Diplomarbeit

im Diplomstudiengang Sportwissenschaft

der

Technischen Universität München

Bestimmung der Körperfettmasse mit der
DEXA - Methode
und abgeleiteter Parameter zur Beurteilung
des Grades der Fettleibigkeit
bei Erwachsenen

von

Eva Heinen

2007

Ausgegeben am: 29.11.2006

Abgegeben am: 21,02.2007

1. Prüfer: Prof. Dr. U. Hartmann
2. Prüfer: Prof. Dr. Dr. H. Michna

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
Abkürzungsverzeichnis V
Abbildungsverzeichnis VI
Tabellenverzeichnis XI
1 Einleitung 1
2 Problemstellung 3
3 Theoretischer Hintergrund 5
3.1 Definition Adipositas 5
3.1.1 Häufigkeit / Epidemiologie 6
3.1.2 Ätiologie der Fettleibigkeit 7
3.1.2.1 Kalorienzufuhr 7
3.1.2.2 Kalorienverbrauch 8
3.1.3 Pathogenese 10
3.1.4 Adipositas assoziierte Erkrankungen 11
3.2 Klassifikation der Adipositas 12
3.2.1 Anthropometrische Messmethoden 12
3.2.1.1 Broca-Index 12
3.2.1.2 Body-Mass-Index 13
3.2.1.3 Taillenumfang 14
3.2.1.4 Hüftumfang 14
3.2.1.5 Quotient aus Taillen- und Hüftumfang 14
3.2.1.6 Hautfaltendicke 15
3.3 Körperzusammensetzung 16
3.3.1 Molekulare Ebene 16
3.3.2 Zelluläre Ebene 17
3.3.3 Gewebe / Organ-Ebene 17
3.3.4 Schätzung des Fettgewebes aus der Fettmasse 18
3.4 Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung 21
3.4.1 Methoden, die auf der Analyse der chemischen Elemente beruhen 21
3.4.1.1 Bestimmung des Gesamt-Körper-Kaliums anhand der 40K-Methode 21

3.4.1.2 Bestimmung des Gesamt-Körper-Kaliums anhand der ^{42}K-Verdünnungsmethode 22
3.4.1.3 Neutronenaktivierungsanalyse 22
3.4.1.4 Chemische Analyse 22
3.4.2 Methoden auf molekularer Ebene 23
3.4.2.1 Densitometrie 23
3.4.2.2 Bod Pod, Plethysmographie 24
3.4.2.3 DEXA-Methode 24
3.4.2.4 Verdünnungs-Methoden 24
3.4.3 Zelluläre Ebene 24
3.4.4 Methoden auf Organebene 24
3.4.4.1 Magnetresonanz-Tomographie 25
3.4.4.2 Computer-Tomographie 25
3.4.5 Bioelektrische Impedanzanalyse 25
4 Methodik DEXA 27
4.1 Funktionsweise 28
4.2 Verwendetes Gerät: Norland XR-36 31
4.2.1 Strahlendosis 32
4.2.2 Mögliche Messfehler 33
4.2.3 Messparameter 34
4.2.4 Abmessungen des Messtisches. 35
4.2.5 Routinemäßige Kalibrierung und Kontrollen 35
4.2.6 Reliabilität der Ergebnisse 35
4.2.6.1 Herstellerangaben 35
4.2.6.2 Literatur zu Norland-XR 36 35
4.2.6.3 Wiederfindungsversuche Fett / Wasser 36
4.2.6.4 Wiederfindung Gesamt-Körpermasse 37
4.3 Untersuchungsgang 39
4.4 Parameter 41
4.4.1 Messparameter 41
4.4.2 Berechnete Parameter 42
4.5 Statistik 43
5 Zusammensetzung des Kollektivs 45
5.1 Zusammensetzung des Kollektivs Frauen 45
5.2 Zusammensetzung des Kollektivs Männer 47

6 Ergebnisse 50
6.1 Messparameter 50
6.1.1 Fettmasse 50
6.1.2 Fettfreie Masse 52
6.1.3 Fettgewebsmasse 54
6.1.4 Fettgewebsfreie Masse 55
6.2 Korrelationen mit den Messparametern 57
6.2.1 Körpergröße 57
6.2.1.1 Körpergröße und Körpergewicht 57
6.2.1.2 Körpergröße und Fettmasse 58
6.2.1.3 Körpergröße und fettfreie Masse 59
6.2.1.4 Körpergröße und Fettgewebsmasse 59
6.2.1.5 Körpergröße und fettgewebsfreie Masse 60
6.2.1.6 Körpergröße und Prozent Fett 61
6.2.2 Körpergewicht und Messparameter 62
6.2.2.1 Körpergewicht und Fettmasse 62
6.2.2.2 Körpergewicht und fettfreie Masse 63
6.2.2.3 Körpergewicht und Fettgewebsmasse 63
6.2.2.4 Körpergewicht und fettgewebsfreie Masse 64
6.2.2.5 Körpergewicht und Prozent Fett 65
6.2.3 Korrelationen zwischen Indizes 66
6.2.3.1 Body-Mass-Index und Fett-Masse-Index 69
6.2.3.2 Body-Mass-Index und Fett-Freie-Masse-Index 70
6.2.3.3 Body-Mass-Index und Fett-Gewebs-Masse-Index 70
6.2.3.4 Body-Mass-Index und Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index 71
6.2.3.5 Body-Mass-Index und Prozent Fett 72
6.2.3.6 Fett-Masse-Index und Fett-Freie-Masse-Index 73
6.2.3.7 Fett-Gewebs-Masse-Index und Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index 73
6.2.3.8 Fett-Gewebs-Masse-Index und Taillenumfang 74
6.2.3.9 Indizes und Alter 75
6.3 Daten zur regionalen Fettverteilung 76
6.4 Exemplarische Betrachtungen von Gewichtsverläufen in DEXA 81
6.4.1 40 jährige Patientin 81
6.4.2 18-jähriger Patient 83

7 Diskussion 86
7.1 Richtigkeit der Messergebnisse 86
7.2 Vergleich der Daten zur Fettmasse mit der Literatur 87
7.3 Abgeleitete Parameter: Fett-Masse-Index und Fett-Freie-Masse Index 89
7.4 Fett-Gewebs-Masse 89
7.5 Abgeleitete Parameter FGMI und FGFMI 90
7.6 Definition von Normwerten 90
7.6.1 Verfahren zur Definition der Normwerte 91
7.6.2 Normwerttabelle 92
7.7 Konsequenzen der Klasseneinteilung nach dem Fett-Gewebs-Masse-Index 95
7.7.1 Fett-Gewebs-Masse-Index-Klassen und Body-Mass-Index-Klassen im Vergleich 95
7.7.2 Fett-Gewebs-Masse-Index-Klassen und Taillenumfang im Vergleich 97
7.8 Alter und Körperzusammensetzung 98
7.9 Regionale Fettverteilung 99
7.10 Vergleich FGM Taille mit dem Taillenumfang 100
7.11 DEXA und Perspektiven für die Sportwissenschaften 101
7.11.1 Visualisierung des Erfolgs von Bewegung und Belastung 101
7.11.2 Sport als oder statt Medikament 101
7.11.3 Untersuchungen zur regionalen Muskelmasse 102
8 Zusammenfassung 103
9 Literaturverzeichnis 105

Abkürzungsverzeichnis

BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BMC	Knochenmineralgehalt
BMI	Body-Mass-Index
CT	Computer-Tomographie
DEXA	Dual Energie Röntgen Absorptiometrie
FFM	fettfreie Masse
FFMI	Fett-Freie-Masse-Index
FGFIOI	Index der Fett-Gewebs-Freien Inneren Organe
FGFM	fettgewebsfreie Masse
FGFMI	Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index
FGM	Fettgewebsmasse
FGMI	Fett-Gewebs-Masse-Index
FM	Fettmasse
FMI	Fett-Masse-Index
LBM	Lean Body Mass
MRT	Magnetresonanz-Tomographie
MW	Mittelwert
n	Anzahl
R^2	Bestimmtheitsmaß
WHO	World Health Organisation
SD	Standarabweichung
T/H-Umfang (WHR)	Quotient aus Taillen-und Hüftumfang bzw. waist-to-hip-ratio
% Fett	Prozent Fett

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anteil der Körpermasse verschiedener Organe an der Gesamtkörpermasse und Anteil der verschiedenen Organe am Grundumsatz in Anlehnung an die Ergebnisse von Brozek & Grande, 1963, Geigy Tabellen, S. 535 in Diem & Lentner 1968. 9

Abb. 2: Grundumsatz in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht (Boothby & DuBois 1954, S.536, Geigy). 9

Abb. 3: Körperzusammensetzung nach chemischer Analyse – molekulare Ebene. In Anlehnung an Daten aus den Geigy-Tabellen, S.513 (Diem & Lentner 1968) für einen 70 kg schweren Mann. 17

Abb. 4: Darstellung der Fettmasse und der fettfreien Masse des Fettgewebes in Anlehnung an Faller & Schünke 2004 19

Abb. 5: Gegenüberstellung der Körperzusammensetzung nach chemischer Analyse (s. ABB zuvor) und aufgeteilt nach Fettgewebsmasse (FGM) und Fettgewebsfreier Masse (FGFM) 20

Abb. 6: Aufbau eines DEXA-Gerätes 29

Abb. 7: Messanordnung des Norland XR 36 DEXA-Gerätes 31

Abb. 8: Typisches vom XR-36 erstelltes Bild der Körperzusammensetzung. Angaben zur Person: Weiblich, 56 Jahre. Größe 164 cm. Körpergewicht. 71,6 kg. Vom Dexa-Gerät ermittelte Werte BMC: 2,95kg, FM: 28,68 kg LBM 39,69 kg. Dabei wird die LBM als FFM – BMC verstanden. 32

Abb. 9: Bild der Körperzusammensetzung einer 27-jährigen, extrem übergewichtigen Frau, Größe 166 cm, Gewicht 143,5 kg. Die Frau passte nicht in das Messfeld, die Arme wurden nicht mit gemessen. Vom Dexa-Gerät ermittelte Werte BMC: 3,31kg FM: 71,30kg, LBM 63,07kg. Dabei wird die LBM als FFM – BMC verstanden. 33

Abb. 10: Wiederfindung von Fett (FM) und fettfreier Masse (FFM) mit den DEXA Gerät Norland XR-36. Angegeben sind jeweils Mittelwerte von sieben weiblichen Probanden 37

Abb. 11: Wiederfindung des mit der Waage ermittelten Körpergewichtes mit der DEXA Methode bei Frauen (n=709) 38

Abb. 12: Wiederfindung des mit der Waage ermittelten Körpergewichtes mit der DEXA Methode bei Männern (n=297) 38

Abb. 13: Alter und Anzahl der untersuchten Frauen (n=709) 46

Abb. 14: Body-Mass-Index (BMI) der untersuchten Frauen (n=709) 46

Abb. 15: Zusammensetzung des Kollektivs der Frauen (n=709) nach Alter und Body-Mass-Index (BMI) 47

Abb. 16: Alter und Anzahl der untersuchten Männer (n=297) 48

Abb. 17: Body-Mass-Index (BMI) und Anzahl der untersuchten Männer (n=297) 48

Abb. 18: Zusammensetzung des Kollektivs der Männer (n=297) nach Alter und Body-Mass-Index (BMI)..... 49

Abb. 19: Fettmasse (FM) in kg für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem Body-Mass-Index (BMI). Die Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichung dar. 50

Abb. 20 Darstellung der Werte aus der Abb.1. Hier stellen die Werte Mittelwerte ± Maximum/Minimum dar. 51

Abb. 21 Korrelation zwischen dem BMI und der FM der Männer (n=297) und Frauen (n=709) des untersuchten Kollektivs 51

Abb. 22: Fettmasse in % vom Körpergewicht für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem BMI. Die Werte stellen Mittelwerte ± Minimal und Maximalwert dar. 52

Abb. 23: Fettfreie Masse (FFM) in kg für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem BMI. Die Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichung dar. 53

Abb. 24: Korrelation zwischen dem Body-Mas-Index (BMI) und der fettfreien Masse (FFM) für 297 Männer und 709 Frauen. 53

Abb. 25: Fettmasse (FM) und fettfreie Masse (FFM) von normgewichtigen Frauen (n=160), mit einer mittleren Größe von 167 cm und Männern (n=31) von einer Durchschnittsgröße von 182 cm. Angegeben sind Mittelwerte. 54

Abb. 26 Fettgewebsmasse in kg für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem BMI. Die Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichung dar. 55

Abb. 27 Fettgewebsfreie Masse (FGFM) in kg für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem BMI. Die Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichung dar. 56

Abb. 28 Fettgewebsmasse (FGM) und Fettgewebsfreie Masse (FGFM) von normgewichtigen Frauen (n=160) und Männern (n=31) 57

Abb. 29: Korrelation zwischen Größe und Körpergewicht der untersuchten Frauen und Männer. Dargestellt sind die Einzelwerte nebst Regressionsgeraden und Korrelationskoeffizient für 709 Messungen bei Frauen und 297 Männern. 58

Abb. 30: Körpergröße und Fettmasse (FM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297) 58

Abb. 31: Korrelation zwischen Körpergröße und fettfreier Masse (FFM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297). Die Geradengleichungen und das Bestimmtheitsmaß sind angegeben. 59

Abb. 32: Größe korreliert mit der Fettgewebsmasse bei Frauen (n=709) und bei Männern (n=297). 60

Abb. 33: Körpergröße korreliert mit der fettgewebsfreien Masse (FGFM) bei Frauen (n= 709) und Männern (n=297). 61

Abb. 34: Körpergröße korreliert mit der Fettmasse in Prozent vom Körpergewicht für Frauen (n=709) und Männer (n=297). 61

Abb. 35 Körpergewicht und Fettmasse (FM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297) 62

Abb. 36: Körpergewicht und fettfreie Masse (FFM) bei Frauen (n=709) und Männern (297). 63

Abb. 37: Körpergewicht und Fettgewebsmasse (FGM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297) 64

Abb. 38: Körpergewicht und fettgewebsfreie Masse (FGFM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297). 65

Abb. 39: Körpergewicht und Fettmasse in Prozent vom Körpergewicht bei Frauen (n=709) und Männern (n=297) 65

Abb. 40: Körpergröße und Body-Mass-Index (BMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297). 66

Abb. 41 Korrelation zwischen der Körpergröße und dem FMI für Frauen (n=709) und Männer (n=297) 67

Abb. 42: Korrelation zwischen der Körpergröße und dem FFMI für Frauen (n=709) und Männer (n=297) 68

Abb. 43: Korrelation zwischen der Körpergröße und dem FGMI für Frauen (n=709) und Männer (n=297) 68

Abb. 44: Korrelation zwischen der Körpergröße und dem FGFMI für Frauen (n=709) und Männer (n=297) 69

Abb. 45: Body-Mass-Index und Fett-Masse-Index (FMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297). 69

Abb. 46: Body-Mass-Index (BMI) und Fett-Freie-Masse-Index (FFMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297). 70

Abb. 47: Body-Mass-Index (BMI) und Fettgewebs-Masse-Index (FGMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297). 71

Abb. 48: Body-Mass-Index (BMI) und Fettgewebsfreier-Weichgewebs-Index (FGFWI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297). 72

Abb. 49: Body-Mass-Index (BMI) und Körperfett in Prozent vom Körpergewicht bei Frauen (n=709) und Männern (n=297). 72

Abb. 50: Korrelation zwischen Fett-Masse-Index (FMI) und Fettfreier-Masse-Index (FFMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297). 73

Abb. 51: Korrelation zwischen Fettgewebs-Masse-Index (FGMI) und Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index (FGFMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297) 74

Abb. 52: Korrelation zwischen Fett-Gewebs-Masse-Index (FGMI) und Taillenumfang von Frauen (n=467) und Männern (n=203) 75

Abb. 53: Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index (FGFMI) in Abhängigkeit vom Alter von 297 Männern und 709 Frauen. Angegeben sind Mittelwerte ± Standardabweichung. 76

Abb. 54: FGM Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe von den Beinen für Frauen (n=709) und Männer (n=297). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Beine identisch sind. 77

Abb. 55: FGM Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe der Arme für Frauen (n=709) und Männer (n=297). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Arme identisch sind. 78

Abb. 56: Fettgewebe Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe von den Stamm für Frauen (n=736) und Männer (n=309). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Stamm identisch sind. 78

Abb. 57: FGM Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe der Taille für Frauen (n=709) und Männer (n=297). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Taille identisch sind. 79

Abb. 58: Fettgewebe Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe von den Abdomen für Frauen (n=736) und Männer (n=309). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Abdomen identisch sind. 80

Abb. 59: Fettgewebe Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe von den Thorax für Frauen (n=736) und Männer (n=309). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Thorax identisch sind. 80

Abb. 60: Verlauf der Körperzusammensetzung bei einer zu Beginn der Untersuchungen 40 j, 173 cm großen Patientin. Dargestellt sind sie Wertepaare FM und FFM sowie das Wertepaar FGM und FGFM. Die Unterschiede ergeben sich aus der Beachtung der fettfreien Masse des Fettgewebes..... 82

Abb. 61: Verlauf der Körperzusammensetzung bei eines zu Beginn der Untersuchungen 18 j, 187 cm großen Patienten. Dargestellt sind sie Wertepaare FM und FFM sowie das Wertepaar FGM und FGFM. Die Unterschiede ergeben sich aus der Beachtung der fettfreien Masse des Fettgewebes..... 84

Abb. 62 Body-Mass-Index (BMI) und Fettgewebs-Masse-Index (FGMI) bei Frauen (n=709). Für die jeweiligen Grenzwerte der BMI-Klassifikation wurde der dazugehörigen FGMI als unterer bzw. oberer Grenzwert für die FGMI-Klasse berechnet. Für die jeweils innerhalb der Rechtecke gelegenen Messwerte stimmen die Klassifikation nach BMI und FGMI überein. 91

Abb. 63: Body-Mass-Index (BMI) und Fettgewebs-Masse-Index (FGMI) bei Männern (n=297). Für die jeweiligen Grenzwerte der BMI-

Klassifikation wurde der dazugehörigen FGMI als unterer bzw. oberer Grenzwert für die FGMI-Klasse berechnet. Für die jeweils innerhalb der Rechtecke gelegenen Messwerte stimmen die Klassifikation nach BMI und FGMI überein. 92

Abb. 64: Aufteilung der Ergebnisse von 709 Messungen bei Frauen nach dem FGMI. Für jede FGMI-Klasse wurde überprüft, wieviel Prozent Frauen mittels Body-Mass-Index (BMI) in eine andere Klasse eingeteilt werden. 95

Abb. 65: Aufteilung der Ergebnisse von 309 Messungen bei Männern nach dem FGMI. Für jede FGMI-Klasse wurde überprüft, wieviel Prozent Männer mittels Body-Mass-Index (BMI) in eine andere Klasse eingeteilt werden. 96

Abb. 66: Aufteilung der Ergebnisse von 467 Messungen bei Frauen nach dem FGMI. Für jede FGMI-Klasse wurde überprüft, wieviel Prozent Frauen nach dem Taillenumfang in eine andere Risiko-Klasse eingeteilt werden. 97

Abb. 67: Aufteilung der Ergebnisse von 203 Messungen bei Männern nach dem FGMI. Für jede FGMI-Klasse wurde überprüft, wieviel Prozent der Männer nach dem Taillenumfang in eine andere Risiko-Klasse eingeteilt werden. 98

Abb. 68: Aufteilung der Ergebnisse zum Taillenumfang von 404 Frauen nach der FGM der Taille in % vom Weichgewebe. 100

Abb. 69: Aufteilung der Ergebnisse zum Taillenumfang von 203 Männern nach der FGM der Taille in % vom Weichgewebe. 101

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand des BMI (nach WHO, 2000), zitiert in der Übersetzung und Anpassung der Leitlinien (Hauner et al. 2006) 5

Tab. 2: Massenschwächungskoeffizienten µm für verschiedene im Körper vorkommende Elemente in Abhängigkeit vom verwendeten Energieniveau (40 / 70 KeV) und relativer Schwächungskoeffizient R in Anlehnung an Pietrobelli et al. 1996..... 30

Tab. 3: Mittlere Differenz sowie Minimal- und Maximalabweichung der Messergebnisse für aufgelegtes Gesamtgewebe, Fettmasse und fettfreie Masse an 6 Personen. 36

Tab. 4 Beispiel für eine Korrektur der Massen, wenn ein Proband nicht ins Messfeld des DEXA-Gerätes passte. 39

Tab. 5: Aufgezeichnete Daten der Probanden. 41

Tab. 6: Berechnete Parameter 42

Tab. 7: Signifikanzniveauschranken/Signifikanzniveaus nach Clauß et al. 2002..... 43

Tab. 8: Bewertung von Korrelationskoeffizienten nach Bös et al. 2000 44

Tab. 9: Zusammensetzung des Kollektivs der Frauen (n=709) nach Alter und Body-Mass-Index (BMI)..... 47

Tab. 10: Zusammensetzung des Kollektivs der Männer (n=297) nach Alter und Body-Mass-Index (BMI)..... 49

Tab. 11: Anzahl, Größe, Gewicht, BMI, FM, FFM der normgewichtigen Männer und Frauen des untersuchten Kollektivs. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen (SD). 54

Tab. 12: Anzahl, BMI, FGM, FGFM der normgewichtigen Männer und Frauen des untersuchten Kollektivs. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen (SD). 56

Tab. 13: Abhängigkeit des BMI, FGMI und FGFMI vom Alter von 297 Männern und 709 Frauen. Angegeben sind Mittelwerte ± Standardabweichung. 75

Tab. 14: Verlauf von Messparametern einer 40-fährigen Patientin, die mit Sport und Reduzieren von Fett in der Ernährung erheblich an Gewicht abgenommen hat. 81

Tab. 15: Verlauf von Messparametern eines zu Beginn der Aufzeichnungen 18-fährigen Patienten, der mit Sport und Ernährungsberatung erheblich an Gewicht abgenommen hat. Die Messung des Taillen- und Hüftumfanges wurde erst ab 2003 aufgezeichnet..... 83

Tab. 16: Mittelwerte und Standardabweichungen für FM und FFM von Normgewichtigen 170 – 180 cm großen Männern und Frauen..... 87

Tab. 17: In der Tabelle sind die Schnittpunkte der Regressionsgeraden von BMI und FGMI mit den Grenzwerten des BMI für die verschiedenen BMI-Klassen dargestellt und als Normwerte definiert. 92

Tab. 18: Einteilung der FGMI-Klassen mit dazugehöriger Bezeichnung 93

1 Einleitung

Der Anteil an übergewichtigen und adipösen, fettleibigen Kindern und Erwachsenen nimmt weltweit epidemieartig zu (http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/facts/obesity/en/ Zugriff am 10 Januar 2007, WHO 2006). Immer mehr Übergewichtige ist ebenfalls ein Resultat des Mikrozensus, der zuletzt im Jahr 2005 vom Statistischen Bundesamt in Deutschland veröffentlicht wurde. (www.destatis.de/presse/deutsch/abisz/mikrozensus.htm, Zugriff am 10. Januar 2007).

Mit der Adipositas sind Erkrankungen assoziiert wie z.B. Diabetes Typ II, Fettstoffwechselstörungen, Bluthochdruck und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die meist ein vielfach erhöhtes Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko in sich bergen (Pi-Sunyer 1993, Peeters et al. 2003, Oster et al. 2000, Rathmanner et al. 2006, Hauner et al. 2006). Avenell et al. 2004 haben in einer Übersichtsarbeit gezeigt, dass mit einer Reduktion der Adipositas das Risiko assoziierte Erkrankungen zu entwickeln, erheblich abnimmt.

Die wichtigsten Einflussgrößen für die Entwicklung der Adipositas sind der Kalorienverbrauch und die Kalorienzufuhr, da generell davon auszugehen ist, dass überschüssige Energie bei positiver Energiebilanz im Fettgewebe gespeichert wird. Der Kalorienverbrauch wird in wesentlichem Maße durch die Muskulatur beeinflusst (Ravussin et al. 1986, Wang et al. 2000, Illner et al. 2000). Dabei spielt die Muskelmasse sowohl für den Grundumsatz als auch insbesondere für den Arbeitsumsatz eine wesentliche Rolle.

Da in der heutigen Zeit schon Kinder sich immer weniger bewegen und damit weniger Muskulatur entwickeln, werden sie heute oft schon trotz weitgehend normaler Kalorienzufuhr fettleibig und damit Kandidaten für eine Erkrankung aller Facetten des Metabolischen Syndroms.

Bei der Bekämpfung des Risikofaktors Adipositas ist eine Steigerung des Kalorienverbrauchs in Ruhe und durch Belastung ein sehr wichtiger Faktor. An keiner Stelle sonst kann die Wichtigkeit der Sportwissenschaftler für die

Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung so eindringlich demonstriert werden.

Will man aber den positiven Einfluss der Bewegung auf das Risikoprofil herausarbeiten, so kann man sich nicht nur auf die Messung des Körpergewichtes reduzieren, es ist vielmehr essentiell, das Körperfettgewebe von der fettgewebsfreien Körpermasse, die in einem hohen Prozentsatz von der Muskulatur gebildet wird, zu differenzieren.

Dazu eignet sich neben anderen Methoden die Dual Energie Röntgen Absorptiometrie (DEXA-Methode, englisch: Dual Energy X-ray Absorptiometry), die oft als Referenzmethode zur Bestimmung des Körperfetts Verwendung findet und der einfache Handhabung zugeschrieben wird (Henche & Pellico 2005, Heyward 2001).

2 Problemstellung

Die Fettleibigkeit und die mit ihr assoziierten Erkrankungen nehmen in den letzten Jahren erschreckend zu. Die pharmazeutische Industrie stellt heute ein riesiges Arsenal von Medikamenten zur Verfügung, mit denen die Fettleibigkeit bekämpft werden soll. So werde neben Substanzen, die die Resorption von Fetten aus der Nahrung hemmen (Orlistat), Appetitzügler (Sibutramin, und neuerdings das Cannabinoid Rimobamant) neben Formuladiäten, Schilddrüsenhormonen, Diuretika bis hin zu Anabolika angeboten.

Man ist sich heute darüber im Klaren, dass Hauptursache für die Häufung nicht eine Zunahme der Kalorienzufuhr ist, sondern eine dramatische Abnahme des Kalorienverbrauchs durch verminderte Bewegung. Wenn man dies akzeptiert, ergibt sich in der Bekämpfung der Adipositas für die Sportwissenschaften ein breites Betätigungsfeld: Sport als oder gar statt Medikament.

Will man sich dem Thema Adipositas zuwenden, so muss man sich zunächst mit der Definition beschäftigen. Übereinstimmend wird die Adipositas definiert als eine über das Normalmaß hinausgehende Vermehrung des Körperfetts. Als Grundlage für die Klassifikation der Adipositas wird sowohl in den Leitlinien als auch von der WHO allerdings im Gegensatz zur Definition das Körpergewicht / die Körpergröße², der BMI, und nicht ein Maß für das „adipose tissue“, das Fettgewebe, verwendet (Hauner et al. 2006). Dadurch kann es zu eklatanten Fehlbeurteilungen kommen, wie das Beispiel des Bodybuilders zeigt, der sehr wenig Fett hat, aber auf Grund seiner Muskelmasse der Präadipositas oder gar der Adipositas zugeordnet wird. (Welham & Behnke 1942).

Es gibt in der Zwischenzeit eine ganze Reihe von Methoden, mit denen der Fettgehalt einer Person gemessen werden kann. Einige der Methoden sind entweder so teuer oder mit erheblichen Strahlenbelastungen verbunden, dass sie für eine Routine-Untersuchung nicht in Betracht kommen, andere Methoden weisen erhebliche Fehlerquellen auf.

Die DEXA-Methode wird heute in vielen Praxen zur Bestimmung der Knochendichte verwendet. Mit einem einfachen Software-Update können sie auf eine Messung zur Bestimmung der Körperzusammensetzung aufgerüstet werden. Die mit der Untersuchung verbundene Strahlenbelastung ist

vernachlässigbar klein. Somit könnte sie für die Bestimmung der Körperfettmasse unter Routinebedingungen geeignet sein.

Ziel der Untersuchung ist es daher, zu überprüfen, ob die unter Routinebedingungen einer endokrinologischen Praxis erhobenen Daten sich zur Bestimmung der Fettleibigkeit von Personen eignen.

Da alle Organgewichte von der Größe der untersuchten Person abhängig sind, soll geprüft werden, ob auch die Fettmasse durch Division der Körpergröße in m^2 - analog zum BMI beim Körpergewicht - indiziert werden kann.

Bei Durchsicht der Literatur (Webster et al. 1984, Keys et al. 1955) und auch aus Verläufen der Messung des Fettgehaltes einzelner Personen zeigt sich immer wieder, dass eine Abnahme des Körpergewichtes auch mit Hilfe von Sport entgegen jeder Erwartung von einer Abnahme der fettfreien Masse begleitet ist. Da die Muskulatur wesentlicher Bestandteil der fettfreien Masse ist, wird nicht nur von Laien eine Abnahme der fettfreien Masse mit einer Abnahme der Muskulatur gleich gesetzt. Die Frustration des endlich für den Sport begeisterten Adipösen und auch des betreuenden Sporttherapeuten ist nachvollziehbar. Der Arzt wird sehr wahrscheinlich nach der Qualifikation des Sportwissenschaftlers fragen, wenn der Patient trotz Sport erheblich „Muskulatur“ verloren hat.

Diese Problematik ist darauf zurückzuführen, dass mit der DEXA-Messung und anderen Verfahren die Fettmasse einer Person, nicht aber deren Fettgewebe ermittelt wird. Da an Hand der Literatur davon auszugehen ist, dass etwa 22 % des Fettgewebes aus fettfreier Masse bestehen (siehe 3.3.4), soll in der vorliegen Arbeit überprüft werden, ob die Berücksichtigung der fettfreien Masse des Fettgewebes das Problem des scheinbaren Muskelmasseverlustes trotz erheblicher körperlicher Betätigung lösen kann.

Die Messung der Fettmasse mit der DEXA-Methode ermöglicht auch die Messung der regionalen Fettverteilung. Da dem intestinalen Fettgewebe eine herausragende Rolle in der Genese von Adipositas-assoziierten Erkrankungen zugesprochen wird, soll dem Fettgehalt der Taille besondere Aufmerksamkeit zukommen.

Zusätzlich soll die Wertigkeit der Methode an Hand von zwei exemplarischen Verläufen überprüft werden.

3 Theoretischer Hintergrund

3.1 Definition Adipositas

In den evidenzbasierten Leitlinien: „Prävention und Therapie der Adipositas, Version 2006“, die von der Deutschen Adipositas-Gesellschaft, zusammen mir der Deutschen Diabetes Gesellschaft, der deutschen Gesellschaft für Ernährung und der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin herausgegeben wurde, ist die Adipositas definiert als eine über das Normalmaß hinausgehende Vermehrung des Körperfetts (Hauner et al. 2006). In dieser Leitlinie wird allerdings das Normalmaß des Körperfetts nicht quantifiziert!

Herold 2005 definiert: „Eine Adipositas besteht, wenn der Anteil der Fettmasse am Körpergewicht bei Frauen 30 % und bei Männern 20 % übersteigt. Durch den Körpermassenindex (Body-Mass-Index = BMI) kann indirekt die Fettmasse abgeschätzt werden.“

Als Berechnungsgrundlage für die Klassifikation der Adipositas wird sowohl in den Leitlinien als auch von der WHO allerdings im Gegensatz zur Definition das Körpergewicht / die Körpergröße², der BMI, und nicht ein Maß für das „adipose tissue“, das Fettgewebe, verwendet (http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/facts/obesity/en/ Zugriff am 13. Januar 2007).

Kategorie	BMI	Risiko für Begleiterkrankungen des Übergewichts
Untergewicht	< 18,5	Niedrig
Normalgewicht	18,5 – 24,9	Durchschnittlich
Übergewicht	≥ 25.0	
Präadipositas	25 – 29,9	Gering erhöht
Adipositas Grad I	30 – 34,9	Erhöht
Adipositas Grad II	35 – 39,9	Hoch
Adipositas Grad III	≥ 40	Sehr hoch

Tab. 1: Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand des BMI (nach WHO, 2000), zitiert in der Übersetzung und Anpassung der Leitlinien (Hauner et al. 2006)

Die Verwendung des BMI ist sicherlich für die Definition der Gewichtsklassifikationen in Unter-, Norm und Übergewicht der plausible Parameter. Die simple Gleichsetzung des BMI mit dem Fettgehalt des Körpers ist allerdings nicht akzeptabel. Kennen wir doch alle Bodybuilder mit einem BMI über 30 kg/m², die sehr wenig Fettgewebe aufweisen. Sie dürfen keinesfalls als adipös bezeichnet werden. Andererseits gibt es viele völlig untrainierte Personen mit einem hohen Fettgehalt des Körpers, die wegen ihrer niedrigen Muskelmasse einen im Normbereich gelegnen BMI aufweisen.
Alle Studien, die den BMI als Maß für die Adipositas verwenden, müssen sich mit dieser Unzulänglichkeit auseinandersetzen.
In der vorliegenden Arbeit wird versucht, durch Messung der Körperfettmasse und Berechnung des Fettgewebes eine der Definition der Fettleibigkeit, der Adipositas entsprechende Einteilung vorzunehmen.

3.1.1 Häufigkeit / Epidemiologie

Der Anteil an übergewichtigen und adipösen Erwachsener gemessen durch den BMI steigt weltweit an. Die WHO schreibt, dass im Jahr 2005 1,6 Milliarden Erwachsene (älter als 15 Jahre) weltweit übergewichtig waren und 400 Millionen Erwachsene eine Adipositas hatten. Die Prognose der WHO bis ins Jahr 2015 lässt die Zahlen bis 2,3 Milliarden Übergewichtige und mehr als 700 Millionen Adipöse hochschnellen. Aufgrund dieses ansteigenden Trends spricht die WHO von einer epidemieartigen Ausbreitung bzw. „globesity“ Übergewicht und Adipositas nehmen nicht mehr nur in gut verdienenden Ländern, sondern auch in Entwicklungs- und Schwellenländern, dramatisch zu (http://www.who.int/dietphysicalactivity/media/en/gsfs_obesity.pdf 2003 Zugriff am 13. Januar 2007). Deutschland bleibt von dieser weltweiten Epidemie nicht verschont. Immer mehr Übergewichtige ist das Resultat des Mikrozensus, der zuletzt im Jahr 2005 vom Statistischen Bundesamt veröffentlicht wurde. Mittlerweile sind 58 % der erwachsenen Männer und 42 % der erwachsenen Frauen in Deutschland übergewichtig (www.destatis.de/presse/deutsch/abisz/mikrozensus.htm, Zugriff am 10. Januar 2007). Männer wiesen in allen Altersgruppen häufiger Übergewicht auf als Frauen. Ein weiteres Resultat des Mikrozensus ist, dass Übergewicht bereits bei jungen Erwachsenen weit verbreitet ist und mit zunehmendem Alter ansteigt. Starkes Übergewicht mit einem BMI > 30 kg/m² zeigten 14% der Männer und 13% der Frauen.

3.1.2 Ätiologie der Fettleibigkeit

Generell ist davon auszugehen, dass zugeführte Energie, die nicht verbraucht wird, im Fettgewebe als Fett gespeichert wird. Somit ist als wichtige Einflussgröße für die Entwicklung der Fettleibigkeit neben der Kalorienzufuhr der Kalorienverbrauch zu berücksichtigen. Eine große Anzahl von Untersuchungen geht davon aus, dass die Kalorienzufuhr im Vergleich zu früher insgesamt eher abgenommen hat. Da aber der Kalorienverbrauch durch körperliche Arbeit, Sport und Bewegung allgemein sehr stark abgenommen hat, resultiert insgesamt eine Zunahme der Fettleibigkeit. Kann man davon ausgehen, dass früher wenigstens 8 h körperlicher Arbeit mit 300 – 400 kcal/h normal waren, also 2400 – 3000 Arbeitskalorien/Tag verbraucht wurden, so wird heute ein zusätzlicher Kalorienverbrauch durch Sport von 2000 – 3000 Kcal/Woche als optimal angesehen.

3.1.2.1 Kalorienzufuhr

Die Kalorienzufuhr erfolgt im Wesentlichen über Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette. Zusätzlich spielt auch der Alkoholverzehr eine nennenswerte Rolle. In der Entwicklung des Menschen hat dabei die Kaloriendichte ständig zugenommen. Nahm ein Mensch in der Steinzeit noch große Mengen an Ballaststoffen auf, so finden heute in nennenswertem Umfang aufbereitete Nahrungsmittel wie Mehl und Öl Verwendung. Da nach der Nahrungsaufnahme eine gewisse Zeit verstreichen muss, bis Sättigung verspürt wird, führt eine hohe Kaloriendichte zu einer hohen Kalorienzufuhr bis zum Zeitpunkt des Eintritts der Sättigung. Verbrauchte ein Arbeiter früher ca. 4500 kcal (Ruhe plus Leistungsumsatz), so musste er etwa 6,5 kg Kartoffeln zuführen, so haben alternativ etwa 2 kg Weißbrot oder auch nur 0,5 kg Öl den gleichen Kaloriengehalt. Auch finden in den letzten Jahrzehnten immer mehr kalorienhaltige Getränke („soft drinks“) Verwendung. Insbesondere für Kinder kann die Zufuhr von 1 – 2 l solcher Getränke eine exzessive Zunahme des Fettgewebes verursachen. Neben dem Problem der Adipositas konnte auch ein Zusammenhang zwischen einem hohen Konsum zuckerhaltiger Limonaden und einem erhöhten Auftreten von Pankreas-Krebs gezeigt werden (Larsson et al. 2006).

In den industrialisierten Ländern besteht seit vielen Jahren ein Überangebot an Nahrungsmitteln, so dass Einschränkungen auf Grund eines Mangels nur noch

selten vorkommen. Auch religiös begründetet Fastenzeiten (6 Wochen Fastenzeit vor Ostern, 4 Wochen Adventzeit) führten früher zu einer deutlichen Reduktion der Nahrungsaufnahme pro Jahr, da etwa 1 /5 des Jahres weniger Kalorien zugeführt wurden.

Eine weitere wichtige Begünstigung erhält die Nahrungszufuhr durch fehlende Spielzeiten außerhalb des Hauses. Am Fernseher oder am Computer sind Süßigkeiten und fetthaltige Snacks ständig verfügbar.

Neben diesen in unseren Verhaltensweisen liegenden Ursachen für eine erhöhte Kalorienzufuhr, spielen hormonelle und genetische Faktoren eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang könnten das Leptin, das Neuropeptid Y (NPY), das Ghrelin, das Melanocortin mit seinem Rezeptor und das Endocannabinoid-System das Essverhalten beeinflussen (McArdle et al. 2007, S. 844). Die Bildung und Wirkung dieser Hormone könnte auch auf genetischer Ebene beeinflusst sein. Auch die interessanten Untersuchungen zur Testosteron-Konzentration im Serum einer Schwangeren auf die Wahrscheinlichkeit, dass ihre Tochter ein polyzystisches Ovarialsyndrom entwickelt, findet in der aktuellen Literatur erhebliche Beachtung (Franks et al. 2006). Möglicherweise stellt schon die „Umwelt Mutterleib“ eine wichtige determinierende Größe auch für die Entwicklung der Fettleibigkeit dar (Boney et al. 2005).

3.1.2.2 Kalorienverbrauch

Der Kalorienverbrauch ist abhängig von den Untersuchungsbedingungen.
Unter dem Grundumsatz, im englischen der basal metabolic rate (BMR) wird der Kalorienverbrauch verstanden, der bei nüchternen, körperlich und geistig ruhenden Menschen bei Zimmertemperatur gemessen wird. Der Grundumsatz entspricht dem unvermeidbaren Wärmeverlust infolge des Zellstoffwechsels und der auch in Ruhe ablaufenden physiologischen Funktionen der Atmung, des Kreislaufs, der Verdauung, des unwillkürlichen Muskeltonus sowie der Aufrechterhaltung der Körpertemperatur. So verwundert es nicht, wenn Organe wie die Leber, das Hirn, das Herz und die Niere wesentlich mehr zum Grundumsatz beitragen, als es ihnen nach ihrem Anteil am Körpergewicht zukommen würde (s.Abb.1).

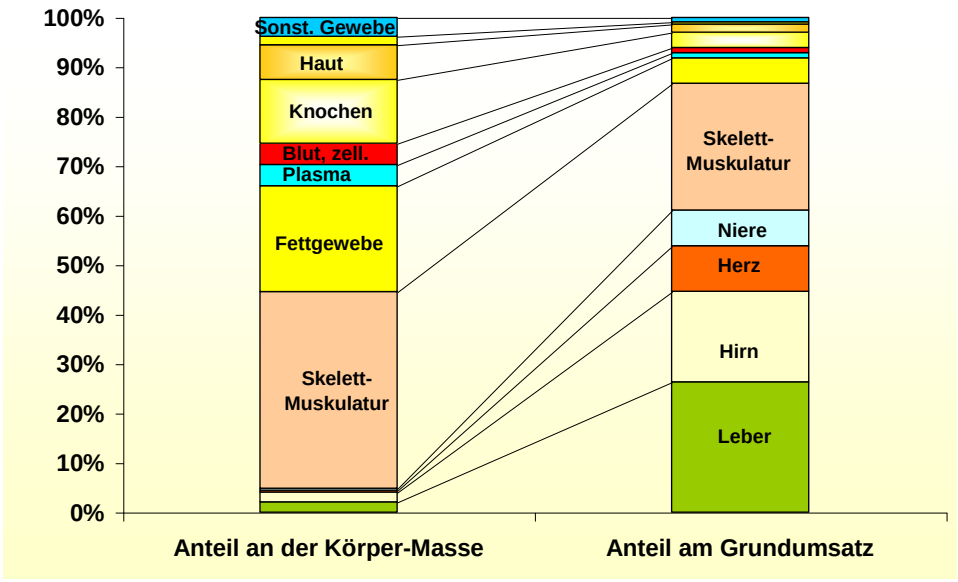

Abb. 1: Anteil der Körpermasse verschiedener Organe an der Gesamtkörpermasse und Anteil der verschiedenen Organe am Grundumsatz in Anlehnung an die Ergebnisse von Brozek & Grande, 1963, Geigy Tabellen, S. 535 in Diem & Lentner 1968.

Der Grundumsatz, wird unter streng standardisierten Bedingungen (liegend, in völliger Ruhe, nüchtern und in Indifferenztemperatur) durch Messung des Sauerstoffverbrauchs und der CO2-Produktion ermittelt.

Der Grundumsatz wird von vielen Faktoren beeinflusst. Die Zusammenhänge zwischen Grundumsatz, Alter und Geschlecht sind in der Abb.2 dargestellt.

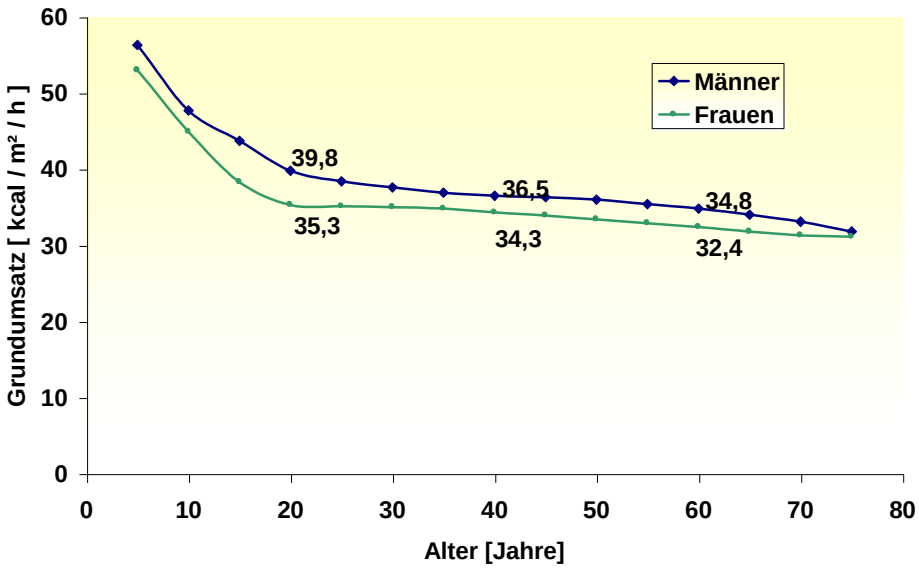

Abb. 2: Grundumsatz in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht (Boothby & DuBois 1954, S.536, Geigy).

In den frühen Jahren des 20. Jahrhunderts ging man davon aus, dass die die Körperoberfläche die wesentliche sonstige Einflussgröße auf den Grundumsatz darstellt. Später wurde die Gesamt-Körpermasse als wesentliche Determinante des Grundumsatzes angesehen. Seit den Arbeiten von Ravussin muss die fettfreie Masse des Körpers als wichtigste bestimmende Größe des Grundumsatzes angesehen werden (Ravussin et al. 1986). Nach diesen Arbeiten können auch die Einflüsse von Alter und Geschlecht auf den Grundumsatz auf die differierende fettfreie Körpermasse der Kollektive zurückgeführt werden (McArdle et al. 2007, S. 196-198).

Der Grundumsatz wird unabhängig von der FFM auch vom Hormonhaushalt beeinflusst. So wurde der Grundumsatz zur Bestimmung der Schilddrüsenfunktion verwendet, bis sich die Messung der Schilddrüsenhormone etabliert hatte. Zusätzlich haben insbesondere die Gestagene einen starken Einfluss, was sich an der Erhöhung der Basaltemperatur in der Gelbkörperphase des Zyklus und in der Schwangerschaft zeigen lässt.

Zusätzlich zum Grundumsatz werden Kalorien verbraucht bei der Verdauung sowie bei normaler körperlicher Aktivität (Ruheumsatz). Sport oder körperliche Arbeit steigern den Kalorienverbrauch der Muskulatur ganz erheblich (Belastungs-/Leistungsumsatz). Es wurden Steigerungen des Sauerstoff-verbrauchs der Muskulatur um einen Faktor bis 100 beschrieben (McArdle et al. 2007, S.200).

Somit hat die Muskelmasse einen ganz entscheidenden Einfluss nicht nur auf den Arbeits- und Leistungsumsatz, sondern auch auf den Grundumsatz. Eine Zunahme der Muskelmasse ist der wichtigste Faktor zur Steigerung des Kalorienverbrauchs und damit zur Bekämpfung des Risikofaktors Übergewicht.

3.1.3 Pathogenese

Die Adipositas ist keine Krankheit an sich. Sie bekommt lediglich Krankheitswert durch die mit ihr assoziierten Erkrankungen und die durch die Erkrankungen verursachte Mortalität.

3.1.4 Adipositas assoziierte Erkrankungen

Die Adipositas ist ein bedeutender Risikofaktor für die Entwicklung folgender Krankheiten: koronare Herzkrankheit und Schlaganfall, Beinvenenthrombosen und thromboembolische Komplikationen (vor allem postoperativ), Gallensteinleiden, Schwangerschaftsvergiftung, Krebskrankheiten (z.B. Kolon/Rektum, Mamma, Prostata, Endometrium u.a.), Schlafapnoe - Syndrom, und für Arthrosen vieler Gelenke (Wirbelsäule, Hüft-, Kniegelenke). Zum anderen ist die Entwicklung des Metabolischen Syndroms (auch Wohlstandssyndrom), welches mit einem hohen Atheroskleroserisiko assoziiert ist, begünstigt. Von Metabolischem Syndrom (Metabolic syndrom X) wird gesprochen, wenn (stammbetonte) Adipositas/Übergewicht (Taillenumfang Männer >102 cm, Frauen >88 cm), Fettstoffwechselstörung/Dyslipoproteinämie (erhöhte Triglyceride, ≥ 150 mg/dl, und niedriges HDL-Cholesterin < 40 mg/dl bei Männern und < 50 mg/dl bei Frauen; beide nüchtern gemessen), Bluthochdruck (systolisch ≥ 130 oder diastolisch ≥ 85) und erhöhte Nüchternblutglukose ≥100/110 mg/dl / Glukoseintoleranz auftreten. Die Personen, die an einem Metabolischen Syndrom erkrankt sind, weisen ein höheres Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes Mellitus Typ 2 (Altersdiabetes), Alzheimer und eine erhöhte Gesamtsterblichkeit auf. (Avenell et al. 2004).

Des Weiteren können hormonelle Störungen begünstigt werden. So kann bei Männern, die an einer Adipositas leiden, die Masse an Testosteron-abbauendem Fettgewebe so groß sein, dass der Testosteronspiegel sinkt bei gleichzeitig vermehrt gebildetem Östrogen. Der Testosteronmangel wirkt sich nicht nur negativ auf die Potenz und Libido aus, sondern der Mangel an anabol wirksamem Testosteron führt wieder zu einer Abnahme von Muskelmasse: ein Teufelskreis beginnt. Bei Frauen kann die Adipositas über die Auslösung einer Insulinresistenz zu einer vermehrten Androgenbildung in den Eierstöcken führen. Hirsutismus, Haarausfall, Seborrhö, Akne, sekundäre Amenorrhö, Infertilität, das gesamte Spektrum des polyzystisches Ovarialsyndroms (PCOS) können die Folge sein.

Als weitere Komplikationen der Adipositas müssen die Intertrigo, Striae, Fettleber, die Herzinsuffizienz, sowie reaktive Depression und soziale Probleme genannt werden.

Die Adipositas ist zwar keine Krankheit. Da allerdings mit der Adipositas viele Erkrankungen assoziiert sind, wurden viele Untersuchungen unternommen, die übereinstimmend gezeigt haben, dass mit der Beseitigung der Adipositas auch die Morbidität und Mortalität abnehmen (Avenell et al. 2004, Pi-Sunyer 1993, Peeters et al. 2003, Oster et al. 2000, Rathmanner et al. 2006, Hauner et al. 2006).
Eine Reduktion der Körperfettmasse stellt daher eine wesentliche Möglichkeit der primär und sekundär Prävention dar. Wie oben gezeigt spielt bei der Reduktion der Adipositas Bewegung mit Aufbau von Muskelmasse eine essentielle Rolle.

3.2 Klassifikation der Adipositas

Die Fettleibigkeit wird meist über anthropometrische Messmethoden definiert. Daneben finden auch Definitionen über den Fettgehalt des Körpers Verwendung.

3.2.1 Anthropometrische Messmethoden

Die Definition der Adipositas erfolgt meist an Hand von Körpermaßen. Dabei spielt neben dem Körpergewicht dessen Zusammenhang mit der Körpergröße eine wichtige Rolle. Umfangsmessungen sowie die Messung der Hautfaltendicke werden auch als Maß für die die Adipositas verwendet.

3.2.1.1 Broca-Index

Das Ausmaß des Übergewichtes wurde über lange Zeit mit dem Broca-Index beurteilt. Er wurde von Paul Broca, einem französischen Chirurg, der zwischen 1824 und 1880 lebte, entwickelt. Normalgewicht (Sollgewicht) liegt vor, wenn das Gewicht in Kilogramm gleich der Körpergröße in Zentimetern minus 100 beträgt. Akzeptabel war das Gewicht, das bis zu zehn Prozent über oder unter dem Broca-Gewicht liegt. Einem Körpergewicht von 20 % über dem Normalgewicht wurden gesundheitlichen Risiken zugeschrieben. Es wurde davon ausgegangen, dass das Idealgewicht – das Gewicht mit der höchsten Lebenserwartung; dem niedrigsten gesundheitlichen Risiko – 10-15 % unterhalb des Normalgewichtes liegt. Dies ließ sich in Studien allerdings nicht nachweisen. Der Broca-Index berücksichtigt aufgrund seiner Formel weder geschlechtsspezifische Unterschiede noch ist er für große oder kleine Personen

sowie für Kinder geeignet. Er kann somit lediglich zu einer groben und schnellen Einschätzung des Gewichtes dienen.

3.2.1.2 Body-Mass-Index

In den meisten Publikationen wird heute der Body-Mass-Index (BMI) als Maß für das Übergewicht, die Adipositas, herangezogen. Andere Namen für den BMI sind Quetelet- und Kaupindex oder Körpermassenzahl (KMZ). Dieser Index, der von Adolphe Quetelet im Jahre 1871 entwickelt wurde, wird berechnet, indem man das Körpergewicht in Kilogramm ins Verhältnis zum Quadrat der Körpergröße in Metern setzt. US-amerikanische Lebensversicherer wollten damit eine Größe zur einfachen Einstufung der Prämien für Lebensversicherungen erhalten.

Gemäß der Adipositasklassifikation der WHO liegen die Werte für eine normalgewichtige Person zwischen 18,5 kg/m² und 24,9 kg/m². Ab einem BMI von 25 kg/m² sind Menschen übergewichtig und präadipös. Ab einem BMI >30 kg/m² sind übergewichtige Personen behandlungsbedürftig. Gewichtsklassifikation bei Erwachsenen anhand des BMI s. Tab 1.

Es gibt viele Arbeiten, die gezeigt haben, dass der BMI erheblich mit der Mortalität korreliert. Je höher der BMI (ab der Klasse Übergewicht) ist, desto größer ist das Risiko für Herzkreislauf Komplikationen (eingeschlossen Bluthochdruck und Herzinfarkt), bestimmte Krebserkrankungen, Diabetes, Alzheimer, Gallensteine, Schlafapnoe, Osteoarthritis und Nierenerkrankung zu entwickeln.

Obwohl der BMI oft als Marker für eine Adipositas verwendet wird, ist er kein spezifisches Maß für die Körperfettmasse. Bei Anwendung des BMI ergibt sich eine offensichtliche Fehlbeurteilung bei sehr muskulösen Personen (z.B.: Bodybuildern), die gemäß der Definition des BMI, übergewichtig oder sogar adipös sind, in Wirklichkeit aber nur sehr wenig Fettgewebe aufweisen. (Welham & Behnke 1942). Umgekehrt werden mit dem BMI sehr muskelschwache Fettleibige als nur übergewichtig oder sogar normgewichtig beurteilt.

Neben dem BMI werden häufig Körperbau-bezogene Messparameter zur Beurteilung der Fettleibigkeit herangezogen.

3.2.1.3 Taillenumfang

Im klinischen Alltag wird besonderer Augenmerk auf den Taillenumfang gelegt, da dieser Parameter die gesundheitlichen, die Stoffwechsel betreffenden Risiken und erhöhte Mortalität, die mit einer erhöhten Fettleibigkeit einhergehen können, relativ gut beschreibt. (Avenell et al 2004), gerade dann wenn andere Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung nicht zum Einsatz kommen oder kommen können. Er wird in der Mitte zwischen dem Unterrand der untersten Rippe und dem Beckenkamm (Hüftknochen) mit einem Maßband gemessen. Dieser Parameter lässt eine relativ zuverlässige Schätzung des intraabdominalen (viszeralen) Fettgewebes zu. Besonders dieses zentrale Fettkompartiment, das weitgehend unabhängig von der sonstigen Fettverteilung am Körper ist, ist sehr stoffwechselaktiv und kann den Fett - und Kohlenhydratstoffwechsel in der Art beeinflussen, dass folgende Veränderungen stattfinden: erhöhte Insulinresistenz, pathologische Glukosetoleranz, Typ 2 Diabetes, Hypertriglyzerdemie, Hypercholesterin und negativ verändertes Lipoproteinprofil, Bluthochdruck und Artheriosklerose/ und somit auch ein erhöhtes Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, und Gebärmutter Krebs. Auch das Risiko an Darmkrebs zu erkranken ist ab einem Bauchumfang von 82 cm bei Frauen und 91 cm bei Männern doppelt so hoch. Han et al. 1995 konnten zeigen, dass bei Männern ab einem Taillenumfang von ≥ 94 cm das Risiko für metabolische und kardiovaskuläre Komplikationen erhöht ist und bei einem Taillenumfang von ≥ 102 cm deutlich erhöht. Bei Frauen gibt er ≥80 cm für ein erhöhtes Risiko an und ≥ 88 cm für ein deutlich erhöhtes Risiko.

3.2.1.4 Hüftumfang

Der Hüftumfang wird in Höhe der beiden Trochanter majores (Hüftknochen) gemessen. Die Assoziation mit Stoffwechselstörungen ist deutlich geringer als die für den Taillenumfang.

3.2.1.5 Quotient aus Taillen- und Hüftumfang

Der Quotient aus Taillen - und Hüftumfang gemessen in Zentimetern oder auch waist-to-hip-ratio (WHR) genannt schließt in seiner Bestimmung die regionale Fettverteilung von Taille und Hüfte mit ein. Oft wird zwischen der androiden (zentralen, stammbetonten, apfelförmigen) oder der gynoiden (peripheren,

birnenförmigen) Fettverteilung unterschieden. Bei der stammbetonten Adipositas, die auf vermehrtes viszerales (Bauchfett) Fettgewebe hinweist, findet sich ein erhöhtes Gesundheitsrisiko. Ab einem Verhältnis von >0,80 bei Frauen und >0,95 bei Männern und darüber hinaus scheint das Risiko zu erkranken und das Sterberisiko erhöht zu sein. (McArdle et al. 2007, S.850). Häufig wird die stammbetonte Fettverteilung als typisch für Männer angesehen und eine gynoide Form (Fett vermehrt an Gesäß und Oberschenkel, Bauch eher schlank) charakteristisch für Frauen. Die typisch weibliche Form findet sich aber auch bei Männern und anders herum. Die Assoziation der Waist to Hip ratio ist allerdings entgegen der oben geschilderten theoretisch möglichen Vorteilen dieser Methode geringer als die für den Taillenumfang alleine.

3.2.1.6 Hautfaltendicke

Das Unterhautfettgewebe stellt eines der größten zusammenhängenden Fettgewebsformationen dar. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass man schon früh versucht hat, mit der Messung der Hautfaltendicke mittels Fettzange (Caliper) ein verlässliches Maß für die Fettleibigkeit zu finden. Neben der Hautfaltendickemessung an einer einzigen Stelle kommen verschieden Verfahren zur Anwendung, in denen versucht wird, durch Wichtung der Hautfaltendicke an unterschiedlichen Körperregionen ein verlässlicheres Maß zu gewinnen. Obwohl in den letzten 80 Jahren mehr als 150 Gleichungen entwickelt wurden, um den relativen Fettgehalt zu ermitteln, sind sich Experten einig, dass diese Methode nicht zur Bestimmung der Körperzusammensetzung von Adipösen eingesetzt werden soll. Dennoch ist die Hautfaltendickenmessung weit verbreitet, da die Handhabung relativ leicht ist, der Zeitaufwand gering und die Durchführung kostengünstig ist.

Eine Variation der Messund der Hautfaltendicke stellt die Infrarotspektrometrie (near infra red reflektion spectrometry = NIR) dar, die die Höhe der subkutanen Fettschicht relativ gut messen kann. Für diese Methode gelten im Wesentlichen die gleichen Einschränkungen wie für die Hautfaltendickenmessung.

Mit dem Taillenumfang existiert somit ein Parameter, der mit den verschiedenen Adipositas - assoziierten Erkrankungen deutlich besser korreliert, als der BMI.

Dennoch sind andere Parameter notwendig zur genaueren Erfassung der Fettleibigkeit. Zur Beurteilung der Wertigkeit von solchen Parametern ist die Kenntnis der Körperzusammensetzung Vorraussetzung.

3.3 Körperzusammensetzung

Die Körperzusammensetzung kann aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden. So gibt es Untersuchungen, die eine Aussage zur Zusammensetzung des Körpers nach den chemischen Elementen, chemisch definierten Substanzen (molekulare Ebene), der zellulären Ebene oder auch nach unterschiedlichen anatomisch abgrenzbaren Geweben erlauben (Ellis 2000).

3.3.1 Molekulare Ebene

Meist verwendet wird die Einteilung nach chemisch definierten Substanzen, nach Molekülen. Mit verschiedenen Methoden gut messbar ist der Fettgehalt des Körpers, der als FM = Fettmasse, im englischen Sprachraum als fat mass bezeichnet wird und in kg angegeben wird. Dieser Begriff darf keinesfalls mit der Fettmasse des Fettgewebes oder gar mit dem Fettgewebe gleichgesetzt werden. Die FM umfasst die Fettmasse des Fettgewebes plus alle als Fette oder Lipide zu bezeichnenden Substanzen auch in jeder Körperzelle, seien es die Phospholipide der Zellmembran oder auch die Lipide des Gehirns. Das Fettgewebe umfasst neben der Fettmasse fettfreies Gewebe in Form von intrazellulärem Cytosol und Interstitium.

Der Rest des Körpers wird als fettfreie Masse, englisch fat free mass abgekürzt als FFM bezeichnet. Die FFM umfasst auch den mittlerweile sehr leicht abzugrenzenden Knochenmineralgehalt, englisch bone mineral content, abgekürzt BMC, der beim Erwachsenen um 3 kg schwankt. Daneben finden sich in der FFM sehr reproduzierbar 73 % Wasser, etwa 20 -21 % Eiweiße. Mineralstoffe und Kohlenhydrate bilden den Rest der fettfreien Masse.

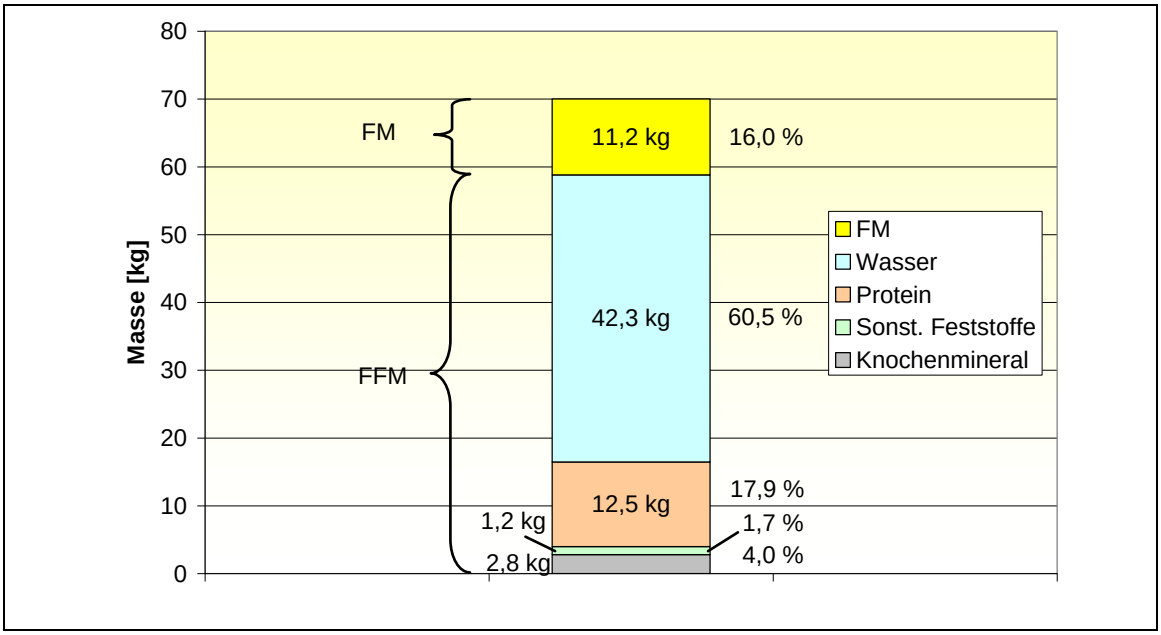

Abb. 3: Körperzusammensetzung nach chemischer Analyse – molekulare Ebene. In Anlehnung an Daten aus den Geigy-Tabellen, S.513 (Diem & Lentner 1968) für einen 70 kg schweren Mann.

Aus den Daten der chemischen Analyse lässt sich in sehr guter Annäherung der Kaloriengehalt des Körpers nach der folgenden Formel berechnen:
Kal-Geh [kcal] = FM [kg] x 9.000 kcal/kg + FFM [kg] x 1.000 kcal/kg.

Für die fettfreie Masse ohne Knochenmineral existiert kein allgemein akzeptierter Begriff. Allenfalls fettfreie Weichgewebsmasse (adipose tissue free mass, ATFM) oder auch Mager-Weichgewebe kann den Inhalt der mathematisch einfachen Formel FFM-BMC beschreiben.

3.3.2 Zelluläre Ebene

Auf zellulärer Ebene kann zwischen intrazellulärem und extrazellulärem Gewebe unterschieden werden, bei letzterem zwischen intravasalem und interstitiellem. Da die vorgelegte Arbeit sich mit diesem Aspekt nicht beschäftigt, soll an dieser Stelle auch nicht weiter darauf eingegangen werden.

3.3.3 Gewebe / Organ-Ebene

Aus den Lehrbüchern für Anatomie können die mittleren Organ-Gewichte meist für etwa 70 kg schwere Männer entnommen werden. Das Gewicht für die Inneren Organe einschließlich Gehirn wird meist mit etwa 8 kg angegeben. Für die Knochen einschließlich Knochenmark 8 – 9 kg, das Blut mit 5,5 kg, die Haut mit Unterhautfettgewebe mit 6 – 8 kg. Für die Muskulatur finden sich Werte um 30 kg. Für das Fettgewebe hingegen finden sich kaum Angaben. Das kann

allerdings auch nicht verwundern, da Fettgewebe kein einheitliches Organ darstellt sondern sich an den unterschiedlichsten Stellen unseres Körpers findet und sich so dem einfachen Abwiegen entzieht. Ein Teil des Fettgewebes findet sich im Unterhautfettgewebe, dem Knochenmark und dem Darm, um nur die wichtigsten Fettgewebshaltigen Organe zu nennen. Selbst in der Muskulatur kann – allerdings in sehr unterschiedlichem Ausmaß – Fettgewebe nachweisbar sein, wie uns der Verzehr von Fleisch vor Augen führt. Unter Zugrundelegung der o.g. Zahlen würde das Fettgewebe bei einem 70 kg schweren Mann also etwa 11 kg betragen.

Wichtig für die Sportwissenschaften ist dabei, dass die Muskulatur beim Mann nur etwa 50 % des fettgewebsfreien Gewebes ausmacht und somit fettgewebsfreies Gewebe keinesfalls mit der Muskulatur gleichgesetzt werden darf. Bei der Frau ist die FFM in aller Regel deutlich niedriger als beim Mann. Die Organgewichte werden allerdings immer nur geringgradig niedriger angegeben. Daraus folgt, dass der Anteil der Muskelmasse an der FFM bei der Frau im Mittel sogar erheblich unter 50 % liegt.

Als Quintessenz aus diesem Kapitel muss somit festgehalten werden, dass die Einteilung der Körperzusammensetzung nach Geweben nicht mit der Einteilung nach der molekularen Zusammensetzung in Übereinstimmung gebracht werden kann.

3.3.4 Schätzung des Fettgewebes aus der Fettmasse

Insgesamt erscheint es schwierig, die Ergebnisse der Messung der Körperzusammensetzung auf molekularer Ebene mit denen auf der leichter verständlichen Organ-Ebene in Beziehung zu setzen. Das liegt zum einen daran, dass ein allerdings sehr geringer Anteil an Fett-Molekülen in den Zellmembranen des fettgewebsfreien Gewebes vorliegt.

Zum anderen besteht Fettgewebe aus Fettzellen, die neben den Fetttropfen auch fettfreie Zellmasse enthalten und dem Extrazellulärraum des Fettgewebes.

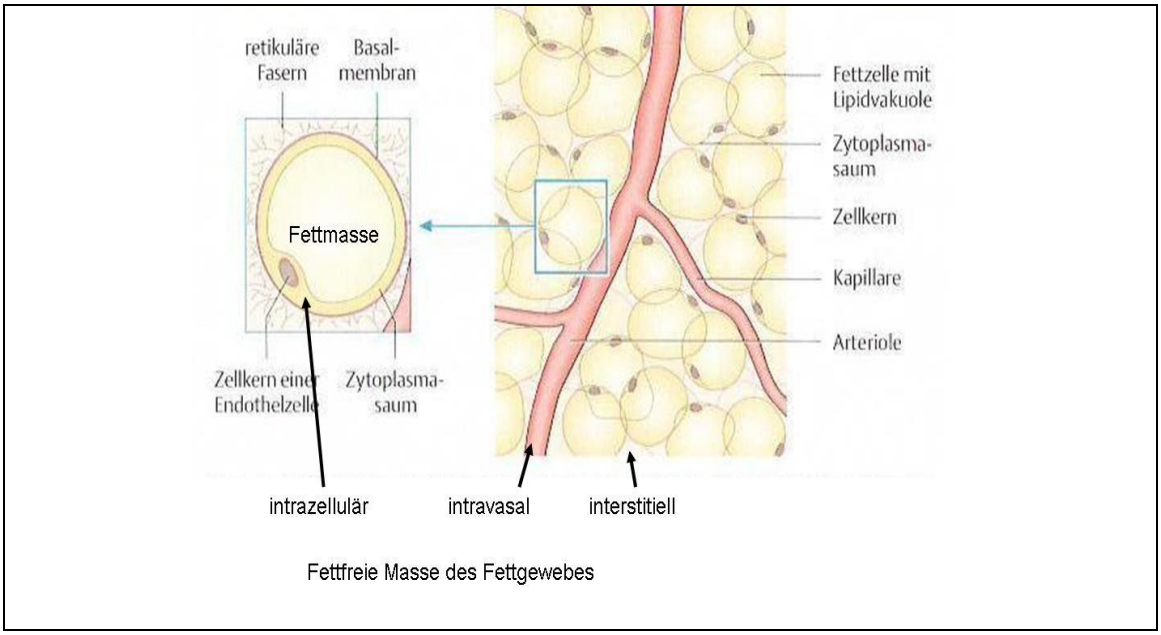

Abb. 4: Darstellung der Fettmasse und der fettfreien Masse des Fettgewebes in Anlehnung an Faller & Schünke 2004

Fettgewebe (Organebene) besteht auf molekularer Ebene somit aus Fettmasse plus fettfreier Masse des Fettgewebes. Die Literaturangaben zum Wassergehalt des Fettgewebes, oder zur fettfreien Masse des Fettgewebes sind sehr spärlich. Wichtige Arbeiten stammen aus der Mitte des vorigen Jahrhunderts von unterschiedlichen Autoren. Dabei haben Brozek & Keys 1955 den Wassergehalt des Fettgewebes, des „obesity tissue“, wie sie es genannt haben, mit ca. 22 % geschätzt, die FM des Fettgewebes mit nur 70 %. Dabei fanden sie in Abhängigkeit von der verwendeten Methode einen relativ hohen Anteil des Wassers im Extrazellulärraum zwischen 7 und 15 %. Behnke, der als einer der Pioniere der Densitometrie gelten kann, gibt in einer Übersichtsarbeit (Mc Ardle et al. 2007, S. 783) den Fettgehalt der Fettgewebsmasse (FGM) mit 83 % an. Daraus errechnet sich eine fettfreie Masse des Fettgewebes von 17 %. 1994 zeigten Webster et al. eine fettfreie Masse des Fettgewebes von 22-30 %.

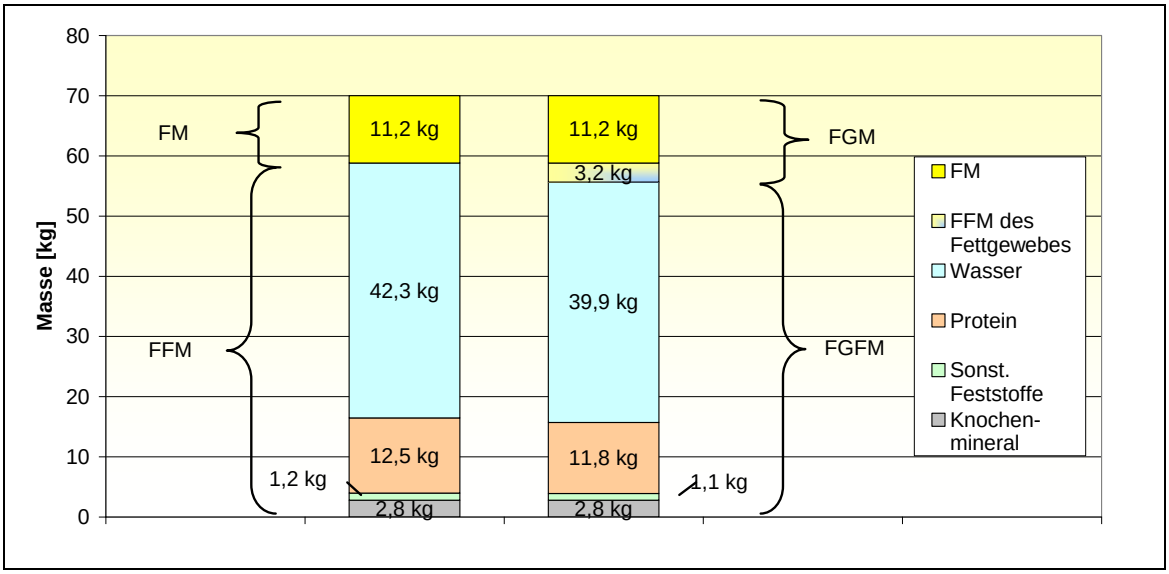

Abb. 5: Gegenüberstellung der Körperzusammensetzung nach chemischer Analyse (s. ABB zuvor) und aufgeteilt nach Fettgewebsmasse (FGM) und Fettgewebsfreier Masse (FGFM)

Eine weitere Möglichkeit, den Wassergehalt von Fettgewebe zu schätzen besteht in der Kalorimetrie von Fettgewebe. Dabei wird meist der Kaloriengehalt des Fettgewebes mit 7000 kcal / kg angegeben. Daraus errechnet sich unter der Vernachlässigung des Kaloriengehalts der FFM des Fettgewebes, die ja zu einem hohen Anteil aus Extrazellulärflüssigkeit besteht, ein Fettanteil des Fettgewebes von 78 %.

Die aussagefähigsten Untersuchungen sind die Analysen des Fettgewebes, das bei Operationen entnommen wurde. Baker konnte 1969 zeigen, dass subkutanes Fettgewebe des Erwachsenen im Mittel 21,4 % fettfreie Masse enthält. Perirenales Fettgewebe wies in dieser Arbeit im Mittel 28 % fettfreie Masse auf. Da das subkutane Fettgewebe beim Menschen den größten Anteil ausmacht, wurde in der vorliegenden Arbeit von einer FFM des Fettgewebes von 22 % ausgegangen. Damit sollte zugleich die Überschätzung der FM des Fettgewebes durch die Lipide des Fettgewebsfreien Gewebes korrigiert werden. Somit kann die FFM des Fettgewebes durch Multiplikation der FM mit dem Faktor 0,282 geschätzt werden.

So kann aus dem 2-Kompartmentmodell auf molekularer Ebene (FM + FFM) auf ein 3-Kompartmentmodell auf zellulärer Ebene umgerechnet werden: FM + FFM des Fettgewebes (=Fettgewebe) + FGFM (fettgewebsfreie Masse).

Während bei der Betrachtung des 2-Kompartmentmodells auf molekularer Ebene eine Reduktion des Fettgewebes zu einer Reduktion sowohl der FM als auch der FFM führen muss, lässt die Reduktion von Fettgewebe den Parameter FGFM im oben geschilderten 3-Kompartmentmodell unverändert.
Da die Abnahme der FFM des Fettgewebes mit einkalkuliert wird, wird verhindert, dass der Abbau von größeren Mengen von Fettgewebe einen Muskelmassenverlust vortäuscht. Dies ist aber eine unabdingbare Voraussetzung dafür, dass Adipöse, die einen Zugang zum Sport gefunden haben, nicht über einen fehlenden Nachweis des Muskelaufbaus, vielleicht sogar durch eine scheinbare Abnahme der Muskelmasse frustriert werden. Ein Parameter, der eine Abnahme der Muskelmasse nicht vortäuscht, könnte die Motivation von Adipösen, Sport zu treiben, entscheidend erhöhen.

Da eine Änderung der FGFM fast nie auf eine Änderung des Gewichts der inneren Organe, der Knochen, der Haut (ohne Fettgewebe) zurück geführt werden kann, wird eine Änderung der FGFM sinnvoller Weise mit einer Änderung der Muskelmasse in Verbindung gebracht.

3.4 Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung

Die Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung kann man recht gut nach den unter 3.3 geschilderten Ebenen aufteilen (Wang et al. 1992). Zu den Details, Vor- und Nachteilen der verschiedenen Methoden sei auf die folgenden Literaturstellen verwiesen: McArdle et al. 2007, Kap. 28, Björntorp & Brodoff 1992, Kap. 3-6, Ellis 2000, Foss & Keteyian 1989).

3.4.1 Methoden, die auf der Analyse der chemischen Elemente beruhen

3.4.1.1 Bestimmung des Gesamt-Körper-Kaliums anhand der ^{40}K-Methode

Mit Ganzkörper Zählern, die in streng gegen äußere Strahlung abgeschirmten Räumen untergebracht sein müssen, kann der Gehalt des im Körper vorkommenden natürlichen ^{40}Kalium Isotops repräsentativ für den Gesamt-Körper-Kalium Gehalt des Körpers gemessen werden. Da Kalium im Fetttropfen der Fettzelle praktisch nicht vorkommt, kann aus dem Kalium-Gehalt des

Körpers auf die FFM geschlossen werden. Da allerdings Kalium zwischen dem Intrazellulärraum und dem Extrazellulärraum eine extrem unterschiedliche Verteilung zeigt (extrazellulär ca. 4 mmol/l, intrazellulär ca. 110 mmol/l) führen Verschiebungen zwischen Intra – und Extrazellulärraum zu erheblichen Fehlinterpretationen. Darüber hinaus sind solche Messgeräte wegen des extremen finanziellen Aufwandes kaum verfügbar.

3.4.1.2 Bestimmung des Gesamt-Körper-Kaliums anhand der ^{42}K-Verdünnungsmethode

Früher hat man auch die Verdünnung des applizierten Isotops ^{42}K verwendet, um das Gesamt-Körper Kalium und seine Verteilung zwischen Intra- und Extrazellulärraum abzuschätzen. Die hohen Kosten und die Strahlenbelastung haben dazu geführt, dass diese Methode heute praktisch nicht mehr verwendet wird.

3.4.1.3 Neutronenaktivierungsanalyse

Mit der Neutronenaktivierungsanalyse kann fast jedes Element im Körper gemessen werden. Wenn ein Atom ein Neutron einfängt, dann wird das Atom in einen anderen nuklearen Zustand des gleichen chemischen Elements überführt. Das neue Atom kann jetzt entweder stabil oder radioaktiv sein und wird auf jeden Fall einen Überschuss an Energie besitzen, der sofort wieder emitiert wird. Da diese Methode fast jedes Element messen kann ist sie eine der besten Referenzmethoden. Der große Nachteil dieser Methode besteht in einem enormen finanziellen Aufwand und einer sehr hohen Strahlenbelastung von <0,3 mSv für das Gesamtkörperkalzium und <3 mSv für Gesamtkörperstickstoff (Die natürliche Jahresstrahlenbelastung wird auf 3,6 mSv pro Jahr geschätzt).

3.4.1.4 Chemische Analyse

Bis zur Einführung der Neutronenaktivierungsanalyse war die chemische Analyse auf elementarer Ebene nur an Leichen möglich. Daten zur Bestimmung der Körperzusammensetzung von Erwachsenen aus Leichenuntersuchungen sind spärlich und wurden größtenteils zwischen 1945 und 1984 veröffentlicht (Clarys et al. 1999, Forbes et al. 1953). Problematisch kann es sein, von Untersuchungen Verstorbener, die entweder ausgetrocknet waren oder aber ausgeprägte Ödeme vor dem Tod aufwiesen, auf lebende Personen zu

schließen. Der Aufwand und die ethische Vertretbarkeit solcher Studien dürfte die geringe Anzahl an Studien erklären.

3.4.2 Methoden auf molekularer Ebene

3.4.2.1 Densitometrie

Die Hydrodensitometrie (Unterwasserwiegen, underwater oder hydrostatic weighing) ist eine äußerst verlässliche Methode zur Bestimmung der Körperdichte. Sie wird daher häufig als Referenzmethode verwendet. Die Körperdichte einer Person errechnet sich als Quotient von Körpermasse und gasfreiem Körpervolumen. Die Körpermasse wird durch einfaches wiegen ermittelt. Die Bestimmung des gasfreien Körpervolumens ist auf mehrere Arten möglich. Seit 1757 sind erste Hinweise in der Literatur zu finden. Folgende Verfahrensarten kamen und kommen zum Einsatz: Die reine Verdrängungsmessung errechnet die Dichte folgendermaßen: Dichte = Gewicht in der Luft / Gewicht des verdrängten Wassers - das spezifische Gewicht des Wassers wird dabei mit 1 g/cm³ angenommen. Dieser Wert gilt allerdings nur bei einer Temperatur von 39,2°C. Für die anderen Temperaturen muss entsprechend korrigiert werden. Der Proband wird zunächst in Luft gewogen und anschließend wird das Wasser gemessen, das verdrängt wird, wenn der Proband komplett untertaucht. Die Messung der reinen Wasserverdrängung wird aufgrund der großen Messunsicherheit nur noch selten praktiziert. Stattdessen erfolgt eine Gewichtsbestimmung unter Wasser. Die Differenz zwischen dem Gewicht in Luft und unter Wasser wird zur Bestimmung des Volumens heran gezogen (archimedischen Prinzip).

Zur Berechnung der Dichte müssen die schwierig zu erfassenden Gasvolumina in Atem (Residualvolumen, RV) - und Gastrointestinaltrakt (nicht messbar, wird auf 100 ml bei einem fastenden Probanden geschätzt) mit berücksichtigt werden. Das RV kann geschätzt werden: RV = Vitalkapazität x 0,28 für Frauen (1000mL) und x 0,24 für Männer (1300mL). Eine genauere Bestimmung liefert die Gasverdünnungsmethode (O2 oder Helium).

Um aus der Dichte auf den Körperfettanteil zurückzurechnen, werden häufig zwei Formeln beim 2-Kompartmentmodell herangezogen. Die Formel von Brozek et al. 1963 lautet: relativer Fettgehalt (rF) = (4,570/D) – 4,142. Die andere Formel von Siri 1956 errechnet sich folgendermaßen: rF = (4,950/ D) – 4,50. Die

Formeln gehen von einer konstanten Dichte der FM und der FFM zur Berechnung aus.

3.4.2.2 Bod Pod, Plethysmographie

Bei der Bod Pod – Messung wird im Wesentlichen genauso vorgegangen wie bei dem Unterwasserwiegen. Lediglich wird anstelle des verdrängten Wassers die verdrängte Luft zur Ermittlung des Körpervolumens verwendet.

3.4.2.3 DEXA-Methode

Auch mit der DEXA-Methode wird die Körperzusammensetzung auf molekularer Ebene ermittelt. Die Details werden in Kapitel 4 ausführlich beschrieben. Dabei wurde das der DEXA zu Grunde liegende 3-Kompartment-Modell auf ein 2-Kompartment-Modell (FM und FFM) reduziert, weil das dritte Kompartment, der Knochenmineralgehalt (BMC) für diese Arbeit nicht relevant ist. Im Kapitel 4 und in den Ergebnissen wird ausführlich auf die Möglichkeiten der Umrechnung in ein neues 3-Kompartment-Modell aus FM, Fettfreier Masse des Fettgewebes und FGFM eingegangen.

3.4.2.4 Verdünnungs-Methoden

Bei den Verdünnungsmethoden kommt meistens die Applikation von Deuterium-Wasser zur Anwendung. Damit kann der absolute Wassergehalt des Körpers recht genau ermittelt werden. Da der Hydrierungsgrad der Magermasse recht konstant mit 73 % ermittelt wurde, kann aus dem absoluten Wassergehalt auf die FFM und damit auch auf die FM zurück geschlossen werden.

3.4.3 Zelluläre Ebene

Verschiede andere Dilutionsverfahren erlauben darüber hinaus, den Körper in intrazelluläres, extrazelluläres und intravasales Wasser zu unterteilen.

3.4.4 Methoden auf Organebene

Zur Bestimmung der Körperzusammensetzung auf Organebene sind die modernen Bildgebenden Verfahren, die Magnetresonanz-Tomographie (MRT) und die Computertomographie geeignet.

3.4.4.1 Magnetresonanz-Tomographie

Die MRI-Messung (Kernspintomographie, MRT) nutzt magnetische Felder, um die Körperzusammensetzung zu differenzieren. Sie erzeugt Schnittbilder des Körpers, die eine hervorragende Beurteilung der Organe und der Organveränderungen ermöglichen. So können die inneren Organe, die Knochen und die Muskulatur von Fettgewebe differenziert werden. Der größte Vorteil dieser Messung im Vergleich zu den anderen Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung liegt darin, dass damit eine Abgrenzung von viszeralem (VAT) und subkutanem Fettgewebe (SAT) möglich ist und ihre Veränderung relativ genau erfassen können. Daher wird diskutiert, die Messung dieser Anteile mit der MRT als Referenzmethode anzusehen, um die Effizienz einer Therapie zur Adipositas zu beurteilen. Vorteil: kein Spritzen von Kontrastmittel notwendig. Nachteil dieser Messung ist neben den extrem hohen Anschaffungs- und Betriebskosten der hohe Zeitaufwand. Zusätzlich wird der Fettgehalt der inneren Organe und der Muskulatur nicht mit erfasst.

3.4.4.2 Computer-Tomographie

Die Computertomographie (CT) nützt eine rechnergestützte Auswertung einer Vielzahl aus verschiedenen Richtungen aufgenommenen Röntgenaufnahmen, um ein dreidimensionales Bild einer untersuchten Region – im Fall der Körperzusammensetzung: des gesamten Körpers - zu erzeugen. Damit kann Fettgewebe, Muskel, Haut-, Viszerales - und Knochengewebe mit großer Genauigkeit differenziert und mit einem leistungsstarken Computerprogramm berechnet werden. Bei einer CT Messung kann das VAT sogar noch genauer als mit MRT gemessen werden und braucht wesentlich kürzere Untersuchungszeiten. Trotz der großen Aussagekraft dieses Verfahrens ist eine Messung der Ganzkörperkomposition aufgrund der hohen Strahlenexposition kaum zu rechtfertigen. Zusätzlich wird der Fettgehalt der inneren Organe und der Muskulatur nicht mit erfasst.

3.4.5 Bioelektrische Impedanzanalyse

Die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) ist eine Methode zur indirekten Bestimmung der Körperzusammensetzung. Sie beruht auf den physikalischen Prinzipien der elektrischen Leitfähigkeit und der Anwendung dieser auf das komplexe System des menschlichen Körpers. Gemessen wird der elektrische

Widerstand zwischen mindestens 2 meist 4 Elektroden. Dabei hängt der Widerstand ab vom Elektrolyt/Wassergehalt und dem kleinsten Durchmesser
An Hand von Korrelationen zwischen den ermittelten Widerständen und der Körperzusammensetzung, die bei einem Kontroll-Kollektiv mit einer anderen Methode ermittelt wurde, wird die fettfreie Masse berechnet. Da der elektrische Widerstand eines Leiters umgekehrt proportional zum kleinsten Durchmesser eines Zylinders ist, wird das Ergebnis vorwiegend vom Wasser / Elektrolytgehalt an Hand- und Fußgelenken determiniert. Geringe Ödeme nach längerem Stehen täuschen eine massive Abnahme des Fettgewebes vor. Große Änderungen des Wassergehaltes im Abdomen führen hingegen zu keiner nennenswerten Änderung des Widerstandes. So hat z.B. die Entfernung eines großen Aszites von mehreren Litern fast keine Änderung des Widerstandes zur Folge. Dies hätte zur Folge, dass durch das Ablassen des Aszites nicht nur die FFM sondern kalkulatorisch auch die FM des Erkrankten abnimmt.
Die BIA findet wegen ihrer einfachen Handhabung, Kostengünstigkeit, Schnelligkeit und geringen Belastung weite Verbreitung. Einige der Annahmen, die der Methode zugrunde gelegt werden, entsprechen nicht der Realität. Standardisierte Messbedingungen müssen eingehalten werden, da die Einflussgrößen auf die Messung vielfältig sind. Zahlreiche Publikationen weisen auf die Schwierigkeiten der BIA-Methode für den Einsatz bei einer Gewichtsreduktion, bei Älteren, bei Adipösen und bei Patienten mit Ödemen hin.

4 Methodik DEXA

DEXA-Messgeräte sind heute in vielen Kliniken und Praxen verfügbar; sie werden allerdings meist nur zur Knochendichtemessung verwendet. Mit einer speziellen Software kann aber auch die Körperzusammensetzung ermittelt werden.

Mittlerweile wird die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DEXA oder DXA, engl. Dual Energy X-ray Absorptiometry) in der Humanmedizin zunehmend als Methode der Wahl für die Ermittlung der Körperzusammensetzung, bzw. zur Bestimmung des Körperfetts in vivo angesehen (Henche & Pellico 2005, Heyward 2001).

DEXA ist eine Röntgentechnik. Eine Röntgenquelle sendet dabei Photonen aus, die in ihrer Intensität in Abhängigkeit von der Körperzusammensetzung unterschiedlich stark geschwächt werden.

Die Geschichte dieser Technik begann in den frühen sechziger Jahren mit der Entwicklung der Single Photon Absorptiometry (SPA), die auch Monophotonen-Absorptiometrie genannt wird. Bei dieser Technik wurde mit der Gamma-Strahlung eines Radionuklids (^{125}Jod oder ^{241}Americium) mit einem umschriebenen einzelnen Energieniveau, mit einem „Photonen-Peak“, gemessen. Mit der SPA hat sich nur die Knochendichtemessung am Unterarm im Wasserbad etabliert. Erste Dual-Photonen Absorptiometer (DPA-Geräte) wurden 1965 konstruiert, klinische Anwendungen ergaben sich erst später. Anfänglich wurden in Abhängigkeit von der Messstelle zwei verschiedene Quellen eingesetzt – entweder ^{125}Jod und ^{241}Americium (28 und 60 keV) oder ^{241}Americium und ^{137}Cäsium. In den frühen 70er Jahren kam das Isotop ^{153}Gadolinium, ein Radioisotop mit zwei Hauptphotonenpeaks, auf den Markt. Die DPA gestattete schon Messungen der Körperzusammensetzung, wobei die Gesamtuntersuchungsdauer mehr als 40 Minuten betrug.

Später wurde die Strahlen erzeugende Radionuklidquelle durch eine Röntgenröhre ersetzt. Das resultierte in einem höheren Protonenfluss, kürzeren Messzeiten von wenigen Minuten, geringerer Strahlenbelastung und einer größeren Genauigkeit. Die neue Technik trägt den Namen Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie (DEXA).

Zu einem DEXA-Gerät gehören im Allgemeinen folgende Bestandteile:

1. eine Röntgenröhre, 2. ein spezieller Filter, der Röntgenstrahlen zweier unterschiedlicher Energieniveaus durchlässt, 3. ein Strahlensensor, 4. ein Rechner mit entsprechender Software und 5. ein Lagerungstisch. Unter dem Tisch befindet sich die Röntgenröhre, über dem Tisch an einem C-förmigen Arm der Sensor. Es gibt sogenannte Single-Beam-(oder Pencil Beam- oder Einfachstrahl-) Geräte, die mit einem bleistiftförmigen Röntgenstrahl und einem einzigen Detektor arbeiten und die neueren und schnelleren Fan-Beam-(Fächerstrahl-) Geräte, die fächerförmig angeordnet Röntgenstrahlen emittieren, was mehrere Detektoren erfordert. Sie sind erst 1999 auf den Markt gekommen. Die Vorteile dieser Technik sind kürzere Scanzeiten (3-4 min), dadurch ein schnellerer Patientendurchlauf, eine verbesserte Bildqualität, eine verbesserte Bildauflösung und verminderte Bewegungsartefakte. Dem steht jedoch eine höhere Strahlenbelastung für den Patienten und für das Personal als Nachteil gegenüber. Während sich das Personal bei Pencil Beam Geräten im Abstand von 1 Meter vom Tisch befinden kann, und die Strahlenbelastung weit unter 1 mSv pro Jahr liegt (ICRP Empfehlung), sind bei Fan Beam Geräten Strahlenschutzmaßnahmen notwendig. Es ist ein Abstand von über 3 Metern einzuhalten oder eine Strahlenschutzwand aufzustellen. Zusätzlich werden Projektions- und Vergrößerungsartefakte beschrieben und die Kosten der Geräte sind etwa doppelt so hoch. Die Software wird primär von allen Geräteherstellern aus theoretischen Gleichungen und den Ergebnissen von Kalibrierungsuntersuchungen zusammengestellt.

Drei US-amerikanische Firmen stellen DEXA-Scanner her: Hologic (Bedford, MA, USA), Lunar (Madison, WI, USA) und Norland (Fort Atkinson, WI, USA). Jeder Hersteller von DEXA-Geräten benutzt etwas abweichende Techniken und hat auch mehrere Software-Versionen entwickelt, die unterschiedliche Untersuchungswerte ergeben können.

4.1 Funktionsweise

Bei der Messung der Körperzusammensetzung mit der DEXA Methode macht man sich die unterschiedliche Schwächung von Röntgenstrahlen mit unterschiedlicher Strahlenenergie durch die verschiedenen durchdrungenen Medien zunutze.

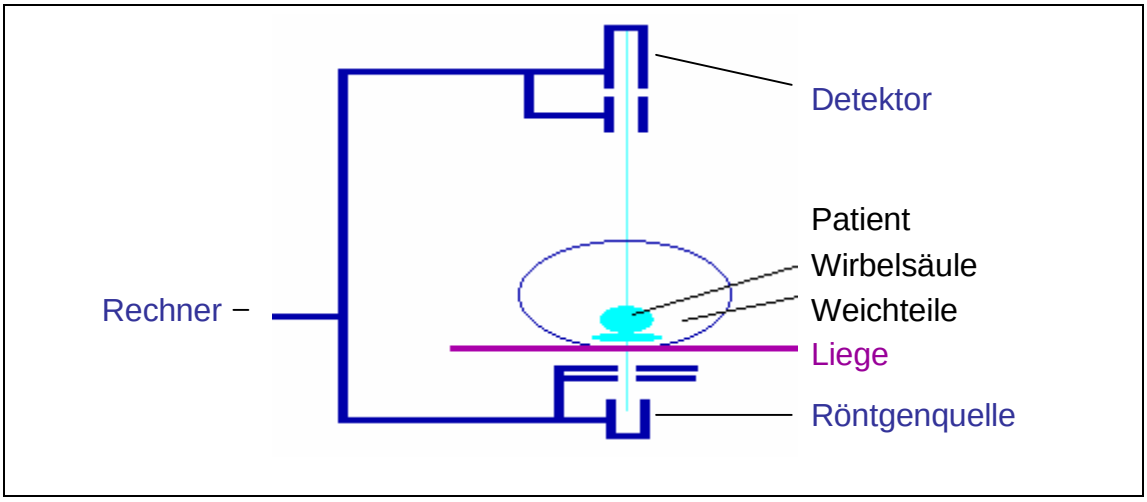

Abb. 6: Aufbau eines DEXA-Gerätes

Die Röntgenquelle sendet Strahlen aus, die so gefiltert werden, dass nur noch zwei Energie - Peaks den Patienten durchdringen. In Abhängigkeit von den durchdrungenen Massen werden die beiden Strahlen unterschiedlich abgeschwächt im Detektor gemessen. Aus diesen Daten wird die Körperzusammensetzung berechnet.

Chemische Elemente mit höherem Atomgewicht schwächen Röntgenstrahlen stärker als solche Elemente mit niedrigerem Atomgewicht.

Die Schwächung der Photonenintensität durch ein Element wird dabei für ein Energie-Niveau wie folgt ermittelt:

$-d\ (I/I_0)=\mu_m \times L$

nach Integration:

$I = I_0\ e^{-\mu_m L}$

$-d\ (I/I_0)$	=	Endintensität (I) / Anfangsintensität (I_0)
μ_m	=	Element-spezifischen Massenschwächungskoeffizient
L	=	der Weglänge des Photonenstrahls

Der Massenschwächungskoeffizient für ein Element μ_m ist zusätzlich abhängig von der Energie der verwendeten Röntgenstrahlen. (s. Tab. 2)

Element	Ordnungs-Zahl	Atom-Gewicht	Massenschwächungskoeffizient 40 keV	Massenschwächungskoeffizient 80 keV	R
Wasserstoff	1	1,00	0,35	0,32	1,09
Kohlenstoff	6	12,00	0,20	0,17	1,22
Stickstoff	7	14,00	0,22	0,17	1,30
Sauerstoff	8	16,00	0,25	0,17	1,42
Natrium	11	23,00	0,39	0,20	1,90
Magnesium	12	24,30	0,47	0,22	2,10
Phosphor	15	31,00	0,78	0,28	2,74
Schwefel	16	32,10	0,95	0,33	2,92
Chlor	17	35,50	1,10	0,35	3,15
Kalium	19	39,10	1,48	0,43	3,45
Calcium	20	40,10	1,79	0,51	3,54

Tab. 2: Massenschwächungskoeffizienten µm für verschiedene im Körper vorkommende Elemente in Abhängigkeit vom verwendeten Energieniveau (40 / 70 KeV) und relativer Schwächungskoeffizient R in Anlehnung an Pietrobelli et al. 1996.

Die Schwächung von Strahlen mit niedriger Energie ist stärker vom Atomgewicht abhängig, als die von Strahlen mit höherer Energie (s. Tabelle 2). Das Verhältnis der Schwächung bei niedriger Energie zur Schwächung bei höherer Energie wird als R-Wert (Relativer Schwächungskoeffizient) angegeben.

Bei der Messung der Körperzusammensetzung wird der gesamte Körper bei Pencil-Beam Geräten mäanderförmig, bei Fan-Beam Geräten fächerförmig abgescannt und die Schwächung der unterschiedlich energetischen Röntgenstrahlen für jeden Pixel gemessen. Die große Differenz des R-Wertes von Knochenmineral und Weichteil erlaubt eine sichere Unterscheidung zwischen Pixeln, die Knochenmineral enthalten und solchen, bei denen nur Weichteilgewebe durchdrungen wird.

Für die Pixel, die Knochenmineral enthalten, kann aus der Schwächung der beiden unterschiedlich energetischen Röntgenstrahlen die Menge an Knochenmineral und an Weichgewebe ermittelt werden.

Da Fett einen erheblich niedrigeren R-Wert aufweist als extra- und intrazelluläre Flüssigkeit, Wasser, Protein und Glykogen kann ein mittlerer Schwächungskoeffizient für Fett zur Ermittlung der Fettmasse in einem knochenfreien Pixel herangezogen werden. Ebenso wird für die FFM ein durchschnittlicher Schwächungskoeffizient zur Berechnung der FFM eines jeden knochenfreien Pixels herangezogen.

Die verschiedenen Hersteller verwenden dazu unterschiedliche Softwareprogramme, deren Algorithmen sie allerdings nicht publiziert haben. Zusätzlich unterscheidet sich bei den Herstellern auch die Gewinnung niedriger bzw. hoher energetischer Röntgenstrahlen dadurch, dass unterschiedliche Filter verwendet werden, so dass mit unterschiedlichen Energieniveaus gearbeitet wird. Daher können Ergebnisse von Untersuchungen zur Richtigkeit der Messergebnisse an einem Gerät nicht ohne weiteres auf andere Geräte übertragen werden. Für das benutzte Gerät sollte jeder Nutzer eigene Untersuchungen zur Richtigkeit der mit dem Gerät ermittelten Werte durchführen.

4.2 Verwendetes Gerät: Norland XR-36

Das in der vorliegenden Arbeit verwendete Pencil-Beam Gerät der Firma Norland XR-36 benutzt einen Sarmarium-Filter, der Energiepeaks bei 40 keV und 80 keV durchlässt.

Abb. 7: Messanordnung des Norland XR 36 DEXA-Gerätes

Zur Untersuchung wird der Proband auf dem Scannertisch gelagert. Die Röntgenquelle ist unterhalb des Tisches positioniert und wird mäanderförmig synchron zur oberhalb des Tisches in einem beweglichen Arm befindlichen Photomulitiplier-Röhre bewegt (circa 150 Schnitte). Dabei wird für jeden gemessenen Pixel die Schwächung der beiden Röntgenstrahlen gemessen. Die übliche Dauer der Messung beträgt vier – fünf Minuten.

Das Norland XR-36 erstellt aus den Daten ein Bild und errechnet die im Folgenden dargestellten Messparameter. Dabei wird die Software Version 2.4 verwendet.

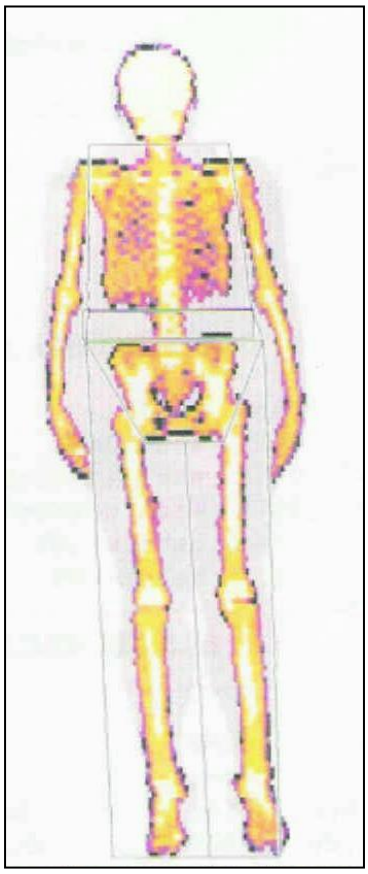

Abb. 8: Typisches vom XR-36 erstelltes Bild der Körperzusammensetzung. Angaben zur Person: Weiblich, 56 Jahre. Größe 164 cm. Körpergewicht. 71,6 kg. Vom Dexa-Gerät ermittelte Werte
BMC: 2,95kg, FM: 28,68 kg LBM 39,69 kg.
Dabei wird die LBM als FFM – BMC verstanden.

4.2.1 Strahlendosis

Die Strahlendosis der untersuchten Person ist abhängig von den Einstellungen des Gerätes (Auflösung und Scangeschwindigkeit) und der Masse. Das XR 36 verfügt über eine dynamische Filtration, d.h. es passt die Strahlungsintensität an die mit dem Sensor ermittelte Strahlung an. So wird die Dosis insbesondere für dünnere Personen erheblich reduziert.

Für die in dieser Arbeit. verwendeten Einstellungen und Probanden ist von einer Strahlenbelastung von < 0,5 µS auszugehen. Betrachtet man die natürliche Strahlenbelastung von deutlich > 1000 µS/Jahr, so wird offensichtlich, wie niedrig die applizierte Strahlendosis bei einer Messung der Körperzusammensetzung mit einem solchen Gerät ist. Auch Kinder können

ohne Bedenken mit diesem Gerät untersucht werden. Schwangere werden trotz der niedrigen Strahlenbelastung prinzipiell von der Untersuchung ausgeschlossen.

4.2.2 Mögliche Messfehler

Bei der Lagerung des Patienten ist darauf zu achten, dass er ganz innerhalb des Messbereichs positioniert wird. Dazu wurde der Messbereich auf dem Scannertisch entsprechend markiert. Bei sehr großen oder sehr dicken Patienten reicht das Messfeld allerdings nicht aus.

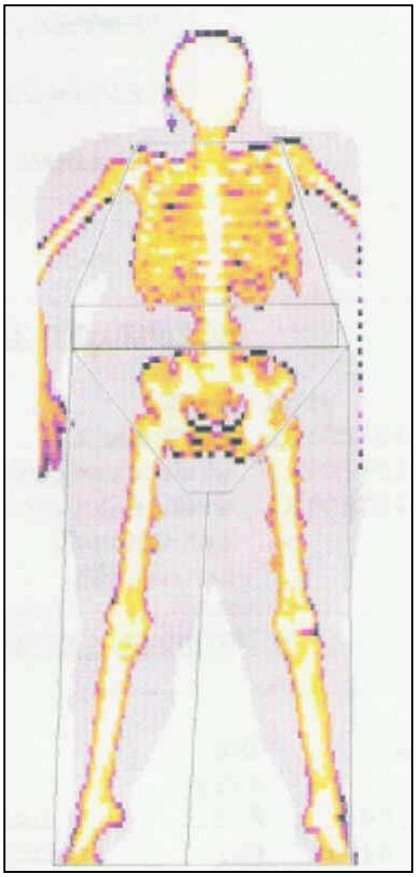

Abb. 9: Bild der Körperzusammensetzung einer 27-jährigen, extrem übergewichtigen Frau, Größe 166 cm, Gewicht 143,5 kg. Die Frau passte nicht in das Messfeld, die Arme wurden nicht mit gemessen. Vom Dexa-Gerät ermittelte Werte BMC: 3,31kg FM: 71,30kg, LBM 63,07kg. Dabei wird die LBM als FFM – BMC verstanden.

Um auch stark übergewichtige Patienten erfassen zu können, wurden die von DEXA-Gerät erhaltenen Werte generell auf das Gewicht der Waage hochgerechnet (s. 4.2.6.4).

Bei der Untersuchung muss der Patient ruhig liegen bleiben, um Bewegungsartefakte zu vermeiden. Ggf. wurde eine erneute Messung durchgeführt.

Die untersuchten Personen hatten keine Prothesen. Pixel, die Metallimplantate enthalten, können mit einem Programmschritt von der Berechnung ausgegrenzt werden.

Bei den Untersuchungen wurde darauf geachtet, dass Untersuchungen mit Jod- oder Barium-haltigen Röntgen-Kontrastmitteln und Radionukliden mindestens 14 Tage zurück lagen.

In der Literatur wurde auch beschrieben, dass nicht aufgelöste Calcium-haltige Tabletten die Untersuchung in Bezug auf den Calcium-Gehalt stören können. Eine Überschätzung des Knochenmineralgehaltes selbst um 5 g ist bei einem Gesamt-Körper-Mineralgehalt von um 3 kg für die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung völlig ohne Belang. Gleiches gilt im Wesentlichen auch für die Verabreichung von Strontium zur Behandlung der Osteoporose. Im untersuchten Kollektiv hatte allerdings keiner der Patienten eine Medikation mit Strontium erhalten.

4.2.3 Messparameter

Die Software des Gerätes ermittelt folgende Parameter:

Total Bone Mineral Density (BMD)	[g/cm^2]
Total Bone Mineral Content (BMC)	[g]
Total Lean Mass (LBM)	[g]
Total Fat Mass (FM)	[g]

Für Kopf, Arme, Beine und den Stamm werden jeweils separat die oben angegebenen Parameter ermittelt. Innerhalb des Stamms wird zusätzlich von der Software auch die Körperzusammensetzung für eine Fläche zwischen den Sitzbeinhöckern und den Oberrändern/Seitenrändern der Beckenschaufel als Abdomen ausgegeben. Von der Praxis für Endokrinologie wurde zusätzlich eine weitere „region of interest“, die Taille, wie folgt definiert: Fläche zwischen dem Unterrand des Rippenbogens und dem Oberrand der Beckenschaufel begrenzt durch die Seitenränder des Stamms. Die Positionierung der Trennungslinien der Körperteile wird von der Software vorgeschlagen, kann vom Anwender korrigiert werden. Geringe Änderungen in der Position resultieren in erheblichen Änderungen der ermittelten Massen für die untersuchten Körperteile. Daher

wird bei den folgenden Daten nur der Fettanteil der Körperregion in Prozent des Weichgewebes verwendet.

4.2.4 Abmessungen des Messtisches.

Das Gerät hat eine Länge von 241 cm, von 122 cm Breite und 131 cm Höhe. Innerhalb dieser Abmessungen bewegt sich die abgeschirmte Röntgenröhre, so dass sich ein effektives Messfeld (Scan Window) von 193 cm x 64 cm ergibt. Der Abstand vom Messtisch zur Unterkante von Messarm beträgt 40 cm. Diese Höhe hat bei keinem der Untersuchten zu Problemen geführt.
Zum Vorgehen bei zu großen oder zu breiten Patienten s. 4.2.6.4.

4.2.5 Routinemäßige Kalibrierung und Kontrollen

Täglich erfolgten eine Kalibrierung und die Messung eines von der Firma mitgelieferten Phantoms. Darüber hinaus wurde wöchentlich eine Tischkalibrierung durchgeführt.

4.2.6 Reliabilität der Ergebnisse

Wie unter Punkt 4.1 beschrieben, erfordern die Unterschiede zwischen den Geräte-Herstellern, das vom Untersucher verwendete Gerät auf die Richtigkeit der erhaltenen Ergebnisse zu überprüfen.

4.2.6.1 Herstellerangaben

Der Hersteller von Norland-XR 36 macht in seinem Handbuch/ Operator´s Guide Angaben zur Reliabilität der Messung. Die Angaben basieren auf 18 Messungen der Körperzusammensetzung mit diesem Gerät. Sechs Personen wurden gemessen. Als Maß für die Präzision der Messung werden die folgenden Variationskoeffizienten angegeben: „Körpergewicht mit 0,2%; Soft Tissue Mass mit 0,2% für den gesamten Körper, 1,9 % für den Kopf, 1,0% für den Stamm/Trunk, 1,7% für die Arme und 1,5% für die Beine; Lean Body Mass für den gesamten Körper mit 1,0%; Fettmasse für den gesamten Körper mit 2,5%.

4.2.6.2 Literatur zu Norland-XR 36

Gotfredsen et al. 1997 untersuchen in der Arbeit „Body composition analysis by DEXA by using dynamically changing samarium filtration“ die Messgenauigkeit, mit der das Gerät Norland XR-36 die Körperzusammensetzung ermittelt.

Zu Beginn wurde von sechs Personen (zwei Männer, vier Frauen) eine DEXA Messung (Norland XR 36, Software Version 2.4) durchgeführt. Alle waren gesund, bis auf eine Frau, die an Anorexia nervosa litt. Allen Personen wurden acht verschiedene Anordnungen von zusätzlichem Gewebe aufgelegt. Drei Stücke Schweinefett (85% true fat) mit 5,5; 10,7; 15,9 kg, drei Stücke vom Muskel eines Ochsen (10% true fat) mit einem Gewicht von 5,6; 10,5 und 16,2 kg und zwei Kombinationen mit Muskulatur vom Schwein und Ochsen mit einem Fettgehalt von 37% und 59% und einem Gewicht von 10,0 und 16,4 kg. Die Höhe des zusätzlichen Gewebes betrug zwischen 10 und 15 cm. Dadurch wollte die Forschergruppe eine Gewebehöhe von Übergewichtigen und Adipösen simulieren.

Die Messergebnisse zeigen, dass die Zusammensetzung des zusätzlich aufgelegten Gewebe und mit der DEXA Methode sehr gut wieder gefunden wurde. Die Details der Untersuchungsergebnisse sind in der Tab. 3 dargestellt.

	Referenzauflage	Differenz	Min - Max
Gesamtgewebe	5,6 - 16,4 kg	0,62 kg	0,46 - 0,78 kg
Fett	1,0 - 9,7 kg	0,54 kg	-0,41 - 1,49 kg
Fettfreie Masse	0,8 - 14,6 kg	0,08 kg	-1,0 - 1,17 kg

Tab. 3: Mittlere Differenz sowie Minimal- und Maximalabweichung der Messergebnisse für aufgelegtes Gesamtgewebe, Fettmasse und fettfreie Masse an 6 Personen.

4.2.6.3 Wiederfindungsversuche Fett / Wasser

Um die Messgenauigkeit des in der Praxis für Endokrinologie verwendeten Gerätes Norland XR-36 zu überprüfen wurde zunächst die Körperzusammensetzung an sieben weiblichen Probanden zwischen 22 und 50 Jahren mit einem mittleren BMI von 21,1 kg/m² (18,6–24,4) gemessen. Das Durchschnittsgewicht auf der Waage betrug 58,27 kg (53-65,5 kg). Mit der DEXA Methode wurde ein nahezu identisches durchschnittliches Körpergewicht von 58,26 kg gemessen. Dieser Wert belegt die Genauigkeit der Wiederfindung der Gesamtkörpermasse mit dem verwendeten Gerät.

Die Personen wiesen im Mittel eine FM von 17,38 kg und eine FFM von 40,88 kg auf. Die Wiederfindung von Fett wurde in einem zweiten Schritt überprüft. Dazu wurden 5,44 kg Fett in Form von Öl auf den Stamm positioniert. Für Personen plus aufgelegtes Öl wurde eine Fettmasse von 23,10 kg anstelle von

anzunehmenden 22,82 kg gemessen. Die Wiederfindung betrug somit 101,23 %. Die FFM wurde in den Untersuchungen mit Ölauflage mit 41,01 kg nahezu unverändert gemessen (Wiederfindung 100,32%).

In einem dritten Schritt wurde zusätzlich zu den 5,44 kg Öl 3,11 kg NaCl (0,6 %) den Personen auf den Stamm positioniert. Unter diesen Bedingungen wurde die Fettmasse mit 23,07 kg gemessen, was einer Wiederfindung der FM von 101,10 % entspricht. Für die FFM wurden im Mittel 44,40 kg gemessen, was einer Wiederfindung der FFM von 100,91 % entspricht.

Diese Ergebnisse zeigen die Verwendbarkeit des Gerätes für die Bestimmung der Körperzusammensetzung.

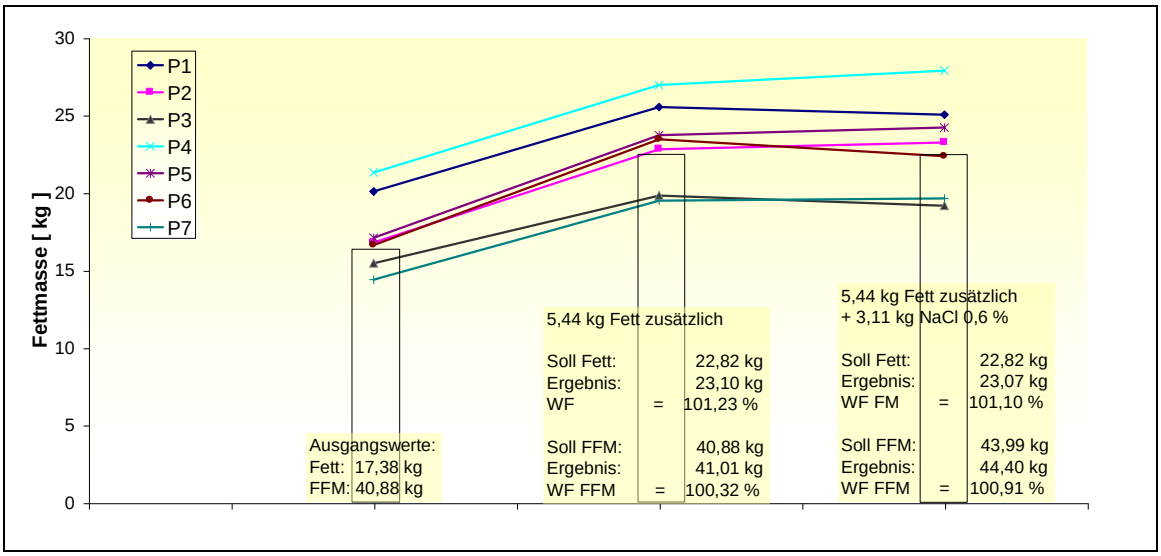

Abb. 10: Wiederfindung von Fett (FM) und fettfreier Masse (FFM) mit den DEXA Gerät Norland XR-36. Angegeben sind jeweils Mittelwerte von sieben weiblichen Probanden

4.2.6.4 Wiederfindung Gesamt-Körpermasse

Eine weitere Möglichkeit die Korrektheit der Methode zu überprüfen ist der Vergleich des mit der Waage gemessen mit dem durch die DEXA Methode ermittelten Körpergewichts. Wie Abb. 10 zeigt, ist die Wiederfindung des Körpergewichts für normgewichtige Frauen offensichtlich hervorragend.

Im Folgenden soll untersucht werden, ob dies über den gesamten Bereich des Körpergewichtes von Untergewichtigen bis zur extremen Adipositas ebenfalls zutrifft. Dazu wurde das mit der Waage ermittelte Körpergewicht gegen das mit der DEXA-Methode ermittelte für Frauen (Abb. 11) und Männer (Abb. 12) dargestellt. Für beide Kollektive ergab sich eine Steigung der Regressionsgeraden von praktisch fast eins mit einem extrem hohen Korrelationskoeffizienten. Daraus kann gefolgert werden, dass über den

gesamten Gewichtsbereich die Wiederfindung hervorragend ist, allerdings mit der Ausnahme, dass es einige wenige extrem adipöse und extrem große Patienten gibt, deren Körper über das Messfeld hinausreichen-

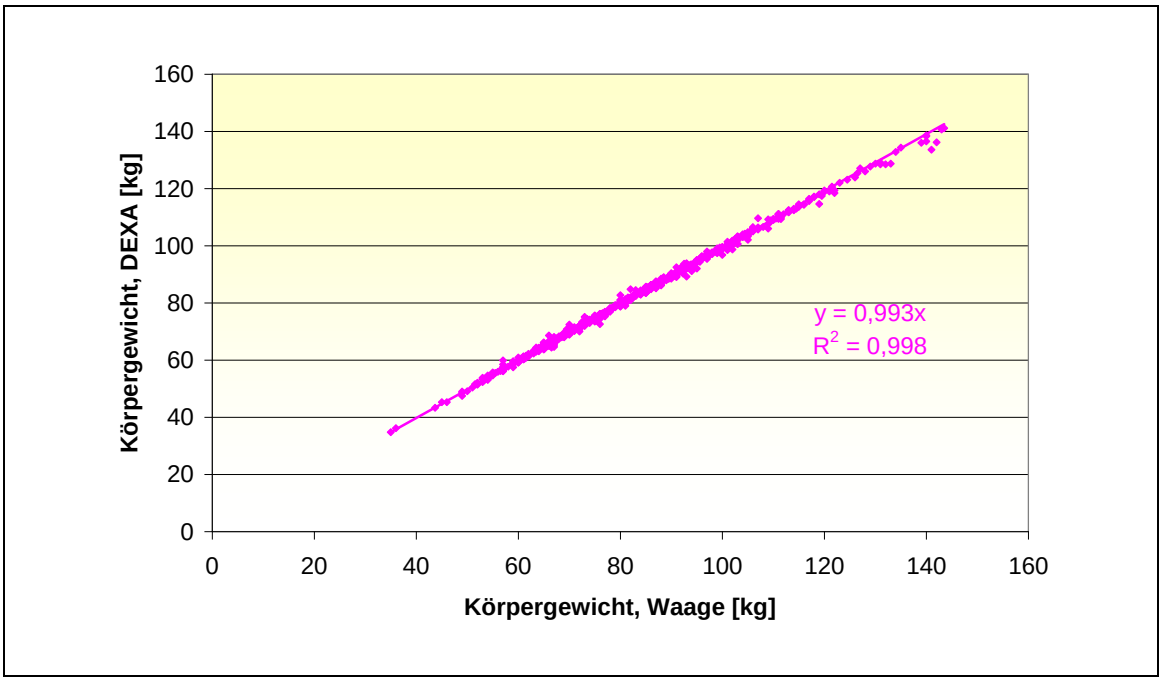

Abb. 11: Wiederfindung des mit der Waage ermittelten Körpergewichtes mit der DEXA Methode bei Frauen (n=709)

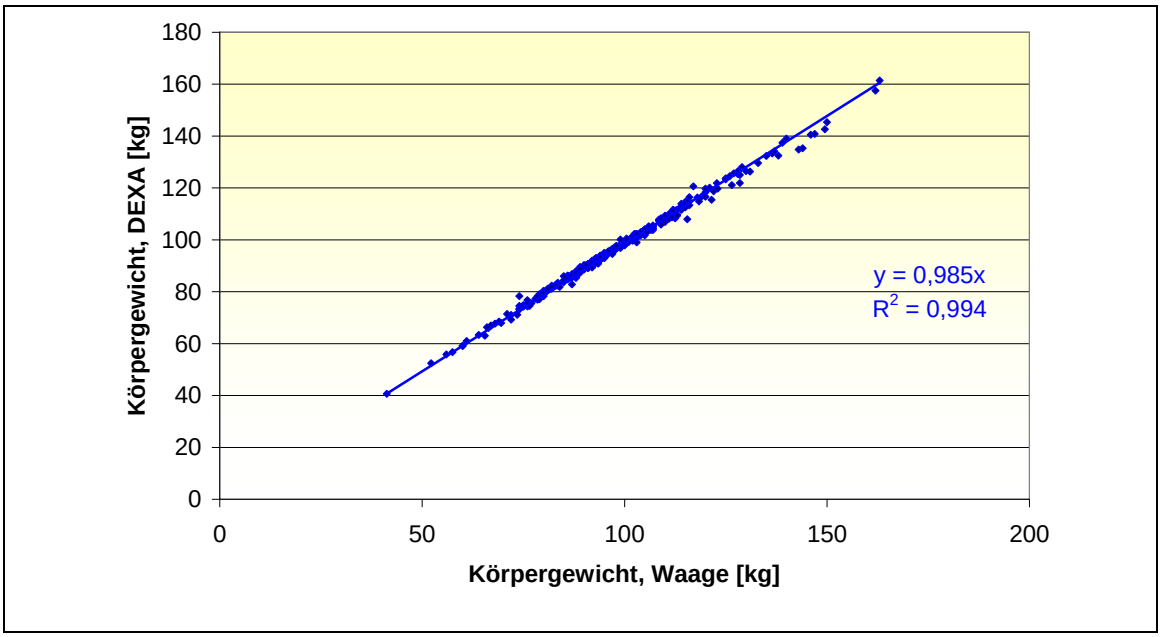

Abb. 12: Wiederfindung des mit der Waage ermittelten Körpergewichtes mit der DEXA Methode bei Männern (n=297)

Bei den beiden Abbildungen fällt auf, dass das mit der DEXA-Methode ermittelte Gewicht bei Übergewichtigen mit mehr als 100 kg KG niedriger liegt, als das mit der Waage ermittelte. Das ist darauf zurück zu führen, dass das Messfeld eine Abmessung von 193 x 64 cm hat. Die Aufliegefläche von sehr

Adipösen oder sehr langen Menschen reicht über das Messfeld hinaus; Anteile der Arme, der Hüfte, oder auch der Füße werden nicht mit gemessen.

Da in der vorliegenden Arbeit sehr adipöse Patienten von besonderem Interesse sind, wurde generell das mit der Waage ermittelte Gewicht für alle Beurteilungen zu Grunde gelegt und die FM, die FFM und der Knochenmineralgehalt auf das mit der Waage ermittelte Gewicht hochgerechnet und für alle weiteren Daten verwendet.

Wurden z.B. bei einem 105 kg schweren Patienten 5 kg im Bereich von Armen und Hüften methodenbedingt „abgeschnitten“ und bei der DEXA-Messung die folgenden Werte ermittelt (Tab. 4, Spalte 3), dann wurden die fehlenden 5 kg nach ihrem prozentualen Anteil auf die FM, FFM und den BMC hinzugerechnet (Tab. 4, Spalte 2).

	Waage	DEXA
Körpergewicht	105,00 kg	100 kg
FM	57,75 kg	55 kg
FFM	44,10 kg	42 kg
BMC	3,15 kg	3 kg

Tab. 4 Beispiel für eine Korrektur der Massen, wenn ein Proband nicht ins Messfeld des DEXA-Gerätes passte.

Um für alle Untersuchten gleichmäßige Bedingungen zu behalten, wurden die mit der DEXA-Methode ermittelten Massen in oben beschriebener Weise an Hand des mit der Waage ermittelten Gewichtes korrigiert.

4.3 Untersuchungsgang

Die Messungen erfolgten im regulären Praxisbetrieb. Da bei den Untersuchungen besonderer Wert auf die Bestimmung der Fettmasse gelegt wurde, konnten die Messungen auch nach Nahrungsaufnahme erfolgen, da die durch die Zufuhr einer Mahlzeit sich ergebende Änderung der Fettmasse im Gramm-Bereich keinerlei Rolle spielt.

Zur Untersuchung wird der Patient gebeten, sich bis auf die Unterhose und die Socken frei zu machen und alle Sachen, die Metall enthalten, wie Uhren, Schmuck, Brille, etc. abzulegen. Danach werden die Größe, das Gewicht, Taillen- und Hüftumfang gemessen. Zur Bestimmung von Hüft- und Taillenumfang diente ein flexibles nicht-elastisches Maßband. Die Messung

erfolgte im Stehen. Als Taillenumfang wurde definitionsgemäß der schmalste Bauchumfang horizontal zwischen unterem Rippenrand und Beckenschaufel gemessen. Die Messung des Hüftumfangs erfolgte in Höhe des maximalen Gesäßumfangs. Diese Daten werden in die Datenbank eingetragen.

Zur eigentlichen Untersuchung legt sich der Patient mit seinem Rücken so auf den Messtisch, dass sein Körper innerhalb der vorgezeichneten Markierung liegt und der Kopf des Patienten sich ungefähr 1 cm unterhalb der oberen Markierung befindet. Die Hände werden mit den Handflächen an die Oberschenkel gelegt und die Wirbelsäule sollte in der Mitte des Messtisches möglichst gerade positioniert werden. Die Dauer der Messung ca. 5 Minuten.
Danach kann sich der Patient wieder anziehen.

Unmittelbar nach dem Messvorgang wird vom Rechner ein Bild erstellt, das eine Einteilung des Körpers in die verschiedenen Segmente enthält: Kopf, rechter und linker Arm, rechtes und linkes Bein, Stamm und Abdomen. Die Röntgenassistentin kontrolliert die korrekte Lage der vom Rechner vorgegebenen Trennungslinien. Sie orientiert sich dabei an bestimmten Knochenpunkten. Die Fläche zwischen den Sitzbeinhöckern und den Oberrändern/Seitenrändern der Beckenschaufel wird als Abdomen ausgegeben. Bei korrekter Eingabe des Abdomens sind auch die Beine korrekt eingestellt. Zusätzlich muss darauf geachtet werden, dass die Trennungslinie zwischen Armen und Stamm korrekt durch die Mitte des Schultergelenks gelegt wird. Von der Praxis für Endokrinologie wird zusätzlich eine weitere „region of interest“, die Taille, wie folgt definiert: Fläche zwischen dem Unterrand des Rippenbogens und dem Oberrand der Beckenschaufel begrenzt durch die Seitenränder des Stamms.
Geringe Änderungen in der Position resultieren in erheblichen Änderungen der ermittelten Massen für die untersuchten Körperteile linker und rechter Arm, Stamm, linkes und rechtes Bein sowie Kopf.
Für jedes Segment werden vom Rechner die Knochenfläche, die Knochenmasse, die Knochendichte, die Fettmasse, die Masse des fettfreien, knochenfreien Gewebes (vom Gerät mit LBM bezeichnet)

4.4 Parameter

4.4.1 Messparameter

Personendaten			
Alter			
Geschlecht			
Messparameter			
Größe			(cm)
Gewicht			(kg)
Taillenumfang			(cm)
Hüftumfang			(cm)
Mineralgehalt			(kg)
LBM	Gesamt		(kg)
	Stamm (Thorax)	Gesamt	(kg)
		Abdomen	(kg]
		Taille	(kg)
	Arm		(kg)
	Bein		(kg)
FM	Gesamt		(kg)
	Stamm (Thorax)	Gesamt	(kg)
		Abdomen	(kg)
		Taille	(kg)
	Arm		(kg)
	Bein		(kg)

Tab. 5: Aufgezeichnete Daten der Probanden.

4.4.2 Berechnete Parameter

Gewicht DEXA (kg)	LBM (kg) + FM (kg) + Mineralgehalt (kg)
Fettgewebe (kg)	FM (kg) x 1,282
Wasser des Fettgewebes (kg)	FM (kg) x 0,282
BMI (kg/m²)	Gewicht (kg) / Größe (m^2)
Fettgewebsmasseindex (FGMI) (kg/m²)	FM Gesamt (kg) x 1,282 / Größe (m²)
Fettmasseindex (FMI) (kg/m²)	FM (kg) / Größe (m²)
Fettgewebsfreie Masse (FGFM) (kg)	FFM (kg) – FM (kg) x 0,282
Fettgewebsfreie Masse Index (FGFMI) (kg/m²)	(FFM (kg) – FM (kg) x 0,282) / Größe (m²)
Fettfreie Masse Index (FFMI) (kg/m²)	FFM (kg) / Größe (m²)
Gesamt Fett (%) Waage	FM (kg) / Körpergewicht (kg) x 100
Fettgewebe Gesamt (%)	FM (kg) x 1,282 / [FM (kg) + FFM (kg) + Mineralgehalt (kg)] x 100
Fett Stamm (%)	FM Stamm (kg) x 1,282 / [FM Stamm (kg) + FFM Stamm (kg) + Mineralgehalt Stamm (kg)] x 100
Fett Abdomen (%)	FM Abdomen (kg) x 1,282 / [FM Abdomen (kg) + FFM Abdomen (kg) + Mineralgehalt Abdomen (kg)] x 100
Fett Taille (%)	FM Taille (kg) x 1,282 / [FM Taille (kg) + FFM Taille (kg) + Mineralgehalt Taille (kg)] x 100
Fett Arm (%)	FM Arm (kg) x 1,282 / [FM Arm (kg) + FFM Arm (kg) + Mineralgehalt Arm (kg)] x 100
Fett Bein (%)	FM Bein (kg) x 1,282 / [FM Bein (kg) + FFM Bein (kg) + Mineralgehalt Bein (kg)] x 100
Kaloriengehalt (kcal)	Fett (kg) x 9000 + FFM (kg) x 1000

Tab. 6: Berechnete Parameter

4.5 Statistik

Bei der Analyse der gewonnenen Daten wurden sowohl Methoden der deskriptiven Statistik als auch der analytischen Statistik angewandt. Als Parameter der deskriptiven Statistik wurden die üblichen Lokalisationsmaße (arithmetischer Mittelwert, Minimalwert, Maximalwert) herangezogen. Die Schwankung der Daten um einen Mittelwert bei gegebenen Stichprobenumfang n wurde mit dem gängigen Dispersionsmaß (Standardabweichung) beurteilt.

Der Vergleich zwischen zwei unabhängigen Stichproben erfolgte bei normalverteilten Daten und homogenen Varianzen mit dem t-Test für homogene Varianzen. Die Berechnungen wurden unter Verwendung der Programms SPSS, Version 14.0.1 vorgenommen.

Die Signifikanz einer Abweichung wurde in Anlehnung an Clauß et al. 2002 beurteilt: Ein $\alpha = 0,05 = 5\%$ wird als signifikante Abweichung (*), ein $\alpha = 0,01 = 1\ \%$ als sehr signifikante Abweichung (**) und ein $\alpha = 0,001 = 0,1\ \%$ als hoch signifikante (***) Abweichung bezeichnet. Die Entscheidung ob die Unterschiede signifikant sind, kann mit der Überschreitungswahrscheinlichkeit p bestimmt werden.
Bei $p < \alpha$ ist der Mittelwertsunterschied signifikant. Wenn $p > \alpha$, dann spricht man von nicht signifikanten Mittelwertsunterschieden.

$\alpha = 5\ \%$	$p > 0,05$	nicht signifikant
$\alpha = 5\ \%$	$p \leq 0,05$	Signifikant
$\alpha = 1\ \%$	$p \leq 0,01$	Sehr signifikant
$\alpha = 0,1\ \%$	$p \leq 0,001$	Hoch signifikant

Tab. 7: Signifikanzniveauschranken/Signifikanzniveaus nach Clauß et al. 2002

Die Berechnung von Korrelationskoeffizienten „r“ wurde nach Pearson durchgeführt (Willimczik 1999, Clauß et al. 2002, Fleischer 1988, Bös et al. 2000).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

Dieser Korrelationskoeffizient gibt Informationen zu linearen Zusammenhängen. Die Bewertung der Korrelationskoeffizienten in dieser Arbeit geht auf Bös et al. 2000 zurück.

r = 0,00	kein Zusammenhang
r < |r| ≤ 0,39	niedriger Zusammenhang
0,40 < |r| ≤ 0,69	mittlerer Zusammenhang
0,70 < |r| ≤ 0,99	hoher Zusammenhang
|r| = 1,00	perfekter Zusammenhang

Tab. 8: Bewertung von Korrelationskoeffizienten nach Bös et al. 2000

Die Berechnung der Regressionsgleichungen und des Bestimmtheitsmaßes R^2 erfolgten mit dem Programm SPSS, Version 14.0.1

Die Prüfung des Korrelationskoeffizienten r auf Signifikanz gegen Null erfolgte mittels der Tabelle: „Schranken des Korrelationskoefffizienten“ in Fleischer, 1988.

5 Zusammensetzung des Kollektivs

Zwischen dem 18.02.2000 und 31.08.2006 wurden insgesamt 1480 Messungen der Körperzusammensetzung mittels DEXA (Norland XR 36, Software-Version 2.4) bei Personen im Alter von acht bis 80 Jahren durch die Praxis für Endokrinologie in Nürnberg durchgeführt. Die erhobenen Daten wurden, mit einem speziell dafür entwickelten Softwareprogramm in eine Access Datenbank übertragen. Die Access-Datenbank und einen Excel-Export, der alle Daten enthält, stellt die Praxis zur Bearbeitung der vorliegenden Arbeit zur Verfügung. Ein Teil der Personen wurden in diesem Zeitraum mehrmals gemessen. Zur Auswertung wurden jedoch lediglich die Erstmessungen der entsprechenden Person verwendet. Auch Personen unter 18 Jahren wurden nicht berücksichtigt. So basiert die Untersuchung der Ergebnisse auf den Erstmessungen von 297 erwachsenen Männern und 709 erwachsenen Frauen.

Die meisten Patienten wurden von Hausärzten an die Praxis für Endokrinologie überwiesen. Die Untersuchung mittels DEXA diente zunächst vorwiegend zur Abklärung von Ödemen oder Zuständen, die von den Patienten als Wassereinlagerungen empfunden wurden. Die Messung der Körperzusammensetzung mittels DEXA konnte meistens zeigen, dass es sich nicht um Ödeme sondern schlicht um Fettgewebe handelte.
Später wurden die meisten Patienten aufgrund ihres Übergewichts geschickt. Nach Ausschluss von Stoffwechselstörungen als Ursache für das Übergewicht, ermöglicht die Kenntnis der Körperzusammensetzung von Übergewichtigen eine Bestandsaufnahme und Verlaufskontrolle.

5.1 Zusammensetzung des Kollektivs Frauen

Aus der Abb. 13 geht hervor, dass der Großteil der Messungen von insgesamt 709 Frauen im Alter zwischen 20 und 60 Jahre statt fand. Die Frauen zwischen 40-50 stellten das größte Kollektiv. Das mittlere Alter der untersuchten Frauen beträgt 44,5 Jahre (18 – 79 Jahre)

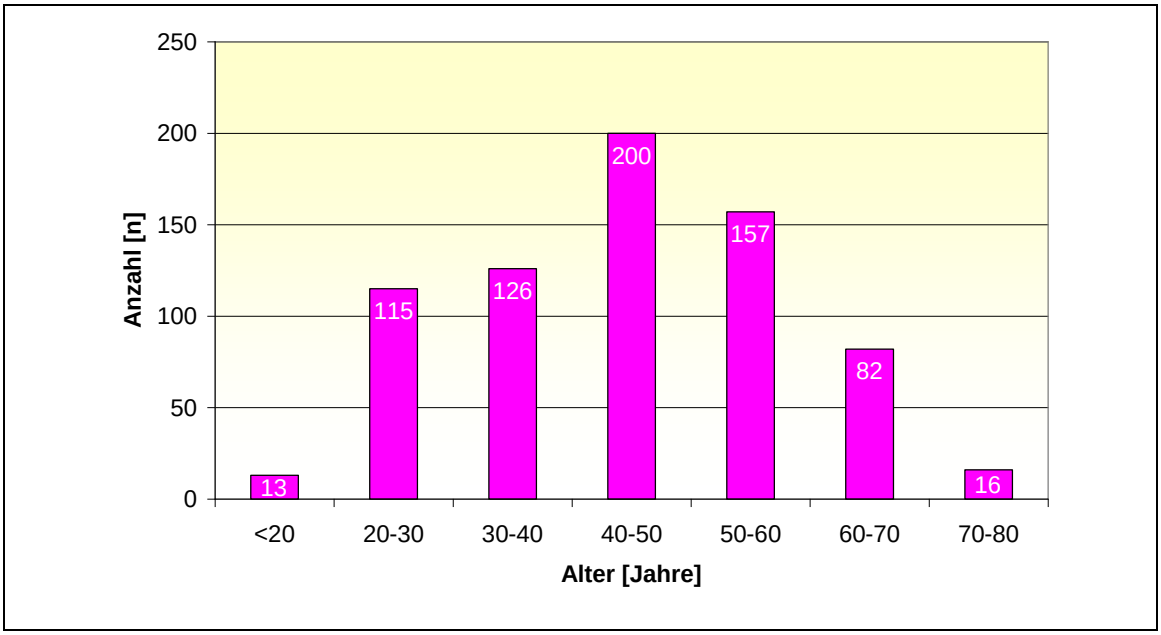

Abb. 13: Alter und Anzahl der untersuchten Frauen (n=709)

Betrachtet man die Abb.14 zeigt sich, dass die meisten Frauen im untersuchten Kollektiv präadipös sind, gefolgt von der Gruppe der Adipösen Grad I und anschließend der Gruppe der Normalgewichtigen. Im Mittel weisen die Frauen einen BMI von 29,9 kg/m² auf.

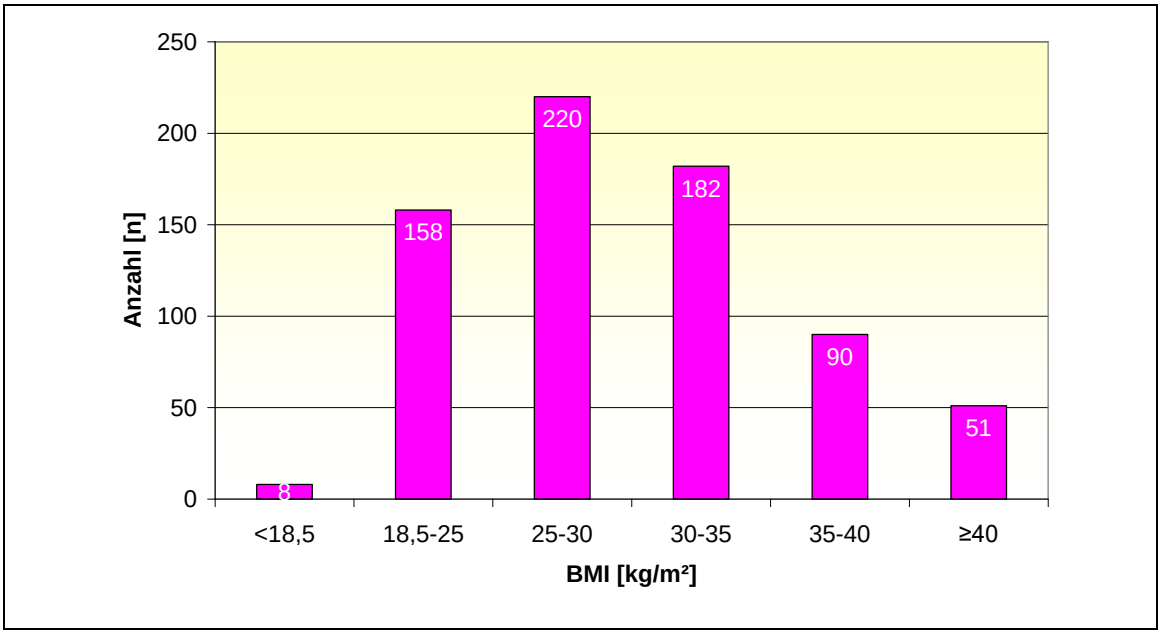

Abb. 14: Body-Mass-Index (BMI) der untersuchten Frauen (n=709)

Die Zusammensetzung des Kollektivs der Frauen gruppiert nach Alter und BMI wird in der Abb. 15 verdeutlicht.

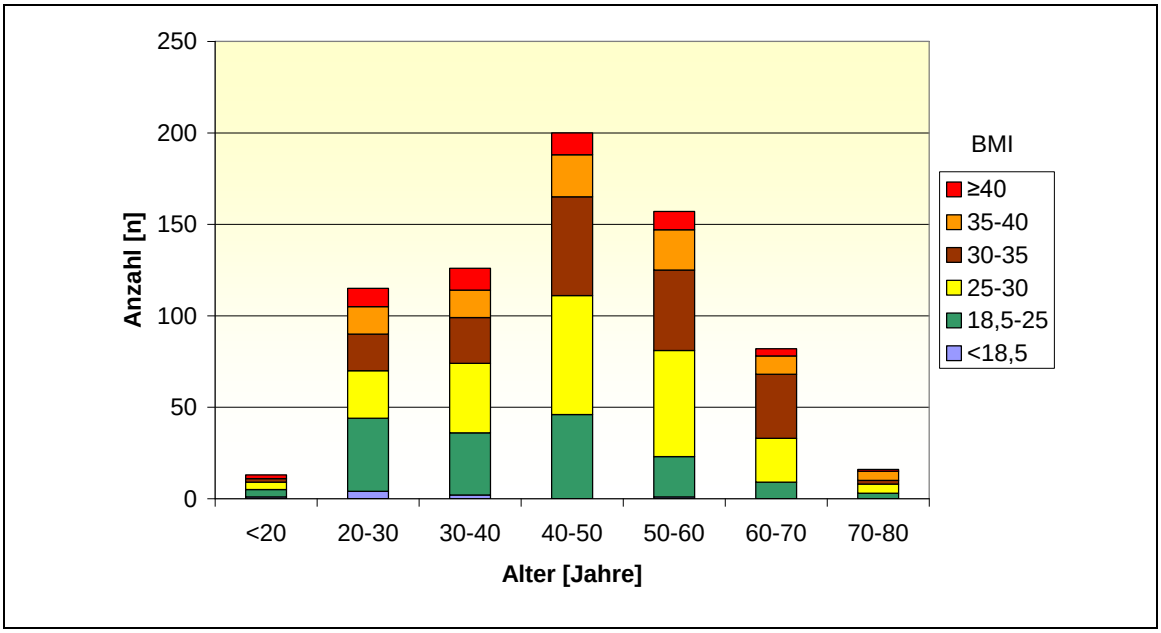

Abb. 15: Zusammensetzung des Kollektivs der Frauen (n=709) nach Alter und Body-Mass-Index (BMI)

Die detaillierte Zusammensetzung des Kollektivs der Frauen aufgeteilt nach Alter und BMI zeigt Tab.9.

BMI [kg/m²]	Alter [Jahren]							Gesamt [Anzahl]
	<20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	
<18,5	1	4	2		1			8
18,5-25	4	40	34	46	22	9	3	158
25-30	4	26	38	65	58	24	5	220
30-35	2	20	25	54	44	35	2	182
35-40		15	15	23	22	10	5	90
≥40	2	10	12	12	10	4	1	51
Gesamt	13	115	126	200	157	82	16	709

Tab. 9: Zusammensetzung des Kollektivs der Frauen (n=709) nach Alter und Body-Mass-Index (BMI)

5.2 Zusammensetzung des Kollektivs Männer

Im Kollektiv der Männer (n=297) ist die Gruppe der 50-60 Jährigen anteilsmäßig am stärksten vertreten. Das mittlere Alter beträgt 47,9 Jahre.

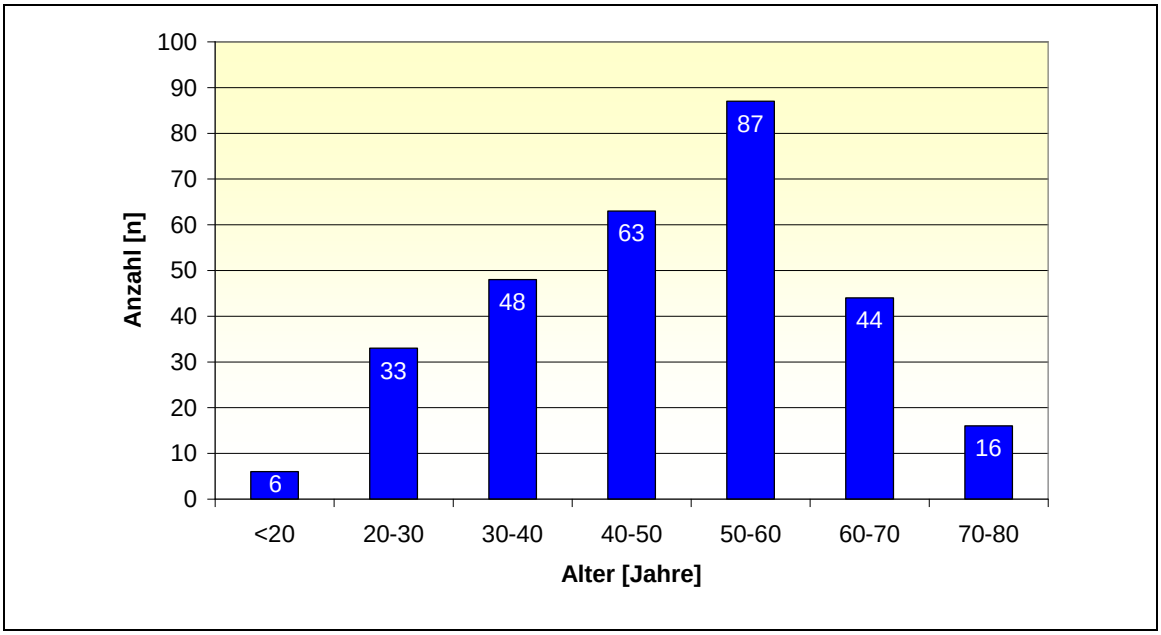

Abb. 16: Alter und Anzahl der untersuchten Männer (n=297)

Bei den Männern war der Anteil an Adipositas Grad I und Präadipositas am größten. Der mittlere BMI der untersuchten Männer lag bei 30,6 kg/m².

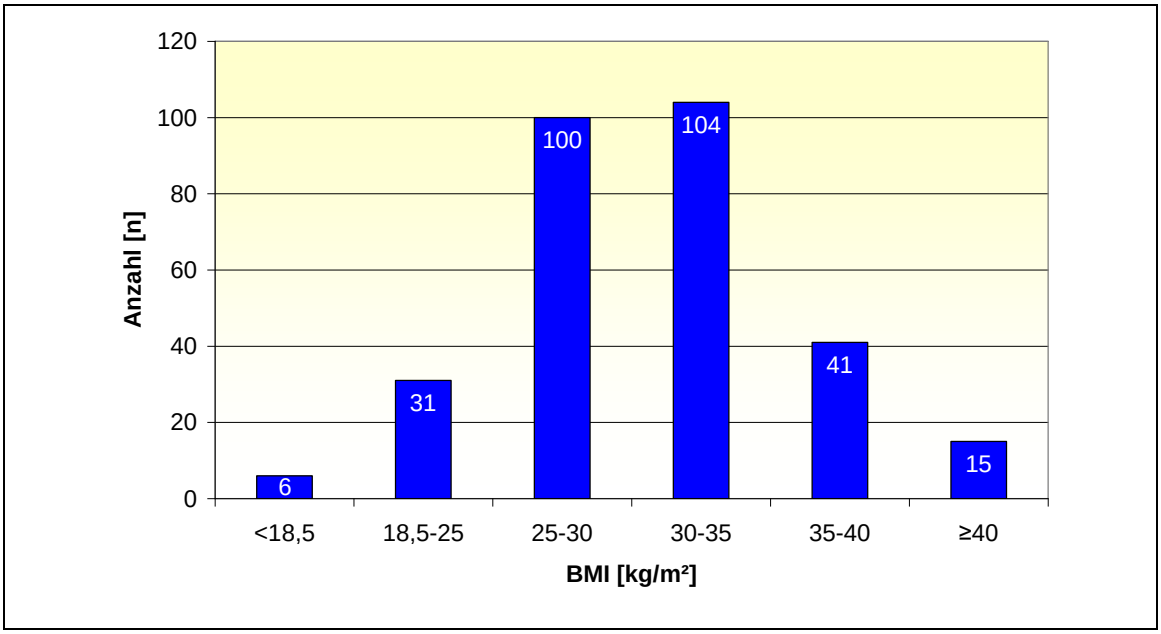

Abb. 17: Body-Mass-Index (BMI) und Anzahl der untersuchten Männer (n=297)

Die Zusammensetzung des Kollektivs der Männer gruppiert nach Alter und BMI soll die Abb. 18 verdeutlichen.

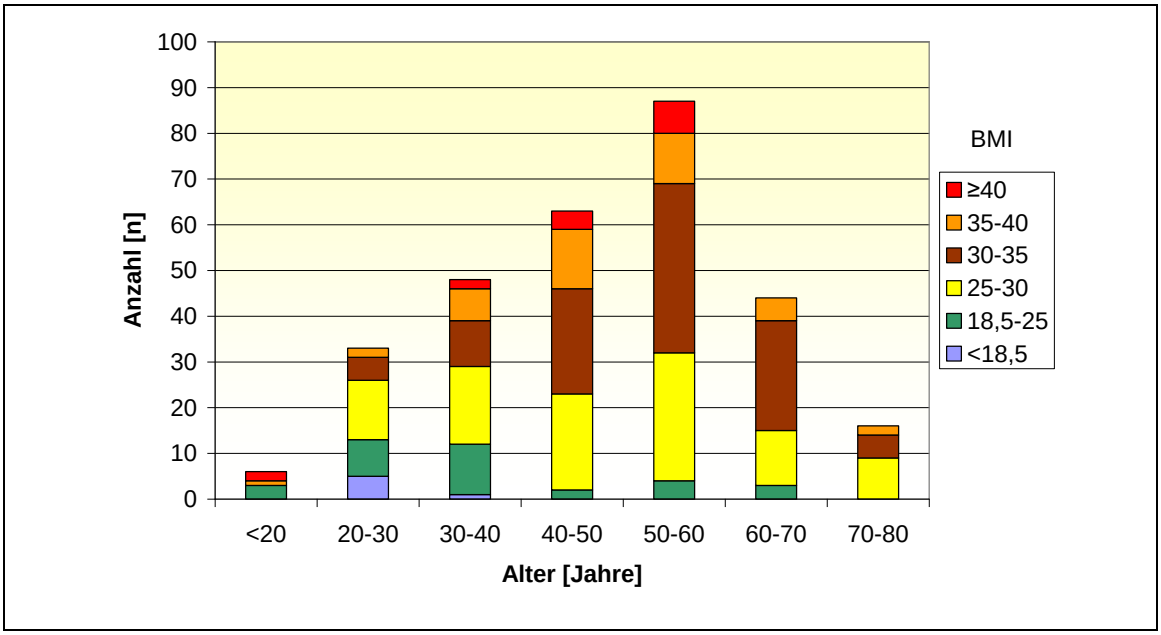

Abb. 18: Zusammensetzung des Kollektivs der Männer (n=297) nach Alter und Body-Mass-Index (BMI)

Die detaillierte Zusammensetzung des Kollektivs der Männer aufgeteilt nach Alter und BMI zeigt Tab. 10.

BMI [kg/m²]	Alter [Jahren]							Gesamt [Anzahl]
	<20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	
<18,5		5	1					6
18,5-25	3	8	11	2	4	3		31
25-30		13	17	21	28	12	9	100
30-35		5	10	23	37	24	5	104
35-40	1	2	7	13	11	5	2	41
≥40	2		2	4	7			15
Gesamt	6	33	48	63	87	44	16	297

Tab. 10: Zusammensetzung des Kollektivs der Männer (n=297) nach Alter und Body-Mass-Index (BMI)

6 Ergebnisse

Im ersten Teil werden die vom Norland XR-36 herausgegebenen Werte für die Fettmasse und die fettfreie Masse sowie die berechneten Parameter Fettgewebsmasse, fettgewebsfreie Masse und % Fett gruppiert nach dem BMI und Geschlecht dargestellt, um sie später mit den Literaturdaten zu vergleichen.Im zweiten Teil wird über die in Beziehungsetzung der Messparameter zur Körpergröße, zum Körpergewicht, zum BMI und zu abgeleiteten Parametern versucht, Einblicke in die Zusammenhänge zu bekommen. Diese Sichtung der Zusammenhänge in dem Kollektiv soll die Basis für die Suche nach einem Parameter sein, der die Fettleibigkeit am Besten beschreibt. Teil drei der Ergebnisse beschäftigt sich mit der regionalen Fettverteilung. In Teil vier soll die Nützlichkeit der erhaltenen Parameter an zwei einzelnen Verläufen bei Gewichtsabnahmen untersucht werden.

6.1 Messparameter

In Teil 6.1 werden die ermittelten Messparameter dargestellt. Dabei erfolgt eine Gruppierung nach Geschlecht und BMI.

6.1.1 Fettmasse

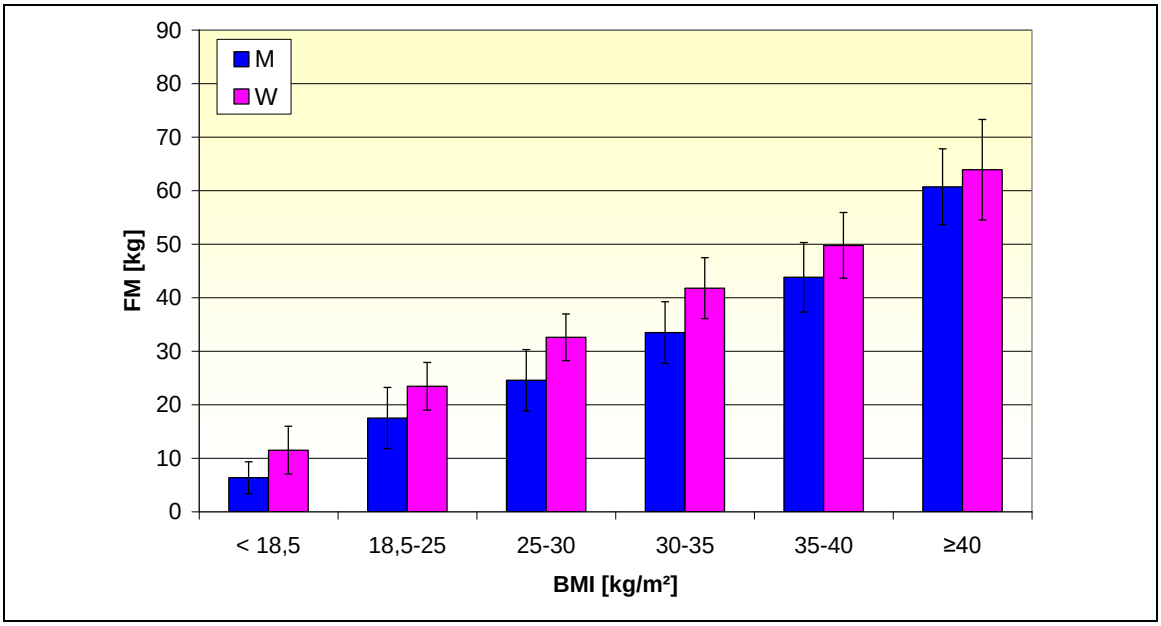

Abb. 19: Fettmasse (FM) in kg für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem Body-Mass-Index (BMI). Die Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichung dar.

Die Abb.19 zeigt, dass sowohl bei Frauen als auch bei Männern die FM mit

dem BMI erheblich ansteigt. Bis zu einem BMI von 40 ist die FM bei Frauen um 5-8 kg höher als bei den Männern der gleichen BMI-Gruppe. Bei Adipösen mit einem BMI ≥ 40 nähern sich die Werte an.

Es fällt eine sehr hohe Standardabweichung auf. Deswegen werden in der Abb.20 die Minimal und Maximalwerte dargestellt. Die sich ergebenden Abweichungen und Überschneidungen sind sehr groß. Aus dem BMI kann daher nur sehr bedingt auf die Köperfettmasse geschlossen werden.

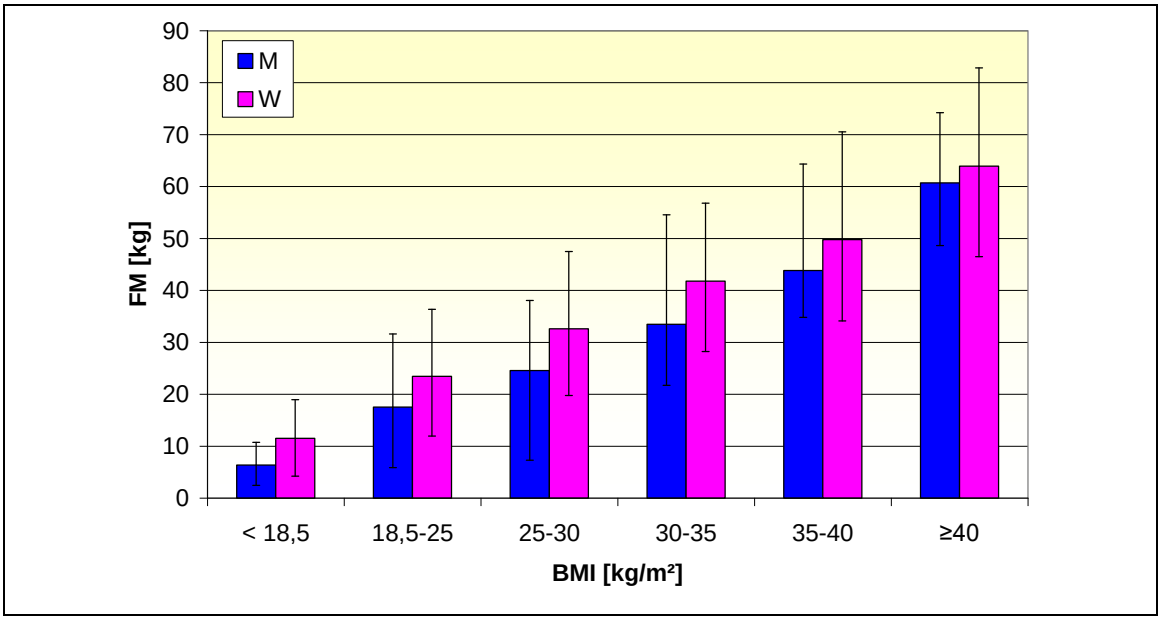

Abb. 20 Darstellung der Werte aus der Abb.1. Hier stellen die Werte Mittelwerte ± Maximum/Minimum dar.

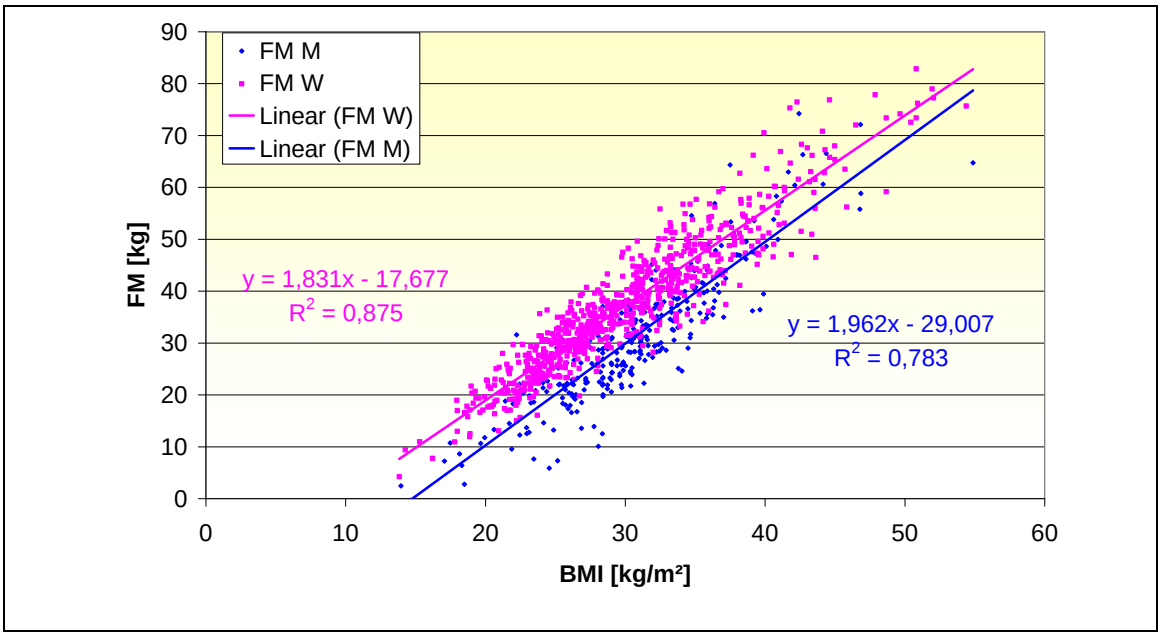

Abb. 21 Korrelation zwischen dem BMI und der FM der Männer (n=297) und Frauen (n=709) des untersuchten Kollektivs

In der Abb. 21 sind die Daten aus Abb. 18 bzw. 19 als Korrelation der Einzelwerte gezeigt. Es fand sich ein hoher Zusammenhang zwischen dem BMI sowohl für Männer als auch für Frauen. Bei einem BMI von 25 kg/m² wiesen die Männer des Kollektivs eine Fettmasse von 20,0 kg die Frauen von 28,1 kg auf.
In der nächsten Abbildung (22) wird die Fettmasse FM in Prozent des Körpergewichtes ausgedrückt und nach BMI gruppiert dargestellt. Dieser Parameter findet auch in der Literatur häufig Verwendung.

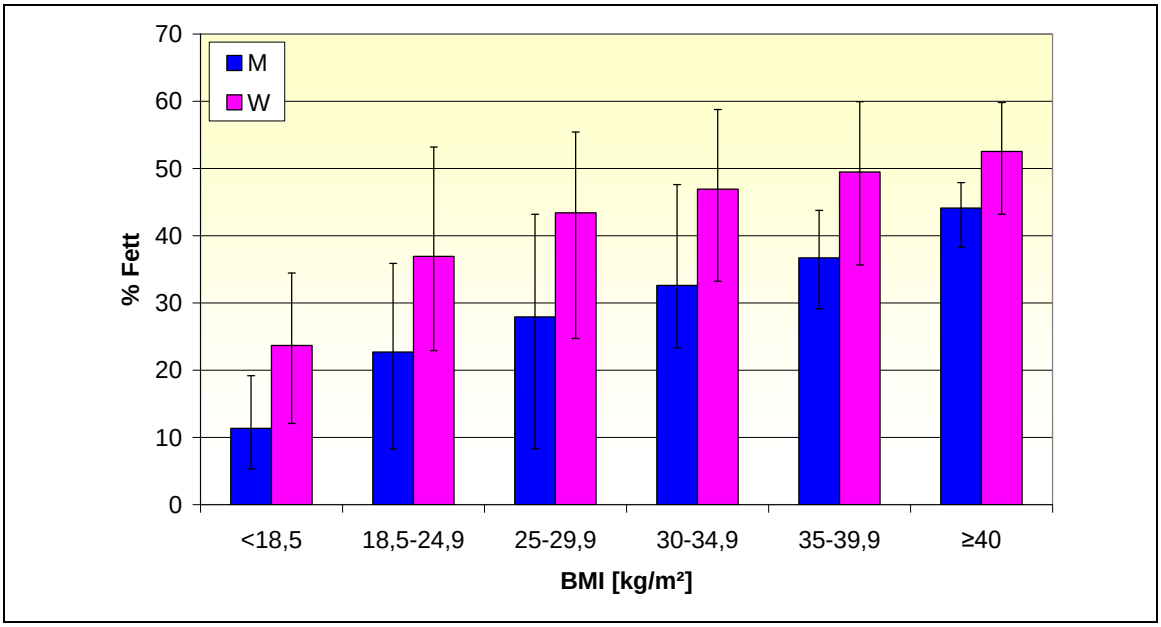

Abb. 22: Fettmasse in % vom Körpergewicht für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem BMI. Die Werte stellen Mittelwerte ± Minimal und Maximalwert dar.

Dabei zeigt sich eine extrem starke Abweichung des Fettgehaltes in Prozent des Körpergewichtes innerhalb jeder BMI-Klasse. Dies macht deutlich, warum der BMI sich zur Beurteilung des Ernährungszustandes eines Menschen kaum eignet.
Normgewichtige Männer des untersuchten Kollektivs weisen im Mittel 22,7 % Fett auf im Vergleich zu Frauen, die 36,9 % Fett aufweisen.

6.1.2 Fettfreie Masse

Die fettfreie Masse ist bei Männern in jeder BMI-Klasse erheblich höher als die von Frauen, dabei ist der Anstieg der FFM mit der BMI-Klasse bei Männern deutlich stärker als bei Frauen.

Der Mittelwert der FFM für die normgewichtigen Männer des Kollektivs wurde mit 59,0 kg ermittelt, für die normgewichtigen Frauen mit 39,9 kg.

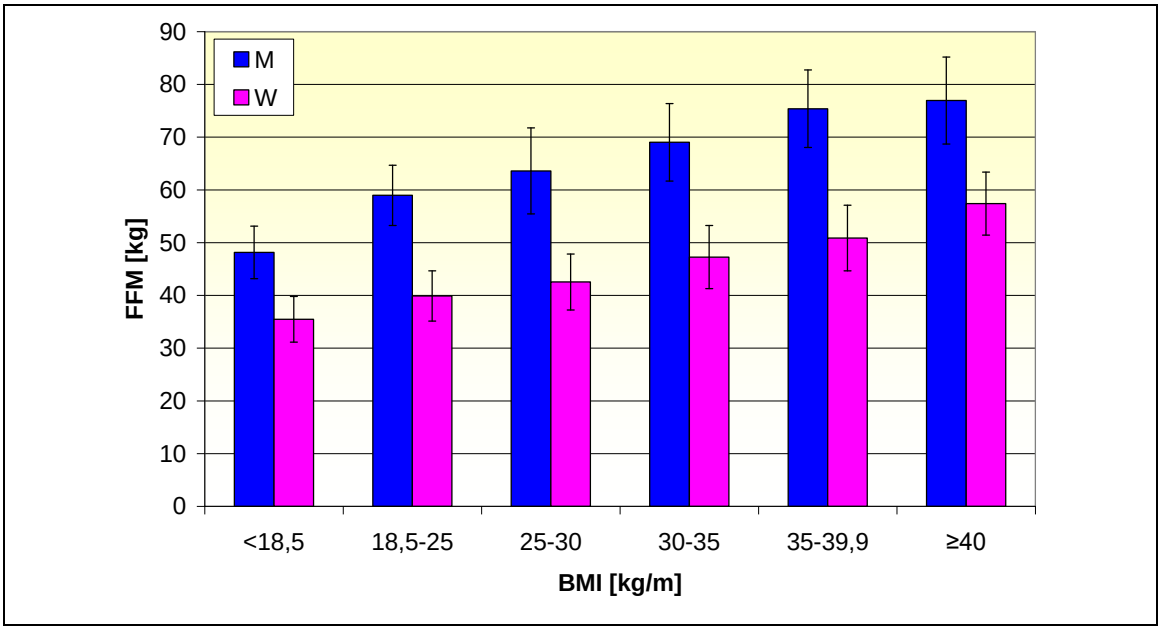

Abb. 23: Fettfreie Masse (FFM) in kg für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem BMI. Die Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichung dar.

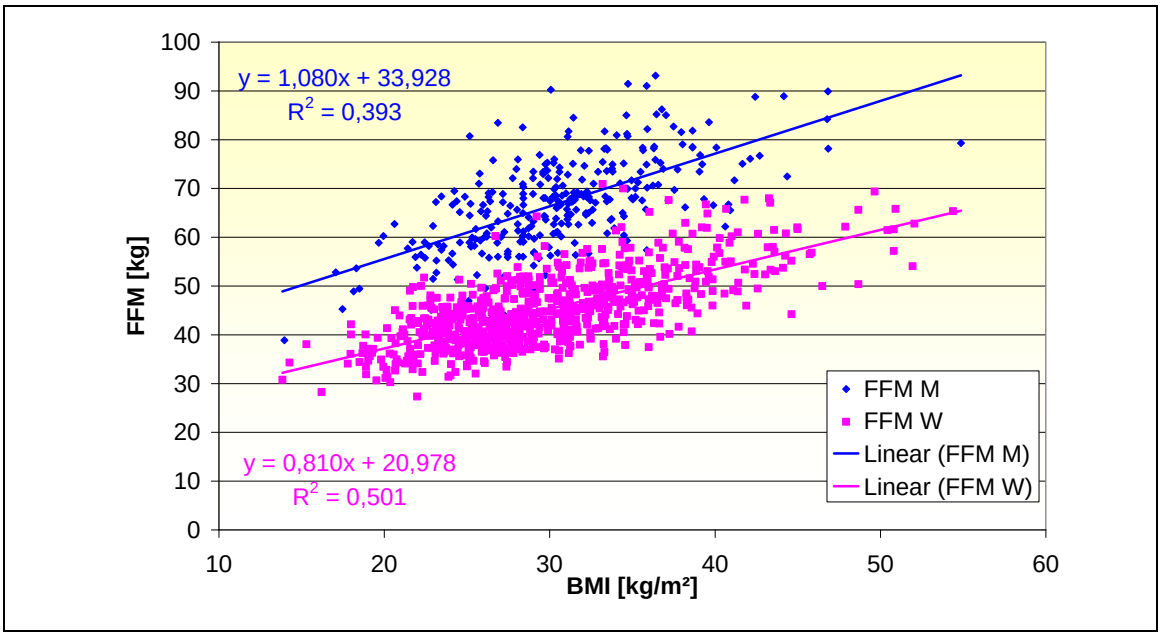

Abb. 24: Korrelation zwischen dem Body-Mas-Index (BMI) und der fettfreien Masse (FFM) für 297 Männer und 709 Frauen.

Um Vergleichdaten für Literaturwerte zu erhalten, werden die Ergebnisse von allen normgewichtigen Männern und Frauen in Tab.11 dargestellt. Dazu wurden die Gesamtdaten nach dem BMI sortiert. Die Personen mit einem BMI 18,5 - < 25 wurden herausgefiltert und nach dem Geschlecht gruppiert.

	Anzahl [n]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m²]	FM [kg]	FFM [kg]
Männer	31	182 ± 8	76,5 ± 7,0	23,0 ± 1,3	17,5 ± 5,7	59,0 ± 5,7
Frauen	160	167 ± 6	63,3 ± 6,4	22,6 ± 1,7	23,4 ± 4,5	39,9 ± 4,8

Tab. 11: Anzahl, Größe, Gewicht, BMI, FM, FFM der normgewichtigen Männer und Frauen des untersuchten Kollektivs. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen (SD).

Dabei zeigt sich, dass die so selektierten Männer durchschnittlich 15 cm größer waren. Das durchschnittliche Gewicht der Männer lag um 13,2 kg höher. Die Fettmasse in Prozent des Körpergewichtes lag bei Frauen mit 37,0 % um 14,1 % höher als bei Männern, die im Mittel 22,9 % des Körpergewichtes als Fettmasse aufwiesen. Die Daten wurden als Abb. 25 visualisiert.

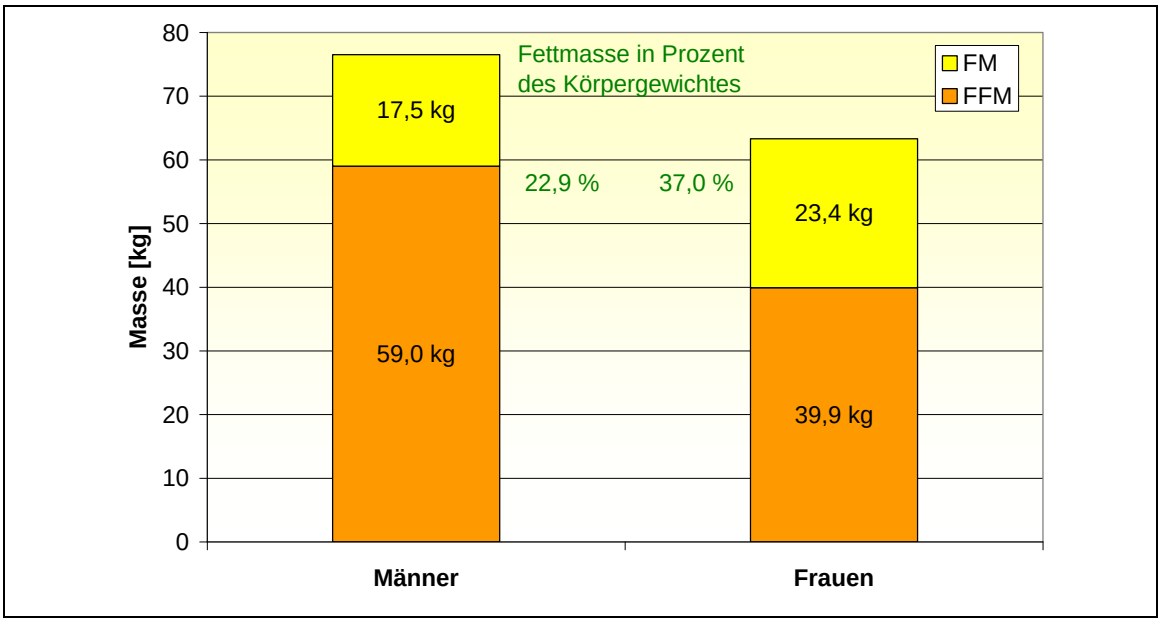

Abb. 25: Fettmasse (FM) und fettfreie Masse (FFM) von normgewichtigen Frauen (n=160), mit einer mittleren Größe von 167 cm und Männern (n=31) von einer Durchschnittsgröße von 182 cm. Angegeben sind Mittelwerte.

6.1.3 Fettgewebsmasse

Im theoretischen Hintergrund wurde ausführlich dargestellt, warum die Fettmasse (FM) nicht mit der Fettgewebsmasse (FGM) gleich gesetzt werden kann. In der vorliegenden Untersuchung wurde die FGM aus der FM berechnet, unter der Annahme, dass Fettgewebe neben der Fettmasse 22 % fettfreie Masse enthält. Daher wurde die Fettgewebsmasse in der vorliegenden Arbeit, durch Multiplikation der FM mit dem Faktor 1,282 berechnet.

Die Abb. 26 zeigt, dass sowohl bei Frauen als auch bei Männern die FGM mit dem BMI erheblich ansteigt. Bis zu einem BMI von 40 ist die FGM bei Frauen um 6,5 - 10 kg höher als bei den Männern der gleichen BMI-Gruppe. Bei Adipösen mit einem BMI ≥ 40 nähern sich die Werte an.

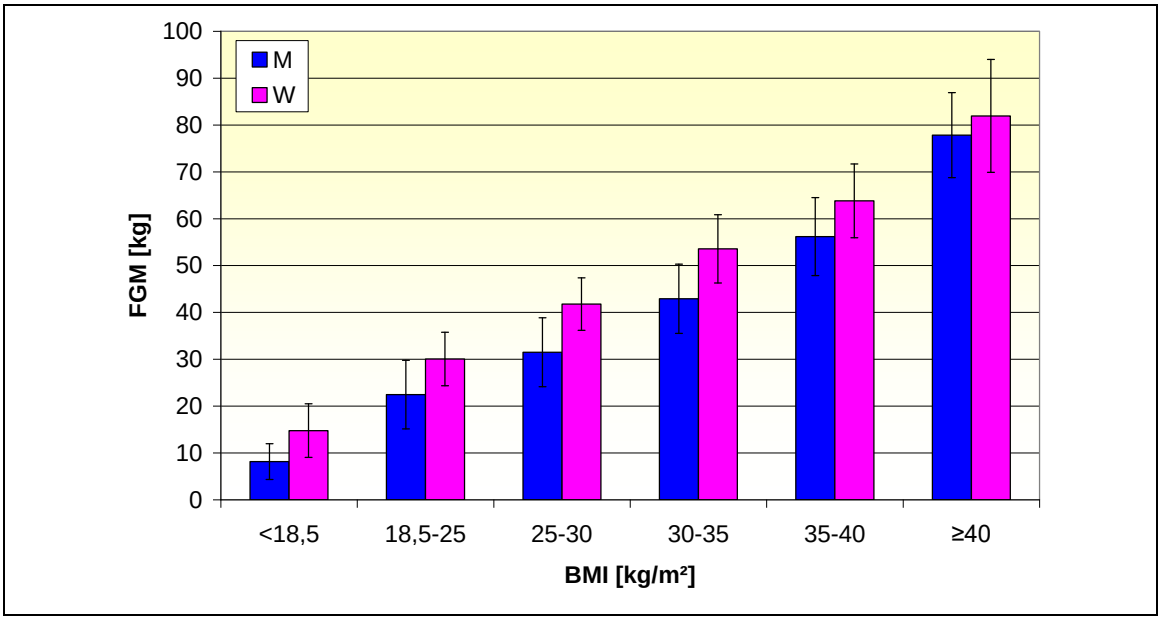

Abb. 26 Fettgewebsmasse in kg für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem BMI. Die Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichung dar.

6.1.4 Fettgewebsfreie Masse

In der nächsten Abbildung wird die Veränderung der fettgewebsfreien Masse mit dem BMI für Männer und Frauen gezeigt. Während bei den Männern die FGFM bis zur BMI-Klasse von 35-40 gering ansteigt, unterscheiden sich die einzelnen BMI-Klassen bei den Frauen kaum. Auch bei Männern zeigt sich keine Zunahme der FGFM mehr ab einem BMI von 30 kg/m².

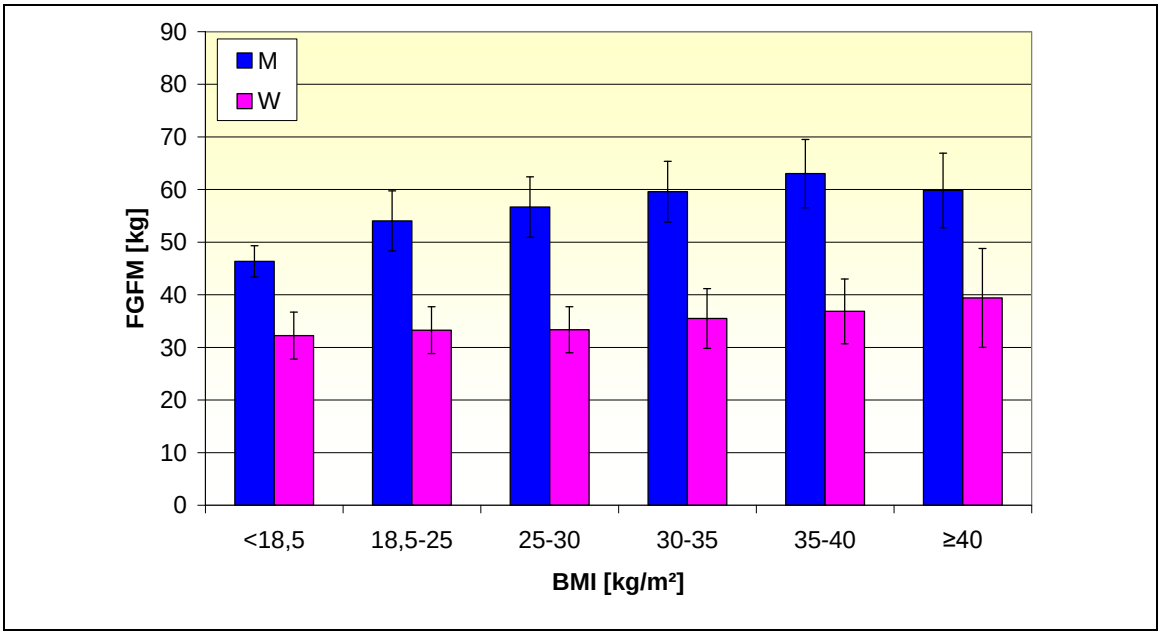

Abb. 27 Fettgewebsfreie Masse (FGFM) in kg für Männer (n=297) und Frauen (n=709) gruppiert nach dem BMI. Die Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichung dar.

	Anzahl [n]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m²]	FGM [kg]	FGFM [kg]
Männer	31	182 ± 8	76,5 ± 7,0	23,0 ± 1,3	22,5 ± 7,3	54,0 ± 6,3
Frauen	160	167 ± 6	63,3 ± 6,4	22,6 ± 1,7	30,0 ±5,7	33,3 ± 5,0

Tab. 12: Anzahl, BMI, FGM, FGFM der normgewichtigen Männer und Frauen des untersuchten Kollektivs. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen (SD).

Die Mittelwerte der FGM und der fettgewebsfreien Masse (FGFM) bezogen auf normgewichtigen Frauen und Männer des untersuchten Kollektivs soll die nächste Abbildung verdeutlichen. 47 % des Körpergewichts bei Frauen und 30,7% (16,3% weniger) bei Männern sind Fettgewebsmasse. Die Daten der Tabelle 12 wurden in Abb. 28 visualisiert.

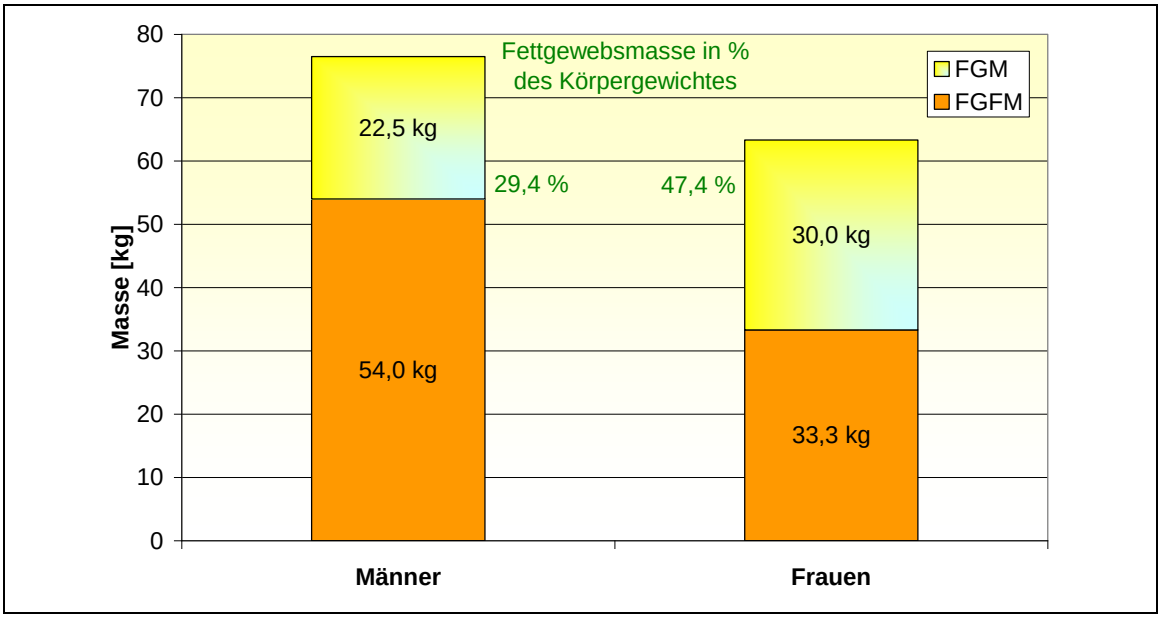

Abb. 28 Fettgewebsmasse (FGM) und Fettgewebsfreie Masse (FGFM) von normgewichtigen Frauen (n=160) und Männern (n=31)

6.2 Korrelationen mit den Messparametern

Um näheren Einblick in die Zusammenhänge der Größen zu erhalten, wurden die bei jedem Messvorgang erhaltenen Einzelwerte für das Wertepaar FM und FFM sowie für das Wertepaar FGM und FGFM mit der Körpergröße, dem Körpergewicht und mit dem BMI getrennt für Frauen und Männer korreliert.

6.2.1 Körpergröße

6.2.1.1 Körpergröße und Körpergewicht

In der folgenden Abbildung ist das Körpergewicht gegen die Körpergröße von Frauen und Männern aufgetragen. Die durchgezogenen farbigen Linien zeigen die Grenzwerte für die Einteilungen nach dem BMI.

Aus den berechneten Regressionsgeraden kann abgeleitet werden, dass eine Größendifferenz von 10 cm im untersuchten Kollektiv bei der Frau mit einer Körpergewichtszunahme von 6,8 kg, bei dem Mann von 9,8 kg einhergeht.

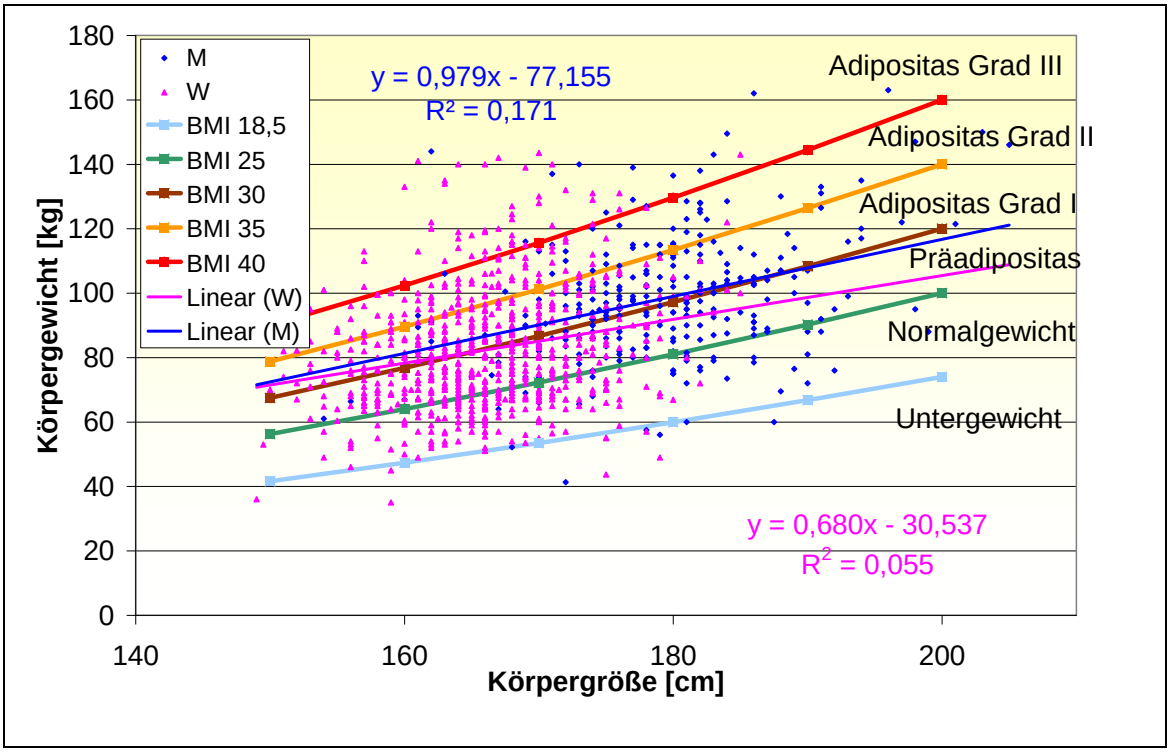

Abb. 29: Korrelation zwischen Größe und Körpergewicht der untersuchten Frauen und Männer. Dargestellt sind die Einzelwerte nebst Regressionsgeraden und Korrelationskoeffizient für 709 Messungen bei Frauen und 297 Männern.

6.2.1.2 Körpergröße und Fettmasse

Zwischen der Körpergröße und der Fettmasse fand sich ein sehr niedriger Zusammenhang ($p<0,05$) sowohl für Frauen als auch für Männer. Die Steigung

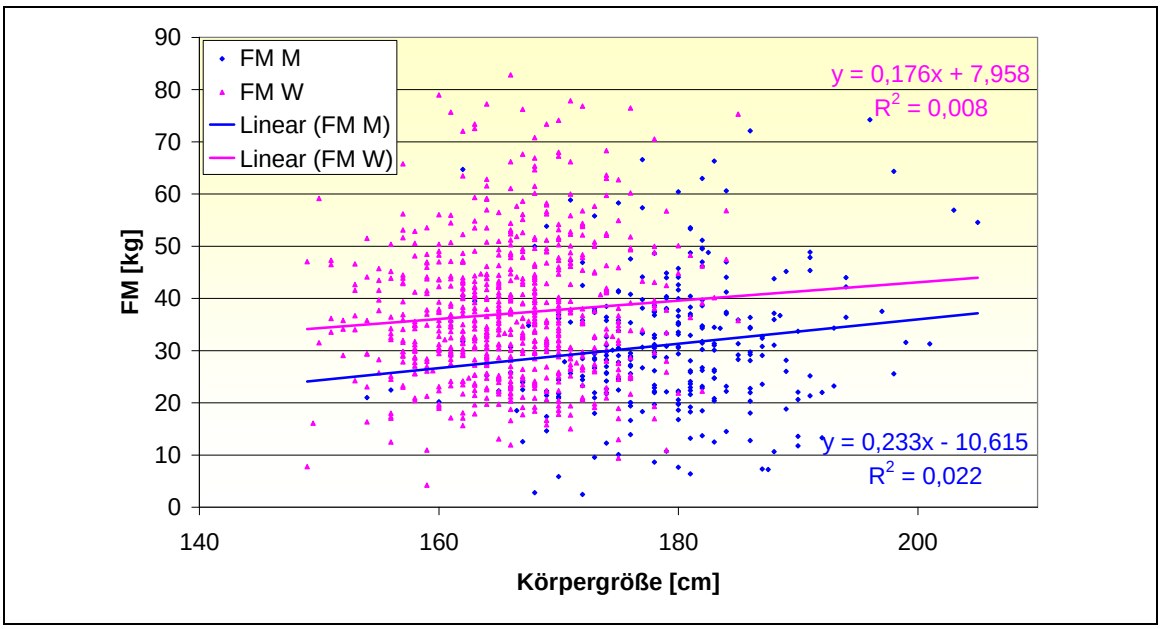

Abb. 30: Körpergröße und Fettmasse (FM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297)

der Regressionsgeraden ist fast identisch. Es findet sich bei Frauen unseres Kollektivs für alle Körpergrößen eine etwa 8,8 kg (berechnet für 170 cm

Körpergröße) höhere Fettmasse als bei Männern. Der Anstieg der FM bei einer Größendifferenz von 10 cm beträgt bei Frauen 1,76 kg, bei Männern 2,33 kg.

6.2.1.3 Körpergröße und fettfreie Masse

In Abb. 31 wird gezeigt, dass die Korrelation zwischen der Körpergröße und der FFM bei Frauen (R^2=0,183) erheblich niedriger ist als bei Männern (R^2=0,281), obwohl mehr als doppelt so viele Frauen als Männer gemessen wurden. Dabei steigt die FFM bei Männern mit der Körpergröße deutlich steiler an als bei Frauen.

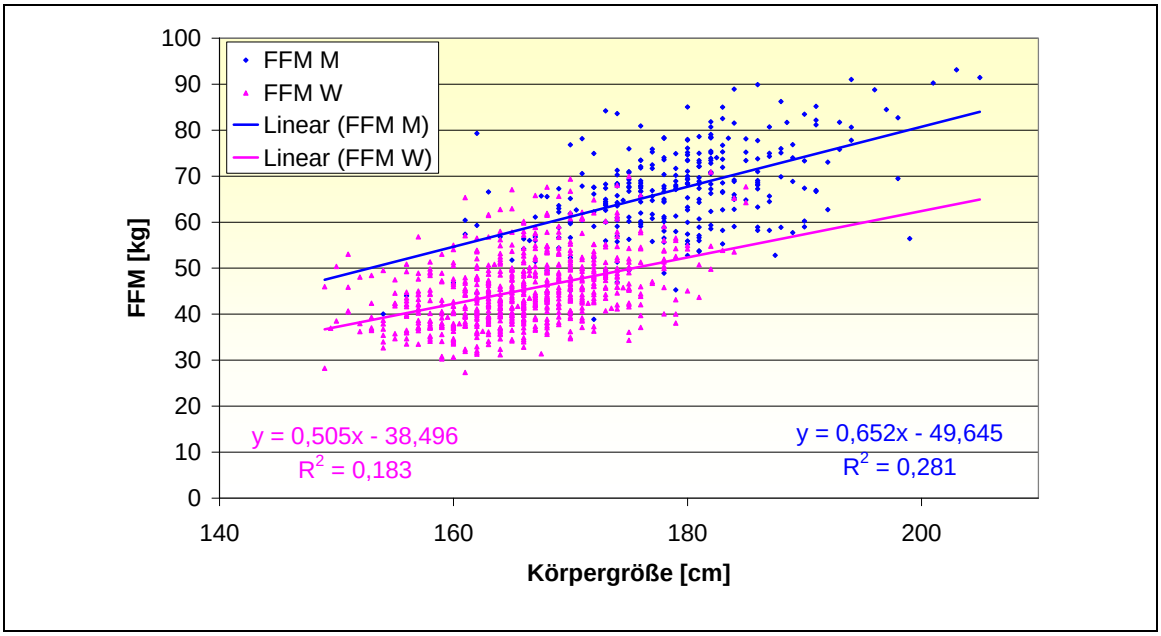

Abb. 31: Korrelation zwischen Körpergröße und fettfreier Masse (FFM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297). Die Geradengleichungen und das Bestimmtheitsmaß sind angegeben.

Die Steigung der Geraden für Männer wurde mit 0,652 ermittelt, die für Frauen nur mit 0,505. Der Anstieg der FFM bei einer Größendifferenz von 10 cm beträgt somit bei Frauen 5,05 kg, bei Männern 6,52 kg. Der größenbedingte Zuwachs der FFM ist bei Männern somit um 29,1 % höher als bei Frauen.

6.2.1.4 Körpergröße und Fettgewebsmasse

In Abb. 32 ist die Korrelation der FGM mit der Körpergröße dargestellt. Da sich die FGM von den FM nur um den Faktor 1,282 unterscheidet, finden sich identischen Korrelationskoeffizienten wie in der Abb. 29. Auch alle für FM getätigten Aussagen treffen für die Fettgewebsmasse zu, die Absolutwerte liegen lediglich um den Faktor 1,282 höher.

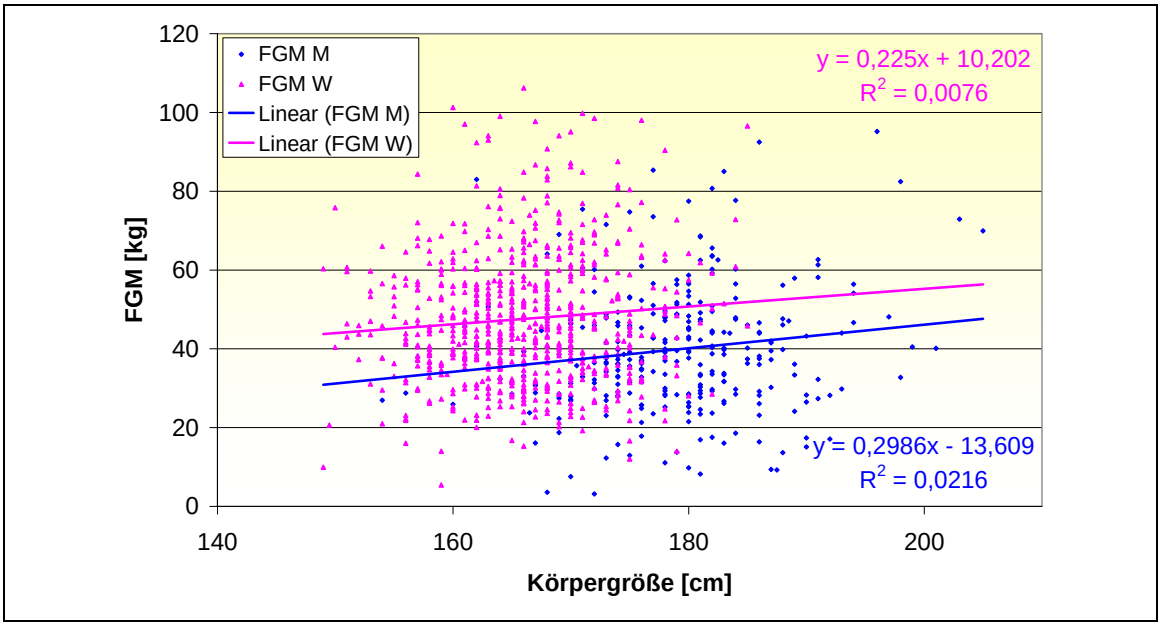

Abb. 32: Größe korreliert mit der Fettgewebsmasse bei Frauen (n=709) und bei Männern (n=297).

So findet sich bei Frauen unseres Kollektivs für alle Körpergrößen eine etwa 11,3 kg (berechnet für 170 cm Körpergröße) höhere Fettgewebsmasse als bei Männern. Der Anstieg der FGM bei einer Größendifferenz von 10 cm beträgt bei Frauen 2,25 kg und bei Männern 2,99 kg. Der größenbedingte FGM - Zuwachs bei Männern ist somit um 32,9 % höher als bei Frauen.

6.2.1.5 Körpergröße und fettgewebsfreie Masse

In Gegensatz zum festen Verhältnis zwischen FM und FGM kann die Beziehung zwischen der FFM und der FGFM nicht auf einen Faktor reduziert werden. Abb. 33 zeigt, dass der Korrelationskoeffizient der FGFM mit der Körpergröße für Männer und Frauen höher ist als der Korrelationskoeffizient mit der FFM. Dabei steigt die FGFM bei Männern mit der Körpergröße etwas steiler an als bei Frauen. Die Steigung der Geraden für Männer wurde mit 0,586 ermittelt, die für Frauen nur mit 0,455. Der Anstieg der FGFM bei einer Größendifferenz von 10 cm beträgt bei Frauen 4,55 kg, bei Männern 5,86 kg. Der größenbedingte Zuwachs der FGFM ist bei Männern somit um 28,8 % höher als bei Frauen.

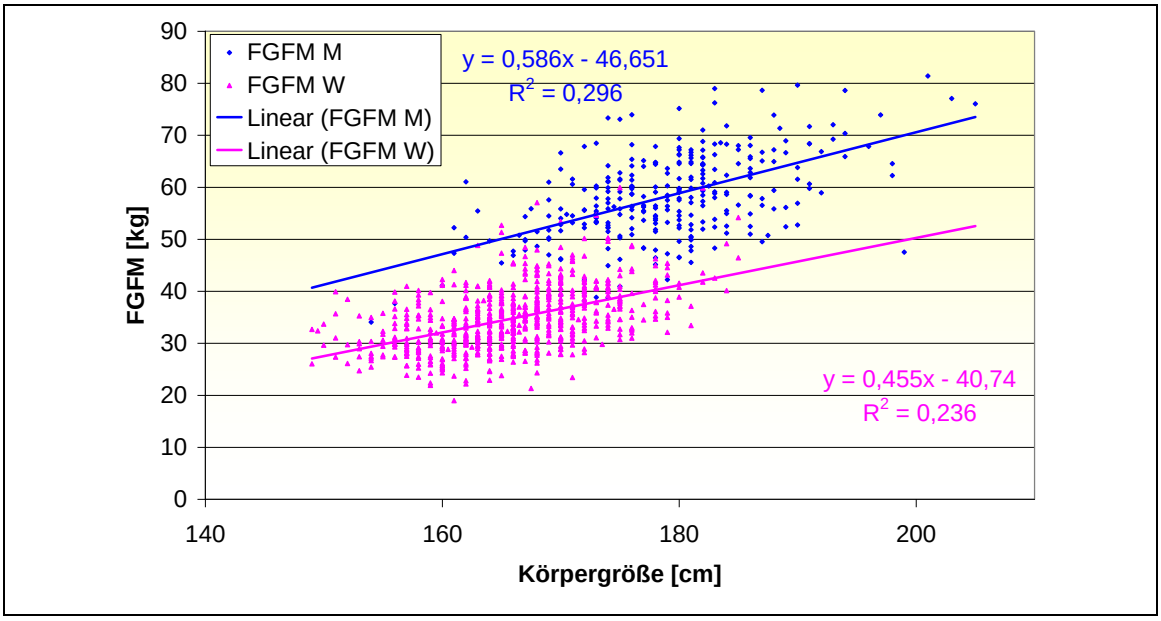

Abb. 33: Körpergröße korreliert mit der fettgewebsfreien Masse (FGFM) bei Frauen (n= 709) und Männern (n=297).

6.2.1.6 Körpergröße und Prozent Fett

In Abb. 34 wird die Korrelation zwischen der Körpergröße und der Fettmasse in Prozent des Körpergewichtes dargestellt. Im Gegensatz zur FM, FFM, FGM und FGFM findet sich keine positive Korrelation zwischen der Körpergröße

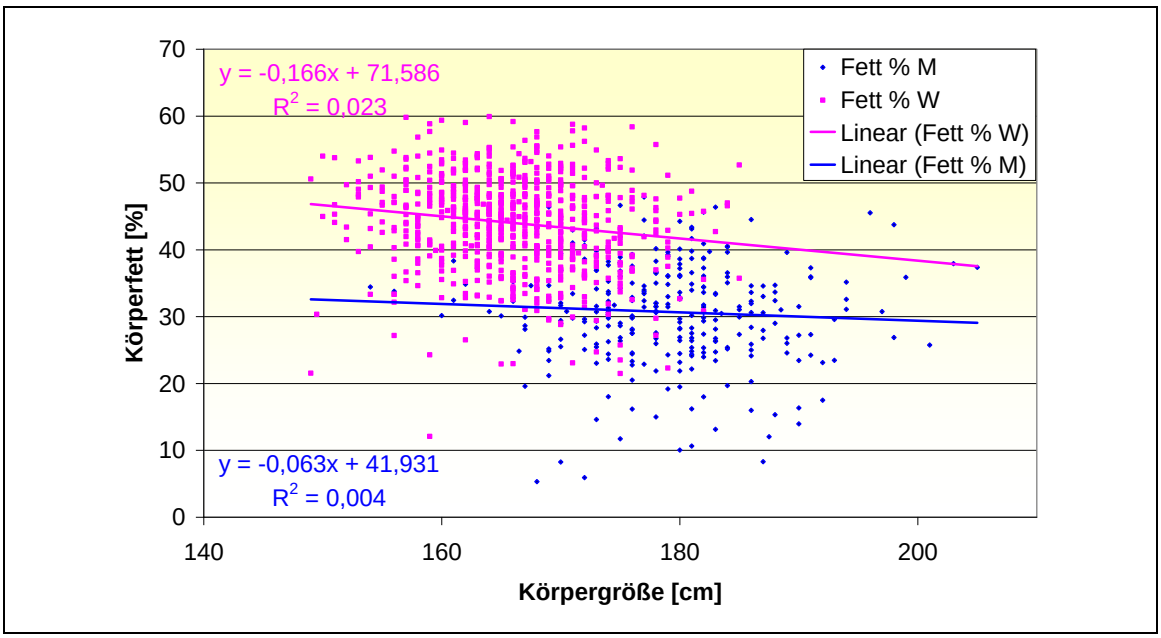

Abb. 34: Körpergröße korreliert mit der Fettmasse in Prozent vom Körpergewicht für Frauen (n=709) und Männer (n=297).

und dem Fettgehalt in Prozent des Körpergewichtes. Bei Frauen ist die Körpergröße negativ mit der prozentualen Fettanteil korreliert, bei Männern ist die negative Korrelation nicht signifikant.

Aus der Regressionsgleichung lässt sich errechnen, dass eine 170 cm große Frau im untersuchten Kollektiv im Mittel 43,3 % Fett aufweist, ein gleich großer

Mann des Kollektivs im Mittel 31,3 % Fett aufweist. Dabei muss allerdings unbedingt beachtet werden, dass ein Grossteil der Untersuchten z.T. stark übergewichtig ist.

6.2.2 Körpergewicht und Messparameter

In diesem Teil soll der Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und den einzelnen Messparametern untersucht werden.

6.2.2.1 Körpergewicht und Fettmasse

Die Abb. 35 zeigt, dass die Korrelation zwischen Körpergewicht und Fettmasse sowohl bei Frauen (R^2=0,900) als auch bei Männern (R^2=0,811) sehr hoch ist.

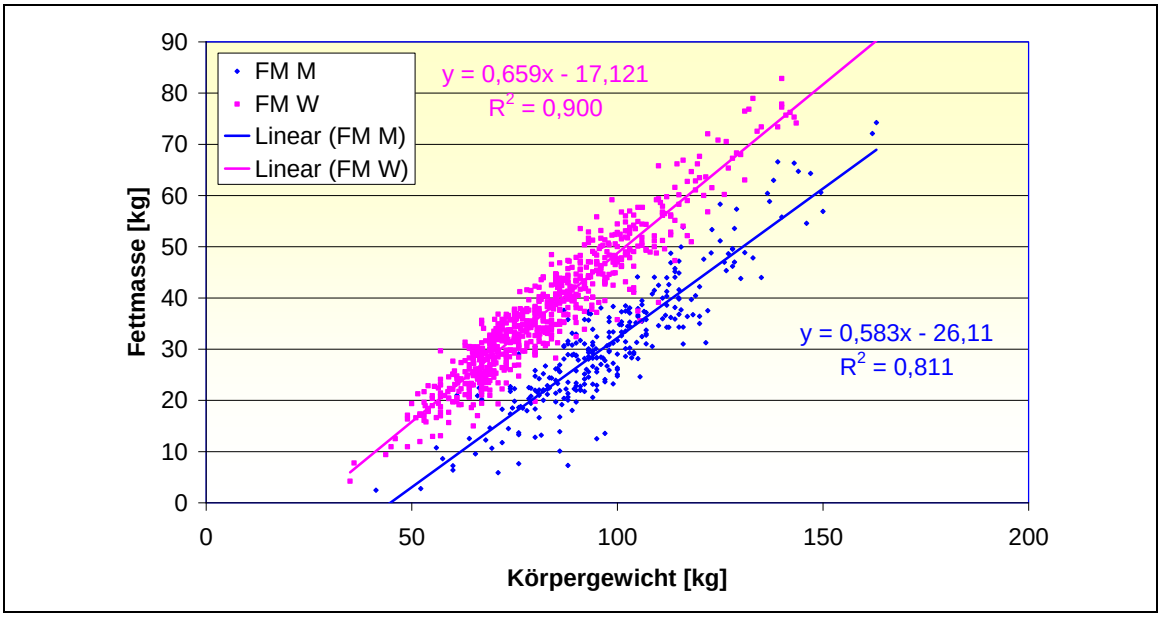

Abb. 35 Körpergewicht und Fettmasse (FM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297)

Die Steigung der Regressionsgeraden ist bei Frauen um 0,076 geringfügig höher als bei den Männern. Daraus folgt, dass ein Unterschied im Körpergewicht von 10 kg mit einer Differenz der FM bei Frauen um 6,59 kg (65,9%) und bei Männern um 5,83 kg (58,3%) einhergeht. Der Fettmassezuwachs bei einer Gewichtszunahme beträgt bei Männern somit 11,5 % weniger als bei Frauen.

Ein 70 kg schwerer Mann weist in diesem Kollektiv mit im Mittel 14,7 kg Fettmasse (21,0 % des Körpergewichtes) im Vergleich zu einer 70 kg schweren Frau, die im Mittel 29,0 kg Fettmasse (41,4% des Körpergewichtes) aufweist, 49,3 % weniger FM auf.

6.2.2.2 Körpergewicht und fettfreie Masse

In Abb. 36 wird gezeigt, dass die Korrelation zwischen dem Körpergewicht und der FFM bei Frauen (R^2=0,707) ähnlich hoch ist wie bei Männern (R^2=0,687). Passend zu den Ergebnissen zur FM ist die Steigung der Regressionsgeraden diesmal bei den Männern um 0,076 geringfügig höher als bei den Frauen. Dabei steigt die FFM bei Männern mit der Körpergröße steiler an als bei Frauen. Die Steigung der Geraden für Männer wurde mit 0,417 ermittelt, die für Frauen nur mit 0,341. Daraus folgt, dass ein Unterschied im Körpergewicht von 10 kg mit einer Differenz der FFM bei Frauen um 3,41 kg (34,1 %) und bei Männern um 4,17 kg (41,7 %) einhergeht. Die Zunahme der FFM bei Männern ist somit hier um 22,3 % höher als bei Frauen.

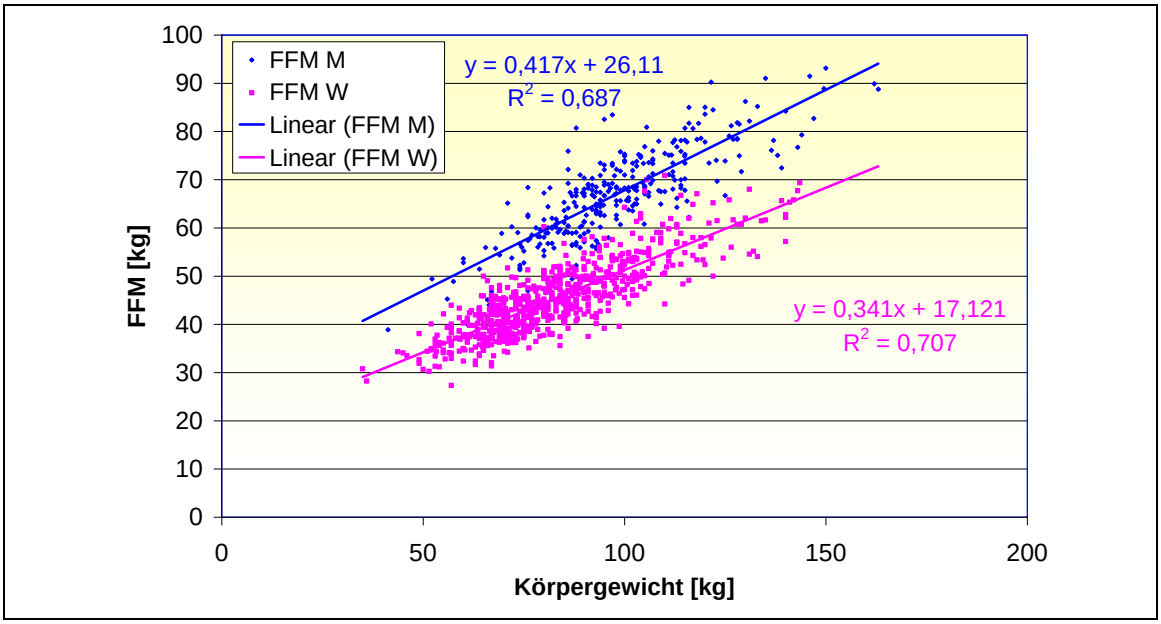

Abb. 36: Körpergewicht und fettfreie Masse (FFM) bei Frauen (n=709) und Männern (297).

6.2.2.3 Körpergewicht und Fettgewebsmasse

Der Korrelationskoeffizient zwischen der Fettgewebsmasse und dem Körpergewicht ist genauso groß wie die Korrelation zwischen der Fettmasse und dem Körpergewicht.

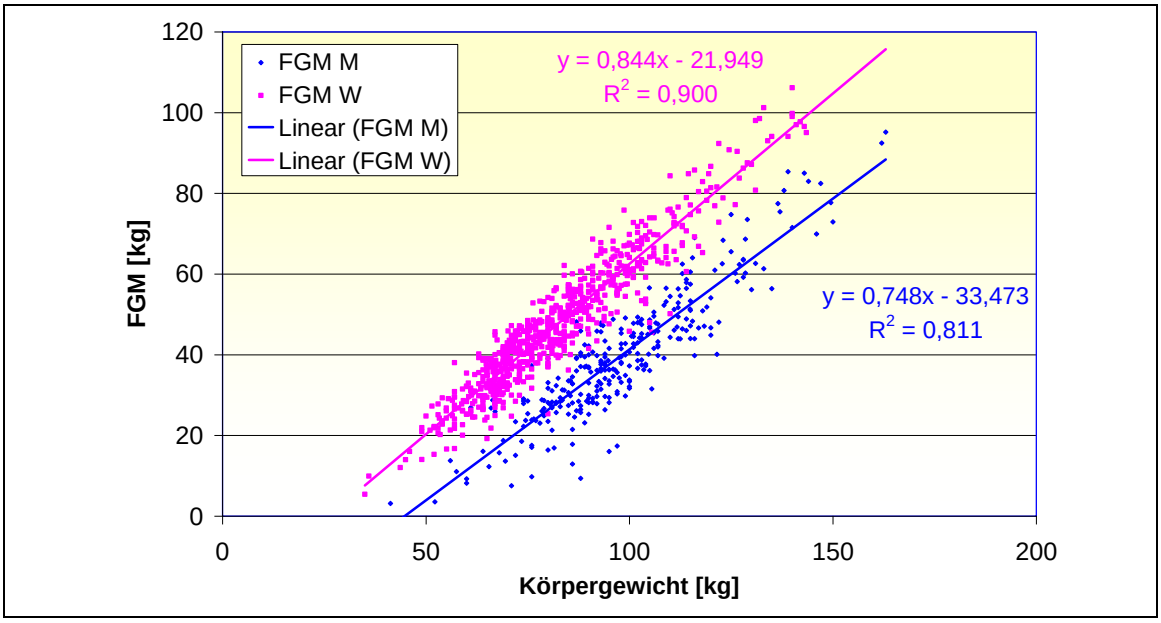

Abb. 37: Körpergewicht und Fettgewebsmasse (FGM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297)

Die Steigung der Regressionsgeraden ist bei Frauen um 0,097 geringfügig höher als bei den Männern. Daraus folgt, dass ein Unterschied im Körpergewicht von 10 kg mit einer Differenz der FGM bei Frauen um 8,44 kg (84,4 %) und bei Männern um 7,48 kg (74,8 %) einhergeht. Der Fettmassezuwachs bei Männern beträgt somit auch hier 11,4 % weniger als bei Frauen.

Ein 70 kg schwerer Mann weist in diesem Kollektiv mit im Mittel 18,9 kg Fettgewebe (26,9 % des KG) im Vergleich zu einer 70 kg schweren Frau, die im Mittel 37,2 kg Fettgewebe (53,1% des Körpergewichtes) aufweist, 49,2 % weniger FGM auf.

6.2.2.4 Körpergewicht und fettgewebsfreie Masse

Der Korrelationskoeffizient zwischen dem Körpergewicht und der fettgewebsfreien Masse (FGFM) ist niedriger als der Korrelationskoeffizient zwischen FFM und dem Körpergewicht. Er beträgt bei Frauen 0,234 und bei Männern 0,329. Passend zu den Ergebnissen zur FFM ist die Steigung der Regressionsgeraden diesmal bei den Männern um 0,097 geringfügig höher als bei den Frauen. Dabei steigt die FGFM bei Männern mit der Körpergröße etwas steiler an als bei Frauen. Die Steigung der Geraden für Männer wurde mit 0,253 ermittelt, die für Frauen nur mit 0,156. Daraus folgt, dass ein Unterschied im Körpergewicht von 10 kg mit einer Differenz der FGFM bei Frauen um 1,56 kg

(15,6 %) und bei Männern um 2,53 kg (25,3 %) einhergeht. Die Zunahme der FGFM bei Männern ist somit um 62,2 % höher als bei Frauen.

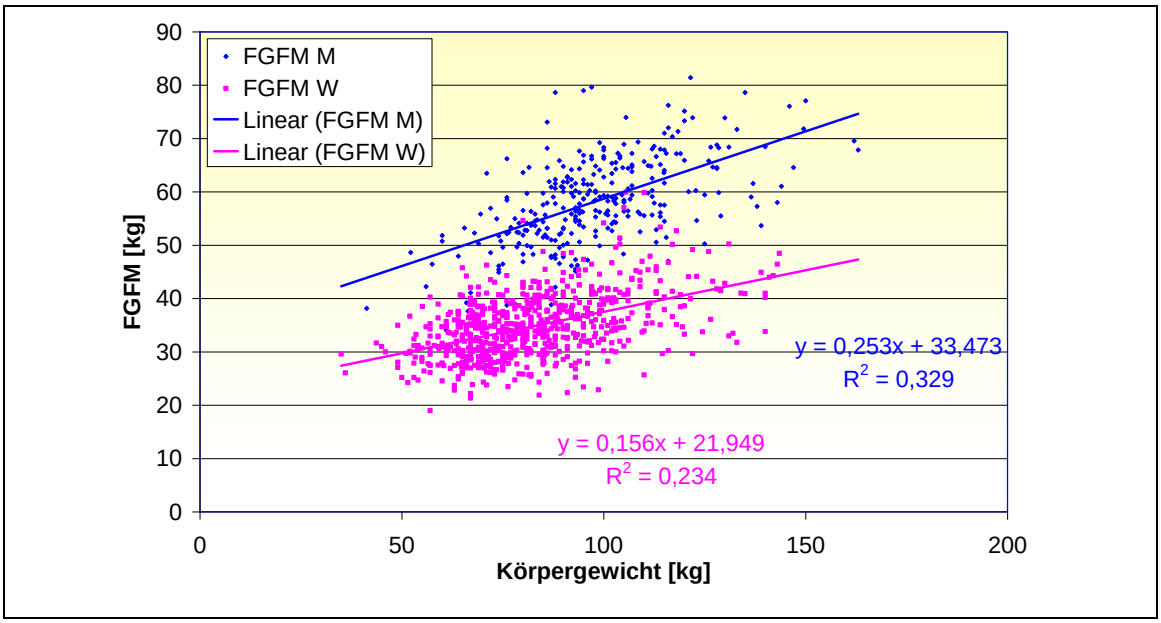

Abb. 38: Körpergewicht und fettgewebsfreie Masse (FGFM) bei Frauen (n=709) und Männern (n=297).

6.2.2.5 Körpergewicht und Prozent Fett

Aus der Abb. 39 geht hervor, dass die Steigung der Geraden bei dem untersuchten Kollektiv der Männer mit 0,269 ähnlich groß ist wie bei den Frauen mit 0,250, die Gerade also fast parallel verschoben ist. Auch der Korrelationskoeffizient von Körpergewicht und Fett in Prozent des Körpergewichtes bei Männern (R^2= 0,445) ist im Vergleich zu Frauen (R^2= 0,438) fast identisch.

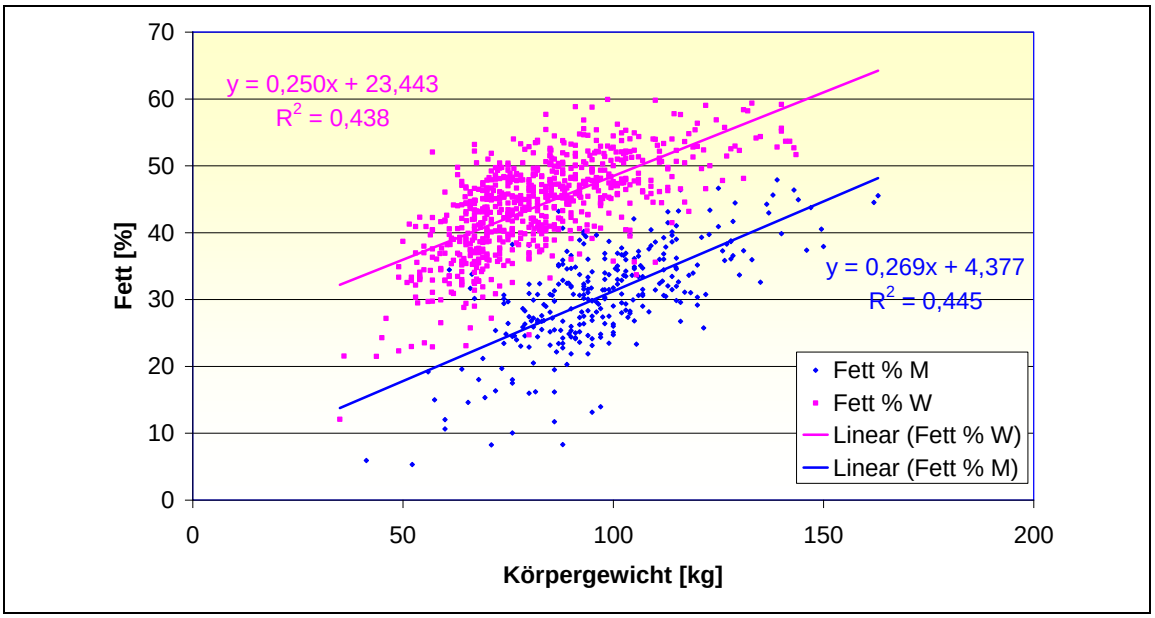

Abb. 39: Körpergewicht und Fettmasse in Prozent vom Körpergewicht bei Frauen (n=709) und Männern (n=297)

Aus der Regressionsgleichung lässt sich errechnen, dass eine 70 kg schwere Frau im untersuchten Kollektiv im Mittel 41,0 % Fett aufweist, ein gleich schwerer Mann des Kollektivs im Mittel 23,2 % Fett aufweist. Dabei muss allerdings unbedingt beachtet werden, dass ein Grossteil der Untersuchten stark übergewichtig ist.

6.2.3 Korrelationen zwischen Indizes

Zur Beurteilung des Ernährungszustandes hat sich der BMI durchgesetzt.

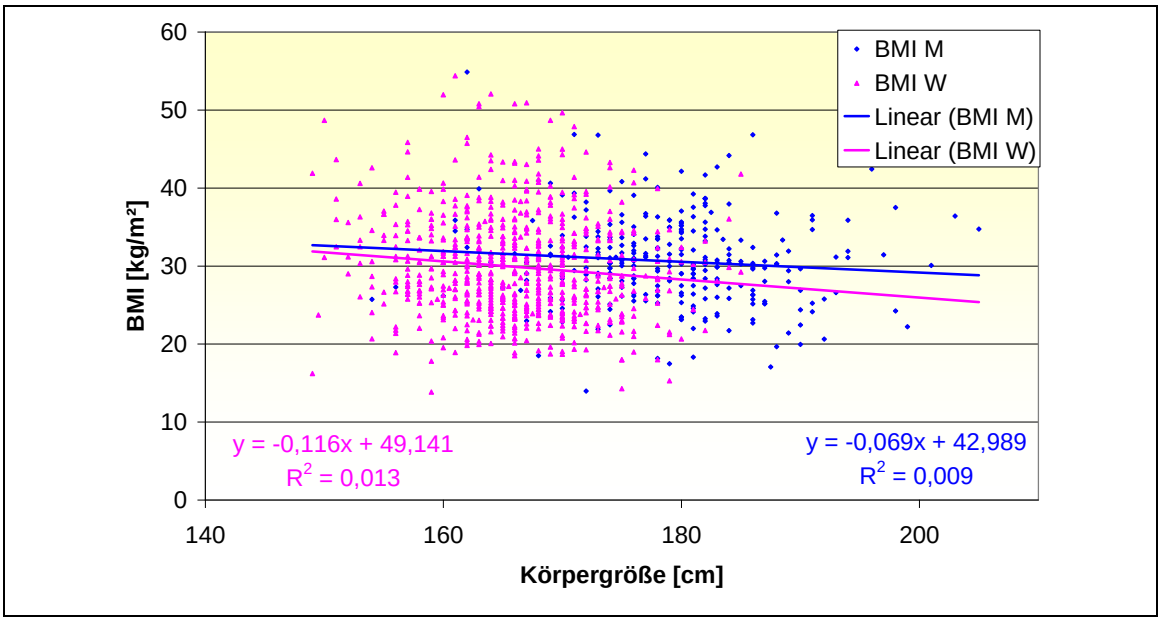

Abb. 40: Körpergröße und Body-Mass-Index (BMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297).

Mit dieser Größe hat man einen Parameter, der unabhängig von der Körpergröße eine Graduierung des Ernährungszustandes in Unter- Norm- und Übergewichtig, bzw. in die verschiedenen Adipositasgrade zulässt.

Dieser Zusammenhang wird in Abb. 40 dargestellt. Trotz der hohen Anzahl von Messungen findet sich keine signifikante Korrelation zwischen Körpergröße und BMI für Männer. Für Frauen findet sich ein niedriger Zusammenhang (hohe Anzahl) aber mit einer sehr geringen Steigung.

Um für die ermittelten und abgeleiteten Parameter FM, FFM, FGM und FGFM auch eine Unabhängigkeit von der Körpergröße zu erreichen und die so erhaltenen Ergebnisse mit dem BMI in Korrelation setzen zu können, wurden auch diese Messparameter und die abgeleiteten Größen mittels Division durch

die Körpergröße² [m²] gleichermaßen indiziert. Auf diese Weise wird der BMI aufgeteilt in entweder in einen

Fett-**M**asse-**I**ndex + **F**ett-**F**reie-**M**asse-**I**ndex (Molekülebene)
BMI = FMI + FFMI
oder auf Gewebeebene in die indizierten abgeleiteten Parameter
Fett-**G**ewebs-**M**asse-**I**ndex + **F**ett-**G**ewebs-**F**reie-**M**asse-**I**ndex
BMI =FGMI + FGFMI.

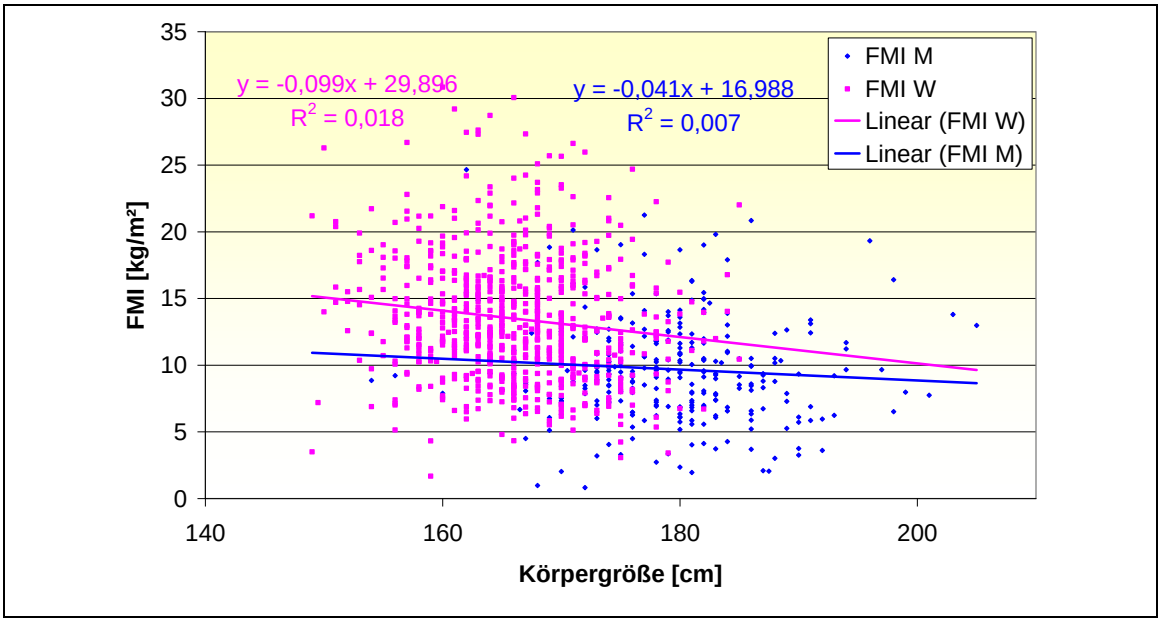

Abb. 41 Korrelation zwischen der Körpergröße und dem FMI für Frauen (n=709) und Männer (n=297)

In den Abbildungen 41 – 44 wird untersucht, ob für die oben genannten abgeleiteten Parameter ein Zusammenhang mit der Körpergröße besteht, oder ob die Indices von der Körpergröße unabhängig sind. In der Abb. 41 zeigt sich für Männer keine signifikante Abhängigkeit zwischen dem FMI und der Körpergröße. Bei den Frauen des Kollektivs fand sich ähnlich wie beim BMI noch eine signifikante Abnahme des FMI mit der Körpergröße mit allerdings sehr niedriger Steigung.

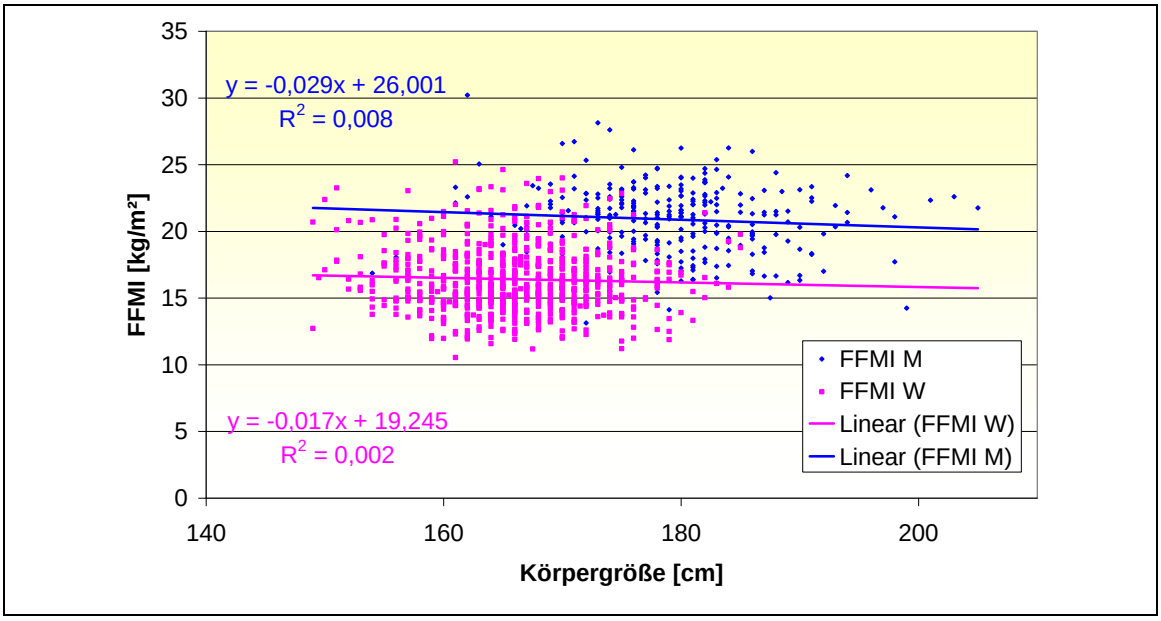

Abb. 42: Korrelation zwischen der Körpergröße und dem FFMI für Frauen (n=709) und Männer (n=297)

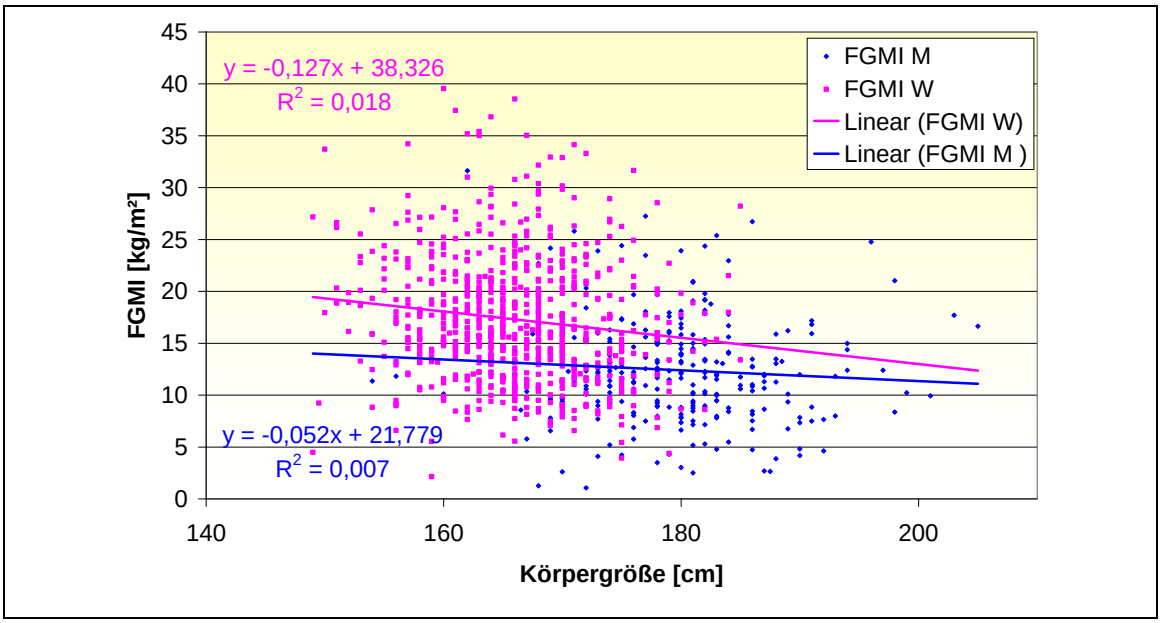

Abb. 43: Korrelation zwischen der Körpergröße und dem FGMI für Frauen (n=709) und Männer (n=297)

Das gleiche trifft zu für die Beziehung zwischen dem FGMI und der Körpergröße, da der FGMI sich nur um den Faktor 1,282 vom FMI unterscheidet.

Der FFMI (Abb. 42) und der FGFMI (Abb. 44) zeigen dagegen weder für Männer noch für Frauen eine signifikante Korrelation mit der Körpergröße, es finden sich nahezu Parallelen zur x-Achse.

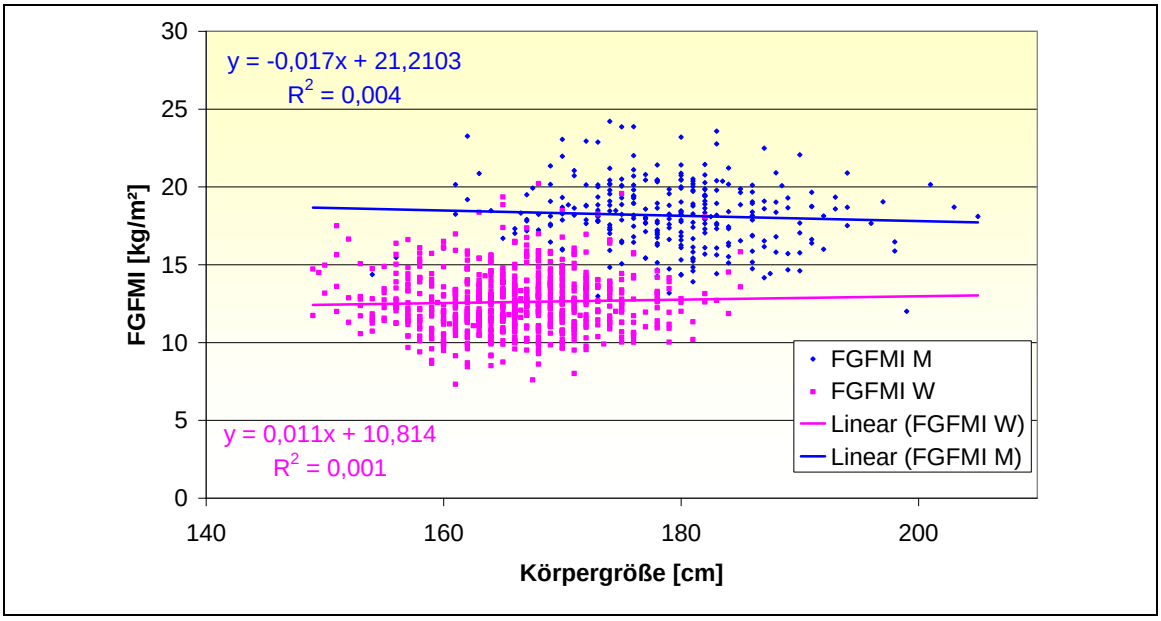

Abb. 44: Korrelation zwischen der Körpergröße und dem FGFMI für Frauen (n=709) und Männer (n=297)

6.2.3.1 Body-Mass-Index und Fett-Masse-Index

In der Abb. 45 ist der BMI gegen den FMI für jede Messung aufgetragen. Dabei findet sich eine extrem hohe Korrelation zwischen den beiden Parametern sowohl für Frauen (R^2=0,920), als auch für Männer (R^2=0,844). Diese Korrelationskoeffizienten sind bei weitem höher als bei allen anderen bis jetzt dargestellten Beziehungen.

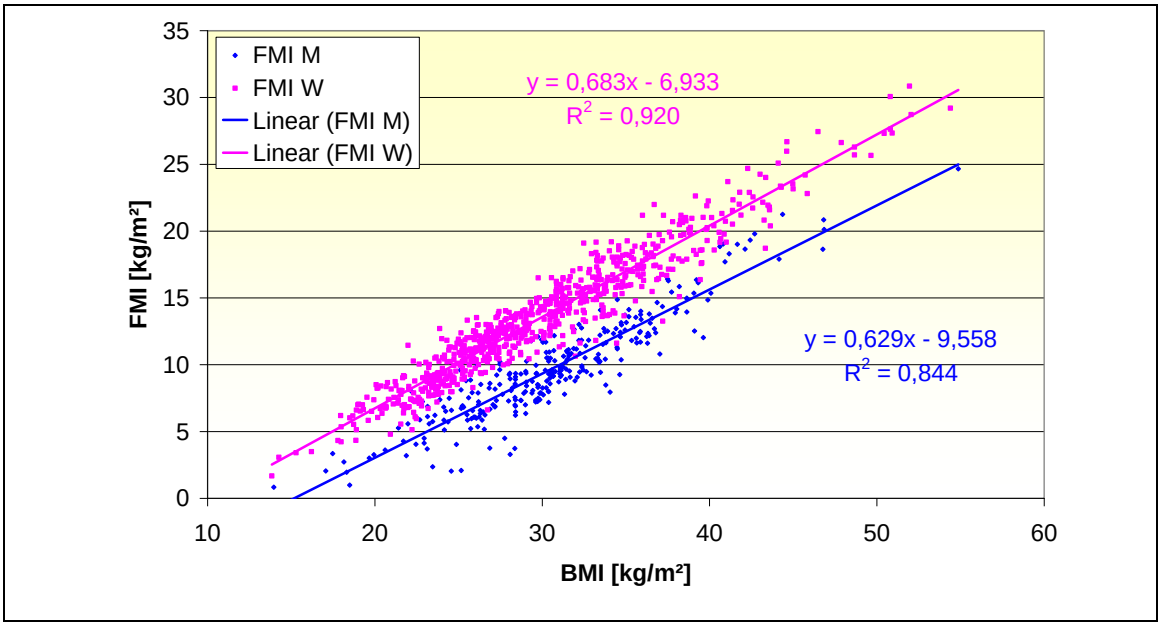

Abb. 45: Body-Mass-Index und Fett-Masse-Index (FMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297).

Geht man davon aus, dass Fettleibigkeit über den Fettgehalt des Körpers charakterisiert werden muss, dann sind die Abweichungen von der Geraden

dadurch bedingt, dass Werte unterhalb der Geraden von Personen stammen, die in Bezug auf den Fettgehalt viel fettfrei Masse aufweisen, die oberhalb der Geraden befindlichen Personen mehr Fettmasse aufweisen.

6.2.3.2 Body-Mass-Index und Fett-Freie-Masse-Index

Die Abb. 46 zeigt, dass mit steigendem BMI auch der FFMI bei Frauen und Männern hochsignifikant ansteigt. Dabei ist die Steigung für Männer gering höher als für Frauen.

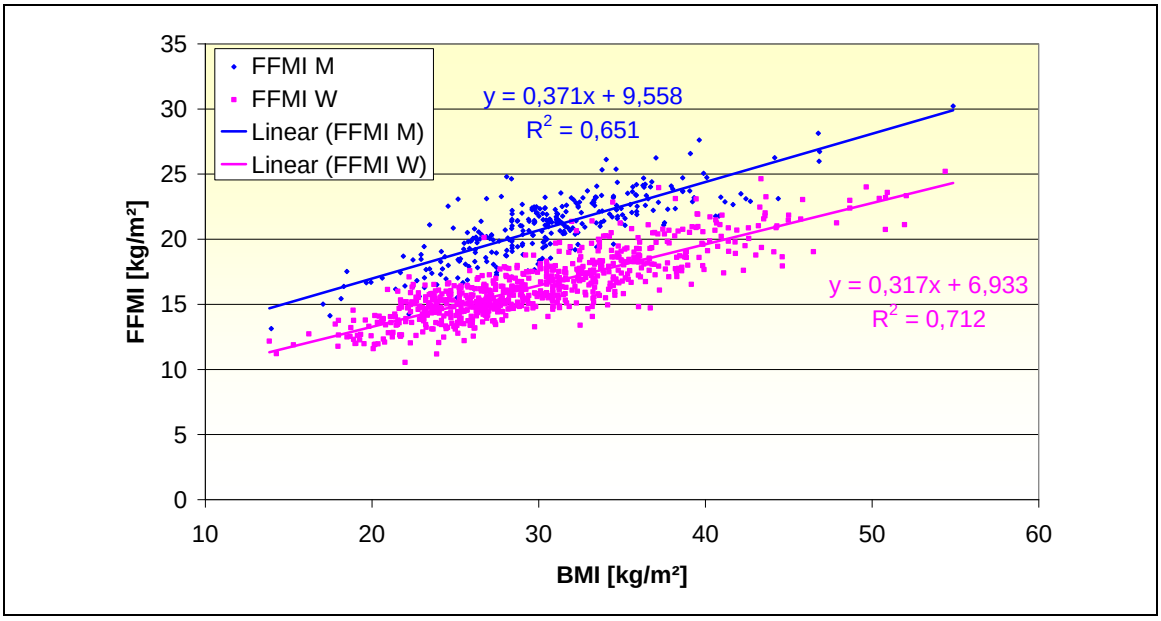

Abb. 46: Body-Mass-Index (BMI) und Fett-Freie-Masse-Index (FFMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297).

Daraus folgt, dass ein Unterschied im BMI von 10 kg/m² mit einer Differenz der FFMI bei Frauen um 3,17 kg/m² und bei Männern um 3,71 kg/m² einhergeht. Die Korrelation zwischen dem FFMI und dem BMI ist sowohl bei Frauen (R^2= 0,712) als auch bei Männern (R^2= 0,651) relativ hoch. Diese Abbildung macht deutlich, dass bei einer Abnahme des Körpergewichtes auch mit einer erheblichen Abnahme des FFMI zu rechnen ist. Es zeigt sich, dass Frauen bei gleichem BMI einen erheblich niedrigeren FFMI aufweisen als Männer. So beträgt bei einem BMI von 25 für Frauen die FFMI 14,85 kg/m² und für Männer 18,82 kg/m². Daraus ergibt sich eine um 26,7 % höhere FFMI für Männer als für Frauen bei identischem BMI.

6.2.3.3 Body-Mass-Index und Fett-Gewebs-Masse-Index

Die gleichen Verhältnisse finden sich auch für den FGMI. Hier müssen sich die identischen Korrelationskoeffizienten ergeben wie in der Abb. 45, da die FGM sich aus der Multiplikation der FM mit dem Faktor 1,282 ergibt.

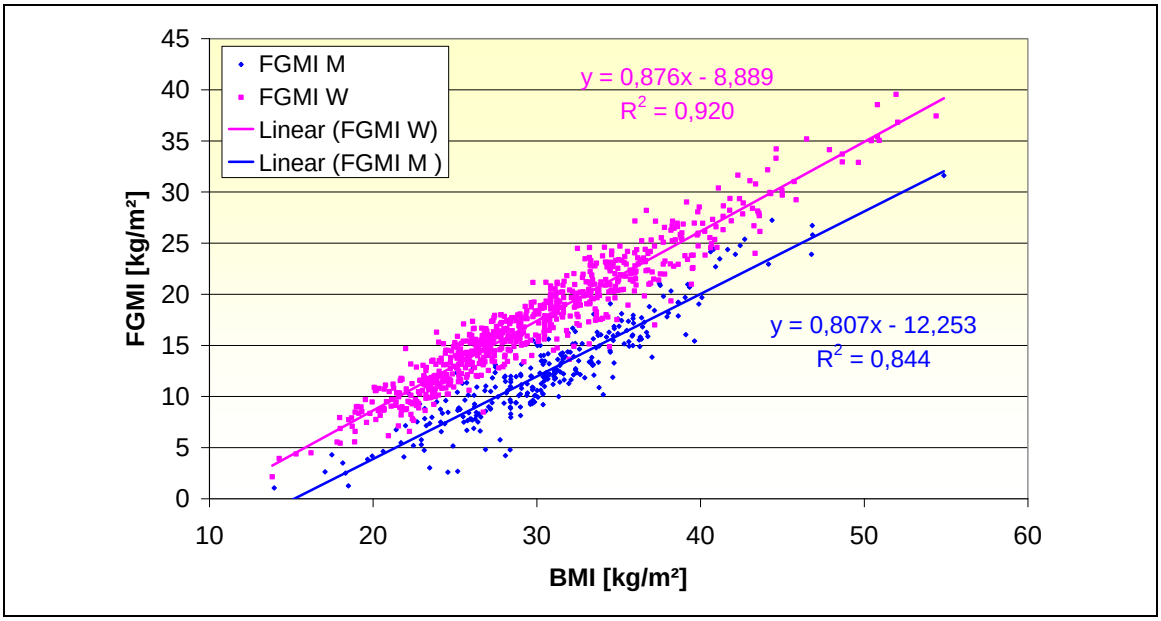

Abb. 47: Body-Mass-Index (BMI) und Fettgewebs-Masse-Index (FGMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297).

Da in der vorliegenden Arbeit mit einem Parameter gearbeitet werden soll – s. Einleitung -, der bei einer Gewichtsabnahme (insbesondere bei Sport) eine Abnahme der Muskelmasse nicht vortäuscht, soll im Folgenden mit dem FGMI als optimaler Parameter zur Beurteilung und Graduierung der Fettleibigkeit gearbeitet werden.

Es zeigt sich, dass Frauen bei gleichem BMI einen erheblich höheren FGMI aufweisen als Männer. So wird bei einem BMI von 25 für Männer mit 7,9 kg/m² ein um etwa 39,2% niedrigerer FGMI ermittelt als für Frauen mit 13,0 kg/m².

6.2.3.4 Body-Mass-Index und Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index

Auch in der Abb. 48 steigt mit steigendem BMI der FGFMI bei Frauen und Männern an, jedoch ist die Steigung geringer als für den BMI und FFMI. Jetzt ergibt sich bei einem Unterschied im BMI von 10 kg/m² eine Differenz der FFMI bei Frauen von nur noch 1,24 kg/m² und bei Männern von 1,93 kg/m². Die Korrelation zwischen dem FGFMI und dem BMI ist ebenfalls sowohl bei Frauen (R^2= 0,187) als auch bei Männern (R^2= 0,236) niedriger als die der Beziehungsetzung zuvor. Bei einer Abnahme des Körpergewichtes ist durch die Verwendung des FGFMI mit einer geringeren Abnahme zu rechnen, als bei Verwendung des FFMI.

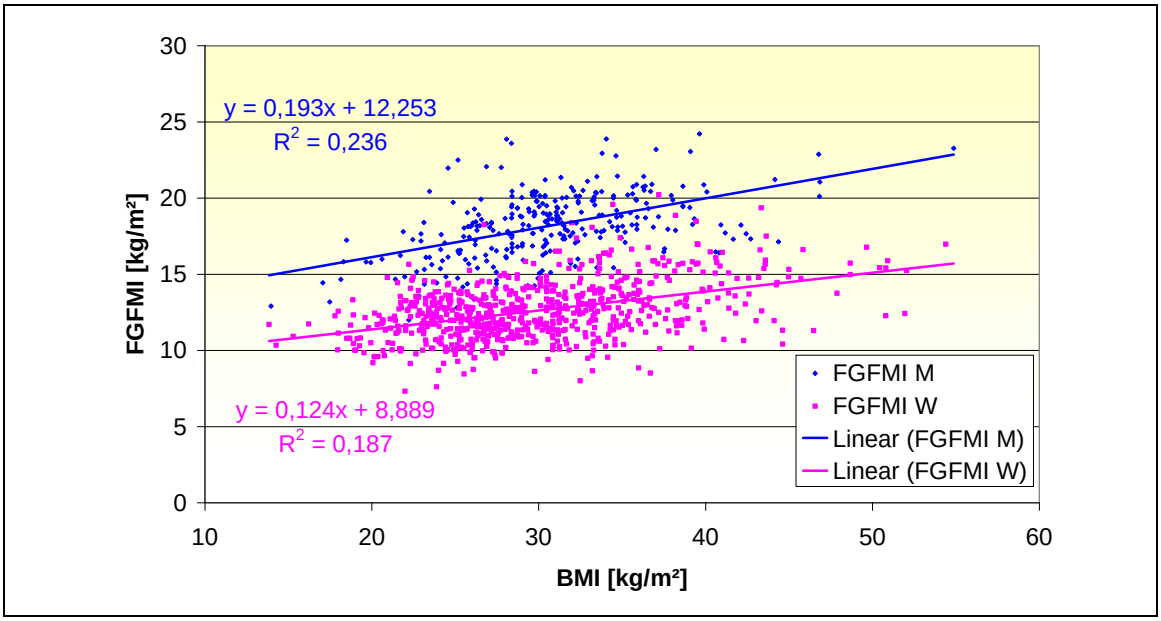

Abb. 48: Body-Mass-Index (BMI) und Fettgewebsfreier-Weichgewebs-Index (FGFWI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297).

6.2.3.5 Body-Mass-Index und Prozent Fett

Setzt man einen BMI von 25 in die Geradengleichungen der Abb. 49 ein, wird für Frauen 40,22 % Körperfett und für Männer 24,97 % Körperfett errechnet. Diese Korrelation ist erheblich niedriger als die zwischen BMI und FMI oder FGMI. Auf die Schwachpunkte des Parameters % Fett zur Beurteilung der Fettleibigkeit wird in der Diskussion eingegangen.

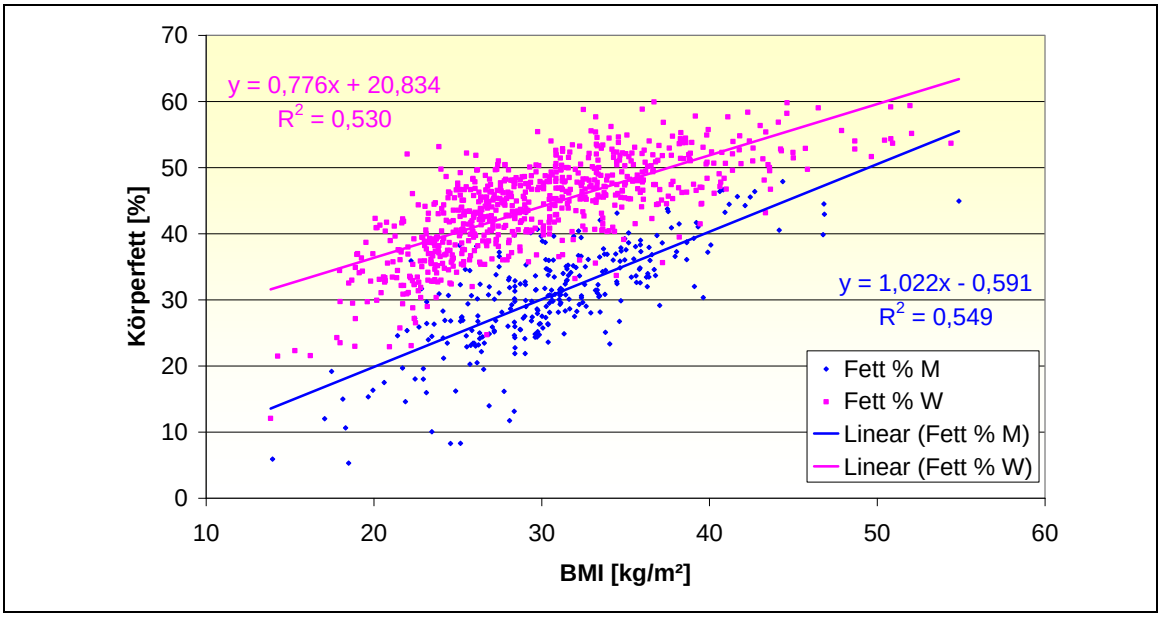

Abb. 49: Body-Mass-Index (BMI) und Körperfett in Prozent vom Körpergewicht bei Frauen (n=709) und Männern (n=297).

6.2.3.6 Fett-Masse-Index und Fett-Freie-Masse-Index

Geht man davon aus, dass die Fettmasse und die fettfreie Masse Größen sind, die sich unabhängig von einander verhalten, so sollte sich keine Korrelation zwischen dem FMI und den FFMI nachweisen lassen.

In der Abb. 50 ist die Korrelation für das Wertepaar FMI und FFMI – also die Verhältnisse ohne Berücksichtigung der fettfreien Masse des Fettgewebes – dargestellt. Dabei lässt sich – im Gegensatz zu der oben beschriebenen Vermutung - eine signifikante Korrelation sowohl für Männer als auch für Frauen zeigen.

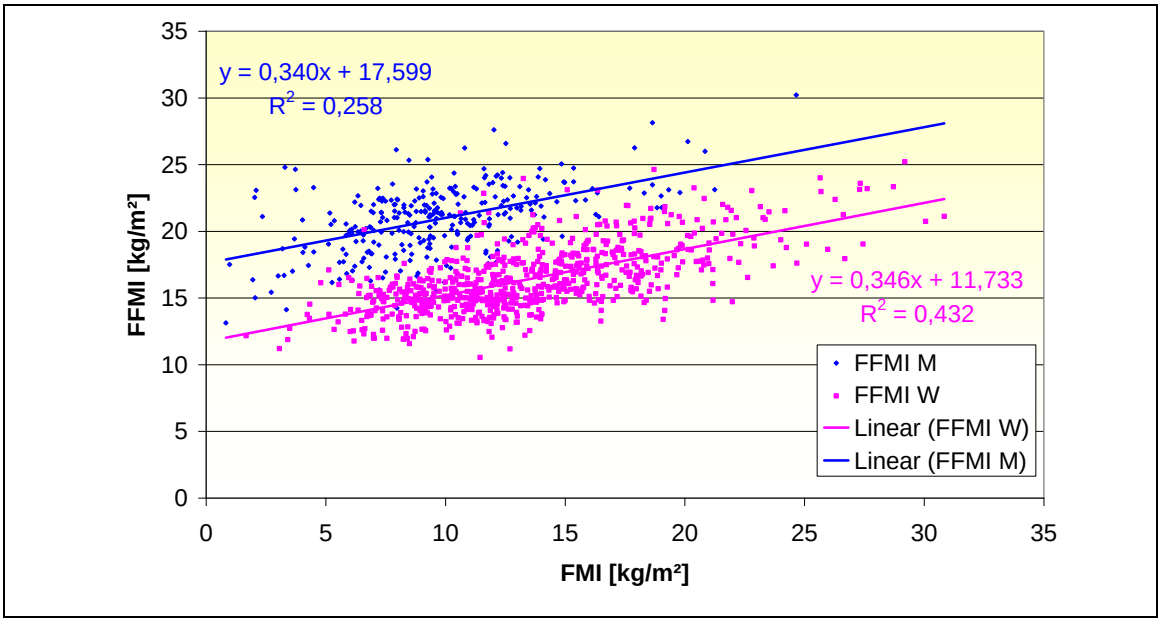

Abb. 50: Korrelation zwischen Fett-Masse-Index (FMI) und Fettfreier-Masse-Index (FFMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297).

6.2.3.7 Fett-Gewebs-Masse-Index und Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index

In der Abb. 51 wird der Zusammenhang zwischen dem FGMI und dem FGFMI für Männer und Frauen untersucht. Dabei zeigt sich, dass sich bei Männern keine signifikante Korrelation zwischen den beiden Größen ergibt. Bei den Frauen des untersuchten Kollektivs lässt sich dagegen eine signifikante Korrelation zeigen, allerdings mit einer seht geringen Steigung, was ebenfalls auf einen praktisch nicht relevanten Zusammenhang zwischen Fettgewebsmasse und fettgewebsfreier Masse hinweist.

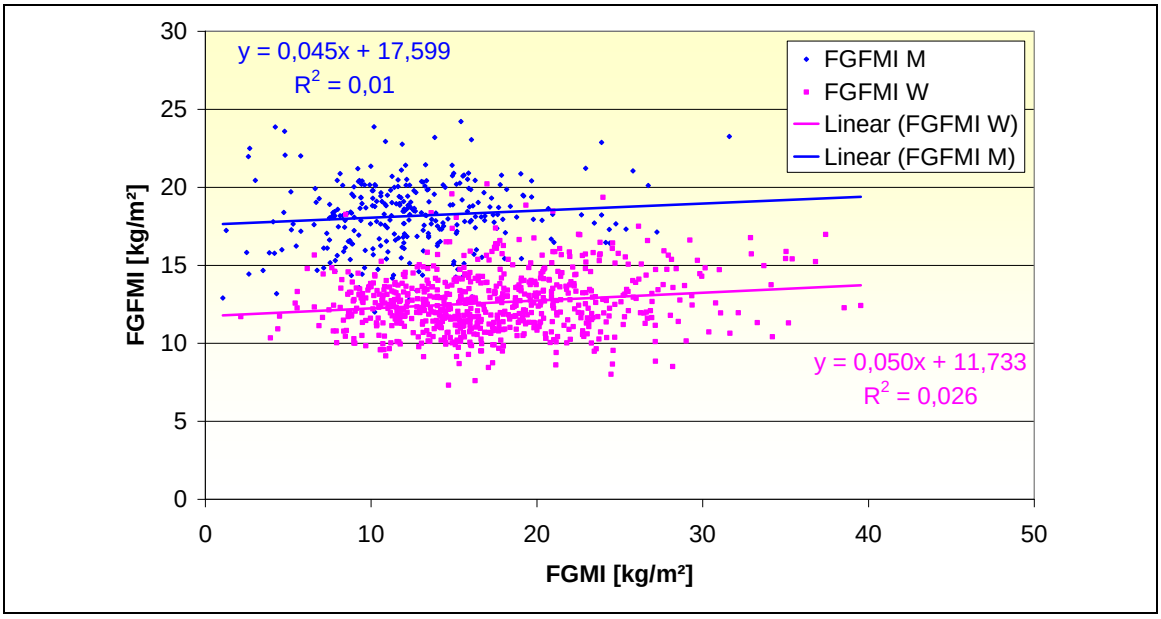

Abb. 51: Korrelation zwischen Fettgewebs-Masse-Index (FGMI) und Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index (FGFMI) für Frauen (n=709) und Männer (n=297)

Zusätzlich lässt sich aus der Abbildung die Berechtigung ableiten, alle FGFMI-Werte, allerdings getrennt für Männer und Frauen, zur Berechnung des durchschnittlichen FGFMI heran zu ziehen. (Nahezu Parallele zur x-Achse)

Der Mittelwert für den FGFMI wurde für Männer mit 18,2 ± 2,2 kg/m² (MW ±SD) ermittelt, für Frauen mit 12,6 ±1,9 kg/m² (MW ± SD)

6.2.3.8 Fett-Gewebs-Masse-Index und Taillenumfang

In der Literatur wird der Taillenumfang als der beste anthropometrische Parameter zur Beurteilung der Fettleibigkeit angegeben. In der Abb. 52 wird deshalb die Korrelation zwischen dem FGMI und dem Taillenumfang untersucht. Die niedrigere Anzahl Wertepaare hängt damit zusammen, dass in den ersten Jahren der Datengewinnung der Taillenumfang nicht mit in die Datenbank eingetragen wurde. Dabei fand sich sowohl für Frauen als auch für Männer eine hochsignifikante Korrelation. Schon bei der Betrachtung der Einzelwerte zeigt sich allerdings ein zum Teil starkes Abweichen von Wertepaaren von der Geraden. Auf diese Problematik wird in der Diskussion näher eingegangen.

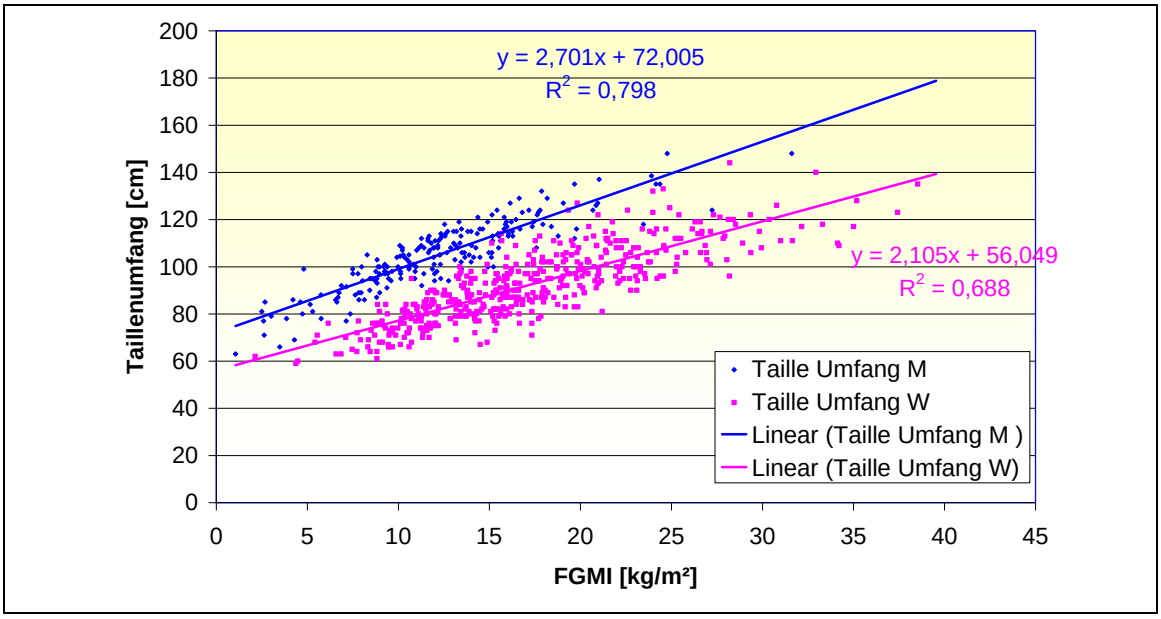

Abb. 52: Korrelation zwischen Fett-Gewebs-Masse-Index (FGMI) und Taillenumfang von Frauen (n=467) und Männern (n=203)

6.2.3.9 Indizes und Alter

In dem untersuchten Kollektiv nahm der BMI bei Männern bis zur Altersspanne 40 – 50 Jahre zu. Dabei war nur der Unterschied zwischen den Männern < 30 Jahre und den 40 – 50 jährigen Männern signifikant ($p < 0,01$).

Alter [Jahre]		< 30	30-40	40-50	50-60	60-70	> 70
BMI [kg/m²]	m	26,7 ± 6,6	29,6 ± 5,9	32,1 ± 4,9	31,8 ± 5,4	30,8 ± 3,8	30,5 ± 2,5
	w	28,6 ± 7,9	29,8 ± 7,4	30,0 ± 6,2	30,4 ± 5,5	31,0 ± 5,1	31,0 ± 6,0
FGMI [kg/m²]	m	9,3 ± 5,8	11,2 ± 5,1	13,8 ± 4,5	13,3 ± 4,8	12,6 ± 2,9	13,4 ± 2,8
	w	16,2 ± 7,2	17,0 ± 6,7	17,3 ± 5,8	17,7 ± 4,9	18,6 ± 4,7	18,3 ± 4,9
FGFMI [kg/m²]	m	17,4 ± 2,7	18,4 ± 2,3	18,3 ± 1,7	18,5 ± 2,1	18,2 ± 2,3	17,1 ± 2,1
	w	12,4 ± 1,8	12,8 ± 2,1	12,7 ± 1,7	12,6 ± 1,8	12,4 ± 2,0	12,7 ± 1,7
n	m	39	48	63	87	44	16
	w	128	126	200	157	82	16

Tab. 13: Abhängigkeit des BMI, FGMI und FGFMI vom Alter von 297 Männern und 709 Frauen. Angegeben sind Mittelwerte ± Standardabweichung.

Bei den Frauen fand sich ein geringer, nicht signifikanter Anstieg des BMI zwischen den auf einander folgenden Altersgruppen. Dabei werden die Anstiege des BMI in erster Linie durch den FGMI verursacht, wie aus der Tab.13 hervorgeht.

Für die Sportwissenschaften besonders interessant ist der Befund, dass sich weder bei Männern, noch bei Frauen in dem untersuchten Kollektiv eine signifikante Änderung der FGFMI in Abhängigkeit vom Alter aufzeigen lässt (s. Abb. 53)

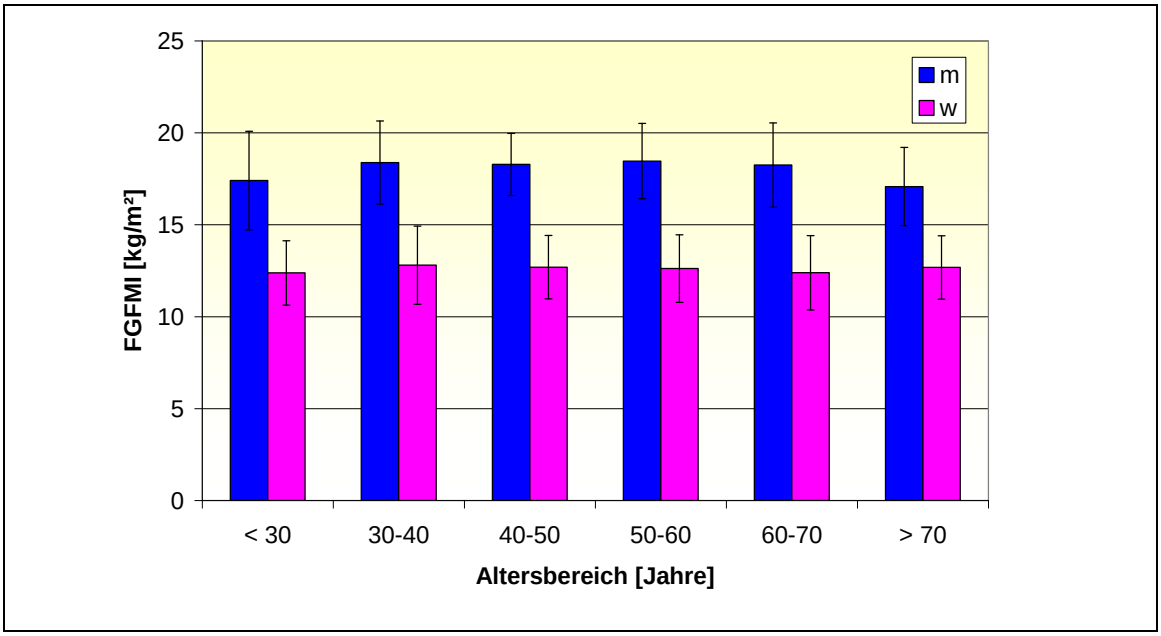

Abb. 53: Fett-Gewebs-Freie-Masse-Index (FGFMI) in Abhängigkeit vom Alter von 297 Männern und 709 Frauen. Angegeben sind Mittelwerte ± Standardabweichung.

Bei Männern fand sich allerdings ein Trend der Zunahme des FGFMI bei 30 – 40-Jährigen verglichen mit unter 30-Jährigen (p=0,075). Auch die über 70-Jährigen zeigten eine Abnahme der FGFMI im Vergleich mit den 60 – 70 – Jährigen, der allerdings ebenfalls nicht signifikant war (p=0,08). Bei Frauen ließ sich kein signifikanter altersabhängiger Zusammenhang mit dem FGFMI zeigen (s. Abb. 53).

Interessant ist auch der Aspekt, dass der Variationskoeffizient für den FGFMI in allen betrachteten Gruppen erheblich kleiner war als für die jeweiligen BMI- oder FGMI-Werte (S. Tab. 13)

6.3 Daten zur regionalen Fettverteilung

Untersuchungen zur Adiposits haben gezeigt, dass die regionale Fettverteilung ein wichtiger Parameter ist, das mit der Adipositas assoziierte Risiko weiter zu differenzieren. Die mit der DEXA-Methode ermittelte regionale Fettverteilung soll daher im Folgenden untersucht werden.

Bei der Untersuchung zur regionalen Fettverteilung wurde die berechnete Fettgewebsmasse der jeweiligen Körperregion in Prozent des dazugehörenden

Weichgewebes (Masse – Knochenmineralgehalt) angegeben, so dass sich folgende Formel ergibt:

% Fettgewebsmasse vom Weichgewebe =

FM*1,282/ (Masse - Knochenmineralgehalt) *100

Für die Ermittlung der „FGM – Gesamt“ in Prozent des Weichgewebes wurden die Daten vom Kopf nicht berücksichtigt.

Die Abb. 54 zeigt eine sehr hohe Korrelation zwischen dem Gesamt-Körper Fettgehalt in % des Weichgewebes und dem der Beine sowohl für Frauen als auch für Männer. Dabei liegt der % Fettgehalt der Beine bei Frauen gering höher als bei Männern. Die Punktwolke für Frauen liegt dabei sowohl für die FGM-Gesamt als auch für die FGM der Beine erheblich höher. Bei Männern liegt die Steigung unter 1, d.h., die FGM an den Beinen steigt langsamer als die Gesamt FGM.

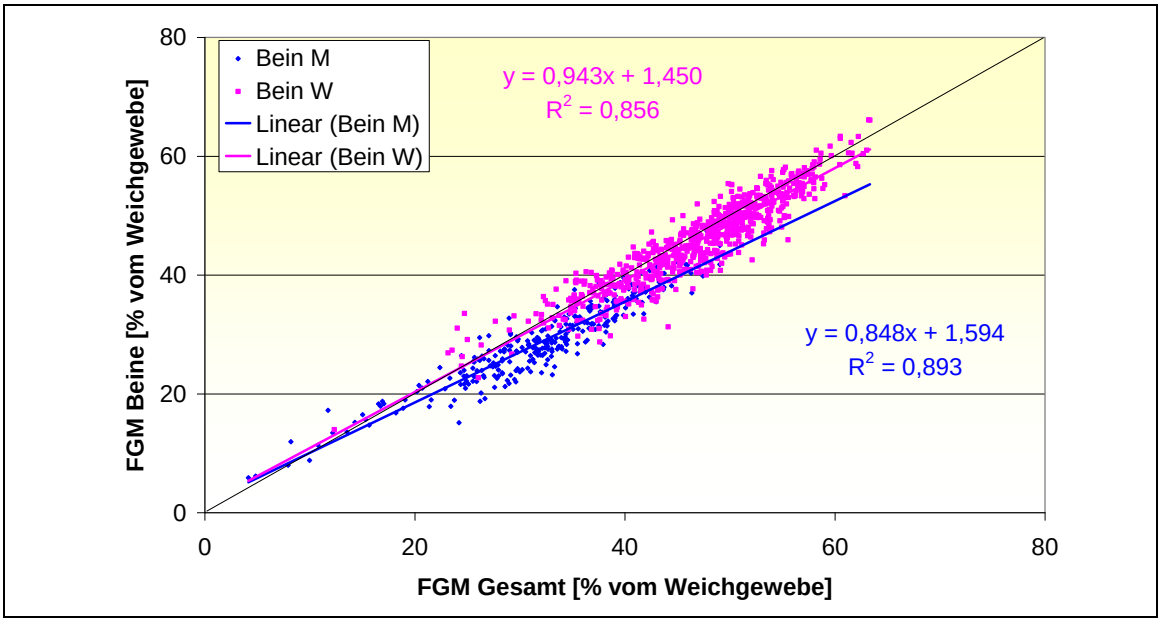

Abb. 54: FGM Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe von den Beinen für Frauen (n=709) und Männer (n=297). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Beine identisch sind.

Im Gegensatz zu den Verhältnissen an den Beinen findet sich für die Arme eine etwas geringere Korrelation und Frauen weisen einen deutlich höheren

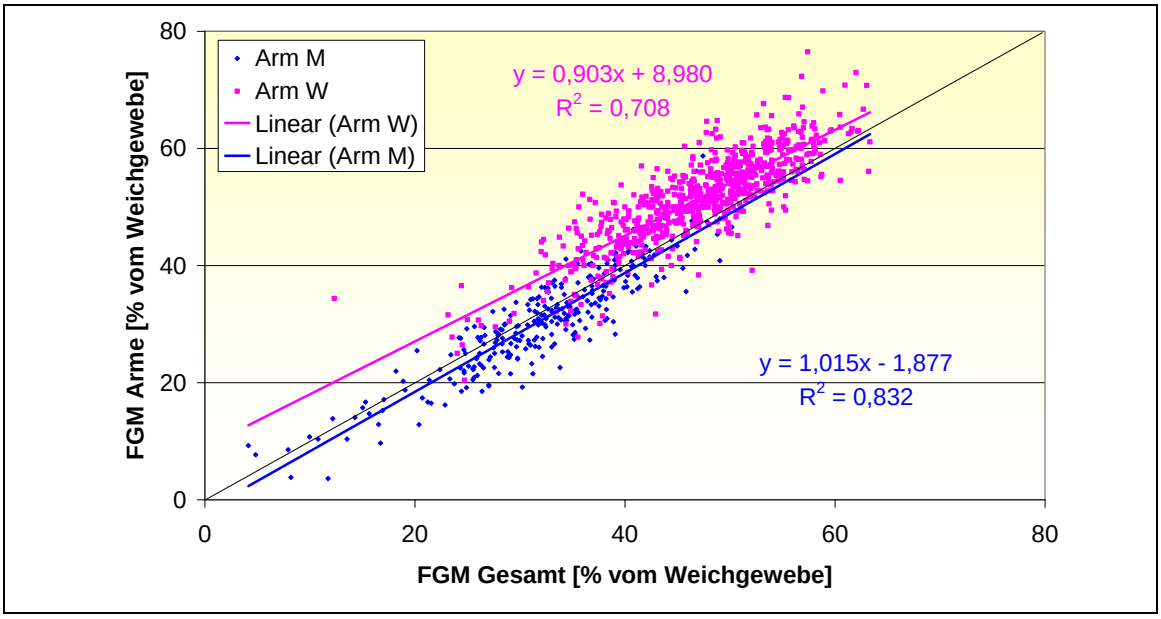

Abb. 55: FGM Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe der Arme für Frauen (n=709) und Männer (n=297). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Arme identisch sind.

Fettgehalt in den Armen auf als Männer mit gleichem prozentualem Gesamt-Körper Fettgehalt. Bei Frauen liegt die Fettmasse meist oberhalb der Diagonalen, die einen gleich hohen Fettgehalt Gesamt und der Arme bedeutet.

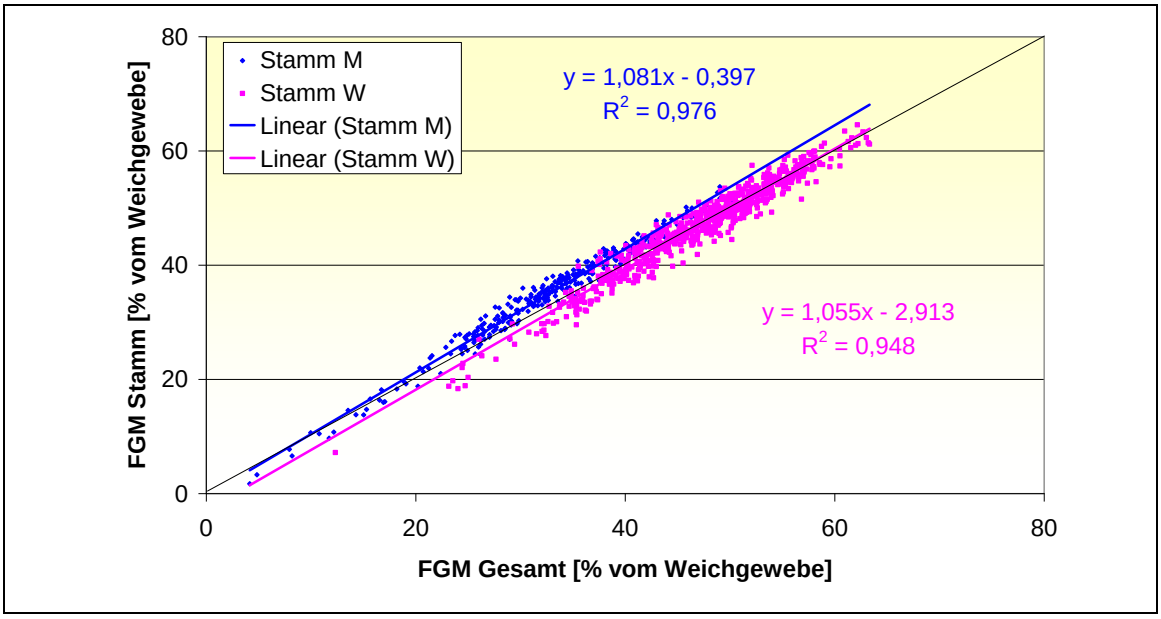

Abb. 56: Fettgewebe Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe von den Stamm für Frauen (n=736) und Männer (n=309). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Stamm identisch sind.

Die Korrelation des Gesamt-Körper- Fettgehaltes mit dem Stamm weist bei dem untersuchten Kollektiv die höchste Korrelation auf. Der prozentuale Anteil des Fettgehaltes vom Stamm im Vergleich zum Gesamt-Körper-Fettgehalt ist bei Männern geringfügig höher.

Der Fettgehalt der Taille zeigt ebenfalls eine hoch signifikante Korrelation zum Gesamt- Fettgehalt, der aber erheblich geringer ist als die Korrelation zwischen Gesamt FGM [%] und Stamm [%]. Bei Männern findet sich ein erheblich höherer Fettgehalt im Bereich der Taille als bei Frauen mit gleichem Gesamt-Körper Fettgehalt. Zusätzlich zeigt die Abb. 57, dass bei einem Teil der Männer allerdings bei noch mehr Frauen ein Fettgehalt der Taille von fast 80% erreicht wurde. Auffällig ist eine Anzahl von Frauen, die offensichtlich sehr wenig Fett im Bereich der Taille aufweisen, wie das für die typische Birnenform zu erwarten ist. Männer finden sich fast gar nicht unterhalb der Diagonalen.

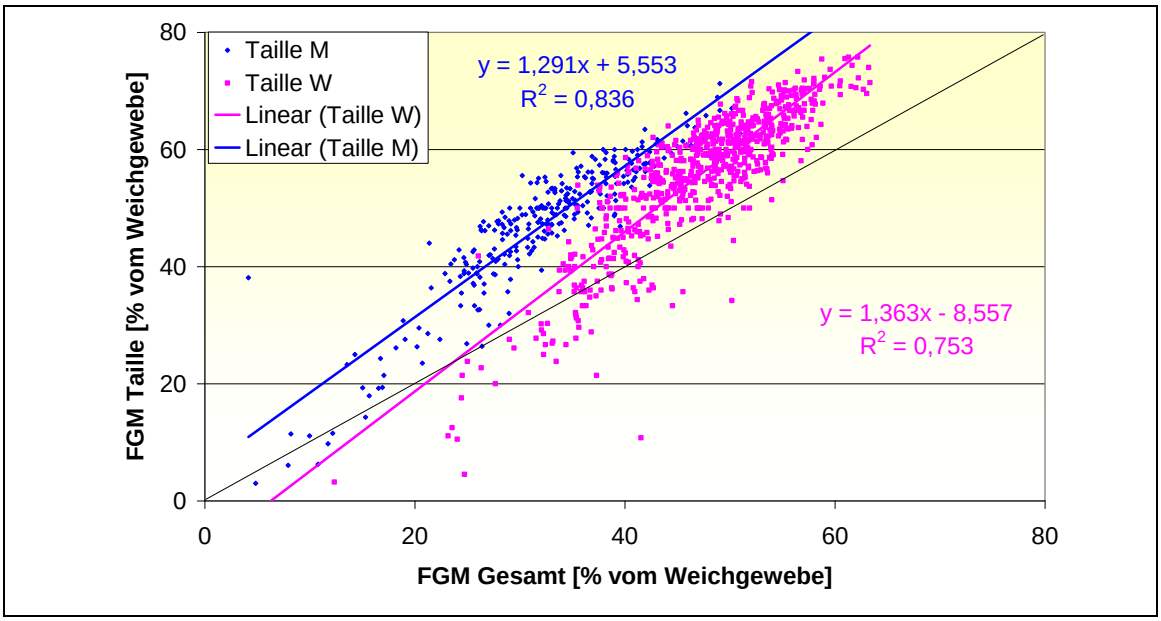

Abb. 57: FGM Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe der Taille für Frauen (n=709) und Männer (n=297). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Taille identisch sind.

Bei der Abb. 58 wird die Korrelation zwischen dem Fettgehalt im Bereich des Abdomens mit dem Gesamt-Körper-Fettgehalt untersucht. Auch hier liegt der % Fettgehalt des Abdomens bei Männern höher als bei Frauen.

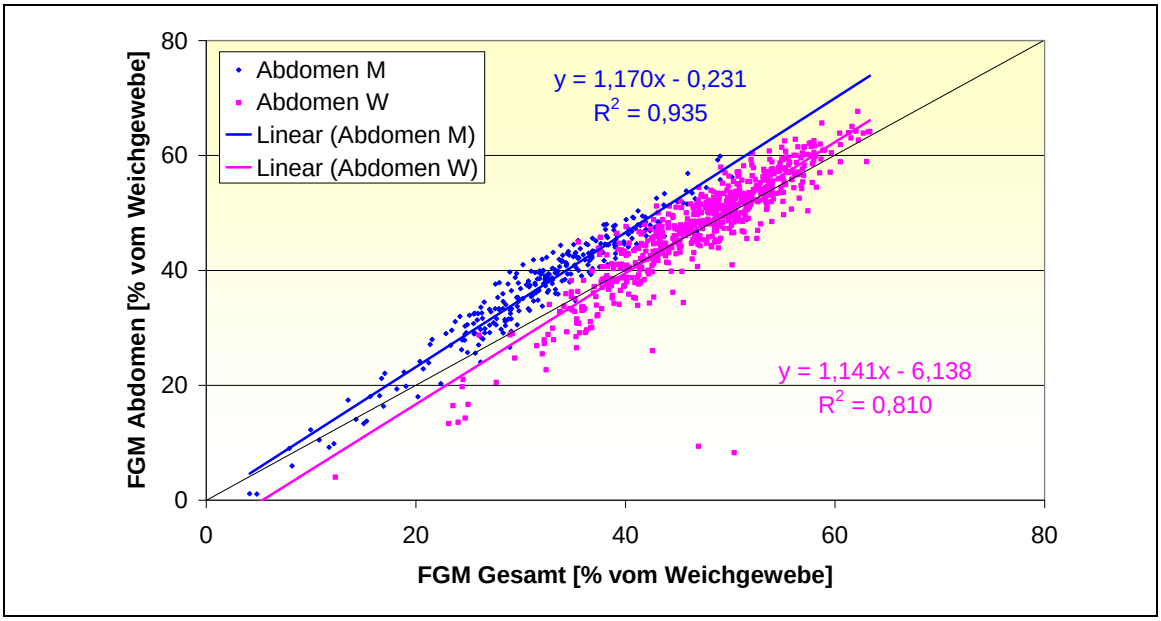

Abb. 58: Fettgewebe Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe von den Abdomen für Frauen (n=736) und Männer (n=309). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Abdomen identisch sind.

In der Abb. 59 sind die Korrelationen zwischen dem Fettgewebe des Brustkorbs (Thorax) und dem FGM Gesamt dargestellt. Einzelwerte zeigen eine starke Abweichung, insgesamt finden sich aber signifikante Korrelationen sowohl für Männer als auch für Frauen.

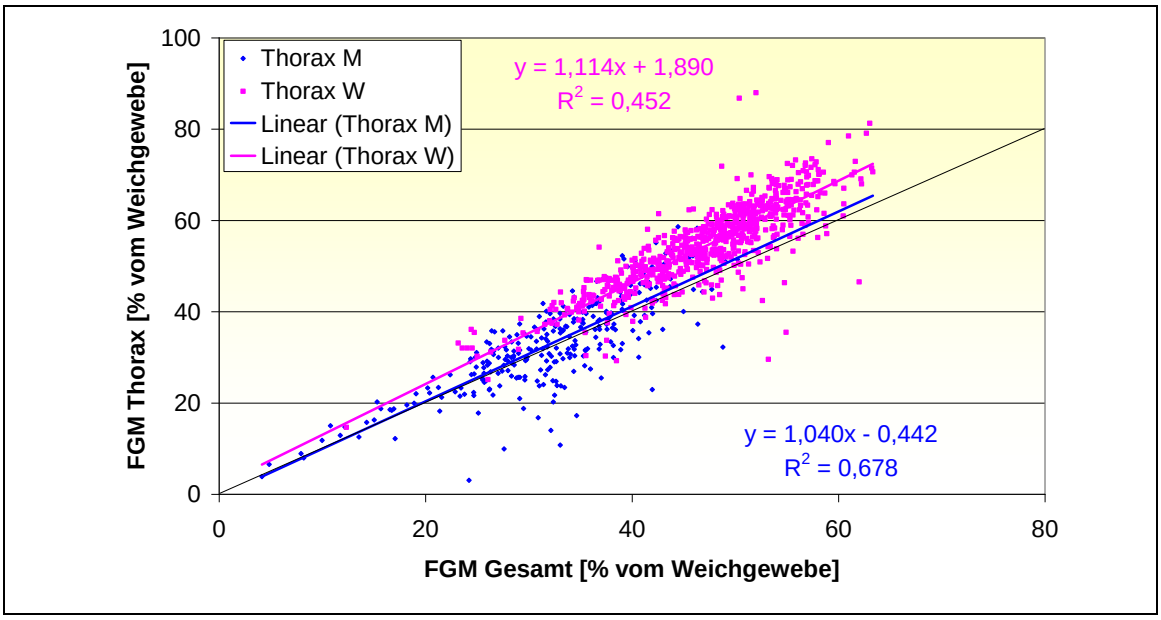

Abb. 59: Fettgewebe Gesamt (in % vom gesamten Weichgewebe) korreliert mit dem Fettgewebe von den Thorax für Frauen (n=736) und Männer (n=309). Die Diagonale zeigt den Verlauf, wenn FGM Gesamt und FGM Thorax identisch sind.

6.4 Exemplarische Betrachtungen von Gewichtsverläufen in DEXA

Wie unter Zusammensetzung des Kollektivs beschrieben, wurden bei einem Teil der Untersuchten mehrere Messungen durchgeführt. Dabei handelte es sich allerdings nicht um vorher festgesetzte Untersuchungsintervalle. Die Abstände zwischen den Untersuchungen ergaben sich vielmehr aus medizinischen bzw. psychologischen Gründen – entweder zur Motivation oder um dem Patienten zu zeigen, ob und ggf. was er erreicht hatte. Häufig wurden auch Zweitmessungen durchgeführt, wenn der Patient nach anfänglichen Erfolgen wieder Gewicht zugenommen hatte – um erneut die Ausgangsposition zu bestimmen.
Somit lassen sich die Ergebnisse nicht als kontrollierte Studie darstellen.

Im Folgenden sollen daher zwei Verläufe dargestellt werden, die den Wert der FGM und des FGFM exemplarisch zeigen.

6.4.1 40 jährige Patientin

In der Abb. 60 Sind die Daten von einer zum Zeitpunkt der Erstmessung 40 -jährigen Patientin dargestellt, die sich ihr Übergewicht nicht erklären konnte. Sie betrieb keinerlei Sport und mied jede überflüssige Bewegung.

Datum	11.05.04	29.10.04	29.04.05	29.09.05	31.03.06
Gewicht [kg]	94	90	89,4	84	87
Größe [cm]	173	173	173	173	173
BMI [kg/m²]	31,4	30,1	29,9	28,1	29,1
Taillenumgang [cm]	97	101	95	91	92
Hüftumfang [cm]	120	116	114	111	111
Waist to hip	0,81	0,87	0,83	0,82	0,83

Tab. 14: Verlauf von Messparametern einer 40-fährigen Patientin, die mit Sport und Reduzieren von Fett in der Ernährung erheblich an Gewicht abgenommen hat.

Nach mehreren Diäten kannte sie ihre „Diät-Sünden“ genau, versuchte sie zu vermeiden. Ihre Körpermaße sind in der Tab 14 dargestellt. Sie wurde intensiv beraten, ihre Risikofaktoren sowohl durch diätetische Maßnahmen (fettreduzierte Ernährung) als insbesondere auch durch Sport zu reduzieren. Im Verlauf von 2 Jahren gelang es der Patientin Sport zu mögen und ca. 2000 kcal/Woche durch Sport zusätzlich zu verbrauchen. Sie nahm in 2 Jahren insgesamt 7 kg an Gewicht ab. Dabei verringerte sich der Taillenumfang. Sie berichtete über ein wesentlich besseres Lebensgefühl.

In der Abb. 60 sind die Messergebnisse für diese Patientin dargestellt. Innerhalb der zwei Jahre hatte die FM von 45,1 kg auf 34 kg um 11,1 kg abgenommen, das Körpergewicht allerdings nur um 7 kg. Somit hatte ihre FFM durch die sportliche Betätigung um 4,1 kg zugenommen. Im Vergleich dazu hatte die Fettgewebsmasse um 14,2 kg abgenommen bei gleichzeitiger Zunahme der FGFM um 7,2 kg. Geht man davon aus, dass das Gewicht der inneren Organe bei der Patientin sich nicht nennenswert geändert hat, so dürfte die Zunahme der FGFM auf eine Muskelmassenzunahme zurück zu führen sein.

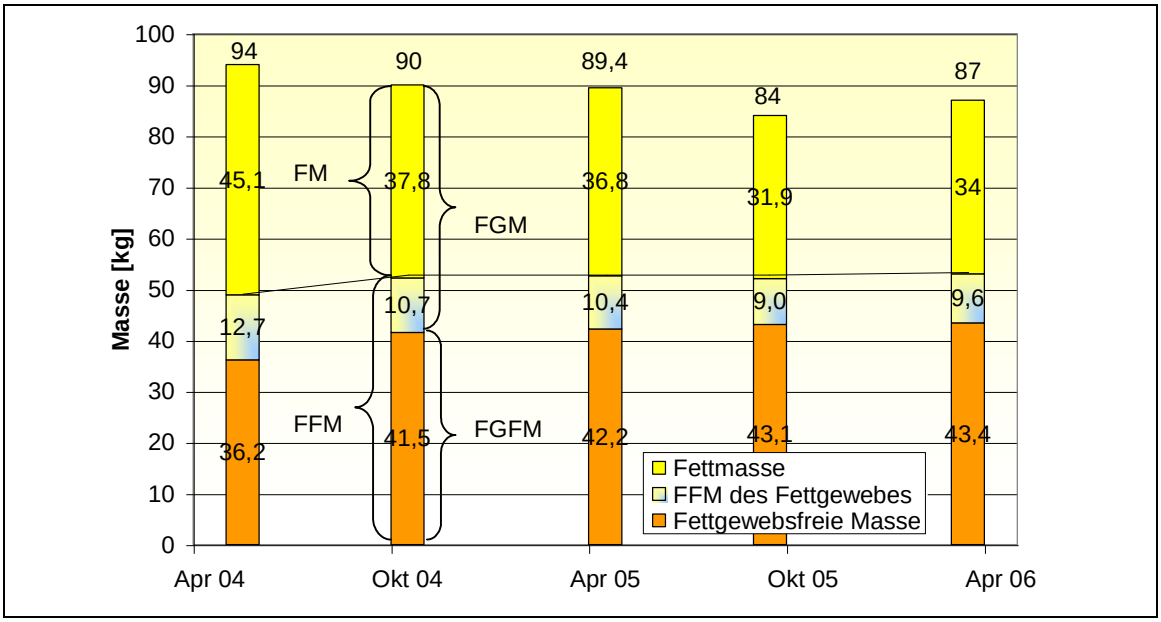

Abb. 60: Verlauf der Körperzusammensetzung bei einer zu Beginn der Untersuchungen 40 j, 173 cm großen Patientin. Dargestellt sind sie Wertepaare FM und FFM sowie das Wertepaar FGM und FGFM. Die Unterschiede ergeben sich aus der Beachtung der fettfreien Masse des Fettgewebes

6.4.2 18-jähriger Patient

Beim zweiten Fall handelt es sich um einen zu Beginn der Untersuchungen 18 – jährigen, 187 cm großen jungen Mann, der die Praxis wegen fortbestehender Pseudogynäkomastie aufsuchte. Die Androgene wurden im unteren Normbereich, das Östradiol im oberen Normbereich gemessen. Nach Ausschluss von Erkrankungen als Ursache für die Adipositas mit der dadurch hervorgerufenen Pseudogynäkomastie wurde der Patient in einem sehr ausführlichen Gespräch darauf hingewiesen, dass die niedrigen Konzentrationen der männlichen Hormone auf seine viel zu hohe Fettgewebsmasse zurück zu führen ist; dass sein zu reichlich vorhandenes Fettgewebe erheblich Mengen Testosteron zu weiblichem Hormon umwandelt. Er erhielt eine ausführliche Diätberatung. Als wichtigstes Resultat ergab sich bei ihm eine Reduktion der Kalorienzufuhr (um ca. 1.500 Kcal/die) in Form von gut 2 Litern hochkalorischer Getränke – Cola, Limonade, Säfte. Zusätzlich wurde ausführlich über die Wichtigkeit der Muskelmasse für den Kalorienverbrauch sowohl bei körperlicher Betätigung als auch in Ruhe (höherer Ruheumsatz bei vermehrter Muskelmasse) hingewiesen. Er konnte motiviert werden, ein gut geleitetes Fitness-Studio aufzusuchen. Dort wurde er nach Absprache mit dem behandelnden Arzt an verschiedene Geräte und an Ausdauergeräte herangeführt.

Datum	02.11.01	29.10.01	30.04.02	08.08.02	07.10.03
Gewicht [kg]	111.8	107,2	90,9	83,6	66,5
Größe [cm]	187	187	187	187	187
BMI [kg/m²]	32,0	30,7	25,1	23,9	19,0
Taillenumgang [cm]					77
Hüftumfang [cm]					95
Waist to hip					0,81

Tab. 15: Verlauf von Messparametern eines zu Beginn der Aufzeichnungen 18-fährigen Patienten, der mit Sport und Ernährungsberatung erheblich an Gewicht abgenommen hat. Die Messung des Taillen- und Hüftumfanges wurde erst ab 2003 aufgezeichnet.

Nach kurzer Zeit kam er auf einen wöchentlichen Kalorienverbrauch beim Sport von gut 4000 Kcal/Woche. Der Gewichtsverlauf und die Änderung der Messparameter lassen sich aus der Abb. 61 und Tab. 15 entnehmen.

Innerhalb von ca. 2 Jahren hatte er 45,3 kg Gewicht abgenommen. Seine FM hatte sich um 48,2 kg verringert und sein Kaloriengehalt von 577.000 kcal auf 146.500 kcal reduziert. Die FFM hatte lediglich zwischen der 1. und 2. Untersuchung um 4,2 kg zugenommen. Im weiteren Verlauf ließ sich allerdings keine weitere Zunahme der FFM zeigen, obwohl der Patient weiter intensiv Sport betrieb. Im Gegenteil: es zeigte sich eine schwankende Abnahme der FFM um 1,3 – 2,8 kg.
Schließt man allerdings die FFM des Fettgewebes in die Kalkulation mit ein, so ergeben sich sehr viel plausiblere Ergebnisse: Das Fettgewebe nahm um 61,8 kg ab, die FGFM nahm im Untersuchungszeitraum um 16,5 kg zu. Nur mit der FGFM lässt sich somit der Erfolg einer Sporttherapie für die Muskelmassezunahme demonstrieren.

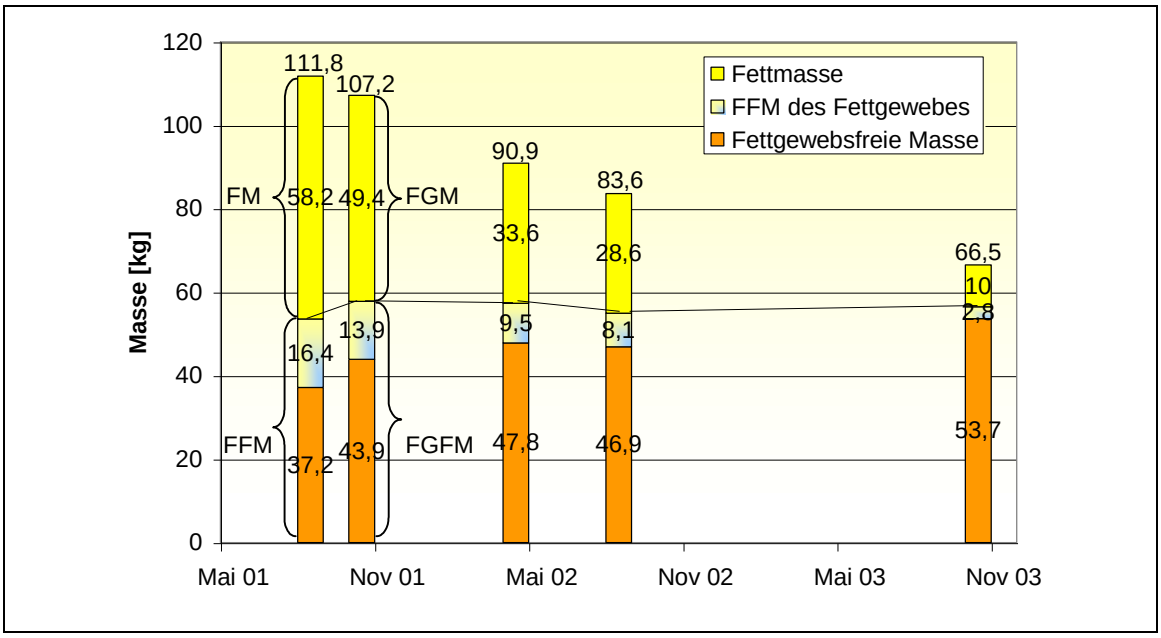

Abb. 61: Verlauf der Körperzusammensetzung bei eines zu Beginn der Untersuchungen 18 j, 187 cm großen Patienten. Dargestellt sind sie Wertepaare FM und FFM sowie das Wertepaar FGM und FGFM. Die Unterschiede ergeben sich aus der Beachtung der fettfreien Masse des Fettgewebes

Bei der letzten Vorstellung des jungen, stattlichen, muskelkräftigen Patienten im Mai 2006 ließ sich keinerlei Gynäkomastie mehr nachweisen. Da schon 2 Jahre zuvor eine Kontrolle hochnormale Testosteronwerte und völlig im Normbereich befindliche Östrogene gezeigt hatten, konnte auf eine

Wiederholung dieser Untersuchungen verzichtet werden. Da auch das Körpergewicht weiter bei 66 kg lag, bestand auch keine Veranlassung zu einer erneuten Messung der Körperzusammensetzung. Der wöchentliche Kalorienverbrauch durch Sport – er besucht weiterhin „sein Fitness-Studio“- beträgt ca. 2500 – 3000 Kalorien / Woche. Er hält eine ausgewogen Ernährung ein. Aus dem Ernährungsprotokoll ließ sich eine tägliche Kalorienzufuhr von beneidenswerten 2.900 Kcal/ Tag berechnen.

An Hand der Daten dieses jungen Mannes lässt sich die Bedeutung des Sports mit der Verwendung des Wertepaares FGM und FGFM besonderes gut demonstrieren.

7 Diskussion

Viele der Zivilisationskrankheiten sind mit der Fettleibigkeit, der Adipositas assoziiert. Die Wertigkeit der Ergebnisse der meisten Untersuchungen wird dadurch beeinträchtigt, dass als Maß für die Fettleibigkeit der BMI verwendet wird, obwohl heute allgemein akzeptiert ist, dass die Fettleibigkeit mit dem BMI nur unzureichend klassifizierbar ist (Avenell et al. 2004, McArdle et al. 2007).

In der Zwischenzeit steht eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung, mit denen der Fettgehalt als Maß für die Fettleibigkeit des Körpers untersucht werden kann. Dabei wird neben dem Unterwasserwiegen die DEXA-Methode als Referenzmethode bezeichnet. (Henche & Pellico 2005, Heyward 2001)

Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war es daher, zu untersuchen, ob Messergebnisse, die mit der DEXA-Methode unter den Routinebedingungen einer internistisch endokrinologischen Praxis erhalten wurden, sich zur Beurteilung der Fettleibigkeit eignen.

7.1 Richtigkeit der Messergebnisse

Die Richtigkeit von Messergebnissen, die mit der DEXA-Methode erhalten werden, kann von dem verwendeten Gerät abhängen, da unterschiedliche Hersteller unterschiedliche Algorithmen zur Berechnung der FM und der FFM verwenden. Gotfredsen et al. konnten 1997 die Richtigkeit der Messergebnisse dokumentieren, wenn sie mit dem gleichen Gerätetyp und der gleichen Software, die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden, (Norland XR 36, Softwareversion: 2.4) arbeiteten. Die Einzelheiten der Untersuchung sind im Kapitel 4.2.6.2 detailliert geschildert und zeigen, dass die Zusammensetzung von zusätzlich aufgelegtem Gewebe mit der DEXA Methode exakt wieder gefunden wird.

Auch für das in der Praxis für Endokrinologie verwendete DEXA-Gerät wurde bei Wiederfindungsuntersuchungen die Reliabilität der Methode und des Gerätes, wie in dem im Kapitel 4.2.6.3 beschrieben, bewiesen: Auf Personen aufgelegtes Fett und Kochsalzlösungen wurden exakt wieder gefunden. Darüber hinaus zeigt auch die Wiederfindung des Körpergewichtes die

Exaktheit der Methode (s. Kap. 4.2.6.4, Abb 11 und Abb. 12). Somit kann man davon ausgehen, dass die in der vorliegenden Arbeit dokumentierten Ergebnisse auf reliablen Messungen von Körperfettmasse und fettfreier Masse beruhen.

7.2 Vergleich der Daten zur Fettmasse mit der Literatur

Die Fettmasse zeigt erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit vom Geschlecht, und dem Körpergewicht, dargestellt als BMI (s. Abb. 19, 20, 21). Die Abhängigkeit der Fettmasse von der Körpergröße ist hingegen sowohl bei Männern als auch bei Frauen gering. Somit kann die Korrelation zwischen der Körpergröße und dem Körpergewicht (s. Abb. 29) in erster Linie auf die Korrelation zwischen der Körpergröße und der fettfreien Masse zurückgeführt werden, wobei Männer eine erheblich höhere FFM aufweisen als Frauen. Will man eigene Daten mit denen in der Literatur vergleichen, so müssen daher die zu vergleichenden Daten von Personen stammen, deren Geschlecht, Körpergröße und Körpergewicht zumindest in etwa übereinstimmen.

Deswegen wurden die Ergebnisse zur FM in Tab. 11 getrennt für normgewichtige Männer und Frauen dargestellt. Dabei zeigten sich allerdings große Unterschiede in der Körpergröße zwischen den so selektierten Männern und Frauen. Deswegen werden in der Tab. 16 nur Personen, die neben einem BMI von 18,5 – 25 kg/m² zusätzlich auch alle 170 – 180 cm groß sind, miteinander verglichen.

	Anzahl [n]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m²]	FM [kg]	FFM [kg]
Männer	13	176 ± 3,9	72,0 ± 4,0	23,3 ± 1,2	15,0 ± 5,5	57,0 ± 5,6
Frauen	59	173 ± 2,6	67,8 ± 4,9	22,7 ± 1,6	24,5 ± 3,8	43,3 ± 4,0

Tab. 16: Mittelwerte und Standardabweichungen für FM und FFM von Normgewichtigen 170 – 180 cm großen Männern und Frauen.

Auch in der so selektierten, relativ kleinen Gruppe finden sich noch deutliche Unterschiede in der Körpergröße und im Körpergewicht zwischen Männern und Frauen. In diesem Kollektiv liegt die FM der Männer um 9,5 kg niedriger liegt als bei entsprechend großen, normgewichtigen Frauen. Die FFM der Männer liegt dagegen um 13,7 kg höher als bei Frauen.

Larsson et al. 2004 haben in einer großen randomisierten Untersuchung an mehr als 1000 Personen ebenfalls mit der DEXA-Methode die Fettmasse gemessen. Für Männer mit einem BMI von 25 kg/m² fanden sie eine Fettmasse von 19 kg, bei Frauen von 25 kg. Aus der Regressionsgraden der Abb. 21 (BMI/FM) lässt sich in guter Übereinstimmung mit dieser Literaturstelle für die Männer des Kollektivs dieser Arbeit eine FM von 20,0 kg, für Frauen von 28,1 kg berechnen.

Als Ursache für den Unterschied der FM von 3,1 kg zu den Frauen aus der randomisierten Studie von Larsson et al. und dem vorliegenden Kollektiv kann auch nicht das Alter herangezogen werden, da das Alter der beiden Kollektive durchaus vergleichbar war (vorliegende Arbeit: 45,1 Jahre, Larsson et al. 48,9 Jahre). Auch die Körpergröße der beiden Kollektive unterschied sich mit jeweils 166 cm nicht. Somit müssen die Unterschiede in der Fettmasse der beiden untersuchten Kollektive darauf zurückgeführt werden, dass die Frauen in der untersuchten Arbeit selektioniert waren; sie kamen wegen des erhöhten Körpergewichtes in die Praxis.

Wenn Frauen allerdings wegen des Verdachts auf Ödeme“ oder wegen des empfundenen Übergewichtes eine endokrinologische Praxis aufsuchen, dann werden sie mit ihrer körperlichen Situation nicht zufrieden gewesen sein. Es kann vermutet werden, dass sich darunter relativ viele Frauen befunden haben, die relativ wenig Muskulatur aufgewiesen haben und statt dessen mit dem Gewebe an „unerwünschten Stellen“ Probleme hatten. Frauen, die Sport treiben und auf Grund kräftiger Muskulatur ein Gewicht an der oberen Grenze des Normgewichtes aufweisen, dürften mit ihrem Aussehen eher zufrieden sein. Umgekehrt ist es aber auch vorstellbar, dass ein überproportional großer Anteil an fettleibigeren Frauen dem Aufruf zur Untersuchung in der Larsson-Studie nicht gefolgt sind: war doch die nicht Teilnahme-Quote bei den Frauen mit 43% relativ hoch. Darüber hinaus ist auch vorstellbar, dass schwedische Frauen sich deutlich mehr bewegen und sich gesünder ernähren, als Frauen aus der Region Nürnberg/Mittelfranken. Weist doch die Region um Nürnberg und Augsburg in Deutschland mit den höchsten Fettverzehr auf. Auch ist die Anzahl an Sportstunden in der Schule in Bayern mit zuletzt etwa 2,5 Stunden / Woche erschreckend niedrig

(http://www.bayern.landtag.de/ElanTextAblage_WP15/Drucksachen/Schriftliche%20Anfragen/15_0003004.pdf, Zugriff am 22. Januar 2007).

7.3 Abgeleitete Parameter: Fett-Masse-Index und Fett-Freie-Masse Index

Da das Körpergewicht eindeutig von der Körpergröße abhängig ist wurde schon beim Broca-Index versucht, eine vom Körpergewicht unabhängige Beurteilung des Gewichtes zu erreichen. Dies ist später mit dem BMI gut gelungen. Das geht auch aus der Abb. 40 hervor, in der für dass vorliegende Kollektiv gezeigt werden konnte, dass es praktisch keine Korrelation zwischen der Körpergröße und dem BMI gibt, der Einfluss der Größe somit eliminiert werden konnte.

Auch für die FM und für die FGM besteht ein geringer, für die FFM und die FGFM ein hoher Zusammenhang zur Körpergröße. Deswegen wurden die FM, die FFM, die FGM und die FGFM durch Division durch das Quadrat der Körpergröße [m²] indiziert. Alle so berechneten Indizes zeigen eine fehlende nicht nennenswerte Abhängigkeit von der Körpergröße (siehe Abb. 41, Abb. 42, Abb. 43, Abb. 44).

Literaturdaten zum Fett-Masse-Index, der mit der DEXA Methode ermittelt wurde, finden sich lediglich in zwei Arbeiten an Kindern (Freedman et al. 2005, Fewtrell et al. 2004) und in zwei Arbeiten an Hämodialysepatienten bzw. Patienten mit zystischer Fibrose (Kakiya et al.2006, Bolton et al. 2003). Somit werden in dieser Arbeit erstmals Daten zum FMI und zum FFMI, die mit der DEXA-Methode an einem Kollektiv gesunder Erwachsener erhoben wurden, präsentiert.

Für andere Methoden zur Ermittlung der Körperfettmasse wurden erstmals von VanItallie et al. 1990 FMI und FFMI-Werte mitgeteilt, die mit der Bioelektrischen Impedanz Analyse (TOBEC) ermittelt worden waren. Auch wenn eine Vergleichbarkeit zu den Ergebnissen mit DEXA nur bedingt gegeben ist, und keine Mittelwerte angegeben wurden, findet sich ein vergleichbarer Bereich der FMI-Werte zwischen 2,4 und 8,3 kg/m² (s. Abb. 45) und dem FFMI, der zwischen 16,8 und 25,8 kg/m² angegeben wurde (s. Abb. 46) für Männer mit einem BMI zwischen 18,2 und 34,1 kg/m². Daten für Frauen finden sich in dieser Arbeit nicht. Ein Versuch zur Normierung der Fettleibigkeit mit den Indizes konnte in der Literatur nicht gefunden werden.

7.4 Fett-Gewebs-Masse

Wie Abb. 24 gezeigt hat, findet sich eine Korrelation zwischen der fettfreien Masse und dem BMI. Bei einer Körpergewichtsreduktion kommt es somit auch zu einer Reduktion der FFM. Da die Muskelmasse die wesentliche

beeinflussbare Größe innerhalb der FFM ist, wird eine Abnahme der FFM mit einer Abnahme der Muskelmasse weitgehend gleichgesetzt. In der vorliegenden Arbeit konnte dieser Zusammenhang an Hand der Verläufe von zwei Übergewichtigen gezeigt werden, die sich sportlich betätigten, um Gewicht abzunehmen. Trotz erheblicher sportlicher Betätigung jetzt sichtbarer ausgeprägter Muskulatur wurde eine Abnahme der FFM nachgewiesen. (siehe Abb. 60 und Abb. 61).

Wird hingegen die FFM des Fettgewebes mit berücksichtigt, so wird verhindert, dass der Abbau von größeren Mengen von Fettgewebe einen Muskelmassenverlust vortäuscht. Dies ist aber eine unabdingbare Voraussetzung dafür, dass Adipöse, die einen Zugang zum Sport gefunden haben, nicht über einen fehlenden Nachweis des Muskelaufbaus, vielleicht sogar durch eine scheinbare Abnahme der Muskelmasse frustriert werden. Ein Parameter, der eine Abnahme der Muskelmasse nicht vortäuscht, könnte die Motivation von Adipösen, Sport zu treiben, entscheidend erhöhen. Bei den im Kapitel 6.4 beschriebenen Verläufen zeigte sich eine dem intensiven Training entsprechende erhebliche Zunahme der FGFM.

In der vorliegenden Arbeit wird daher dem Wertepaar FGM und fettgewebsfreie Masse besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Fettgewebe 22 % fettgewebsfreie Masse enthält (zu Problematik dieser Annahme (siehe theoretischer Hintergrund, Kapitel 3.3.4).

7.5 Abgeleitete Parameter FGMI und FGFMI

Auch die oben geschilderten Größen FGM und FGFM wurden in der vorliegenden Arbeit durch Division durch die Körpergröße^2 [m^2] indiziert und damit von der Körpergröße unabhängig, wie das in den Abb. 43 und Abb. 44 gezeigt werden konnte. Vergleichswerte in der Literatur finden sich nicht.

7.6 Definition von Normwerten

An Hand der oben gezeigten Ergebnisse und wegen der in der Einleitung genannten Argumente sind für die praktische Arbeit mit Übergewichtigen der FGMI und der FGFMI für Sportwissenschafter besonderes interessant.

7.6.1 Verfahren zur Definition der Normwerte

Um mit diesen Größen arbeiten zu können, ist es notwendig, Normwerte und Grade der Fettleibigkeit, der Adipositas mit Hilfe des FGMI zu definieren. Die Definition kann dabei keinesfalls mit Hilfe der deskriptiven Statistik erfolgen, wären doch beim 2-S-Bereich als Grundlage 95 % der Bevölkerung als normal anzusehen. Selbst bei Annahme eines 1- S-Bereichs wären lediglich 16,6 % der Bevölkerung adipös, zusätzlich aber würden 16,6, % als mager beurteilt. Mit Zunahme der Fettgewebsmasse der Bevölkerung müsste der Normwert höher werden. Wird ein erheblicher Anteil der Bevölkerung als fettleibig angesehen, so kann die Definition von Normwerten keinesfalls über einen Mittelwert nebst Abweichungen erfolgen, wie das sonst z.B. bei Laborverfahren üblich ist. So verwenden alle üblichen Definitionen des Normgewichtes Idealnormen, die schwer festzulegen sind und immer heftige Diskussionen ausgelöst haben und auslösen werden.

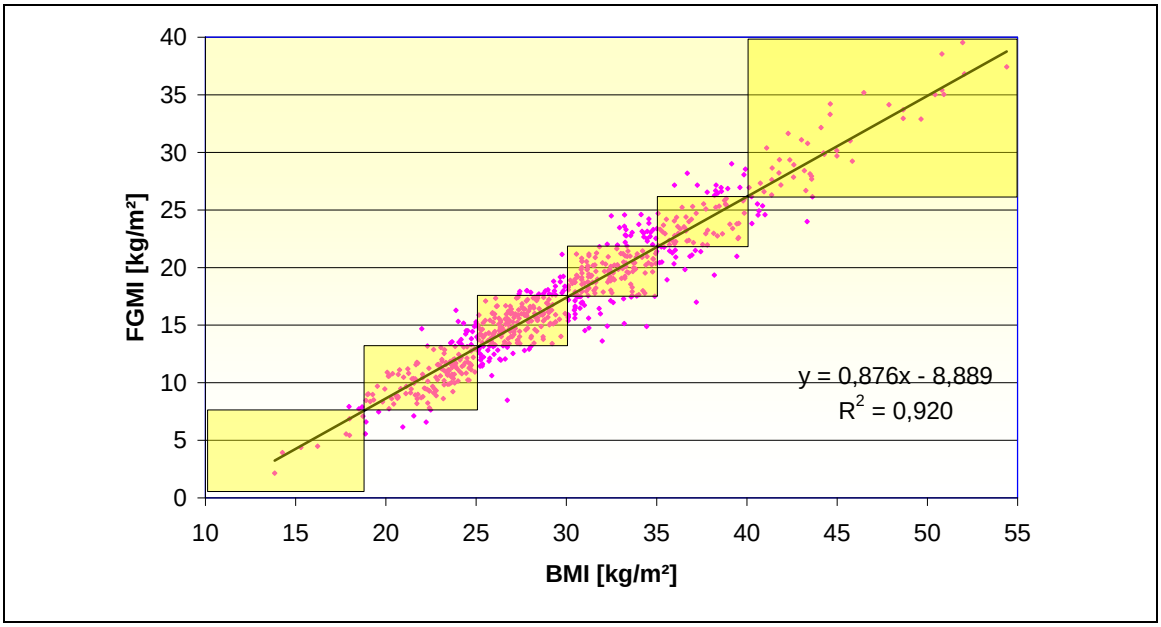

Abb. 62 Body-Mass-Index (BMI) und Fettgewebs-Masse-Index (FGMI) bei Frauen (n=709). Für die jeweiligen Grenzwerte der BMI-Klassifikation wurde der dazugehörigen FGMI als unterer bzw. oberer Grenzwert für die FGMI-Klasse berechnet. Für die jeweils innerhalb der Rechtecke gelegenen Messwerte stimmen die Klassifikation nach BMI und FGMI überein.

Da der BMI heute der gebräuchlichste Wert zur Beurteilung des Körpergewichtes und der Einteilung in Adipositasgrade ist, und andere Verfahren der Normierung nicht zur Verfügung stehen, wird in der vorliegenden Arbeit der BMI als Grundlage für die Normierung der Fettgewebsmasse herangezogen.

Dazu wurde für jeden Grenzwert der BMI-Klassifikation der dazugehörigen FGMI als unterer bzw. oberer Grenzwert für die FGMI-Klasse berechnet. Das Vorgehen wird mit der Abb. 62 für Frauen verdeutlicht und angewendet, in der Abb. 63 für Männer.

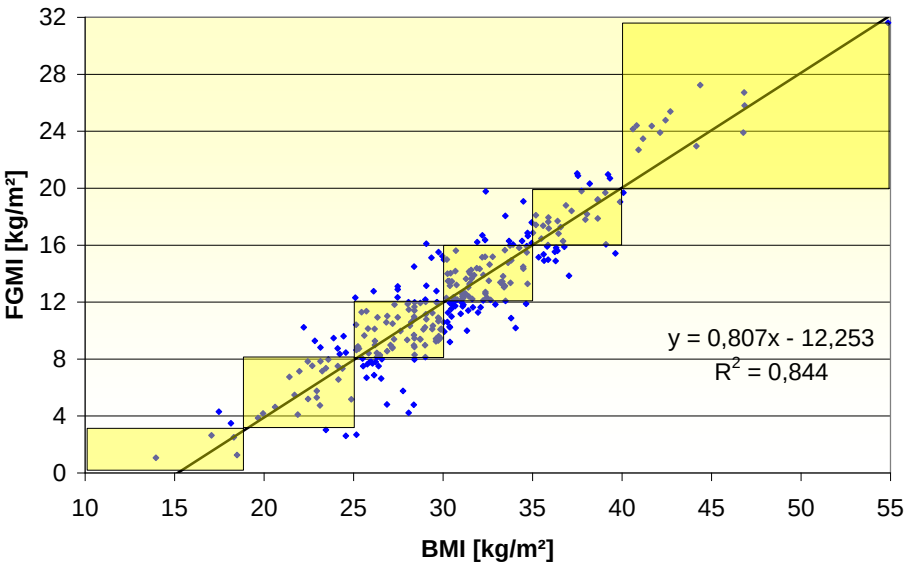

Abb. 63: Body-Mass-Index (BMI) und Fettgewebs-Masse-Index (FGMI) bei Männern (n=297). Für die jeweiligen Grenzwerte der BMI-Klassifikation wurde der dazugehörigen FGMI als unterer bzw. oberer Grenzwert für die FGMI-Klasse berechnet. Für die jeweils innerhalb der Rechtecke gelegenen Messwerte stimmen die Klassifikation nach BMI und FGMI überein.

Die so erhaltenen Grenzwerte werden in Tab. 17 und Tab. 18 aufgeführt.

7.6.2 Normwerttabelle

Die für den FGMI ermittelten Normwerte sind für analog zu den Adipositas-graden nach BMI in der Tabelle für Frauen und Männer eingetragen.

Grad	BMI [kg/m²]	FGMI Frauen [kg/m²]	FGMI Männer [kg/m²]
Untergewicht	< 18,5	< 7,3	< 2,7
Normalgewicht	18,5-24,9	7,3-13,0	2,7-8,0
Präadipositas	25-29,9	13,0-17,4	8,0-12,0
Adipositas I	30-34,9	17,4-21,8	12,0-16,0
Adipositas II	35-39,9	21,8-26,2	16,0-20,0
Adipositas III	≥40	>26,2	>20,0

Tab. 17: In der Tabelle sind die Schnittpunkte der Regressionsgeraden von BMI und FGMI mit den Grenzwerten des BMI für die verschiedenen BMI-Klassen dargestellt und als Normwerte definiert.

Im Folgenden soll untersucht werden, zu welchen Änderungen die Verwendung des FGMI zur Beurteilung der Fettleibigkeit führt. Da der FGMI allerdings keine direkte Aussage zum Gesamt-Körpergewicht erlaubt, sondern nur zum Fettgewebsgehalt einer Person, soll bei der Einteilung der Fettleibigkeit in Klassen konsequenterweise der Begriff Gewicht, der ja mit Körpergewicht eng assoziiert ist, nicht verwendet werden. Deswegen wird ab jetzt im Zusammenhang mit den FGMI-Klassen von „mager“ anstelle von Untergewicht, von „normal“ anstelle von Normalgewicht und von „fettleibig“ anstelle von Präadipositas gesprochen. Die Bezeichnungen für die Adipositas sollen beibehalten werden. Der Begriff mager leitet sich von magerem = fettarmen Fleisch ab.

Grad	FGMI-Klassen Frauen	FGMI-Klassen Männer
Mager	< 7,3	< 2,7
Normal	7,3-13,0	2,7-8,0
Fettleibig	13,0-17,4	8,0-12,0
Adipositas I	17,4-21,8	12,0-16,0
Adipositas II	21,8-26,2	16,0-20,0
Adipositas III	>26,2	>20,0

Tab. 18: Einteilung der FGMI-Klassen mit dazugehöriger Bezeichnung

Da sich für den FGFMI keine Abhängigkeit vom FGMI zeigt, die Regressionsgerade sowohl für Männer als auch für Frauen nahezu parallel zur x-Achse verläuft, kann der Mittelwert für den FGFMI für Männer von 18,2 ± 2,2 kg/m² (MW ± SD) als Normbereich für die FGFMI mit 16 – 20,4 kg/m² festgelegt werden, für Frauen bei einem Mittelwert von 12,6 ±1,9 kg/m² (MW ± SD) als Normbereich ein FGFMI von 10,5 – 14,5 angenommen werden.

Geht man davon aus, dass sich der FGFMI aus einem weitgehend konstanten Index für alle inneren Organe einschließlich der Knochen und einem variablen Anteil an Muskulatur zusammensetzt, kann eine Änderung des FGFMI im wesentlichen auf eine Änderung der Muskelmasse zurück geführt werden. Männer mit einem FGFMI von < 16 kg/m² können deswegen als muskelschwach, solche mit einem FGFMI > 20,4 als muskelkräftig, bezeichnet werden. Der Rest weist eine durchschnittliche Muskulatur auf. Aus den Daten errechnet sich für einen 170 cm großen Mann ein unterer Wert für die normale FGFM von 46,2 kg, ein oberer Wert von 59,0 kg.

Der FGFMI repräsentiert die inneren Organe, die Knochen, das Blut, die Haut ohne Unterhautfettgewebe und die Muskulatur. Betrachtet man einen 170 cm großen Mann von 70 kg, so dürfte die fettgewebsfreie Masse der inneren Organe, der Haut, von Blut und Knochen ohne Muskulatur ca. 22 kg wiegen. Geht man davon aus, dass auch die inneren Organe von der Körpergröße abhängig sind, so erscheint es sinnvoll, auch dafür den entsprechenden Index (kg/m²) zu bilden: (FGFIOI = Index der fettgewebsfreien inneren Organe von 7,6 kg/m²). In der Literatur finden sich keine Hinweise dafür, dass die inneren Organe der Frau bei gleicher Größe wesentlich leichter oder schwerer wären. Daher wird für beide Geschlechter vom gleichen Index ausgegangen

Bei einer mittleren FGFMI von 18,2 kg/m² errechnet sich für einen 170 cm großen Mann eine FGFM von 52,6 kg. Geht man davon aus, dass die inneren Organe 22 kg wiegen (FGFIOI= 7,6 kg/m²), so lässt sich daraus ableiten, dass er knapp (18,2 – 7,6) kg/m², also 10,6 x1,7 x 1,7 = 30,6 kg Muskulatur aufweisen dürfte, was mit den Werten aus der Literatur gut übereinstimmt. (Clarys et al. 1999).

Frauen mit einem FGFMI von < 10,5 kg/m² können als muskelschwach, solche mit einem FGFMI > 14,5 kg/m² als muskelkräftig, bezeichnet werden. Der Rest weist eine durchschnittliche Muskulatur auf. Daraus errechnet sich für eine 170 cm große Frau ein unterer Wert für die normale FGFM von 30,3 kg, ein oberer Wert von 41,9 kg. Im Mittel dürfte eine 170 cm große Frau eine FGFM von 12,6 x 1,7 x 1,7 = 36,4 kg aufweisen. Zieht man davon 22 kg für die inneren Organe ab, so verbleibt eine Muskelmasse von nur noch 14,4 kg. Muskelschwache Frauen mit einem FGFMI von < 10,5 kg/m² und einer Körpergröße von 170 cm weisen dann nur noch eine Muskelmasse auf von < 8,4 kg auf.

Bei der Berechnung der Muskelmasse aus der FGFM muss allerdings beachtet werden, dass jede Änderung der Hydrierung der Magermasse zu einer eklatanten Fehleinschätzung der Muskelmasse führen muss. So kann durch Austrocknung, eine Exikose, eine erheblich zu niedrigere Muskelmasse vorgetäuscht werden. Dabei kann die Austrocknung sowohl durch Krankheiten, sogar durch Sport hervorgerufen werden. Bei Übergewichtigen ist es besonders wichtig, nach der Verwendung von Diuretika oder Abführmitteln zu fahnden –

kann doch dadurch ein Scheinerfolg in Bezug auf eine Gewichtsreduktion vorgetäuscht werden. Umgekehrt müssen alle Ödeme zu einer zu hohen Einschätzung der Muskelmasse führen. Sogar das Vorhandensein eines Ascites oder eines Pleuraergusses würde eine zu hohe Muskelmasse vortäuschen. Der Rückschluss von der FGFM auf die Muskulatur ist daher beim einzelnen Probanden mit sehr großer Vorsicht zu genießen.

7.7 Konsequenzen der Klasseneinteilung nach dem Fett-Gewebs-Masse-Index

In diesem Kapitel wird untersucht, wie häufig eine Fehleinschätzung der Fettleibigkeit erfolgt, wenn der BMI anstelle des FGFMI verwendet wird. Anderseits erscheint auch ein Vergleich der FGFMI-Klassen mit dem Taillenumfang interessant.

7.7.1 Fett-Gewebs-Masse-Index-Klassen und Body-Mass-Index-Klassen im Vergleich

Abb. 64 zeigt, wie Frauen aus den verschiedenen FGMI-Klassen nach dem BMI

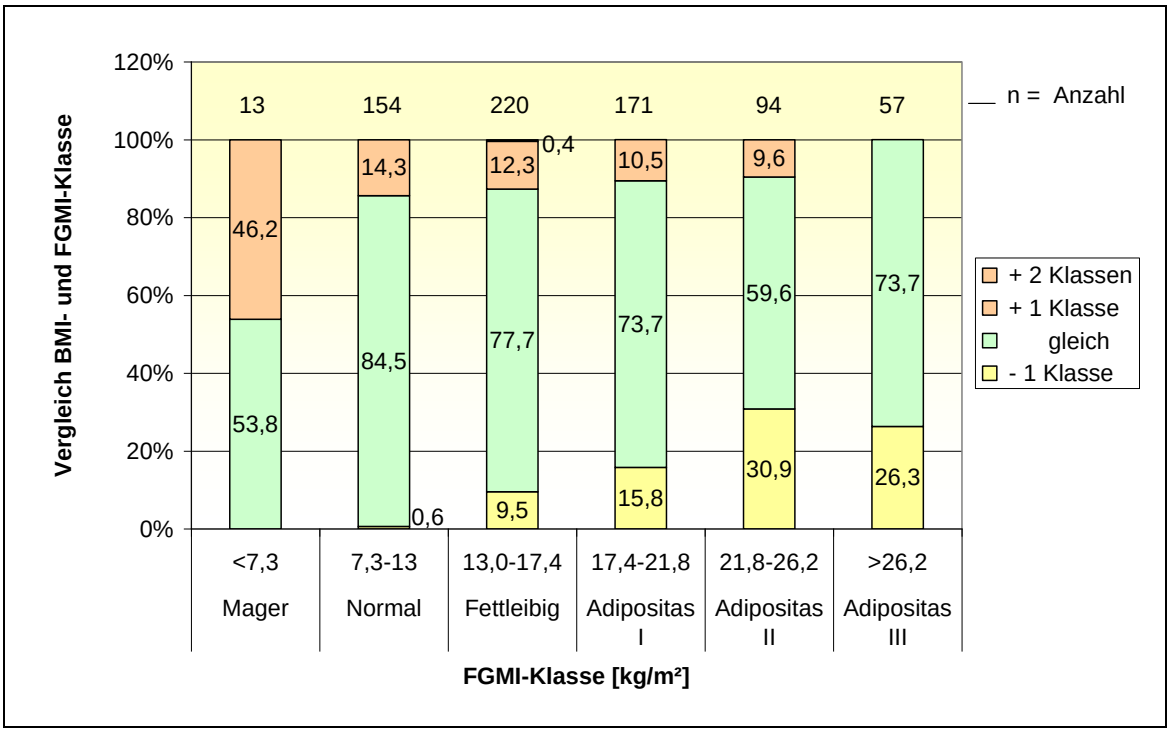

Abb. 64: Aufteilung der Ergebnisse von 709 Messungen bei Frauen nach dem FGMI. Für jede FGMI-Klasse wurde überprüft, wieviel Prozent Frauen mittels Body-Mass-Index (BMI) in eine andere Klasse eingeteilt werden.

eingeteilt würden. Dabei zeigt sich, dass 46,2 % der mageren Frauen nach dem BMI als normgewichtig eingeteilt werden. Bei diesen Frauen handelt es sich offensichtlich um fettgewebsarme, aber muskelkräftige Frauen.

Der prozentuale Anteil an Frauen, die mit dem BMI in eine höhere Klasse eingeteilt werden, nimmt mit steigender FGMI-Klasse von 46 % bei mageren Frauen auf 0 % bei der Adipositas Grad III ab. Im Gegensatz dazu steigt der prozentuale Anteil der Frauen, die mit dem BMI in eine niedrigere Klasse eingeteilt werden, mit steigender FGMI-Klasse von 0 % bei mageren und normalen Frauen auf 26 % bei Adipositas III und sogar auf 31 % bei Adipositas Grad II. Frauen, die mit dem BMI höher als mit dem FGMI beurteilt werden sind muskelkräftig, solche die mit dem BMI als weniger adipös eingestuft werden muskelschwach. In diese Gruppe fallen allerdings auch Patientinnen, die wassertreibende oder abführende Medikamente einnehmen.

Insgesamt wurden mit dem BMI 11,7 % der Frauen mit dem BMI einem zu hohen Fettleibigkeitgrad, 13,11 einem zu niedrigen Grad zugeteilt. Bei 75,2 % stimmten der Grad der Fettleibigkeit bei Verwendung des FGMI und dem BMI überein.

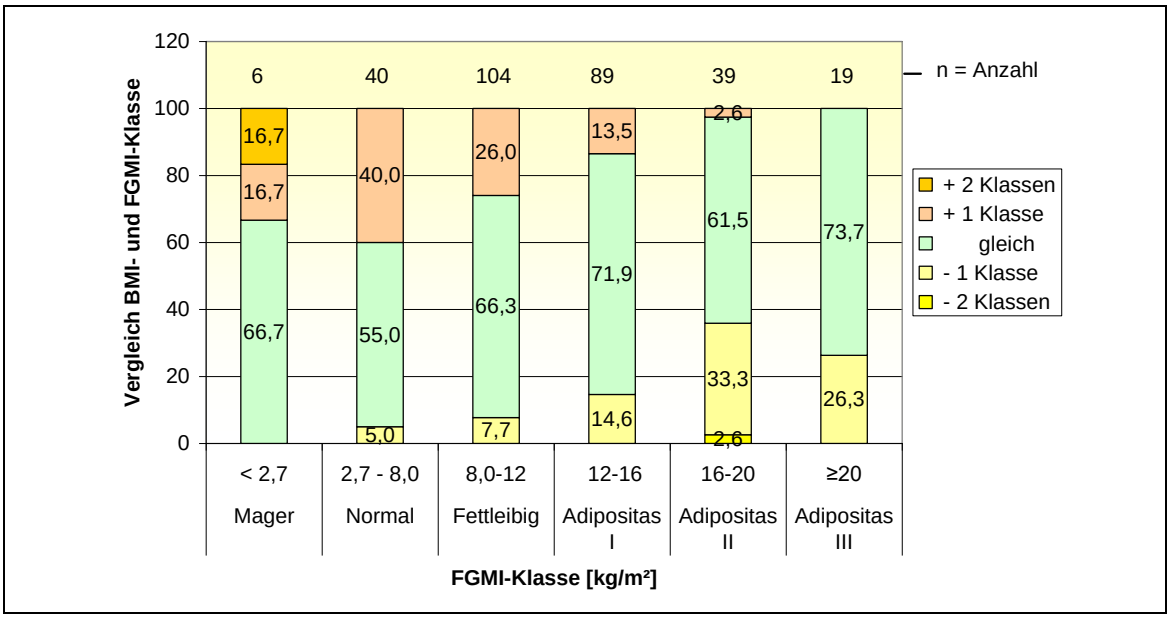

Abb. 65: Aufteilung der Ergebnisse von 309 Messungen bei Männern nach dem FGMI. Für jede FGMI-Klasse wurde überprüft, wieviel Prozent Männer mittels Body-Mass-Index (BMI) in eine andere Klasse eingeteilt werden.

Die Abb. 65 zeigt, wie Männer aus den verschiedenen FGMI-Klassen nach dem BMI eingeteilt würden. Dort wird sogar eine Person mit dem BMI um 2 Klassen

fehlbeurteilt. Ein als mager zu beurteilender Bodybuilder wäre nach der BMI-Klassifikation als präadipös bezeichnet worden. Insgesamt wurden mit dem BMI 19,5 % der Männer mit dem BMI einem zu hohen Fettleibigkeitgrad, 14,1 % einem zu niedrigen Grad zugeteilt. Bei 66,4 % stimmte die Beurteilung der Fettleibigkeit bei Verwendung des FGMI und dem BMI überein.

Insgesamt erfahren rund ein Viertel der Frauen und ein Drittel der Männer eine andere Graduierung ihres Ernährungszustandes, wenn man den FGMI anstelle des BMI verwendet.

7.7.2 Fett-Gewebs-Masse-Index-Klassen und Taillenumfang im Vergleich

Neben dem BMI wird der Taillenumfang häufig herangezogen, um das Adipositas-assoziierte Risiko für metabolische und kardiovaskuläre Komplikationen einzuschätzen. Deswegen soll im Folgenden der Zusammenhang zwischen dem FGMI und dem Taillenumfang untersucht werden. Dabei wird für Frauen nach Han et al. 1995 ein erhöhtes Risiko ab einem Taillenumfang von ≥ 80 cm, von einem deutlich höheren Risiko ab einem Taillenumfang von ≥ 88 cm, ausgegangen. Für Männer wird bei einem Taillenumfang von ≥ 94 cm von einem erhöhten, ab einem Umfang von 102 cm von einem deutlich erhöhten Risiko, ausgegangen.

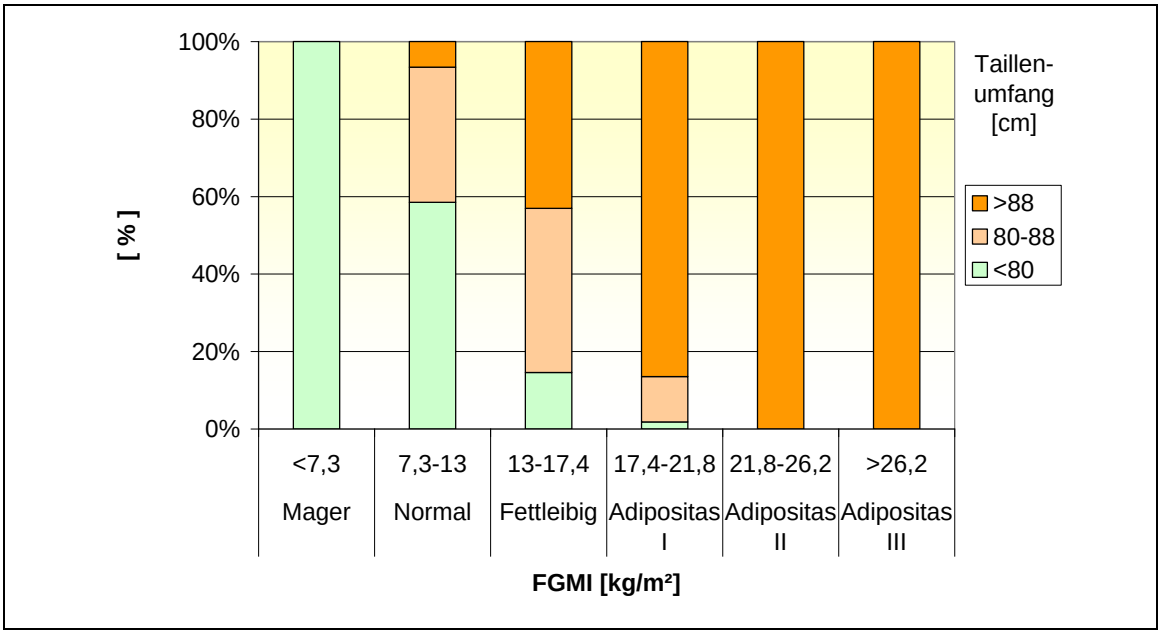

Abb. 66: Aufteilung der Ergebnisse von 467 Messungen bei Frauen nach dem FGMI. Für jede FGMI-Klasse wurde überprüft, wieviel Prozent Frauen nach dem Taillenumfang in eine andere Risiko-Klasse eingeteilt werden.

In der Abb. 66 sind die Ergebnisse des Vergleichs der Einteilung nach FGMI und nach Taillenklassen dargestellt. Dabei gelangten nur 467 Messungen zur Auswertung, weil in den ersten Jahren des Untersuchungszeitraums der Taillenumfang nicht dokumentiert wurde. Während die mageren Frauen und die mit einer Adipositas Grad II und III identisch beurteilt werden, so finden sich erhebliche Überschneidungen, wenn Frauen mit der FGMI-Klassifikation normal, fettleibig oder Adipositas Grad I verglichen werden

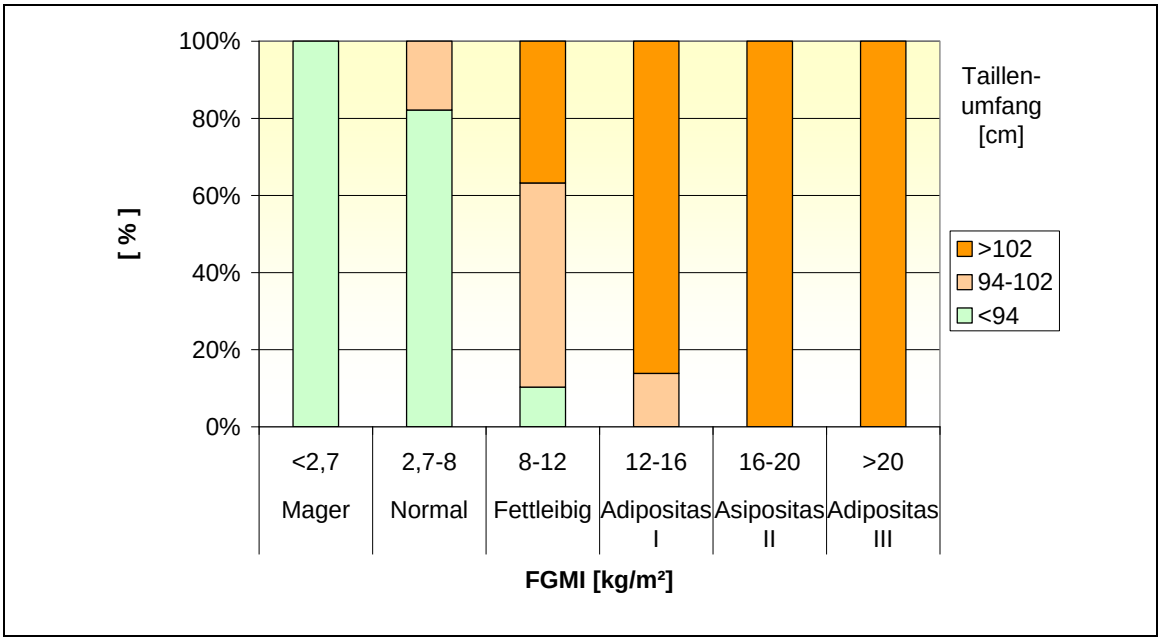

Abb. 67: Aufteilung der Ergebnisse von 203 Messungen bei Männern nach dem FGMI. Für jede FGMI-Klasse wurde überprüft, wieviel Prozent der Männer nach dem Taillenumfang in eine andere Risiko-Klasse eingeteilt werden.

In der Abb. 67 sind die entsprechenden Verhältnisse für Männer dargestellt. Hier gelangten aus den o.g. Gründen nur die Messungen von 203 Männern zur Auswertung. Nahezu identisch wie für Frauen wurden die mageren Männer und die mit einer Adipositas Grad II und III identisch beurteilt. Es finden sich aber erhebliche Überschneidungen, wenn Männer mit der FGMI-Klassifikation normal, fettleibig oder Adipositas Grad I verglichen werden.

7.8 Alter und Körperzusammensetzung

Im Kapitel 6.2.3.9 sind die Ergebnisse für die Zusammensetzung des Körpers für die unterschiedlichen Altersstufen dargestellt. Dabei fand sich eine Zunahme des BMI mit dem Alter, der vorwiegend auf die Zunahme der FGM zurückgeführt werden konnte. Für die FGFM fand sich keine signifikante Abhängigkeit vom Alter, weder bei Frauen noch bei Männern. Dieser Befund muss überraschen, liest man doch in vielen medizinischen und

sportwissenschaftlichen Publikationen über die Sarkopenie des alternden Menschen, die Abnahme der Muskelmasse mit dem Alter. Erklärungsversuche müssen spekulativ bleiben. Man kann sich gut vorstellen, dass die heute Älteren sich in der Jugend und im frühen Erwachsenenalter erheblich mehr bewegt haben und eine höhere „peak muscle mass“ aufgewiesen haben. Eine Abnahme der Muskelmasse mit dem Alter würde so im Vergleich mit den heute Jüngeren kaschiert. Sollte dass der Fall sein, so ist mit einer Abnahme der Muskelmasse in zukünftigen Generationen zu rechnen. Untersuchungen an Sportlern unterschiedlicher Jahrgangsstufen mit ähnlicher Trainingsintensität und -Umfang könnten helfen, diese Spekulation zu be- oder widerlegen.

7.9 Regionale Fettverteilung

Bei den Untersuchungen zur regionalen Fettverteilung wurde der Fettgehalt jeweils als % vom Weichgewebe angegeben, um den Einfluss der in den unterschiedlichen Regionen sich zum Teil erheblich unterscheidenden Knochenmineralgehalte zu eliminieren. Aus dem gleichen Grund wurde auch der Kopf nicht in die Berechnungen mit einbezogen. Als Vergleichparameter wurde daher die FGM Gesamt (ohne Kopf) als Prozentsatz des Weichgewebe angegeben.

Bei den Männern lag der prozentuale Fettgehalt der Arme in etwa bei der FMG Gesamt, die Beine hatten einen etwas niedrigeren Fettgehalt. Umgekehrt lag bei den Frauen der Fettgehalt der Beine in der gleichen Größenordnung wie die FGM Gesamt, die Arme wiesen allerdings einen höheren Fettgehalt auf. Die größten Unterschiede ergaben sich für den Fettgehalt der Taillenregion, der sowohl bei Frauen als auch bei Männern meist erheblich über dem Gesamt-Fettgewebsgehalt gemessen wurde. Dabei zeigen insbesondere die Männer eine sehr starke Abweichung schon bei oft auch noch niedrigem Gesamt-Fettgewebsgehalt. Ähnliche Veränderungen finden sich für das Abdomen, aber bei weitem nicht so ausgeprägt. Die Thoraxregion der Männer zeigt den gleichen Fettgehalt wie der Gesamtkörper, bei Frauen dürfte das Fettgewebe des Busens Grund für die höhere FGM des Thorax sein. Insgesamt zeigt die regionale Fettmasse eine eher androide Fettverteilung beim Mann und eine Tendenz zur gynoiden Fettverteilung bei der Frau.

7.10 Vergleich FGM Taille mit dem Taillenumfang

Die stärksten Abweichungen im regionalen Fettgewebsgehalt von der Gesamt FGM fand sich im Bereich der Taille mehr noch bei Männern als bei Frauen.

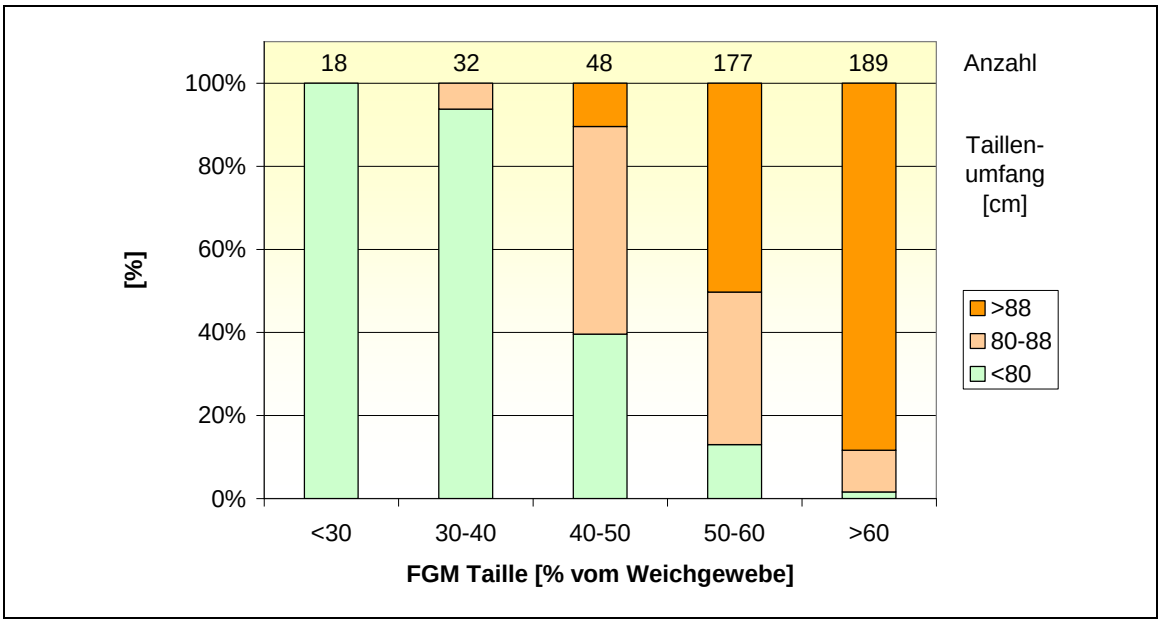

Abb. 68: Aufteilung der Ergebnisse zum Taillenumfang von 404 Frauen nach der FGM der Taille in % vom Weichgewebe.

Da aber der Taillenumfang häufig herangezogen wird, um das Adipositas-assoziierte Risiko für metabolische und kardiovaskuläre Komplikationen einzuschätzen, soll im Folgenden der Zusammenhang zwischen dem FGM der Taille in % des Weichgewebes und dem Taillenumfang untersucht werden. Während die Frauen mit < 30 % FGM im Bereich der Taille immer und die mit 30 – 40 % fast immer auch einen niedrigen Taillenumfang aufweisen, finden sich ab 40 % viele Frauen mit einem zu großen Taillenumfang. Frauen mit mehr als 60 % Fett im Bereich der Taille haben praktisch immer auch einen zu großen Taillenumfang.

Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei der Frau, weisen nahezu alle Männer ab einer FGM in Prozent vom Weichgewebe ab 40 % einen mit einem deutlich erhöhten Risiko einhergehenden Taillenumfang auf. Lediglich neun von 203 hatten einen Taillenumfang, der mit einen normalen kardiovaskulärem und metabolischem Risiko verbunden ist. Dabei stellt sich die Frage, ob die Grenzen für den Taillenumfang beim Mann nicht doch zu streng gestellt sind. Wie die Ärzte der Praxis für Endokrinologie mitteilten, laufen derzeit Untersuchungen, die zumindest für wichtige Stoffwechselparameter wie die Blutfette und die Insulinresistenz, die klären sollen, ob die mit der Dexa-Methode ermittelte FGM der Taille ein guter Parameter zur Einschätzung des

diesbezüglichen Risikos sein kann oder ob der Taillenumfang besser mit den Ergebnissen korreliert.

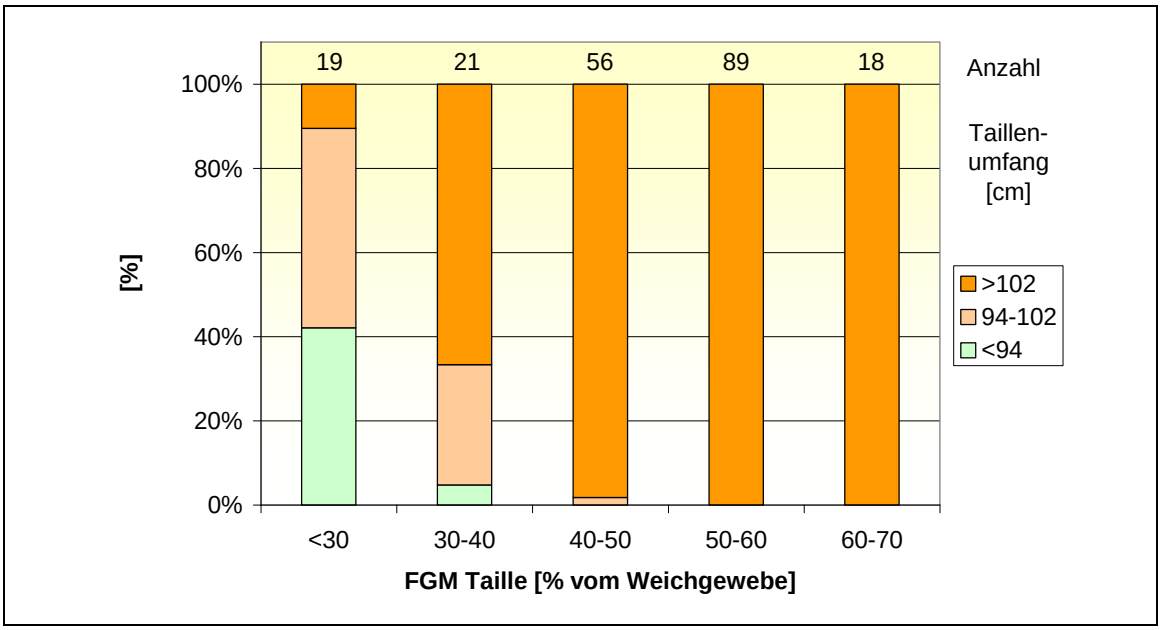

Abb. 69: Aufteilung der Ergebnisse zum Taillenumfang von 203 Männern nach der FGM der Taille in % vom Weichgewebe.

7.11 DEXA und Perspektiven für die Sportwissenschaften

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen eröffnen für die Sportwissenschaften Argumentationshilfen und Fragestellungen, die zu einer Aufwertung der Sportwissenschaften im Rahmen der Rehabilitation, Prävention und Trainingsmethodik führen könnten.

7.11.1 Visualisierung des Erfolgs von Bewegung und Belastung

Mit der DEXA-Methode lassen sich verlässliche Messungen der Fettmasse durchführen. Durch die Berücksichtigung der Fett-Freien-Masse des Fettgewebes lässt sich die Vortäuschung eines Muskelmasseverlustes beim Abnehmen durch Sport eliminieren. Da davon auszugehen ist, dass mit der Zunahme der Muskelmasse auch eine Steigerung des Grund- und Ruheumsatzes verbunden ist, kann die Gewichtsabnahme zumindest bei Beibehaltung der Bewegung verstetigt, der gefürchtete JO-JO Effekt vermieden werden.

7.11.2 Sport als oder statt Medikament

Viele Theorien gehen davon aus, dass das Metabolische Syndrom nicht nur durch eine Abnahme des Fettgewebes sondern in wesentlichem Maße auch

durch eine Zunahme der Muskelmasse günstig beeinflusst werden kann.
Dies gilt insbesondere für den Diabetes mellitus Typ 2 und auch für die Insulin-Resistenz. Viele Einzelfallbeobachtungen konnten den positiven Effekt von Bewegung auf diese Krankheitsbilder nachweisen. Sport zur positiven Beeinflussung dieser Erkrankungen kann als Lehrbuchwissen bezeichnet werden.
Mit der DEXA-Methode und Berechnung der FGM und FGFM könnte es gelingen, in kontrollierten Studien den Effekt einer Muskelmassenzunahme bei gleichzeitiger Abnahme des Fettgewebes zu überprüfen und den Anteil der Änderung der Muskel- und Fettmasse an dem Zustandekommen der Erkrankung, bzw. an ihrer positiven Beeinflussung zu zeigen.
Solche Untersuchungen könnten einen wesentlichen Baustein für eine Aufwertung der Sportwissenschaften liefern und gleichzeitig Ausgangspunkt für eine große Anzahl von Untersuchungen sein: Welche Trainingsmethoden sind auch für übergewichtige und für ältere Menschen geeignet? Bis zu welchem Alter ist mit welchen Methoden ein Muskelaufbau erzielbar? Gibt es Unterschiede zwischen Mann und Frau in Bezug auf die Geschwindigkeit und Ausmaß des Muskelaufbaus? Welchen Einfluss haben Hormone? Hat die Absenkung des Testosterons bei der Frau durch die Pille einen negativen Effekt auf die Muskulatur? Welche Methoden zur Motivation der Patienten sind überlegen? Kann mit Sport im Kindergarten, der Schule und in Betrieben langfristig eine höhere Muskelmasse bei gleichzeitig weniger Fettgewebe erreicht werden?

7.11.3 Untersuchungen zur regionalen Muskelmasse

Ein wesentlicher Vorteil der DEXA-Methode ist die Möglichkeit, auch die regionale Körperzusammensetzung zu messen. Dies ist allerdings nicht nur für die Beurteilung des Taillenfetts und seine Bedeutung für das metabolische Syndrom interessant. Die Messung der regionalen Körperzusammensetzung dürfte für Fragestellungen aus dem Breiten- und Leistungssportbereich von großem Interesse sein (Nindl et al. 2002, Nindl et al. 2001, Nindl et al. 2000). Mit welcher Trainingsmethode lässt sich die Muskelmasse in welcher Region am besten steigern? Welche Regionen verlieren durch welchen Sport besonders schnell Fett, welche Regionen erweisen sich resistenter?

8 Zusammenfassung

In der Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Dexa-Messung auch unter Routinebedingungen reliable Ergebnisse für die Messung der Fettmasse und damit der Fettleibigkeit liefert. Die Indizierung der Fettmasse und der fettfreien Masse mittels Division durch die Körpergröße [m²] analog zum BMI schafft eine Vergleichbarkeit von Probanden unabhängig von der Körpergröße – eine wesentliche Voraussetzung für ein wissenschaftliches Arbeiten mit diesen Parametern. Die Nachteile, die aus der Beschreibung der Fettleibigkeit mit dem BMI, der nicht zwischen Fettmasse und fettfreier Masse differenziert und sich damit zur Quantifizierung der Fettleibigkeit disqualifiziert, sind mit dieser Methode überwunden.

Eine Abnahme von Fettgewebe besteht immer aus einer Abnahme sowohl von Fettmasse als auch von fettfreier Masse des Fettgewebes. Der Verlust der fettfreien Masse des Fettgewebes muss erfasst werden, damit bei der Abnahme von Fettgewebe ein Muskelmasseverlust nicht vorgetäuscht wird. Die in dieser Arbeit vorgenommene Berechnung und Indizierung der Fettgewebsmasse neben fettgewebsfreier Masse bietet für die Sportwissenschaft eine wichtige Voraussetzung, die Wertigkeit von Bewegung und Belastung, des Aufbaus von Muskelmasse, in der Behandlung der Adipositas zu dokumentieren.

Mit Hilfe der Idealnorm BMI wurde eine Normierung des FGMI und des FGFMI erstmals vorgenommen. Damit wird eine Einteilung nach dem Ernährungszustand in die Klassen „mager“, „normal“, „fettleibig“, und „Adipositas I – III“ möglich. Bei Verwendung dieser Ernährungsklassen als Maß findet sich eine Fehlbeurteilung der Fettleibigkeit mit dem BMI bei ca. ¼ der Frauen und 1/3 der Männer.

Die DEXA-Methode ermöglicht als einzige Methode zur Messung der Körperzusammensetzung eine Untersuchung der regionalen Fettverteilung. Besonders interessant sind die Ergebnisse zum Fettgehalt der Taille, der ein Korrelat zum intestinalen Fett sein dürfte. Hier finden sich große Differenzen zur

FGM des Gesamtkörpers. Es bleibt abzuwarten, ob Parameter zur Beurteilung des metabolischen Risikos mit dieser Messgröße korrelieren.

Die Betrachtung der regionalen Muskelmasse, insbesondere die der Extremitäten, eröffnet ein neues Betätigungsfeld und viele neue Fragestellungen für die Sportwissenschaften. Längs- und Querschnittsuntersuchungen in der Bevölkerung vom Kind bis zum Greis sowie von Sportlern verschiedener Disziplinen könnten vielfältige neue Einblicke für die Trainingsmethodik liefern.

Insgesamt erscheint die Methode zur Beurteilung der Fettleibigkeit von Erwachsenen hervorragend geeignet zu sein, die Bedeutung der Bewegung für die Reduzierung der Fettleibigkeit deutlich zu machen und vielfältige neue Fragestellungen zu eröffnen.

9 Literaturverzeichnis

Avenell, A.; Broom, J.; Brown, T.; Poobalan, A.; Aucott, L.; Stearns, S.; Smith, W.; Jung, R.; Campbell, M., and Grant, A. Systematic review of the long-term effects and economic consequences of treatments for obesity and implications for health improvement. Health Technol Assess. 2004 May; 8 (21): iii-iv, 1-182.

Baker, G. Human adipose tissue composition and age. Am J Clin Nutr. 1969 Jul; 22 (7): 829-35.

Björntorp, P. and Brodoff, B. Obesity. Philadelphia, Pennsylvania: J. B. Lippincott 1992.

Bös, K.; Hänsel, F., and Schott, N. Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft. Hamburg: Czwalina 2000.

Bolton, C.; Ionescu, A.; Evans, W.; Pettit, R., and Shale, D. Altered tissue distribution in adults with cystic fibrosis. Thorax. 2003 Oct; 58 (10): 885-9.

Boney, C.; Verma, A.; Tucker, R., and Vohr, B. Metabolic syndrome in childhood: association with birth weight, maternal obesity, and gestational diabetes mellitus. Pediatrics. 2005 Mar; 115 (3): e290-6.

Brozek, J. and Grande, F. Body composition and basal metabolism in man: correlation analysis versus physiological approach. Hum Biol. 1955 Feb; 27 (1):22-31.

Brozek, J.; Grande, F.; Anderson, J., and Keys, A. Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. Ann N Y Acad Sci. 1963 Sep 26; 110:113-40.

Clarys, J.; Martin, A.; Marfell-Jones, M.; Janssens, V.; Caboor, D., and Drinkwater, D. Human body composition: A review of adult dissection data. Am J Human Biol. 1999; 11 (2): 167-174.

Clauß, G.; Finze, F., and Partzsch, L. Statistik. Frankfurt: Harri Deutsch 2002.

Diem, K. and Lentner, C. Documenta Geigy: Wissenschaftliche Tabellen. 7 ed. Basel: J. Geigy A.G., Pharma; 1968.

Ellis, K. Human body composition: in vivo methods. Physiol Rev. 2000 Apr; 80 (2):649-80.

Faller, A. and Schünke, M. Der Körper des Menschen. 14 ed. Stuttgart: Georg Thieme 2004: 84.

Fewtrell, M.; Lucas, A.; Cole, T., and Wells, J. Prematurity and reduced body fatness at 8-12 y of age. Am J Clin Nutr. 2004 Aug; 80 (2): 436-40.

Fleischer, H. Grundlagen der Statistik. Schondorf: Karl Hofmann 1988.

Forbes, R.; Cooper, A., and Mitchell, H. The composition of the adult human body as determined by chemical analysis. J Biol Chem. 1953 Jul; 203 (1): 359-366.

Foss, M. and Keteyian, S. FOX´s Physiological Basis for Exercise and Sport. 6 ed. Singapore: McGraw-Hill 1998. 438-467

Franks, S.; McCarthy, M., and Hardy, K. Development of polycystic ovary syndrome: involvement of genetic and environmental factors. Int J Androl. 2006 Feb; 29 (1): 278-85.

Freedman, D. ; Wang, J.; Maynard, L.; Thornton, J.; Mei, Z.; Pierson, R.; Dietz, W., and Horlick, M. Relation of BMI to fat and fat-free mass among children and adolescents. Int J Obes (Lond). 2005 Jan; 29 (1): 1-8.

Gotfredsen, A.; Baeksgaard, L., and Hilsted, J. Body composition analysis by DEXA by using dynamically changing samarium filtration. J Appl Physiol. 1997 Apr; 82 (4): 1200-9.

Han, T.; van Leer, E.; Seidell, J., and Lean, M. Waist circumference action levels in the identification of cardiovascular risk factors: prevalence study in a random sample. BMJ. 1995 Nov 25; 311 (7017): 1401-5.

Hauner, H.; Buchholz, G.; Hamann, A.; Husemann, B.; Koletzko, B.; Liebermeister, H.; Wabitsch, M.; Westenhöfer, J.; Wirth, A., and Wolfram, G. Prävention und Therapie der Adipositas [Web Page]. Accessed 2007 Jan 10. Available at: http://www.dge.de/pdf/ll/Adipositas-LL-2006.pdf.

Henche, A. and Pellico, L. Body composition: Evaluation methods. Eur J Anat. 2005; 9 (2): 117-124.

Herold, G. Innere Medizin. 2005.

Heyward, V. ASEP Methods Recommendation: Body Composition Assessment. JEPonline. 2001; 4 (4): 1-12.

Illner, K.; Brinkmann, G.; Heller, M.; Bosy-Westphal, A., and Muller, M. Metabolically active components of fat free mass and resting energy expenditure in nonobese adults. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2000 Feb; 278 (2): E308-15.

Kakiya, R.; Shoji, T.; Tsujimoto, Y.; Tatsumi, N.; Hatsuda, S.; Shinohara, K.; Kimoto, E.; Tahara, H.; Koyama, H.; Emoto, M.; Ishimura, E.; Miki, T.; Tabata, T., and Nishizawa, Y. Body fat mass and lean mass as predictors of survival in hemodialysis patients. Kidney Int. 2006 Aug; 70 (3): 549-56.

Keys, A.; Anderson, J., and Brozek, J. Weight gain from simple overeating. Character of the tissue gained. Metabolism. 1955 Sep; 4 (5): 427-32.

Larsson, I.; Berteus Forslund, H.; Lindroos, A.; Lissner, L.; Naslund, I.; Peltonen, M., and Sjostrom, L. Body composition in the SOS (Swedish Obese Subjects) reference study. Int J Obes Relat Metab Disord. 2004 Oct; 28 (10): 1317-24.

Larsson, S.; Bergkvist L., and Wolk A. Consumption of sugar and sugar-sweetened foods and the risk of pancreatic cancer in a prospective study. American Journal of Clinical Nutrition. 2006 Nov; 84 (5): 1171-1176.

McArdle W.; Katch F., and Katch V. Exercise Physiology. Energy, Nutrition & Human Performance. 6 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2007.

Nindl, B.; Harman, E.; Marx, J.; Gotshalk, L.; Frykman, P.; Lammi, E.; Palmer, C., and Kraemer, W. Regional body composition changes in women after 6 months of periodized physical training. J Appl Physiol. 2000 Jun; 88 (6): 2251-9.

Nindl, B.; Kraemer, W.; Gotshalk, L.; Marx, J.; Volek, J.; Bush, F.; Hakkinen, K.; Newton, R., and Fleck, S. J. Testosterone responses after resistance exercise in women: influence of regional fat distribution. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2001 Dec; 11 (4): 451-65.

Nindl, B.; Scoville, C.; Sheehan, K.; Leone, C., and Mello, R. Gender differences in regional body composition and somatotrophic influences of IGF-I and leptin. J Appl Physiol. 2002 Apr; 92 (4): 1611-8.

Oster, G.; Edelsberg, J.; O'Sullivan, A., and Thompson, D. The clinical and economic burden of obesity in a managed care setting. Am J Manag Care. 2000 Jun; 6 (6): 681-9.

Peeters A., Barendregt J. Willekens F. Mackenbach J. Al Mamun A. Bonneux L. Obesity in adulthood and its consequences for life expectancy: a life-table analysis. Ann Intern Med. 2003 Jan 7; 138 (1): 24-32.

Pi-Sunyer, F. Medical hazards of obesity. Ann Intern Med. 1993 Oct 1; 119 (7 Pt 2): 655-60.

Pietrobelli, A.; Formica, C.; Wang, Z., and Heymsfield, S. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. Am J Physiol. 1996 Dec; 271 (6 Pt 1): E941-51.

Rathmanner, M.; Meidlinger, M.; Baritsch, M.; Lawrence, K.; Eng, B., and Dorner, T. Kunze M. Erster Österreichischer Adipositasbericht 2006 [Web Page]. Accessed 2007 Jan 10. Available at: http://www.adipositas-austria.org/pdf/3031_AMZ_Adipositas_3108_final.pdf. Zugriff am 10. Januar 2007

Ravussin, E.; Lillioja, S.; Anderson, T.; Christin, L., and Bogardus, C. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. J Clin Invest. 1986 Dec; 78 (6): 1568-78.

Sirii, W. The gross composition of the body. Adv Biol Med Phys. 1956; 4: 239-80.

Staatsministerium für Unterricht und Kultus. 2004 Oct 27; Accessed 2007 Jan 22. Available at: http://www.bayern.landtag.de/ElanTextAblage_WP15/Drucksachen/Schriftliche%20Anfragen/15_0003004.pdf.

Statistisches Bundesamt. Mikrozensus [Web Page]. 2006 Jun; Accessed 2007 Jan 10. Available at: www.destatis.de/presse/deutsch/abisz/mikrozensus.htm.

VanItallie, T.; Yang, M.; Heymsfield, S.; Funk, R., and Boileau, R. Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators of nutritional status. Am J Clin Nutr. 1990 Dec; 52 (6): 953-9.

Wang, Z.; Heshka, S.; Gallagher, D.; Boozer, C.; Kotler, D., and Heymsfield, S. Resting energy expenditure-fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2000 Sep; 279 (3): E539-45.

Webster, J.; Hesp, R., and Garrow, J. The composition of excess weight in obese women estimated by body density, total body water and total body potassium. Hum Nutr Clin Nutr. 1984 Jul; 38 (4): 299-306.

Welham, W and Behnke, A. The specific gravity of healthy men. Body weight divided by volume as an index of obesity. 1942. JAMA. 1942; 18: 498.

Willimczik, K. Statistik im Sport. Hamburg: Czwalina 1999.

WHO Obesity and overweight [Web Page]. Accessed 2007 Jan 13. Available at: http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/facts/obesity/en/.

WHO Obesity and overweight [Web Page]. Accessed 2007 Jan 13. Available at: http://www.who.int/dietphysicalactivity/media/en/gsfs_obesity.pdf.

WHO European Ministerial Conference on Counteracting Obesity. WHO European Ministerial Conference on Counteracting Obesity [Web Page]. Accessed 2007 Jan 13.

LEBENSLAUF

Name:	Eva Heinen
geb.:	17. Mai 1981, Düsseldorf
Eltern:	Monika Heinen, geb. Déjosez, kaufmännische Angestellte
	Prof. Dr. med. Edgar Heinen, Facharzt für Innere Medizin – Endokrinologie
Geschwister:	Martin Heinen, geb.:09.04.79, Diplom Chemiker, Ulm
Schulzeit:	1987 – 1991 Grundschule Schwarzenbruck
	1991 – 1997 Leibnitz-Gymnasium, Altdorf
	1997 – 2000 Willibald-Gluck-Gymnasium, Neumarkt i.d.Opf.
Abitur:	30. Juni 2000, Neumarkt i.d.Opf.
Studium:	WS 2000/2001 – SS 2001
	Fitness Leadership (Exercise Physiology)
	School of Education
	ADELPHI University, Garden City, New York, USA
	WS 2001/2002 – SS 2002
	Sportwissenschaft, Diplom
	Friedrich-Schiller-Universität, Jena
	Seit WS 2002/2003
	Sportwissenschaft, Diplom
	Technische Universität München
	Vordiplom: Gesamtnote 2,2
	Zurzeit: 09. Semester

Hauptstudium mit Abschluss: Sportwissenschaftler für den Bereich Prävention und Rehabilitation; Note 2,2

Praktika: 25.02.2002 – bis 08.03.2002:

Kreiskrankenhaus, Roth

24.02.2003 – bis 07.03.2003:

ambulantes Rehazentrum: City-Reha, München

15.03.2004 – bis 26.03.2004:

Firma dok-IN, Nürnberg

01.08.2005 – bis 26.08.2005

Fachklinik Herzogenaurach (Fachklinik für Physikalische Medizin und Medizinische Rehabilitation)

06.03.2006 – bis 31.03.2006

Fachklinikum Borkum (Zentrum für Allergologie, Dermatologie,

Pädiatrie und Pneumologie)

Tätigkeiten: 30.12.2002 – bis 29.05.2004:

Moderatorin und Assistentin bei

9 Live Fernsehen GmbH & Co KG, München

Erworbene Qualifikationen während des Studiums:

Rückenschule, Aquafitness, deutsches Rettungsschwimm-abzeichen in Silber, Sportmassage, Sportphysiotherapie, Erste

Hilfe, Übungsleiter A-Lizenz, Bestätigung zum Erwerb der Qualifikation Skilehrer-Grundstufe

Erworbene Qualifikationen außerhalb des Studiums:

Nordic-Walking Basic Instructor (DNV), Teilnahme an einem eintägigen Rhetorik-Seminar, Doping „Prävention und Kontrolle“, Workshop Diabetes „Bedeutung der Muskulatur“, NLP Practitioner Ausbildung, Zurzeit: Ausbildung zum NLP Master

Fremdsprachen: Englisch und Spanisch

München, den 22.01.2007

Eva Heinen

Erklärung zur Urheberschaft

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die aufgeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe.

München, 18. Januar 2007

……
(Eva Heinen)