- Hayes K. C., Khosla P.: Dietary fatty acid thresholds and cholesterolemia. *FASEB J.* 1992; 6: 2600 - 2607.
- Heaney R. P., Recker R. R.: Distribution of calcium absorption in middle-aged women. *Am. J. Clin. Nutr.* 1986; 43: 299 - 305.
- Herbert V.: Recommended dietary intakes (RDI) of vitamin B<sub>12</sub> in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987; 45: 671 - 678.
- Hergenroeder A. and Klish W.: Body Composition in Adolescent Athletes. *Pediatric Clinics of North America* 1990; 37 (5): 1057 - 1083.
- Holman R. T., Caster W. O., Wiese H. F.: Estimation of linoleate intake of men from serum lipid analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 1964; 14: 23 - 26.
- Hohtari H., Pakarinen A., Kauppila A.: Serum concentrations of thyrotropin, thyroxine, triiodothyronine and thyroxine binding globulin in female endurance runners and joggers. *Acta Endocrinol.* 1987; 114 (1): 41 - 46.
- Horwitt M. K.: Status of human requirements for vitamin E. *Am. J. Clin. Nutr.* 1974; 27: 1182 -1193.
- Itoh R., Nishiyama N., Suyama Y.: Dietary protein intake and urinary excretion of calcium: a cross-sectional study in healthy Japanese population. *Am. J. Clin. Nutr.* 1998; 67: 438 - 444.
- Jacobs D. S., Kasten Jr. B. L., Demott W. R., Wolfson W. L.: (eds.) *Laboratory test handbook.* Hudson: LexiComp, 1990: 514.
- Jackson M. J., Jones D. A., Edwards R. H. T., Swainbank J. G., Coleman M. L.: Zinc homeostasis in man: studies using a new stable isotope-dilution technique. *Br. J. Nutr.* 1984; 51: 199 - 208.
- Janero D. R.: Therapeutic potential of vitamin E against myocardial ischemic-reperfusion injury. *Free Radic. Biol. Med.* 1991; 10: 315.
- Janeway C. A., Travers P.: *Immunologie.* Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2. Auflage, 1997.
- Johanning G., O'Dell B. L.: Effect of zinc deficiency and food restriction in rats on erythrocyte membrane zinc, phospholipid and protein content. *J. Nutr.* 1989; 119: 1654 - 1660.
- Kadrabova J., Madaric A., Kovacicova Z., Ginger E.: Selenium status, plasma zinc, copper, and magnesium in vegetarians. *Biol. Trace. Elem. Res.* 1995; 14: 463.
- Kasarkis E. J., Shuna A.: Serum alkaline phosphatase after treatment of zinc deficiency in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 1982; 33: 2609 - 2612.
- Kasper H.: *Ernährungsmedizin und Diätetik.* Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2000.
- Katan M. B., Zock P. L., Mensink R. P.: Effects of fats and fatty acids on blood lipids in humans: an overview. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994; 60: 1017S - 1022S.
- Kauf E., Winnefeld K., Dawczynski H., Forberger M., Schlenvoigt D.: Plasmaselenengehalt und -glutathionperoxidaseaktivität bei Jenaer Schulkindern-Normwerte sowie Prüfung von Interrelationen zu Schilddrüsenhormonen und Lipidparametern. 18. Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, 1998.

- Kaufmann W., Löhr G. W.: Pathophysiologie, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart 1991.
- Khaled S., Brun J. F., Cassanas G., Bardet L., Orsetti A.: Effects of zinc supplementation on blood rheology during exercise. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 1999; 20 (1): 1 - 10.
- Kersting, M.: Methoden zur Ermittlung des Nahrungsverzehrs von Kindern. Dissertation, Bonn 1975.
- Kieffer F.: Die Bedeutung der Spurenelemente für Sportler. *Leistungssport* 1990; 20 (4): 29 - 37.
- Kincaid R. L., Cronrath J. D.: Effects of dietary zinc upon tissue zinc and percent unsaturated plasma-zinc binding capacity. *J. Dairy Sci.* 1979; 62: 572 - 576.
- King J. C., Shames D. M., Woodhouse L. R.: Zinc Homeostasis in Humans. *J. Nutr.* 2000; 130: 1360S - 1366S.
- King J. C., Turnlund J. R.: Human zinc requirements. IN: Mills C.F. ed. *Zinc in Human Biology*. London, Springer Verlag 1989; 335 - 350.
- Kirchgessner M., Roth H. P., Weigand E.: Biochemical changes in zinc deficiency. In: *Trace Elements in Human Health and Disease*. Prasad AS, Hrsg. Academic Press 1976, New York, S. 189 - 225.
- Kirchgessner M., Paulicks B. R., Roth H. P.: Zink - Funktion, Bedarf, Versorgung und Diagnose. In: *Spurenelemente und Ernährung*. Wolfram G, Kirchgessner M (Hrsg.) 1990, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart S. 101 - 121.
- Kirchgessner M.: Homeostasis and homeorhesis in trace element metabolism. In: *Trace Elements in Man and Animals-TEMA 8*. Anke M, Meissner D, Mills CF, Hrsg. Verlag Media Touristik, Gerstorf 1993: S 4 - 21.
- Kirkeby K. et al.: *Acta Med. Scand.* 1977; 202: 463.
- Keul, J., Hamm, M.: *Die richtige Fitness-Ernährung. Das Programm für mehr Leistungsfähigkeit und Lebensfreude*. Umschau/Braus Verlag, Heidelberg (1998).
- Kluthe, B.: *Handbuch Prodi, Ernährungs- und Diätberatungs-Programm Version 4.5/03*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart 2000.
- Koenig U. D., Weidmann E.: Immunstatus-Bestimmung und klinische Bedeutung. *Diagnostik* 1984; 17 (15): 23 - 28.
- Konopka P.: *Sport-Ernährung: Leistungsförderung durch vollwertige und bedarfsangepasste Ernährung*. BLV, München 1994.
- Kritchevsky D.: Dietary fiber. *Annu. Rev. Nutr.* 1988; 8: 301 - 328.
- Kruse-Jarres J. D.: The Significance of Zinc for Humoral and Cellular Immunity. *J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis.* 1989; 3 (1): 1 - 8.
- Landay A. L., Muirhead K. A.: Procedural guide lines for performing immunophenotyping by flow cytometry. *Clin. Immunol. Immunopathol.* 1989; 52: 48 - 60.
- Lashof J. C. et al.: *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.* 1954; 86: 233.
- Lemon P. W., Tarnopolsky M. A., MacDougall J. D., Atkinson S. A.: Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J. Appl. Physiol.* 1992; 73: 767 - 775.

- Licata G., Scaglione R., Novo S., Dicciara M.a., Di Vincenzo D.: Behaviour of serum T<sub>3</sub>, rT<sub>3</sub>, TT<sub>4</sub>, fT<sub>4</sub> and TSH levels after exercise on a bicycle ergometer in healthy euthyroid male young subjects. *Boll. Soc. It. Biol. Sper.* 1984; 60 (4): 753 - 759.
- Liesen H., Riedel H., Order U., Mücke S., Widenmayer W.: Zelluläre Immunität bei Hochleistungssportlern: Verteilungsbereiche von Leukozyten und Lymphozytensubpopulationen bei männlichen Hochleistungssportlern während einer Regenerationsphase oder im Zeitraum eines dosierten Aufbautrainings. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1989; Sonderheft (40): 4 – 14.
- Liesen H., Baum M.: Sport und Immunsystem. Hippokrates Verlag, Stuttgart, 1997.
- Li Li Ji.: Oxidative Stress During Exercise: Implication of Antioxidant Nutrients. *Free Rad. Biol. Med.* 1995; 18 (6): 1079 - 1086.
- Löffler G., Petrides P. E.: Biochemie und Pathobiochemie, 6. korrigierte Auflage, Springer Verlag, Berlin 1997.
- Lokitch G.: Trace elements in pediatrics. *JIFCC* 1996; 9: 46 - 52.
- Loucks A. B., Callister R.: Induction and prevention of low-T<sub>3</sub> syndrome in exercising women. *Am. J. Physiol.* 1993; 264: R924 - R930.
- Luppa, D.: Ursachen eines erhöhten Vitamin-E-Bedarfes bei sportlichen Belastungen. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, St. Augustin 32 (1991), S. 189 - 205.
- Marr, J.: Individual Dietary Surveys: Purposes and Methods. *Wed. Rev. Nutr. Diet.* 1971; 13: 105 - 164.
- Martin D. C., Francis J., Protetch J., Huff J.: Time dependency of cognitive recovery with cobalamin replacement: Report of a pilot study. *J. Am. Geriatr. Soc.* 1992; 40: 168 - 172.
- Matiasko, B., Anders, H., Rosenbauer, J.: Methoden der Ernährungserhebung, in Wolfram, G., Schlierf, G. (Hrsg.), Ernährung u. Gesundheit, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1988, S. 17 – 28.
- Matthews D. E., Campbell R. G.: The effect of dietary protein intake on glutamine and glutamate nitrogen metabolism in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 1992; 55: 963 - 970.
- McClain C. J., Kasarskis E. J., Allen J. J.: Functional consequences of zinc deficiency. *Progress in Food and Nutrition Science* 1985; 9: 185 - 226.
- Metges C. C., Barth C. A.: Metabolic consequences of a high dietary protein intake in adulthood: Assessment of the available evidence. *J. Nutr.* 2000; 130: 363 - 366.
- Mills B. J., Lindeman R. D.; Zumkley H. (Hrsg.). *Zink*. 1983; 197 - 214.
- Milne D. B., Canfield W. K., Gallagher S. K., Hunt J. R., Klevay L. M.: Ethanol metabolism in postmenopausal women fed a diet marginal in zinc. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987; 46: 688 - 693.
- Millward D. J., Bowtell J. L., Pacy P., Rennie M. J.: Physical activity, protein metabolism and protein requirements. *Proc. Nutr. Soc.* 1994; 53: 223 - 240.
- Moilanen T., Räsänen L., Viikari J. et al.: Fatty acid composition of serum cholesteryl esters in 3- to 18-year-old Finnish children and its relation to diet. *Am J Clin Nutr* 1985; 42: 708 - 713.
- Momsen E. R.: Iron nutrition and absorption. Dietary factors which impact iron bioavailability. *J. Am. Diet Assoc.* 1988; 88: 786 - 790.
- Morrison W. R., Smith L. M.: Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. *J. Lipid. Res.* 1964; 5: 600 - 608.

- Mossad S. B., Macknin M. L., Medendorp S. V., Mason P.: Zinc Gluconate Lozenges for Treating the Common Cold. A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *Ann. Intern. Med.* 1996; 125 (2): 142 - 144.
- Motz C., Roth H. P., Kirchgessner M.: Influence of bis(acetylsalicylato)-diaquo-zinc(II)-complex and acetylsalicylic acid on several parameters of the zinc status in growing rats. *Trace Elem. Electr.* 1995; 12 (1): 1 - 6.
- Moulder K., Steward M. W.: Experimental zinc deficiency: effects on cellular responses and the affinity of humoral antibody. *Clin. Exp. Immunol.* 1989; 77: 269 - 274.
- Muggli R.: Vitamin-E-Bedarf bei Zufuhr von Polyenfettsäuren. *Fat Sci. Technol.* 1994; 1: 17 - 19.
- Naber T. H. J., Van den Hamer C. J. A., Van den Broek W. J. M., Van Tongeren J. H. M.: Zinc Uptake by Blood Cells of Rats in Zinc Deficiency and Inflammation. *Biol. Trace Elem. Res.* 1992; 35: 137 - 152.
- Narasinga B. S.: Physiology of iron absorption and supplementation. *Br. Med. Bull.* 1981; 37: 25 - 30.
- Narayanan M. N., Dawson D. W., Lewis M. J.: Dietary deficiency of Vitamin B<sub>12</sub> is associated with low serum cobalamin levels in non-vegetarians. *Eur. J. Haematol.* 1991; 47: 115 - 118.
- Neve J., Vertongen F., Peretz A., Van Erum S.: Selenium status in healthy belgian adults: Assessment of adequacy by various biochemical indices and response to supplementation. In: Brätter, P., Shramel, P. (ed.): *Trace element analytical chemistry in medicine and biology*, Vol. 5, 371 - 376. W. de Gruyter, Berlin 1988.
- Newsholme E.: Physical activity and the immune system. In: B. C Boucard, R. J. Shephard, T. Stephens, eds. *Physical activity, fitness and health*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1993.
- Nieman D. C., Brendle D., Henson D. A., Suttles J., Cook V. D., Warren B. J., Butter-worth D. E., Fagoaga O. R., Nehlsen-Canarella S. L.: Immune Function in Athletes Versus Nonathletes. *Int. J. Sports Med.* 1995; 16: 329 - 333.
- O'Dell W. D. et al.: *Recent Progr. Horm. Res.* 1967; 23: 47.
- O'Dell B. L., Browning J. D., Reeves P. G.: Zinc deficiency increases the osmotic fragility of rat erythrocytes. *J. Nutr.* 1987; 117: 1883 - 1889.
- O'Keefe C. A., Bailey L. B., Thomas E. A., Hofler S. A., Davis B. A., Cerda J. J., Gregory J. F. 3<sup>rd</sup>: Controlled dietary folate affects folate status in nonpregnant women. *J. Nutr.* 1995; 125: 2717 - 2725.
- Opstad P. K, Falch D., Oktedalen O., Fonnum F., Wergeland R.: The thyroid function in young men during prolonged exercise and the effect of energy and sleep deprivation. *Clin Endocrin.* 1984; 20 (6): 657 - 669.
- Paglia D. E., Valentine W. N.: Studies on the quantitative and qualitative characterization of glutathione peroxidase. *J. Lab. Clin. Med.* 1967; 70: 158 - 169.
- Pakarinen A., Hakkinen K., Alen M.: Serum thyroid hormones, thyrotropin and thyroxine binding globulin in elite athletes during very intense strength training of one week. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 1991; 31 (2): 142 - 146.
- Pallauf J., Kirchgessner M.: *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde.* 1971; 28: 128.
- Papst R., Binns R. M., Licence S. T., Peter M.: *Am. Rev. Respir. Dis.* 1987; 136: 1213 - 1218.
- Papst R.: The spleen in lymphocyte migration. *Immunol. Today* 1988; 9: 43 - 45.

Parizková, J.: Growth and Growth Velocity of Lean Body Mass and Fat in Adolescent Boys. In: *Pediatr. Res.-Baltimore* 1976; 10: 647 - 650.

Parizková, J.: Rozvoj aktivní hmoty a tuku u dětí a mládeže. Praha, 1962; -132 S.

Parry T. E.: Megaloblastic anemia in the elderly. In: *Hematological Problems in the elderly*. Hamblin, T.J. (ed.), Baillière's Clinical Haematology 1. London-Philadelphia-Toronto-Sydney-Tokyo, Baillière Tindall 1987: 315 - 355.

Paterson P. G., Bettger W. J.: Effect of dietary zinc intake on the stability of the rat erythrocyte membrane. In: *Trace Elements in Man and Animals* (Mills, C.F., Brenner I., Chesters J.K., eds.) 1985, pp. 79 - 83. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, U.K.

Paterson P. G., Bettger W. J.: Effect of dietary zinc intake on the hematological profile of the rat. *Comp. Biochem. Physiol. A.* 1986; 83 (4): 721 - 725.

Paterson P. G., Allen O. B., Bettger W. J.: Effect of dietary zinc deficiency on the endogenous phosphorylation and dephosphorylation of rat erythrocyte membrane. *J. Nutr.* 1987; 117: 2096 - 2105.

Pécoud A., Donzel P., Schelling J. L.: Effect of Foodstuffs on the Absorption of Zinc Sulfate. *Clin. Pharmacol. Ther.* 1975; 17: 469 - 474.

Pedersen B. K., Tvede N., Christensen L. D., Klarlund K., Kragbak S., Halkjaer-Kristensen J.: Natural killer cell activity in peripheral blood of highly trained and untrained persons. *Int. J. Sports Med.* 1989; 10: 129 - 131.

Pekkarinen, M.: Methodology in the Collection of Food Consumption Data. *Wed. Rev. Nutr. Diet.* 1970;12: 145 - 171.

Peters C., Mucha C., Michna H., Lötzerich H.: Vergleichende Untersuchung zum Immunstatus trainierter und untrainierter Junioren und Senioren. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1998; Sonderheft 1 (49): 111 - 114.

Pickardt C. R.: Jodstoffwechsel und Schilddrüsenkrankheiten. In Biesalski H.K., Fürst P., Kasper H., Kluthe R., Pöler W., Puchstein C., Stähelin H. B. (Hrsg.): *Ernährungsmedizin*. Thieme, Stuttgart 1999.

Pietrzik K., Prinz-Langenohl R., Dierkes J.: Die Beeinflussung des Homocysteinspiegels durch nutritive Gaben der Vitamine B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub> und Folsäure. In Biesalski H. H., Classen H. G.: *Elektrolyte, Vitamine, Spurenelemente*. Thieme, Stuttgart 1995.

Pietrzik K., Brönstrup A.: Folate in preventive medicine; a new role in cardiovascular disease, neural tube defects and cancer. *Ann. Nutr. Metab.* 1997; 41: 331 - 343.

Pleban P. A., Munyani A., Beachum J.: Determination of Selenium Concentration and Glutathione Peroxidase Activity in Plasma and Erythrocytes. *Clin. Chem.* 1982; 28 (2): 311 - 316.

Plocke D. J., Levinthal C., Vallee B. L.: Alkaline Phosphatase of *Escherichia coli*: A Zinc Metalloenzyme. *Biochem.* 1962; 1: 373 - 378.

Poprzecki S., Klapcinska B., Sadowska-Krepa E.: Activity of antioxidant enzymes in blood of hurdlers following maximal exercise. *Biol. Sport* 1997; 14: 283 - 290.

Prasad A. S., Meftah S., Abdallah J., et al.: Serum thymulin in human zinc deficiency. *J. Clin. Invest.* 1988; 82: 1202 - 1210.

Prasad A. S.: Zinc: An Overview. *Nutrition* 1995; 11: 93 - 99.

Prasad A. S., Fitzgerald J. T., Bao B., Beck F. W. J., Chandrasekar P. H.: Duration of symptoms and plasma cytokine levels in patients with the common cold treated with the zinc acetate. *Ann. Intern. Med.* 2000; 133: 245 - 252.

- Pudel, V.: Praxis der Ernährungsberatung. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. 2. Überarbeitung, 1993.
- Rajagopalan S., Winter C. C., Wagtmann N., Long E. O.: The Ig-related killer cell inhibitory receptor binds zinc and requires zinc for recognition of HLA-C on target cells. *J. Immunol.* 1995; 155: 4143 - 4146.
- Rauma A. L., Mykkanen H.: Antioxidant status in vegetarian versus omnivores. *Nutrition* 2000; 16 (2): 111 - 119.
- Rasmussen K., Moller J., Lyngbak M., et al.: Age and gender-specific reference intervals for total homocysteine and methylmalonic acid in plasma before and after vitamin supplementation. *Clin Chem* 1996; 42: 630 - 636.
- Recommendations of the European Atherosclerosis Society. Prevention of coronary heart disease. London: Current Medical Literature 1992.
- Recommended Nutrient Intakes, NHMRC, Australia 1990.
- Regeczy N., Görög G., Paloczi K.: Developing an expert system for immunophenotypical diagnosis in immunodeficiency. Age-related reference values of peripheral blood lymphocyte subpopulations in Hungary. *Immunology Letters* 2001; 77: 47 - 54.
- Reggiani E., Arras G. B., Trabacca S., Senarega D., Chiodini G.: Nutritional status and body composition of adolescent female gymnasts. *J. Sports Med. Phys. Fit. Sept.* 1989; 29 (3): 285 -288.
- Richter, C.: Biophysical consequences of lipid peroxidation in membranes. *Chem. Phys. Lipids* 44 (1987), 175 -189.
- Rick W.: Klinische Chemie und Mikroskopie. 5. Auflage, Springer Verlag, Berlin 1977, S. 242.
- Rudolph N., Wong S. L.: Selenium and glutathione peroxidase activity in maternal and cord plasma and red cells. *Pediatr. Res.* 1978; 12: 789 – 792.
- Ricken K. H., Kindermann W.: Der Immunstatus des Leistungssportlers – Ursachen der Infektanfälligkeit. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1986; Sonderheft: 38 – 42.
- Riede U. N., Schaefer H. E.: Allgemeine und spezielle Pathologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1999.
- Rimm E. B., Ascherio A., Giovannucci E., Spiegelman D., Stampfer M. J., Willett W. C.: Vegetable, Fruit, and Cereal Fiber Intake and Risk of Coronary Heart Disease Among Men. *Jama* 1996; 275: 447 - 451.
- Rink L., Kirchner H.: Zinc-Altered Immune Function and Cytokine Production. *J. Nutr.* 2000; 130: 1407S-1411S.
- Roitt I. M., Brostoff J., Male D. K.: Kurzes Lehrbuch der Immunologie. Deutsche Übersetzung von Ihor Harabacz. 3. Neubearbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1995.
- Rokitzki L., Cufi D., Klemp C., Diezemann E., Keul J.: Die Ernährungsgewohnheiten von Athleten aus verschiedenen Sportarten. *Ernährung-Pharmaka-Umwelt* 1990: 801 - 803.
- Romagnani S.: The Th1/Th2 paradigm. *Immunol. Today* 1997; 18: 263 - 266.
- Roth H. P., Kirchgessner M.: Aktivitätsveränderungen verschiedener Dehydrogenasen und der alkalischen Phosphatase im Serum bei Zink-Depletion und -Repletion. *Z. Tierphysiol., Tierernährung und Futtermittelkde.* 1974; 32: 289 - 296.
- Roth H. P., Kirchgessner M.: Experimentelle Untersuchungen zur Diagnose von marginalem Zinkmangel. *Res. Exp. Med.* 1979: 174: 283 - 300.

- Roth H. P., Kirchgessner M.: Zn-Binding Capacity of Serum. A Parameter for Diagnosing Marginal Zn Deficiency. *Res. Exp. Med.* 1980 a; 177 (3): 213 - 219.
- Roth H. P., Kirchgessner M.: Zinkmangel-Diagnose mittels der alkalischen Phosphataseaktivität im Serum vor und nach einer Zn-Injektion. *Zbl. Vet. Med. A.* 1980 b; 27: 290 - 297.
- Roth H. P., Kirchgessner M.: Zur Hämolyse-Resistenz der Erythrozytenmembran nach alimentärem Zink- oder Kalzium bzw. simultanem Zink/Kalzium-Mangel bei der Ratte. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 1991; 65: 273 - 280.
- Roth H. P., Kirchgessner M.: Influence of zinc deficiency on the osmotic fragility of erythrocyte membranes of force-fed rats. *Trace Elem. Elec.* 1994; 1: 46 - 50.
- Roth H. P., Kirchgessner M.: Konzentrationsverlauf an Wachstumshormon, IGF-1, Insulin und C-Peptid in Serum, Hypophyse und Leber von Zn-Mangelratten. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 1997; 77: 91 - 101.
- Ruz M., Cavan K. R., Bettger W. J., Gibson R.: Erythrocytes, erythrocyte membranes, neutrophils and platelets as biopsy materials for the assessment of zinc status in humans. *Br. J. Nutr.* 1992; 68: 515 - 527.
- Salas M., Kirchner H.: Induction of interferon gamma in human leukocyte cultures stimulated by Zn<sup>2+</sup>. *Clin. Immunol. Immunopathol.* 1987; 45: 139 - 142.
- Samman S., Soto C., Cooke L., Ahmad Z., Farmakalidis E.: Is erythrocyte alkaline phosphatase activity a marker of zinc status in humans? *Biol. Trace Elem. Res.* 1996; 51 (3): 285 - 91.
- Sander M., Rocker L.: Influence of marathon running on thyroid hormones. *Int. J. Sports Med.* 1988; 9 (2): 123 - 126.
- Sandström B., Cederblad A., Lindblad B. S., Lönnerdal B.: Acrodermatitis Enteropathica, Zinc Metabolism, Copper Status, and Immune Function. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 1994; 148: 980 - 985.
- Sauberlich H. E., Kretsch M. J., Skala J. H., Johnson H. L., Taylor P. C.: Folate requirement and metabolism in nonpregnant women. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987; 46: 1016 - 1028.
- Schardt F.: Auswirkung von Gaben an Müsli-Kost und Zink auf verschiedene Blutparameter bei Leistungssportlern. *Z. Ernährungswiss.* 1994; 33: 207 - 216.
- Schettler G., Nüssel E.: *Arbeitsmed., Sozialmed., Präventivmed.* 1975; 10, 25.
- Scheuermann S. E., Lantzsch J. J.: *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde.* 1982; 47: 267.
- Schick P., Trepel F., Eder M., Matzner M., Benedak S., Theml H., Kaboth W., Begemann H., Fliedner T. M.: Autotransfusion of 3H-Cytidine-labelled blood lymphocytes in patients with Hodgkin's disease and Non-Hodgkin patients. *Acta Haemat.* 1975; 53: 206 - 218.
- Schneemann B. O., Tietjen J.: Dietary Fiber. In: *Modern Nutrition in Health and Disease.*
- Shils M. E., Olson J. A., Shike M. (eds.). 8<sup>th</sup> ed., Lea & Febiger, Philadelphia (1994), 89 - 100.
- Schoentag R. A., Cangiarella J.: The nuances of lymphocytopenia. *Clin. Lab. Med.* 1993; 13: 923 - 936.
- Schroten H.: Mangelernährung und Immunsystem. In: *Ernährung chronisch kranker Kinder und Jugendlicher*, B. Koletzko (Hrsg.). Springer Verlag, 1993: 45 - 54.
- Schüle A., Kirchgessner M., Roth H.-P.: Auswirkungen eines alimentären Zinkmangels bei zwangsernährten Ratten auf Wachstum, Zinkstatus und Serumkonzentrationen von Insulin und Glukagon. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 1992; 67: 157 - 169.

- Schwarz R., Spencer H., Welsh J.: Magnesium absorption in human subjects from leafy vegetables, intrinsically labelled with stable  $^{26}\text{Mg}$ . *Am. J. Clin. Nutr.* 1984; 39: 571 - 576.
- Seim H., Mothes T., Thiery J.: *Praktikum Klinische Chemie und Hämatologie*, Verlag Wissenschaftliche Skripten, Zwickau, Deutschland; 5. Überarbeitete Auflage 2000, 34.
- Selhub J., Jacques P. F., Wilson P. W., Rush D., Rosenberg I. H.: Vitamin status and intake as primary determinants of homocysteinemia in an elderly population. *JAMA* 1993; 270: 2693 - 2698.
- Sen C. K.: Oxidants and antioxidants in exercise. *J. Appl. Physiol.* 1995; 79: 675 - 686.
- Sichert, W., Oltersdorf, U., Winzen, U., Leitzmann, C.: *Ernährungs-Erhebungsmethoden. Methoden zur Charakterisierung der Nahrungsaufnahme des Menschen. Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Ernährungsverhalten e. V., Band 4, Beiheft der Zeitschrift Ernährungsumschau 31 (1984).*
- Siegenthaler E.: *Klinische Pathophysiologie*, 8. vollständig neu bearbeitete Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart 2000.
- Simon-Schnaß, J., Pabst, H., Herligkoffer, K. M.: Der Einfluss von Vitamin E auf leistungsabhängige Parameter beim Höhenbergsteigen. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1987; 38: 199 - 206.
- Simpson R. T., Vallee B. L.: Two Differentiable Classes of Metal Atoms in Alkaline Phosphatase of *Escherichia coli*. *Biochem.* 1968; 7: 4343 - 4350.
- Smit Vanderkooy P. D., Gibson R. S.: Food consumption patterns of Canadian preschool children in relation to zinc and growth status. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987; 45: 609 - 616.
- Smith L. et al.: Cytokines and Overtraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000; 32: 317.
- Sobczak A., Shop B., Kula B.: Simultaneous determination of serum retinol and alpha- and gamma-tocopherol levels in type II diabetic patients using high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *J. Chromatogr. B. Biomed. Sci. Appl.* 1999 Jul 9; 730 (2): 265 - 271.
- Solomons N. W., Elson C. O., Pekarek R. S., Jacob R. A., Sandstead J. J., Rosenberg I. H.: *Infect. Immun.* 1978; 22: 637 - 639.
- Soop M., Soop A., Sundqvist K. G.: *Scand. J. Immunol.* 1988; 28: 659 - 665.
- Spencer H., Fuller H., Norris C., Williams D.: Effect of magnesium on the intestinal absorption of calcium in man. *J. Am. Coll. Nutr.* 1994; 13: 485 - 492.
- Stein H. J., McBride P.: Hyperhomocysteinemia and atherosclerotic vascular disease. *Arch. Intern. Med.* 1998; 158: 1301 - 1306.
- Stern A.: Red cell oxidative damage: In: *Oxidative Stress* (Sies, H., ed.) 1986, pp. 331 - 349. Academic Press, London, U.K.
- Stewart J. S., Roberts P. D., Hoffbrand A. V.: Response of dietary vitamin B<sub>12</sub> deficiency to physiological oral doses of cyanocobalamin. *Lancet* 1970; 2: 542 - 545.
- Stockbridge H., Glueck J.: *Lab. Clin. Med. Vol.* 1989; 114 (2): 142 - 151.
- Street N. E., Schumacher J. H., Fong T. A., Bass H., Fiorentino D. F., Leverah J. A., Mosmann T. R.: Heterogeneity of mouse helper T cells. Evidence from bulk cultures and limiting dilution cloning for precursors of Th1 and Th2 cells. *J. Immunol.* 1990; 144: 1629 - 1639.
- Suita S., Ikeda K., Nagask A., Hayashida Y.: Zinc deficiency during total parenteral nutrition in childhood. *J. Pediat. Surg.* 1978; 13: 5.
- Suzuki J., Katoh N.: A simple and cheap method for measuring serum vitamin A in cattle using only a spectrophotometer. *Nippon Juigaku Zasshi* 1990 Dec.; 52 (6): 1281 - 1283.

- Tanaka S. S. K., H. Kitao, Nakadomo F.: Exercise-induced lipid peroxidation and leakage of enzymes before and after vitamin E supplementation. *Int. J. Biochem.* 1989; 21: 835 - 838.
- Taylor C. M., Bacon J. R., Aggett P. J., Bremner I.: Homeostatic regulation of zinc absorption and endogenous losses in zinc-deprived men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1991; 53: 755 - 763.
- Terjung R. L. et al.: *Am. J. Physiol.* 1971; 220: 1840.
- Thews G., Mutschler E., Vaupel P.: *Anatomie, Physiologie und Pathophysiologie des Menschen.* Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1999.
- Thomas L.: *Labor und Diagnose, Indikation und Bewertung von Laborbefunden für die medizinische Diagnostik.* 5. erweiterte Auflage, TH-Books Verlagsgesellschaft mbH, Frankfurt/Main 2000.
- Thompson P. H.: Assessment of zinc status. *Proc. Nutr. Soc.* 1991; 50: 19 - 28.
- Troncone L., Brahm S., Satta M., Monaco F.: *Thyroid Diseases, Basic Science, Pathology, Clinical and Laboratory Diagnoses.* CRC Press, Boca Raton 1994.
- Ueland P. M., Refsum H., Brattstrom L.: Plasma homocysteine and cardiovascular disease. In: Francis R. B. J., ed. *Atherosclerotic cardiovascular disease, hemostasis and endothelial function.* New York; Marcel Dekker: 1992: 183.
- Ullmann R., Bonitz K.: Fully mechanized kinetic measurement of creatinine. *Med. Labor* 1976; 29 (6): 137 - 145.
- Vallee B. L., Falchuk K. H.: The biochemical basis of zinc physiology. *Physiol. Rev.* 1993; 73: 79 - 118.
- Van Erp-Baart A., Saris W., Binkhorst R., Vos J., Elvers J.: Nationwide survey on nutritional habits in elite athletes. Part I: energy, carbohydrate, protein and fat intake. *Int. J. Sports. Med.* 1989; 10: 3 - 10.
- Van Kampen E. J., Zijletra W. G.: *Clin. Chim. Acta* 1961; 6: 538.
- Vester B., Rasmussen K.: High Performance Liquid Chromatography Method for Rapid and Accurate Determination of Homocysteine in Plasma and Serum. *Eur. J. Clin. Chem. Clin. Biochem.* 1991; 29: 549 - 554.
- Volpe R. et al.: *J. Clin. Endocr.* 1960; 20: 415.
- Wagner G. M., Lubin B. H., Chiu D. T.-Y.: Oxidative damage to red blood cells. IN: *Cellular Antioxidant Defense Mechanisms* (Chow, C.K., ed.) 1988, vol.1, pp. 185 - 195. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
- Wahrburg, U., Bender, F.: Die Anwendbarkeit verschiedener Methoden von Ernährungserhebungen in epidemiologischen Studien. Dargestellt am Beispiel der Arterioskleroseforschung. *Akt. Ernähr.* 1995; 10: 133 - 139.
- Walsh C. T., Sandstead H. H., Prasad A. S., Newberne P. M., Fraker P. J.: Zinc health effects and research priorities for the 1990's. *Environ. Health. Perspect.* 1994; 102: 5 - 46.
- Watson R. R.: *Malnutrition, disease resistance and immune function.* New York: Dekker, 1984.
- Watzl B.: Gesundheitliche Bedeutung sekundärer Pflanzenstoffe. In: *Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) e. V. ed. Ernährungsbericht 1996.* Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) e.V. Frankfurt: 1996, 217 - 232.
- Weber G. F., Maertens P., Meng X., Pippenger C. E.: Glutathione peroxidase deficiency and childhood seizures. *Lancet* 1991; 337: 1443 - 1444.

- Weismann K., Hoyer H.: Serum alkaline phosphatase and serum zinc levels in the diagnosis and exclusion of zinc deficiency in man. *Am. J. Clin. Nutr.* 1985; 41: 1214 - 1219.
- Wellinghausen N., Driessen C., Rink L.: Stimulations of human peripheral blood mononuclear cells by zinc and related cations. *Cytokine* 1996; 18: 767 - 771.
- Wellinghausen N., Martin M., Rink L.: Zinc inhibits IL-1 dependent T cell stimulation. *Eur. J. Immunol.* 1997; 27: 2529 - 2535.
- Westermann J., Pabst R.: Lymphocyte subsets in the blood: a diagnostic window on the lymphoid system? *Immunol Today* 1990; 11 (11): 406 - 410.
- Weston W. L., Huff J. C., Hubert J. R., Hambridge K. N., Neldner K. H., Walravens P. A.: Zinc correction of defective chemotaxis in acrodermatitis enteropathica. *Arch. Dermatol.* 1977; 13: 422 - 425.
- Williams M. H.: Ernährung, Fitness und Sport. Deutsche Ausgabe herausgegeben von Richard Rost; Ullstein Mosby GmbH & Co. KG, Berlin/Wiesbaden, 1997.
- Willet, W.: Nutritional Epidemiology. Oxford University Press, New York, Oxford 1990.
- Wilmore J. H., Brown C. H., Davis J. A.: Body physique and composition of the female distance runner. *Ann. NY. Acad. Sci.* 1977; 301: 764 - 776.
- Winkler, G.: Validierung einer Food-Frequency-Erhebung. Dissertation, München 1993.
- Wirth J. J., Fraker P. J., Kierszenbaum F.: Zinc requirements for macrophage function: effect of zinc deficiency on uptake and killing of a protozoan parasite. *Immunology* 1989; 68: 114 - 119.
- Wolf P. L.: Clinical significance of an increased or decreased serum alkaline phosphatase level. *Arch. Pathol. Lab. Med.* 1978; 102: 497 - 501.
- Wolk A., Manson J. E., Stampfer M. J. et al.: Long-term Intake of Dietary Fiber and Decreased Risk of Coronary Heart Disease Among Women. *JAMA* 1999; 281: 1998 - 2004.
- Wood R. J.: Assessment of Marginal Zinc Status in Humans. *J. Nutr.* 2000; 130: 1350S - 1354S.
- Young V.R., Borgonha S.: Adult human amino acid requirements. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 1999; 2: 39 - 45.
- Yu-Poth S., Zhao G., Etherton T. et al.: Effects of the National Cholesterol Education Program's Step I and Step II dietary intervention programs on cardiovascular disease risk factors: a meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 1999; 69: 632 - 646.
- Zahavi, J., Betteridge, J. D., Jones, N. A. G., Galton, D. J., Kakkar, V. V.: Enhanced in vivo platelet release reaction and malondialdehyde formation in patients with hyperlipidemia. *Am. J. Med.* 1981, 70: 59 - 64.
- Zalewski P. D.: Zinc and Immunity: Implications for Growth, Survival and Function of Lymphoid Cells. *J. Nutr. Immun.* 1996; 4 (3): 39 - 81.
- Zemel M. B.: Calcium utilization: effect of varying level and source of dietary protein. *Am. J. Clin. Nutr.* 1988; 48 (Suppl): S880 - S883.
- Ziegler, R.: Vitamine und Mineralstoffe im Sport (VII):  $\beta$ -Carotin: Provitamin A und innovatives Antioxidans. *Therapiewoche* 5 (1995), 308 - 314.
- Zonderland M. L., Erich W. B. M., Peltenburg A. L.: Nutrition of premenarcheal athletes. Relation with the lipid and apolipoprotein profiles. *Int. J. Sports Med.* 1985; 6: 329 - 335.

**Anhang**

**Seiten**

**Abbildungen**

1 - 14

**Tabellen**

15 - 63

**Abbildungen**

<b>Nr.</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
1	Trainingsprotokoll	1
2	Ernährungsprotokoll	4
3	Anleitungsformular zur Führung eines Ernährungsprotokolls	6
4	Genehmigung für die Blutproben-Entnahme	8
5	Einwilligungserklärung für minder- und volljährige Athleten	9
6	Trainingsprotokoll	11
7	Gesundheitsfragebogen	12
8	Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage	14

**Tabellen**

<b>Nr.</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
1 a	Anthropometrische Daten und Trainingsumfang der Sportler unterteilt nach Sportarten	15
1 b	Anthropometrische Daten und Trainingsumfang der Sportler unterteilt nach Geschlecht	17
2	Kalorienverbrauch [kcal] pro Minute bei verschiedenen Bewegungsformen und Sportarten nach Williams (1997)	19
3 a	Grundumsatz (GU), Aktivitätsfaktor (Faktor), Erhaltungsbedarf, Leistungsumsatz und der tägliche Energiebedarf der Sportler unterteilt nach Sportarten	20
3 b	Grundumsatz (GU), Aktivitätsfaktor (Faktor), Erhaltungsbedarf, Leistungsumsatz und der tägliche Energiebedarf der Sportler unterteilt nach Geschlecht	22
4 a	Zufuhr von Energie, Kohlenhydraten, Fett, Eiweiß (pflanzliches + tierisches), Ballaststoffen und Cholesterin der Sportler unterteilt nach Sportarten	24
4 b	Zufuhr von Energie, Kohlenhydraten, Fett, Eiweiß (pflanzliches + tierisches), Ballaststoffen und Cholesterin der Sportler unterteilt nach Sportarten	26
5 a	Zufuhr von Eiweiß [g], von gesättigten (GFS), einfach ungesättigten (EUFS) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) [%] der gesamten Fettzufuhr unterteilt nach Sportarten	28
5 b	Zufuhr von Eiweiß [g], von gesättigten (GFS), einfach ungesättigten (EUFS) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) [%] der gesamten Fettzufuhr unterteilt nach Geschlecht	30
6 a	Zufuhr von $\beta$ -Karotin, Vitamin A, Vitamin A + $\beta$ -Karotin, E, B <sub>12</sub> , Folsäure und von den Mineralstoffen Kalzium, Magnesium, Eisen und Zink unterteilt nach Sportarten	32
6 b	Zufuhr von $\beta$ -Karotin, Vitamin A, Vitamin A + $\beta$ -Karotin, E, B <sub>12</sub> , Folsäure und von den Mineralstoffen Kalzium, Magnesium, Eisen und Zink unterteilt nach Geschlecht	34

---

<b>Nr.</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
7 a	Konzentrationen von Hämoglobin (Hb), Kreatinin, die Enzymaktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) und die Schilddrüsenhormone T <sub>4</sub> , fT <sub>4</sub> und T <sub>3</sub> unterteilt nach Sportarten	36
7 b	Konzentrationen von Hämoglobin (Hb), Kreatinin, die Enzymaktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) und die Schilddrüsenhormone T <sub>4</sub> , fT <sub>4</sub> und T <sub>3</sub> unterteilt nach Geschlecht	38
8 a	Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten [%] unterteilt nach Sportarten	41
8 b	Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten [%] unterteilt nach Sportarten	43
8 c	Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten [%] unterteilt nach Sportarten	45
9 a	Konzentrationen von Cholesterin (Chol), Triglyceriden (TG), Vitamin A, E, B <sub>12</sub> , Folsäure, Homocystein und Zink im Plasma unterteilt nach Sportarten	48
9 b	Konzentrationen von Cholesterin (Chol), Triglyceriden (TG), Vitamin A, E, B <sub>12</sub> , Folsäure, Homocystein und Zink im Plasma unterteilt nach Geschlecht	50
10	Anthropometrische Daten und Trainingsumfang der Sportler	53
11	Ergebnisse des Gesundheitsfragebogens und des Protokolls zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage der Athleten innerhalb der drei Gruppen	54
12	Hämatologische Parameter und Parameter des Zinkstatus vor und nach der Zinkgabe	55
13	Hämolyserate der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen (0,38 % - 0,44 %) angegeben in Prozenten	56
14	Serumkonzentrationen von IgG, IgM und die Leukozytensubpopulationen [%] vor und nach der Zinkgabe	57
15	Leukozyten und deren Subpopulationen (in Gpt/l und Zellen/μl) vor und nach der Zinkgabe	58
16	Subpopulationen der Lymphozyten [Zellen/μl] vor und nach der Zinkgabe	59
17	Subpopulationen der Lymphozyten [%] vor und nach der Zinkgabe	60
18	Subpopulationen der T-Lymphozyten (in Zellen/μl] und Prozent) vor und nach der Zinkgabe	61
19	Anteil der T-Lymphozyten in (in Zellen/μl und Prozent) zur Produktion von IFN-γ, TNF-α und IL-2 vor der Zinkgabe	62
20	Anteil der T-Lymphozyten (in Zellen/μl und Prozent) zur Produktion von IFN-γ, TNF-α und IL-2 nach der Zinkgabe	63

---

**Abb. 1:** Trainingsprotokoll**Trainingsprotokoll**

Name: \_\_\_\_\_ Zeitraum: vom \_\_\_\_\_ bis zum \_\_\_\_\_

Gewicht am 1. Trainingstag: \_\_\_\_\_ kg Gewicht am 7. Trainingstag: \_\_\_\_\_ kg

**Trainingsdaten:**

Bitte fülle unmittelbar nach jeder Trainingseinheit die nachstehende Tabelle aus! Bei Tag Mo, Di, Mi, Do usw. angeben! Danke. Machst Du zusätzlich noch anderen Sport, bitte notieren!!!

Wochentag	Trainingsinhalte	Intensität	Dauer
<b>1.Tag:</b> _____ <u>1.Training</u> _____ Uhr  <u>2.Training</u> _____ Uhr			
<b>2.Tag:</b> _____ <u>1.Training</u> _____ Uhr  <u>2.Training</u> _____ Uhr			

Wochentag	Trainingsinhalte	Intensität	Dauer
<b>3.Tag:</b> _____  <u>1.Training</u> ____ Uhr  <u>2.Training</u> ____ Uhr			
<b>4.Tag:</b> _____  <u>1.Training</u> ____ Uhr  <u>2.Training</u> ____ Uhr			
<b>5.Tag:</b> _____  <u>1.Training</u> ____ Uhr  <u>2.Training</u> ____ Uhr			

Wochentag	Trainingsinhalte	Intensität	Dauer
<b>6.Tag:</b> _____  <u>1.Training</u>  ____ Uhr  <u>2.Training</u>  ____ Uhr			
<b>7.Tag:</b> _____  <u>1.Training</u>  ____ Uhr  <u>2.Training</u>  ____ Uhr			

**Anmerkungen:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Abb. 2:** Ernährungsprotokoll**Ernährungsprotokolle vom \_\_\_\_\_ bis zum \_\_\_\_\_****Tag + Datum** \_\_\_\_\_

<b>Mahlzeit</b>	<b>Lebensmittel mit Mengenangabe</b>
<b>Frühstück</b>  _____ Uhr	Speisen:      Getränke:
<b>Zwischen- mahlzeit</b>  _____ Uhr	Getränke:  Speisen:
<b>Mittagessen</b>  _____ Uhr	Speisen:          Getränke:

Mahlzeit	Lebensmittel mit Mengenangabe		
<b>Nachmittags</b>  _____ Uhr	<b>Getränke:</b>   <b>Speisen:</b>		
<b>Abendessen</b>  _____ Uhr	<b>Speisen:</b>   <b>Getränke:</b>		
<b>Spätimbiß</b>  _____ Uhr	<b>Getränke:</b>   <b>Speisen:</b>		
Zusatz- präparate	Name des Herstellers	Einnahmezeit	Menge
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----

**Abb. 3:** Anleitungformular zur Führung eines Ernährungsprotokolls

### **Anleitung zur Führung eines Ernährungsprotokolls**

Ziel der Ernährungsprotokolle ist es, Deinen derzeitigen Ernährungsstatus zu ermitteln. Dafür ist es notwendig bisherige Ernährungsgewohnheiten beizubehalten. Esse also wie bisher! Durch die computergestützte Auswertung Deiner Protokolle kann ich dann die Ernährung in Hinblick auf Deine körperliche Leistungsfähigkeit optimieren.

Die Ernährungsprotokolle sollten **7 aufeinanderfolgende Tage** geführt werden. Nur so kann ein sinnvoller Durchschnittswert errechnet werden. Schließlich ernährt man sich nicht jeden Tag gleich.

Folgende Hinweise führen Dir die wichtigsten Punkte noch einmal vor Augen, um das Ausfüllen zu erleichtern.

#### **Zu den Ernährungsprotokollen:**

1. Name, Wochentag und Datum in das Ernährungsprotokoll eintragen
2. Alle Daten unmittelbar nach dem Verzehr so detailliert wie möglich eintragen (Bsp.: 1 Schale grüner Blattsalat mit einer Tomate, ca. 2 TL Mais und 2 EL Joghurtdressing)
3. Alle Speisen auch Sportriegel (mit Geschmacksrichtung), Süßigkeiten und Knabberartikel (Kekse etc.) in Art und Menge angeben (Verpackmaterial von speziellen Riegeln mit Nährstoffzusammensetzung sammeln und mir geben!)
4. Die Mengenangabe für Speisen und Getränke sollte möglichst genau und anhand der haushaltsüblichen Maße erfolgen:

<b>El</b>	Eßlöffel (gehäuft oder gestrichen, immer angeben!)
<b>Tl</b>	Teelöffel (gehäuft oder gestrichen, immer angeben!)
<b>Sl</b>	Schöpflöffel
<b>Scha</b>	Schale (voll oder halbvoll)
<b>St</b>	Stück
<b>Be</b>	Becher
<b>Sch</b>	Scheibe
<b>Ta</b>	Tasse
<b>Gl</b>	Glas
<b>Fl</b>	Flasche (Volumen angeben!)

5. Bei der Verwendung von Streichfetten (Butter, Margarine etc.) bitte angeben: dünn aufgetragen oder dick aufgetragen

6. Fruchtsäfte benennen (1 Gl Orangensaft, Multivitaminsaft etc. )
7. Bei Brotwaren genaue Bezeichnung angeben (1 Sch Weißbrot, Toastbrot, Vollkornbrot, Weizenbrot, Roggenbrot)
8. Joghurt unterscheide zwischen Natur- und Fruchtjoghurt (Bsp.: 1 Be Erdbeerjoghurt, 3,5% Fett)
9. Bezeichnung des Brotaufstrichs angeben (Bsp: 2 Tl Orangenmarmelade)
10. Bitte achte auf möglichst genaue Mengenangaben bei der Flüssigkeitszufuhr
11. Vitamin- oder Mineralstofftableten, Sportlergetränke oder sonstige Zusatzpräparate in der letzten Zeile des Ernährungsprotokolls mit dem Namen des Herstellers, Einnahmezeitpunkt und Menge angeben. Am besten die Nährwert-Information ausschneiden und beilegen.
12. Sofern Du Fertigprodukte außer Haus isst, bitte die Produkte bzw. Gerichte so detailliert wie möglich (z.B. eine Pizza, mit Schinken, Pilzen, Oliven und Käse) beschreiben.
13. Ich habe bereits Kontakt zur Küche aufgenommen. Solltest Du im Internat essen, dann genügt es, das Gericht oder die jeweilige Zwischenmahlzeit anzugeben. Ich werde die Portionen selber abwiegen bzw. abwiegen lassen.

Je genauer das Ausfüllen der 7-Tage-Protokolle erfolgt, desto genauer ist auch Deine anschließende Auswertung. Am genauesten wäre es, wenn Du alles abwiegen und abmessen würdest. Wenn das möglich ist, dann mache das bitte!

**Abb. 4:** Genehmigung für die Blutproben-Entnahme**Genehmigung für die Blutproben-Entnahme der Athleten****Für minderjährige Athleten:**

Hiermit erlauben wir, \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_  
(Die Namen der Eltern), dass unser/unsere Sohn/Tochter \_\_\_\_\_  
(Name), der/die die Sportart \_\_\_\_\_ beim Trainer  
\_\_\_\_\_ ausübt, durch die Sportärztin des Olympiastützpunktes Halle,  
Frau Dr. Pelzl, am \_\_\_\_\_ 12,7 ml Blut abgenommen bekommt. Über die bei der  
Blutentnahme bestehenden, nach der allgemeinen Erfahrung sehr seltenen Risiken, wurden  
wir aufgeklärt.

**Für volljährige Athleten:**

Hiermit bin ich einverstanden, dass mir \_\_\_\_\_ (Name) durch die  
Sportärztin des Olympiastützpunktes Halle, Frau Dr. Pelzl, am \_\_\_\_\_ 12,7 ml Blut  
abgenommen wird. Ich übe die Sportart \_\_\_\_\_ aus und trainiere bei  
Herrn/Frau \_\_\_\_\_. Über mögliche Risiken bin ich informiert worden. Über die  
bei der Blutentnahme bestehenden, nach der allgemeinen Erfahrung sehr seltenen Risiken,  
wurde ich aufgeklärt.

Am Tag der Blutprobe muß diese Genehmigung bei Frau Dr. Pelzl am Olympiastützpunkt Halle unterschrieben vorgelegt werden! Die Athleten sollten bitte <b>nüchtern</b> zur Blutentnahme (ab 6:30 Uhr möglich) erscheinen!
---

**Abb. 5:** Einwilligungserklärung für minder- und volljährige Athleten

### **Allgemeine Informationen für die Teilnehmer der Studie:**

Bei einer nicht ausreichenden Versorgung mit dem Spurenelement Zink z. B. aufgrund einer zinkarmen Ernährung oder aufgrund hoher Zinkverluste durch Schweiß beim täglichen Training werden die körperlichen Abwehrkräfte geschwächt. Diese nachteilige Schwächung fürs Immunsystem wird durch hohe, regelmäßige Trainingsbelastungen bestärkt. Der Athlet ist somit anfälliger für Infektionskrankheiten, insbesondere für Atemwegserkrankungen. Durch die ausgewählte Zink-Supplementierung wird eine bessere Zinkversorgung des Körpers und damit eine Stärkung des Abwehrsystems bei den teilnehmenden Hochleistungssportlern erwartet. Ziel dieser Studie ist es, den Gesundheitszustand des Athleten zu stabilisieren und eine kontinuierliche körperliche Leistungsfähigkeit zu gewähren. Das Zink-Präparat Unizink der Firma Köhler Pharma GmbH wird unzerkaut und ungelutscht, ca. 30 bis 60 min vor den beiden Mahlzeiten Frühstück und Abendessen, eingenommen. Es ist in der vorgesehenen Dosierung ( $2 \times 10$  mg/Tag) für eine Langzeitanwendung bei Heranwachsenden nach Herstellerangaben sehr gut geeignet.

### **Einwilligungserklärung**

Hiermit erklären wir uns einverstanden, dass unser/unsere Sohn/Tochter \_\_\_\_\_ (Name) an einer klinischen Studie teilnimmt, die sich mit dem Einfluss einer gezielten Nahrungsergänzung durch Zink auf den Zink- und Immunstatus befasst. Uns wurde erklärt, dass unser Kind dazu ein handelsübliches Zinkpräparat mit dem Namen Unizink 50 (Form: Filmpille) der Firma Köhler Pharma GmbH in einer Dosierung von  $2 \times 10$  mg/Tag über einen Zeitraum von 6 Wochen einnehmen wird. Vor dem Beginn der ersten Einnahme und nach 6 Wochen (letzte Einnahme) wird jeweils eine venöse Blutabnahme von je 20 ml durch Frau Dr. Pelzl am Olympiastützpunkt Halle erfolgen. Wir sind mit der Zinkeinnahme, den beiden venösen Blutabnahmen, mit der Bestimmung von klinisch-chemischen Blutparametern, den immuntypischen Untersuchungen und der Erfassung von anthropometrischen Daten einverstanden. Über die bei der Blutentnahme bestehenden, nach der allgemeinen Erfahrung sehr seltenen Risiken, wurden wir aufgeklärt.

Datum: \_\_\_\_\_

**Unterschrift der Erziehungsberechtigten:**

**Unterschrift des minderjährigen Athleten:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **Allgemeine Informationen für die Teilnehmer der Studie:**

Bei einer nicht ausreichenden Versorgung mit dem Spurenelement Zink z. B. aufgrund einer zinkarmen Ernährung oder aufgrund hoher Zinkverluste durch Schweiß beim täglichen Training werden die körperlichen Abwehrkräfte geschwächt. Diese nachteilige Schwächung fürs Immunsystem wird durch hohe, regelmäßige Trainingsbelastungen bestärkt. Der Athlet ist somit anfälliger für Infektionskrankheiten, insbesondere für Atemwegserkrankungen. Durch die ausgewählte Zink-Supplementierung wird eine bessere Zinkversorgung des Körpers und damit eine Stärkung des Abwehrsystems bei den teilnehmenden Hochleistungssportlern erwartet. Ziel dieser Studie ist es, den Gesundheitszustand des Athleten zu stabilisieren und eine kontinuierliche körperliche Leistungsfähigkeit zu gewähren. Das Zink-Präparat Unizink der Firma Köhler Pharma GmbH wird unzerkaut und ungelutscht, ca. 30 bis 60 min vor den beiden Mahlzeiten Frühstück und Abendessen, eingenommen. Es ist in der vorgesehenen Dosierung ( $2 \times 10$  mg/Tag) für eine Langzeitanwendung bei Heranwachsenden nach Herstellerangaben sehr gut geeignet.

## **Einwilligungserklärung**

Hiermit erkläre ich \_\_\_\_\_ (Name) mich einverstanden, an einer klinischen Studie teilzunehmen, die sich mit dem Einfluss einer gezielten Nahrungsergänzung durch Zink auf den Zink- und Immunstatus befasst. Mir wurde erklärt, dass ich dazu ein handelsübliches Zinkpräparat mit dem Namen Unizink 50 (Form: Filmtablette) der Firma Köhler Pharma GmbH in einer Dosierung von  $2 \times 10$  mg/Tag über einen Zeitraum von 6 Wochen einnehmen werde. Vor dem Beginn der ersten Einnahme und nach 6 Wochen (letzte Einnahme) wird jeweils eine venöse Blutabnahme von je 20 ml durch Frau Dr. Pelzl am Olympiastützpunkt Halle erfolgen. Ich bin mit der Zinkeinnahme, den beiden venösen Blutabnahmen, mit der Bestimmung von klinisch-chemischen Blutparametern, den immuntypischen Untersuchungen und der Erfassung von anthropometrischen Daten einverstanden. Über die bei der Blutentnahme bestehenden, nach der allgemeinen Erfahrung sehr seltenen Risiken, wurde ich aufgeklärt.

Datum: \_\_\_\_\_

**Unterschrift des volljährigen Athleten:**

\_\_\_\_\_

**Abb. 6:** Trainingsprotokoll

## Trainingsprotokoll

Jede Reihe stellt eine Woche dar (insgesamt 6 Wochen), jeder Block einen Tag (7 Tage pro Woche). Trage an dem jeweiligen Tag folgendes ein: **TT** für **Trainingstag** oder **WK** für **Wettkampf** sowie auch die **Anzahl Deiner Trainings- oder Wettkampfstunden (= h)**; **Das sollte dann folgendermaßen aussehen: Datum: 09. 07., TT, Dauer: 6 h**

Bitte von links nach rechts eintragen!

<b>Datum:</b>						
<b>Datum:</b>						
<b>Datum:</b>						
<b>Datum:</b>						
<b>Datum:</b>						

**Abb. 7:** Gesundheitsfragebogen**Gesundheitsfragebogen**

Hast Du Allergien?	Ja	Nein	
Welche Allergien hast Du?	Gegen Obst Milben Haustiere	Gemüse Gräßer Getreide	Staub Pollen Sonst.
Nimmst Du gegen Allergien Medizin ein?	Ja	Nein	Keine Allergie
Bist Du oft erkältet im Jahr?	Ja, mehr als 5 mal /Jahr	Nicht mehr als 4 mal/Jahr	Nein, selten
Wann bist Du öfters krank?	Im Winter	Im Sommer	Beides
Wirst Du nach Trainingslagern öfters krank?	Ja	Nein	Kommt vor
Wann warst Du das letzte mal krank? (z. B. Erkältung, Schnupfen, Fieber, Grippe.....)	Das ist mind. 6 Monate her	Das ist ca. 3 Monate her	Vor ein paar Wochen
Fühlst Du Dich oft schlapp und abgespannt?	Ja	Nein	Letztes Jahr
Wann wurdest Du das letzte mal in diesem Jahr geimpft?	Januar April Juli	Februar Mai August	März Juni Sept.
Machst Du regelmäßig Wechselduschen?	Ja	Nein	Manchmal
Schwitzt Du viel beim Training?	Ja	Nein	
Schwitzt Du viel im Sommer?	Ja, sehr viel	normal	Nein
Gehst Du ab und zu mal in die Sauna?	Ja	Nein	
Isst Du gerne Fleisch?	Ja, sehr oft sogar	3 mal die Woche	Nein
Isst Du viel Müsli ?	Ja, täglich 1mal 2mal	manchmal (jeden 2.Tag)	Nein, nur nach Lust u.Laune
Isst Du gerne Käse?	Ja, gerne	Ab und zu	Nein

Nimmst Du irgendwelche Präparate z.B. Tropfen zur Stärkung Deines Immunsystems ?	Ja, täglich	Ab und zu mal	Nein, noch nie
Hast Du schon einmal Zinktabletten genommen?	Ja	Nein	
Liegt die Einnahme schon lange zurück?	Ja, letztes Jahr	Vor ein paar Wochen	Nein, erst vor ein paar Tagen
Verheilen Deine Wunden gut?	Ja, das geht sehr schnell	Es geht so	Nein, es dauert
Hattest Du schon einmal rissige Haut an Deinen beiden Mundwinkeln?	Ja, das habe ich öfters	Ja, ab und zu mal	Nein, noch nie
Dauerte es, bis sie wieder weg waren?	Ja, ca. 5 Tage	3-5 Tage	Nein, 1 Tag
Bist Du anfällig für Herpesbläschen an den Lippenrändern?	Ja	Nein	
Hast Du oft Herpesbläschen an den Lippenrändern?	Ja, mind. 2mal im Jahr	Mind. 1mal/Jahr	Gar nicht
Hast Du öfters mal gar keinen Appetit?	Ja, das kommt öfters vor	Ab und zu, das ist normal	Nein, ich esse gerne
Hast Du viel Stress ?	Ja, durch die Schule und das Training	Es geht, ich komme damit gut klar	Nein, überhaupt nicht
Machst Du schon lange Leistungssport?	Ja, seit mindestens 6 Jahren Seit 3 Jahren	Seit 5 Jahren Seit 2 Jahren	Seit 4 Jahren weniger
Bist Du mit Deinem Gesundheitszustand zufrieden?	Ja	Nein	Könnte besser sein
Leidest Du an Atemwegserkrankungen?	Ja, sehr oft	Ab und zu	Nein

**Abb. 8:** Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage**Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage**

Auf diesem Blatt sind die 6 Wochen (eine Woche geht von links nach rechts), in denen Du Zink einnimmst, abgebildet. Bitte trage **für jeden Tag** in das entsprechende Kästchen folgendes ein:

1. Datum (1.Zeile) z.B. Tag 1: 1. 09
2. ob Du gesund oder krank warst (gesund = g; krank = k)
3. was Du gehabt hast (z.B. Grippe, Schnupfen, Kopfweh usw.)
4. ob Du Penicillin oder Antibiotika eingenommen hast (z.B. Penicillin)
5. ob Du in der Schule warst oder nicht (z. B. Schule ja, oder Schule nein)
6. ob Du im Training warst oder nicht (z. B. Training ja, oder Training nein)

Tag 1:	Tag 2:	Tag 3:	Tag 4:	Tag 5:	Tag 6:	Tag 7:
Tag 8:	Tag 9:	Tag 10:	Tag 11:	Tag 12:	Tag 13:	Tag 14:
Tag 15:	Tag 16:	Tag 17:	Tag 18:	Tag 19:	Tag 20:	Tag 21:
Tag 22:	Tag 23:	Tag 24:	Tag 25:	Tag 26:	Tag 27:	Tag 28:
Tag 29:	Tag 30:	Tag 31:	Tag 32:	Tag 33:	Tag 34:	Tag 35:
Tag 36:	Tag 37:	Tag 38:	Tag 39:	Tag 40:	Tag 41:	Tag 42:

**Tab. 1 a:** Anthropometrische Daten und Trainingsumfang der Sportler unterteilt nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfett	Training	Training
	-	-	[a]	[m]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[h/w]	[d/w]
A1	1	1	18	1,89	80,0	22,4	8,9	12,0	6,00
A2	1	1	17	1,91	89,7	24,6	12,3	17,0	6,00
A3	1	1	15	1,82	69,7	21,0	6,0	14,0	6,00
A4	1	1	17	1,92	93,8	25,4	8,9	13,0	6,00
A5	1	1	18	1,89	87,1	24,4	9,4	13,0	6,00
A7	1	1	18	1,94	88,2	23,4	8,7	15,0	6,00
A8	1	1	18	1,87	87,2	24,9	11,4	15,0	6,00
A9	1	2	15	1,84	66,3	19,6	7,6	10,0	6,00
D1	1	1	13	1,66	44,5	16,1	8,4	9,00	4,00
D4	1	2	18	1,66	59,0	21,4	12,2	17,0	6,00
D5	1	2	16	1,71	52,5	18,0	10,1	9,00	6,00
E1	1	1	17	1,83	70,0	20,9	-	12,0	6,00
E2	1	1	16	1,69	59,7	20,9	6,3	16,0	6,00
E3	1	1	16	1,79	55,4	17,3	5,6	11,0	6,00
E4	1	1	16	1,84	67,0	19,8	6,0	12,0	6,00
E5	1	1	19	1,73	59,9	20,0	6,0	11,0	6,00
E6	1	1	18	1,81	60,4	18,4	5,2	10,0	6,00
E7	1	1	17	1,83	63,7	19,0	9,3	10,0	6,00
E8	1	1	15	1,61	43,7	16,9	5,2	12,0	6,00
E9	1	1	15	1,65	44,7	16,4	3,9	14,0	6,00
E19	1	1	13	1,75	58,0	18,9	5,2	13,0	5,00
E10	1	2	15	1,65	52,4	19,2	13,5	11,0	6,00
E11	1	2	18	1,62	48,4	18,4	3,8	12,0	6,00
E12	1	2	16	1,59	48,6	19,2	11,9	12,0	6,00
E13	1	2	16	1,73	50,5	16,9	8,7	12,0	6,00
E14	1	2	17	1,64	53,0	19,7	10,7	12,0	6,00
E16	1	2	18	1,76	53,4	17,2	-	12,0	7,00
G1	1	1	15	1,85	74,6	21,8	8,0	30,0	6,00
G3	1	1	15	1,74	54,5	18,0	3,9	30,0	6,00
G5	1	1	14	1,80	68,5	21,1	10,9	30,0	6,00
G6	1	1	14	1,78	57,3	18,1	8,0	30,0	6,00
G7	1	1	15	1,78	65,0	20,5	-	23,0	6,00
G8	1	1	13	1,82	57,3	17,3	7,7	20,0	6,00
G9	1	1	14	1,75	62,0	20,2	7,7	14,5	6,00
G10	1	1	18	1,91	85,0	23,3	-	26,0	6,00
G13	1	2	14	1,65	50,5	18,5	10,7	23,0	6,00
G14	1	2	14	1,66	44,3	16,1	8,4	22,5	6,00
G15	1	2	13	1,61	48,0	18,5	13,0	23,5	6,00
G16	1	2	13	1,69	58,0	20,3	13,9	15,5	6,00
G18	1	2	12	1,61	46,5	17,9	19,1	-	-
G19	1	2	14	1,70	70,4	24,4	18,6	30,0	6,00
$\bar{x}$	-	-	15,7	1,76	61,8	19,9	9,06	16,4	5,95
SD	-	-	1,84	0,10	14,1	2,54	3,59	6,62	0,38
Min	-	-	12,0	1,59	43,7	16,1	3,80	9,00	4,00
Max	-	-	19,0	1,94	93,8	25,4	19,1	30,0	7,00
B1	2	1	18	1,78	72,8	23,0	9,1	10,0	5,00
B2	2	1	16	1,68	75,0	26,6	17,9	14,0	5,00
B3	2	1	15	1,54	46,0	19,4	5,2	18,0	5,00
B4	2	1	15	1,61	47,2	18,2	9,0	18,0	5,00
B5	2	1	14	1,60	49,5	19,3	10,3	10,0	5,00
B6	2	1	14	1,73	70,0	23,4	11,9	12,0	5,00
B7	2	1	17	1,55	40,4	16,8	2,3	18,0	5,00
B8	2	1	16	1,76	69,5	22,4	8,4	14,0	5,00
J1	2	1	16	1,75	65,3	21,3	10,0	12,5	5,00
J3	2	2	17	1,70	84,0	29,1	-	8,00	4,00
J4	2	2	19	1,67	54,0	19,4	4,9	9,00	4,00

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfett	Training	Training
	-	-	[a]	[m]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[h/w]	[d/w]
J5	2	2	17	1,53	53,4	22,8	10,5	10,5	5,00
J6	2	2	20	1,74	67,9	22,4	9,9	8,00	4,00
J7	2	2	17	1,68	63,2	22,4	9,7	12,0	5,00
J8	2	2	17	1,70	64,0	22,1	14,7	10,0	4,00
J9	2	2	18	1,69	69,9	24,5	11,2	11,5	4,00
$\bar{X}$	-	-	16,6	1,67	62,0	22,1	9,67	12,2	4,69
SD	-	-	1,62	0,08	11,8	2,99	3,66	3,27	0,46
Min	-	-	14,0	1,53	40,4	16,8	2,30	8,00	4,00
Max	-	-	20,0	1,78	84,0	29,1	17,9	18,0	5,00
C2	3	2	18	1,71	56,4	19,3	5,3	16,0	6,00
C3	3	2	21	1,76	56,0	18,1	3,0	14,0	6,00
C4	3	2	16	1,72	62,8	21,2	10,9	14,0	6,00
C5	3	2	22	1,67	54,0	19,4	6,6	10,0	6,00
H1	3	1	13	1,76	61,5	19,9	-	16,0	5,00
H2	3	1	14	1,77	58,0	18,5	-	14,0	5,00
H3	3	1	13	1,78	54,0	17,0	-	16,0	5,00
H4	3	2	14	1,69	53,5	18,7	11,7	15,5	4,00
H5	3	2	14	1,67	53,5	19,2	12,6	18,0	5,00
H6	3	2	14	1,66	51,7	18,8	8,0	11,5	5,00
H7	3	2	15	1,76	58,6	18,9	12,4	16,0	5,00
K1	3	1	15	1,90	69,7	19,3	7,1	14,0	5,00
K3	3	2	16	1,71	56,0	19,2	14,9	15,0	5,00
K4	3	2	16	1,72	69,0	23,3	17,3	14,0	5,00
K5	3	2	17	1,72	60,7	20,5	0,4	15,0	5,00
L1	3	2	16	1,69	58,0	20,3	14,7	12,0	6,00
L2	3	2	19	1,70	59,0	20,4	-	11,0	6,00
L3	3	2	18	1,77	65,0	20,7	6,3	8,00	6,00
L4	3	2	18	1,65	57,0	20,9	-	12,0	6,00
N4	3	1	13	1,70	76,4	26,4	-	11,0	6,00
N8	3	1	12	1,67	65,5	23,5	21,7	13,0	6,00
$\bar{X}$	-	-	15,9	1,73	59,8	20,2	10,2	13,6	5,43
SD	-	-	2,62	0,06	6,17	2,06	5,49	2,37	0,58
Min	-	-	12,0	1,65	51,7	17,0	0,40	8,00	4,00
Max	-	-	22,0	1,90	76,4	26,4	21,7	18,0	6,00
F1	4	1	13	1,63	38,0	14,3	-	28,0	6,00
F2	4	1	14	1,59	39,7	15,7	3,9	22,0	5,00
F3	4	1	14	1,69	52,0	18,2	3,9	24,0	5,00
F4	4	1	12	1,47	34,4	15,9	-	20,0	5,00
F5	4	1	15	1,48	40,5	18,5	6,7	18,0	5,00
F7	4	2	13	1,52	36,0	15,6	8,7	6,00	2,00
F8	4	2	14	1,47	37,6	17,4	6,0	23,0	5,00
F9	4	2	13	1,51	41,6	18,2	5,2	23,0	5,00
F10	4	2	15	1,64	51,2	19,0	8,7	23,0	5,00
F11	4	2	13	1,57	39,2	15,9	9,3	30,0	5,00
F12	4	2	13	1,52	36,5	15,8	8,4	22,0	5,00
F13	4	2	14	1,56	50,5	20,8	13,5	20,0	5,00
I2	4	1	17	1,74	67,5	22,3	7,1	13,0	6,00
I3	4	1	16	1,70	69,7	24,1	15,1	18,5	6,00
I6	4	2	17	1,60	57,5	22,5	9,4	18,0	6,00
I8	4	2	16	1,62	62,6	23,9	16,1	18,0	6,00
I9	4	2	16	1,64	56,6	21,0	20,5	15,5	6,00
I10	4	2	14	1,69	56,6	19,8	10,9	13,5	6,00
M1	4	2	11	1,41	28,0	14,1	10,0	18,0	4,00
M2	4	2	13	1,60	45,0	17,6	9,3	22,0	5,00
M3	4	2	12	1,43	28,4	13,9	13,9	25,0	5,00
$\bar{X}$	-	-	14,0	1,58	47,1	18,3	9,82	20,0	5,14
SD	-	-	1,62	0,09	11,5	3,09	4,24	5,21	0,89
Min	-	-	11,0	1,41	28,4	13,9	3,90	6,00	2,00

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfett	Training	Training
	-	-	[a]	[m]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[h/w]	[d/w]
Max	-	-	17,0	1,74	69,7	24,1	20,5	30,0	6,00

**Tab. 1 b:** Anthropometrische Daten und Trainingsumfang der Sportler unterteilt nach Geschlecht

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfett	Training	Training
	-	-	[a]	[m]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[h/w]	[d/w]
A1	1	1	18	1,89	80,0	22,4	8,9	12,0	6,00
A2	1	1	17	1,91	89,7	24,6	12,3	17,0	6,00
A3	1	1	15	1,82	69,7	21,0	6,0	14,0	6,00
A4	1	1	17	1,92	93,8	25,4	8,9	13,0	6,00
A5	1	1	18	1,89	87,1	24,4	9,4	13,0	6,00
A7	1	1	18	1,94	88,2	23,4	8,7	15,0	6,00
A8	1	1	18	1,87	87,2	24,9	11,4	15,0	6,00
D1	1	1	13	1,66	44,5	16,1	8,4	9,00	4,00
E1	1	1	17	1,83	70,0	20,9	-	12,0	6,00
E2	1	1	16	1,69	59,7	20,9	6,3	16,0	6,00
E3	1	1	16	1,79	55,4	17,3	5,6	11,0	6,00
E4	1	1	16	1,84	67,0	19,8	6,0	12,0	6,00
E5	1	1	19	1,73	59,9	20,0	6,0	11,0	6,00
E6	1	1	18	1,81	60,4	18,4	5,2	10,0	6,00
E7	1	1	17	1,83	63,7	19,0	9,3	10,0	6,00
E8	1	1	15	1,61	43,7	16,9	5,2	12,0	6,00
E9	1	1	15	1,65	44,7	16,4	3,9	14,0	6,00
E19	1	1	13	1,75	58,0	18,9	5,2	13,0	5,00
G1	1	1	15	1,85	74,6	21,8	8,0	30,0	6,00
G3	1	1	15	1,74	54,5	18,0	3,9	30,0	6,00
G5	1	1	14	1,80	68,5	21,1	10,9	30,0	6,00
G6	1	1	14	1,78	57,3	18,1	8,0	30,0	6,00
G7	1	1	15	1,78	65,0	20,5	-	23,0	6,00
G8	1	1	13	1,82	57,3	17,3	7,7	20,0	6,00
G9	1	1	14	1,75	62,0	20,2	7,7	14,5	6,00
G10	1	1	18	1,91	85,0	23,3	-	26,0	6,00
B1	2	1	18	1,78	72,8	23,0	9,1	10,0	5,00
B2	2	1	16	1,68	75,0	26,6	17,9	14,0	5,00
B3	2	1	15	1,54	46,0	19,4	5,2	18,0	5,00
B4	2	1	15	1,61	47,2	18,2	9,0	18,0	5,00
B5	2	1	14	1,60	49,5	19,3	10,3	10,0	5,00
B6	2	1	14	1,73	70,0	23,4	11,9	12,0	5,00
B7	2	1	17	1,55	40,4	16,8	2,3	18,0	5,00
B8	2	1	16	1,76	69,5	22,4	8,4	14,0	5,00
J1	2	1	16	1,75	65,3	21,3	10,0	12,5	5,00
H1	3	1	13	1,76	61,5	19,9	-	16,0	5,00
H2	3	1	14	1,77	58,0	18,5	-	14,0	5,00
H3	3	1	13	1,78	54,0	17,0	-	16,0	5,00
K1	3	1	15	1,90	69,7	19,3	7,1	14,0	5,00
N4	3	1	13	1,70	76,4	26,4	-	11,0	6,00
N8	3	1	12	1,67	65,5	23,5	21,7	13,0	6,00
F1	4	1	13	1,63	38,0	14,3	-	28,0	6,00
F2	4	1	14	1,59	39,7	15,7	3,9	22,0	5,00
F3	4	1	14	1,69	52,0	18,2	3,9	24,0	5,00

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfett	Training	Training
	-	-	[a]	[m]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[h/w]	[d/w]
F4	4	1	12	1,47	34,4	15,9	-	20,0	5,00
F5	4	1	15	1,48	40,5	18,5	6,7	18,0	5,00
I2	4	1	17	1,74	67,5	22,3	7,1	13,0	6,00
I3	4	1	16	1,70	69,7	24,1	15,1	18,5	6,00
$\bar{X}$	-	-	15,3	1,75	62,4	20,3	8,27	16,4	5,58
SD	-	-	1,82	0,12	15,0	3,01	3,79	5,88	0,53
Min	-	-	12,0	1,47	34,4	14,3	2,30	9,00	4,00
Max	-	-	19,0	1,94	93,8	26,6	21,7	30,0	6,00
A9	1	2	15	1,84	66,3	19,6	7,6	10,0	6,00
D4	1	2	18	1,66	59,0	21,4	12,2	17,0	6,00
D5	1	2	16	1,71	52,5	18,0	10,1	9,00	6,00
E10	1	2	15	1,65	52,4	19,2	13,5	11,0	6,00
E11	1	2	18	1,62	48,4	18,4	3,8	12,0	6,00
E12	1	2	16	1,59	48,6	19,2	11,9	12,0	6,00
E13	1	2	16	1,73	50,5	16,9	8,7	12,0	6,00
E14	1	2	17	1,64	53,0	19,7	10,7	12,0	6,00
E16	1	2	18	1,76	53,4	17,2	-	12,0	7,00
G13	1	2	14	1,65	50,5	18,5	10,7	23,0	6,00
G14	1	2	14	1,66	44,3	16,1	8,4	22,5	6,00
G15	1	2	13	1,61	48,0	18,5	13,0	23,5	6,00
G16	1	2	13	1,69	58,0	20,3	13,9	15,5	6,00
G18	1	2	12	1,61	46,5	17,9	19,1	-	-
G19	1	2	14	1,70	70,4	24,4	18,6	30,0	6,00
J3	2	2	17	1,70	84,0	29,1	-	8,00	4,00
J4	2	2	19	1,67	54,0	19,4	4,9	9,00	4,00
J5	2	2	17	1,53	53,4	22,8	10,5	10,5	5,00
J6	2	2	20	1,74	67,9	22,4	9,9	8,00	4,00
J7	2	2	17	1,68	63,2	22,4	9,7	12,0	5,00
J8	2	2	17	1,70	64,0	22,1	14,7	10,0	4,00
J9	2	2	18	1,69	69,9	24,5	11,2	11,5	4,00
C2	3	2	18	1,71	56,4	19,3	5,3	16,0	6,00
C3	3	2	21	1,76	56,0	18,1	3,0	14,0	6,00
C4	3	2	16	1,72	62,8	21,2	10,9	14,0	6,00
C5	3	2	22	1,67	54,0	19,4	6,6	10,0	6,00
H4	3	2	14	1,69	53,5	18,7	11,7	15,5	4,00
H5	3	2	14	1,67	53,5	19,2	12,6	18,0	5,00
H6	3	2	14	1,66	51,7	18,8	8,0	11,5	5,00
H7	3	2	15	1,76	58,6	18,9	12,4	16,0	5,00
K3	3	2	16	1,71	56,0	19,2	14,9	15,0	5,00
K4	3	2	16	1,72	69,0	23,3	17,3	14,0	5,00
K5	3	2	17	1,72	60,7	20,5	0,4	15,0	5,00
L1	3	2	16	1,69	58,0	20,3	14,7	12,0	6,00
L2	3	2	19	1,70	59,0	20,4	-	11,0	6,00
L3	3	2	18	1,77	65,0	20,7	6,3	8,00	6,00
L4	3	2	18	1,65	57,0	20,9	-	12,0	6,00
F7	4	2	13	1,52	36,0	15,6	8,7	6,00	2,00
F8	4	2	14	1,47	37,6	17,4	6,0	23,0	5,00
F9	4	2	13	1,51	41,6	18,2	5,2	23,0	5,00
F10	4	2	15	1,64	51,2	19,0	8,7	23,0	5,00
F11	4	2	13	1,57	39,2	15,9	9,3	30,0	5,00
F12	4	2	13	1,52	36,5	15,8	8,4	22,0	5,00
F13	4	2	14	1,56	50,5	20,8	13,5	20,0	5,00

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfett	Training	Training
	-	-	[a]	[m]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[h/w]	[d/w]
I6	4	2	17	1,60	57,5	22,5	9,4	18,0	6,00
I8	4	2	16	1,62	62,6	23,9	16,1	18,0	6,00
I9	4	2	16	1,64	56,6	21,0	20,5	15,5	6,00
I10	4	2	14	1,69	56,6	19,8	10,9	13,5	6,00
M1	4	2	11	1,41	28,0	14,1	10,0	18,0	4,00
M2	4	2	13	1,60	45,0	17,6	9,3	22,0	5,00
M3	4	2	12	1,43	28,4	13,9	13,9	25,0	5,00
$\bar{X}$	-	-	15,7	1,66	54,6	19,7	10,6	15,4	5,34
SD	-	-	2,37	0,08	9,94	2,73	4,17	5,69	0,89
Min	-	-	11,0	1,41	28,4	13,9	0,40	6,00	2,00
Max	-	-	22,0	1,84	84,0	29,1	20,5	30,0	7,00

**Tab. 2:** Kalorienverbrauch [kcal] pro Minute bei verschiedenen Bewegungsformen und Sportarten nach Williams (1997)

<b>Körpergewicht</b>													
<b>[kg]</b>		<b>45</b>	<b>48</b>	<b>50</b>	<b>52</b>	<b>55</b>	<b>57</b>	<b>59</b>	<b>61</b>	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>68</b>	<b>70</b>
Gehen	5,5 km/h	3,1	3,3	3,4	3,6	3,8	4,0	4,1	4,3	4,4	4,5	4,7	4,8
	6,0 km/h	3,3	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2	4,4	4,6	4,7	4,9	5,1	5,3
Gymnastik	intensiv	9,7	10,1	10,6	11,1	11,6	12,1	12,6	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1
Judo		8,5	8,9	9,3	9,8	10,2	10,6	11,0	11,5	11,9	12,3	12,8	13,2
Krafttraining		5,2	5,4	5,7	6,0	6,2	6,5	6,8	7,0	7,3	7,6	7,8	8,1
Laufen	14km/h	10,8	11,3	11,9	12,4	12,9	13,5	14	14,6	15,1	15,7	16,2	16,8
	16 km/h	12,1	12,7	13,3	13,9	14,5	15,1	15,7	16,4	17,0	17,6	18,2	18,8
Ringen		8,5	8,9	9,3	9,8	10,2	10,6	11,0	11,5	11,9	12,3	12,8	13,2
Schwimmen													
Rücken	35m/min	4,5	4,7	5,0	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1	6,3	6,6	6,8	7,0
Rücken	40m/min	5,5	5,8	6,1	6,4	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,0	8,3	8,6
Brust	30m/min	4,7	5,0	5,2	5,4	5,7	5,9	6,2	6,4	6,7	6,9	7,1	7,4
Brust	40m/min	6,3	6,7	7,0	7,3	7,6	8,0	8,3	8,6	8,9	9,3	9,6	9,9
Kraul	35m/min	4,8	5,1	5,4	5,6	5,9	6,1	6,4	6,6	6,8	7,0	7,3	7,5
Kraul	45m/min	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0
<b>Körpergewicht</b>													
<b>[kg]</b>		<b>73</b>	<b>75</b>	<b>77</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>84</b>	<b>86</b>	<b>89</b>	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>95</b>	
Gehen	5,5 km/h	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6	5,8	5,9	6,1	6,3	6,4	6,6	
	6,0 km/h	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,3	6,5	6,7	6,9	7,0	7,2	
Gymnastik	intensiv	15,6	16,1	16,6	17,1	17,6	18,1	18,6	19,1	19,6	20,0	20,5	
Judo		13,6	14,1	14,5	14,9	15,4	15,8	16,2	16,6	17,1	17,5	17,9	
Krafttraining		8,3	8,6	8,9	9,1	9,4	9,7	9,9	10,2	10,5	10,7	11,0	
Laufen	14 km/h	17,3	17,9	18,4	19	19,5	20,1	20,6	21,2	21,7	22,2	22,8	
	16 km/h	19,4	20,0	20,7	21,3	21,9	22,5	23,1	23,7	24,2	24,8	25,4	
Ringen		13,6	14,1	14,5	14,9	15,4	15,8	16,2	16,6	17,1	17,5	17,9	
Schwimmen													
Rücken	35m/min	7,3	7,5	7,7	7,9	8,2	8,4	8,6	8,9	9,1	9,3	9,5	
Rücken	40m/min	8,9	9,2	9,4	9,7	10,0	10,3	10,6	10,8	11,1	11,4	11,7	
Brust	30m/min	7,6	7,9	8,1	8,3	8,6	8,8	9,1	9,3	9,5	9,8	10,0	
Brust	40m/min	10,2	10,5	10,9	11,2	11,5	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,5	
Kraul	35m/min	7,8	8,0	8,3	8,5	8,8	9,0	9,2	9,4	9,7	9,9	10,2	
Kraul	45m/min	9,3	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	

\*Die Zahlen geben Näherungswerte an und beinhalten noch den Ruheumsatz. Deshalb wurden bei der Ermittlung des Leistungsumsatzes 10 % des Energieverbrauchs abgezogen

**Tab. 3 a:** Grundumsatz (GU), Aktivitätsfaktor (Faktor), Erhaltungsbedarf, Leistungsumsatz und der tägliche Energiebedarf der Sportler unterteilt nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	GU	Faktor	Erhaltungsbedarf	Leistungsumsatz	Wachstum	Energiebedarf
			[kcal/d]		[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]
A1	1	1	1899	1,7	3228	1646	38,3	4912
A2	1	1	2247	1,7	3820	2614	42,9	6477
A3	1	1	1893	1,7	3218	1673	66,7	4957
A4	1	1	2319	1,7	3943	2090	44,9	6078
A5	1	1	2006	1,7	3409	1941	41,7	5392
A7	1	1	2022	1,7	3438	2268	42,2	5748
A8	1	1	2007	1,7	3412	2242	41,7	5696
A9	1	2	1710	1,6	2736	1137	63,4	3936
D1	1	1	1447	1,7	2459	215	85,2	2760
D4	1	2	1362	1,6	2180	577	28,2	2785
D5	1	2	1525	1,6	2440	250	25,1	2715
E1	1	1	1898	1,7	3227	1740	33,5	5001
E2	1	1	1716	1,7	2917	1938	28,6	4883
E3	1	1	1640	1,7	2787	1230	26,5	4044
E4	1	1	1845	1,7	3136	1629	32,1	4798
E5	1	1	1596	1,7	2713	1332	0,0	4045
E6	1	1	1603	1,7	2725	1211	28,9	3965
E7	1	1	1787	1,7	3037	1311	30,5	4379
E8	1	1	1432	1,7	2435	1120	41,8	3597
E9	1	1	1450	1,7	2465	1307	42,8	3815
E19	1	1	1686	1,7	2866	1514	111,0	4491
E10	1	2	1524	1,6	2438	1052	50,1	3540
E11	1	2	1205	1,6	1928	1046	23,2	2997
E12	1	2	1473	1,6	2356	1046	23,3	3426
E13	1	2	1498	1,6	2397	1102	24,2	3523
E14	1	2	1532	1,6	2451	1148	25,4	3624
E16	1	2	1279	1,6	2047	1148	25,6	3220
G1	1	1	1980	1,7	3365	2253	71,4	5689
G3	1	1	1624	1,7	2760	1628	52,2	4440
G5	1	1	1872	1,7	3182	2052	131,1	5365
G6	1	1	1673	1,7	2845	1705	109,7	4659
G7	1	1	1810	1,7	3076	1467	62,2	4605
G8	1	1	1673	1,7	2845	1137	109,7	4091
G9	1	1	1756	1,7	2986	891	118,7	3996
G10	1	1	1974	1,7	3356	2200	40,7	5596
G13	1	2	1498	1,6	2397	923	96,7	3416
G14	1	2	1415	1,6	2264	810	84,8	3159
G15	1	2	1465	1,6	2343	894	91,9	3330
G16	1	2	1599	1,6	2558	701	111,0	3370
G18	1	2	1444	1,6	2311	-	89,0	-
G19	1	2	1765	1,6	2824	1689	134,7	4648
$\bar{x}$	-	-	1686	-	2813	1397	57,8	4279
SD	-	-	248	-	466	552	34,7	971
Min	-	-	1205	-	1928	215	0,0	2715
Max			2319	-	3943	2614	135	6477
B1	2	1	1790	1,7	3043	1049	34,8	4127
B2	2	1	1987	1,7	3377	1523	35,9	4936
B3	2	1	1473	1,7	2504	1180	44,0	3729
B4	2	1	1494	1,7	2541	1236	45,2	3822
B5	2	1	1535	1,7	2610	717	94,7	3422
B6	2	1	1898	1,7	3227	1222	134,0	4583
B7	2	1	1374	1,7	2336	1180	19,3	3536
B8	2	1	1889	1,7	3212	1426	33,3	4671

Nr.:	Sportart	Geschlecht	GU	Faktor	Erhaltungsbedarf	Leistungsumsatz	Wachstum	Energiebedarf
			[kcal/d]		[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]
J1	2	1	1815	1,7	3085	1186	31,2	4303
J3	2	2	1947	1,6	3115	975	40,2	4130
J4	2	2	1288	1,6	2061	708	0,0	2769
J5	2	2	1537	1,6	2459	794	25,6	3278
J6	2	2	1494	1,6	2391	790	0,0	3181
J7	2	2	1668	1,6	2669	1102	30,2	3801
J8	2	2	1679	1,6	2686	918	30,6	3635
J9	2	2	1524	1,6	2438	1171	33,4	3643
$\bar{x}$	-	-	1650	-	2735	1074	39,5	3848
SD	-	-	209	-	375	234	31,7	564
Min	-	-	1288	-	2061	708	0,0	2769
Max	-	-	1987	-	3377	1523	134	4936
H1	3	1	1748	1,7	2971	864	117,7	3953
H2	3	1	1686	1,7	2866	713	111,0	3689
H3	3	1	1615	1,7	2745	765	103,3	3614
K1	3	1	1893	1,7	3218	875	66,7	4159
N4	3	1	2011	1,7	3419	755	146,2	4321
N8	3	1	1818	1,7	3091	762	125,4	3979
C2	3	2	1324	1,6	2118	802	27,0	2947
C3	3	2	1318	1,6	2108	702	0,0	2810
C4	3	2	1663	1,6	2661	788	30,0	3479
C5	3	2	1288	1,6	2061	478	0,0	2539
H4	3	2	1538	1,6	2461	741	102,4	3305
H5	3	2	1538	1,6	2461	861	102,4	3425
H6	3	2	1514	1,6	2423	532	98,9	3054
H7	3	2	1607	1,6	2571	839	56,1	3466
K3	3	2	1572	1,6	2515	729	26,8	3271
K4	3	2	1746	1,6	2793	864	33,0	3691
K5	3	2	1635	1,6	2616	810	29,0	3455
L1	3	2	1599	1,6	2558	616	27,8	3201
L2	3	2	1362	1,6	2180	577	0,0	2757
L3	3	2	1451	1,6	2322	460	31,1	2813
L4	3	2	1333	1,6	2132	602	27,3	2761
$\bar{x}$	-	-	1584	-	2585	721	60,1	3366
SD	-	-	192	-	370	126	45,4	484
Min	-	-	1288	-	2061	460	0,0	2539
Max	-	-	2011	-	3419	875	146	4321
F1	4	1	1332	1,7	2264	1436	72,7	3773
F2	4	1	1362	1,7	2315	1129	76,0	3519
F3	4	1	1579	1,7	2685	1583	99,5	4368
F4	4	1	1268	1,7	2155	1026	65,8	3247
F5	4	1	1376	1,7	2339	958	38,8	3336
I2	4	1	1854	1,7	3152	1123	32,3	4307
I3	4	1	1893	1,7	3218	1655	33,3	4907
F7	4	2	1304	1,6	2086	308	68,9	2463
F8	4	2	1325	1,6	2120	1180	72,0	3372
F9	4	2	1379	1,6	2206	1224	79,6	3510
F10	4	2	1507	1,6	2412	1490	49,0	3951
F11	4	2	1347	1,6	2155	1539	75,0	3769
F12	4	2	1311	1,6	2097	1129	69,9	3295
F13	4	2	1498	1,6	2397	1257	96,7	3751
I6	4	2	1592	1,6	2547	1291	27,5	3866
I8	4	2	1660	1,6	2656	1451	30,0	4137
I9	4	2	1580	1,6	2528	1112	27,1	3667

Nr.:	Sportart	Geschlecht	GU	Faktor	Erhaltungsbedarf	Leistungsumsatz	Wachstum	Energiebedarf
			[kcal/d]		[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]
I10	4	2	1580	1,6	2528	969	108,3	3605
M1	4	2	1197	1,6	1915	833	53,6	2801
M2	4	2	1424	1,6	2279	1264	86,1	3630
M3	4	2	1202	1,6	1923	1157	54,4	3135
$\bar{x}$	-	-	1456	-	2380	1196	62,7	3638
SD	-	-	187	-	335	292	24,2	527
Min	-	-	1197	-	1915	308	27,1	2463
Max	-	-	1893	-	3218	1655	108	4907

**Tab. 3 b:** Grundumsatz (GU), Aktivitätsfaktor (Faktor), Erhaltungsbedarf, Leistungsumsatz und der tägliche Energiebedarf der Sportler unterteilt nach Geschlecht

Nr.:	Sportart	Geschlecht	GU	Faktor	Erhaltungsbedarf	Leistungsumsatz	Wachstum	Energiebedarf
			[kcal/d]		[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]
A1	1	1	1899	1,7	3228	1646	38,3	4912
A2	1	1	2247	1,7	3820	2614	42,9	6477
A3	1	1	1893	1,7	3218	1673	66,7	4957
A4	1	1	2319	1,7	3943	2090	44,9	6078
A5	1	1	2006	1,7	3409	1941	41,7	5392
A7	1	1	2022	1,7	3438	2268	42,2	5748
A8	1	1	2007	1,7	3412	2242	41,7	5696
D1	1	1	1447	1,7	2459	215	85,2	2760
E1	1	1	1898	1,7	3227	1740	33,5	5001
E2	1	1	1716	1,7	2917	1938	28,6	4883
E3	1	1	1640	1,7	2787	1230	26,5	4044
E4	1	1	1845	1,7	3136	1629	32,1	4798
E5	1	1	1596	1,7	2713	1332	0,0	4045
E6	1	1	1603	1,7	2725	1211	28,9	3965
E7	1	1	1787	1,7	3037	1311	30,5	4379
E8	1	1	1432	1,7	2435	1120	41,8	3597
E9	1	1	1450	1,7	2465	1307	42,8	3815
E19	1	1	1686	1,7	2866	1514	111,0	4491
G1	1	1	1980	1,7	3365	2253	71,4	5689
G3	1	1	1624	1,7	2760	1628	52,2	4440
G5	1	1	1872	1,7	3182	2052	131,1	5365
G6	1	1	1673	1,7	2845	1705	109,7	4659
G7	1	1	1810	1,7	3076	1467	62,2	4605
G8	1	1	1673	1,7	2845	1137	109,7	4091
G9	1	1	1756	1,7	2986	891	118,7	3996
G10	1	1	1974	1,7	3356	2200	40,7	5596
B1	2	1	1790	1,7	3043	1049	34,8	4127
B2	2	1	1987	1,7	3377	1523	35,9	4936
B3	2	1	1473	1,7	2504	1180	44,0	3729
B4	2	1	1494	1,7	2541	1236	45,2	3822
B5	2	1	1535	1,7	2610	717	94,7	3422
B6	2	1	1898	1,7	3227	1222	134,0	4583
B7	2	1	1374	1,7	2336	1180	19,3	3536
B8	2	1	1889	1,7	3212	1426	33,3	4671
J1	2	1	1815	1,7	3085	1186	31,2	4303
H1	3	1	1748	1,7	2971	864	117,7	3953
H2	3	1	1686	1,7	2866	713	111,0	3689
H3	3	1	1615	1,7	2745	765	103,3	3614
K1	3	1	1893	1,7	3218	875	66,7	4159
N4	3	1	2011	1,7	3419	755	146,2	4321
N8	3	1	1818	1,7	3091	762	125,4	3979
F1	4	1	1332	1,7	2264	1436	72,7	3773

Nr.:	Sportart	Geschlecht	GU	Faktor	Erhaltungsbedarf	Leistungsumsatz	Wachstum	Energiebedarf
			[kcal/d]		[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]
F2	4	1	1362	1,7	2315	1129	76,0	3519
F3	4	1	1579	1,7	2685	1583	99,5	4368
F4	4	1	1268	1,7	2155	1026	65,8	3247
F5	4	1	1376	1,7	2339	958	38,8	3336
I2	4	1	1854	1,7	3152	1123	32,3	4307
I3	4	1	1893	1,7	3218	1655	33,3	4907
$\bar{X}$	-	-	1740	-	2959	1390	63,2	4412
SD	-	-	235	-	399	496	36,4	789
Min	-	-	1268	-	2155	215	0,00	2760
Max	-	-	2319	-	3943	2614	146	6477
A9	1	2	1710	1,6	2736	1137	63,4	3936
D4	1	2	1362	1,6	2180	577	28,2	2785
D5	1	2	1525	1,6	2440	250	25,1	2715
E10	1	2	1524	1,6	2438	1052	50,1	3540
E11	1	2	1205	1,6	1928	1046	23,2	2997
E12	1	2	1473	1,6	2356	1046	23,3	3426
E13	1	2	1498	1,6	2397	1102	24,2	3523
E14	1	2	1532	1,6	2451	1148	25,4	3624
E16	1	2	1279	1,6	2047	1148	25,6	3220
G13	1	2	1498	1,6	2397	923	96,7	3416
G14	1	2	1415	1,6	2264	810	84,8	3159
G15	1	2	1465	1,6	2343	894	91,9	3330
G16	1	2	1599	1,6	2558	701	111,0	3370
G18	1	2	1444	1,6	2311	-	89,0	-
G19	1	2	1765	1,6	2824	1689	134,7	4648
J3	2	2	1947	1,6	3115	975	40,2	4130
J4	2	2	1288	1,6	2061	708	0,0	2769
J5	2	2	1537	1,6	2459	794	25,6	3278
J6	2	2	1494	1,6	2391	790	0,0	3181
J7	2	2	1668	1,6	2669	1102	30,2	3801
J8	2	2	1679	1,6	2686	918	30,6	3635
J9	2	2	1524	1,6	2438	1171	33,4	3643
C2	3	2	1324	1,6	2118	802	27,0	2947
C3	3	2	1318	1,6	2108	702	0,0	2810
C4	3	2	1663	1,6	2661	788	30,0	3479
C5	3	2	1288	1,6	2061	478	0,0	2539
H4	3	2	1538	1,6	2461	741	102,4	3305
H5	3	2	1538	1,6	2461	861	102,4	3425
H6	3	2	1514	1,6	2423	532	98,9	3054
H7	3	2	1607	1,6	2571	839	56,1	3466
K3	3	2	1572	1,6	2515	729	26,8	3271
K4	3	2	1746	1,6	2793	864	33,0	3691
K5	3	2	1635	1,6	2616	810	29,0	3455
L1	3	2	1599	1,6	2558	616	27,8	3201
L2	3	2	1362	1,6	2180	577	0,0	2757
L3	3	2	1451	1,6	2322	460	31,1	2813
L4	3	2	1333	1,6	2132	602	27,3	2761
F7	4	2	1304	1,6	2086	308	68,9	2463
F8	4	2	1325	1,6	2120	1180	72,0	3372
F9	4	2	1379	1,6	2206	1224	79,6	3510
F10	4	2	1507	1,6	2412	1490	49,0	3951
F11	4	2	1347	1,6	2155	1539	75,0	3769
F12	4	2	1311	1,6	2097	1129	69,9	3295
F13	4	2	1498	1,6	2397	1257	96,7	3751
I6	4	2	1592	1,6	2547	1291	27,5	3866
I8	4	2	1660	1,6	2656	1451	30,0	4137
I9	4	2	1580	1,6	2528	1112	27,1	3667
I10	4	2	1580	1,6	2528	969	108,3	3605

Nr.:	Sportart	Geschlecht	GU	Faktor	Erhaltungsbedarf	Leistungsumsatz	Wachstum	Energiebedarf
			[kcal/d]		[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]	[kcal/d]
M1	4	2	1197	1,6	1915	833	53,6	2801
M2	4	2	1424	1,6	2279	1264	86,1	3630
M3	4	2	1202	1,6	1923	1157	54,4	3135
$\bar{X}$	-	-	1487	-	2379	932	49,9	3361
SD	-	-	157	-	252	307	34,0	443
Min	-	-	1197	-	1915	250	0,0	2463
Max	-	-	1947	-	3115	1689	135	4648

**Tab. 4 a:** Zufuhr von Energie, Kohlenhydraten, Fett, Eiweiß (pflanzliches + tierisches), Ballaststoffen und Cholesterin der Sportler unterteilt nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Energie	KH	KH	Fett	Fett	EW	EW	EW	Ballast.	Chol.
			[kcal]	[%v.Energie]	[g]	[%v.Energie]	[g]	[g/kgKG]	[% v. EW]	[% v. EW]	[g]	[mg]
A1	1	1	3736	60,0	544	24,8	102	1,74	41	59	16,0	431
A2	1	1	5310	51,5	670	34,5	203	2,03	38	62	31,5	575
A3	1	1	3595	49,0	433	37,6	150	1,71	31	69	19,6	415
A4	1	1	5265	58,2	749	26,3	153	2,11	36	64	31,6	543
A5	1	1	4760	51,5	600	31,3	165	2,27	30	70	25,8	579
A7	1	1	5605	55,9	769	30,1	187	2,10	30	70	31,7	494
A8	1	1	3347	47,3	388	37,1	137	1,47	34	66	27,0	336
A9	1	2	3564	57,2	497	26,8	103	2,12	28	72	29,9	400
D1	1	1	2419	46,2	273	43,4	113	1,66	31	69	13,9	345
D4	1	2	1628	57,1	227	30,7	54	0,87	39	61	16,4	194
D5	1	2	2740	58,4	390	29,1	86	1,63	47	53	19,1	359
E1	1	1	4581	57,5	642	31,2	154	1,98	38	62	25,6	542
E2	1	1	2514	57,6	353	30,6	83	1,37	38	62	25,9	264
E3	1	1	3468	53,7	454	34,6	129	2,02	33	67	30,1	459
E4	1	1	4319	50,9	536	35,3	164	2,37	29	71	37,0	447
E5	1	1	2564	45,7	286	38,7	107	1,75	30	70	18,3	348
E6	1	1	4226	46,3	477	38,3	174	2,85	30	70	34,8	383
E7	1	1	2683	51,5	337	36,5	105	1,41	36	64	24,7	341
E8	1	1	2808	61,9	424	25,9	78	1,93	43	57	48,1	337
E9	1	1	2528	58,3	359	31,6	86	1,53	42	58	23,7	237
E19	1	1	3423	52,1	435	36,5	134	1,83	40	60	25,4	451
E10	1	2	2627	60,1	385	26,5	75	1,72	41	59	40,1	283
E11	1	2	1403	61,0	209	28,4	43	0,80	49	51	20,4	78
E12	1	2	2642	55,8	360	33,1	94	1,69	34	66	27,5	296
E13	1	2	2875	57,5	403	30,2	93	1,78	40	60	30,6	373
E14	1	2	1840	56,4	253	27,9	55	1,42	32	68	28,3	214
E16	1	2	2071	63,4	320	23,1	51	1,31	43	57	33,7	114
G1	1	1	3364	54,9	450	29,8	108	1,69	33	67	20,2	701
G3	1	1	3659	52,6	469	31,4	123	2,81	27	73	38,6	694
G5	1	1	4348	48,5	514	35,8	167	2,51	30	70	22,5	685
G6	1	1	4040	46,3	457	41,1	178	2,39	39	61	27,5	609
G7	1	1	3080	41,8	314	45,8	152	1,68	34	66	23,1	569
G8	1	1	3585	53,0	464	31,8	123	2,34	31	69	28,7	467
G9	1	1	2193	51,4	275	32,6	77	1,49	29	71	20,2	288
G10	1	1	5352	39,5	515	47,6	274	2,37	24	76	30,9	845
G13	1	2	2026	54,3	268	33,0	72	1,36	35	65	15,5	284
G14	1	2	3299	45,8	369	39,5	140	2,91	33	67	28,7	593
G15	1	2	2051	47,2	236	39,9	88	1,56	31	69	16,6	322
G16	1	2	1825	51,6	230	35,4	70	1,09	36	64	12,1	212
G18	1	2	2338	49,6	283	37,1	93	1,80	30	70	20,2	542
G19	1	2	1949	51,1	243	33,3	70	1,09	29	71	17,3	362
$\bar{X}$	-	-	3211	52,9	411	33,5	117	1,82	35	65	25,8	415
SD	-	-	1093	5,52	139	5,51	47,6	0,49	5,61	5,61	7,67	165

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Energie	KH	KH	Fett	Fett	EW	EW pflanzl.	EW tier.	Ballast.	Chol.
-	-	-	[kcal]	[%v.Energie]	[g]	[%v.Energie]	[g]	[g/kgKG]	[% v. EW]	[% v. EW]	[g]	[mg]
Min	-	-	1403	39,5	209	23,1	43	0,80	24	51	12,1	78
Max	-	-	5605	63,4	769	47,6	274	2,91	49	76	48,1	845
B1	2	1	2789	48,9	333	38,1	114	1,29	60	40	18,3	242
B2	2	1	2355	56,3	323	26,0	66	1,12	48	52	14,6	204
B3	2	1	2749	50,3	337	33,8	100	2,24	35	65	13,8	372
B4	2	1	2729	43,1	287	40,0	117	2,16	34	66	15,3	297
B5	2	1	3083	39,9	300	48,7	162	2,06	31	69	24,3	416
B6	2	1	2938	53,5	383	28,7	91	1,74	53	47	22,4	229
B7	2	1	2853	48,2	335	36,6	112	2,63	27	73	16,7	419
B8	2	1	2726	46,9	312	37,7	110	2,03	28	72	23,0	255
J1	2	1	3411	47,9	398	35,4	130	2,31	21	79	22,2	621
J3	2	2	2055	54,0	271	29,8	66	0,96	25	75	14,8	302
J4	2	2	1346	62,8	206	25,4	37	0,77	43	57	9,1	89
J5	2	2	1505	56,7	208	32,1	52	0,90	31	69	9,8	270
J6	2	2	2320	59,5	337	29,0	72	1,08	34	66	13,0	210
J7	2	2	1864	52,6	239	35,0	70	1,00	36	64	19,0	228
J8	2	2	661	65,1	105	23,2	16	0,31	46	54	10,8	40
J9	2	2	1723	61,4	258	26,2	49	0,82	31	69	10,6	283
$\bar{X}$	-	-	2319	52,9	290	32,9	85,3	1,46	36	64	16,1	280
SD	-	-	1140	8,59	72	7,00	37,1	0,61	10,25	10,25	8,92	179
Min	-	-	661	5,52	105	5,51	16	0,31	21	40	7,67	40,1
Max	-	-	5605	65,1	398	48,7	162	2,91	60	79	48,1	845
C2	3	2	2636	58,0	373	28,6	81	1,45	48	52	18,8	350
C3	3	2	2691	56,2	369	29,1	84	1,67	44	56	22,2	547
C4	3	2	3138	53,8	411	33,5	113	1,51	49	51	35,3	493
C5	3	2	2036	45,1	224	40,3	88	1,42	29	71	18,0	423
H1	3	1	3172	48,4	374	38,1	130	1,78	25	75	21,3	386
H2	3	1	3362	54,6	448	30,7	111	2,09	27	73	25,7	434
H3	3	1	3426	53,6	448	33,5	123	2,22	30	70	34,5	646
H4	3	2	2244	50,4	276	37,6	91	1,41	21	79	15,8	286
H5	3	2	1794	43,9	192	40,6	78	1,41	23	77	18,5	213
H6	3	2	3205	54,4	425	36,2	125	1,64	39	61	24,8	420
H7	3	2	2072	53,2	269	35,4	79	1,11	34	66	18,6	317
K1	3	1	3149	50,0	384	37,5	127	1,43	28	72	17,3	344
K3	3	2	2165	57,4	303	32,8	76	1,06	40	60	22,1	263
K4	3	2	3050	66,2	493	20,7	68	1,34	41	59	37,7	125
K5	3	2	3138	61,2	468	25,3	85	1,80	29	71	27,0	303
L1	3	2	1572	54,7	210	28,5	48	1,20	30	70	14,2	163
L2	3	2	2524	61,0	375	24,0	65	1,63	32	68	52,7	240
L3	3	2	2390	56,7	331	28,7	74	1,40	31	69	21,1	229
L4	3	2	1933	44,9	212	41,6	86	1,29	26	74	11,7	176
N4	3	1	2062	50,9	256	35,3	78	0,99	28	72	17,1	401
N8	3	1	1946	43,0	204	39,7	83	1,33	22	78	10,1	319
$\bar{X}$	-	-	2557	53,2	335	33,2	90,3	1,49	32	68	23,1	337
SD	-	-	571	5,90	94	5,72	22,0	0,30	7,99	7,99	9,73	128
Min	-	-	1572	43,0	192	20,7	48	0,99	21	51	10,1	125
Max	-	-	3426	66,2	493	41,6	130	2,22	49	79	52,7	646
F1	4	1	1852	47,0	212	38,0	76	1,90	31	69	14,4	226
F2	4	1	1860	50,0	227	35,4	71	1,86	38	62	13,6	246
F3	4	1	2878	50,8	356	37,4	116	1,78	30	70	21,2	374
F4	4	1	1766	51,9	224	34,9	66	1,83	33	67	16,7	288
F5	4	1	1579	60,3	232	25,9	44	1,28	60	40	13,6	159
F7	4	2	1266	50,8	157	35,3	48	1,35	31	69	12,4	144
F8	4	2	1301	53,7	170	32,6	46	1,28	33	67	13,3	124
F9	4	2	2447	42,6	254	46,0	121	1,95	26	74	13,4	341
F10	4	2	1927	58,1	273	29,4	61	1,29	41	59	16,4	274
F11	4	2	1246	53,0	161	36,7	49	0,90	34	66	9,9	93

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Energie	KH	KH	Fett	Fett	EW	EW pflanzl.	EW tier.	Ballast.	Chol.
-	-	-	[kcal]	[%v.Energie]	[g]	[%v.Energie]	[g]	[g/kgKG]	[% v. EW]	[% v. EW]	[g]	[mg]
F12	4	2	1418	44,6	154	38,7	59	1,77	22	78	11,5	226
F13	4	2	1200	59,1	173	29,8	38	0,73	46	54	12,8	138
I2	4	1	1953	44,9	214	41,7	87	1,08	34	66	18,1	253
I3	4	1	2550	42,1	262	43,1	118	1,39	33	67	17,9	266
I6	4	2	2420	50,8	300	37,5	98	1,35	30	70	15,2	347
I8	4	2	1842	45,9	206	39,5	78	1,15	31	69	17,5	477
I9	4	2	1594	55,6	216	34,5	59	0,81	46	54	17,7	311
I10	4	2	1644	47,7	191	37,2	66	1,18	27	73	13,5	360
M1	4	2	1143	47,7	133	38,1	47	1,54	35	65	16,9	157
M2	4	2	1033	66,3	167	20,1	22	0,77	49	51	14,1	100
M3	4	2	932	61,2	139	27,6	28	1,00	39	61	7,3	91
$\bar{X}$	-	-	1707	51,6	211	35,2	66,6	1,34	36	64	14,6	238
SD	-	-	518	6,40	55	5,88	27,7	0,38	8,57	8,57	3,08	105
Min	-	-	932	42,1	133	20,1	22	0,73	22	40	7,25	90,8
Max	-	-	2878	66,3	356	46,0	121	1,95	60	78	21,2	477

**Tab. 4 b:** Zufuhr von Energie, Kohlenhydraten, Fett, Eiweiß (pflanzliches + tierisches), Ballaststoffen und Cholesterin der Sportler unterteilt nach Geschlecht

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Energie	KH	KH	Fett	Fett	EW	EW pflanzl.	EW tier.	Ballast.	Chol.
-	-	-	[kcal]	[%v.Energie]	[g]	[%v.Energie]	[g]	[g/kgKG]	[% v. EW]	[% v. EW]	[g]	[mg]
A1	1	1	3736	60,0	544	24,8	102	1,74	41	59	16,0	431
A2	1	1	5310	51,5	670	34,5	203	2,03	38	62	31,5	575
A3	1	1	3595	49,0	433	37,6	150	1,71	31	69	19,6	415
A4	1	1	5265	58,2	749	26,3	153	2,11	36	64	31,6	543
A5	1	1	4760	51,5	600	31,3	165	2,27	30	70	25,8	579
A7	1	1	5605	55,9	769	30,1	187	2,10	30	70	31,7	494
A8	1	1	3347	47,3	388	37,1	137	1,47	34	66	27,0	336
D1	1	1	2419	46,2	273	43,4	113	1,66	31	69	13,9	345
E1	1	1	4581	57,5	642	31,2	154	1,98	38	62	25,6	542
E2	1	1	2514	57,6	353	30,6	83	1,37	38	62	25,9	264
E3	1	1	3468	53,7	454	34,6	129	2,02	33	67	30,1	459
E4	1	1	4319	50,9	536	35,3	164	2,37	29	71	37,0	447
E5	1	1	2564	45,7	286	38,7	107	1,75	30	70	18,3	348
E6	1	1	4226	46,3	477	38,3	174	2,85	30	70	34,8	383
E7	1	1	2683	51,5	337	36,5	105	1,41	36	64	24,7	341
E8	1	1	2808	61,9	424	25,9	78	1,93	43	57	48,1	337
E9	1	1	2528	58,3	359	31,6	86	1,53	42	58	23,7	237
E19	1	1	3423	52,1	435	36,5	134	1,83	40	60	25,4	451
G1	1	1	3364	54,9	450	29,8	108	1,69	33	67	20,2	701
G3	1	1	3659	52,6	469	31,4	123	2,81	27	73	38,6	694
G5	1	1	4348	48,5	514	35,8	167	2,51	30	70	22,5	685
G6	1	1	4040	46,3	457	41,1	178	2,39	39	61	27,5	609
G7	1	1	3080	41,8	314	45,8	152	1,68	34	66	23,1	569
G8	1	1	3585	53,0	464	31,8	123	2,34	31	69	28,7	467
G9	1	1	2193	51,4	275	32,6	77	1,49	29	71	20,2	288
G10	1	1	5352	39,5	515	47,6	274	2,37	24	76	30,9	845
B1	2	1	2789	48,9	333	38,1	114	1,29	60	40	18,3	242
B2	2	1	2355	56,3	323	26,0	66	1,12	48	52	14,6	204
B3	2	1	2749	50,3	337	33,8	100	2,24	35	65	13,8	372
B4	2	1	2729	43,1	287	40,0	117	2,16	34	66	15,3	297
B5	2	1	3083	39,9	300	48,7	162	2,06	31	69	24,3	416
B6	2	1	2938	53,5	383	28,7	91	1,74	53	47	22,4	229
B7	2	1	2853	48,2	335	36,6	112	2,63	27	73	16,7	419

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Energie	KH	KH	Fett	Fett	EW	EW pflanzl.	EW tier.	Ballast.	Chol.
-	-	-	[kcal]	[%v.Energie]	[g]	[%v.Energie]	[g]	[g/kgKG]	[% v. EW]	[% v. EW]	[g]	[mg]
B8	2	1	2726	46,9	312	37,7	110	2,03	28	72	23,0	255
J1	2	1	3411	47,9	398	35,4	130	2,31	21	79	22,2	621
H1	3	1	3172	48,4	374	38,1	130	1,78	25	75	21,3	386
H2	3	1	3362	54,6	448	30,7	111	2,09	27	73	25,7	434
H3	3	1	3426	53,6	448	33,5	123	2,22	30	70	34,5	646
K1	3	1	3149	50,0	384	37,5	127	1,43	28	72	17,3	344
N4	3	1	2062	50,9	256	35,3	78	0,99	28	72	17,1	401
N8	3	1	1946	43,0	204	39,7	83	1,33	22	78	10,1	319
F1	4	1	1852	47,0	212	38,0	76	1,90	31	69	14,4	226
F2	4	1	1860	50,0	227	35,4	71	1,86	38	62	13,6	246
F3	4	1	2878	50,8	356	37,4	116	1,78	30	70	21,2	374
F4	4	1	1766	51,9	224	34,9	66	1,83	33	67	16,7	288
F5	4	1	1579	60,3	232	25,9	44	1,28	60	40	13,6	159
I2	4	1	1953	44,9	214	41,7	87	1,08	34	66	18,1	253
I3	4	1	2550	42,1	262	43,1	118	1,39	33	67	17,9	266
$\bar{X}$	-	-	3208	50,5	397	35,3	122	1,87	34	66	23,2	412
SD	-	-	992	5,29	135	5,48	41,6	0,44	8,10	8,10	7,66	154
Min	-	-	1579	39,5	204	24,8	44	0,99	21	40	10,1	159
Max	-	-	5605	61,9	769	48,7	274	2,85	60	79	48,1	845
A9	1	2	3564	57,2	497	26,8	103	2,12	28	72	29,9	400
D4	1	2	1628	57,1	227	30,7	54	0,87	39	61	16,4	194
D5	1	2	2740	58,4	390	29,1	86	1,63	47	53	19,1	359
E10	1	2	2627	60,1	385	26,5	75	1,72	41	59	40,1	283
E11	1	2	1403	61,0	209	28,4	43	0,80	49	51	20,4	78
E12	1	2	2642	55,8	360	33,1	94	1,69	34	66	27,5	296
E13	1	2	2875	57,5	403	30,2	93	1,78	40	60	30,6	373
E14	1	2	1840	56,4	253	27,9	55	1,42	32	68	28,3	214
E16	1	2	2071	63,4	320	23,1	51	1,31	43	57	33,7	114
G13	1	2	2026	54,3	268	33,0	72	1,36	35	65	15,5	284
G14	1	2	3299	45,8	369	39,5	140	2,91	33	67	28,7	593
G15	1	2	2051	47,2	236	39,9	88	1,56	31	69	16,6	322
G16	1	2	1825	51,6	230	35,4	70	1,09	36	64	12,1	212
G18	1	2	2338	49,6	283	37,1	93	1,80	30	70	20,2	542
G19	1	2	1949	51,1	243	33,3	70	1,09	29	71	17,3	362
J3	2	2	2055	54,0	271	29,8	66	0,96	25	75	14,8	302
J4	2	2	1346	62,8	206	25,4	37	0,77	43	57	9,1	89
J5	2	2	1505	56,7	208	32,1	52	0,90	31	69	9,8	270
J6	2	2	2320	59,5	337	29,0	72	1,08	34	66	13,0	210
J7	2	2	1864	52,6	239	35,0	70	1,00	36	64	19,0	228
J8	2	2	661	65,1	105	23,2	16	0,31	46	54	10,8	40
J9	2	2	1723	61,4	258	26,2	49	0,82	31	69	10,6	283
C2	3	2	2636	58,0	373	28,6	81	1,45	48	52	18,8	350
C3	3	2	2691	56,2	369	29,1	84	1,67	44	56	22,2	547
C4	3	2	3138	53,8	411	33,5	113	1,51	49	51	35,3	493
C5	3	2	2036	45,1	224	40,3	88	1,42	29	71	18,0	423
H4	3	2	2244	50,4	276	37,6	91	1,41	21	79	15,8	286
H5	3	2	1794	43,9	192	40,6	78	1,41	23	77	18,5	213
H6	3	2	3205	54,4	425	36,2	125	1,64	39	61	24,8	420
H7	3	2	2072	53,2	269	35,4	79	1,11	34	66	18,6	317
K3	3	2	2165	57,4	303	32,8	76	1,06	40	60	22,1	263
K4	3	2	3050	66,2	493	20,7	68	1,34	41	59	37,7	125

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Energie	KH	KH	Fett	Fett	EW	EW pflanzl.	EW tier.	Ballast.	Chol.
-	-	-	[kcal]	[%v.Energie]	[g]	[%v.Energie]	[g]	[g/kgKG]	[% v. EW]	[% v. EW]	[g]	[mg]
K5	3	2	3138	61,2	468	25,3	85	1,80	29	71	27,0	303
L1	3	2	1572	54,7	210	28,5	48	1,20	30	70	14,2	163
L2	3	2	2524	61,0	375	24,0	65	1,63	32	68	52,7	240
L3	3	2	2390	56,7	331	28,7	74	1,40	31	69	21,1	229
L4	3	2	1933	44,9	212	41,6	86	1,29	26	74	11,7	176
F7	4	2	1266	50,8	157	35,3	48	1,35	31	69	12,4	144
F8	4	2	1301	53,7	170	32,6	46	1,28	33	67	13,3	124
F9	4	2	2447	42,6	254	46,0	121	1,95	26	74	13,4	341
F10	4	2	1927	58,1	273	29,4	61	1,29	41	59	16,4	274
F11	4	2	1246	53,0	161	36,7	49	0,90	34	66	9,9	93
F12	4	2	1418	44,6	154	38,7	59	1,77	22	78	11,5	226
F13	4	2	1200	59,1	173	29,8	38	0,73	46	54	12,8	138
I6	4	2	2420	50,8	300	37,5	98	1,35	30	70	15,2	347
I8	4	2	1842	45,9	206	39,5	78	1,15	31	69	17,5	477
I9	4	2	1594	55,6	216	34,5	59	0,81	46	54	17,7	311
I10	4	2	1644	47,7	191	37,2	66	1,18	27	73	13,5	360
M1	4	2	1143	47,7	133	38,1	47	1,54	35	65	16,9	157
M2	4	2	1033	66,3	167	20,1	22	0,77	49	51	14,1	100
M3	4	2	932	61,2	139	27,6	28	1,00	39	61	7,3	91
$\bar{X}$	-	-	2046	54,8	273	32,2	70,8	1,32	35	65	19,5	270
SD	-	-	662	6,02	96,0	5,77	25,3	0,43	7,51	7,51	8,94	129
Min	-	-	661	42,6	105	20,1	16	0,31	21	51	7,25	40,1
Max	-	-	3564	66,3	497	46,0	140	2,91	49	79	52,7	593

**Tab. 5 a:** Zufuhr von Eiweiß [g], von gesättigten (GFS), einfach ungesättigten (EUFS) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) [%] der gesamten Fettzufuhr unterteilt nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Eiweiß	GFS	GFS	EUFS	EUFS	MUFS	MUFS	P/S
-	-	-	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	-
-	-	-	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	-
A1	1	1	139	10,7	42,8	8,4	33,8	3,34	13,4	0,23
A2	1	1	182	16,5	94,3	10,4	59,5	3,03	17,3	0,85
A3	1	1	119	20,1	77,7	12,4	48,1	3,00	11,6	0,31
A4	1	1	198	12,9	73,3	8,6	48,9	2,33	13,2	0,31
A5	1	1	198	14,8	75,5	10,6	54,2	3,07	15,7	0,33
A7	1	1	185	12,0	72,4	8,6	52,1	3,25	19,6	0,56
A8	1	1	128	12,3	44,1	10,6	38,2	3,47	12,5	0,32
A9	1	2	140	10,6	40,6	8,1	31,1	2,60	9,98	0,25
D1	1	1	73,9	17,7	46,0	11,8	30,7	4,84	12,6	0,27
D4	1	2	51,2	11,4	20,0	10,1	17,6	3,23	5,66	0,28
D5	1	2	85,4	10,6	31,3	9,1	26,7	3,43	10,1	0,32
E1	1	1	138	12,9	63,5	10,2	50,1	3,33	16,4	0,26
E2	1	1	81,7	13,3	36,0	10,1	27,3	3,20	8,65	0,24
E3	1	1	112	13,8	51,5	11,2	41,8	4,40	16,4	0,32
E4	1	1	159	11,3	52,3	10,2	47,4	3,66	17,0	0,33
E5	1	1	105	13,1	36,0	11,4	31,3	3,77	10,4	0,29
E6	1	1	172	13,5	61,2	10,6	48,3	3,08	14,0	0,23
E7	1	1	89,7	15,0	43,4	11,1	31,9	3,34	9,65	0,22
E8	1	1	84,3	9,3	28,2	9,9	29,9	3,51	10,6	0,38
E9	1	1	68,3	13,6	37,0	9,8	26,7	3,47	9,44	0,26
E19	1	1	106	16,0	58,9	12,7	46,8	3,97	14,6	0,25
E10	1	2	90,3	8,6	24,3	8,9	25,2	4,11	11,6	0,48

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Eiweiß	GFS	GFS	EUFS	EUFS	MUFS	MUFS	P/S
-	-	-	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	-
-	-	-	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	-
E11	1	2	38,6	7,3	11,0	12,1	18,3	3,02	4,56	0,41
E12	1	2	82,2	12,5	35,6	9,8	27,8	2,97	8,43	0,24
E13	1	2	90,0	11,5	35,6	9,7	30,1	4,95	15,3	0,43
E14	1	2	75,4	11,9	23,5	8,5	16,8	2,91	5,75	0,24
E16	1	2	70,2	10,4	23,1	6,7	14,9	2,60	5,79	0,25
G1	1	1	126	13,2	47,8	10,3	37,4	3,84	13,9	0,29
G3	1	1	153	10,2	40,1	10,3	40,5	4,29	16,9	0,42
G5	1	1	172	18,1	84,4	11,7	54,8	2,97	13,9	0,16
G6	1	1	137	20,4	88,5	13,0	56,4	3,45	15,0	0,17
G7	1	1	109	20,0	66,2	13,3	44,1	5,07	16,8	0,25
G8	1	1	134	10,9	41,9	7,7	29,8	2,56	9,87	0,24
G9	1	1	92,6	14,5	34,2	10,6	24,9	3,10	7,31	0,21
G10	1	1	202	21,0	121	16,0	92,0	4,00	23,0	0,19
G13	1	2	68,7	14,5	31,6	10,9	23,7	3,99	8,70	0,28
G14	1	2	129	16,9	59,9	11,5	40,9	3,95	14,0	0,23
G15	1	2	74,8	14,2	31,4	12,8	28,2	6,85	15,1	0,48
G16	1	2	63,4	15,0	29,4	11,5	22,5	2,85	5,59	0,19
G18	1	2	83,8	16,5	41,6	13,2	33,3	3,44	8,64	0,21
G19	1	2	76,6	15,6	32,8	10,1	21,2	4,37	9,15	0,28
$\bar{X}$	-	-	114	13,8	48,5	10,6	36,7	3,58	12,15	0,30
SD	-	-	43,2	3,23	22,8	1,75	14,8	0,82	4,15	0,12
Min	-	-	38,6	7,29	11,0	6,69	14,9	2,33	4,56	0,16
Max	-	-	202	21,0	121	16,0	92,0	6,85	23,00	0,85
B1	2	1	93,7	16,2	48,6	15,1	45,4	4,40	13,2	0,27
B2	2	1	84,0	10,2	25,8	9,7	24,6	4,19	10,6	0,41
B3	2	1	103	14,3	42,4	11,5	34,0	3,96	11,7	0,28
B4	2	1	102	14,9	43,8	15,2	44,6	4,84	14,2	0,32
B5	2	1	102	22,3	73,8	17,5	58,0	5,46	18,1	0,25
B6	2	1	122	9,6	30,4	9,0	28,3	4,62	14,6	0,48
B7	2	1	106	14,4	44,2	12,5	38,4	4,24	13,0	0,29
B8	2	1	141	17,0	49,8	11,6	34,0	3,55	10,4	0,21
J1	2	1	151	14,9	54,8	9,3	34,2	2,09	7,65	0,14
J3	2	2	80,4	13,0	28,8	8,7	19,2	2,67	5,91	0,21
J4	2	2	41,4	11,2	16,2	7,8	11,3	2,31	3,35	0,21
J5	2	2	48,1	8,6	13,9	10,3	16,6	3,08	4,99	0,36
J6	2	2	73,4	10,5	26,2	7,3	18,3	3,52	8,79	0,34
J7	2	2	63,2	12,7	25,4	7,3	14,7	4,01	8,03	0,32
J8	2	2	19,5	10,2	7,27	7,5	5,35	2,56	1,82	0,25
J9	2	2	57,2	10,3	19,0	8,1	15,0	3,28	6,08	0,32
$\bar{X}$	-	-	86,7	13,1	34,4	10,5	27,6	3,67	9,53	0,29
SD	-	-	34,6	3,41	17,0	3,05	14,0	0,93	4,35	0,08
Min	-	-	19,5	8,59	7,27	7,33	5,35	2,09	1,8	0,14
Max	-	-	151	22,3	73,8	17,5	58,0	5,46	18	0,48
C2	3	2	82,0	9,5	27,0	8,1	22,9	3,81	10,8	0,40
C3	3	2	93,7	10,7	31,0	8,8	25,5	3,73	10,8	0,35
C4	3	2	94,8	13,4	45,3	10,3	34,6	4,42	14,9	0,33
C5	3	2	76,6	16,2	35,4	13,2	28,8	4,84	10,6	0,30
H1	3	1	110	14,0	47,9	11,5	39,1	3,96	13,5	0,28
H2	3	1	121	13,4	48,3	9,5	34,5	3,35	12,1	0,25
H3	3	1	120	15,6	57,6	10,2	37,7	2,99	11,0	0,19
H4	3	2	75,7	13,1	31,5	10,4	25,2	2,70	6,51	0,21
H5	3	2	75,4	15,5	30,0	11,9	23,0	4,15	8,00	0,27
H6	3	2	84,9	15,3	52,6	9,5	32,9	3,92	13,5	0,26
H7	3	2	65,3	15,7	34,9	11,0	24,5	4,24	9,45	0,27
K1	3	1	99,8	16,2	55,0	10,6	36,0	3,54	12,0	0,22
K3	3	2	59,3	15,2	35,5	10,4	24,2	3,47	8,09	0,23
K4	3	2	92,5	5,4	17,7	5,9	19,3	5,21	17,1	0,97

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Eiweiß	GFS	GFS	EUFS	EUFS	MUFS	MUFS	P/S
-	-	-	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	-
-	-	-	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	-
K5	3	2	109	9,1	30,7	7,4	25,0	2,74	9,24	0,30
L1	3	2	69,3	13,6	23,0	7,7	13,0	2,69	4,54	0,20
L2	3	2	96,2	9,5	25,9	7,1	19,2	4,09	11,1	0,43
L3	3	2	90,9	13,6	34,9	8,2	21,0	3,63	9,33	0,27
L4	3	2	73,5	13,1	27,2	11,7	24,4	3,40	7,07	0,26
N4	3	1	75,6	14,8	32,9	10,0	22,1	2,61	5,79	0,18
N8	3	1	86,9	15,8	33,1	15,6	32,6	4,78	10,0	0,30
$\bar{X}$	-	-	88,2	13,3	36,1	10,0	26,9	3,73	10,3	0,31
SD	-	-	16,8	2,81	10,6	2,16	6,78	0,72	2,98	0,16
Min	-	-	59,3	5,40	17,7	5,88	13,0	2,61	4,54	0,18
Max	-	-	121,3	16,2	58	15,6	39,1	5,21	17,1	0,97
F1	4	1	72,1	14,1	28,0	10,8	21,5	3,13	6,23	0,22
F2	4	1	73,8	16,3	32,5	12,8	25,5	3,29	6,58	0,20
F3	4	1	92,5	15,6	48,2	10,0	30,8	2,30	7,12	0,15
F4	4	1	62,9	15,5	29,5	10,1	19,2	4,18	7,94	0,27
F5	4	1	51,8	9,8	16,6	9,0	15,3	4,80	8,15	0,49
F7	4	2	48,6	18,1	24,6	10,6	14,4	2,95	4,02	0,16
F8	4	2	48,1	11,5	16,1	8,2	11,5	2,40	3,36	0,21
F9	4	2	81,2	20,6	54,2	15,4	40,5	4,03	10,6	0,20
F10	4	2	66,2	12,2	25,2	9,1	18,8	3,24	6,72	0,27
F11	4	2	35,2	13,3	17,8	9,6	12,9	3,02	4,04	0,23
F12	4	2	64,6	17,6	26,8	13,6	20,8	3,41	5,20	0,19
F13	4	2	36,8	12,0	15,5	6,7	8,64	2,50	3,23	0,21
I2	4	1	72,9	15,6	32,8	14,0	29,5	4,72	9,91	0,30
I3	4	1	97,0	15,0	41,1	11,6	31,9	3,79	10,4	0,25
I6	4	2	77,8	16,3	42,5	11,9	31,0	3,17	8,25	0,19
I8	4	2	71,8	15,8	31,3	12,6	24,9	4,90	9,70	0,31
I9	4	2	45,9	13,2	22,7	11,6	19,9	5,01	8,58	0,38
I10	4	2	67,0	18,4	32,6	12,2	21,6	2,86	5,05	0,15
M1	4	2	43,0	10,0	12,3	9,4	11,5	3,25	3,99	0,32
M2	4	2	34,8	7,8	8,67	5,2	5,82	3,28	3,64	0,42
M3	4	2	28,3	9,0	9,06	7,3	7,36	5,35	5,36	0,59
$\bar{X}$	-	-	60,6	14,2	27,0	10,6	20,2	3,60	6,57	0,27
SD	-	-	19,0	3,28	12,1	2,46	8,97	0,89	2,38	0,11
Min	-	-	28,3	7,80	8,67	5,24	5,82	2,30	3,23	0,15
Max	-	-	97,0	20,6	54,2	15,4	40,5	5,35	10,6	0,59

**Tab. 5 b:** Zufuhr von Eiweiß [g], von gesättigten (GFS), einfach ungesättigten (EUFS) und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) [%] der gesamten Fettzufuhr unterteilt nach Geschlecht

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Eiweiß	GFS	GFS	EUFS	EUFS	MUFS	MUFS	P/S
-	-	-	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	-
-	-	-	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	-
A1	1	1	139	10,7	42,8	8,4	33,8	3,34	13,4	0,23
A2	1	1	182	16,5	94,3	10,4	59,5	3,03	17,3	0,85
A3	1	1	119	20,1	77,7	12,4	48,1	3,00	11,6	0,31
A4	1	1	198	12,9	73,3	8,6	48,9	2,33	13,2	0,31
A5	1	1	198	14,8	75,5	10,6	54,2	3,07	15,7	0,33
A7	1	1	185	12,0	72,4	8,6	52,1	3,25	19,6	0,56
A8	1	1	128	12,3	44,1	10,6	38,2	3,47	12,5	0,32
D1	1	1	73,9	17,7	46,0	11,8	30,7	4,84	12,6	0,27
E1	1	1	138	12,9	63,5	10,2	50,1	3,33	16,4	0,26
E2	1	1	81,7	13,3	36,0	10,1	27,3	3,20	8,65	0,24
E3	1	1	112	13,8	51,5	11,2	41,8	4,40	16,4	0,32

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Eiweiß	GFS	GFS	EUFS	EUFS	MUFS	MUFS	P/S
-	-	-	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	-
-	-	-	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	-
E4	1	1	159	11,3	52,3	10,2	47,4	3,66	17,0	0,33
E5	1	1	105	13,1	36,0	11,4	31,3	3,77	10,4	0,29
E6	1	1	172	13,5	61,2	10,6	48,3	3,08	14,0	0,23
E7	1	1	89,7	15,0	43,4	11,1	31,9	3,34	9,65	0,22
E8	1	1	84,3	9,3	28,2	9,9	29,9	3,51	10,6	0,38
E9	1	1	68,3	13,6	37,0	9,8	26,7	3,47	9,44	0,26
E19	1	1	106	16,0	58,9	12,7	46,8	3,97	14,6	0,25
G1	1	1	126	13,2	47,8	10,3	37,4	3,84	13,9	0,29
G3	1	1	153	10,2	40,1	10,3	40,5	4,29	16,9	0,42
G5	1	1	172	18,1	84,4	11,7	54,8	2,97	13,9	0,16
G6	1	1	137	20,4	88,5	13,0	56,4	3,45	15,0	0,17
G7	1	1	109	20,0	66,2	13,3	44,1	5,07	16,8	0,25
G8	1	1	134	10,9	41,9	7,7	29,8	2,56	9,87	0,24
G9	1	1	92,6	14,5	34,2	10,6	24,9	3,10	7,31	0,21
G10	1	1	202	21,0	121	16,0	92,0	4,00	23,0	0,19
B1	2	1	93,7	16,2	48,6	15,1	45,4	4,40	13,2	0,27
B2	2	1	84,0	10,2	25,8	9,7	24,6	4,19	10,6	0,41
B3	2	1	103	14,3	42,4	11,5	34,0	3,96	11,7	0,28
B4	2	1	102	14,9	43,8	15,2	44,6	4,84	14,2	0,32
B5	2	1	102	22,3	73,8	17,5	58,0	5,46	18,1	0,25
B6	2	1	122	9,6	30,4	9,0	28,3	4,62	14,6	0,48
B7	2	1	106	14,4	44,2	12,5	38,4	4,24	13,0	0,29
B8	2	1	141	17,0	49,8	11,6	34,0	3,55	10,4	0,21
J1	2	1	151	14,9	54,8	9,3	34,2	2,09	7,65	0,14
H1	3	1	110	14,0	47,9	11,5	39,1	3,96	13,5	0,28
H2	3	1	121	13,4	48,3	9,5	34,5	3,35	12,1	0,25
H3	3	1	120	15,6	57,6	10,2	37,7	2,99	11,0	0,19
K1	3	1	99,8	16,2	55,0	10,6	36,0	3,54	12,0	0,22
N4	3	1	75,6	14,8	32,9	10,0	22,1	2,61	5,79	0,18
N8	3	1	86,9	15,8	33,1	15,6	32,6	4,78	10,0	0,30
F1	4	1	72,1	14,1	28,0	10,8	21,5	3,13	6,23	0,22
F2	4	1	73,8	16,3	32,5	12,8	25,5	3,29	6,58	0,20
F3	4	1	92,5	15,6	48,2	10,0	30,8	2,30	7,12	0,15
F4	4	1	62,9	15,5	29,5	10,1	19,2	4,18	7,94	0,27
F5	4	1	51,8	9,8	16,6	9,0	15,3	4,80	8,15	0,49
I2	4	1	72,9	15,6	32,8	14,0	29,5	4,72	9,91	0,30
I3	4	1	97,0	15,0	41,1	11,6	31,9	3,79	10,4	0,25
X	-	-	117	14,6	50,7	11,2	38,4	3,67	12,4	0,29
SD	-	-	38,0	2,97	20,1	2,07	13,2	0,76	3,7	0,12
Min	-	-	51,8	9,34	16,6	7,73	15,3	2,09	5,8	0,14
Max	-	-	202	22,3	121	17,5	92,0	5,46	23,0	0,85
A9	1	2	140	10,6	20,0	8,1	17,6	2,60	5,66	0,25
D4	1	2	51,2	11,4	31,3	10,1	26,7	3,23	10,1	0,28
D5	1	2	85,4	10,6	40,6	9,1	31,1	3,43	9,98	0,32
E10	1	2	90,3	8,6	24,3	8,9	25,2	4,11	11,6	0,48
E11	1	2	38,6	7,3	11,0	12,1	18,3	3,02	4,56	0,41
E12	1	2	82,2	12,5	35,6	9,8	27,8	2,97	8,43	0,24
E13	1	2	90,0	11,5	35,6	9,7	30,1	4,95	15,3	0,43
E14	1	2	75,4	11,9	23,5	8,5	16,8	2,91	5,75	0,24
E16	1	2	70,2	10,4	23,1	6,7	14,9	2,60	5,79	0,25
G13	1	2	68,7	14,5	31,6	10,9	23,7	3,99	8,70	0,28
G14	1	2	129	16,9	59,9	11,5	40,9	3,95	14,0	0,23
G15	1	2	74,8	14,2	31,4	12,8	28,2	6,85	15,1	0,48
G16	1	2	63,4	15,0	29,4	11,5	22,5	2,85	5,59	0,19
G18	1	2	83,8	16,5	41,6	13,2	33,3	3,44	8,64	0,21
G19	1	2	76,6	15,6	32,8	10,1	21,2	4,37	9,15	0,28
J3	2	2	80,4	13,0	28,8	8,7	19,2	2,67	5,91	0,21

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Eiweiß	GFS	GFS	EUFS	EUFS	MUFS	MUFS	P/S
-	-	-	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	[% v.	[g]	-
-	-	-	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	Tagesenergie]	-	-
J4	2	2	41,4	11,2	16,2	7,8	11,3	2,31	3,35	0,21
J5	2	2	48,1	8,6	13,9	10,3	16,6	3,08	4,99	0,36
J6	2	2	73,4	10,5	26,2	7,3	18,3	3,52	8,79	0,34
J7	2	2	63,2	12,7	25,4	7,3	14,7	4,01	8,03	0,32
J8	2	2	19,5	10,2	7,27	7,5	5,35	2,56	1,82	0,25
J9	2	2	57,2	10,3	19,0	8,1	15,0	3,28	6,08	0,32
C2	3	2	82,0	9,5	27,0	8,1	22,9	3,81	10,8	0,40
C3	3	2	93,7	10,7	31,0	8,8	25,5	3,73	10,8	0,35
C4	3	2	94,8	13,4	45,3	10,3	34,6	4,42	14,9	0,33
C5	3	2	76,6	16,2	35,4	13,2	28,8	4,84	10,6	0,30
H4	3	2	75,7	13,1	31,5	10,4	25,2	2,70	6,51	0,21
H5	3	2	75,4	15,5	30,0	11,9	23,0	4,15	8,00	0,27
H6	3	2	84,9	15,3	52,6	9,5	32,9	3,92	13,5	0,26
H7	3	2	65,3	15,7	34,9	11,0	24,5	4,24	9,45	0,27
K3	3	2	59,3	15,2	35,5	10,4	24,2	3,47	8,09	0,23
K4	3	2	92,5	5,4	17,7	5,9	19,3	5,21	17,1	0,97
K5	3	2	109	9,1	30,7	7,4	25,0	2,74	9,24	0,30
L1	3	2	69,3	13,6	23,0	7,7	13,0	2,69	4,54	0,20
L2	3	2	96,2	9,5	25,9	7,1	19,2	4,09	11,1	0,43
L3	3	2	90,9	13,6	34,9	8,2	21,0	3,63	9,33	0,27
L4	3	2	73,5	13,1	27,2	11,7	24,4	3,40	7,07	0,26
F7	4	2	48,6	18,1	24,6	10,6	14,4	2,95	4,02	0,16
F8	4	2	48,1	11,5	16,1	8,2	11,5	2,40	3,36	0,21
F9	4	2	81,2	20,6	54,2	15,4	40,5	4,03	10,6	0,20
F10	4	2	66,2	12,2	25,2	9,1	18,8	3,24	6,72	0,27
F11	4	2	35,2	13,3	17,8	9,6	12,9	3,02	4,04	0,23
F12	4	2	64,6	17,6	26,8	13,6	20,8	3,41	5,20	0,19
F13	4	2	36,8	12,0	15,5	6,7	8,64	2,50	3,23	0,21
I6	4	2	77,8	16,3	42,5	11,9	31,0	3,17	8,25	0,19
I8	4	2	71,8	15,8	31,3	12,6	24,9	4,90	9,70	0,31
I9	4	2	45,9	13,2	22,7	11,6	19,9	5,01	8,58	0,38
I10	4	2	67,0	18,4	32,6	12,2	21,6	2,86	5,05	0,15
M1	4	2	43,0	10,0	12,3	9,4	11,5	3,25	3,99	0,32
M2	4	2	34,8	7,8	8,67	5,2	5,82	3,28	3,64	0,42
M3	4	2	28,3	9,0	9,06	7,3	7,36	5,35	5,36	0,59
$\bar{X}$	-	-	70,4	12,7	28,0	9,71	21,4	3,59	8,04	0,30
SD	-	-	23,5	3,15	11,2	2,18	8,06	0,90	3,52	0,13
Min	-	-	19,5	5,40	7,27	5,24	5,35	2,31	1,82	0,15
Max	-	-	140	20,6	59,9	15,4	40,9	6,85	17,1	0,97

**Tab. 6 a:** Zufuhr von  $\beta$ -Karotin, Vitamin A, Vitamin A +  $\beta$ -Karotin, E, B<sub>12</sub>, Folsäure und von den Mineralstoffen Kalzium, Magnesium, Eisen und Zink unterteilt nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	$\beta$ -Kar.	Vit. A	Vit.A + $\beta$ Kar.	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsäure	Ca	Mg	Fe	Zn
-	-	-	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[ $\mu$ g]	[ $\mu$ g]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
A1	1	1	1,10	0,39	0,57	9,12	5,81	150	871	365	18,9	11,9
A2	1	1	4,24	0,96	1,67	13,0	8,43	465	2756	658	20,3	20,6
A3	1	1	3,47	0,70	1,28	10,4	6,86	230	2168	551	19,5	16,0
A4	1	1	3,04	1,39	1,90	9,53	11,0	309	2875	832	26,3	20,9
A5	1	1	1,83	0,69	1,00	11,5	10,4	233	2253	737	20,5	20,8
A7	1	1	4,48	1,00	1,75	19,8	9,72	346	2682	775	25,1	21,2
A8	1	1	3,17	0,81	1,34	11,7	10,8	331	1776	616	19,8	14,0
A9	1	2	4,89	0,43	1,25	9,29	6,71	330	1409	504	18,5	16,1
D1	1	1	1,64	0,60	0,87	8,83	3,86	189	1271	243	10,9	9,65
D4	1	2	1,75	0,20	0,49	7,12	2,19	178	668	286	8,8	6,73

Nr.:	Sportart	Geschlecht	$\beta$ -Kar.	Vit. A	Vit.A + $\beta$ Kar.	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsäure	Ca	Mg	Fe	Zn
-	-	-	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[ $\mu$ g]	[ $\mu$ g]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
D5	1	2	1,74	0,49	0,78	11,4	3,88	241	1237	370	12,4	10,6
E1	1	1	2,44	0,80	1,21	19,7	9,95	327	1533	672	29,3	19,5
E2	1	1	4,20	0,29	0,99	11,0	4,55	214	889	411	15,4	12,1
E3	1	1	3,64	0,53	1,14	13,0	5,35	281	1425	582	15,9	14,4
E4	1	1	5,87	1,02	2,00	26,5	10,8	409	1791	692	26,3	20,3
E5	1	1	1,74	3,00	3,29	17,0	17,0	183	1421	414	14,7	13,2
E6	1	1	3,19	0,49	1,02	20,6	9,36	347	1614	605	21,2	16,7
E7	1	1	3,24	0,50	1,04	8,40	3,97	218	899	382	13,5	11,7
E8	1	1	8,58	0,33	1,76	15,4	3,89	258	828	390	18,7	11,5
E9	1	1	3,02	0,36	0,86	9,50	2,25	202	1215	451	12,5	8,13
E19	1	1	2,92	0,62	1,11	15,7	4,18	213	1322	425	16,6	12,4
E10	1	2	4,57	0,37	1,13	22,0	5,92	325	1320	505	16,9	13,1
E11	1	2	2,97	0,14	0,64	8,90	1,60	164	978	327	8,9	6,21
E12	1	2	5,13	0,39	1,25	12,2	2,99	250	1168	436	13,4	10,1
E13	1	2	10,04	0,34	2,01	15,8	6,13	247	1029	491	18,6	12,7
E14	1	2	3,48	0,34	0,92	9,22	3,83	228	1638	486	11,1	10,4
E16	1	2	7,42	0,28	1,52	11,5	3,76	300	1485	445	16,4	11,7
G1	1	1	4,12	0,96	1,65	32,9	7,27	322	1388	520	22,1	14,1
G3	1	1	5,79	0,65	1,62	23,7	8,09	380	2011	707	21,9	19,3
G5	1	1	2,64	1,01	1,45	12,0	12,8	314	3021	621	15,1	19,5
G6	1	1	2,32	0,66	1,05	12,3	13,4	297	1285	504	23,7	16,9
G7	1	1	4,18	1,26	1,96	25,5	5,49	245	1309	388	14,4	14,2
G8	1	1	3,01	0,63	1,13	24,3	8,50	332	1798	463	16,7	16,1
G9	1	1	2,39	0,26	0,66	7,22	4,13	176	830	306	12,5	9,90
G10	1	1	1,56	1,37	1,63	16,2	13,5	311	3700	826	19,8	24,8
G13	1	2	2,16	0,36	0,72	8,36	3,85	180	938	253	10,6	8,5
G14	1	2	7,39	0,60	1,83	12,4	8,16	263	1103	413	15,8	13,4
G15	1	2	2,22	0,39	0,76	12,8	3,56	159	967	335	9,9	9,05
G16	1	2	0,52	0,42	0,51	4,20	3,53	113	531	208	8,3	7,10
G18	1	2	3,00	0,63	1,13	10,2	5,10	221	1298	306	12,6	10,8
G19	1	2	2,84	0,37	0,84	10,2	4,19	236	1324	329	10,3	8,59
$\bar{x}$	-	-	3,61	0,66	1,26	13,9	6,75	261	1513	484	16,7	13,8
SD	-	-	1,99	0,48	0,54	6,14	3,57	75,2	682	160	5,18	4,58
Min	-	-	0,52	0,14	0,49	4,20	1,60	113	531	208	8,26	6,21
Max	-	-	10,0	3,00	3,29	32,9	17,0	465	3700	832	29,3	24,8
B1	2	1	1,13	0,30	0,49	9,41	2,96	191	668	302	12,4	8,69
B2	2	1	1,25	0,12	0,33	9,88	3,28	157	562	286	11,4	8,59
B3	2	1	1,52	0,50	0,75	8,61	5,55	162	1272	301	9,9	10,2
B4	2	1	1,46	0,50	0,74	8,11	4,58	153	1026	296	10,5	10,7
B5	2	1	1,49	0,62	0,87	11,3	4,40	210	1285	378	13,9	12,2
B6	2	1	2,22	0,20	0,57	9,91	5,52	232	977	435	13,3	13,1
B7	2	1	0,85	0,34	0,48	8,51	6,13	158	896	310	11,0	11,2
B8	2	1	2,24	0,44	0,81	9,52	6,47	204	1841	514	11,4	13,8
J1	2	1	3,10	1,03	1,55	9,36	11,8	273	2866	510	14,8	17,3
J3	2	2	1,35	0,77	1,00	11,3	5,85	206	1584	406	11,4	9,66
J4	2	2	1,87	0,14	0,45	4,39	1,71	81,4	596	196	7,5	5,14
J5	2	2	2,12	1,07	1,42	5,00	5,04	95,5	407	176	7,8	5,99
J6	2	2	1,05	0,78	0,96	15,6	3,81	148	931	268	11,8	8,30
J7	2	2	7,22	0,32	1,52	12,8	3,02	180	1013	292	10,1	8,36
J8	2	2	1,93	0,06	0,38	4,34	2,28	92,2	495	173	4,3	2,23
J9	2	2	2,11	0,61	0,96	6,76	4,21	156	1020	309	10,0	7,02
$\bar{x}$	-	-	2,06	0,49	0,83	9,05	4,79	169	1090	322	10,7	9,5
SD	-	-	1,44	0,30	0,38	2,92	2,26	49,9	594	100	2,51	3,52
Min	-	-	0,85	0,06	0,33	4,34	1,71	81,4	407	173	4,28	2,23
Max	-	-	7,22	1,07	1,55	15,6	11,8	273	2866	514	14,8	17,3
C2	3	2	2,60	0,52	0,95	23,0	5,91	199	807	351	13,3	10,5
C3	3	2	3,09	0,84	1,36	16,2	5,66	311	977	422	16,1	11,1
C4	3	2	2,18	0,58	0,94	26,9	3,75	309	1286	490	16,4	12,6

Nr.:	Sportart	Geschlecht	β-Kar.	Vit. A	Vit.A +βKar.	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsäure	Ca	Mg	Fe	Zn
-	-	-	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[µg]	[µg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
C5	3	2	4,01	0,46	1,13	11,3	3,60	171	1228	401	12,6	9,88
H1	3	1	1,65	0,47	0,75	10,6	7,28	200	1063	351	14,5	14,0
H2	3	1	1,25	0,45	0,66	9,71	8,14	203	1488	523	15,3	15,7
H3	3	1	5,18	0,70	1,56	14,3	7,04	363	2090	659	19,4	17,5
H4	3	2	1,47	0,29	0,54	5,25	4,14	124	909	266	9,5	9,08
H5	3	2	1,21	0,29	0,49	11,0	4,84	116	749	236	8,8	9,52
H6	3	2	1,81	0,62	0,92	12,5	3,18	206	1403	363	12,9	10,5
H7	3	2	1,95	0,39	0,72	12,1	4,06	139	1000	319	10,3	8,47
K1	3	1	1,73	0,60	0,89	19,1	5,88	226	1717	433	15,1	14,2
K3	3	2	1,50	0,41	0,66	11,8	3,16	157	1265	373	11,8	9,66
K4	3	2	6,51	0,18	1,27	26,0	4,42	387	2378	912	26,0	13,4
K5	3	2	4,20	0,81	1,51	14,3	6,99	305	1772	521	18,0	15,2
L1	3	2	2,89	0,31	0,79	5,79	3,33	156	1272	250	8,9	8,61
L2	3	2	7,28	0,25	1,46	19,1	3,55	370	1277	549	25,9	12,0
L3	3	2	3,35	0,46	1,02	12,3	5,35	240	1605	395	13,1	12,4
L4	3	2	0,80	0,34	0,47	16,0	2,66	102	1258	396	7,5	7,73
N4	3	1	2,86	0,52	1,00	11,0	5,49	202	1609	345	12,2	10,2
N8	3	1	0,83	0,25	0,39	5,84	3,99	116	706	286	11,1	10,3
$\bar{x}$	-	-	2,78	0,46	0,93	14,0	4,88	219	1327	421	14,2	11,6
SD	-	-	1,75	0,18	0,34	5,89	1,53	86,7	421	151	4,83	2,58
Min	-	-	0,80	0,18	0,39	5,25	2,66	102	706	236	7,46	7,73
Max	-	-	7,28	0,84	1,56	26,9	8,14	387	2378	912	26,0	17,5
F1	4	1	1,43	0,18	0,42	5,02	2,89	148	412	209	8,9	6,38
F2	4	1	1,15	0,23	0,42	6,35	4,07	99,0	437	230	9,7	8,40
F3	4	1	1,76	0,50	0,79	8,09	3,68	206	1422	342	11,7	10,0
F4	4	1	1,20	0,30	0,50	6,12	2,23	127	508	213	8,5	7,62
F5	4	1	1,32	0,32	0,54	7,23	2,70	173	570	243	8,8	5,79
F7	4	2	3,85	0,21	0,85	4,80	2,99	104	852	223	7,5	6,86
F8	4	2	0,98	0,09	0,25	4,28	2,05	104	489	217	6,9	4,89
F9	4	2	1,64	0,50	0,77	8,67	5,03	157	1350	330	11,1	10,6
F10	4	2	2,15	0,46	0,82	5,78	3,37	138	707	275	9,4	8,14
F11	4	2	4,75	0,19	0,98	5,13	1,53	123	587	148	5,3	3,89
F12	4	2	2,31	0,27	0,66	4,16	3,44	103	742	185	7,7	7,69
F13	4	2	1,44	0,17	0,41	3,66	0,77	83,7	477	200	7,3	4,51
I2	4	1	1,83	0,82	1,13	8,66	4,18	167	740	292	10,8	8,52
I3	4	1	2,10	0,34	0,69	8,91	4,75	164	931	338	12,9	10,3
I6	4	2	1,60	0,40	0,67	9,31	4,20	176	1353	426	13,5	10,2
I8	4	2	1,59	0,51	0,78	15,3	3,80	221	871	245	10,1	9,05
I9	4	2	1,55	0,75	1,01	10,3	3,65	132	392	220	10,2	6,42
I10	4	2	2,00	0,65	0,98	4,02	3,87	145	1179	245	8,6	8,78
M1	4	2	1,86	0,23	0,54	11,0	1,81	165	916	301	8,6	6,18
M2	4	2	2,16	0,10	0,46	6,52	1,04	129	560	230	7,2	4,76
M3	4	2	1,28	0,08	0,29	6,43	1,42	57,1	393	154	5,7	3,80
$\bar{x}$	-	-	1,90	0,35	0,66	7,13	3,02	139	756	251	9,06	7,28
SD	-	-	0,87	0,21	0,24	2,77	1,20	39,0	324	66,1	2,12	2,11
Min	-	-	0,98	0,08	0,25	3,66	0,77	57,1	392	148	5,30	3,80
Max	-	-	4,75	0,82	1,13	15,3	5,03	221	1422	426	13,5	10,6

**Tab. 6 b:** Zufuhr von β-Karotin, Vitamin A, Vitamin A + β-Karotin, E, B<sub>12</sub>, Folsäure und von den Mineralstoffen Kalzium, Magnesium, Eisen und Zink unterteilt nach Geschlecht

Nr.:	Sportart	Geschlecht	β-Kar.	Vit. A	Vit.A+βKar.	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsäure	Ca	Mg	Fe	Zn
-	-	-	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[µg]	[µg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
A1	1	1	1,10	0,39	0,57	9,12	5,81	150	871	365	18,9	11,9
A2	1	1	4,24	0,96	1,67	13,0	8,43	465	2756	658	20,3	20,6
A3	1	1	3,47	0,70	1,28	10,4	6,86	230	2168	551	19,5	16,0
A4	1	1	3,04	1,39	1,90	9,53	11,0	309	2875	832	26,3	20,9

Nr.:	Sportart	Geschlecht	β-Kar.	Vit. A	Vit.A+βKar.	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsäure	Ca	Mg	Fe	Zn
-	-	-	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[µg]	[µg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
A5	1	1	1,83	0,69	1,00	11,5	10,4	233	2253	737	20,5	20,8
A7	1	1	4,48	1,00	1,75	19,8	9,72	346	2682	775	25,1	21,2
A8	1	1	3,17	0,81	1,34	11,7	10,8	331	1776	616	19,8	14,0
D1	1	1	1,64	0,60	0,87	8,83	3,86	189	1271	243	10,9	9,65
E1	1	1	2,44	0,80	1,21	19,7	9,95	327	1533	672	29,3	19,5
E2	1	1	4,2	0,29	0,99	11,0	4,55	214	889	411	15,4	12,1
E3	1	1	3,64	0,53	1,14	13,0	5,35	281	1425	582	15,9	14,4
E4	1	1	5,87	1,02	2,00	26,5	10,8	409	1791	692	26,3	20,3
E5	1	1	1,74	3,00	3,29	17,0	17,0	183	1421	414	14,7	13,2
E6	1	1	3,19	0,49	1,02	20,6	9,36	347	1614	605	21,2	16,7
E7	1	1	3,24	0,50	1,04	8,40	3,97	218	899	382	13,5	11,7
E8	1	1	8,58	0,33	1,76	15,4	3,89	258	828	390	18,7	11,5
E9	1	1	3,02	0,36	0,86	9,50	2,25	202	1215	451	12,5	8,13
E19	1	1	2,92	0,62	1,11	15,7	4,18	213	1322	425	16,6	12,4
G1	1	1	4,12	0,96	1,65	32,9	7,27	322	1388	520	22,1	14,1
G3	1	1	5,79	0,65	1,62	23,7	8,09	380	2011	707	21,9	19,3
G5	1	1	2,64	1,01	1,45	12,0	12,8	314	3021	621	15,1	19,5
G6	1	1	2,32	0,66	1,05	12,3	13,4	297	1285	504	23,7	16,9
G7	1	1	4,18	1,26	1,96	25,5	5,49	245	1309	388	14,4	14,2
G8	1	1	3,01	0,63	1,13	24,3	8,50	332	1798	463	16,7	16,1
G9	1	1	2,39	0,26	0,66	7,22	4,13	176	830	306	12,5	9,90
G10	1	1	1,56	1,37	1,63	16,2	13,5	311	3700	826	19,8	24,8
B1	2	1	1,13	0,30	0,49	9,41	2,96	191	668	302	12,4	8,69
B2	2	1	1,25	0,12	0,33	9,88	3,28	157	562	286	11,4	8,59
B3	2	1	1,52	0,50	0,75	8,61	5,55	162	1272	301	9,90	10,2
B4	2	1	1,46	0,50	0,74	8,11	4,58	153	1026	296	10,5	10,7
B5	2	1	1,49	0,62	0,87	11,3	4,40	210	1285	378	13,9	12,2
B6	2	1	2,22	0,20	0,57	9,91	5,52	232	977	435	13,3	13,1
B7	2	1	0,85	0,34	0,48	8,51	6,13	158	896	310	11,0	11,2
B8	2	1	2,24	0,44	0,81	9,52	6,47	204	1841	514	11,4	13,8
J1	2	1	3,10	1,03	1,55	9,36	11,8	273	2866	510	14,8	17,3
H1	3	1	1,65	0,47	0,75	10,6	7,28	200	1063	351	14,5	14,0
H2	3	1	1,25	0,45	0,66	9,71	8,14	203	1488	523	15,3	15,7
H3	3	1	5,18	0,70	1,56	14,3	7,04	363	2090	659	19,4	17,5
K1	3	1	1,73	0,60	0,89	19,1	5,88	226	1717	433	15,1	14,2
N4	3	1	2,86	0,52	1,00	11,0	5,49	202	1609	345	12,2	10,2
N8	3	1	0,83	0,25	0,39	5,84	3,99	116	706	286	11,1	10,3
F1	4	1	1,43	0,18	0,42	5,02	2,89	148	412	209	8,9	6,38
F2	4	1	1,15	0,23	0,42	6,35	4,07	99	437	230	9,70	8,40
F3	4	1	1,76	0,50	0,79	8,09	3,68	206	1422	342	11,7	10,0
F4	4	1	1,20	0,30	0,50	6,12	2,23	127	508	213	8,5	7,62
F5	4	1	1,32	0,32	0,54	7,23	2,70	173	570	243	8,8	5,79
I2	4	1	1,83	0,82	1,13	8,66	4,18	167	740	292	10,8	8,52
I3	4	1	2,10	0,34	0,69	8,91	4,75	164	931	338	12,9	10,3
X̄	-	-	2,65	0,65	1,09	12,7	6,76	238	1459	457	15,8	13,6
SD	-	-	1,53	0,46	0,56	6,07	3,40	81,7	744	169	5,11	4,45
Min	-	-	0,83	0,12	0,33	5,02	2,23	99,0	412	209	8,50	5,79
Max	-	-	8,58	3,00	3,29	32,9	17,0	465	3700	832	29,3	24,8
A9	1	2	4,89	0,43	1,25	9,29	6,71	330	1409	504	18,5	16,1
D4	1	2	1,75	0,20	0,49	7,12	2,19	178	668	286	8,80	6,73
D5	1	2	1,74	0,49	0,78	11,4	3,88	241	1237	370	12,4	10,6
E10	1	2	4,57	0,37	1,13	22,0	5,92	325	1320	505	16,9	13,1
E11	1	2	2,97	0,14	0,64	8,90	1,60	164	978	327	8,90	6,21
E12	1	2	5,13	0,39	1,25	12,2	2,99	250	1168	436	13,4	10,1
E13	1	2	10,0	0,34	2,01	15,8	6,13	247	1029	491	18,6	12,7
E14	1	2	3,48	0,34	0,92	9,22	3,83	228	1638	486	11,1	10,4
E16	1	2	7,42	0,28	1,52	11,5	3,76	300	1485	445	16,4	11,7
G13	1	2	2,16	0,36	0,72	8,36	3,85	180	938	253	10,6	8,50
G14	1	2	7,39	0,60	1,83	12,4	8,16	263	1103	413	15,8	13,4

Nr.:	Sportart	Geschlecht	$\beta$ -Kar.	Vit. A	Vit.A+ $\beta$ Kar.	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsäure	Ca	Mg	Fe	Zn
-	-	-	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[ $\mu$ g]	[ $\mu$ g]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
G15	1	2	2,22	0,39	0,76	12,8	3,56	159	967	335	9,90	9,05
G16	1	2	0,52	0,42	0,51	4,2	3,53	113	531	208	8,3	7,1
G18	1	2	3,00	0,63	1,13	10,2	5,10	221	1298	306	12,6	10,8
G19	1	2	2,84	0,37	0,84	10,2	4,19	236	1324	329	10,3	8,59
J3	2	2	1,35	0,77	1,00	11,3	5,85	206	1584	406	11,4	9,66
J4	2	2	1,87	0,14	0,45	4,39	1,71	81,4	596	196	7,5	5,14
J5	2	2	2,12	1,07	1,42	5,00	5,04	95,5	407	176	7,8	5,99
J6	2	2	1,05	0,78	0,96	15,6	3,81	148	931	268	11,8	8,3
J7	2	2	7,22	0,32	1,52	12,8	3,02	180	1013	292	10,1	8,36
J8	2	2	1,93	0,06	0,38	4,34	2,28	92,2	495	173	4,3	2,23
J9	2	2	2,11	0,61	0,96	6,76	4,21	156	1020	309	10	7,02
C2	3	2	2,60	0,52	0,95	23,0	5,91	199	807	351	13,3	10,5
C3	3	2	3,09	0,84	1,36	16,2	5,66	311	977	422	16,1	11,1
C4	3	2	2,18	0,58	0,94	26,9	3,75	309	1286	490	16,4	12,6
C5	3	2	4,01	0,46	1,13	11,3	3,60	171	1228	401	12,6	9,88
H4	3	2	1,47	0,29	0,54	5,25	4,14	124	909	266	9,5	9,08
H5	3	2	1,21	0,29	0,49	11,0	4,84	116	749	236	8,8	9,52
H6	3	2	1,81	0,62	0,92	12,5	3,18	206	1403	363	12,9	10,5
H7	3	2	1,95	0,39	0,72	12,1	4,06	139	1000	319	10,3	8,47
K3	3	2	1,50	0,41	0,66	11,8	3,16	157	1265	373	11,8	9,66
K4	3	2	6,51	0,18	1,27	26,0	4,42	387	2378	912	26,0	13,4
K5	3	2	4,20	0,81	1,51	14,3	6,99	305	1772	521	18,0	15,2
L1	3	2	2,89	0,31	0,79	5,79	3,33	156	1272	250	8,90	8,61
L2	3	2	7,28	0,25	1,46	19,1	3,55	370	1277	549	25,9	12,0
L3	3	2	3,35	0,46	1,02	12,3	5,35	240	1605	395	13,1	12,4
L4	3	2	0,80	0,34	0,47	16,0	2,66	102	1258	396	7,50	7,73
F7	4	2	3,85	0,21	0,85	4,80	2,99	104	852	223	7,50	6,86
F8	4	2	0,98	0,09	0,25	4,28	2,05	104	489	217	6,90	4,89
F9	4	2	1,64	0,50	0,77	8,67	5,03	157	1350	330	11,1	10,6
F10	4	2	2,15	0,46	0,82	5,78	3,37	138	707	275	9,40	8,14
F11	4	2	4,75	0,19	0,98	5,13	1,53	123	587	148	5,30	3,89
F12	4	2	2,31	0,27	0,66	4,16	3,44	103	742	185	7,70	7,69
F13	4	2	1,44	0,17	0,41	3,66	0,77	83,7	477	200	7,30	4,51
I6	4	2	1,60	0,40	0,67	9,31	4,20	176	1353	426	13,5	10,2
I8	4	2	1,59	0,51	0,78	15,3	3,80	221	871	245	10,1	9,05
I9	4	2	1,55	0,75	1,01	10,3	3,65	132	392	220	10,2	6,42
I10	4	2	2,00	0,65	0,98	4,02	3,87	145	1179	245	8,60	8,78
M1	4	2	1,86	0,23	0,54	11,0	1,81	165	916	301	8,60	6,18
M2	4	2	2,16	0,10	0,46	6,52	1,04	129	560	230	7,20	4,76
M3	4	2	1,28	0,08	0,29	6,43	1,42	57,1	393	154	5,70	3,80
$\bar{X}$	-	-	2,98	0,41	0,91	10,8	3,82	187	1043	336	11,5	8,98
SD	-	-	2,04	0,22	0,39	5,56	1,55	79,1	402	134	4,49	2,96
Min	-	-	0,52	0,06	0,25	3,66	0,77	57,1	392	148	4,30	2,23
Max	-	-	10,0	1,07	2,01	26,9	8,16	387	2378	912	26,0	16,1

**Tab. 7 a:** Konzentrationen von Hämoglobin (Hb), Kreatinin, die Enzymaktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) und die Schilddrüsenhormone T<sub>4</sub>, fT<sub>4</sub> und T<sub>3</sub> unterteilt nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Hb [g/dl]	Kreatinin	GSH-Px	T <sub>4</sub>	fT <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>
-	-	-	[g/dl]	[mg/dl]	[Mol/ min*l]	[nmol/l]	[pmol/l]	[nmol/l]
A1	1	1	16,1	0,74	515	124	24,6	2,51
A2	1	1	16,9	0,82	643	94	29,2	2,47
A3	1	1	18,5	0,85	515	91	23,1	2,05
A4	1	1	15,5	1,02	804	85	26,2	2,13
A5	1	1	16,1	1,24	900	90	20,4	2,50
A7	1	1	15,2	0,95	482	104	27,2	2,54
A8	1	1	16,0	1,11	515	110	33,8	1,94

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Hb [g/dl]	Kreatinin	GSH-Px	T <sub>4</sub>	fT <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>
-	-	-	[g/dl]	[mg/dl]	[Mol/ min*l]	[nmol/l]	[pmol/l]	[nmol/l]
A9	1	2	15,1	0,76	482	124	34,4	2,47
D1	1	1	15,3	0,62	643	122	23,4	3,33
D4	1	2	13,9	0,62	643	158	27,6	3,03
D5	1	2	14,0	0,62	643	127	29,8	2,39
E1	1	1	15,3	0,94	482	95	28,1	2,29
E2	1	1	15,5	0,74	643	123	36,9	2,01
E3	1	1	15,0	0,79	482	136	7,0	2,78
E4	1	1	15,7	0,86	643	100	26,3	2,89
E5	1	1	15,4	0,88	836	109	27,7	2,29
E6	1	1	16,6	0,94	643	124	31,2	2,53
E7	1	1	-	0,80	514	129	33,7	2,30
E8	1	1	13,5	0,64	643	108	21,9	2,57
E9	1	1	15,8	0,62	514	114	25,7	2,26
E19	1	1	15,9	0,73	482	158	20,9	2,52
E10	1	2	13,7	0,75	514	139	39,3	1,93
E11	1	2	13,9	0,74	514	138	34,8	2,44
E12	1	2	14,7	0,70	482	131	34,9	2,55
E13	1	2	12,8	0,76	482	137	24,5	1,90
E14	1	2	14,0	0,65	965	98	16,0	1,50
E16	1	2	16,4	0,74	707	118	22,7	1,60
G1	1	1	15,5	0,88	514	126	52,4	1,91
G3	1	1	14,7	0,67	-	118	36,3	1,54
G5	1	1	17,0	0,75	643	121	26,8	2,35
G6	1	1	15,2	0,74	643	148	32,1	2,30
G7	1	1	15,6	0,62	322	92	22,5	1,91
G8	1	1	15,1	0,73	450	87	32,3	2,19
G9	1	1	16,0	0,77	804	102	23,2	3,49
G10	1	1	16,0	0,79	514	103	33,2	1,39
G13	1	2	14,9	0,73	514	85	15,5	1,32
G14	1	2	13,4	0,55	-	141	24,6	2,04
G15	1	2	13,7	0,61	688	117	15,3	1,70
G16	1	2	12,7	0,68	553	106	17,7	1,50
G18	1	2	15,0	0,61	277	84	14,6	2,67
G19	1	2	13,8	0,64	830	149	21,9	2,20
$\bar{X}$	-	-	15,1	0,77	592	116	26,8	2,25
SD	-	-	1,19	0,14	146	20,3	8,02	0,48
Min	-	-	12,7	0,55	277	84,2	7,01	1,32
Max	-	-	18,5	1,24	965	158	52,4	3,49
B1	2	1	17,0	0,87	965	138	29,9	2,30
B2	2	1	16,6	0,80	514	97	29,4	2,68
B3	2	1	14,7	0,69	643	87	20,0	2,91
B4	2	1	12,8	0,71	514	124	32,8	2,63
B5	2	1	13,7	0,73	643	149	27,9	3,60
B6	2	1	14,9	0,76	482	126	32,2	2,36
B7	2	1	14,2	0,70	482	111	22,6	3,38
B8	2	1	17,3	0,71	804	125	28,8	3,14
J1	2	1	16,2	0,83	-	110	16,3	1,61
J3	2	2	15,4	0,81	482	125	17,0	1,60
J4	2	2	14,6	0,95	514	192	25,8	1,67
J5	2	2	16,3	0,88	418	154	18,3	1,50
J6	2	2	13,4	0,82	643	219	27,0	2,10
J7	2	2	15,1	0,89	482	173	25,0	1,53
J8	2	2	14,7	0,75	444	125	22,2	0,91
J9	2	2	13,3	0,71	830	122	18,6	1,12
$\bar{X}$	-	-	15,0	0,79	591	136	24,6	2,19
SD	-	-	1,32	0,08	156	33,4	5,28	0,79
Min	-	-	12,8	0,69	418	87,4	16,3	0,91
Max	-	-	17,3	0,95	965	219	32,8	3,60

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Hb [g/dl]	Kreatinin	GSH-Px	T <sub>4</sub>	fT <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>
-	-	-	[g/dl]	[mg/dl]	[Mol/ min*l]	[nmol/l]	[pmol/l]	[nmol/l]
C2	3	2	12,8	0,81	643	159	27,2	2,88
C3	3	2	13,3	0,71	643	96	25,5	2,06
C4	3	2	14,0	0,83	450	114	18,4	2,56
C5	3	2	15,7	1,02	643	190	29,9	2,97
H1	3	1	14,0	0,90	643	126	27,1	1,51
H2	3	1	16,1	0,86	643	119	20,8	2,08
H3	3	1	14,8	0,79	482	128	28,6	1,07
H4	3	2	16,2	0,61	450	149	29,2	2,39
H5	3	2	16,6	0,70	804	147	26,9	2,08
H6	3	2	15,5	0,51	514	108	20,7	1,98
H7	3	2	16,7	0,67	514	128	17,2	2,15
K1	3	1	13,5	0,86	643	148	12,7	1,80
K3	3	2	15,4	0,73	643	141	22,0	1,74
K4	3	2	15,1	0,73	804	113	19,2	1,30
K5	3	2	15,4	0,80	450	119	17,5	1,51
L1	3	2	13,2	0,85	643	117	17,3	1,47
L2	3	2	12,9	1,12	482	147	19,7	0,92
L3	3	2	16,2	0,98	514	148	24,1	1,73
L4	3	2	-	0,93	643	184	21,5	2,12
N4	3	1	16,7	0,43	482	84	11,2	2,05
N8	3	1	15,6	0,57	482	130	24,2	1,80
$\bar{X}$	-	-	15,0	0,78	582	133	21,9	1,91
SD	-	-	1,30	0,16	106	25,5	5,12	0,52
Min	-	-	12,8	0,43	450	84,1	11,2	0,92
Max	-	-	16,7	1,12	804	190	29,9	2,97
F1	4	1	13,5	0,65	804	122	22,3	3,48
F2	4	1	13,7	0,63	804	127	26,0	2,97
F3	4	1	14,4	0,86	643	104	26,1	2,19
F4	4	1	13,6	0,62	514	77	14,4	2,68
F5	4	1	14,2	0,50	482	87	23,5	1,83
F7	4	2	15,6	0,65	482	89	20,3	2,17
F8	4	2	15,2	0,69	482	94	20,6	2,20
F9	4	2	15,6	0,70	482	124	29,8	2,53
F10	4	2	15,0	0,89	965	95	21,6	2,16
F11	4	2	14,6	0,60	482	95	23,3	2,32
F12	4	2	15,3	0,65	482	106	28,9	2,52
F13	4	2	14,9	0,73	482	95	20,4	2,23
I2	4	1	13,3	0,92	482	85	18,3	1,75
I3	4	1	15,4	0,64	643	100	16,7	2,48
I6	4	2	12,6	0,75	514	181	20,6	2,55
I8	4	2	13,9	0,81	804	122	18,8	1,69
I9	4	2	11,7	0,69	643	118	17,5	1,60
I10	4	2	14,3	0,65	482	137	17,9	1,56
M1	4	2	15,5	0,63	482	120	21,9	1,81
M2	4	2	14,8	0,65	643	146	25,9	1,48
M3	4	2	14,8	0,65	611	158	22,2	1,59
$\bar{X}$	-	-	14,4	0,69	591	113	21,8	2,18
SD	-	-	1,01	0,10	141	25,6	3,88	0,50
Min	-	-	11,7	0,50	482	77,1	14,4	1,48
Max	-	-	15,6	0,92	965	181	29,8	3,48

**Tab. 7 b:** Konzentrationen von Hämoglobin (Hb), Kreatinin, die Enzymaktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) und die Schilddrüsenhormone T<sub>4</sub>, fT<sub>4</sub> und T<sub>3</sub> unterteilt nach Geschlecht

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Hb [g/dl]	Kreatinin	GSH-Px	T <sub>4</sub>	fT <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>
-	-	-	[g/dl]	[mg/dl]	[Mol/ min*l]	[nmol/l]	[pmol/l]	[nmol/l]
A1	1	1	16,1	0,74	515	124	24,6	2,51
A2	1	1	16,9	0,82	643	94	29,2	2,47
A3	1	1	18,5	0,85	515	91	23,1	2,05
A4	1	1	15,5	1,02	804	85	26,2	2,13
A5	1	1	16,1	1,24	900	90	20,4	2,50
A7	1	1	15,2	0,95	482	104	27,2	2,54
A8	1	1	16,0	1,11	515	110	33,8	1,94
D1	1	1	15,3	0,62	643	122	23,4	3,33
E1	1	1	15,3	0,94	482	95	28,1	2,29
E2	1	1	15,5	0,74	643	123	36,9	2,01
E3	1	1	15,0	0,79	482	136	7,0	2,78
E4	1	1	15,7	0,86	643	100	26,3	2,89
E5	1	1	15,4	0,88	836	109	27,7	2,29
E6	1	1	16,6	0,94	643	124	31,2	2,53
E7	1	1	-	0,80	514	129	33,7	2,30
E8	1	1	13,5	0,64	643	108	21,9	2,57
E9	1	1	15,8	0,62	514	114	25,7	2,26
E19	1	1	15,9	0,73	482	158	20,9	2,52
G1	1	1	15,5	0,88	514	126	52,4	1,91
G3	1	1	14,7	0,67	-	118	36,3	1,54
G5	1	1	17,0	0,75	643	121	26,8	2,35
G6	1	1	15,2	0,74	643	148	32,1	2,30
G7	1	1	15,6	0,62	322	92	22,5	1,91
G8	1	1	15,1	0,73	450	87	32,3	2,19
G9	1	1	16,0	0,77	804	102	23,2	3,49
G10	1	1	16,0	0,79	514	103	33,2	1,39
B1	2	1	17,0	0,87	965	138	29,9	2,30
B2	2	1	16,6	0,80	514	97	29,4	2,68
B3	2	1	14,7	0,69	643	87	20,0	2,91
B4	2	1	12,8	0,71	514	124	32,8	2,63
B5	2	1	13,7	0,73	643	149	27,9	3,60
B6	2	1	14,9	0,76	482	126	32,2	2,36
B7	2	1	14,2	0,70	482	111	22,6	3,38
B8	2	1	17,3	0,71	804	125	28,8	3,14
J1	2	1	16,2	0,83	-	110	16,3	1,61
H1	3	1	14,0	0,90	643	126	27,1	1,51
H2	3	1	16,1	0,86	643	119	20,8	2,08
H3	3	1	14,8	0,79	482	128	28,6	1,07
K1	3	1	13,5	0,86	643	148	12,7	1,80
N4	3	1	16,7	0,43	482	84	11,2	2,05
N8	3	1	15,6	0,57	482	130	24,2	1,80
F1	4	1	13,5	0,65	804	122	22,3	3,48
F2	4	1	13,7	0,63	804	127	26,0	2,97
F3	4	1	14,4	0,86	643	104	26,1	2,19
F4	4	1	13,6	0,62	514	77	14,4	2,68
F5	4	1	14,2	0,50	482	87	23,5	1,83
I2	4	1	13,3	0,92	482	85	18,3	1,75
I3	4	1	15,4	0,64	643	100	16,7	2,48
X	-	-	15,3	0,78	600	113	25,8	2,36
SD	-	-	1,19	0,15	135	19,4	7,48	0,56
Min	-	-	12,8	0,43	322	77,1	7,01	1,07
Max	-	-	18,5	1,24	965	158	52,4	3,60
A9	1	2	15,1	0,76	482	124	34,4	2,47
D4	1	2	13,9	0,62	643	158	27,6	3,03
D5	1	2	14,0	0,62	643	127	29,8	2,39

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Hb [g/dl]	Kreatinin	GSH-Px	T <sub>4</sub>	fT <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>
-	-	-	[g/dl]	[mg/dl]	[Mol/ min*l]	[nmol/l]	[pmol/l]	[nmol/l]
E10	1	2	13,7	0,75	514	139	39,3	1,93
E11	1	2	13,9	0,74	514	138	34,8	2,44
E12	1	2	14,7	0,70	482	131	34,9	2,55
E13	1	2	12,8	0,76	482	137	24,5	1,90
E14	1	2	14,0	0,65	965	98	16,0	1,50
E16	1	2	16,4	0,74	707	118	22,7	1,60
G13	1	2	14,9	0,73	514	85	15,5	1,32
G14	1	2	13,4	0,55	-	141	24,6	2,04
G15	1	2	13,7	0,61	688	117	15,3	1,70
G16	1	2	12,7	0,68	553	106	17,7	1,50
G18	1	2	15,0	0,61	277	84	14,6	2,67
G19	1	2	13,8	0,64	830	149	21,9	2,20
J3	2	2	15,4	0,81	482	125	17,0	1,60
J4	2	2	14,6	0,95	514	192	25,8	1,67
J5	2	2	16,3	0,88	418	154	18,3	1,50
J6	2	2	13,4	0,82	643	219	27,0	2,10
J7	2	2	15,1	0,89	482	173	25,0	1,53
J8	2	2	14,7	0,75	444	125	22,2	0,91
J9	2	2	13,3	0,71	830	122	18,6	1,12
C2	3	2	12,8	0,81	643	159	27,2	2,88
C3	3	2	13,3	0,71	643	96	25,5	2,06
C4	3	2	14,0	0,83	450	114	18,4	2,56
C5	3	2	15,7	1,02	643	190	29,9	2,97
H4	3	2	16,2	0,61	450	149	29,2	2,39
H5	3	2	16,6	0,70	804	147	26,9	2,08
H6	3	2	15,5	0,51	514	108	20,7	1,98
H7	3	2	16,7	0,67	514	128	17,2	2,15
K3	3	2	15,4	0,73	643	141	22,0	1,74
K4	3	2	15,1	0,73	804	113	19,2	1,30
K5	3	2	15,4	0,80	450	119	17,5	1,51
L1	3	2	13,2	0,85	643	117	17,3	1,47
L2	3	2	12,9	1,12	482	147	19,7	0,92
L3	3	2	16,2	0,98	514	148	24,1	1,73
L4	3	2	-	0,93	643	184	21,5	2,12
F7	4	2	15,6	0,65	482	89	20,3	2,17
F8	4	2	15,2	0,69	482	94	20,6	2,20
F9	4	2	15,6	0,70	482	124	29,8	2,53
F10	4	2	15,0	0,89	965	95	21,6	2,16
F11	4	2	14,6	0,60	482	95	23,3	2,32
F12	4	2	15,3	0,65	482	106	28,9	2,52
F13	4	2	14,9	0,73	482	95	20,4	2,23
I6	4	2	12,6	0,75	514	181	20,6	2,55
I8	4	2	13,9	0,81	804	122	18,8	1,69
I9	4	2	11,7	0,69	643	118	17,5	1,60
I10	4	2	14,3	0,65	482	137	17,9	1,56
M1	4	2	15,5	0,63	482	120	21,9	1,81
M2	4	2	14,8	0,65	643	146	25,9	1,48
M3	4	2	14,8	0,65	611	158	22,2	1,59
$\bar{X}$	-	-	14,5	0,74	580	131	23,0	1,96
SD	-	-	1,16	0,12	141	29,4	5,58	0,50
Min	-	-	11,7	0,51	277	84,2	14,6	0,91
Max	-	-	16,7	1,12	965	219	39,3	3,03

**Tab. 8 a:** Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten [%] nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C14:0	C16:0	C18:0	C22:0	C16:1(n-9)	C18:1(n-9)	C20:1(n-11)	C18:2(n-6)	C20:2(n-6)
A1	1	1	0,66	21,0	10,9	0,61	1,05	19,6	0,45	10,30	1,49
A2	1	1	0,98	20,3	10,9	0,35	0,49	15,1	0,41	10,80	3,79
A3	1	1	1,04	15,5	9,6	-	0,66	14,1	0,99	8,80	1,67
A4	1	1	1,01	17,2	9,7	-	0,53	14,8	0,50	8,90	2,79
A5	1	1	0,96	18,3	10,5	-	0,51	15,3	0,48	11,80	2,30
A7	1	1	0,53	20,0	11,3	-	0,49	18,0	0,47	10,40	1,06
A8	1	1	1,17	17,6	10,8	-	0,62	16,4	0,74	10,20	1,41
A9	1	2	1,13	19,2	10,1	-	0,36	15,0	0,28	9,31	2,08
D1	1	1	0,64	23,0	11,7	-	0,37	21,1	0,35	13,95	1,49
D4	1	2	0,56	24,5	11,0	-	0,93	24,0	-	12,54	-
D5	1	2	0,41	22,8	12,5	-	0,67	23,4	0,39	14,19	-
E1	1	1	0,81	19,6	10,3	-	0,38	20,1	0,64	11,39	1,79
E2	1	1	0,89	21,7	10,1	-	0,49	19,7	0,44	11,30	2,18
E3	1	1	*	21,5	12,9	-	0,41	18,8	-	13,66	1,99
E4	1	1	0,36	22,0	12,6	-	0,43	21,2	0,53	14,49	0,49
E5	1	1	0,69	22,3	11,7	-	0,33	19,8	0,47	11,76	1,61
E6	1	1	0,76	19,6	10,7	-	0,43	18,2	0,64	11,71	0,24
E7	1	1	0,56	22,8	12,7	-	0,89	22,0	0,42	13,61	0,56
E8	1	1	0,70	19,8	10,5	-	0,41	18,1	0,56	11,29	2,41
E9	1	1	0,62	19,9	12,0	-	0,31	18,3	0,44	12,74	1,84
E19	1	1	0,55	21,6	11,0	-	0,33	20,0	0,46	13,62	1,24
E10	1	2	1,00	22,1	9,9	-	0,65	16,8	0,64	11,08	1,66
E11	1	2	0,95	21,3	9,8	-	0,70	17,9	0,52	11,34	1,05
E12	1	2	0,74	20,7	10,3	-	0,46	17,1	0,52	12,70	1,45
E13	1	2	0,69	23,1	10,9	-	0,41	20,6	0,53	13,46	0,61
E14	1	2	0,82	22,1	10,3	-	0,90	19,3	0,37	11,59	1,49
E16	1	2	0,75	23,2	10,2	-	0,67	19,5	0,49	13,51	1,49
G1	1	1	0,57	22,7	10,7	0,07	0,97	20,3	0,36	11,26	0,29
G3	1	1	0,53	21,2	9,8	-	0,73	18,9	0,43	10,76	0,48
G5	1	1	0,47	21,4	12,5	0,10	0,73	19,7	0,39	11,61	1,87
G6	1	1	0,41	21,2	12,3	0,10	0,68	21,0	0,38	12,70	0,03
G7	1	1	0,39	17,4	12,1	-	0,69	18,0	0,37	13,17	-
G8	1	1	0,75	19,1	9,8	-	0,50	18,5	0,33	10,58	2,15
G9	1	1	0,66	19,3	9,7	0,17	0,49	17,5	0,36	11,54	2,23
G10	1	1	0,37	20,7	11,7	-	0,61	19,2	0,37	13,46	0,28
G13	1	2	0,61	18,8	10,6	0,05	1,25	20,0	0,52	13,18	0,47
G14	1	2	0,76	19,2	9,6	-	1,47	18,4	0,37	14,82	0,52
G15	1	2	0,58	19,7	9,5	-	0,81	20,3	0,23	14,18	0,75
G16	1	2	0,86	19,3	10,3	-	1,03	18,7	0,35	14,12	0,61
G18	1	2	0,86	19,6	10,7	-	0,46	18,3	0,53	12,00	1,52
G19	1	2	0,58	21,1	10,1	-	0,57	18,4	0,42	11,11	1,44
$\bar{X}$	-	-	0,71	20,57	10,83	-	0,63	18,81	0,46	12,07	1,39
SD	-	-	0,21	1,87	0,98	-	0,26	2,13	0,13	1,53	0,80
Min	-	-	0,36	15,50	9,49	-	0,31	14,10	0,23	8,80	0,03
Max	-	-	1,17	24,52	12,86	-	1,47	23,95	0,99	14,82	3,79
B1	2	1	1,04	22,3	12,5	0,72	0,61	20,2	0,38	13,04	1,41
B2	2	1	0,87	23,1	10,3	1,11	1,03	21,7	0,47	13,11	1,87
B3	2	1	1,01	22,6	11,3	-	0,76	20,4	0,46	14,16	2,37
B4	2	1	0,82	22,7	12,1	0,71	0,45	18,7	0,43	12,80	3,55
B5	2	1	0,92	23,2	11,1	0,54	0,85	20,5	0,41	12,84	2,73
B6	2	1	0,86	23,7	11,3	0,51	0,79	20,3	0,44	13,38	1,47

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C14:0	C16:0	C18:0	C22:0	C16:1(n-9)	C18:1(n-9)	C20:1(n-11)	C18:2(n-6)	C20:2(n-6)
B7	2	1	0,74	22,8	11,4	0,47	0,72	20,2	0,42	12,72	3,58
B8	2	1	0,91	23,6	10,5	0,44	0,71	20,4	0,40	12,22	3,11
J1	2	1	0,65	20,3	10,0	-	0,38	17,7	0,43	12,60	0,48
J3	2	2	0,46	21,6	11,2	-	0,57	18,5	0,50	15,45	0,32
J4	2	2	0,45	21,5	9,8	-	0,71	19,9	0,68	11,73	0,06
J5	2	2	0,52	21,0	10,0	-	0,48	18,4	0,46	11,85	0,52
J6	2	2	0,58	23,7	8,9	-	1,16	17,8	0,44	12,10	0,42
J7	2	2	0,65	21,2	9,1	-	0,55	18,0	0,44	11,06	0,51
J8	2	2	0,74	19,1	9,0	-	1,66	21,1	0,53	8,52	0,31
J9	2	2	0,50	20,8	10,1	-	1,01	18,2	0,42	12,07	0,60
$\bar{X}$	-	-	0,73	22,08	10,54	0,64	0,78	19,50	0,46	12,48	1,46
SD	-	-	0,19	1,31	1,05	0,22	0,31	1,25	0,07	1,43	1,21
Min	-	-	0,45	19,08	8,91	0,44	0,38	17,69	0,38	8,52	0,06
Max	-	-	1,04	23,70	12,47	1,11	1,66	21,68	0,68	15,45	3,58
C2	3	2	0,74	22,1	9,0	-	0,80	19,0	0,57	10,80	1,09
C3	3	2	0,41	23,0	13,3	-	-	22,1	-	12,71	-
C4	3	2	0,45	22,9	11,9	-	1,09	21,2	-	11,76	-
C5	3	2	1,85	25,8	13,7	-	0,57	18,9	0,52	10,54	1,26
H1	3	1	0,76	19,0	10,0	-	0,47	17,5	0,50	10,70	2,93
H2	3	1	0,76	19,0	9,7	-	0,46	17,4	0,55	10,01	3,16
H3	3	1	0,74	19,4	10,7	-	0,40	18,2	0,38	11,68	2,25
H4	3	2	0,50	20,7	11,3	-	0,59	19,9	0,30	12,87	0,92
H5	3	2	0,37	18,7	9,0	-	0,68	16,9	0,30	11,28	0,28
H6	3	2	0,62	22,7	11,3	-	0,96	19,5	0,36	12,38	0,26
H7	3	2	0,51	22,2	10,6	-	0,58	18,1	0,35	11,23	0,83
K1	3	1	0,47	21,2	10,2	-	0,49	18,4	0,47	13,56	0,45
K3	3	2	0,35	20,7	11,9	-	0,91	17,8	0,41	14,95	0,51
K4	3	2	0,36	21,6	10,6	-	0,61	17,7	0,31	13,52	0,48
K5	3	2	0,38	21,7	10,5	-	0,98	18,9	0,38	11,60	0,35
L1	3	2	0,39	20,5	10,5	0,07	0,60	17,2	0,37	13,65	0,30
L2	3	2	0,48	19,7	10,1	-	0,32	18,5	0,51	9,79	0,55
L3	3	2	0,50	21,0	10,6	-	0,95	18,5	0,48	12,98	0,34
L4	3	2	0,58	20,6	10,2	-	0,31	16,1	0,32	10,06	0,51
N4	3	1	0,52	21,0	11,6	-	1,18	20,1	0,43	12,88	0,36
N8	3	1	0,43	18,7	9,2	-	0,92	20,8	0,42	11,30	0,23
$\bar{X}$	-	-	0,58	21,07	10,76	-	0,69	18,71	0,42	11,92	0,90
SD	-	-	0,31	1,70	1,20	-	0,25	1,46	0,08	1,36	0,88
Min	-	-	0,35	18,67	9,04	-	0,31	16,14	0,30	9,79	0,23
Max	-	-	1,85	25,82	13,65	-	1,18	22,15	0,57	14,95	3,16
F1	4	1	-	21,8	12,5	-	-	21,2	0,46	12,60	0,32
F2	4	1	0,80	20,9	12,1	-	0,29	20,1	0,55	11,68	0,70
F3	4	1	0,87	19,1	11,2	-	0,27	18,8	0,56	12,33	2,14
F4	4	1	0,59	21,2	12,9	-	0,30	18,9	-	12,93	0,92
F5	4	1	0,43	21,0	12,6	-	0,93	21,0	0,33	11,64	0,26
F7	4	2	0,61	20,2	11,9	-	0,44	19,9	0,52	12,05	0,15
F8	4	2	0,40	21,5	12,5	-	0,62	21,2	0,42	11,87	-
F9	4	2	0,55	21,2	12,1	-	0,31	19,4	0,48	11,87	0,59
F10	4	2	0,54	21,8	12,3	-	0,44	21,5	0,38	12,18	0,15
F11	4	2	0,63	20,7	11,0	-	0,42	19,0	0,46	13,13	0,73
F12	4	2	0,64	21,6	12,5	-	0,39	18,7	0,39	13,08	0,35
F13	4	2	0,63	21,1	11,2	-	0,42	20,6	0,58	13,22	0,62
I2	4	1	1,24	13,2	9,0	-	0,48	14,6	3,75	7,92	0,53

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C14:0	C16:0	C18:0	C22:0	C16:1(n-9)	C18:1(n-9)	C20:1(n-11)	C18:2(n-6)	C20:2(n-6)
I3	4	1	0,55	19,3	10,4	-	0,38	17,6	0,60	11,37	1,42
I6	4	2	0,85	22,8	8,6	-	1,01	17,1	0,34	9,57	1,38
I8	4	2	0,71	20,5	10,9	-	1,08	21,0	0,39	12,97	0,53
I9	4	2	0,48	19,5	10,1	-	0,48	19,8	0,51	12,52	0,49
I10	4	2	0,83	19,5	9,2	-	1,32	18,6	0,43	12,42	1,12
M1	4	2	0,86	15,6	9,4	-	1,70	13,8	0,23	8,10	1,88
M2	4	2	0,66	17,2	9,8	-	1,38	16,6	0,54	10,23	1,25
M3	4	2	0,54	20,2	10,5	-	1,07	18,1	0,45	11,30	0,34
$\bar{X}$	-	-	0,67	20,00	11,08	-	0,69	18,93	0,62	11,66	0,79
SD	-	-	0,19	2,19	1,31	-	0,42	2,04	0,72	1,49	0,55
Min	-	-	0,40	13,23	8,58	-	0,27	13,84	0,23	7,92	0,15
Max	-	-	1,24	22,81	12,93	-	1,70	21,47	3,75	13,22	2,14

**Tab. 8 b:** Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten [%] nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C18:3(n-3)	C18:3(n-6)	C20:3(n-6)	C20:4(n-6)	C22:4(n-6)	C20:5(n-3)	C22:5(n-3)
A1	1	1	0,32	0,58	1,43	14,4	3,63	0,82	2,37
A2	1	1	0,42	0,69	1,89	13,0	3,50	0,96	2,86
A3	1	1	0,47	-	1,75	12,7	3,53	1,03	2,10
A4	1	1	0,63	-	1,88	11,9	3,02	0,79	2,38
A5	1	1	0,28	0,22	2,00	13,4	3,31	1,02	2,20
A7	1	1	0,26	-	2,47	14,8	3,91	1,59	1,56
A8	1	1	0,45	-	1,58	12,4	2,49	1,18	1,67
A9	1	2	0,40	-	1,90	14,2	3,17	1,59	2,62
D1	1	1	-	-	2,05	13,6	3,30	0,54	2,27
D4	1	2	-	-	2,30	13,9	4,56	0,28	1,68
D5	1	2	-	-	1,78	12,9	4,55	0,57	2,18
E1	1	1	0,70	-	2,75	13,3	4,25	0,63	2,46
E2	1	1	0,57	-	1,85	14,0	3,86	0,83	2,18
E3	1	1	-	-	2,20	16,8	4,23	0,46	2,28
E4	1	1	0,31	-	1,69	14,0	3,54	1,08	2,68
E5	1	1	-	-	1,74	15,8	4,00	1,13	2,92
E6	1	1	0,78	-	1,60	14,3	3,28	1,44	2,33
E7	1	1	-	-	2,28	14,5	3,85	0,69	2,19
E8	1	1	0,75	-	1,81	15,3	4,15	0,62	2,63
E9	1	1	0,63	-	1,78	15,4	3,93	0,70	2,79
E19	1	1	-	-	2,04	15,3	3,93	0,67	2,51
E10	1	2	0,43	-	2,30	12,9	3,12	1,48	2,71
E11	1	2	0,74	-	2,41	14,0	3,02	1,33	2,52
E12	1	2	0,61	-	2,14	15,2	4,26	0,95	2,75
E13	1	2	-	-	2,34	13,9	3,97	0,77	2,57
E14	1	2	0,32	-	1,95	13,5	4,11	1,02	2,59
E16	1	2	0,32	-	2,07	11,3	2,51	1,12	2,78
G1	1	1	0,27	0,17	1,60	14,4	4,71	0,73	2,53
G3	1	1	0,53	0,11	1,90	13,1	2,95	1,54	3,10
G5	1	1	0,41	-	2,20	11,9	2,85	0,65	2,04
G6	1	1	0,42	-	2,84	12,0	2,96	0,42	1,62
G7	1	1	0,34	-	12,40	11,3	3,01	0,82	1,88
G8	1	1	0,44	0,13	4,78	13,3	3,48	0,88	2,30
G9	1	1	0,40	-	4,88	14,1	3,18	0,81	2,14
G10	1	1	0,54	-	1,58	15,5	4,82	0,69	3,16

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C18:3(n-3)	C18:3(n-6)	C20:3(n-6)	C20:4(n-6)	C22:4(n-6)	C20:5(n-3)	C22:5(n-3)
G13	1	2	0,38	-	2,01	14,3	3,75	0,80	2,42
G14	1	2	0,32	-	1,88	14,0	3,73	0,71	2,54
G15	1	2	0,36	-	1,54	12,6	3,44	0,56	2,05
G16	1	2	0,32	-	1,66	14,0	4,55	0,61	2,09
G18	1	2	0,56	-	2,04	13,6	4,06	0,72	2,14
G19	1	2	0,48	0,08	2,09	14,8	4,11	0,89	2,57
$\bar{X}$	-	-	0,46	-	2,38	13,80	3,67	0,88	2,37
SD	-	-	0,15	-	1,73	1,21	0,59	0,32	0,38
Min	-	-	0,26	-	1,43	11,29	2,49	0,28	1,56
Max	-	-	0,78	-	12,40	16,80	4,82	1,59	3,16
B1	2	1	0,45	-	1,74	11,8	2,57	0,51	1,87
B2	2	1	0,51	-	1,35	11,6	2,45	0,45	1,67
B3	2	1	0,61	-	1,19	11,5	2,52	0,45	1,66
B4	2	1	0,55	-	1,25	13,2	2,11	0,42	1,53
B5	2	1	0,36	-	1,68	10,9	2,08	0,34	1,37
B6	2	1	0,50	-	1,57	12,0	2,76	0,33	1,45
B7	2	1	0,24	-	1,43	11,8	2,64	0,45	1,30
B8	2	1	0,50	-	1,14	11,6	2,32	0,49	1,35
J1	2	1	0,42	0,20	1,98	14,6	4,15	0,84	2,37
J3	2	2	0,39	-	1,61	15,3	3,98	0,53	2,25
J4	2	2	0,47	0,10	2,24	14,7	3,90	0,61	2,04
J5	2	2	0,47	0,14	1,86	15,4	4,97	0,56	2,05
J6	2	2	0,50	0,10	2,05	15,7	4,50	0,57	2,18
J7	2	2	0,56	0,17	1,83	14,6	4,13	0,83	2,24
J8	2	2	1,66	0,33	1,37	10,6	2,79	0,37	1,96
J9	2	2	0,89	-	1,52	14,2	4,86	0,61	3,01
$\bar{X}$	-	-	0,57	-	1,61	13,10	3,30	0,52	1,89
SD	-	-	0,31	-	0,31	1,74	0,99	0,14	0,45
Min	-	-	0,24	-	1,14	10,59	2,08	0,33	1,30
Max	-	-	1,66	-	2,24	15,71	4,97	0,84	3,01
C2	3	2	0,46	-	1,76	14,6	4,74	0,67	1,65
C3	3	2	-	-	1,19	16,3	4,31	0,78	2,32
C4	3	2	-	-	1,96	16,0	4,01	0,69	2,20
C5	3	2	-	-	1,19	13,9	3,74	0,58	1,65
H1	3	1	0,57	0,21	1,46	13,1	2,48	0,83	2,01
H2	3	1	0,52	0,21	1,68	13,3	3,63	0,89	2,21
H3	3	1	0,46	0,13	2,22	12,9	2,56	0,99	2,38
H4	3	2	0,53	-	1,65	14,6	3,51	0,72	2,03
H5	3	2	0,38	-	2,62	11,4	2,65	1,00	2,05
H6	3	2	0,48	-	1,63	14,9	3,20	0,96	2,46
H7	3	2	0,39	-	2,24	15,3	3,88	0,85	2,40
K1	3	1	0,41	-	1,92	14,0	4,55	0,83	2,85
K3	3	2	0,40	-	1,85	15,1	4,10	0,60	2,62
K4	3	2	0,35	-	1,89	15,6	4,03	0,79	2,66
K5	3	2	0,36	-	1,67	15,8	3,89	0,95	2,86
L1	3	2	0,50	-	1,78	15,5	5,20	0,86	3,14
L2	3	2	0,51	-	1,69	14,3	3,78	0,86	2,10
L3	3	2	0,54	-	2,24	14,9	4,18	0,91	2,62
L4	3	2	0,54	-	1,98	17,5	3,58	0,58	2,40
N4	3	1	0,45	-	2,00	14,6	3,68	0,65	2,60
N8	3	1	0,56	-	2,39	12,4	3,55	0,83	3,39
$\bar{X}$	-	-	0,47	-	1,86	14,57	3,77	0,80	2,41

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C18:3(n-3)	C18:3(n-6)	C20:3(n-6)	C20:4(n-6)	C22:4(n-6)	C20:5(n-3)	C22:5(n-3)
SD	-	-	0,07	-	0,35	1,38	0,66	0,13	0,43
Min	-	-	0,35	-	1,19	11,43	2,48	0,58	1,65
Max	-	-	0,57	-	2,62	17,50	5,20	1,00	3,39
F1	4	1	-	-	2,50	15,3	3,72	0,50	2,32
F2	4	1	0,63	-	2,25	16,1	4,88	0,75	2,65
F3	4	1	0,32	-	2,21	13,7	4,29	0,65	2,55
F4	4	1	-	-	1,99	16,9	3,96	0,53	2,31
F5	4	1	-	-	1,83	17,0	4,65	0,57	2,37
F7	4	2	0,31	-	1,63	16,8	4,87	0,64	2,29
F8	4	2	-	-	1,66	16,5	4,59	0,65	2,57
F9	4	2	0,29	-	1,65	16,8	4,19	0,73	2,67
F10	4	2	-	-	1,91	15,9	4,41	0,44	2,24
F11	4	2	0,36	-	1,63	15,1	4,39	0,68	2,34
F12	4	2	-	-	1,65	16,4	4,58	0,79	2,75
F13	4	2	0,37	-	1,72	15,6	4,13	0,73	2,76
I2	4	1	1,13	-	0,91	11,4	2,35	0,12	1,84
I3	4	1	0,42	-	2,13	14,9	3,68	1,16	2,63
I6	4	2	0,39	-	2,24	15,0	3,89	0,76	1,78
I8	4	2	0,33	0,15	2,00	13,6	4,18	0,56	2,21
I9	4	2	0,43	-	1,53	15,1	3,93	0,88	2,48
I10	4	2	0,44	-	2,08	13,4	4,36	0,68	2,21
M1	4	2	0,70	0,31	1,16	11,8	3,29	1,09	2,70
M2	4	2	0,52	0,28	2,11	15,1	4,01	0,54	2,08
M3	4	2	0,60	-	2,30	14,9	3,94	0,87	2,54
$\bar{X}$	-	-	0,48	-	1,86	15,12	4,11	0,68	2,39
SD	-	-	0,21	-	0,38	1,54	0,55	0,22	0,27
Min	-	-	0,29	-	0,91	11,41	2,35	0,12	1,78
Max	-	-	1,13	-	2,50	17,05	4,88	1,16	2,76

**Tab. 8 c:** Fettsäurezusammensetzung der Membranphospholipide in den Erythrozyten [%] nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C22:5(n-6)	C22:6(n-3)	C18:2(n6)/ C18:1(n-9)	C20:4(n-6)/ C20:5(n-3)
A1	1	1	0,49	4,68	0,53	17,6
A2	1	1	0,39	2,96	0,72	13,5
A3	1	1	0,60	1,86	0,62	12,3
A4	1	1	0,60	1,88	0,60	15,1
A5	1	1	0,59	2,35	0,77	13,1
A7	1	1	0,64	2,88	0,58	9,3
A8	1	1	0,31	4,19	0,62	10,5
A9	1	2	0,40	4,51	0,62	8,9
D1	1	1	0,60	3,00	0,66	25,3
D4	1	2	0,30	2,97	0,52	49,6
D5	1	2	0,30	3,38	0,61	22,8
E1	1	1	0,54	2,61	0,57	21,2
E2	1	1	0,40	3,59	0,58	16,8
E3	1	1	0,40	3,06	0,73	36,8
E4	1	1	0,30	4,02	0,68	13,0
E5	1	1	0,30	3,43	0,59	13,9
E6	1	1	0,20	4,27	0,65	9,9
E7	1	1	0,30	2,97	0,62	21,0

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C22:5(n-6)	C22:6(n-3)	C18:2(n6)/ C18:1(n-9)	C20:4(n-6)/ C20:5(n-3)
E8	1	1	0,62	3,80	0,62	24,6
E9	1	1	0,58	3,44	0,70	22,1
E19	1	1	0,67	3,23	0,68	23,0
E10	1	2	0,30	5,03	0,66	8,7
E11	1	2	0,30	4,32	0,63	10,5
E12	1	2	0,57	3,32	0,74	15,9
E13	1	2	0,20	4,03	0,65	17,9
E14	1	2	0,30	4,10	0,60	13,2
E16	1	2	0,20	5,95	0,69	10,1
G1	1	1	0,92	3,47	0,55	19,7
G3	1	1	0,55	6,69	0,57	8,5
G5	1	1	0,65	3,73	0,59	18,4
G6	1	1	0,79	3,25	0,60	29,0
G7	1	1	0,71	3,07	0,73	13,9
G8	1	1	0,51	4,00	0,57	15,2
G9	1	1	0,58	3,62	0,66	17,5
G10	1	1	0,86	2,88	0,70	22,7
G13	1	2	0,71	3,27	0,66	17,8
G14	1	2	0,83	3,56	0,81	19,7
G15	1	2	0,74	2,92	0,70	22,4
G16	1	2	0,76	3,10	0,76	23,0
G18	1	2	0,88	2,94	0,66	18,8
G19	1	2	0,79	2,78	0,60	16,6
$\bar{X}$	-	-	0,53	3,54	0,64	18,04
SD	-	-	0,20	0,93	0,07	7,78
Min	-	-	0,20	1,86	0,52	8,47
Max	-	-	0,92	6,69	0,81	49,60
B1	2	1	0,66	3,63	0,65	23,1
B2	2	1	0,61	3,69	0,60	25,6
B3	2	1	0,52	3,80	0,69	25,6
B4	2	1	0,69	3,74	0,68	31,6
B5	2	1	0,70	3,98	0,63	31,9
B6	2	1	0,71	3,24	0,66	35,8
B7	2	1	0,40	3,18	0,63	26,2
B8	2	1	0,61	3,31	0,60	23,6
J1	2	1	0,66	3,65	0,71	17,4
J3	2	2	0,80	3,79	0,84	29,0
J4	2	2	0,89	3,09	0,59	24,0
J5	2	2	0,96	3,44	0,65	27,6
J6	2	2	1,18	5,07	0,68	27,7
J7	2	2	0,79	4,25	0,61	17,7
J8	2	2	0,24	2,95	0,40	28,8
J9	2	2	0,62	3,86	0,66	23,4
$\bar{X}$	-	-	0,69	3,67	0,64	26,18
SD	-	-	0,21	0,50	0,08	4,70
Min	-	-	0,24	2,95	0,40	17,36
Max	-	-	1,18	5,07	0,84	35,84
C2	3	2	0,86	3,62	0,57	21,8
C3	3	2	0,20	2,95	0,57	20,9
C4	3	2	0,86	4,13	0,55	23,1
C5	3	2	0,10	4,40	0,56	24,0
H1	3	1	0,50	4,56	0,61	15,8

Nr.:	Sportart	Geschlecht	C22:5(n-6)	C22:6(n-3)	C18:2(n6)/ C18:1(n-9)	C20:4(n-6)/ C20:5(n-3)
H2	3	1	0,68	3,30	0,58	15,1
H3	3	1	0,67	3,51	0,64	13,0
H4	3	2	0,97	3,48	0,65	20,2
H5	3	2	0,40	4,28	0,67	11,4
H6	3	2	0,83	4,07	0,63	15,6
H7	3	2	1,04	4,03	0,62	18,1
K1	3	1	0,79	3,93	0,74	17,0
K3	3	2	0,83	3,77	0,84	25,0
K4	3	2	0,84	5,16	0,76	19,8
K5	3	2	0,92	5,32	0,62	16,6
L1	3	2	0,78	4,34	0,79	18,1
L2	3	2	0,55	6,02	0,53	16,6
L3	3	2	0,93	5,02	0,70	16,4
L4	3	2	0,93	4,56	0,62	30,3
N4	3	1	0,83	3,33	0,64	22,5
N8	3	1	0,60	3,64	0,54	14,9
$\bar{X}$	-	-	0,72	4,16	0,64	18,86
SD	-	-	0,24	0,74	0,08	4,37
Min	-	-	0,10	2,95	0,53	11,42
Max	-	-	1,04	6,02	0,84	30,28
F1	4	1	0,30	4,02	0,59	30,9
F2	4	1	0,30	2,66	0,58	21,4
F3	4	1	0,65	2,69	0,66	21,1
F4	4	1	0,88	4,63	0,68	32,1
F5	4	1	0,77	3,21	0,55	29,8
F7	4	2	0,68	3,06	0,60	26,2
F8	4	2	0,65	4,29	0,56	25,5
F9	4	2	0,65	4,24	0,61	23,1
F10	4	2	0,76	3,68	0,57	36,0
F11	4	2	0,58	3,56	0,69	22,4
F12	4	2	0,30	3,52	0,70	20,9
F13	4	2	0,58	3,45	0,64	21,3
I2	4	1	0,21	2,58	0,54	96,7
I3	4	1	0,66	4,28	0,65	12,8
I6	4	2	1,12	4,53	0,56	19,9
I8	4	2	0,97	3,07	0,62	24,2
I9	4	2	0,63	4,48	0,63	17,2
I10	4	2	0,72	2,54	0,67	19,8
M1	4	2	0,68	2,92	0,59	10,9
M2	4	2	0,60	3,16	0,62	28,0
M3	4	2	0,93	4,21	0,62	17,2
$\bar{X}$	-	-	0,65	3,56	0,62	26,55
SD	-	-	0,22	0,69	0,05	16,80
Min	-	-	0,21	2,54	0,54	10,87
Max	-	-	1,12	4,63	0,70	96,73

**Tab. 9 a:** Konzentrationen von Cholesterin (Chol), Triglyceriden (TG), Vitamin A, E, B<sub>12</sub>, Folsäure, Homocystein und Zink im Plasma der Athleten unterteilt nach Sportarten

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Chol [mg/dl]	TG [mg/dl]	Vit. A [µg/dl]	Vit. E [mg/dl]	Vit. B <sub>12</sub> [pg/ml]	Folsr. [ng/ml]	Hcy [µmol/l]	Zink [µg/dl]
A1	1	1	143	126	55,4	1,06	495	7,7	11,2	90,7
A2	1	1	165	50,2	43,1	1,19	544	14,7	10,5	116,7
A3	1	1	125	39,1	35,4	0,71	412	15,8	8,76	110,4
A4	1	1	175	38,0	40,1	0,78	348	9,8	10,8	109,2
A5	1	1	140	91,1	48,9	1,28	612	17,7	11,3	90,7
A7	1	1	134	117	53,5	0,94	346	8,0	9,36	93,6
A8	1	1	144	35,7	57,9	1,07	705	10,6	11,7	81,5
A9	1	2	178	45,2	42,0	1,15	697	18,0	6,69	100,5
D1	1	1	128	91,2	37,6	1,32	465	18,9	8,58	101,1
D4	1	2	160	127	58,0	1,03	339	16,0	8,10	-
D5	1	2	153	82,7	34,1	1,48	556	18,7	5,96	83,2
E1	1	1	147	68,7	56,7	1,08	496	19,5	6,61	88,4
E2	1	1	161	91,2	51,5	1,28	611	15,5	8,39	81,5
E3	1	1	132	30,2	34,0	0,81	590	16,9	8,11	88,4
E4	1	1	162	32,4	40,3	1,04	760	17,3	7,30	83,8
E5	1	1	170	70,5	50,1	1,28	455	7,5	8,05	78,6
E6	1	1	144	174	38,3	1,29	819	12,4	10,5	76,3
E7	1	1	133	68,6	41,0	1,31	692	12,1	10,8	84,4
E8	1	1	120	78,8	35,9	1,36	932	30,6	6,00	79,2
E9	1	1	220	83,6	68,8	0,91	500	13,0	7,37	93,6
E19	1	1	82,3	64,4	34,4	0,76	674	9,1	8,96	76,9
E10	1	2	180	132	47,3	1,69	872	15,5	7,52	84,9
E11	1	2	155	26,9	50,0	1,32	525	11,5	8,19	92,5
E12	1	2	120	75,9	43,4	0,83	369	10,1	8,11	82,6
E13	1	2	120	90,4	51,0	1,00	350	14,1	6,91	78,6
E14	1	2	180	98,0	59,1	1,47	599	11,6	9,10	79,2
E16	1	2	172	87,5	49,0	1,29	667	15,7	7,90	80,3
G1	1	1	165	106	38,0	1,07	466	6,4	13,5	97,7
G3	1	1	157	75,8	44,5	0,93	507	7,1	12,1	74,5
G5	1	1	152	31,3	48,4	1,08	423	11,0	10,0	88,4
G6	1	1	80,4	85,5	30,9	0,89	385	6,1	16,4	83,8
G7	1	1	136	43,2	36,8	0,92	367	12,2	9,40	90,1
G8	1	1	131	61,1	34,6	0,90	-	-	-	-
G9	1	1	180	88,4	37,9	1,30	528	9,8	6,68	-
G10	1	1	148	71,1	44,0	1,18	439	7,5	7,66	84,9
G13	1	2	115	34,6	27,0	1,22	368	10,7	12,6	70,5
G14	1	2	166	52,9	39,9	1,08	663	13,7	7,83	78,0
G15	1	2	144	190	37,4	1,39	258	7,8	8,93	78,6
G16	1	2	131	44,2	40,1	1,10	333	10,6	11,0	68,8
G18	1	2	172	33,6	35,0	0,99	484	14,6	6,53	86,7
G19	1	2	172	53,8	47,3	0,94	1100	9,7	7,40	81,5
X̄	-	-	149	75,3	43,9	1,12	544	12,9	9,06	86,6
SD	-	-	26,3	37,2	8,91	0,22	180	4,72	2,20	10,5
Min	-	-	80,4	26,9	27,0	0,71	258	6,10	5,96	68,8
Max	-	-	220	190	68,8	1,69	1100	30,6	16,4	117
B1	2	1	123	102	47,8	0,92	283	6,2	17,1	74,5
B2	2	1	168	191	53,5	1,49	434	13,3	7,92	101,7
B3	2	1	209	82,7	38,3	0,98	260	9,1	9,88	89,6
B4	2	1	195	38,0	38,1	0,95	523	8,9	8,49	96,5
B5	2	1	154	45,1	30,6	1,06	736	9,7	7,53	89,0
B6	2	1	127	62,9	31,6	0,79	422	8,1	8,28	83,8
B7	2	1	132	45,1	42,5	1,11	415	12,1	11,7	72,8
B8	2	1	129	51,9	61,3	1,01	602	9,1	5,83	112,1
J1	2	1	142	73,8	39,4	1,04	558	11,5	7,00	80,3
J3	2	2	151	142	58,6	1,09	405	6,8	9,43	82,6
J4	2	2	149	78,2	60,5	0,81	329	17,4	11,5	80,3

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Chol [mg/dl]	TG [mg/dl]	Vit. A [µg/dl]	Vit. E [mg/dl]	Vit. B <sub>12</sub> [pg/ml]	Folsr. [ng/ml]	Hcy [µmol/l]	Zink [µg/dl]
J5	2	2	161	48,8	63,6	0,79	320	8,2	8,35	100,5
J6	2	2	191	54,5	57,4	0,98	363	9,5	4,12	105,7
J7	2	2	187	51,7	55,5	0,92	672	12,1	8,84	90,1
J8	2	2	125	26,9	35,6	0,91	478	10,7	10,7	94,8
J9	2	2	134	94,2	71,1	1,10	682	11,5	8,26	112,1
$\bar{X}$	-	-	154,9	74,3	49,1	1,00	467,6	10,3	9,05	91,7
SD	-	-	26,8	40,9	12,2	0,16	143,2	2,66	2,80	12,0
Min	-	-	123,4	26,9	30,6	0,79	260,0	6,19	4,12	72,8
Max	-	-	208,9	190,6	71,1	1,49	736,0	17,4	17,1	112,1
C2	3	2	223	66,6	51,6	1,84	448	10,0	8,57	100,5
C3	3	2	202	52,3	30,1	1,50	557	8,4	9,38	85,5
C4	3	2	210	104	43,1	0,97	424	12,3	9,82	88,4
C5	3	2	201	78,2	59,4	0,95	389	16,7	9,33	89,0
H1	3	1	115	82,0	45,5	0,88	434	9,9	9,12	81,5
H2	3	1	90,7	49,2	39,9	0,82	423	8,1	8,27	68,8
H3	3	1	128	61,4	48,1	0,94	516	13,0	8,13	87,3
H4	3	2	216	76,0	37,9	1,29	460	14,6	8,21	90,7
H5	3	2	187	61,1	44,0	0,91	732	13,1	9,40	77,4
H6	3	2	202	194	35,8	1,37	648	12,6	11,4	80,9
H7	3	2	147	55,4	34,0	0,85	558	30,4	6,94	90,1
K1	3	1	187	57,4	31,9	1,02	656	9,1	10,5	103,4
K3	3	2	163	67,6	34,5	1,11	672	15,1	11,6	114,4
K4	3	2	150	50,3	30,4	1,27	843	14,7	7,59	83,2
K5	3	2	177	43,6	33,4	0,85	594	15,0	7,73	76,9
L1	3	2	150	48,2	33,1	0,99	577	15,0	9,65	94,8
L2	3	2	142	76,9	55,2	1,06	526	7,6	5,36	72,8
L3	3	2	171	72,6	48,3	0,89	593	8,5	9,39	103,4
L4	3	2	161	80,4	48,1	1,18	417	7,4	9,51	94,2
N4	3	1	189	90,2	34,3	1,11	422	15,5	7,98	89,6
N8	3	1	248	160	45,4	1,63	578	14,0	8,12	100,0
$\bar{X}$	-	-	174,1	77,5	41,1	1,12	546,0	12,9	8,86	89,2
SD	-	-	37,4	36,0	8,36	0,27	116,6	4,89	1,41	10,9
Min	-	-	90,7	43,6	30,1	0,82	389,0	7,41	5,36	68,8
Max	-	-	247,5	194,5	59,4	1,84	843,0	30,4	11,6	114,4
F1	4	1	158	75,8	35,8	1,10	413	13,5	7,67	87,8
F2	4	1	193	56,4	37,0	1,18	731	8,3	9,53	91,9
F3	4	1	162	88,3	37,6	0,94	403	10,5	7,46	79,2
F4	4	1	204	25,7	28,0	0,82	456	13,0	7,01	72,2
F5	4	1	108	16,0	31,4	0,84	335	12,5	9,95	77,4
F7	4	2	135	45,1	35,3	0,65	462	11,5	12,1	71,7
F8	4	2	164	149	36,4	1,12	557	11,7	12,2	87,3
F9	4	2	137	63,4	33,5	1,03	747	11,4	3,25	95,3
F10	4	2	136	-	44,9	1,48	497	8,8	10,6	89,0
F11	4	2	179	96,1	34,8	1,32	707	9,6	10,4	109,8
F12	4	2	153	39,4	27,4	1,05	902	9,6	5,53	108,6
F13	4	2	193	84,6	40,5	1,07	295	6,9	10,4	65,9
I2	4	1	120	89,2	47,9	1,20	493	6,1	15,8	94,8
I3	4	1	144	41,0	33,8	0,98	429	9,4	8,29	71,7
I6	4	2	130	149	50,5	1,39	397	10,1	6,89	71,7
I8	4	2	186	104	48,3	1,12	578	8,2	8,11	80,9
I9	4	2	167	46,0	34,8	0,94	449	12,2	5,84	80,9
I10	4	2	133	101	33,3	0,83	520	8,3	8,44	97,7
M1	4	2	205	66,6	33,4	1,82	657	15,7	6,37	100,5
M2	4	2	111	76,9	33,3	0,86	932	12,4	5,99	102,9
M3	4	2	43,7	70,4	27,8	0,80	815	11,0	6,01	82,1
$\bar{X}$	-	-	150,5	74,2	36,4	1,07	560,7	10,5	8,46	86,6
SD	-	-	37,3	34,6	6,43	0,26	178,6	2,28	2,77	12,6
Min	-	-	43,7	16,0	27,4	0,65	295,0	6,06	3,25	65,9

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Chol	TG	Vit. A	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsr.	Hcy	Zink
-	-	-	[mg/dl]	[mg/dl]	[µg/dl]	[mg/dl]	[pg/ml]	[ng/ml]	[µmol/l]	[µg/dl]
Max	-	-	204,7	149,4	50,5	1,82	932,0	15,7	15,8	109,8

**Tab. 9 b:** Konzentrationen von Cholesterin (Chol), Triglyceriden (TG), Vitamin A, E, B<sub>12</sub>, Folsäure, Homocystein und Zink im Plasma der Athleten unterteilt nach Geschlecht

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Chol	TG	Vit. A	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsr.	Hcy	Zink
-	-	-	[mg/dl]	[mg/dl]	[µg/dl]	[mg/dl]	[pg/ml]	[ng/ml]	[µmol/l]	[µg/dl]
A1	1	1	143	126	55,4	1,06	495	7,7	11,2	90,7
A2	1	1	165	50,2	43,1	1,19	544	14,7	10,5	116,7
A3	1	1	125	39,1	35,4	0,71	412	15,8	8,76	110,4
A4	1	1	175	38,0	40,1	0,78	348	9,8	10,8	109,2
A5	1	1	140	91,1	48,9	1,28	612	17,7	11,3	90,7
A7	1	1	134	117	53,5	0,94	346	8,0	9,36	93,6
A8	1	1	144	35,7	57,9	1,07	705	10,6	11,7	81,5
D1	1	1	128	91,2	37,6	1,32	465	18,9	8,58	101,1
E1	1	1	147	68,7	56,7	1,08	496	19,5	6,61	88,4
E2	1	1	161	91,2	51,5	1,28	611	15,5	8,39	81,5
E3	1	1	132	30,2	34,0	0,81	590	16,9	8,11	88,4
E4	1	1	162	32,4	40,3	1,04	760	17,3	7,30	83,8
E5	1	1	170	70,5	50,1	1,28	455	7,5	8,05	78,6
E6	1	1	144	174	38,3	1,29	819	12,4	10,5	76,3
E7	1	1	133	68,6	41,0	1,31	692	12,1	10,8	84,4
E8	1	1	120	78,8	35,9	1,36	932	30,6	6,00	79,2
E9	1	1	220	83,6	68,8	0,91	500	13,0	7,37	93,6
E19	1	1	82,3	64,4	34,4	0,76	674	9,1	8,96	76,9
G1	1	1	165	106	38,0	1,07	466	6,4	13,5	97,7
G3	1	1	157	75,8	44,5	0,93	507	7,1	12,1	74,5
G5	1	1	152	31,3	48,4	1,08	423	11,0	10,0	88,4
G6	1	1	80,4	85,5	30,9	0,89	385	6,1	16,4	83,8
G7	1	1	136	43,2	36,8	0,92	367	12,2	9,40	90,1
G8	1	1	131	61,1	34,6	0,90	-	-	-	-
G9	1	1	180	88,4	37,9	1,30	528	9,8	6,68	-
G10	1	1	148	71,1	44,0	1,18	439	7,5	7,66	84,9
B1	2	1	123	102	47,8	0,92	283	6,2	17,1	74,5
B2	2	1	168	191	53,5	1,49	434	13,3	7,92	101,7
B3	2	1	209	82,7	38,3	0,98	260	9,1	9,88	89,6
B4	2	1	195	38,0	38,1	0,95	523	8,9	8,49	96,5
B5	2	1	154	45,1	30,6	1,06	736	9,7	7,53	89,0
B6	2	1	127	62,9	31,6	0,79	422	8,1	8,28	83,8
B7	2	1	132	45,1	42,5	1,11	415	12,1	11,7	72,8
B8	2	1	129	51,9	61,3	1,01	602	9,1	5,83	112,1
J1	2	1	142	73,8	39,4	1,04	558	11,5	7,00	80,3
H1	3	1	115	82,0	45,5	0,88	434	9,9	9,12	81,5
H2	3	1	90,7	49,2	39,9	0,82	423	8,1	8,27	68,8
H3	3	1	128	61,4	48,1	0,94	516	13,0	8,13	87,3
K1	3	1	187	57,4	31,9	1,02	656	9,1	10,5	103,4
N4	3	1	189	90,2	34,3	1,11	422	15,5	7,98	89,6
N8	3	1	248	160	45,4	1,63	578	14,0	8,12	100,0
F1	4	1	158	75,8	35,8	1,10	413	13,5	7,67	87,8
F2	4	1	193	56,4	37,0	1,18	731	8,3	9,53	91,9
F3	4	1	162	88,3	37,6	0,94	403	10,5	7,46	79,2
F4	4	1	204	25,7	28,0	0,82	456	13,0	7,01	72,2

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Chol	TG	Vit. A	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsr.	Hcy	Zink
-	-	-	[mg/dl]	[mg/dl]	[µg/dl]	[mg/dl]	[pg/ml]	[ng/ml]	[µmol/l]	[µg/dl]
F5	4	1	108	16,0	31,4	0,84	335	12,5	9,95	77,4
I2	4	1	120	89,2	47,9	1,20	493	6,1	15,8	94,8
I3	4	1	144	41,0	33,8	0,98	429	9,4	8,29	71,7
$\bar{X}$	-	-	150,0	72,9	42,0	1,05	512,6	11,7	9,39	88,1
SD	-	-	33,5	36,1	8,86	0,20	141,2	4,47	2,47	11,2
Min	-	-	80,4	16,0	28,0	0,71	260,0	6,06	5,83	68,8
Max	-	-	247,5	190,6	68,8	1,63	932,0	30,6	17,1	116,7
A9	1	2	178	45,2	42,0	1,15	697	18,0	6,69	100,5
D4	1	2	160	127	58,0	1,03	339	16,0	8,10	-
D5	1	2	153	82,7	34,1	1,48	556	18,7	5,96	83,2
E10	1	2	180	132	47,3	1,69	872	15,5	7,52	84,9
E11	1	2	155	26,9	50,0	1,32	525	11,5	8,19	92,5
E12	1	2	120	75,9	43,4	0,83	369	10,1	8,11	82,6
E13	1	2	120	90,4	51,0	1,00	350	14,1	6,91	78,6
E14	1	2	180	98,0	59,1	1,47	599	11,6	9,10	79,2
E16	1	2	172	87,5	49,0	1,29	667	15,7	7,90	80,3
G13	1	2	115	34,6	27,0	1,22	368	10,7	12,6	70,5
G14	1	2	166	52,9	39,9	1,08	663	13,7	7,83	78,0
G15	1	2	144	190	37,4	1,39	258	7,8	8,93	78,6
G16	1	2	131	44,2	40,1	1,10	333	10,6	11,0	68,8
G18	1	2	172	33,6	35,0	0,99	484	14,6	6,53	86,7
G19	1	2	172	53,8	47,3	0,94	1100	9,7	7,40	81,5
J3	2	2	151	142	58,6	1,09	405	6,8	9,43	82,6
J4	2	2	149	78,2	60,5	0,81	329	17,4	11,5	80,3
J5	2	2	161	48,8	63,6	0,79	320	8,2	8,35	100,5
J6	2	2	191	54,5	57,4	0,98	363	9,5	4,12	105,7
J7	2	2	187	51,7	55,5	0,92	672	12,1	8,84	90,1
J8	2	2	125	26,9	35,6	0,91	478	10,7	10,7	94,8
J9	2	2	134	94,2	71,1	1,10	682	11,5	8,26	112,1
C2	3	2	223	66,6	51,6	1,84	448	10,0	8,57	100,5
C3	3	2	202	52,3	30,1	1,50	557	8,4	9,38	85,5
C4	3	2	210	104	43,1	0,97	424	12,3	9,82	88,4
C5	3	2	201	78,2	59,4	0,95	389	16,7	9,33	89,0
H4	3	2	216	76,0	37,9	1,29	460	14,6	8,21	90,7
H5	3	2	187	61,1	44,0	0,91	732	13,1	9,40	77,4
H6	3	2	202	194	35,8	1,37	648	12,6	11,4	80,9
H7	3	2	147	55,4	34,0	0,85	558	30,4	6,94	90,1
K3	3	2	163	67,6	34,5	1,11	672	15,1	11,6	114,4
K4	3	2	150	50,3	30,4	1,27	843	14,7	7,59	83,2
K5	3	2	177	43,6	33,4	0,85	594	15,0	7,73	76,9
L1	3	2	150	48,2	33,1	0,99	577	15,0	9,65	94,8
L2	3	2	142	76,9	55,2	1,06	526	7,6	5,36	72,8
L3	3	2	171	72,6	48,3	0,89	593	8,5	9,39	103,4
L4	3	2	161	80,4	48,1	1,18	417	7,4	9,51	94,2
F7	4	2	135	45,1	35,3	0,65	462	11,5	12,1	71,7
F8	4	2	164	149	36,4	1,12	557	11,7	12,2	87,3
F9	4	2	137	63,4	33,5	1,03	747	11,4	3,25	95,3
F10	4	2	136	-	44,9	1,48	497	8,8	10,6	89,0
F11	4	2	179	96,1	34,8	1,32	707	9,6	10,4	109,8
F12	4	2	153	39,4	27,4	1,05	902	9,6	5,53	108,6
F13	4	2	193	84,6	40,5	1,07	295	6,9	10,4	65,9
I6	4	2	130	149	50,5	1,39	397	10,1	6,89	71,7

Nr.:	Sportart	Geschlecht	Chol	TG	Vit. A	Vit. E	Vit. B <sub>12</sub>	Folsr.	Hcy	Zink
-	-	-	[mg/dl]	[mg/dl]	[µg/dl]	[mg/dl]	[pg/ml]	[ng/ml]	[µmol/l]	[µg/dl]
I8	4	2	186	104	48,3	1,12	578	8,2	8,11	80,9
I9	4	2	167	46,0	34,8	0,94	449	12,2	5,84	80,9
I10	4	2	133	101	33,3	0,83	520	8,3	8,44	97,7
M1	4	2	205	66,6	33,4	1,82	657	15,7	6,37	100,5
M2	4	2	111	76,9	33,3	0,86	932	12,4	5,99	102,9
M3	4	2	43,7	70,4	27,8	0,80	815	11,0	6,01	82,1
$\bar{x}$	-	-	160,5	77,8	43,0	1,12	556,5	12,2	8,43	87,97
SD	-	-	31,9	37,9	10,65	0,26	182,0	3,99	2,06	11,73
Min	-	-	43,7	26,9	27,0	0,65	258,0	6,79	3,25	65,90
Max	-	-	222,8	194,5	71,1	1,84	1100	30,4	12,6	114,4

Tab. 10: Anthropometrische Daten und Trainingsumfang der Sportler

Gruppe	Geschlecht	Sportart	Alter	Größe	Gewicht	BMI	Körperfett	Training	Training
	-	-	[a]	[m]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[h/w]	[d/w]
1	2	2	18	1,71	72,0	24,6	18,1	14,3	5,83
1	2	2	20	1,70	62,0	21,6	9,1	13,4	5,83
1	2	2	17	1,72	64,5	21,9	12,5	11,1	4,83
1	2	2	18	1,60	58,0	22,7	8,5	18,7	5,17
1	2	2	17	1,63	64,0	24,2	15,9	13,4	5,33
1	2	1	15	1,71	47,0	16,2	10,0	19,6	5,33
1	2	1	14	1,70	58,5	20,2	14,3	20,9	5,83
1	1	2	15	1,75	78,0	25,6	16,1	8,5	3,67
1	1	2	16	1,76	70,0	22,6	9,0	17,0	5,50
$\bar{X}$	-	-	16,7	1,70	63,8	22,2	12,6	15,2	5,26
SD	-	-	1,76	0,05	8,53	2,64	3,42	3,89	0,65
Min	-	-	14,0	1,60	47,0	16,2	8,50	8,50	3,67
Max	-	-	20,0	1,76	78,0	25,6	18,1	20,9	5,83
2	2	2	19	1,71	72,0	24,8	9,9	18,7	5,67
2	2	2	18	1,69	65,0	22,8	11,0	15,0	5,50
2	2	2	19	1,71	59,0	20,3	9,7	13,5	4,17
2	1	1	23	1,99	94,5	23,9	9,4	22,7	5,50
2	1	1	22	1,95	90,0	23,7	7,4	22,7	5,50
2	2	1	16	1,84	72,0	21,3	13,6	12,3	5,67
2	2	1	15	1,67	56,5	20,4	14,9	13,2	4,33
2	2	1	14	1,63	51,0	19,3	10,7	20,3	5,33
2	2	1	13	1,67	50,5	18,2	15,1	19,6	5,67
2	1	1	14	1,87	63,5	18,2	9,6	18,8	5,50
2	1	1	16	1,76	59,5	19,2	3,9	20,8	5,67
2	1	2	15	1,68	63,0	22,3	10,7	12,7	4,50
2	1	2	16	1,79	68,0	21,3	9,3	14,7	5,00
$\bar{X}$	-	-	16,9	1,76	66,5	21,2	10,4	17,3	5,23
SD	-	-	2,97	0,11	12,8	2,09	2,88	3,71	0,53
Min	-	-	13,0	1,63	50,5	18,2	3,90	12,3	4,17
Max	-	-	23,0	1,99	94,5	24,8	15,1	22,7	5,67
3	2	2	22	1,76	57,0	18,5	2,6	9,3	3,33
3	2	2	19	1,78	66,5	21,1	8,8	11,3	5,50
3	2	2	17	1,74	70,0	23,1	13,8	7,7	3,83
3	2	2	18	1,73	62,5	20,9	10,7	6,0	3,17
3	1	2	17	1,81	74,5	22,9	5,4	7,6	3,50
3	1	1	19	1,90	89,5	24,8	10,0	20,0	5,00
3	1	2	17	1,71	68,0	23,3	9,5	14,5	5,50
3	1	2	16	1,50	42,5	19,0	4,8	21,8	5,50
3	1	1	16	1,82	71,5	21,6	9,3	17,5	4,83
3	1	1	15	1,78	63,0	19,9	8,0	21,3	5,50
3	1	2	15	1,61	43,0	16,7	6,7	17,6	4,67
3	1	1	15	1,81	73,0	22,3	9,6	18,8	6,00
3	1	2	15	1,67	55,0	19,8	9,6	9,9	4,17
3	1	2	14	1,64	47,0	17,6	6,0	12,7	4,33
$\bar{X}$	-	-	16,8	1,73	63,1	20,8	8,20	14,0	4,63
SD	-	-	2,08	0,10	12,7	2,27	2,75	5,29	0,89
Min	-	-	14,0	1,50	42,5	16,7	2,60	6,00	3,17
Max	-	-	22,0	1,90	89,5	24,8	13,8	21,8	6,00

**Tab. 11:** Ergebnisse des Gesundheitsfragebogens und des Protokolls zur Erfassung der Gesundheits- und Krankheitstage der Athleten innerhalb der drei Gruppen

	Vor der Zinksupplementierung				Während der Zink- Einnahme	
	(Gesundheitsfragebogen)				(Protokoll zur Erfassung der Gesundheits- u. Krankheits- tage)	
Gruppe	Oft abgespannt	Mittelmäßige Wundheilung	Unzufrieden mit Gesundheit	Oft Atemwegs- erkrankungen	Krankheitstage in Wo 1 bis 4	Krankheitstage in Wo 5 und 6
1	ja	ja	ja	nein	4	0
1	ja	nein	ja	ja	0	0
1	nein	ja	ja	nein	4	0
1	ja	ja	ja	ja	9	5
1	ja	nein	ja	nein	0	0
1	nein	ja	nein	nein	3	1
1	nein	ja	ja	nein	4	3
1	ja	ja	ja	nein	4	0
1	ja	nein	ja	nein	2	0
<b>I:[%]</b>	<b>66,7</b>	<b>66,7</b>	<b>88,9</b>	<b>22,2</b>	<b>11,9</b>	<b>7,1</b>
2	nein	nein	nein	nein	1	0
2	nein	nein	nein	ja	7	0
2	nein	nein	nein	nein	7	0
2	ja	ja	nein	ja	0	0
2	ja	ja	ja	ja	0	0
2	nein	ja	nein	nein	0	0
2	nein	nein	ja	nein	14	6
2	nein	nein	nein	nein	9	0
2	ja	nein	nein	nein	0	0
2	nein	nein	ja	nein	10	0
2	ja	ja	nein	nein	1	2
2	ja	nein	ja	nein	9	0
2	nein	nein	nein	ja	0	0
<b>II:[%]</b>	<b>38,5</b>	<b>30,8</b>	<b>30,8</b>	<b>30,8</b>	<b>15,9</b>	<b>4,4</b>
3	nein	nein	nein	nein	7	3
3	ja	ja	ja	nein	5	0
3	nein	ja	nein	nein	0	4
3	nein	ja	nein	nein	6	0
3	nein	nein	nein	nein	0	0
3	nein	nein	ja	ja	4	2
3	ja	nein	nein	nein	6	0
3	ja	ja	ja	nein	0	0
3	nein	ja	ja	nein	5	0
3	nein	ja	nein	nein	0	1
3	ja	ja	ja	nein	3	0
3	ja	ja	nein	nein	0	0
3	nein	nein	nein	ja	2	0
3	ja	nein	ja	nein	0	0
<b>III:[%]</b>	<b>42,9</b>	<b>57,1</b>	<b>42,9</b>	<b>14,3</b>	<b>9,7</b>	<b>5,1</b>

Tab. 12: Hämatologische Parameter und Parameter des Zinkstatus vor und nach der Zinkgabe

Gruppe	Vor der Zink-Einnahme				Nach der Zink-Einnahme				Vor der Zink-Einnahme			Nach der Zink-Einnahme		
	HK	Hb	MCHC	Hpt	HK	Hb	MCHC	Hpt	Zink	Zn-Bind.	AP	Zink	Zn-Bind.	AP
	-	[g/dl]	[g/dl]	[g/l]	-	[g/dl]	[g/dl]	[g/l]	[µg/dl]	[%]	[U/l]	[µg/dl]	[%]	[U/l]
1	0,50	16,2	32,4	1,16	0,43	13,9	32,3	1,20	74,1	77,0	74,4	91,4	74,8	66,6
1	0,40	12,9	32,3	0,47	0,44	14,3	32,5	0,35	79,9	73,9	87,6	98,6	71,4	80,4
1	0,45	15,5	34,4	0,54	0,46	15,0	32,6	0,64	69,1	79,7	89,8	103,6	70,4	73,4
1	0,52	17,2	33,1	0,69	0,44	15,8	35,9	0,88	74,8	79,1	81,2	89,9	74,9	72,4
1	0,43	13,9	32,2	-	0,40	13,5	33,8	-	57,6	80,3	124	69,1	78,4	98
1	0,49	16,1	32,8	0,31	0,48	14,4	30,0	0,54	77,0	68,8	269	106,5	67,1	295
1	0,52	16,7	32,2	0,43	0,45	14,4	32,0	0,40	75,5	75,7	126	95,7	71,3	98
1	0,52	16,6	31,9	0,59	0,50	17,0	34,0	0,44	67,6	79,7	188	127,3	57,5	157
1	0,54	17,3	32,0	0,46	0,50	16,3	32,6	0,41	76,3	76,6	292	90,6	72,7	240
$\bar{X}$	0,49	15,8	32,6	0,58	0,46	15,0	32,9	0,61	72,4	76,8	148	97,0	70,9	131
SD	0,05	1,42	0,74	0,24	0,03	1,10	1,52	0,28	6,36	3,48	78,1	14,76	5,62	78,2
Min	0,40	12,9	31,9	0,31	0,40	13,5	30,0	0,35	57,6	68,8	74,4	69,1	57,5	66,6
Max	0,54	17,3	34,4	1,16	0,50	17,0	35,9	1,20	79,9	80,3	292	127,3	78,4	295
2	0,42	13,2	31,4	0,47	0,43	13,9	32,3	1,01	89,2	72,9	129	72,7	78,9	105
2	0,48	15,7	32,7	0,43	0,51	16,8	32,9	1,17	-	73,5	96,1	82,0	75,7	120,1
2	0,40	13,0	32,6	0,67	0,41	13,3	32,4	0,78	87,8	76,0	141	100,7	71,4	120
2	0,53	17,4	32,7	0,06	0,53	17,1	32,3	0,06	85,6	71,4	95,3	79,9	75,9	87,9
2	0,48	15,6	32,4	0,66	0,50	16,0	32,0	0,59	95,0	71,9	131	89,2	73,2	103
2	0,48	16,1	33,6	0,41	0,46	14,7	32,0	0,31	95,0	69,6	195	69,8	77,1	149
2	0,46	14,9	32,4	1,33	0,48	15,8	32,9	1,15	85,6	74,3	259	103,6	70,6	229
2	0,48	14,5	30,2	0,49	0,44	14,7	33,4	0,57	90,6	69,1	177	97,8	69,9	179
2	0,51	16,7	32,7	0,48	0,52	16,7	32,1	0,40	83,5	70,1	488	106,3	67,5	419
2	0,57	18,3	32,1	0,57	0,48	15,4	32,1	0,41	88,5	72,1	388	89,2	73,4	286
2	0,64	20,6	32,2	0,43	0,52	17,3	33,3	0,65	89,2	73,8	292	95,7	71,8	159
2	0,51	16,5	32,3	-	0,51	16,1	31,6	-	89,2	73,8	200	116,5	66,6	193
2	0,50	16,3	32,5	0,67	0,52	17,9	34,4	0,77	84,2	75,2	254	135,2	63,6	181
$\bar{X}$	0,50	16,0	32,3	0,56	0,49	15,8	32,6	0,66	88,6	72,6	219	95,3	72,0	179
SD	0,06	1,95	0,76	0,28	0,04	1,32	0,74	0,33	3,55	2,07	112	17,37	4,23	87,4
Min	0,40	13,0	30,2	0,06	0,41	13,3	31,6	0,06	83,5	69,1	95,3	69,8	63,6	87,9
Max	0,64	20,6	33,6	1,33	0,53	17,9	34,4	1,17	95,0	76,0	488	135,2	78,9	419
3	0,44	14,2	32,3	0,65	0,45	14,3	31,8	1,14	106,5	66,7	118	106,5	68,8	118
3	0,48	15,5	32,3	0,42	0,56	11,3	20,2	0,33	102,2	72,6	115	86,3	74,9	101
3	0,38	12,5	32,9	0,38	0,47	15,2	32,3	0,46	99,3	67,2	156	76,3	76,8	124
3	0,41	13,0	31,7	0,61	0,48	15,5	32,3	0,42	101,4	70,4	95,0	69,1	81,0	61,1
3	0,50	16,2	32,4	0,39	0,45	14,5	32,2	0,68	109,4	63,6	296	102,9	68,6	225
3	0,55	17,6	32,0	0,06	0,51	16,2	31,8	0,06	102,2	67,7	122	92,1	72,5	103
3	0,59	19,3	32,7	0,40	0,54	18,8	34,8	0,34	97,8	69,6	270	118,7	63,8	197
3	0,52	16,8	32,3	-	0,49	15,0	30,6	-	101,4	70,1	316	100,7	72,3	321
3	0,52	16,7	32,2	0,53	0,49	16,1	32,9	0,37	100,0	70,3	248	91,4	70,9	239
3	0,52	16,7	32,1	0,69	0,45	14,8	32,9	0,95	102,2	69,7	339	100,0	-	267
3	0,52	15,8	30,4	0,45	0,40	13,3	33,3	0,20	102,9	69,0	565	103,6	68,2	466
3	0,51	16,5	32,4	0,16	0,48	14,6	30,4	0,06	101,4	69,0	-	110,8	65,0	571
3	0,49	16,0	32,7	-	0,40	13,8	34,5	-	95,7	70,9	566	99,3	69,0	467
3	0,48	15,7	32,8	0,32	0,48	15,2	31,7	0,37	104,3	72,5	432	88,5	73,8	288
$\bar{X}$	0,49	15,9	32,2	0,42	0,48	14,9	31,5	0,45	102	69,3	280	96,1	71,2	253
SD	0,05	1,69	0,60	0,18	0,04	1,61	3,37	0,31	3,27	2,27	157	12,8	4,57	151
Min	0,38	12,5	30,4	0,06	0,40	11,3	20,2	0,06	95,7	63,6	95,0	69,1	63,8	61,1
Max	0,59	19,3	32,9	0,69	0,56	18,8	34,8	1,14	109	72,6	566	119	81,0	571

**Tab. 13:** Hämolyserate der Erythrozyten in hypotonen NaCl-Lösungen (0,38 % -0,44 %) angegeben in Prozenten

Gruppe	Vor der Zinksupplementierung				Nach der Zinksupplementierung			
	0,38%	0,40%	0,42%	0,44%	0,38%	0,40%	0,42%	0,44%
1	80,7	56,3	39,4	14,3	75,4	54,2	63,6	16,1
1	90,9	89,8	58,4	26,1	96,1	84,4	55,6	33,5
1	92,2	91,3	76,7	45,6	96,9	87,6	80,1	64,7
1	89,7	76,6	31,7	13,3	92,7	66,3	42,7	23,5
1	92,3	88,1	71,3	39,9	98,9	88,1	51,7	32,0
1	87,5	62,8	17,3	7,9	94,9	62,8	24,5	12,9
1	90,6	81,8	48,7	20,0	91,7	69,2	39,3	22,2
1	94,1	91,3	60,2	25,6	98,7	78,4	41,2	22,9
1	91,6	66,8	16,2	7,7	86,2	57,9	23,3	12,3
$\bar{X}$	90,0	78,3	46,7	22,3	92,4	72,1	46,9	26,7
SD	3,71	12,6	20,8	12,7	7,08	12,2	17,2	15,2
Min	80,7	56,3	16,2	7,71	75,4	54,2	23,3	12,3
Max	94,1	91,3	76,7	45,6	98,9	88,1	80,1	64,7
2	75,9	74,1	45,2	9,0	96,8	85,0	84,0	49,5
2	89,7	82,5	57,8	13,4	88,7	77,8	53,4	31,3
2	92,4	87,4	50,8	22,4	95,4	76,8	46,7	38,4
2	91,9	80,9	24,5	9,7	92,8	79,0	47,3	22,8
2	87,6	78,8	44,0	17,9	97,7	62,6	33,3	17,5
2	89,5	85,8	45,4	18,5	93,0	68,4	33,8	20,0
2	91,3	86,8	55,5	22,5	95,8	71,4	39,1	22,3
2	89,5	78,1	27,9	11,1	98,8	78,1	48,9	27,8
2	88,6	72,7	23,3	9,7	89,5	72,7	22,5	12,3
2	89,0	84,3	38,9	12,2	71,4	49,5	13,7	7,5
2	86,7	82,1	31,5	11,8	97,5	68,3	28,5	17,3
2	93,9	90,6	63,1	21,7	99,1	88,0	62,9	40,3
2	92,5	86,6	59,1	29,0	96,9	82,7	50,4	24,1
$\bar{X}$	89,1	82,4	43,6	16,1	93,3	73,9	43,4	25,5
SD	4,32	5,13	13,06	6,11	7,08	9,84	17,5	11,4
Min	75,9	72,7	23,3	9,00	71,4	49,5	13,7	7,49
Max	93,9	90,6	63,1	29,0	99,1	88,0	84,0	49,5
3	84,1	71,9	39,5	13,2	91,9	63,0	58,4	16,1
3	90,2	89,0	76,6	45,3	93,8	86,6	78,6	59,1
3	92,4	90,0	68,0	29,5	96,5	84,9	73,1	44,7
3	90,2	88,0	71,7	42,3	97,4	89,0	80,6	72,4
3	88,9	84,8	23,6	7,1	96,3	87,1	87,4	38,6
3	88,3	68,2	17,0	8,2	90,3	60,2	25,2	14,1
3	93,5	86,5	54,5	19,7	99,7	78,6	36,5	16,9
3	84,7	57,1	14,4	7,6	100,4	39,4	15,3	9,9
3	89,7	87,1	58,3	23,9	92,0	80,2	59,7	38,0
3	87,0	72,2	18,4	8,4	94,1	53,9	19,0	11,0
3	91,0	86,5	44,5	12,8	76,7	59,1	22,7	12,2
3	92,4	86,5	39,8	13,4	86,3	68,0	36,8	21,1
3	94,6	92,8	70,3	26,4	98,2	76,6	28,7	14,8
3	87,7	74,8	35,5	13,0	95,4	59,8	26,3	16,9
$\bar{X}$	89,6	81,1	45,2	19,3	93,5	70,5	46,3	27,6
SD	2,98	10,0	21,0	12,2	5,95	14,5	24,7	19,1
Min	84,1	57,1	14,4	7,05	76,7	39,4	15,3	9,92
Max	94,6	92,8	76,6	45,3	100,4	89,0	87,4	72,4

**Tab. 14:** Serumkonzentrationen von IgG, IgM und die Leukozytensubpopulationen [%] vor und nach der Zinkgabe

Gruppe	Vor der Zinksupplementierung					Nach der Zinksupplementierung				
	IgG [g/l]	IgM [g/l]	Granulozyten [% v. Leukoz.]	Lymphozyten [% v. Leukoz.]	Monozyten [% v. Leukoz.]	IgG [g/l]	IgM [g/l]	Granulozyten [% v. Leukoz.]	Lymphozyten [% v. Leukoz.]	Monozyten [% v. Leukoz.]
1	11,6	1,38	64,2	32,0	3,83	11,6	1,38	53,3	43,0	3,7
1	13,9	0,55	37,9	59,0	3,08	11,8	0,65	53,1	39,0	7,9
1	12,5	1,18	50,0	43,0	7,03	12,3	1,24	51,4	40,0	8,6
1	12,4	1,35	43,3	54,0	2,71	11,4	1,51	51,6	43,0	5,4
1	14,2	0,82	45,1	52,0	2,88	13,9	0,89	47,8	47,0	5,2
1	11,3	0,95	24,2	73,0	2,77	11,8	1,05	34,7	60,0	5,3
1	11,0	1,18	40,3	53,0	6,71	10,4	1,06	56,2	32,0	11,8
1	-	0,87	65,1	30,0	4,93	-	0,81	69,0	26,0	5,0
1	10,2	0,61	34,9	62,0	3,08	9,10	0,68	51,2	43,0	5,8
$\bar{X}$	12,1	0,99	45,0	50,9	4,11	11,5	1,03	52,0	41,4	6,52
SD	1,30	0,29	12,5	13,1	1,61	1,30	0,29	8,36	8,93	2,34
Min	10,2	0,55	24,2	30,0	2,71	9,10	0,65	34,7	26,0	3,7
Max	14,2	1,38	65,1	73,0	7,03	13,9	1,51	69,0	60,0	11,8
2	7,30	0,79	63,2	32,0	4,79	8,10	0,94	59,2	35,0	5,8
2	10,4	0,68	32,4	64,0	3,60	12,3	0,90	25,5	63,0	11,5
2	9,50	2,16	64,0	34,0	1,97	9,70	2,08	61,0	33,0	6,0
2	9,00	0,76	34,7	57,0	8,32	9,10	0,87	53,3	41,0	5,7
2	11,1	0,82	52,3	41,0	6,66	10,9	0,92	55,9	37,0	7,1
2	9,90	0,67	44,3	52,0	3,69	9,90	0,59	48,1	45,0	6,9
2	9,80	1,33	48,4	47,0	4,57	10,5	0,92	52,0	48,0	-
2	10,7	1,46	43,6	52,0	4,44	11,7	1,69	53,0	41,0	6,0
2	10,3	2,20	28,3	68,0	3,66	9,5	1,96	50,1	43,0	6,9
2	10,3	1,23	48,2	41,0	10,8	10,1	1,17	63,0	31,0	6,0
2	9,90	0,84	50,3	44,0	5,69	8,60	0,98	45,1	49,0	5,9
2	11,0	0,43	45,8	43,0	11,2	10,3	0,28	50,3	31,0	18,7
2	8,40	0,98	47,9	49,0	3,12	9,00	1,15	64,2	30,0	5,8
$\bar{X}$	9,82	1,10	46,4	48,0	5,58	9,98	1,11	52,4	40,5	7,69
SD	1,03	0,53	10,1	10,2	2,79	1,15	0,49	9,55	8,99	3,66
Min	7,30	0,43	28,3	32,0	1,97	8,10	0,28	25,5	30,0	5,7
Max	11,1	2,20	64,0	68,0	11,2	12,3	2,08	64,2	63,0	18,7
3	-	1,45	62,2	34,0	3,77	-	1,55	54,5	40,0	5,5
3	11,3	1,14	41,7	54,0	4,26	9,90	1,09	58,2	31,0	10,8
3	12,7	1,05	45,1	48,0	6,87	12,1	1,23	54,2	35,0	10,8
3	12,0	0,47	46,8	48,0	5,20	10,9	0,45	58,3	36,0	5,7
3	9,10	0,89	53,1	40,0	6,89	7,9	0,95	60,4	30,0	9,6
3	12,1	0,79	49,3	47,0	3,72	11,2	0,96	53,1	41,0	5,9
3	10,8	0,89	79,0	21,0	-	12,0	1,04	46,5	44,0	9,5
3	13,7	2,03	41,2	55,0	3,83	12,1	1,86	33,6	58,0	8,4
3	11,1	0,93	54,4	37,0	8,59	10,6	1,03	63,1	29,0	7,9
3	10,9	0,71	37,4	59,0	3,57	11,3	0,62	58,1	38,0	3,9
3	8,40	0,80	54,2	42,0	3,80	8,50	0,73	59,2	34,0	6,8
3	8,40	0,75	35,9	60,0	4,10	7,90	0,76	44,3	48,0	7,7
3	11,1	1,03	47,9	47,0	5,10	9,80	0,89	40,2	56,0	3,8
3	9,20	1,59	44,0	53,0	3,00	10,5	1,70	62,1	31,0	6,9
$\bar{X}$	10,8	1,04	49,5	46,1	4,82	10,4	1,06	53,3	39,4	7,38
SD	1,58	0,39	10,7	10,3	1,59	1,44	0,39	8,54	8,94	2,21
Min	8,40	0,47	35,9	21,0	3,00	7,90	0,45	33,6	29,0	3,8
Max	13,7	2,03	79,0	60,0	8,59	12,1	1,86	63,1	58,0	10,8

Tab. 15: Leukozyten und deren Subpopulationen (in G/L und Zellen/ $\mu$ l) vor und nach der Zinkgabe

Gruppe	Vor der Zinksupplementierung				Nach der Zinksupplementierung			
	Leukozyten [Gpt/l]	Granulozyten [Zellen/ $\mu$ l]	Lymphozyten [Zellen/ $\mu$ l]	Monozyten [Zellen/ $\mu$ l]	Leukozyten [Gpt/l]	Granulozyten [Zellen/ $\mu$ l]	Lymphozyten [Zellen/ $\mu$ l]	Monozyten [Zellen/ $\mu$ l]
1	7,7	4941	2464	295	7,2	3839	3096	265
1	6,1	2313	3599	188	6,4	3400	2496	504
1	9,0	4498	3870	632	10,4	5349	4160	891
1	8,2	3550	4428	222	8,0	4126	3440	434
1	6,1	2752	3172	176	5,2	2485	2444	271
1	5,6	1357	4088	155	4,2	1456	2520	224
1	8,3	3344	4399	557	6,2	3483	1984	733
1	11,4	7418	3420	562	7,2	4968	1872	360
1	6,3	2200	3906	194	6,2	3175	2666	359
$\bar{X}$	7,63	3597	3705	331	6,78	3587	2742	449
SD	1,75	1720	590	183	1,66	1122	680	214
Min	5,6	1357	2464	155	4,2	1456	1872	224
Max	11,4	7418	4428	632	10,4	5349	4160	891
2	8,2	5183	2624	393	9,6	5681	3360	559
2	6,4	2074	4096	230	6,3	1610	3969	722
2	10,0	6403	3400	197	7,5	4575	2475	450
2	5,2	1803	2964	433	4,9	2611	2009	280
2	5,9	3088	2419	393	6,4	3577	2368	455
2	5,6	2481	2912	207	6,8	3273	3060	468
2	6,0	2906	2820	274	5,0	2600	2400	-
2	8,5	3702	4420	378	4,6	2438	1886	276
2	5,0	1417	3400	183	5,6	2807	2408	385
2	8,5	4096	3485	919	5,1	3213	1581	306
2	11,0	5534	4840	626	6,8	3068	3332	400
2	5,0	2289	2150	561	4,8	2413	1488	899
2	5,0	2394	2450	156	5,2	3337	1560	303
$\bar{X}$	6,95	3336	3229	381	6,05	3169	2454	459
SD	1,97	1492	785	210	1,36	993	748	181
Min	5,0	1417	2150	156	4,6	1610	1488	276
Max	11,0	6403	4840	919	9,6	5681	3969	899
3	4,7	2925	1598	177	4,5	2455	1800	245
3	5,1	2129	2754	217	6,7	3897	2077	726
3	6,0	2708	2880	412	5,2	2817	1820	563
3	5,8	2714	2784	302	5,3	3088	1908	304
3	4,8	2550	1920	330	7,7	4652	2310	738
3	8,0	3942	3760	298	5,3	2814	2173	313
3	9,6	7584	2016	-	7,5	3488	3300	712
3	6,1	2511	3355	234	5,0	1680	2900	420
3	7,8	4244	2886	670	7,5	4733	2175	592
3	6,3	2358	3717	225	7,6	4413	2888	299
3	6,4	3469	2688	243	8,3	4914	2822	564
3	5,5	1974	3300	226	5,4	2392	2592	416
3	4,8	2299	2256	245	4,2	1687	2352	161
3	6,9	3036	3657	207	5,2	3229	1612	359
$\bar{X}$	6,27	3175	2827	291	6,10	3304	2338	458
SD	1,36	1378	666	125	1,33	1049	481	184
Min	4,7	1974	1598	177	4,2	1680	1612	161
Max	9,6	7584	3760	670	8,3	4914	3300	738

Tab. 16: Subpopulationen der Lymphozyten [Zellen/ $\mu$ l] vor und nach der Zinkgabe

Gruppe	Vor der Zink-Einnahme					Nach der Zink-Einnahme				
	T-Zellen	Aktiv.TZellen	LGL	B-Zellen	NKZellen	T-Zellen	Aktiv.TZellen	LGL	B-Zellen	NKZellen
	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]	[Zellen/ $\mu$ l]
1	1606	75,3	51,9	332	526	2095	64,3	30,8	563	438
1	2363	111	182	509	727	1772	52,1	78,2	424	300
1	2891	43,1	44,2	653	326	3250	45,2	174	650	260
1	3406	120	155	681	341	2745	37,1	74,4	476	220
1	1751	74,3	64,6	859	562	1555	103,7	28,3	722	167
1	3212	83,5	82,2	584	292	1978	52,8	26,5	379	163
1	3367	133	88,5	763	269	1443	20,1	20,1	321	220
1	1969	-	66,8	656	795	1195	-	-	358	319
1	2920	125	167	552	434	2006	81,3	79,1	385	275
$\bar{X}$	2609	95,6	100	621	475	2004	57,1	63,9	475	262
SD	663	29,2	49,9	143	181	609	24,4	47,8	132	80,4
Min	1606	43,1	44,2	332	269	1195	20,1	20,1	321	163
Max	3406	133	182	859	795	3250	104	174	722	438
2	2044	85,0	28,0	304	276	2582	70,0	-	460	318
2	3285	202	43,7	341	469	3101	129	41,9	331	537
2	2338	79,0	149	779	283	1606	49,5	52,7	474	395
2	2100	227	94,1	463	401	1413	114	45,5	287	309
2	1509	97,3	49,8	416	494	1375	26,5	26,0	382	611
2	2154	163	74,1	303	455	2242	156	62,3	394	424
2	1842	89,0	57,5	576	403	1475	24,9	24,9	425	500
2	3691	137	92,3	365	365	1569	75,6	56,0	168	149
2	2313	165	138	631	456	1656	138	155	426	326
2	2489	144	36,1	640	356	1088	94,5	31,1	289	204
2	3388	308	215	376	1076	2516	105	105	272	544
2	1618	137	188	277	254	1124	32,0	32,5	215	149
2	1900	76,0	74,9	350	200	1203	16,7	32,5	211	146
$\bar{X}$	2359	147	95,3	448	422	1765	79,3	55,4	333	355
SD	660	65,4	57,2	152	208	612	45,3	36,7	97	156
Min	1509	76,0	28,0	277	200	1088	16,7	24,9	168	146
Max	3691	308	215	779	1076	3101	156	155	474	611
3	1270	47,6	53,7	164	164	1417	58,9	37,8	172	211
3	1790	108	82,5	386	578	1399	20,3	45,2	306	372
3	2057	29,8	147	529	294	1317	19,9	77,5	387	116
3	1903	142	55,2	511	369	1442	84,6	-	339	127
3	1300	41,2	41,9	280	340	1619	23,2	23,2	429	262
3	2820	-	113	489	451	1613	-	26,5	336	224
3	1133	23,6	45,3	227	657	2129	34,5	35,1	355	816
3	2281	134	67,1	537	537	2005	88,4	29,9	463	432
3	1914	92,5	118	324	648	1390	66,2	44,1	247	538
3	2628	113	148	526	563	1995	30,7	124	357	536
3	1861	63,3	32,8	443	384	1872	60,3	31,6	346	605
3	1891	103	103	791	619	1512	104	52,9	702	378
3	1256	144	24,6	302	698	1431	72,7	-	388	533
3	2538	147	250	858	261	1164	52,2	88,4	287	161
$\bar{X}$	1903	91,6	91,6	455	469	1593	55,1	51,4	365	379
SD	516	43,7	59,0	191	162	283	26,8	29,2	117	201
Min	1133	23,6	24,6	164	164	1164	19,9	23,2	172	116
Max	2820	147	250	858	698	2129	104	124	702	816

Tab. 17: Subpopulationen der Lymphozyten [%] vor und nach der Zinkgabe

Gruppe	Vor der Zinksupplementierung					Nach der Zinksupplementierung				
	T-Zellen	Aktiv. TZell.	LGL	B-Zellen	NK-Zellen	T-Zellen	Aktiv. TZell.	LGL	B-Zellen	NK-Zellen
	[% v. Lymphoz.]	[% v. T-Zellen]	[% v. TZellen]	[% v. Lymphoz.]	[% v. Lymphoz.]	[% v. Lymphoz.]	[% v. T-Zellen]	[% v. TZellen]	[% v. Lymphoz.]	[% v. Lymphoz.]
1	65,2	4,69	3,23	13,5	21,3	67,7	3,07	1,47	18,2	14,1
1	65,7	4,69	7,69	14,1	20,2	71,0	2,94	4,41	17,0	12,0
1	74,7	1,49	1,53	16,9	8,43	78,1	1,39	5,34	15,6	6,25
1	76,9	3,51	4,55	15,4	7,69	79,8	1,35	2,71	13,8	6,38
1	55,2	4,24	3,69	27,1	17,7	63,6	6,67	1,82	29,5	6,82
1	78,6	2,60	2,56	14,3	7,14	78,5	2,67	1,34	15,1	6,45
1	76,5	3,94	2,63	17,3	6,12	72,7	1,39	1,39	16,2	11,1
1	57,6	-	3,39	19,2	23,2	63,8	-	-	19,1	17,0
1	74,7	4,29	5,71	14,1	11,1	75,3	4,05	3,94	14,4	10,3
$\bar{X}$	69,5	3,68	3,89	16,9	13,7	72,3	2,94	2,80	17,7	10,1
SD	8,31	1,05	1,76	4,02	6,49	5,84	1,68	1,47	4,50	3,68
Min	55,2	1,49	1,53	13,5	6,12	63,6	1,35	1,34	13,8	6,25
Max	78,6	4,69	7,69	27,1	23,2	79,8	6,67	5,34	29,5	17,0
2	77,9	4,16	1,37	11,6	10,5	76,8	2,71	-	13,7	9,47
2	80,2	6,16	1,33	8,33	11,5	78,1	4,17	1,35	8,33	13,5
2	68,8	3,38	6,36	22,9	8,3	64,9	3,08	3,28	19,1	16,0
2	70,8	10,8	4,48	15,6	13,5	70,3	8,06	3,22	14,3	15,4
2	62,4	6,45	3,30	17,2	20,4	58,1	1,93	1,89	16,1	25,8
2	74,0	7,57	3,44	10,4	15,6	73,3	6,94	2,78	12,9	13,9
2	65,3	4,83	3,12	20,4	14,3	61,5	1,69	1,69	17,7	20,8
2	83,5	3,70	2,50	8,25	8,25	83,2	4,82	3,57	8,91	7,92
2	68,0	7,13	5,96	18,6	13,4	68,8	8,34	9,37	17,7	13,5
2	71,4	5,80	1,45	18,4	10,2	68,8	8,69	2,86	18,3	12,9
2	70,0	9,10	6,34	7,78	22,2	75,5	4,16	4,16	8,16	16,3
2	75,3	8,45	11,6	12,9	11,8	75,6	2,85	2,89	14,4	10,0
2	77,6	4,00	3,94	14,3	8,16	77,1	1,39	2,70	13,5	9,38
$\bar{X}$	72,7	6,27	4,25	14,4	12,9	71,7	4,53	3,31	14,1	14,2
SD	5,84	2,19	2,72	4,77	4,25	6,88	2,53	1,98	3,62	4,75
Min	62,4	3,38	1,33	7,78	8,16	58,1	1,39	1,35	8,16	7,92
Max	83,5	10,8	11,6	22,9	22,2	83,2	8,69	9,37	19,1	25,8
3	79,5	3,75	4,23	10,3	10,3	78,7	4,16	2,67	9,57	11,7
3	65,0	6,06	4,61	14,0	21,0	67,4	1,45	3,23	14,7	17,9
3	71,4	1,45	7,14	18,4	10,2	72,3	1,51	5,89	21,3	6,38
3	68,4	7,46	2,90	18,4	13,3	75,6	5,87	-	17,8	6,67
3	67,7	3,17	3,22	14,6	17,7	70,1	1,43	1,43	18,6	11,3
3	75,0	-	4,00	13,0	12,0	74,2	-	1,64	15,5	10,3
3	56,2	2,08	4,00	11,2	32,6	64,5	1,62	1,65	10,8	24,7
3	68,0	5,88	2,94	16,0	16,0	69,1	4,41	1,49	16,0	14,9
3	66,3	4,83	6,15	11,2	22,4	63,9	4,76	3,17	11,3	24,7
3	70,7	4,29	5,63	14,1	15,2	69,1	1,54	6,24	12,4	18,6
3	69,2	3,40	1,76	16,5	14,3	66,3	3,22	1,69	12,2	21,4
3	57,3	5,46	5,46	24,0	18,8	58,3	6,87	3,50	27,1	14,6
3	55,7	11,50	1,96	13,4	30,9	60,8	5,08	-	16,5	22,7
3	69,4	5,80	9,86	23,5	7,1	72,2	4,48	7,59	17,8	10,0
$\bar{X}$	67,1	5,01	4,56	15,6	17,3	68,8	3,57	3,35	15,8	15,4
SD	6,61	2,48	2,10	4,07	7,19	5,50	1,82	2,02	4,50	6,12
Min	55,7	1,45	1,76	10,3	7,14	58,3	1,43	1,43	9,57	6,38
Max	79,5	11,5	9,9	24,0	32,6	78,7	6,87	7,59	27,1	24,7

Tab. 18: Subpopulationen der T-Lymphozyten (in Zellen/ $\mu$ l und Prozent) vor und nach der Zinkgabe

Gruppe	Vor der Zinksupplementierung					Nach der Zinksupplementierung				
	CD4 <sup>+</sup>	CD4 <sup>+</sup>	CD8 <sup>+</sup>	CD8 <sup>+</sup>	CD4 <sup>+</sup> /CD8 <sup>+</sup>	CD4 <sup>+</sup>	CD4 <sup>+</sup>	CD8 <sup>+</sup>	CD8 <sup>+</sup>	CD4 <sup>+</sup> /CD8 <sup>+</sup>
	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T Zellen]	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T Zellen]	-	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T Zellen]	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T Zellen]	-
1	748	46,6	498	31,0	1,50	1251	59,7	751	35,8	1,67
1	1309	55,4	982	41,5	1,33	948	53,5	649	36,6	1,46
1	2005	69,4	746	25,8	2,69	2123	65,3	693	21,3	3,06
1	2238	65,7	1022	30,0	2,19	1830	66,7	732	26,7	2,50
1	991	56,6	529	30,2	1,88	1055	67,9	417	26,8	2,53
1	1168	36,4	1502	46,8	0,78	975	49,3	1003	50,7	0,97
1	1796	53,3	1077	32,0	1,67	802	55,6	461	31,9	1,74
1	1036	52,6	795	40,4	1,30	617	51,7	458	38,3	1,35
1	1578	54,1	986	33,8	1,60	1154	57,5	687	34,2	1,68
$\bar{X}$	1430	54,4	904	34,6	1,66	1195	58,6	650	33,6	1,88
SD	476	9,12	290	6,39	0,52	458	6,39	174	8,00	0,63
Min	748	36,4	498	25,8	0,78	617	49,3	417	21,3	0,97
Max	2238	69,4	1502	46,8	2,69	2123	67,9	1003	50,7	3,06
2	1105	54,1	663	32,4	1,67	1804	69,9	849	32,9	2,13
2	2261	68,8	853	26,0	2,65	1985	64,0	744	24,0	2,67
2	1346	57,6	638	27,3	2,11	1053	65,6	553	34,4	1,90
2	1081	51,5	648	30,9	1,67	773	54,7	486	34,4	1,59
2	884	58,6	442	29,3	2,00	891	64,8	356	25,9	2,50
2	1153	53,5	728	33,8	1,58	1363	60,8	788	35,1	1,73
2	1151	62,5	489	26,6	2,35	850	57,6	350	23,7	2,43
2	2233	60,5	1185	32,1	1,88	952	60,7	504	32,1	1,89
2	1297	56,1	946	40,9	1,37	828	50,0	727	43,9	1,14
2	1174	47,1	1067	42,9	1,10	578	53,1	527	48,4	1,10
2	1022	30,2	1506	44,4	0,68	782	31,1	1122	44,6	0,70
2	971	60,0	485	30,0	2,00	579	51,5	380	33,8	1,52
2	900	47,4	625	32,9	1,44	569	47,3	390	32,4	1,46
$\bar{X}$	1275	54,4	790	33,0	1,73	1000	56,2	598	34,3	1,75
SD	434	9,08	300	5,84	0,50	435	9,75	224	7,33	0,56
Min	884	30,2	442	26,0	0,68	569	31,1	350	23,7	0,70
Max	2261	68,8	1506	44,4	2,65	1985	69,9	1122	48,4	2,67
3	1004	79,0	348	27,4	2,88	919	64,9	460	32,4	2,00
3	1074	60,0	689	38,5	1,56	853	60,9	525	37,5	1,63
3	1234	60,0	764	37,1	1,62	755	57,4	445	33,8	1,70
3	1222	64,2	568	29,9	2,15	869	60,3	403	27,9	2,16
3	660	50,8	440	33,8	1,50	1000	61,8	524	32,4	1,91
3	1354	48,0	1166	41,3	1,16	896	55,6	538	33,3	1,67
3	408	36,0	430	38,0	0,95	1065	50,0	852	40,0	1,25
3	1409	61,8	805	35,3	1,75	1172	58,5	771	38,5	1,52
3	942	49,2	736	38,5	1,28	673	48,4	493	35,5	1,36
3	1614	61,4	901	34,3	1,79	1161	58,2	715	35,8	1,63
3	1152	61,9	532	28,6	2,17	1037	55,4	605	32,3	1,71
3	1169	61,8	447	23,6	2,62	891	58,9	432	28,6	2,06
3	558	44,4	488	38,9	1,14	727	50,8	533	37,3	1,36
3	1530	60,3	746	29,4	2,05	627	53,8	358	30,8	1,75
$\bar{X}$	1095	57,1	647	33,9	1,76	903	56,8	547	34,0	1,69
SD	343	10,1	216	5,10	0,54	164	4,58	138	3,48	0,26
Min	408	36,0	348	23,6	0,95	627	48,4	358	27,9	1,25
Max	1614	79,0	1166	41,3	2,88	1172	64,9	852	40,0	2,16

**Tab. 19:** Anteil der T-Lymphozyten (in Zellen/ $\mu$ l und Prozent) zur Produktion von IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 vor der Zinkgabe

<b>T-Zellen (CD3+), die vor der Zinkgabe Zytokine produzierten</b>						
Gruppe	IFN- $\gamma$		TNF- $\alpha$		IL-2	
	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T-Zellen]	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T-Zellen]	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T-Zellen]
1	385	24,0	299	18,6	487	30,3
1	491	20,8	250	10,6	565	23,9
1	705	24,4	327	11,3	249	8,6
1	1264	37,1	1172	34,4	1032	30,3
1	243	13,90	133	7,60	159,4	9,10
1	331	10,30	302	9,4	421	13,1
1	663	19,7	357	10,6	407	12,1
1	435	22,1	110	5,6	70,9	3,60
1	528	18,1	213	7,3	-	-
$\bar{X}$	561	21,2	351	12,8	424	16,4
SD	285	7,12	301	8,39	278	9,68
Min	243	10,30	110	5,60	70,9	3,60
Max	1264	37,1	1172	34,4	1032	30,3
2	290	14,20	157	7,7	186	9,10
2	680	20,70	421	12,8	811,5	24,70
2	827	35,4	809	34,6	552	23,6
2	714	34,0	340	16,2	432	20,6
2	222	14,7	109	7,2	397	26,3
2	687	31,9	431	20,0	487	22,6
2	565	30,7	471	25,6	349,9	19,00
2	454	12,30	450	12,2	653	17,7
2	370	16,0	236	10,2	312	13,5
2	996	40,0	729	29,3	408	16,4
2	671	19,8	169	5,0	-	-
2	314	19,4	50,2	3,1	77,7	4,80
2	656	34,5	314	16,5	60,8	3,20
$\bar{X}$	573	24,9	360	15,4	394	16,8
SD	220	9,31	219	9,28	212,1	7,37
Min	222	12,30	50	3,1	60,8	3,20
Max	996	40,0	809	34,6	811	26,3
3	293	23,1	212	16,7	206	16,2
3	585	32,7	150	8,4	401	22,4
3	432	21,0	469	22,8	436	21,2
3	544	28,6	512	26,9	537	28,2
3	261	20,1	213	16,4	315,9	24,30
3	1215	43,1	217	7,7	454	16,1
3	358	31,6	137	12,1	155	13,7
3	541	23,7	333	14,6	486	21,3
3	536	28,0	339	17,7	500	26,1
3	1117	42,5	1361	51,8	715	27,20
3	294	15,8	270	14,5	517	27,8
3	450	23,8	384	20,3	251	13,3
3	276	22,0	153	12,2	45,2	3,60
3	680	26,8	337	13,3	91,4	3,60
$\bar{X}$	542	27,3	363	18,2	365	18,9
SD	284	7,68	299	10,58	185,9	7,93
Min	261	15,80	137	7,70	45,2	3,60
Max	1215	43,1	1361	51,8	715	28,2

**Tab. 20:** Anteil der T-Lymphozyten (in Zellen/ $\mu$ l] und Prozent) zur Produktion von IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  und IL-2 nach der Zinkgabe

<b>T-Zellen (CD3+), die nach der Zinkgabe Zytokine produzierten</b>						
Gruppe	IFN- $\gamma$		TNF- $\alpha$		IL-2	
	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T-Zellen]	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T-Zellen]	[Zellen/ $\mu$ l]	[% v. T-Zellen]
1	585	27,9	585	27,9	432	20,6
1	287	16,2	615	34,7	461	26,0
1	673	20,7	1047	32,2	455	14,0
1	464	16,9	1081	39,4	618	22,5
1	135	8,70	149	9,60	49,8	3,20
1	144	7,30	334	16,9	202	10,2
1	276	19,1	315	21,8	149	10,3
1	311	26,0	225	18,8	69,3	5,80
1	291	14,5	453	22,6	-	-
$\bar{X}$	352	17,5	534	24,9	304	14,1
SD	175	6,55	318	8,94	199	7,68
Min	135	7,30	149	9,60	49,8	3,20
Max	673	27,9	1081	39,4	618	26,0
2	201	7,80	519	20,1	227	8,80
2	257	8,30	384	12,4	74,4	2,40
2	273	17,0	398	24,8	210	13,1
2	449	31,8	516	36,5	194	13,7
2	177	12,9	965	70,2	294	21,4
2	646	28,8	778	34,7	296	13,2
2	394	26,7	420	28,5	73,8	5,00
2	151	9,60	281	17,9	199	12,7
2	311	18,8	424	25,6	212	12,8
2	355	32,6	275	25,3	173	15,9
2	566	22,5	433	17,2	-	-
2	282	25,1	358,6	31,9	64,1	5,70
2	417	34,7	303	25,2	33,7	2,80
$\bar{X}$	345	21,3	466	28,5	171	10,6
SD	142	9,21	192	13,8	85,4	5,50
Min	151	7,80	275	12,4	33,7	2,40
Max	646	34,7	965	70,2	296	21,4
3	361	25,5	407	28,7	302	21,3
3	395	28,2	385	27,5	182	13,0
3	182	13,8	504	38,3	261	19,8
3	332	23,0	605	42,0	313	21,7
3	151	9,3	123	7,6	42,1	2,60
3	586	36,3	1211	75,1	255	15,8
3	764	35,9	747	35,1	283	13,3
3	359	17,9	421	21,0	351	17,5
3	367	26,4	537	38,6	278	20,0
3	459	23,0	457	22,9	193	9,70
3	307	16,4	391	20,9	288	15,4
3	361	23,9	429	28,4	256	16,9
3	256	17,9	159	11,1	80,1	5,60
3	385	33,1	220	18,9	57,0	4,90
$\bar{X}$	376	23,6	471	29,7	224	14,1
SD	149	7,81	261	15,9	95,7	6,04
Min	151	9,30	123	7,60	42,1	2,60
Max	764	36,3	1211	75,1	351	21,7

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Geburtsdatum: 12. Februar 1975  
Geburtsort: Göttingen  
Familienstand: verheiratet  
Staatsangehörigkeit: deutsch

### Bildungsgang

09/81 - 07/84 Grundschole in Grafrath  
09/84 - 07/85 Grundschole in Ingolstadt

09/85 - 07/92 Gnadenthal-Gymnasium Ingolstadt  
09/92 - 06/94 Apian-Gymnasium Ingolstadt  
Abschluss: Abitur

11/94 - 10/99 Studium der Oecotrophologie an der  
Technischen Universität München  
Abschluss: Diplom Oec. troph.

Seit 04/2000 Promotion bei Herrn Professor Dr. Eder  
am Institut für Ernährungswissenschaften  
der Landwirtschaftlichen Fakultät  
Halle-Wittenberg

12/2000 Hochzeit mit Jürgen Großhauser

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre mich hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation:

**„Untersuchungen zur Ernährungssituation von jungen Leistungssportlern verschiedener Disziplinen unter der besonderen Berücksichtigung von Zink und seiner Bedeutung für das Immunsystem“** selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner Prüfungsbehörde vorgelegt.

Halle an der Saale, den 18. 09. 2002

.....

Mareike Großhauser

## **Danksagung**

Ich möchte mich an dieser Stelle ganz besonders bei Herrn Prof. Dr. habil K. Eder für die Ermöglichung meiner Promotion sowie auch für seine vielfältige und wertvolle Unterstützung zur Fertigstellung der vorliegenden Arbeit herzlich bedanken.

Ebenso möchte ich Frau Dr. K. Becker für ihr stets entgegengebrachtes Interesse und ihre vielfältigen Ideen sowie auch für ihre konstruktiven Hinweise bei der Erstellung der Arbeit ein herzliches Dankeschön aussprechen.

Ein besonderer Dank gilt auch Frau Dr. C. Brandsch und Herrn Dr. F. Hirche, die mich ebenfalls in meinen Untersuchungen tatkräftig unterstützt haben und für Fragen stets zur Verfügung standen.

Für die fachliche und äußerst freundliche Unterstützung bei der Durchführung meiner immunologischen Untersuchungen am Institut für medizinische Immunologie möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. med. habil. J. Langner bedanken.

Frau OÄ. Dr. D. Riemann danke ich ebenfalls sehr für ihre wertvollen Hinweise und interessanten Anregungen bei der Erzielung der immunologischen Ergebnisse.

An dieser Stelle sei auch den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Institutes für Ernährungswissenschaften, insbesondere Frau Schibelius-Aßmann sowie des Institutes für Immunologie, insbesondere Frau Jung, herzlich gedankt, die sich äußerst hilfsbereit bei den analytischen Untersuchungen eingebracht haben.

Bei Herrn Schnell und Herrn Ritter vom Olympiastützpunkt Halle möchte ich mich herzlich für die Unterstützung bei der Organisation und Durchführung der vorliegenden Arbeit bedanken.

Frau Dr. med. G. Pelzl sowie auch ihrer beiden MTA, Frau Helbig und Frau Engler, danke ich außerordentlich für die große Einsatzbereitschaft und freundliche Hilfestellung bei der Blutproben-Entnahme und Körperfettmessung der vielen Athleten.

Ich bedanke mich bei den Trainern und Eltern der Athleten für deren Unterstützung bei der Organisation und Durchführung wichtiger Veranstaltungen im Rahmen dieser Studie ganz herzlich.

Außerdem möchte ich den Athleten vom Olympiastützpunkt Halle für Ihr großes Interesse und für Ihre zuverlässige Teilnahme an dieser Studie ein herzliches Dankeschön aussprechen.

Herrn Prof. Dr. Spilke und Frau Dr. Lautenschläger danke ich ganz herzlich für die hilfreiche und wertvolle Unterstützung bei der statistischen Auswertung meiner Untersuchungsergebnisse.

Bei Frau Walcker möchte ich mich für die sehr aufmerksame Durchsicht und die äußerst hilfreichen Anmerkungen zu meiner Arbeit ganz herzlich bedanken.