

Aus dem Deutschen Institut für Ernährungsforschung Potsdam Rehbrücke
Abteilung Interventionsstudien

Dissertation

„nTOBEC - Eine neue Methode zur Erfassung der Körperzusammensetzung“

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Potsdam

von
Karen Wagner
geb. am 16.09.1975 in Demmin

eingereicht: Februar 2005

I. Abkürzungsverzeichnis	4
1. Einleitung.....	5
2. Theoretische Grundlagen.....	7
2.1 Körperzusammensetzung	7
2.2 Berechnung der Körperzusammensetzung.....	8
2.3 Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung	9
2.3.1 Hydrodensitometrie (HD)	11
2.3.2 Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA)	13
2.3.3 Air Displacement Plethysmography (ADP).....	16
2.3.4 Isotopenverdünnung (IV)	18
2.3.5 Total Body Electrical Conductivity (TOBEC).....	20
2.3.6 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)	22
2.3.7 Hautfaltendickenmessung (HF).....	25
3. Ziele.....	27
4. Probanden und Untersuchungsmethoden	29
4.1 Probanden.....	29
4.2 Allgemeiner Methodenteil.....	30
4.3 Angewandte Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung, des Energieverbrauches und der Energieaufnahme.....	31
Bestimmung des Energieverbrauches während der Intervention	37
Bestimmung der Energieaufnahme während der Intervention.....	37
6. Ergebnisse.....	41
6.1 Anwendbarkeit der neuen Methode	41
6.2 Reproduzierbarkeit der Messwerte der neuen Methode.....	41
6.2 Entwicklung geschlechtsspezifischer Regressionsgleichungen zur Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten der neuen Methode.....	42
6.4 Erfassung der Gesamtkörperfettmasse mit der neuen Methode	44
6.5 Erfassung von Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse	53
6.5.1 Veränderungen von Körpermasse, BMI (kg/m ²), Taille/Hüfte Index, Gesamtkörperfettmasse, Energieaufnahme und –verbrauch während der Intervention	54
6.5.2 Erfassung von Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse durch die angewandten Methoden.....	56
6.5.3 Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse während der ersten Hälfte der Intervention (Woche 0 – 8)	60

6.5.4	Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse während der zweiten Hälfte der Intervention (Woche 8-16).....	64
7.	Diskussion	70
7.1	Anwendbarkeit	70
7.2	Reproduzierbarkeit	72
7.3	Regressionsgleichung.....	75
7.4	Erfassung der Gesamtkörperfettmasse normal- und übergewichtiger Probanden - Methodenvergleich	79
	<i>Methodenvergleich: BIA vs. DXA</i>	86
	<i>Methodenvergleich: Isotopenverdünnung vs. DXA</i>	92
7.5	Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse während der Intervention	93
7.5.1	Interpretation der Ergebnisse zum Energieverbrauch und zur Energieaufnahme während der Intervention	94
7.5.2	Erfassung der Gesamtkörperfettmasse der Probanden.....	95
	der Interventionsgruppe– Methodenvergleich	95
7.5.3	Reduzierte Körperfettmasse während der Intervention- Methodenvergleich	96
8.	Zusammenfassung	100
9.	Literaturverzeichnis	103

I. Abkürzungsverzeichnis

nTOBEC	neue Methode zur Erfassung der Körperzusammensetzung
IVNAA	In-Vivo-Neutronen-AktivierungsAnalyse
PMA	Post-mortem-Analysen
CT	ComputerTomographie
MRT	MagnetResonanz-Tomographie
IS	Infrarot-Spektroskopie
HD	Hydrodensitometrie
DXA	Dual- Energy- X-ray Absorptiometrie
ADP	Air Displacement Plethysmographie
IV	Isotopenverdünnung
TOBEC	Total Body Electrical Conductivity
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
HF	Hautfaltendickenmessung
GKF	Gesamtkörperfett
FFM	Fettfreie Körpermasse
KH	Körperhöhe
KM	Körpermasse
TU	Taillenumfang
HU	Hüftumfang
BMI	Body Mass Index (kg/m ²)

1. Einleitung

Der Mensch ist das Ergebnis des Zusammenwirkens einer Vielzahl biologischer und sozialer Faktoren. Ein harmonisches Verhältnis von Struktur und Funktion des Körpers ergibt sich aus einer ausgeglichenen Stoffwechselbilanz innerhalb eines bestimmten Zeitraums und spiegelt sich – bei Beachtung der biologischen Variabilität - in der Zusammensetzung des Körpers (Muskel- und Fettgewebe, Körperwasser, Skelettmasse), sowie in stoffwechselfysiologischen und biochemischen Parametern wider (Grundy 2000; Bray 2003; Marks 2003).

Zur Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Stoffwechselbilanz auch während Perioden des Nahrungsmangels, hat der Organismus des Menschen die Fähigkeit entwickelt, zuviel aufgenommene Energie in Form von Depotfett zu speichern.

Diese Fähigkeit ist dem Menschen bis zum heutigen Zeitpunkt erhalten geblieben, aber die Lebensbedingungen haben sich z. T. erheblich verändert. Zum einen ist das Angebot an Lebens- und Genussmitteln sehr umfangreich geworden, zum anderen verminderte sich die körperliche Aktivität sowohl im Beruf, als auch in der Freizeit drastisch. Dieser neue Lebensstandard hat allerdings keine Adaptation des Stoffwechsels an den gesunkenen Bedarf bewirken können. Demzufolge ergeben sich eine zu hohe Nahrungsenergieaufnahme und ein zu geringer Energieverbrauch in den Ländern der Überflusgesellschaft. Eine über das normale Maß hinausgehende Akkumulation von Fettgewebe – auch Adipositas genannt- ist die Folge. Adipositas gilt als einer der Hauptrisikofaktoren für Stoffwechselerkrankungen, wie Hypertonie, Diabetes mellitus Typ II und Fettstoffwechselstörungen und nachfolgend für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und ihrer hohen Mortalität (Kahn, Prigeon et al. 2001; Isomaa 2003).

Im Rahmen von Prävention, Diagnose und Therapie der Adipositas ist die Erfassung der Körperzusammensetzung unerlässlich und stellt einen festen Bestandteil der Adipositasforschung dar. Darüber hinaus ermöglichen Aussagen zur Körperzusammensetzung die Diagnose verschiedener pathologischer Zustände. So kann z.B. eine Veränderung des Verhältnisses von extrazellulärem zu intrazellulärem Wasser auf Ödeme oder Aszites deuten. Untersuchungen zur Körperzusammensetzung während bestimmter Wachstumsphasen und während der Schwangerschaft erlauben Aussagen über die Beschaffenheit der zugenommenen Körpersubstanz. Umgekehrt kann bei kritischen Erkrankungen die Zusammensetzung von Gewebeverlusten in Erfahrung gebracht werden. Das Wissen um zugenommene bzw. verlorene Körpersubstanz kann in diesem Sinne maßgeblich zur erfolgreichen Therapie verschiedener Erkrankungen beitragen.

Eine direkte Bestimmung der Körperzusammensetzung kann nur mittels chemischer Analyse oder Neutronenaktivierungsanalyse erfolgen. Beide Methoden sind sehr genau, d.h. sie spiegeln die wahre Zusammensetzung des Körpers wieder, aber sie sind sehr aufwendig und kostenintensiv. Darüber hinaus ist die chemische Analyse nur an der menschlichen Leiche praktikabel (Siri

1956). Um dennoch die Körperzusammensetzung des Menschen hinreichend genau bestimmen zu können, wurden im Laufe der letzten Jahrzehnte neue indirekte Messverfahren entwickelt, welche in Labor- und Feldmethoden eingeteilt werden. Dabei bestechen die Labormethoden durch hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, sind aber zumeist aufwendig, teuer und erfordern eine hohe Kooperationsbereitschaft seitens des Probanden. Sie sind daher für bestimmte Personengruppen, wie z.B. Kinder, ältere Erwachsene und extrem Adipöse nicht anwendbar (Heyward, Cook et al. 1992; Kamimura, Avesani et al. 2003). Feldmethoden sind im Gegensatz dazu leicht anwendbar, transportabel und preiswert, weisen aber eine weniger gute Genauigkeit und Reproduzierbarkeit auf (Jebb and Elia 1993; Fuller, Fowler et al. 1994; Fogelholm and van Marken Lichtenbelt 1997; Gallagher and Song 2003).

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung und Beurteilung einer neu entwickelten Methode zu Erfassung der Körperzusammensetzung. Der Fokus richtet sich dabei auf die Anwendbarkeit und die Fähigkeit der neuen Methode, die Gesamtkörperfettmasse und Veränderungen dieser zu erfassen. Daneben sollen ausgewählte Labor- und Feldmethoden hinsichtlich der Fähigkeit die Gesamtkörperfettmasse und Veränderungen dieser zu bestimmen, eingeschätzt werden.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Körperzusammensetzung

Betrachtet man die atomare bzw. molekulare Ebene der Zusammensetzung des menschlichen Körpers, so sieht man, dass er aus mehr als 50 - der natürlich vorkommenden 92 - chemischen Elementen zusammengesetzt ist. Vier dieser Elemente, nämlich Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff machen allein 96% der gesamten Masse des Körpers aus; mehr als die Hälfte davon ist Sauerstoff. Zusammen mit Wasserstoff als Wasser tragen diese Atome bzw. Moleküle mit über 70% zur Körpermasse bei. Die restlichen vier Prozent setzen sich aus essentiellen Mengen- und Spurenelementen zusammen (Biesalski 1999).

Das theoretische Wissen um die atomare bzw. molekulare Zusammensetzung des Körpers allein kann jedoch nur wenig zur Aufdeckung und Aufklärung von Zusammenhängen zwischen Adipositas und verschiedenen Erkrankungen und darüber hinaus zur Prävention, Diagnose und Therapie der Adipositas beitragen. Vielmehr die Modellierung des menschlichen Körpers kann diesem Zwecke dienen. Im Verlauf der letzten 50 Jahre etablierten sich verschiedene Modelle zur Beschreibung des Körpers.

Das *Zweikompartiment -Modell* unterteilt die Körpermasse in Gesamtkörperfettmasse und fettfreie Körpermasse. Das Modell leitet sich historisch aus der Unterwasserwägung, auch Hydrodensitometrie genannt, ab. Erste Untersuchungen hinsichtlich dieses Modells wurden in den 40er Jahren von Behnke et al. durchgeführt (Behnke, Feen et al. 1995). Die Arbeitsgruppe nutzte die auf Grund von Kadaveranalysen ermittelten Dichteunterschiede zwischen Fett und fettfreier Masse. Fett - definiert als wasser- und kaliumfreie Triglyceride - hat eine Dichte von $0,9 \text{ g/cm}^3$, während die fettfreie Masse – bestehend aus Wasser, Proteinen und Mineralstoffen – eine Dichte von $1,1 \text{ g/cm}^3$ aufweist (Heymsfield and Wang 1993; Snead, Birge et al. 1993). Die Hydrodensitometrie (HD), die Air Displacement Plethysmographie (ADP) und die Hautfaltendickenmessung sind Methoden, die den Körper als Summe aus Fett und fettfreier Masse definieren (Heymsfield, Wang et al. 1989).

Weitergehend zum Zweikompartiment -Modell unterteilt das *Dreikompartiment -Modell* die fettfreie Masse in extrazelluläre Masse und Körperzellmasse. Unter Körperzellmasse versteht man die Summe aller sauerstoffverbrauchenden, kaliumreichen, glucoseoxidierenden und arbeitenden Zellen (Ellis, Shukla et al. 1974). Röntgenanalytische Verfahren, wie die Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) und impedanzanalytische Verfahren, wie die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) ermöglichen die Bestimmung dieser Kompartimente (Chumlea and Guo 1994; Bolanowski and Nilsson 2001).

In jüngster Zeit konnte sich eine Unterteilung in mehr als drei Körperkompartimente durchsetzen. Der Fortschritt liegt in der Fähigkeit, die üblichen Annahmen, wie z.B. den konstanten Hydrierungsgrad der fettfreien Masse, die Dichte des Fettgewebes oder den Kaliumgehalt der Körperzellmasse, die für die klassischen Methoden, wie Hydrodensitometrie essentiell sind, unberücksichtigt zu lassen. Typische *Mehrkompartiment - Modelle* teilen die Körpermasse z.B. in Skelett, Muskulatur, Nichtmuskel-Magermasse und Fett oder in Knochenmineral, Protein, Wasser und Triglyceride. Dabei werden die verschiedenen Kompartimente durch verschiedene Methoden erfasst und in ein und demselben Modell vereinigt (Ellis 2000).

2.2 Berechnung der Körperzusammensetzung

Die am lebenden Menschen angewandten Methoden zur Erfassung der Körperzusammensetzung sind - ausgenommen die Neutronenaktivierungsanalyse - indirekt. Prinzipiell werden physikalische Kenngrößen, wie z.B. Dichten oder Widerstände verschiedener Gewebe gemessen. Mit Hilfe spezieller Regressionsgleichungen, die neben den Messwerten zusätzliche Parameter, wie z.B. Alter oder Geschlecht berücksichtigen, können die einzelnen Kompartimente des Körpers berechnet werden.

So werden zum Beispiel bei der Unterwasserwägung die Körpermasse an Land und im Wasser gemessen. Daraus kann - auf Grundlage einer physikalischen Gesetzmäßigkeit - das Körpervolumen errechnet werden. Unter der Annahme der unterschiedlichen Dichten verschiedener Gewebe können das Gesamtkörperfett und die fettfreie Masse berechnet werden (Jackson and Pollock 1978; Behnke, Feen et al. 1995).

Wie erfolgt die Erstellung einer Regressionsgleichung für ein indirektes Messverfahren? An einer ausreichend großen Studienpopulation werden sowohl das indirekte Messverfahren als auch eine Referenzmethode angewandt. Dabei gelten die Ergebnisse der Referenzmethode als wahre Ergebnisse. Verschiedene statistische Verfahren, wie z.B. die multiple Regressionsanalyse erlauben die Entwicklung einer Gleichung, die neben den Messwerte des indirekten Messverfahren auch andere Parameter, wie z.B. Alter und Geschlecht nutzt, um die gewünschte Zielgröße zu berechnen. Die mit der neuen Gleichung berechnete Zielgröße soll möglichst gut mit der aus der verwendeten Referenzmethode übereinstimmen. Zur Prüfung der entwickelten Regressionsgleichung auf Allgemeingültigkeit, wird eine weitere, unabhängige Studienpopulation rekrutiert. An dieser werden wiederum die Referenzmethode und jenes Messverfahren angewendet, für welches die Regressionsgleichung erstellt wurde. Stimmen die mit der neuen Gleichung berechneten Ergebnisse mit denen der Referenzmethode auch für diese unabhängige Studienpopulation gut überein, kann das indirekte Messverfahren in Zusammenhang mit der neu

entwickelten Gleichung angewendet werden (Peterson, Czerwinski et al. 2003; Sun, Chumlea et al. 2003).

Das beschriebene Verfahren ermöglicht die Entwicklung spezieller Regressionsgleichungen. So können z.B. Gleichungen für Kinder, Sportler oder Adipöse entwickelt werden. Diese populationsspezifischen Gleichungen berücksichtigen Unterschiede einzelner Gewebe in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht oder Körperzusammensetzung und ermöglichen somit eine möglichst genaue Berechnung der Zielgröße für bestimmte Gruppen. So ist z.B. bekannt, dass die Dichte der Körperfettmasse normalgewichtiger und adipöser Menschen oder der Hydrierungsgrad der fettfreien Körpermasse bei Kindern und Erwachsenen unterschiedlich sind (Marken Lichtenbelt and Fogelholm 1999; Wang, Deurenberg et al. 1999; Das, Roberts et al. 2003).

Die Möglichkeit der Erstellung spezieller Regressionsgleichungen unter Verwendung verschiedener Referenzmethoden ist aber auch Ursache der Vielzahl verschiedener Gleichungen zur Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Messwerten ein und derselben Methode (Bray, DeLany et al. 2002; Phillips, Bandini et al. 2003).

2.3 Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

In den letzten 50 Jahren konnte eine Vielzahl verschiedener Mess- und Analysemethoden zur Erfassung der Zusammensetzung des menschlichen Körpers entwickelt werden. **Tabelle 1** informiert über die gebräuchlichsten Labor- und Feldmethoden.

Tabelle 1. Labor- und Feldmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

Labormethoden	Feldmethoden
Post-mortem-Analysen (PMA)	Bioelektrische ImpedanzAnalyse (BIA)
In-Vivo-Neutronen-AktivierungsAnalyse (IVNAA)	HautFaltendickenmessung (HF)
ComputerTomographie (CT)	Infrarot-Spektroskopie (IS)
MagnetResonanz-Tomographie (MRT)	
Sonographie	
HydroDensitometrie (HD)	
Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DXA)	
Air Displacement Plethysmography (ADP)	
IsotopenVerdünnungsmethode (IV)	
⁴⁰ K-Zählung	
Total Body Electrical Conductivity (TOBEC)	

Die Post-Mortem-Analyse (PMA) und die In-Vivo-Neutronenaktivierungsanalyse (IVNAA) sind direkte Methoden. Sie ermöglichen direkte Messungen und spiegeln die wahre

Körperzusammensetzung wieder. Dabei sind beide Methoden in der Lage, differenzierteste Aussagen über die Zusammensetzung des menschlichen Körpers zu treffen. Beide müssen aber als reine Forschungsmethode bezeichnet werden, da allein aus Kostengründen ein routinemäßiger Einsatz undenkbar ist (Cohn 1981; Ellis 2000).

Computertomographie, Magnetresonanztomographie und Sonographie ermöglichen quantitative Aussagen über das Volumen von Fettgewebe und Muskulatur. Die Methoden beschreiben die Zusammensetzung einzelner Körperareale, deren Ergebnisse auf den gesamten Körper bzw. auf bestimmte Körperkompartimente extrapoliert werden (Elia and Ward 1999; Ellis 2000). Sie stützen sich auf die Annahme einer konstanten Zusammensetzung der fettfreien Körpermasse und sind daher gewissen Limitierungen unterworfen. Diese gelten besonders für Patienten mit einem gestörten Wasserhaushalt, Kindern, Adipösen, älteren Erwachsenen und Leistungssportlern (Wang, Deurenberg et al. 1999). Verdünnungstechniken erlauben die Messung des Gesamtkörperwassers. Mit verschiedenen stabilen Isotopen markiertes Wasser wird oral oder intra-venös verabreicht. Eine gleichmäßige Verteilung des Isotops im Körper, die nach ca. 4 Stunden eintritt, wird abgewartet. Die Konzentration des metabolisierten Isotops kann in einer der Körperflüssigkeiten (Urin, Speichel, Serum) gemessen werden und lässt Rückschlüsse auf das Gesamtkörperwasser zu. In der Praxis erweist sich die Methode als relativ aufwendig.

Bei der ⁴⁰Kalium-Zählung wird das natürlich im Körper vorkommende Kaliumisotop ⁴⁰K mittels eines Ganzkörperzählers erfasst. Unter der Annahme einer konstanten Kaliumkonzentration der fettfreien Körpermasse kann diese berechnet werden. Dieses Messverfahren ist sehr teuer, dauert lange und unterliegt der Limitierung, dass die Kaliumkonzentration einzelner Gewebe schwankt.

Densitometrische Verfahren, wie die Hydrodensitometrie (HD) und die Air Displacement Plethysmography (ADP) sowie röntgenanalytische Verfahren gelten als sehr genau und fungieren häufig als etablierte Referenzmethoden zur Erfassung der Körperzusammensetzung (Brodie 1988; Brodie 1988; Deurenberg and Schutz 1995).

Feldmethoden, wie die Hautfaltendickenmessung oder die bioelektrische Impedanzanalyse zeichnen sich besonders durch die einfache Anwendbarkeit aus. Dies ermöglicht einen Einsatz auch außerhalb des Labors. Dennoch zeigte sich, dass diese Methoden weniger genau sind (Jebb and Elia 1993; Kamimura, Avesani et al. 2003).

Die Beurteilung der neu entwickelten Methode erfolgt durch den Vergleich der Ergebnisse mit denen bereits etablierter Methoden. Dazu werden im Rahmen dieser Arbeit ein röntgenanalytisches (DXA) und zwei densitometrische (ADP, HD) Messverfahren als anerkannte Labormethoden ausgewählt. Als etablierte Feldmethoden werden die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) und die Hautfaltendickenmessung (HF) eingesetzt. **Tabelle 2** fasst die ausgewählten Methoden zusammen.

Tabelle 2. Überblick über die im Rahmen der Arbeit angewandten Labor- und Feldmethoden

Labormethoden	Feldmethoden
HydroDensitometrie (HD)	Bioelektrische ImpedanzAnalyse (BIA)
Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DXA)	HautFaltendickenmessung (HF)
Air Displacement Plethysmography (ADP)	
IsotopenVerdünnungsmethode (IV)	
Total Body Electrical Conductivity (TOBEC)	

Im folgenden Kapitel werden die Prinzipien, die Vor- und Nachteile sowie das Einsatzgebiet der in dieser Arbeit eingesetzten Labor- und Feldmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung ausführlich vorgestellt.

2.3.1 Hydrodensitometrie (HD)

Die Hydrodensitometrie - auch Unterwasserwägung genannt - ist eine indirekte Labormethode, mit deren Hilfe auf Grundlage des Zweikompartiment- Modells sowohl das Körperfett als auch die fettfreie Masse bestimmt werden können (Ellis 2000).

Mittels Unterwasserwägung wird das Volumen des Probanden nach dem Prinzip von Archimedes bestimmt. Danach ist die Auftriebskraft, die ein Körper in einer Flüssigkeit erfährt, dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge gleich. Unter Berücksichtigung der Körpermasse und des gemessenen Volumens errechnen sich die Körperdichte und daraus das Gesamtkörperfett und die fettfreie Masse (Jackson and Pollock 1978; Behnke, Feen et al. 1995).

Da die Dichte des Körpers von der Dichte des Wassers und diese wiederum von der jeweiligen Wassertemperatur abhängen, errechnet sich das Körpervolumen gemäß (Stöcker 1994):

$$V [m^3] = (KM_L [g] - KM_W [g]) / D_w,$$

wobei: V = Volumen des Körpers [m^3], KM_L = Körpermasse an Land [g],
 KM_W = Körpermasse im Wasser [g], D_w = Dichte des Wassers [g / m^3].

Das Residualvolumen der Lunge und das Gas im Gastrointestinaltrakt sind zwei Volumina, die mit erfasst werden, aber nicht zum Körpervolumen gehören und daher bei der Berechnung der Körperdichte abgezogen werden müssen. Für das Volumen des Gastrointestinaltraktes nimmt man einen konstanten Wert von 100 ml an (Akers and Buskirk 1969; Organ, Eklund et al. 1994; Wagner and Heyward 1999). Das Residualvolumen - das Volumen, welches nach maximaler Ausatmung noch in der Lunge verbleibt und willentlich nicht beeinflussbar ist – kann unter Verwendung verschiedener Tracer-Gase oder extern mittels Body-Plethysmographie erfasst

werden (Wilmore 1969; Roche, Heymsfield et al. 1996). Unter Berücksichtigung der Volumina ergibt sich folgende Gleichung zur Berechnung der Körperdichte (D):

$$D = \text{KM}_L / [((\text{KM}_L - \text{KM}_W) / D_w) - (\text{RV} + 0.1)],$$

wobei: RV = Residualvolumen [l].

Die Anwendung populationspezifischer Regressionsgleichungen erlaubt die Berechnung der Kompartimente Gesamtkörperfettmasse und fettfreie Körperfettmasse aus der Körperdichte (Siri 1961; Brozek, Grande et al. 1963).

Die Hydrodensitometrie gilt bis zum heutigen Tag bei vielen Autoren als „Goldener Standard“ zur Erfassung der Körperzusammensetzung des Menschen (Heymsfield and Wang 1993; Fogelholm and van Marken Lichtenbelt 1997; Ellis 2000). Diese Annahme resultiert aus den Ergebnissen der Validierung der Methode an der chemischen Analyse - einer direkten Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung - an einigen menschlichen Leichen (Siri 1956; Siri 1961). Im Rahmen dieser Validierungsstudien wurden allgemeingültige Angaben - als Wichtigste seien der Hydrierungsgrad (73,2%) der fettfreien Masse und die konstanten Dichten der Körperfettmasse und der fettfreien Körpermasse erwähnt - und Regressionsgleichungen zur Berechnung der Körperzusammensetzung entwickelt, die auch heute noch Anwendung finden (Siri 1956; Siri 1961; Brozek, Grande et al. 1963).

Diese allgemeingültigen Annahmen können jedoch die individuellen Schwankungen der Dichte einzelner Kompartimente und des Hydrierungsgrades der fettfreien Masse des einzelnen Individuums nicht berücksichtigen und gelten daher als Fehlerquellen des indirekten Messverfahrens (Wang, Deurenberg et al. 1999). Eine weitere Limitierung der Methode stellt das Untertauchen des gesamten Körpers unter Wasser dar, was sich besonders bei Kindern, Älteren und Kranken oftmals als unmöglich erweist.

Die Bestimmung der Körperzusammensetzung mit der Hydrodensitometrie ist ein fester Bestandteil zahlreicher Studien, deren Fragestellung sich auf Krankheiten des metabolischen Syndroms konzentrieren. So konnte die Methode zur Aufklärung der Zusammenhänge zwischen Adipositas, Insulinresistenz und Diabetes mellitus II beitragen (Chandalia, Abate et al. 1999; Weyer, Pratley et al. 2000; Weyer, Tataranni et al. 2001; Punjabi, Sorkin et al. 2002). Die Erforschung der Zusammenhänge zwischen Adipositas, Serumspiegeln verschiedener Fettgewebshormone und der Insulinresistenz kann gleichfalls nur erfolgen, wenn eine zuverlässige und genaue Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung genutzt wird - die Hydrodensitometrie (Butte, Hopkinson et al. 1997; Stefan, Vozarova et al. 2002; Ukkola,

Kesaniemi et al. 2004; Volarova de Courten, Degawa-Yamauchi et al. 2004). Die Aufdeckung der Beziehung zwischen Adipositas und dem Energiestoffwechsel stellt eine weitere Herausforderung dar. Dabei gilt die Hydodensitometrie als eine häufig genutzte Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung (Albu, Shur et al. 1997; Norman, Tataranni et al. 1998; Ukkola, Tremblay et al. 2001; Hukshorn, Westerterp-Plantenga et al. 2003; Kamphuis, Lejeune et al. 2003).

Tabelle 3. Grundlagen der HydroDensitometrie (HD)

Kompartimierung	<ul style="list-style-type: none"> • 2-Kompartimentmodell <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamtkörperfettmasse, fettfreie Körpermasse
Prinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Messung des Körpervolumens durch Verdrängung von Wasser (Prinzip von Archimedes)
Erfasste Messgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Körpervolumen (berechnet aus Körpermasse an Land und im Wasser) • Residualvolumen
Berechnung	<ul style="list-style-type: none"> • Körperdichteberechnung aus Volumen und Masse • Berechnung der Kompartimente auf Grund unterschiedlicher Dichten verschiedener Gewebe
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • „Goldener Standard“ • gut reproduzierbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • totales Untertauchen als limitierender Faktor; vor allem bei Kindern, älteren Erwachsenen und Kranken • teuer • nur wenige hydrodensitometrische Anlagen existieren weltweit
Beispielhafte Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Erforschung der Zusammenhänge zwischen Adipositas und metabolischen Syndrom • Erforschung der Zusammenhänge zwischen Adipositas und Energiestoffwechsel

2.3.2 Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA)

DXA ist eine indirekte, radiologische Labormethode, mit deren Hilfe auf Grundlage eines Dreikompartiment -Modells die Gesamtkörperfettmasse, die fettfreie Körpermasse und die Knochenmineraldichte bestimmt werden können. Aufgrund der unterschiedlichen Absorption von Röntgenstrahlen durch die verschiedenen Körpergewebe kann eine Differenzierung des Körpers in die einzelnen Kompartimente erfolgen (Pietrobelli, Formica et al. 1996; Jebb 1997).

Physikalische Grundlagen:

Treffen Photonen (z.B. von Röntgenstrahlung) auf einen Körper (Absorbant), kollidieren sie mit orbitalen Elektronen des Absorbanten. Einige Photonen verlieren dabei einen Anteil ihrer Energie an die Elektronen (Comptoneffekt). Andere Photonen, die auf Orbital-Elektronen mit sehr festen Bindungen treffen, verlieren ihre Energie gänzlich an diese (photoelektrische Kollision).

Die Energie der Photonen sinkt exponentiell mit der Zunahme der Schichtdicke des Absorbanten. Das Ausmaß des Energieverlustes ist abhängig von der initiierten Photonenenergie, der Masse pro Einheit Fläche des Absorbanten und dem Massenschwächungskoeffizienten des Absorbanten (Rao and Gregg 1975; Pietrobelli, Formica et al. 1996). Für jedes Element und für jedes Energielevel existiert ein Massenschwächungskoeffizient, der verschiedenen Standardphysikwerken entnommen werden kann (Stöcker 1994).

Wird mittels DXA ein 3-dimensionaler Absorbant gescannt, so ergibt sich ein zweidimensionales Bild, das sich aus verschiedenen Pixeln zusammensetzt. Jeder dieser Pixel ist gleichgroß und stellt eine Momentaufnahme eines Teils des Absorbanten während des Scans dar. Man bezeichnet die Masse an Absorbant pro Pixel (1 cm^2) als Masse pro Einheit Fläche. Die Masse pro Einheit Fläche berechnet sich aus dem bekannten Massenschwächungsquotienten und der Energie der initiierten und abgeschwächten Strahlung. Der berechnete Wert gibt eine Auskunft darüber, wie viel Masse der Absorbant pro cm^2 aufweist (Cullum, Ell et al. 1989; Blake and Fogelman 1997).

DXA arbeitet mit Röntgenstrahlen zweier Energiebereiche - 40 keV und 70 keV (Mazess, Barden et al. 1990).

Die Abschwächung der Ausgangsstrahlung beim Durchdringen des menschlichen Körpers wird gemessen. Bildet man den Quotienten aus den Abschwächungen der Röntgenstrahlen bei den verschiedenen Energielevels, errechnet sich die konstante Abweichung der Strahlen für das entsprechende Körperkompartiment.

Unter der Annahme, dass die konstante Abweichung der Strahlung für das weiche Gewebe linear zur Menge an Fett im Gewebe ist, können die Körperfettmasse und die fettfreie Masse ohne knöchernen Anteil berechnet werden (Mazess, Barden et al. 1990; Roubenoff, Kehayias et al. 1993; Pietrobelli, Formica et al. 1996; Bachrach 2000).

DXA gilt heute als eine etablierte Referenzmethode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Verschiedene Studien bewiesen die hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Methode. Ma et al. 1999, fanden sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse aus DXA im Vergleich zur IVNAA ($r = 0,96$, $p = 0,001$). Die Autoren führten

Versuche zur Reproduzierbarkeit durch und berichten über exzellente Variationskoeffizienten von 1% für die Knochenmineraldichte und 2% für das Gesamtkörperfett (Ma, Ellis et al. 1999). Mazess et al. 1990, verweisen auf eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Untersuchungen hinsichtlich der Reproduzierbarkeit an zwölf Probanden ergaben eine maximale Abweichung von 1,8% in der Knochenmineraldichte (Mazess, Barden et al. 1990).

Als besonderer Vorteil sei die Möglichkeit der regionalen Erfassung der Körperzusammensetzung (Arme, Beine, Oberkörper) genannt.

Eine nicht auszuschließende Fehlerquelle stellt die Annahme der konstanten Hydrierung der fettfreien Masse dar, die in Abhängigkeit des Alters, des Geschlechts oder des Anteils an Gesamtkörperfettmasse z.T. recht erheblich variieren kann (Wang, Deurenberg et al. 1999). Als weiterer Nachteil sei die, wenn auch geringe Dosis einer Röntgenstrahlung von ca. 5 μ Sv genannt.

Die DXA ist eine häufig genutzte Methode zur Erfassung der Körperzusammensetzung im Rahmen von Diagnose und Therapie der Adipositas. Rosenfalck et al. 2002, strebten die Beschreibung der Körperzusammensetzung Erwachsener mit Diabetes Typ I während des ersten Jahres einer Insulintherapie an und fanden dabei, dass die Zunahme an Körpermasse hauptsächlich durch den Aufbau von Körperfett verursacht wurde (Rosenfalck, Almdal et al. 2002). Die Frage, inwieweit der Serumleptinspiegel an Akromegalie (ausgeprägte selektive Vergrößerung der Akren nach dem Wachstumsalter) erkrankter Menschen in Zusammenhang mit dem Gesamtkörperfett und Insulin- bzw. Glukoselevels steht, versuchten Bolanowski et al. 2002, zu klären. Die Autoren nutzten zur Erfassung der Körperzusammensetzung die DXA (Bolanowski, Milewicz et al. 2002). Daneben wird die Methode in Studien mit unterschiedlichen Fragestellungen genutzt - so zielten Bosity-Westphal et al. 2003, auf die Klärung der Frage, weshalb der Grundumsatz mit zunehmendem Alter abnimmt (Bosity-Westphal, Eichhorn et al. 2003).

DXA findet sich auch in Studien mit genetischen Hintergründen. So trugen Dionne et al. 2002, zur Klärung der Frage bei, ob ein Zusammenhang zwischen Adipositas und einem Polymorphismus im β_1 -Adrenorezeptor vorliegt (Dionne, Garant et al. 2002). Das röntgenanalytische Verfahren hat sich zudem als Referenzmethode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung etabliert. Zahlreiche Autoren nutzen die Methode um andere Messverfahren, wie z.B. BIA oder ADP zu beurteilen und zu optimieren (De Lorenzo, Bertini et al. 1998; Clasey, Kanaley et al. 1999; Bosity-Westphal, Mast et al. 2003).

Tabelle 4. Grundlagen der **Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA)**

Kompartimierung	<ul style="list-style-type: none">• 3-Kompartimentmodell<ul style="list-style-type: none">▪ Gesamtkörperfettmasse, fettfreie Körpermasse, Knochenmineraldichte
Prinzip	<ul style="list-style-type: none">• unterschiedliche Absorption von Röntgenstrahlen durch verschiedene Körpergewebe
Erfasste Messgrößen	<ul style="list-style-type: none">• Abschwächung von Röntgenstrahlung durch verschiedene Gewebe des Körpers
Berechnung	<ul style="list-style-type: none">• Berechnung der konstanten Strahlung für die verschiedenen Gewebe unter Einbeziehung der spezifischen Massenschwächungskoeffizienten
Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• genau• gut reproduzierbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• Strahlenbelastung• Modellvorstellung (konstante Hydrierung der FFM von 73,2%)
Beispielhafte Anwendung	<ul style="list-style-type: none">• Dokumentation von Veränderungen der Körperzusammensetzung• Erklärung von Zusammenhängen zwischen Fettgewebshormonen und Körperzusammensetzung• Erkennung von Zusammenhängen zwischen Adipositas und Polymorphismen

2.3.3 Air Displacement Plethysmography (ADP)

ADP ist eine indirekte, densitometrische Labormethode, mit deren Hilfe auf Grundlage des Zweikompartiment -Modells sowohl das Körperfett, als auch die fettfreie Masse bestimmt werden können (Van Loan and Koehler 1990; Elia and Ward 1999).

Dabei wird das Körpervolumen des Probanden bestimmt. Unter Berücksichtigung der Körpermasse und des gemessenen Volumens errechnen sich die Körperdichte, das Gesamtkörperfett und die fettfreie Masse (Ellis 2000).

Das Körpervolumen wird in einem BodPod (Messgerät) gemessen.

Der BodPod besteht aus zwei Kammern, wobei die vordere - mit 450 Liter Volumen - die Messkammer und die hintere - mit 300 Liter Volumen - die Referenzkammer darstellt. Beide Kammern sind durch eine flexible Membran miteinander verbunden. Während der Messung schwingt die Membran, so dass in beiden Kammern sinusoidale Volumenänderungen erzeugt werden. Diese Veränderungen sind in ihrem Ausmaß identisch, verhalten sich jedoch entgegengesetzt zueinander, d.h. nimmt das Volumen in der Messkammer zu, nimmt es um denselben Betrag in der Referenzkammer ab. Die Volumenänderungen resultieren in

Druckveränderungen, welche durch das Gerät erfasst werden (McCrorry, Gomez et al. 1995; Elia and Ward 1999; Fields, Goran et al. 2002). Auf Grundlage des Poisson'schen Gesetz, welches unter nicht-isothermen Zuständen gilt, wird über den erfassten Druck das Körpervolumen berechnet (Stöcker 1994; Fields, Goran et al. 2002).

Unter Berücksichtigung des Residualvolumens und des Volumens der Gase im gastrointestinalen Trakt wird die Körperdichte - als Quotient aus Körpermasse und Körpervolumen - berechnet. Unter der Annahme, der konstanten Dichten von Fett und fettfreier Masse, errechnen sich das Gesamtkörperfett und die fettfreie Masse (Weits and Koppeschaar 1989; Behnke, Feen et al. 1995; McCrorry, Mole et al. 1998).

Dieses densitometrische Verfahren stellt ein schnelles, einfach anwendbares und nicht-invasives Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung dar. Dabei ist es – auf Grund der einfachen Anwendung - möglich, die Körperzusammensetzung von Kindern, älteren Erwachsenen und Kranken zuverlässig und schnell zu bestimmen.

Dempster & Aitkens 1995, verweisen auf eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit (Variationskoeffizient $C_V = 0,025\%$), getestet mittels serieller Messungen eines bekannten Volumens (Dempster and Aitkens 1995). McCrorry et al. 1995, fanden einen Variationskoeffizienten bei seriellen Messungen am Menschen von $C_V = 1,7\%$.

Auch bei dieser Methode gilt die Annahme einer konstanten Hydrierung der fettfreien Körpermasse. Diese Annahme kann jedoch nicht für jedes einzelne Individuum angenommen werden, so dass gerade bei Kindern, älteren Erwachsenen und Patienten mit Störungen des Wasserhaushaltes Fehler in der Berechnung der Körperzusammensetzung auftreten können.

Dennoch konnte sich die relativ neue Methode auf Grund der einfachen Anwendung als ein Instrumentarium durchsetzen, welches gerade bei der Erfassung der Körperzusammensetzung von Kindern und älteren Erwachsenen Anwendung findet (Nicholson, McDuffie et al. 2001; Bosy-Westphal, Mast et al. 2003; Murphy, Buntain et al. 2004). Darüber hinaus wird ADP als Methode eingesetzt, um Veränderungen der Körperzusammensetzung zu dokumentieren (Weyers, Mazzetti et al. 2002; Elberg, McDuffie et al. 2004).

Tabelle 5. Grundlagen der Air Displacement Plethysmography (ADP)

Kompartimierung	<ul style="list-style-type: none">• 2-Kompartimentmodell<ul style="list-style-type: none">▪ Gesamtkörperfettmasse, fettfreie Körpermasse
Prinzip	<ul style="list-style-type: none">• Messung des Körpervolumens durch Verdrängung von Luft (Poisson'schen Gesetz)
Erfasste Messgrößen	<ul style="list-style-type: none">• Körpervolumen, Lungenvolumen
Berechnung	<ul style="list-style-type: none">• Körperdichteberechnung aus Volumen und Masse• Berechnung der Kompartimente auf Grund unterschiedlicher Dichten verschiedener Gewebe
Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• genau• gut reproduzierbar• anwendbar bei Kindern, älteren Erwachsenen und Kranken
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• empfindlich gegenüber Schwankungen des Luftdruckes und der Außentemperatur• teuer
Anwendung	<ul style="list-style-type: none">• etablierte Methode zur Erfassung der Körperzusammensetzung älterer Erwachsener und Kinder• Dokumentation von Veränderungen der Körperzusammensetzung

2.3.4 Isotopenverdünnung (IV)

Die Isotopenverdünnung stellt ein indirektes Messverfahren dar, mit dessen Hilfe auf Grundlage des Dreikompartiment -Modells das Gesamtkörperwassers und daraus folgend die fettfreie Masse und das Gesamtkörperfett berechnet werden können. Es gilt das grundsätzliche Prinzip, dass das Volumen eines Kompartiments als Quotient der Konzentration einer verabreichten Dosis des Isotops und der Konzentration des Isotops im betrachteten Kompartiment nach einer Equilibrierungsphase definiert wird.

Dabei wird angenommen, dass die gespeicherten Triglyceride nahezu wasserfrei sind und die fettfreie Masse einen konstanten Hydrierungsgrad von 73,2 % aufweist. Weiterhin gilt, dass das benutzte Isotop das gleiche Verteilungsvolumen wie Wasser hat und vom Organismus wie Wasser metabolisiert wird (Ellis 2000).

Bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung mit einer Verdünnungsmethode stellen $^3\text{H}_2\text{O}$, D_2O , H_2^{18}O häufig genutzte Isotope dar. Im Allgemeinen werden zwei Proben einer Körperflüssigkeit (Urin, Speichel, Blut) entnommen: 1. eine Basalprobe zur Bestimmung der Hintergrundanreicherung des Isotops vor Verabreichung der Dosis des Isotops, 2. eine erneute Probe nach Verabreichung der Dosis unter Annahme einer gleichmäßigen Verteilung des Isotops

(nach ca. 2 – 4 h) im Körper. Das Isotop (Tracer) wird, bezogen auf das Körpergewicht verabreicht.

Die Bestimmung der Menge des metabolisierten Isotops erfolgt im Massenspektrometer (LaForgia and Withers 2002) (Fields, Goran et al. 2002) (Fidanza 1991). Das Verteilungsvolumen des Isotops wird unter Berücksichtigung der verabreichten und verstoffwechselten Dosis berechnet. Aus dem berechneten Verteilungsvolumen des Isotops kann unter Nutzung eines Korrekturfaktors das Gesamtkörperwasser berechnet werden (Schoeller, van Santen et al. 1980). Da die Fettmasse weitestgehend wasserfrei ist, gilt das Gesamtkörperwasser als Index der fettfreien Masse. Unter der Annahme eines mittleren Wassergehaltes der fettfreien Masse von 73,2 % kann diese wie folgt berechnet werden (Fields, Goran et al. 2002):

$$\text{FFM [kg]} = \text{TBW [L]} / 0,732,$$

wobei: TBW [L] = Gesamtkörperwasser, FFM [kg] = fettfreie Masse.

Das Gesamtkörperfett ergibt sich nachfolgend aus der Differenz zwischen Körpermasse und fettfreier Masse.

Die Verdünnungsmethode ist eine nichtinvasive Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Sie gilt als sehr genau und gut reproduzierbar (Elia and Ward 1999).

Die Methode ist eine Standardmethode zur Erfassung des Gesamtkörperwassers (Littlewood, Trocki et al. 2003). Die Grundlage der Berechnung von Körperfett und fettfreier Masse aus dem Gesamtkörperwasser bildet die Annahme einer konstanten Hydrierung der fettfreien Masse. Für Kinder, Senioren und Patienten mit Störungen im Wasserhaushalt gilt diese Annahme jedoch nicht uneingeschränkt (Wang, Deurenberg et al. 1999). Somit ist die Methode limitiert, die Gesamtkörperfettmasse hinreichend genau zu erfassen. Die Verdünnungsmethode ist eine relativ aufwendige und teure Methode und erfordert eine hochwertige technische Ausrüstung zur Analyse der Proben.

Die Isotopenverdünnung findet Anwendung in Studien, in denen das Gesamtkörperwasser verschiedener Studienpopulationen erfasst werden soll und wird häufig als eine Referenzmethode zur Validierung anderer Methoden genutzt. Littlewood et al. 2002, nutzten die Referenzmethode um zu prüfen, inwieweit die bioelektrische Impedanzanalyse in der Lage ist, den Gesamtkörperwasser von Kindern hinreichend genau zu bestimmen (Littlewood, Trocki et al. 2003). La Forgia et al. 2004, beschäftigten sich mit den Zusammenhängen zwischen Grundumsatz und fettfreier Masse. Dabei nutzten sie unter anderem die Isotopenverdünnungsmethode zur Erfassung des Gesamtkörperwassers (LaForgia, van der Ploeg

et al. 2004). Die Klärung der Aufgaben des Fettgewebshormons Leptin bei schwangeren und stillenden Frauen war ein Ziel von Butte et al. 1997. Dabei nutzen die Autoren die DXA zur Erfassung der Gesamtkörperfettmasse und die Isotopenverdünnungsmethode zur Bestimmung des Gesamtkörperwassers (Butte, Hopkinson et al. 1997). Hukshorn et al. 2003, beschäftigten sich ebenfalls mit dem Fettgewebshormon Leptin. Sie wollten Zusammenhänge zwischen Leptin und der Regulation des Appetites des Menschen während einer Reduktionsdiät aufklären. Dabei wurde die Körperzusammensetzung mit der Hydrodensitometrie und der Isotopenverdünnung bestimmt (Hukshorn, Westerterp-Plantenga et al. 2003).

Tabelle 6. Grundlagen der IsotopenVerdünnung (IV)

Kompartimierung	<ul style="list-style-type: none"> • 3-Kompartimentmodell <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamtkörperwasser, Gesamtkörperfettmasse, fettfreie Körpermasse
Prinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen eines Kompartiments ergibt sich als Quotient der Konzentration der verabreichten Dosis eines stabilen Isotops und der Konzentration des Isotops im betrachteten Kompartiment nach einer Equilibrierungsphase
Erfasste Messgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Konzentration des metabolisierten Isotops; Körpermasse
Berechnung	<ul style="list-style-type: none"> • Konzentration des metabolisierten Isotops als Indikator für das Gesamtkörperwasser
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • „goldener Standard“ zur Erfassung des Gesamtkörperwassers • genau • gut reproduzierbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • aufwendig • teuer
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Isotopenverdünnung als Referenzmethode Klärung der Zusammenhänge zwischen Grundumsatz und fettfreier Masse • Klärung der Aufgaben und Regulationsmechanismen des Hormons Leptin

2.3.5 Total Body Electrical Conductivity (TOBEC)

TOBEC ist eine indirekte, elektromagnetische Labormethode, mit deren Hilfe auf Grundlage des *Zweikompartiment-* Models sowohl die Körperfettmasse, als auch die fettfreie Körpermasse bestimmt werden können (Van Loan and Koehler 1990).

Man geht davon aus, dass die Leitfähigkeit (1/spezifischer Widerstand) eines Gewebes vom Wasseranteil, der freien Elektrolytkonzentration, der Temperatur und der Frequenz des Stromes abhängig ist (Robin, Heitz et al. 2002). Die Leitfähigkeit der fettfreien Masse ist zwanzig Mal höher, als die von Fett. Daraus ergibt sich der Zusammenhang, dass die Gesamtkörperleitfähigkeit

direkt proportional zum Volumen der Körperfettmasse und der fettfreien Masse des Körpers ist (Geddes and Baker 1967; Roche, Heymsfield et al. 1996).

Mit Hilfe einer Magnetspule wird ein elektromagnetisches Feld generiert, wobei das generierte Feld senkrecht zum Stromfluss und parallel zur Achse der Spule verläuft. Wird ein Körper in das elektromagnetische Feld eingebracht, so wird in den leitenden Teilen des Körpers ein „Wirbelstrom“ induziert. Das Ausmaß des induzierten Stromes ist abhängig von der Stärke des magnetischen Feldes, der Impedanz und der Materialquerschnittsfläche der leitenden Teile des Körpers.

Technisch gesehen, misst TOBEC die absorbierte Energie, die bei der Induktion von Strom im leitenden Teil des Körpers (fettfreie Masse) in Form von Wärme freigesetzt wird. Unter der vereinfachten Annahme, dass das Volumen des Zylinders (menschlicher Körper) dem Produkt aus Materialquerschnittsfläche und Länge des Zylinders entspricht, können mittels Fourieranalysen die einzelnen Kompartimente des Körpers berechnet werden (Presta, Segal et al. 1983; Van Loan and Mayclin 1987; Van Loan and Koehler 1990; Fiorotto and Klish 1991)

TOBEC ist eine nicht-invasive und einfach anzuwendende Methode. Die Ergebnisse sind gut reproduzierbar. Variationskoeffizienten zwischen 2 und 3% bei der Bestimmung der fettfreien Masse wurden beobachtet (Fidanza 1991). Presta et al. 1983, fanden gute Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen von TOBEC und der Hydrodensitometrie ($r = 0,97$, $p < 0,001$) (Presta, Wang et al. 1983). Horsewill et al. 1989, verglichen die Ergebnisse (fettfreie Masse) von TOBEC mit denen aus der Gesamtkörperkaliummessung und berichteten ebenfalls über gute Übereinstimmungen ($r^2 = 0,88$) (Horswill, Geeseman et al. 1989).

Die Methode basiert auf der Annahme, der Körper stellt einen Zylinder dar und die fettfreie Körpermasse sei konstant zu 73,2 % hydriert. Individuelle Abweichungen dieser Annahmen, wie sie besonders bei Kindern, Senioren und Patienten mit Störungen im Wasserhaushalt zu beobachten sind, werden dabei nicht berücksichtigt. Zudem sind handelsübliche TOBEC-Messgeräte auf Grund der Magnetspulenordnung sehr groß (z.B. HA-2-Scanner: ca. sechs Meter lang, über einen Meter breit, ca. anderthalb Meter hoch und ca. 1 Tonne schwer) und daher nur im Labor einsetzbar (Robin, Heitz et al. 2002).

In den 80-iger Jahren wurde die nichtinvasive Methode hauptsächlich zur Erfassung der Körperzusammensetzung bei Kindern und Schwangeren eingesetzt (Van Loan, Belko et al. 1987; Fiorotto and Klish 1991; Tomezsko, Scanlin et al. 1994; de Bruin, Westerterp et al. 1995; Silliman and Kretchmer 1995; Kretsch, Green et al. 1997; Stettler, Kawachak et al. 2000). Auf Grund der extremen Größe und der hohen Anschaffungskosten des Messgerätes

wurde die Methode jedoch immer mehr in den Hintergrund gedrängt und findet heute nur noch vereinzelt Anwendung.

Tabelle 7. Grundlagen der **Total Body Electrical Conductivity-Methode (TOBEC)**

Kompartimierung	<ul style="list-style-type: none"> • 2-Kompartimentmodell <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamtkörperfettmasse, fettfreie Körpermasse
Prinzip	<ul style="list-style-type: none"> • unterschiedliche Leitfähigkeit des Stromes durch verschiedene Gewebe des Körpers
Erfasste Messgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • absorbierte Energie, die bei der Induktion von Strom im leitenden Teil des Körpers (fettfreie Masse) in Form von Wärme freigesetzt wird
Berechnung	<ul style="list-style-type: none"> • Fourieranalysen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • einfache Anwendung • gut reproduzierbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • großes und schweres Messgerät • Modellvorstellungen (z.B. konstante Hydrierung der fettfreien Körpermasse von 73.2%, Körper stellt einen Zylinder dar)
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung der Körperzusammensetzung von Neugeborenen und schwangeren Frauen

2.3.6 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Die bioelektrische Impedanzanalyse ist eine indirekte, impedanzanalytische Feldmethode, mit deren Hilfe auf Grundlage des Dreikompartiment- Modells das Gesamtkörperwasser, die fettfreie Masse und daraus abgeleitet die Gesamtkörperfettmasse bestimmt werden können (Chumlea and Guo 1994). Dabei ist es möglich die fettfreie Körpermasse in die Körperzellmasse und die extrazelluläre Masse zu teilen (Lukaski, Johnson et al. 1985).

Die BIA beruht auf der Leitfähigkeit einer angelegten elektrischen Wechselspannung innerhalb des Organismus. Hoch leitfähige, fettfreie Gewebe, die große Mengen an Wasser und Elektrolyten enthalten, ergeben im Gegensatz zum Fettgewebe eine niedrige Impedanz. Die Impedanz Z wird als komplexer elektrischer Widerstand eines Wechselstromkreises verstanden und setzt sich aus dem kapazitiven (Reactance X_c) und dem Ohmschen Widerstand (Resistance R) zusammen (Kushner 1992; Deurenberg, Wolde-Gebriel et al. 1995).

Der kapazitive Widerstand wird durch die Zellmembranen – sie wirken wie Minikondensatoren – charakterisiert und stellt somit ein Maß für die Körperzellmasse dar. Der Ohmsche Widerstand ist der reine Widerstand eines Leiters gegen den Wechselstrom und ist umgekehrt proportional zum Gesamtkörperwasser (Kushner 1992; Heyward 1996).

Zur Unterscheidung von kapazitivem und Ohmschem Widerstand sind moderne Messgeräte mit einer phasensensitiven Elektronik ausgestattet. Durch die Kondensatoreigenschaften der Zellmembranen entsteht im biologischen Wechselstromkreis eine Phasenverschiebung von Strom- und Spannungsmaximum. Diese Verschiebung wird in Grad gemessen und als Phasenwinkel bezeichnet (Roche, Heymsfield et al. 1996). Bei niedrigen Frequenzen (1-5 kHz) fließt der Strom durch die extrazellulären Räume und kann die Zellmembranen dabei nicht durchdringen. Dadurch ist eine Bestimmung des extrazellulären Wassers möglich. Bei höheren Frequenzen passiert der elektrische Strom die Zellmembranen, so dass das Gesamtkörperwasser erfassbar ist (Thomas, Cornish et al. 1992; Deurenberg, Wolde-Gebriel et al. 1995).

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass lediglich der kapazitive und der Ohmsche Widerstand gemessen werden. Sämtliche Größen der Körperzusammensetzung beruhen auf statistischen Korrelationen und sind abgeleitete Größen.

Dabei wird angenommen, dass der menschliche Körper ein Zylinder ist und gleichmäßig vom angelegten Strom durchflossen wird. Bei einer konstanten Frequenz kann die Impedanz als eine Funktion des spezifischen Widerstandes, der Länge und der Fläche des Leiters angenommen werden (Thomas, Cornish et al. 1992; Bedogni, Merlini et al. 1996; Roche, Heymsfield et al.

1996):
$$Z = p \cdot l / A.$$

Die Multiplikation mit l/l ergibt:
$$Z = p \cdot l / A \cdot l / l.$$

Da $A \cdot l$ auch als Volumen ausgedrückt werden kann, erfolgt die Umformulierung in folgende Gleichung:

$$V = p \cdot l^2 / Z,$$

wobei: $Z [\Omega]$ = Impedanz, $p [\Omega]$ = spezifischer Widerstand, $l [m]$ = Länge des Leiters
 $A [m^2]$ = Fläche des Leiters, $V [L]$ = Volumen des Leiters

Die Länge des Leiters wird als Körperhöhe angenommen (Lukaski 1990). Mit dem Volumen wird die stromleitende Komponente des menschlichen Körpers erfasst. Somit ist das Volumen des Gesamtkörperwassers indirekt proportional zur Impedanz und direkt proportional zum Quadrat der Körperhöhe (Kushner 1992). Die Verwendung populationsspezifischer Regressionsgleichungen erlaubt die Berechnung der verschiedenen Kompartimente (Lukaski, Johnson et al. 1985; Segal, Gutin et al. 1985; Roche, Heymsfield et al. 1996; Brodie, Moscrip et al. 1998).

Die BIA ist eine nichtinvasive, leicht anzuwendende und transportable Methode zur Erfassung der Körperzusammensetzung (Wagner and Heyward 1999). Ellis und Wong 1998, verglichen die Ergebnisse aus BIA mit denen aus der Isotopenverdünnungsmethode und fanden gute Übereinstimmungen ($r = 0,96$, $p < 0,0001$) (Ellis and Wong 1998). Flakoll et al. 2004, berichten über eine gute Korrelation ($r = 0,84$, $p < 0,0001$) des Gesamtkörperfettes (%) aus BIA und DXA (Flakoll, Kent et al. 2004).

Limitiert ist die BIA durch die vereinfachte Annahme, der Körper sei ein Zylinder und wird gleichmäßig vom angelegten Strom durchdrungen. Zahlreiche Autoren verweisen darauf, dass der Strom nur zu ca. 10% durch den Rumpf fließt. Daraus ergibt sich, dass nur einzelner Körperareale erfasst werden, deren Ergebnisse auf den gesamten Körper bzw. auf bestimmte Körperkompartimente extrapoliert werden (Bracco, Thiebaud et al. 1996; Kyle, Pichard et al. 1998). Ein weiteres Problem der Verwendung der Methode ist die Wahl einer Regressionsgleichung zur Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Widerstandswerten. Aus einer Vielzahl in der Literatur angebotenen Gleichungen muss eine passende für die Studienpopulation gewählt werden.

Die BIA wird häufig genutzt, um Veränderungen der Körperzusammensetzung während einer Reduktionsdiät zu dokumentieren (van der Kooy, Leenen et al. 1992; Carella, Rodgers et al. 1997; Das, Roberts et al. 2003). Zusätzlich ist sie fester Bestandteil verschiedener Studien, die sich mit den Fettgewebshormonen, ihrer Regulation und den Zusammenhängen mit anderen biochemischen Verbindungen befassen (Bulow, Ahren et al. 2003). Sie dient des Weiteren der Aufklärung der Verteilung des Körperwassers bei verschiedenen Erkrankungen (Mamoto, Fujiwara et al. 2003).

Tabelle 8. Charakterisierung der Bioelektrischen ImpedanzAnalyse (BIA)

Kompartimierung	<ul style="list-style-type: none"> • 3-Kompartimentmodell <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamtkörperwasser, Gesamtkörperfett, fettfreie Körpermasse (Körperzellmasse, extrazelluläre Masse)
Prinzip	<ul style="list-style-type: none"> • unterschiedliche Leitfähigkeit des elektrischen Stroms durch die verschiedenen Gewebe des Körpers
Erfasste Messgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazitiver und Ohmscher Widerstand
Berechnung	<ul style="list-style-type: none"> • Populationsspezifische Regressionsgleichungen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • transportabel • leicht anwendbar • kostengünstig
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse variieren in Abhängigkeit der gewählten Regressionsgleichung • Modellvorstellungen (z.B. konstante Hydrierung der FFM von 73,2%, Körper ist ein Zylinder und wird gleichmäßig vom Strom durchflossen)
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Dokumentation von Veränderungen der Körperzusammensetzung • Klärung der Aufgaben und Regulationsmechanismen des Hormons Leptin • Verteilung des Gesamtkörperwassers bei verschiedenen Erkrankungen

2.3.7 Hautfaltendickenmessung (HF)

Die Hautfaltendickenmessung ist eine indirekte Feldmethode, mit deren Hilfe auf Grundlage des Zweikompartiment- Modells das Gesamtkörperfett und die fettfreie Masse des Körpers bestimmt werden können.

Eine hohe Korrelation zwischen dem Unterhautfettgewebe und dem Gesamtkörperfett bildet die Grundlage dieser Messmethode. Die Beurteilung der Körperzusammensetzung erfolgt über das Messen von Hautfaltendicken an definierten Messpunkten. Mit verschiedenen Regressionsgleichungen können aus den Hautfaltendicken und anderen Parametern, wie z.B. Alter, Geschlecht, Körperhöhe und Körpermasse das Gesamtkörperfett und die fettfreie Masse berechnet werden. (Fidanza 1991; Fischer and Lembcke 1991; Heyward and Stolarczyk 1996). Das Greifen der Hautfalte erfolgt, indem eine doppelte Schicht, bestehend aus Haut und subkutanem Fettgewebe von der Muskulatur abgehoben wird. Mit einem standardisiertem Hautfaltendickenmesser (Kaliper), dessen zwei bewegliche Messarme sich - mit einem konstanten Messdruck von 10 g/mm² - um die abgehobene Falte schließen, wird die Hautfaltendicke bestimmt (Jackson and Pollock 1978; Knußmann 1988; Stroh 1995).

Die Hautfaltendickenmessung ist schnell durchführbar, das Messgerät ist transportabel und kostengünstig. Zum korrekten Greifen der Hautfalten ist ein erfahrener Untersucher wichtig. Messfehler zwischen 0,8 und 1,7 mm wurden beobachtet, wenn verschiedene Untersucher ein und dieselbe Hautfalte messen, zwischen 0,2 – 2,1 mm, wenn ein und derselbe Untersucher ein und dieselbe Hautfalte greift (Fidanza 1991). Diese - auch häufig als inter- bzw. intra-Untersuchervariabilität bezeichnete - Fehlerquelle wird in der Literatur häufig diskutiert und gilt als eine der Hauptfehlerquellen der Methode. Weiterhin wird die individuelle Elastizität der Haut als weitere Fehlerquelle der Hautfaltendickenmessung diskutiert.

Hautfalten größer als 60 mm sind mit einem herkömmlichen Kaliper nicht mehr greifbar.

Die Hautfaltendickenmessung wird verwendet, um Veränderungen der Körperzusammensetzung während Aufbau- oder Reduktionsdiäten zu erfassen (Paijmans, Wilmore et al. 1992; van der Kooy, Leenen et al. 1992; Probst, Goris et al. 2001; Hughes, Roubenoff et al. 2004).

Des Weiteren findet die Methode Anwendung in Studien mit genetischem Hintergrund. Ukkola et al. 2001, trugen zur Aufklärung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen regulativen Proteinen, der Körperzusammensetzung, des Grundumsatzes und einer chronischen Überernährung bei (Ukkola, Tremblay et al. 2001).

Tabelle 9. Grundlagen der **HautF**altendickenmessung (**HF**)

Kompartimierung	<ul style="list-style-type: none">• 2-Kompartimentmodell<ul style="list-style-type: none">▪ Gesamtkörperfettmasse, fettfreie Körpermasse
Prinzip	<ul style="list-style-type: none">• hohe Korrelation zwischen subkutanem Fettgewebe und Gesamtkörperfett
Erfasste Messgrößen	<ul style="list-style-type: none">• Hautfaltendicken
Berechnung	<ul style="list-style-type: none">• Populationsspezifische Regressionsgleichungen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• transportabel• leicht anwendbar• kostengünstig
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• Ergebnisse variieren in Abhängigkeit der gewählten Regressionsgleichung• Modellvorstellungen (z.B. konstante Hydrierung der FFM von 73,2%)• inter- und intra-individuelle Untersuchervariabilität
Anwendung	<ul style="list-style-type: none">• Erfassung von Veränderungen der Körperzusammensetzung• Zusammenhänge zwischen regulativen Proteinen, der Körperzusammensetzung, der Grundumsatzes und chronischen Überernährung

3. Ziele

Eine drastische Erhöhung der Prävalenz der Adipositas in den Ländern der Überflussgesellschaft konnte in jüngster Zeit beobachtet werden. Adipositas ist einer der Hauptrisikofaktoren für Krankheiten des metabolischen Syndroms und verursacht in diesem Zusammenhang weltweit Kosten in Milliardenhöhe. Im Rahmen der erfolgreichen Adipositas-therapie und dem Streben, Zusammenhänge zwischen einem erhöhten Körperfettanteil, verschiedenen Regulationsmechanismen und Krankheiten aufzuklären, nimmt die Bestimmung der Körperzusammensetzung einen hohen Stellenwert ein. Bereits existierende Methoden sind entweder genau, teuer und wenig anwenderfreundlich, oder leicht anwendbar, kostengünstig dafür aber ungenau. Es besteht der dringende Bedarf der Neuentwicklung einer Feldmethode zur Erfassung der Körperzusammensetzung, die sowohl exakt und reproduzierbar als auch anwenderfreundlich und kostengünstig ist.

In diesem Zusammenhang streben wir die Verwirklichung folgender Ziele an:

- Entwicklung einer neuen Feldmethode zur Erfassung der Körperzusammensetzung, die zum einen transportabel und anwenderfreundlich, zum anderen genau und gut reproduzierbar ist. Das Gerät soll das Prinzip der **Gesamtkörperleitfähigkeit** durch die verschiedenen Gewebe des Körpers nutzen.
- Bewertung der neu entwickelten Methode zur Erfassung der Körperzusammensetzung.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Bewertung der neu entwickelten Methode.

Dabei wird in fünf verschiedene Teilabschnitte gegliedert:

1. Funktionalität des Prototyps:

Im Vordergrund stehen die einfache Bedienung des Gerätes und der Aufwand für den Untersucher bzw. die zu untersuchende Person eine Messung durchzuführen.

2. Reproduzierbarkeit der Messwerte der Methode:

Geprüft wird, ob das Gerät in der Lage ist bei Wiederholungsmessungen an ein und derselben Person, die gleichen Ergebnisse zu produzieren.

3. Entwicklung einer Regressionsgleichung zur Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten der neuen Methode:

Es soll eine Regressionsgleichung entwickelt werden, mit der es möglich ist, aus den Messwerten der neuen Methode und ausgewählten anthropometrischen Daten die Gesamtkörperfettmasse normal- und übergewichtiger Personen zu berechnen.

4. Erfassung der Körperzusammensetzung mit der neuen Methode:

Es wird getestet, ob die neue Technik in der Lage ist, die Körperzusammensetzung normal- und übergewichtiger Personen mit der entwickelten Regressionsgleichung zu erfassen. Dabei werden

die Ergebnisse der neuen und bereits etablierter Labor- und Feldmethoden mit denen der Referenzmethode DXA verglichen.

5. Erfassung von Veränderungen der Körperzusammensetzung während einer Reduktion von Körpermasse bzw. Körperfett:

Es wird beurteilt, ob die neue Methode Veränderungen der Körperzusammensetzung während einer Interventionsstudie - in der durch Erhöhung der körperlichen Aktivität und Verminderung der Zufuhr von Energie mit der Nahrung eine Reduktion von Körperfettmasse angestrebt wird – erfasst.

Die Referenzmethode DXA ist eine Methode, die mit Röntgenstrahlung arbeitet und daher ein gewisses Risiko für die Gesundheit des Probanden birgt. Um eine unnötig hohe Strahlenbelastung - durch dreimaliges Messen im Zeitraum von 16 Wochen - für die Probanden zu vermeiden, wurde auf die Anwendung dieser Referenzmethode verzichtet. Die einheitlich positiven Beurteilungen der ADP durch verschiedene Autoren, führten zu dem Entschluss, im Rahmen der Interventionsstudie die Air Displacement Plethysmography als Referenzmethode zu wählen. Der Vergleich der Ergebnisse der neuen und der ausgewählten Labor- und Feldmethoden wird sich auf die Referenzmethode ADP beziehen.

4. Probanden und Untersuchungsmethoden

4.1 Probanden

Gesunde Erwachsene (n = 129) aus dem Großraum Berlin-Brandenburg wurden rekrutiert. Neben verschiedenen Pressemeldungen in Form von Annoncen und Zeitungsartikeln über die Pressestelle des Deutschen Instituts für Ernährungsforschung, wurden Informationsmaterialien in Apotheken des näheren Umlandes verteilt und Informationsveranstaltungen für Interessenten durchgeführt.

Dabei galten ein Alter zwischen 18 und 70 Jahren als Einschluss- sowie Schwangerschaft/Stillzeit, Asthma, Hauterkrankungen, Epilepsien und chronische Erkrankungen als Ausschlusskriterien. Alle Probanden wurden vor Beginn der Studie ausführlich über die Zielstellung und deren Ablauf informiert. Das vorliegende Studienprotokoll wurde durch die Ethikkommission der Universität Potsdam bestätigt. Durch das Unterschreiben einer Einverständniserklärung wurde die Einwilligung zur Studienteilnahme erteilt.

Die 129 rekrutierten Probanden wurden (weiblich n = 77, männlich n = 52) zur Verfolgung der unterschiedlichen Zielstellungen in verschiedene Gruppen geteilt:

1. Zur Beurteilung der Funktionalität und der Reproduzierbarkeit der neuen Methode wurden 8 Probanden nach dem Zufallsprinzip ausgewählt.
2. Die Entwicklung der Regressionsgleichung zur Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten der neuen Methoden stützte sich auf die Ergebnisse einer Gruppe von 61 Probanden, die ebenfalls nach dem Zufallsprinzip ausgewählt wurden. Diese Gruppe wird im weiteren Verlauf als Regressionsgruppe bezeichnet.
3. Zur Beurteilung der Fähigkeit der neuen Methode, die Gesamtkörperfettmasse mit der entwickelten Regressionsgleichung zu berechnen, wurde diese an den verbliebenen 60 Probanden gemessen bzw. berechnet. Im Verlauf der Arbeit wird diese Gruppe als Validationsgruppe bezeichnet.
4. Von den 129 rekrutierten Probanden nahmen 46 übergewichtige ($BMI > 25 \text{ kg/m}^2$) an einem Interventionsprogramm teil. Die Probanden der Interventionsgruppe verfolgten das Ziel der Reduktion von Körpermasse und Gesamtkörperfett über einen Zeitraum von 16 Wochen. Durch schrittweise Erhöhung der körperlichen Aktivität und Senkung der Aufnahme von Energie mit der Nahrung sollten die Probanden das Ziel realisieren.

4.2 Allgemeiner Methodenteil

Die Datenerhebung erfolgte über einen Zeitraum von insgesamt 12 Monaten (Januar 2003 bis Januar 2004). Die Autorin selbst und zwei geschulte und erfahrene Untersucher führten die Messungen durch.

Die Probanden waren nüchtern (keine Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme 10 Stunden vor der Messung), bekleidet mit leichter, eng anliegender Unterwäsche, bzw. Schwimmkleidung - sämtliche Gegenstände aus Metall, wie z.B. Uhr, Schmuck und Brille waren abgelegt. Exzessiver Konsum von Alkohol und extreme physische Belastungen am Vortag der Messungen sollten vermieden werden. Im Folgenden werden Besonderheiten methodischer Aspekte für die einzelnen Zielstellungen näher erläutert:

1. Die Messungen zur Beurteilung der Funktionalität der neuen Methode und der Reproduzierbarkeit der Messwerte der 8 ausgewählten Probanden erfolgten an ein und demselben Tag. So wurde gewährleistet, dass die äußeren Bedingungen, wie z.B. Luftdruck oder Luftfeuchte gleich sind.

2. Zur Entwicklung einer Regressionsgleichung aus den Messwerten der neuen Methode an den 61 Probanden der Regressionsgruppe und zur weiteren Beurteilung der Ergebnisse der neuen Methode an den 60 Probanden der Validationsgruppe, wurden einmalige Messungen mit den ausgewählten Methoden zur Erfassung der Körperzusammensetzung durchgeführt. Der Zeitaufwand für die Durchführung aller ausgewählten Methoden betrug etwa 3 Stunden pro Proband.

3. Die Probanden der Interventionsgruppe nahmen an einem Interventionsprogramm teil. In Zusammenarbeit mit dem Ernährungsberatungszentrum des Deutschen Instituts für Ernährungsforschung sollten die Probanden eine Senkung der Energieaufnahme mit der Nahrung realisieren. Nach den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft der Ernährung galt es, insbesondere den Fettkonsum zu senken und der Kohlenhydratkonsum zu erhöhen. In Gruppen von maximal 10 Probanden fanden über den gesamten Interventionszeitraum von 16 Wochen Ernährungskurse statt, in denen den Probanden die Fähigkeit zur Verwirklichung der Ziele durch geschultes und erfahrenes Personal vermittelt wurde. Zusätzlich dazu erhielten die Probanden Hinweise, wie sie die Alltagsaktivitäten sinnvoll steigern können. Ernährungs- und Aktivitätsprotokolle sollten helfen, die Veränderungen der Ernährung und der Aktivität während des Interventionszeitraumes zu beurteilen. Die Körperzusammensetzung der Probanden wurde - ebenso wie die Ernährung und die körperliche Aktivität - drei Mal während des Interventionszeitraumes erfasst - zu Beginn, nach 8 und 16 Wochen.

4.3 Angewandte Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung, des Energieverbrauches und der Energieaufnahme

Neue Methode

Messgerät

Unser Grundgedanke, eine neue Feldmethode zur Erfassung der Körperzusammensetzung zu entwickeln, konnte in einem durch die Europäische Union gefördertes Projekt realisiert werden. In Zusammenarbeit mit Physikern, Technikern und Medizinern aus verschiedenen Ländern Europas konnte im Januar 2003 ein Prototyp einer nach dem TOBEC- und BIA-Prinzip arbeitenden Methode fertig gestellt werden, **Abbildung 1**.



Abbildung 1. Prototyp der neuen Methode (nTOBEC)

Die neue Methode – im weiteren Verlauf als nTOBEC bezeichnet - nutzt das Prinzip unterschiedlicher Leitfähigkeit durch verschiedene Gewebe des Körpers. Dazu wird ein elektromagnetisches Feld durch eine Spulenordnung und ein dazugehöriges Steuerelement generiert, in welches die Messperson eingebracht wird. Durch das Einbringen des Probanden in das elektromagnetische Feld, wird im Probanden ein Strom induziert. Dieser Strom durchfließt den gesamten Körper und wird durch die verschiedenen Gewebe unterschiedlich gut geleitet - fettfreie Gewebe leiten den Strom gut, Fettgewebe hingegen entwickelt einen Widerstand. Mit Hilfe des Steuerelementes kann der Widerstand gemessen werden. Dabei unterscheidet das Steuerelement den Ohmschen (X_{nTOBEC}) und den kapazitiven Widerstand (Y_{nTOBEC}).

Das Steuerelement arbeitet mit einem 32 bit Mikroprozessor. Der Arbeitsspeicher des Gerätes umfasst 512 MB. Das LCD-Display weist 320 x 240 Pixel auf. Das dazugehörige Keyboard umfasst 24 Schaltflächen und zusätzlich dazu eine Schaltfläche für das Starten des Gerätes. Das

Steuerelement enthält zwei Relais-Ausgänge (50V, 500mA), hat eine Zeitnehmerfunktion und einen Summer zur Aussendung akustische Signale. Es sendet ein sinusförmiges Signal aus, wobei verschiedene Frequenzen (1Hz bis 2MHz) und Spannungen (0 bis 16 V) programmierbar sind. Die dazugehörige Software ermöglicht die Darstellung der kapazitiven und ohmschen Anteile.

Zur Bestimmung der Körperzusammensetzung wurden Messungen bei 100 kHz, 250 kHz und 500 kHz durchgeführt. Diese drei Frequenzen wurden verwendet, um herauszufinden, welche sich besonders eignet, um Berechnungen der Körperzusammensetzung aus den Messwerten zu gewährleisten.

Durchführung der Messung

Der Proband befand sich in stehender Grundhaltung, der Kopf wurde im Nacken von einer Nackenstütze stabilisiert. Nach einer Minute wurden die Messwerte (kapazitiver und Ohmscher Widerstand) abgelesen und protokolliert.

Der Prototyp wurde mit einer Verzögerung von 10 Monaten fertig gestellt. Die Studienplanung erfolgte fristgerecht, das heißt die Studie wurde im Jahr 2002 vorbereitet und die Probanden rekrutiert. Die rekrutierten Probanden durchliefen die Baseline-Untersuchung und konnten im Anschluss daran mit der Reduktion der Körpermasse bzw. Gesamtkörperfettmasse beginnen. Eine erste Auswertung der Baseline-Daten ergab jedoch eine gewisse Instabilität der Daten von nTOBEC, weshalb eine Fehlerbehebung vor Ort durch die beteiligten Ingenieure erfolgen musste. Dabei zeigte sich, dass das generierte elektromagnetische Feld durch die im Raum befindlichen Geräte beeinflusst wurde. Eine mehrtätigen Fehleranalyse und eine Behebung der technischen Schwierigkeiten konnten im Anschluss daran valide Messwerte gewährleisten. Die bis zu diesem Zeitpunkt erfassten Messwerte mussten auf Grund der beschriebenen Schwierigkeiten verworfen werden, so dass keine Werte der Körperzusammensetzung aus nTOBEC zur Baseline-Untersuchung vorliegen. Die Beurteilung der Fähigkeit von nTOBEC Veränderungen der Körperzusammensetzung zu dokumentieren, bezieht sich daher auf die zweite Hälfte des Interventionszeitraums (Woche 8 bis Woche 16).

Hydrodensitometrie

Messgerät

Die Körpermasse unter Wasser wurde in einer Unterwasserwäganlage mit einer eigens entwickelten Stuhlwage der Firma *Seidel* durchgeführt. Die Waage verfügt über eine Genauigkeit von zehn Gramm. Der bewegliche Stuhl „schwebt im Wasser“ und ist über einen beweglichen Arm mit dem Sensor und dem Display der Waage verbunden.

Die Messung des Residualvolumens wurde extern in einem Bodyplethysmographen (V6200 mit V_{\max} 29 Autobox Körper-Plethysmograph, Sensor Medics, Deutschland) durchgeführt.

Durchführung der Messung

Während der Messprozedur trug der Proband eine Nasenklammer; ein Bleigürtel verhinderte den Auftrieb und erleichterte dem Probanden das vollständige Untertauchen. Der Proband saß im Tauchbecken auf der Stuhlwaage und tauchte mit dem gesamten Körper vollständig unter Wasser. Nach vollständiger Expiration der Luft aus der Lunge wurde die Körpermasse unter Wasser gemessen. Eine dreimalige Messwiederholung fand statt. Der höchste Messwert - der mit maximaler Expiration - ging in die weitere Berechnung ein.

Während der Bestimmung des Residualvolumens mit einem Body-Plethysmographen saß der Proband in der Messkammer, trug eine Nasenklammer, hatte das Mundstück fest mit den Zähnen umschlossen und folgte den Anweisungen des Untersuchers, die nach einem standardisierten Schema erfolgten. Die Software des Gerätes gab Auskunft über das Residualvolumen des Probanden (Medics 2002).

Unter Berücksichtigung der Körper- und Residualvolumina, einer Konstante für die Gase im Magendarmtrakt und der Dichte des Wassers wurden die Gesamtkörperfettmasse und fettfreie Körpermasse gemäß Siri 1961, berechnet (Siri 1961).

Dual-Energy-X-Ray-Absorptiometry

Messgerät

Zur Bestimmung der fettfreien Masse und des Gesamtkörperfettes wurde ein QDR-2000 X-Ray Bone Densitometer (DXA, Hologic, Waltham, MA, USA) genutzt. Eine arbeitstägliche Kalibrierung des Gerätes gewährleistete exakte Messwerte.

Durchführung der Messung

Der Proband wurde auf dem Messtisch des Gerätes – entsprechend den Angaben des Herstellers – exakt positioniert. Ein Gesamtkörper-Scan im Strahlenmodus „Single Beam“ erfolgte. Die Dauer eines Scans betrug 17 Minuten.

Unter Berücksichtigung von Alter, Körperhöhe, Körpermasse und Geschlecht errechnete die Software Knochenmineraldichte, Gesamtkörperfettmasse und fettfreie Körpermasse des Probanden (HOLOGIC).

Air Displacement Plethysmography

Messgerät

Die densitometrische Messung wurde in einem Air Displacement Plethysmographen (BOD POD Pod Body Composition System, Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA) durchgeführt.

Durchführung der Messung

Vor jeder Messung fand eine Kalibrierung des Messgerätes statt. Das Körpergewicht des Probanden wurde mit einer elektronischen Körperwaage, die mit dem Gerät selbst und der

Gerätesoftware verbunden ist, bestimmt. In der ca. 50-sekündigen Messphase wurde das Körpervolumen, wie im Literaturteil beschrieben, erfasst. Es erfolgte eine Messwiederholung. Bei Messabweichungen von mindestens 150 ml schloss sich eine dritte Messung an. Die Bestimmung des Lungenvolumens erfolgte simultan in der Messkammer. Die Körperzusammensetzung wurde gemäß Siri 1961, durch die Software des Gerätes berechnet (Siri 1961; Instruments 1997).

Isotopenverdünnung

Messgerät

Die Messung der Anreicherung der Urinproben mit dem Isotop wurde mit einem Massenspektrometer (Delta S Isotope ratio Mass Spectrometer, Finnigan MAT, Bremen, Deutschland) durchgeführt.

Durchführung der Messung

Zur Bestimmung der Hintergrundanreicherung des Isotops im Urin wurde vor der Gabe der Dosis eine Basalurinprobe zwischen 7:00 und 8:00 Uhr genommen. Die Dosis wurde wie folgt verabreicht: 0,100g ²H/kg Körpermasse, hergestellt aus 99,8% ²H₂O (euriso-top, Saint Aubin Cedex, France). Während der nächsten vier Stunden blieb der Proband nüchtern und eine Ausscheidung von Urin wurde ausgeschlossen. Vier Stunden nach der Dosisgabe wurde eine weitere Urinprobe genommen. Für die Messungen im Spektrometer wurden 5 ml jeder Probe bei einer konstanten Temperatur von 18,0 ± 0,01 °C equalibriert. Vom gleichen Aliquot der Probe wurde δD gemessen und als Delta-Werte gegen den Standard: Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) ausgedrückt.

Der analytische Fehler der Messungen wird zu 2‰ für ²H bestimmt.

Das Verteilungsvolumen des Isotops (N moles) wurde wie folgt berechnet:

$$N \text{ (moles)} = WA/18.02a * ((da-dt)/(ds-dp)),$$

wobei: W = Wassermenge zur Verdünnung der Dosis; A = verabreichte Dosis; a = Dosis, welche für die Analyse verdünnt wurde ; d = Anreicherung der Dosis; t = Leitungswasser; s = Postdosis-Probe; p= Basalprobe.

Das Gesamtkörperwasser (mole) wurde unter Nutzung des Korrekturfaktors 4% in Gesamtkörperwasser (kg) umgerechnet (Schoeller, van Santen et al. 1980). Unter der Annahme der konstanten Hydrierung der fettfreien Körpermasse von 73,2% wurden die fettfreie Körpermasse und die Gesamtkörperfettmasse berechnet.

Bioelektrische Impedanzanalyse

Messgerät

Die Messungen erfolgten mit einem Multifrequenz-Body-Composition-Analyser (BIA 2000-M, DATA-Input, Frankfurt/Main, Deutschland).

Durchführung der Messung

Bei allen Probanden wurden Messungen bei 1, 5, 50 und 100 kHz durchgeführt. Die Platzierung der vier Elektroden erfolgte exakt an folgenden Positionen:

Hand: Die Messelektrode wird auf der Rückseite der rechten Hand – mittig der distalen Condylen von Radius und Ulna, die Signalelektrode auf dem Handrücken zwischen dem zweiten und dritten Mittelhandknochen, kurz hinter dem Mittelfinger, mit der Hauptklebefläche der Elektrode über dem weichen Gewebe, platziert.

Fuß: Die Messelektrode wird auf dem Fußrücken des rechten Fußes, entlang einer horizontal durch den Innenknöchel gedachten Linie; die Signalelektrode etwas proximal vom Zehengrundgelenk hinter den mittleren Zehen, mit der Hauptklebefläche der Elektrode über dem weichen Gewebe zwischen 2. und 3. Mittelfußknochen, befestigt (Data Input 1996).

Die Messung wurde in liegender Position auf einer Ärzteliege durchgeführt. Die Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Messwerten der Impedanzanalyse erfolgte mit der Regressionsgleichung von Sun, 2003 (Sun, Chumlea et al. 2003).

Hautfaltendickenmessung

Messgerät

Für die Messungen wurde ein geeichtes Lange-Kaliper (Beta Technology Inc., Cambridge, MA, USA) eingesetzt. Der Messbereich reicht von 0-60 Millimeter bei einer Ablesegenauigkeit von einem Millimeter.

Durchführung der Messung

Die Hautfaltendicken wurden am unbedeckten Körper auf der rechten Körperseite gemessen. Mit dem Daumen und Zeigefinger der linken Hand wurden die Haut und das darunter liegende Fettgewebe fest gegriffen und abgehoben. Der Hautfaltendickenmesser wurde mit der rechten Hand etwa 1 cm unterhalb der abgehobenen Hautfalte angesetzt. Auf eine parallele Faltenabhebung und Haltung des Messgerätes wurde geachtet (Flügel, Greil et al. 1986). Innerhalb von zwei Sekunden nach Ansetzen des Messinstrumentes wurde der Wert abgelesen (Knußmann 1988).

Die Messstellen werden im Folgenden ausführlich beschrieben, da schon geringfügige Abweichungen zu Fehlern in der Beurteilung der Körperzusammensetzung führen können (Flügel, Greil et al. 1986; Knußmann 1988; Fidanza 1991; Garcia 2004).

Kinn:	Hautfalte in der Medianebene in der Mitte unterhalb des Mundbodens bei Kopfhaltung in Ohr-Augen-Ebene; Hautfaltenabhebung längs der Körperachse,
Bizeps:	Hautfalte auf der ventralen Seite des Oberarms über dem maximalen Umfang des <i>Musculus biceps brachii</i> ; Hautfaltenabhebung parallel zur Längsachse des Oberarmes,
Trizeps:	Hautfalte auf der dorsalen Seite des Oberarms über dem <i>Musculus triceps brachii</i> in der Mitte zwischen <i>Akromiale</i> und <i>Olekranon</i> ; Hautfaltenabhebung parallel zur Längsachse des Oberarms,
Rücken:	Hautfalte direkt unterhalb der unteren Spitze der <i>Scapula</i> bei hängendem Arm; Hautfaltenabhebung schräg zur Längsachse des Körpers,
Brust:	Hautfalte an der vorderen Axillarlinie in Höhe der 7. Rippe; Hautfaltenabhebung parallel zum Rippenverlauf,
Bauch:	Hautfalte in der Mitte der Verbindungslinie <i>Umbilicus-Crista iliaca</i> ; 5 cm vom <i>Umbilicus</i> entfernt; Hautfaltenabhebung im Verlauf der genannten Linie,
Hüfte, vertikal:	Hautfalte auf der seitlichen Axillarlinie direkt oberhalb des Beckenkammes; Hautfaltenabhebung parallel zur Längsachse des Körpers,
Oberschenkel:	Hautfalte auf der Vorderseite des Oberschenkels in der Mitte zwischen Leiste und Oberrand der Kniescheibe; Messung am sitzenden Probanden; Hautfaltenabhebung parallel zur Längsachse des Beines,
Knie:	Hautfalte dicht vor der Kniescheibe; Messung am sitzenden Probanden; Hautfaltenabhebung parallel zur Längsachse des Beines,
Wade:	Hautfalte in Höhe des größten Unterschenkelumfanges auf der Rückseite der Wade; Messung am sitzenden Probanden; es ist darauf zu achten, dass keine Muskulatur miterfasst wird; Hautfaltenabhebung parallel zur Längsachse des Beines.

Mit Hilfe der Regressionsgleichungen von Durnin & Womersley 1974, wurde aus den Hautfaltendicken die Körperzusammensetzung berechnet (Durnin and Womersley 1974).

Klassisch-anthropometrische Untersuchungen

Messgeräte

Die Körpermasse wurde mit einer kalibrierten, elektronischen Waage (Soehnle, Murrhardt, Deutschland) - mit einer Genauigkeit von 0,1 kg, die Körperhöhe mit einem GPM Anthropometer (Siber & Hegner, Zürich, Schweiz) - mit einer Genauigkeit von 0,1 cm -erfasst.

Die Erfassung der Körperumfänge erfolgte mit einem Maßband, welches sich den Körperkonturen gut anpasste und dabei keine Deformationen bewirkte.

Durchführung der Messung

Die Körpermaße wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit in definierten Grundhaltungen im Stehen oder Sitzen bestimmt (Flügel, Greil et al. 1986; Knußmann 1988).

An jedem Teilnehmer wurden die Körperhöhe und Umfangsmaße gemessen, deren Messstrecken im Folgenden beschrieben werden (Flügel, Greil et al. 1986; Knußmann 1988):

Tabelle 10. Messstrecken

Abkürzung	Körpermaß	Messstrecke	Messinstrument
KH	Körperhöhe	Standfläche - Vertex	Anthropometer
TU	Taillenumfang	Kleinster Umfang in Höhe des Transversoabdominale	Maßband
HU	Hüftumfang	Größter Umfang in Höhe des Coxale	Maßband

Bestimmung des Energieverbrauches während der Intervention

Aktivitätsprotokoll

Messgerät

Zur Beurteilung des Energieumsatzes der Probanden der Interventionsgruppe während der 16-wöchigen Intervention wurde ein 7-Tage-Aktivitätsprotokoll eingesetzt (**Anlage 1**). Das Aktivitätsprotokoll unterteilt in die Kategorien: Schlaf- und Ruhezeiten und Tätigkeiten während der Arbeit bzw. der Freizeit. Es erlaubt eine Erfassung der Aktivitäten mit einer Genauigkeit von 15 Minuten. Das, in der Abteilung Interventionsstudien des Deutschen Instituts für Ernährungsforschung, neu entwickelte Aktivitätsprotokoll wurde an einer Standardmethode (Isotopenverdünnung mit doppelt stabil markiertem Wasser) validiert (Koebnick 2004). Grundlage der Berechnung des Energieumsatzes bilden MET-Intensitäten. MET-Intensitäten sind definiert als Quotient aus Energieumsatz für eine spezifische Aktivität und dem Ruhe-Energieumsatz pro Stunde und kg Körpermasse (Ainsworth, Haskell et al. 2000). Der Gesamtenergieumsatz wurde wie folgt berechnet:

$$\text{Gesamtenergieumsatz (MJ)} = \text{MET} \cdot \text{h/d} * \text{Körpermasse (kg)} * 4.184 / 1000.$$

Durchführung der Messung

Die Probanden führten das Aktivitätsprotokoll zu Beginn, nach 8 und 16 Wochen der Intervention jeweils über einen Zeitraum von sieben aufeinander folgenden Tagen. Alle dazu nötigen Erklärungen waren im Protokoll ausgewiesen.

Bestimmung der Energieaufnahme während der Intervention

Ernährungsprotokoll

Messgerät

Die Erfassung der Energie- und Nährstoffzufuhr der Interventionsgruppe während der 16-wöchigen Intervention erfolgte mit einem semi-quantitativen 4-Tage-Ernährungsprotokoll (**Anlage 2**). Das Protokoll unterteilt in verschiedene Lebensmittelgruppen und gibt standardisierte

Portionsgrößen vor (Koebnick 2004). Die Auswertung des Protokolls erfolgte auf Grundlage des Bundeslebensmittelschlüssels (BLS II.3) mit der Ernährungsauswertungssoftware DGE-PC.

Durchführung der Messung

Zu Beginn, nach 8 und 16 Wochen der Intervention führten die Probanden das Ernährungsprotokoll an vier aufeinander folgenden Tagen, wobei einer der Tage ein Sonntag war.

5. Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Softwarepaket SPSS für Windows 11.5 (SPSS Inc., Chicago, Illinois). Für die verwendeten statistischen Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt. Die Überprüfung der Daten hinsichtlich signifikanter Abweichungen von der Normalverteilung fand mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test statt.

Die deskriptive Beschreibung der Studienpopulationen erfolgte durch die Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen und Spannweiten.

Die Güte der neuen Technik kann durch das Maß der Übereinstimmung von Testresultaten bei Wiederholungsmessungen durch den gleichen Untersucher an ein und demselben Probanden bewertet werden. Als statistische Kenngröße wird in der Arbeit der Reliabilitätskoeffizient (Cronbachs Alpha) berechnet. Dieser kann den maximalen Wert von $r = 1$ annehmen. In diesem Falle kann man von einem maximalen Maß der Übereinstimmung der Testresultate bei Wiederholungsmessungen ausgehen (Guggenmoos-Holzman and Wernecke 1996) (Rasch, Herrendörfer et al. 1978; Segal, Gutin et al. 1985). Eine weitere statistische Kenngröße - der Variationskoeffizient - erlaubt Aussagen hinsichtlich der mittleren Abweichung der einzelnen Messwerte vom Mittelwert bei Messwiederholungen und wird ebenfalls berechnet (Guggenmoos-Holzman and Wernecke 1996) (Rasch, Herrendörfer et al. 1978).

Die Entwicklung geeigneter Regressionsgleichungen zur Berechnung des Gesamtkörperfettes aus Messwerten von nTOBEC und ausgewählten anthropometrischen Daten erfolgte mittels multipler linearer Regressionsanalyse. Über ein Ausschlussverfahren (Signifikanzlevel $> 0,15$; Toleranzlevel $< 0,3$) verschiedener unabhängiger Variablen sollen die bestmöglichen, geschlechtsspezifischen Regressionsgleichungen zur Berechnung des Gesamtkörperfettes gefunden werden. Dabei galt das Gesamtkörperfett, gemessen mit der Referenzmethode DXA als abhängige Variable (Ihaka and Gentleman 1996; Peters, Hothorn et al. 2002; R Development Core Team 2004).

Korrelations-Analysen wurden durchgeführt, um die Übereinstimmungen zwischen den berechneten und gemessenen Zielgrößen abzuschätzen. Pearson's Korrelationskoeffizienten verdeutlichen den Zusammenhang des Gesamtkörperfettes, gemessen mit nTOBEC, den angewandten Labor- und Feldmethoden und der Referenzmethode. Die Übereinstimmungen werden graphisch in Bland-Altman- und Scatter-Plots dargestellt. Die graphische Darstellung in Form eines Bland-Altman-Plots ermöglicht den Vergleich zweier Methoden, die ein und denselben Parameter messen. Auf der y-Achse ist die Differenz des betrachteten Parameters

beider Methoden, auf der x-Achse das arithmetische Mittel des Parameters der zu vergleichenden Methoden abgetragen. Eine Über- oder Unterschätzung des betrachteten Parameters wird durch eine negative bzw. positive Differenz zwischen den Methoden angezeigt (Janssen J. 2002) (Bland and Altman 1999).

Veränderungen der Energie- und Nährstoffzufuhr, der körperlichen Aktivität und der Körperzusammensetzung während der Intervention wurden in Form von Mittelwerten und Standardabweichungen dargestellt. Signifikante Veränderungen der betrachteten Zielgrößen wurden unter Verwendung von t-Tests für gepaarte Stichproben abgeschätzt.

6. Ergebnisse

6.1 Anwendbarkeit der neuen Methode

Der Prototyp war zum Zeitpunkt des Eintreffens vormontiert. Die Endmontage erwies sich als einfach. Binnen 10 Minuten konnte die neue Technik in Betrieb genommen werden.

Vor Beginn der eigentlichen Messung wird durch entsprechende Tastenkombinationen am Steuerelement das elektromagnetische Feld generiert. Nach einer Stabilisierungsphase von drei Minuten konnte der Proband das Messgerät betreten. Der Proband verharrte weitere zwei Minuten im Messgerät, so dass ein gleichmäßiger Stromfluss im Körper gewährleistet wurde. Durch Betätigung einer weiteren Taste am Steuerelement wurde die Messung gestartet. Nach wenigen Sekunden konnten die Messwerte ($x_{n\text{TOBEC}}$ und $y_{n\text{TOBEC}}$) abgelesen und protokolliert werden.

Die gesamte Messprozedur – inbegriffen die Generierung des elektromagnetischen Feldes – nahm einen maximalen Zeitaufwand von 10 Minuten in Anspruch.

6.2 Reproduzierbarkeit der Messwerte der neuen Methode

Die Bewertung der neuen Technik hinsichtlich der Fähigkeit die Messwerte bei Messwiederholungen an ein und demselben Probanden zu reproduzieren, erfolgte über den Vergleich der Ergebnisse 10-maliger Messwiederholungen an einer Studienpopulation von 8 weiblichen Probanden. **Tabelle 11** informiert über die allgemeine Charakteristik der Probanden.

Tabelle 11. Studienpopulation zur Bewertung der Reproduzierbarkeit von nTOBEC

	Alter (Jahre)	Körpermasse (kg)	Körperhöhe (cm)	BMI (kg/m ²)
n = 8	27,3 ± 4,7	63,3 ± 11,6	163,6 ± 9,2	23,5 ± 2,2
	22 – 34	47,2 – 77,7	149,2 – 172,4	21,2 – 26,6

Mittelwert ± Standardabweichung und Spanne

Reliabilitätskoeffizient

Der Reliabilitätskoeffizient für die zehnmalige Messwiederholung wurde im Mittel zu $r = 0,999$ bestimmt.

Variationskoeffizient

Der Variationskoeffizient von $c_v = 3,3\%$ ergab sich für die Messwiederholungen, d.h. die einzelnen Messwerte weichen im Durchschnitt 3,3% vom Mittelwert ab.

6.2 Entwicklung geschlechtsspezifischer Regressionsgleichungen zur Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten der neuen Methode

Die Entwicklung geschlechtsspezifischer Regressionsgleichungen zur Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten von nTOBEC basiert auf den Messwerten der Probanden der Regressionsgruppe (n = 61). Die Charakterisierung der Probanden ist in **Tabelle 12** dargestellt. Die breiten Spannen des Alters, der Körpermasse, der Körperhöhe und daraus folgend des BMI und des Gesamtkörperfettes sollen die Entwicklung einer Regressionsgleichung ermöglichen, welche die Gesamtkörperfettmasse sowohl normal- und übergewichtiger als auch älterer und jüngerer Erwachsenen zu berechnen in der Lage ist.

Tabelle 12. Charakteristika ^a der Probanden der Regressionsgruppe

	Männer	Frauen
Anzahl der Probanden	27	34
Alter (Jahre)	39,9 ± 16,7 22 – 67	41,1 ± 15,3 22 – 67
Körperhöhe (cm)	179,4 ± 7,5 161,7 – 191,7	164,8 ± 6,2 150,9 – 180,5
Körpermasse (kg)	83,7 ± 12,0 66,0 – 106,9	69,0 ± 14,6 46,7 – 105,6
BMI (kg/m²)	26,1 ± 3,9 19,1 – 35,7	25,5 ± 5,5 18,4 – 39,3
GKF_{DXA} (kg)	17,4 ± 8,8 5,9 – 36,2	23,9 ± 11,2 9,2 – 47,5

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spanne

Das Hauptziel bei der Erstellung der Regressionsgleichung bestand in einer möglichst guten Übereinstimmung der berechneten Gesamtkörperfettmasse (GKF) mit der gemessenen aus der Referenzmethode DXA. Dazu wurden neben Messwerten von nTOBEC (x_{nTOBEC} , y_{nTOBEC}) bei den verschiedenen Frequenzen (100, 250, 500 kHz) Daten wie z.B. Alter, Körpermasse, Körperhöhe, Umfänge (Taille, Hüfte, Oberschenkel) und Hautfaltendicken (Kinn, Biceps, Triceps, Brust, Rücken, Bauch, Hüfte (vertikal), Oberschenkel, Knie und Wade) als mögliche Variablen in die Regressionsanalyse involviert. Zusätzlich wurde der Term Körperhöhe²/ x_{nTOBEC} in die Analyse integriert. Die verschiedenen Regressionsanalysen wurden getrennt für Frauen und Männer durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Messwerte von nTOBEC bei den Frequenzen 100 und

250 kHz und die Variablen Alter, Umfänge und die Hautfaltendicken (Kinn, Biceps, Brust, Rücken, Bauch, Hüfte (vertical), Oberschenkel, Knie und Wade) die Varianz der Gesamtkörperfettmasse nicht erklären können und wurden daher aus dem Modell ausgeschlossen. Die endgültige Regressionsgleichung zur Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten von nTOBEC präsentiert sich als:

$$\text{GKF}_{\text{nTOBEC}} [\text{kg}] = -53,281 + 0,0001525 * (\text{KH}^2 [\text{cm}^2] / \text{X}_{\text{nTOBEC}}) + 8,1464 * \text{Y}_{\text{nTOBEC}} + 0,569 * \text{KM} [\text{kg}] + 5,909 * \text{Geschlecht (männlich} = 1, \text{ weiblich} = 0) + 0,414 * \text{HF}_{\text{Triceps}}$$

R = 0,96

R² = 0,93

SEE = 2,98.

Die Variablen Körperhöhe²/x_{nTOBEC} und y_{nTOBEC} erklären 11% der Varianz (R² = 0,110, p < 0,05). Der Einschluss der Variable Körpermasse erhöht die Varianz um 67% (R²_{change} = 0,670, p < 0,001), der Variable Geschlecht um 11,1% (R²_{change} = 0,111, p < 0,001) und der Variable Hautfaltendicke Triceps um 3,6% (R²_{change} = 0,036, p < 0,001).

Das aus den neu entwickelten Regressionsgleichungen berechnete GKF(kg) (GKF_{nTOBEC}) korreliert, sowohl bei den Frauen (r = 0,973, p < 0,001), als auch bei den Männern (r = 0,927, p < 0,001) in hohem Maße mit dem GKF (kg) der Referenzmethode DXA (GKF_{DXA}), **Abbildung 2**.

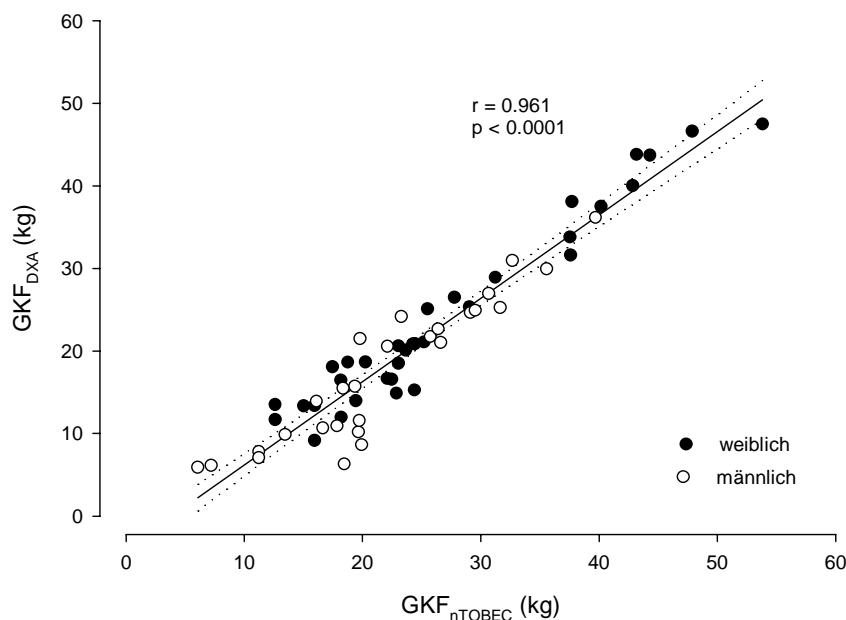


Abbildung 2. Lineare Regression (95% Konfidenzintervall): GKF (kg), gemessen mit DXA (GKF_{DXA}), aufgetragen gegen das berechnete aus nTOBEC (GKF_{nTOBEC}), Regressionsgruppe (n=61)

Die mittlere Differenz zwischen GKF_{DXA} und GKF_{nTOBEC} betrug bei den Frauen $-3,1 \pm 2,6$ kg, bei den Männern $-4,4 \pm 3,3$ kg.

Die graphische Darstellung (**Abbildung 3**) durch einen Bland–Altman–Plots verweist - angezeigt durch die negative Differenz zwischen den Methoden - auf eine Überschätzung des GKF (kg) durch nTOBEC im Vergleich zu DXA.

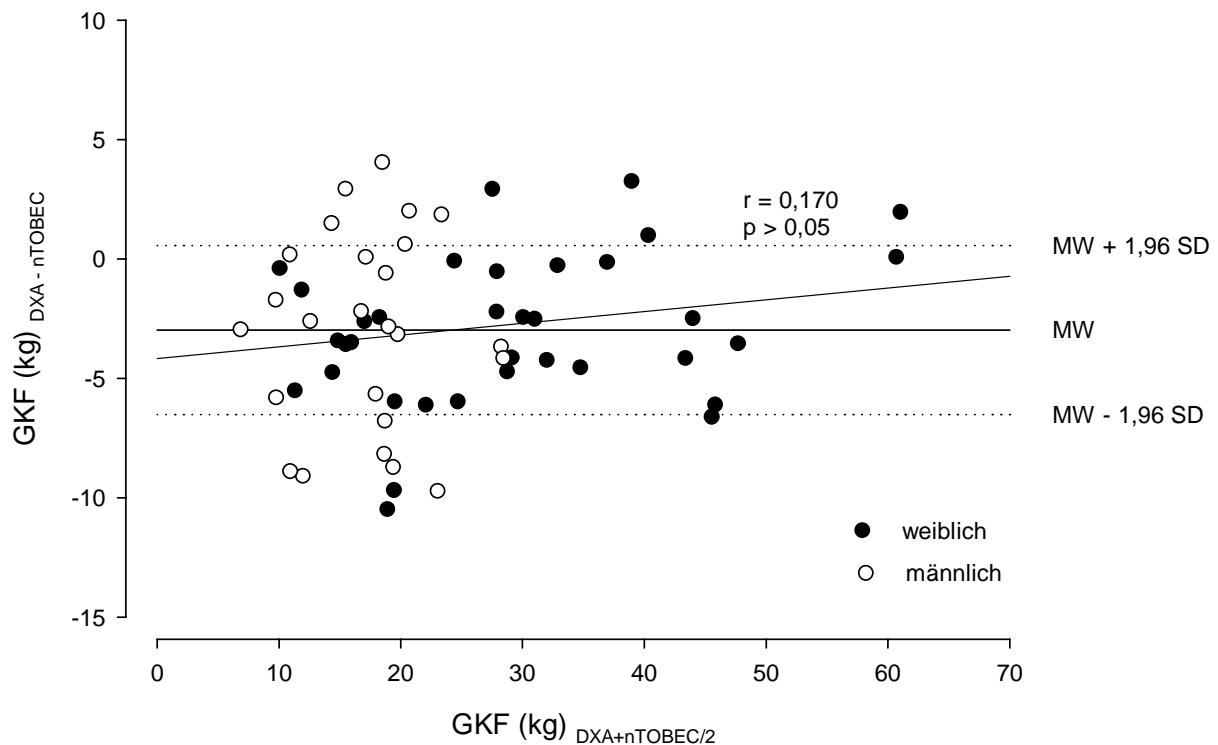


Abbildung 3. Bland Altman Plot: Gesamtkörperfett (GKF) (kg), Differenz GKF_{DXA} und GKF_{nTOBEC} , aufgetragen gegen das arithmetische Mittel beider Methoden

Die absolute Differenz zwischen GKF_{DXA} und GKF_{nTOBEC} war bei 11 Probanden (18%) kleiner als 5%, bei 9 Probanden (15%) zwischen 5 und 10%, bei 21 Probanden (34%) zwischen 10 und 20% und bei 20 Probanden (33%) größer als 20%.

6.4 Erfassung der Gesamtkörperfettmasse mit der neuen Methode

Im Folgenden wird der Vergleich der Gesamtkörperfettmasse ermittelt mit nTOBEC (GKF_{nTOBEC}), ADP (GKF_{ADP}), Hydrodensitometrie (GKF_{HD}), Isotopenverdünnung (GKF_{IV}), Bioelektrischer Impedanzanalyse (GKF_{BIA}) und Hautfaltendickenmessung (GKF_{HF}) im Vergleich zur Referenzmethode DXA beschrieben. Es sollen die Fragen beantwortet werden, ob die neue Technik in der Lage ist, die Gesamtkörperfettmasse hinreichend genau zu bestimmen und darüber hinaus, inwieweit die Ergebnisse aus nTOBEC im Vergleich zu existierenden Methoden eingeordnet werden können. Der Vergleich wurde an 60 gesunden Erwachsenen aus dem

Großraum Berlin-Brandenburg im Alter zwischen 19 und 69 Jahren, einem mittleren BMI von 25,7 kg/m² und einer mittleren Gesamtkörperfettmasse von 21,8 kg durchgeführt. Die allgemeine Charakteristik der Probanden der Validationsgruppe unterscheidet sich nicht signifikant von der der Regressionsgruppe. Dieser nichtsignifikante Unterschied war Voraussetzung für die Anwendung der - an der Regressionsgruppe entwickelten - Regressionsgleichung auf die 60 Probanden der Validationsgruppe. Die allgemeine Charakteristik der Probanden der Validationsgruppe (n = 60) ist in **Tabelle 13** dargestellt.

Tabelle 13. Charakteristik ^a der Probanden der Validationsgruppe

	Validations- Gruppe		p ^b	
	männlich	weiblich	männlich	weiblich
N	25	35		
Alter	38,7 ± 14,7	40,3 ± 14,2		
(Jahre)	19 – 69	20 – 65	0,784	0,834
Körperhöhe	178,5 ± 8,5	166,4 ± 7,0		
(cm)	160,8- 190,9	142,7 – 180,7	0,689	0,301
Körpermasse	78,4 ± 9,1	73,7 ± 17,7		
(kg)	60,5 – 98,5	43,8 – 110,5	0,083	0,235
BMI	24,7 ± 3,0	26,6 ± 6,2		
(kg/m ²)	19,6 – 30,8	17,8 – 39,4	0,163	0,429
GKF _{DXA}	15,8 ± 5,9	27,8 ± 13,9		
(kg)	5,4 – 26,4	8,55 – 62,0	0,432	0,209

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spanne

^b Student's t-test Regressions vs. Validationsgruppe

Die Gesamtkörperfettmasse der Probanden der Validationsgruppe wurde mit der neuen Methode und den ausgewählten Labor- und Feldmethoden erfasst. Über die Ergebnisse informiert **Tabelle 14**.

Tabelle 14. Gesamtkörperfettmasse^a (kg) der Probanden der Validationsgruppe; gemessen mit: DXA, nTOBEC, HD, ADP, IV, BIA, HF

Validationsgruppe			
		Männer	Frauen
GKF_{DXA} (kg)	22,8 ± 12,7 5,4 – 62,0 (n = 60)	15,7 ± 6,0 5,4 – 26,4 (n = 25)	27,8 ± 13,9 8,6 – 62,0 (n = 35)
GKF_{nTOBEC} (kg)	25,7 ± 12,1 8,3 – 60,6 (n = 60)	18,7 ± 5,8 8,3 – 30,5 (n = 25)	30,8 ± 13,0 10,3 – 60,6 (n = 35)
GKF_{HD} (kg)	25,9 ± 12,7 2,4 – 51,0 (n = 55)	17,4 ± 8,8 2,4 – 36,8 (n = 23)	32,0 ± 11,6 8,3 – 51,0 (n = 32)
GKF_{ADP} (kg)	22,5 ± 13,6 5,9 – 62,1 (n = 60)	15,9 ± 6,9 5,9 – 30,4 (n = 25)	27,1 ± 15,4 6,4 – 62,1 (n = 35)
GKF_{IV} (kg)	31,8 ± 12,0 15,3 – 60,7 (n = 37)	25,5 ± 10,9 15,3 – 53,1 (n = 13)	35,2 ± 11,4 17,9 – 60,7 (n = 24)
GKF_{BIA} (kg)	21,7 ± 10,6 5,6 – 51,8 (n = 60)	16,2 ± 4,7 5,6 – 25,2 (n = 25)	25,7 ± 11,9 7,1 – 51,8 (n = 35)
GKF_{HF} (kg)	23,4 ± 10,2 6,3 – 51,8 (n = 60)	17,7 ± 5,4 6,3 – 28,4 (n = 25)	27,4 ± 10,9 10,9 – 51,8 (n = 35)

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spannweite und valide Fälle

Alle Mittelwerte der Gesamtkörperfettmasse der ausgewählten Methoden unterscheiden sich vom Referenzwert (GKF_{DXA}). Diese Beobachtung trifft für die gesamte Validationsgruppe und getrennt für Männer und Frauen zu. Nimmt man GKF_{DXA} (kg) als wahren Wert an, so konnte beobachtet werden, dass die Mittelwerte der Gesamtkörperfettmasse (kg) aus ADP und Hautfaltendickenmessung weniger als 1 kg vom Referenzwert abweichen – prozentual betrachtet, weichen GKF_{ADP} 1,3% (0,3 ± 3,0 kg) und GKF_{HF} 2,6% (-0,6 ± 4,1 kg) vom Referenzwert ab. GKF_{BIA} (kg) weicht im Mittel 4,8% (1,1 ± 3,5 kg) von GKF_{DXA} (kg) ab. Die verbliebenen Methoden, zu denen auch nTOBEC zählt, zeigen im Mittel Abweichungen in der Gesamtkörperfettmasse (kg) größer als 10% vom Referenzwert: GKF_{nTOBEC} 13,2% (-3,0 ± 3,5 kg), GKF_{HD} 13,6 % (-3,1 ± 6,9 kg) und GKF_{IV} von 39,5 % (-9 ± 6,1 kg).

Tabelle 15 vermittelt einen Eindruck darüber, bei welcher Anzahl an Probanden (%) Abweichungen kleiner 5%, zwischen 5 und 10%, zwischen 10 und 20% und größer 20% in der Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode erfasst wurden. Absolute Abweichungen kleiner 5% waren nur bei wenigen Probanden zu finden. Im Gegensatz dazu konnten Abweichungen der Gesamtkörperfettmasse > 20% vom Referenzwert bei durchschnittlich einem Drittel der Probanden beobachtet werden.

Tabelle 15. Absolute Abweichungen (<5, 5 – 10, 10 – 20, > 20%) der Gesamtkörperfettmasse, gemessen mit den ausgewählten Methoden im Vergleich zum Referenzwert bei (%) Probanden der Validationsgruppe, n = 60

GKF- Abweichung (%)	< 5%	5 – 10%	10 – 20%	> 20%
nTOBEC	20,0	15,0	31,6	33,4
HD	5,6	9,4	30,3	54,7
ADP	25,0	30,0	28,3	16,7
IV	19,0	16,2	16,2	48,6
BIA	20,0	31,7	28,3	20,0
HF	32,0	13,3	23,0	31,7
Ø aller Methoden	20,3	19,3	26,3	34,2

Die **Tabelle 16** informiert über die Korrelationskoeffizienten zwischen der Gesamtkörperfettmasse ermittelt mit der Referenzmethode und der neuen Technik sowie den ausgewählten Methoden. Die Koeffizienten sind für die Gesamtheit der Gruppe und getrennt für Männer und Frauen dargestellt.

Tabelle 16. Korrelation der Gesamtkörperfettmasse aus DXA (Referenz) mit der aus nTOBEC, HD, ADP, IV, BIA, HF; Validationsgruppe, n = 60

	Validationsgruppe	
	Männer	Frauen
nTOBEC vs. DXA	0,960**	0,975**
HD vs. DXA	0,899**	0,909**
ADP vs. DXA	0,976**	0,984**
IV vs. DXA	0,897**	0,966**
BIA vs. DXA	0,972**	0,980**
HF vs. DXA	0,959**	0,967**

** Korrelation ist signifikant bei $p < 0,001$

Die graphische **Abbildung 5** verdeutlicht den linearen Trend der Gesamtkörperfettmasse, erfasst mit der Referenzmethode DXA (y-Achse), nTOBEC und den ausgewählten Methoden (x-Achse). Der starke lineare Zusammenhang zwischen GKF_{DXA} und GKF_{nTOBEC} wird deutlich. Ein Großteil der Messwerte liegt auf der Regressionsgerade oder innerhalb des 95%-igen Konfidenzintervalls.

Der Zusammenhang zwischen GKF_{DXA} und GKF_{ADP} zeigt sich sowohl in der Form der Korrelationskoeffizienten als auch in der graphischen Darstellung als stärkster im Vergleich zu den anderen Methoden.

Die Ergebnisse der Feldmethoden BIA und HF lassen ebenfalls einen starken linearen Zusammenhang mit denen der Referenzmethode erkennen.

Geringe Abstriche in der Stärke des linearen Zusammenhangs ergaben sich zwischen dem GKF_{DXA} und GKF_{HD} bzw. GKF_{IV} . Die graphische Darstellung zeigt, dass nicht alle Werte auf bzw. entlang der Regressionsgeraden oder innerhalb des 95%-igen Konfidenzintervalls liegen – die Messwerte dieser Probanden weichen in größerem Maße vom Referenzwert ab.

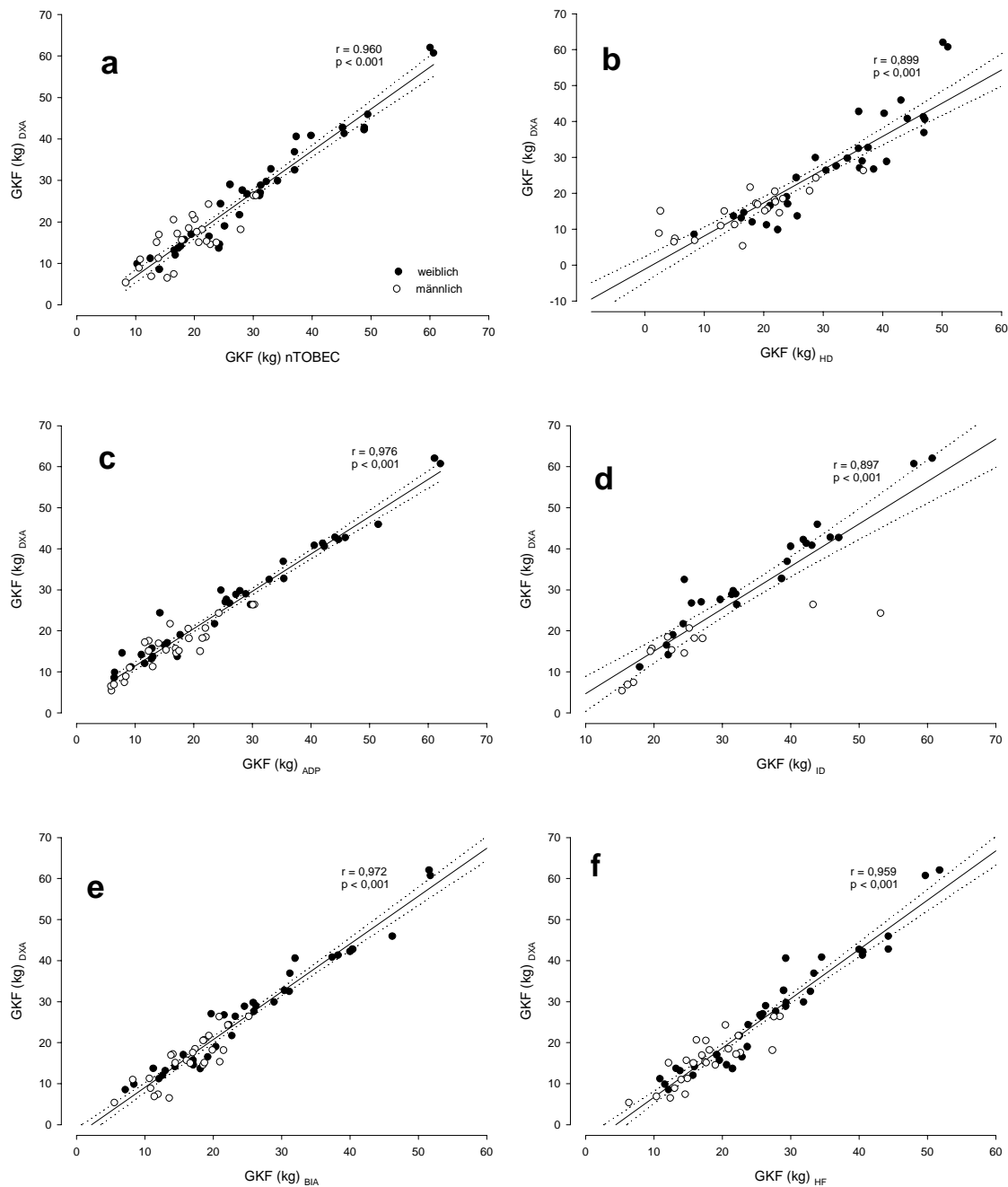


Abbildung 5. Lineare Regression (95% Konfidenzintervall), GKF_{DXA} aufgetragen gegen
a) GKF_{nTOBEC} , $n=60$; **b)** GKF_{HD} , $n = 55$; **c)** GKF_{ADP} , $n = 60$; **d)** GKF_{IV} , $n = 37$;
e) GKF_{BIA} , $n = 60$; **f)** GKF_{HF} ; Validationsgruppe, $n = 60$

Die berechneten mittleren Differenzen zwischen der Gesamtkörperfettmasse aus der Referenzmethode Dual Energy X-Ray Absorptiometry und der neuen Methode nTOBEC sowie den Labormethoden Hydrodensitometrie, Air Displacement Plethysmography, Isotopenverdünnung und den Feldmethoden bioelektrische Impedanzanalyse und Hautfaltendickenmessung sind in der **Tabelle 17** zusammengefasst.

Tabelle 17. mittlere Differenzen^a GKF_{DXA} (kg) und GKF_{nTOBEC} (kg), GKF_{HD} (kg), GKF_{ADP} (kg), GKF_{IV} (kg), GKF_{BIA} (kg), GKF_{HF} (kg); Validationsgruppe, n = 60

Differenz	Validationsgruppe	
	Männer	Frauen
$GKF_{DXA} - GKF_{nTOBEC}$	- 2,9 ± 3,8	- 2,9 ± 4,1
$GKF_{DXA} - GKF_{HD}$	- 3,1 ± 6,9	- 1,7 ± 5,4
$GKF_{DXA} - GKF_{ADP}$	0,3 ± 3,0	- 0,2 ± 3,0
$GKF_{DXA} - GKF_{IV}$	- 9,0 ± 6,1	- 9,8 ± 6,2
$GKF_{DXA} - GKF_{BIA}$	1,1 ± 3,5	2,1 ± 3,9
$GKF_{DXA} - GKF_{HF}$	- 0,6 ± 4,1	0,4 ± 4,0

^a Mittelwert ± Standardabweichung

Sowohl bei den Männern als auch den Frauen ergaben sich z. T. erhebliche Abweichungen zwischen der Gesamtkörperfettmasse aus der Referenzmethode DXA und den verschiedenen Methoden. Die bestmögliche Übereinstimmung fand sich zwischen der Referenzmethode und der Air Displacement Plethysmography. Bei den Männern unterschätzte (0,3 kg), bei den Frauen überschätzte (0,2 kg) die densitometrische Labormethode das Gesamtkörperfett im Vergleich zur Referenzmethode.

Im Mittel wurde die Gesamtkörperfettmasse mit der neuen Technik, der Hydrodensitometrie und der Isotopenverdünnung signifikant, mit der Hautfaltendickenmessung nicht signifikant im Vergleich zur Referenzmethode überschätzt. Die mittlere Differenz zwischen GKF_{DXA} und GKF_{nTOBEC} war dabei vergleichbar groß wie die Differenz zwischen GKF_{DXA} und GKF_{HD} . Im Vergleich zu den anderen Methoden war die mittlere Differenz zwischen GKF_{DXA} und GKF_{IV} mit -9,0 kg überdurchschnittlich groß.

Die Bland-Altman-Plots in **Abbildung 6** erlauben einen Vergleich zwischen der Referenzmethode DXA und der neuen Technik, bzw. den anderen angewandten Labor- und Feldmethoden.

Angezeigt durch die mittlere negative Differenz zwischen der Messgröße aus der Referenzmethode DXA und der jeweils betrachteten Methode auf der y-Achse, bestätigte sich eine mittlere Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse durch nTOBEC, die Hydrodensitometrie, die Isotopenverdünnung und die Hautfaltendickenmessung im Vergleich zu DXA. Die Feldmethode bioelektrische Impedanzanalyse unterschätzte im Mittel – angezeigt durch eine positive Differenz zwischen der Körperfettmasse aus DXA und der Feldmethode - die Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode.

Eine exakte Übereinstimmung der Zielgröße, erfasst mit der Referenzmethode und der jeweils zu vergleichenden Methode läge vor, wäre die Differenz der Zielgröße zwischen den Methoden für

jeden Probanden Null. Die **Abbildungen 6a – g** zeigen jedoch eine große Streuung der einzelnen Messwerte um den Idealpunkt. Es bestätigt sich, dass die Übereinstimmung der Ergebnisse der verschiedenen Methoden mit denen der Referenzmethode im Mittel gut ist, dass aber bei Betrachtung des einzelnen Individuums z. T. beträchtliche Abweichungen vom Referenzwert vorliegen.

Zusätzlich wurden in die Abbildungen die entsprechenden Regressionsgeraden involviert um mögliche lineare Zusammenhänge zwischen der Differenz und dem arithmetischen Mittel der Messgröße aus DXA und der jeweils betrachteten Methode aufzudecken.

Bei den Feldmethoden bioelektrische Impedanzanalyse und Hautfaltendickenmessung ergab sich ein starker linearer Zusammenhang. Dieser Zusammenhang verdeutlicht die Abhängigkeit der Übereinstimmung der Ergebnisse der Feldmethoden mit denen der Referenzmethode von der Gesamtkörperfettmasse – mit steigender Gesamtkörperfettmasse unterschätzen beide Methoden diese im Vergleich zur DXA, **Abbildung 6f, 6g**. Dieser Trend der Unterschätzung der Gesamtkörperfettmasse deutete sich auch bei der neuen Technik an. Bei nTOBEC zeigte sich der Zusammenhang weniger stark als bei den Feldmethoden, **Abbildung 6a**.

Im Gegensatz dazu ergab sich bei den Labormethoden Hydrodensitometrie, Air Displacement Plethysmography und Isotopenverdünnung ein linearer Trend, in Richtung einer Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse sobald diese größer wird, **Abbildung 6b – e**.

In der **Abbildung 6d** fällt das Ergebnis eines männlichen Probanden auf. Die extrem positive Differenz zwischen den Methoden von 56,3 kg bei diesem Probanden stellte sich als unphysiologisch heraus. Daher muss man in diesem Fall von einem Messfehler ausgehen. Nach Ausschluss dieses Probanden ergab sich ein neues Bild, **Abbildung 6e** – die mittlere Differenz zwischen GKF_{DXA} (kg) und GKF_{IV} (kg) entfernte sich weiter vom Nullpunkt, so dass die Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse durch die Isotopenverdünnung noch deutlicher wurde. Der lineare Zusammenhang zwischen der Differenz und dem arithmetischen Mittel aus DXA und IV wurde nach Ausschluss des Probanden ebenfalls stärker. Es bestätigt sich der Trend der Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse, sobald diese größer wird.

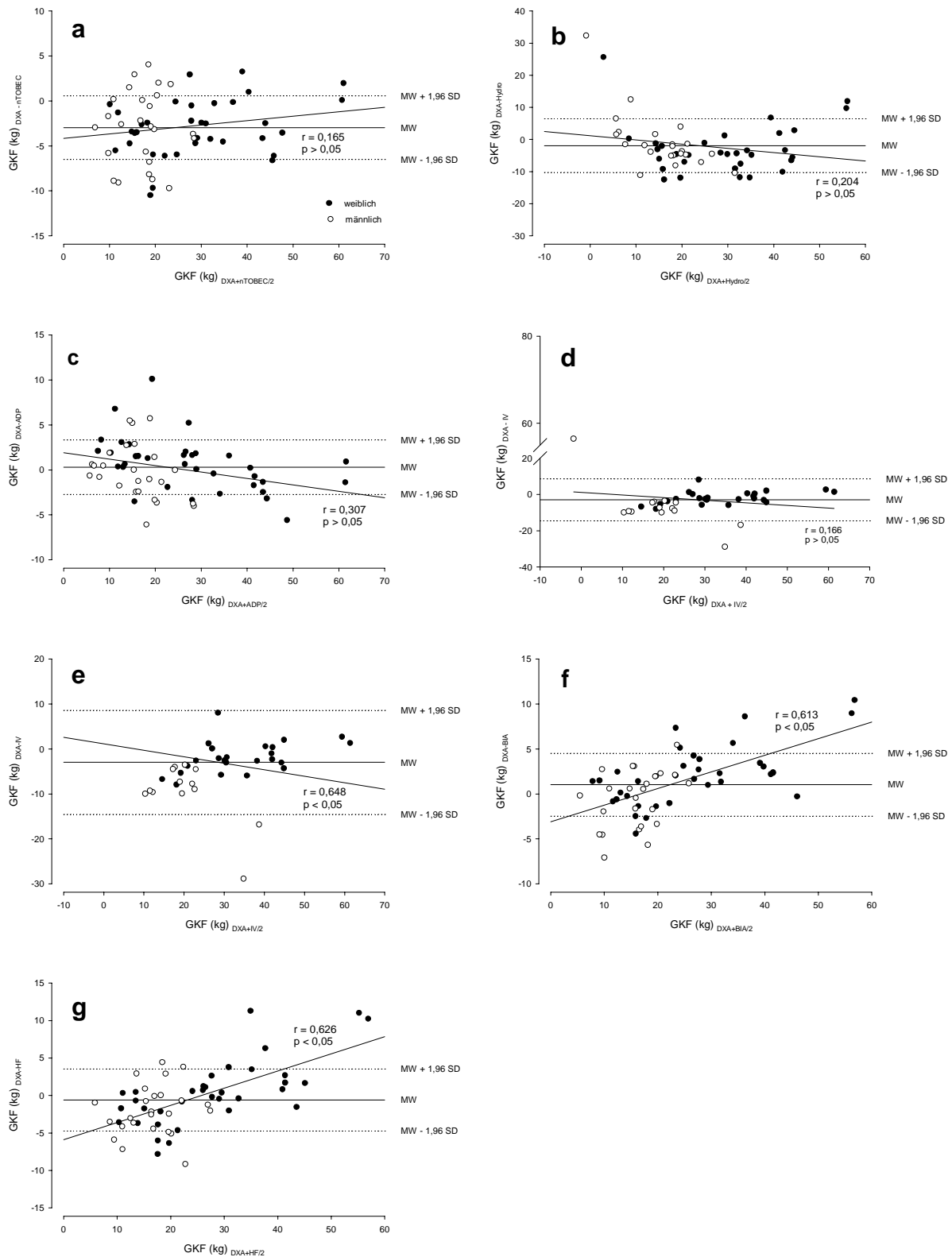


Abbildung 6. Bland Altman Plot: Differenz GKF_{DXA} (kg) und **a**) GKF_{nTOBEC} (kg), $n = 60$; **b**) GKF_{HD} (kg), $n = 55$; **c**) GKF_{ADP} (kg), $n = 60$; **d**) GKF_{IV} (kg), $n = 37$; **e**) GKF_{IV} (kg), $n = 36$; **f**) GKF_{BIA} (kg), $n = 60$; **g**) GKF_{HF} (kg), $n = 60$; aufgetragen gegen das arithmetische Mittel beider Methoden

6.5 Erfassung von Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse

Von den insgesamt 129 rekrutierten Erwachsenen erklärten sich 47 übergewichtige Probanden (BMI > 25,0 kg/m²) bereit, an der Interventionsstudie mit dem Ziel der Körpermassen- bzw. Körperfettreduktion teilzunehmen. Ein Proband musste die Interventionsstudie aus persönlichen Gründen vorzeitig beenden und wurde aus den weiteren Berechnungen ausgeschlossen. Von den 46 verbliebenen Probanden konnten neun die Messungen mit der Isotopenverdünnung nicht erfolgreich bewältigen, so dass von diesen Probanden keine Angaben über die Körperzusammensetzung - bestimmt mit der Isotopenverdünnung - vorliegen. Die allgemeine Charakteristik der Studienteilnehmer zu Beginn und nach Abschluss der Intervention ist in den **Tabelle 18** und **19** dargestellt.

Tabelle 18. Allgemeine Charakterisierung^a der Probanden der Interventionsgruppe; Männer

	Beginn	nach 8 Wochen	nach 16 Wochen	p ^b	p ^c
n	13	13	13		
Alter (a)	60,3 ± 7,5 (43- 67)				
Körperhöhe (cm)	172,0 ± 7,9 (160,8 – 187,0)				
Körpermasse (kg)	92,4 ± 13,7 (72,2 – 115,1)	88,2 ± 12,2 (67,8 – 105,8)	86,2 ± 11,2 (66,7 – 105,0)	0,001	0,014
BMI (kg/m²)	31,1 ± 3,0 (27,2 – 37,5)	29,8 ± 2,8 (26,1 – 36,0)	29,1 ± 2,8 (25,8 – 35,7)	0,001	0,012
Taille/Hüfte-Index	1,04 ± 0,07 (1,0 – 1,2)	1,02 ± 0,05 (0,9 – 1,1)	0,99 ± 0,04 (0,9 – 1,0)	0,001	0,003
GKF_{ADP} (kg)	31,1 ± 8,6 (19,0 – 49,8)	28,3 ± 7,7 (14,1 – 43,5)	26,3 ± 5,9 (16,9 – 39,2)	0,002	0,046

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spannweite; ^b Student's t-Test Beginn vs. Woche 16;

^c Student's t-Test Woche 8 vs. Woche 16

Tabelle 19. Allgemeine Charakterisierung^a der Probanden der Interventionsgruppe; Frauen

	Beginn	nach 8 Wochen	nach 16 Wochen	p ^b	p ^c
n	33	33	33		
Alter (a)	51,2 ± 10,5 (24 - 67)				
Körperhöhe (cm)	165,3 ± 4,6 (157,5 – 175,4)				
Körpermasse (kg)	87,4 ± 14,6 (67,5 – 115,5)	84,6 ± 14,1 (65,8 – 112,4)	83,3 ± 13,7 (64,6 – 110,5)	0,000	0,000
BMI (kg/m²)	32,0 ± 5,4 (25,3 – 43,0)	31,0 ± 5,3 (24,1 – 40,1)	30,5 ± 5,2 (23,7 – 39,4)	0,000	0,000
Taille/Hüfte-Index	0,88 ± 0,05 (0,8 – 1,0)	0,85 ± 0,05 (0,7 – 1,0)	0,84 ± 0,06 (0,7 – 1,0)	0,000	0,062
GKF_{ADP} (kg)	40,0 ± 11,5 (24,3 – 71,1)	38,2 ± 11,2 (20,9 – 62,3)	36,9 ± 11,2 (20,2 – 62,1)	0,000	0,000

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spannweite; ^b Student's t-Test Beginn vs. Woche 16;

^c Student's t-Test Woche 8 vs. Woche 16

6.5.1 Veränderungen von Körpermasse, BMI (kg/m²), Taille/Hüfte Index, Gesamtkörperfettmasse, Energieaufnahme und -verbrauch während der Intervention

Sowohl die Frauen als auch die Männern konnten nach 8 bzw. 16 Wochen signifikante Veränderungen der Körpermasse, der Gesamtkörperfettmasse und des BMI erzielen.

Die Frauen reduzierten die Körpermasse im Mittel um 4,1 kg (4,7%). Ein großer Teil dessen ist auf die Gesamtkörperfettmasse zurück zu führen – im Mittel konnten die Frauen das Gesamtkörperfett signifikant um 3,1 kg (7,8%) verringern, **Abbildung 7a**. Die männlichen Teilnehmer konnten ihre Körpermasse im Mittel signifikant um 6,2 kg (6,8%) senken. Auch dieses Ergebnis ist größtenteils auf die signifikante Reduktion von Körperfett zurückzuführen (4,8 kg (15,4%)), **Abbildung 7b**. Der BMI sank im Mittel bei den Frauen um 1,5 kg/m², bei den Männern um 2,0 kg/m², **Abbildung 8a**. Der Taille/Hüfte Index veränderte sich bei den Männern nach 8 und 16 Wochen, bei den Frauen nach 8 Wochen Intervention signifikant, **Abbildung 8b**.

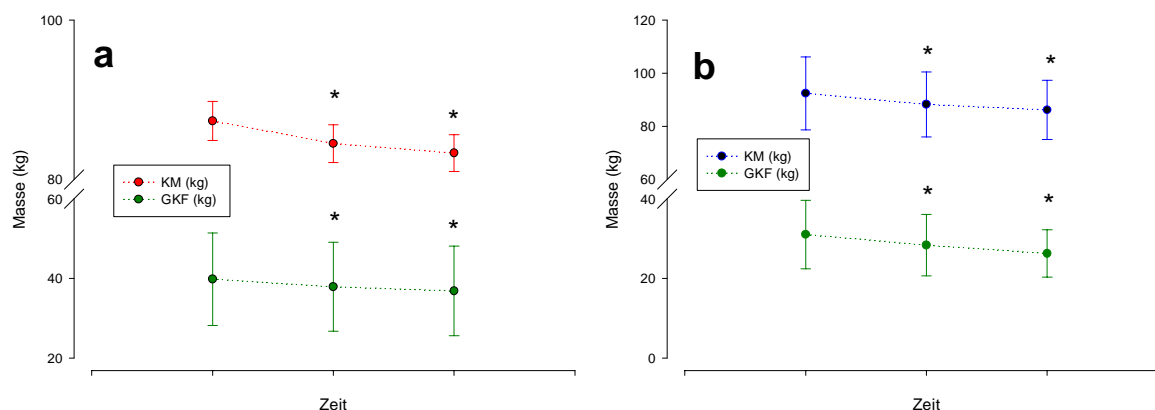


Abbildung 7. Veränderungen der Körpermasse (KM) kg und Gesamtkörperfettmasse (GKF) kg während der 16-wöchigen Intervention, **a)** Frauen, **b)** Männer; * $p < 0.05$

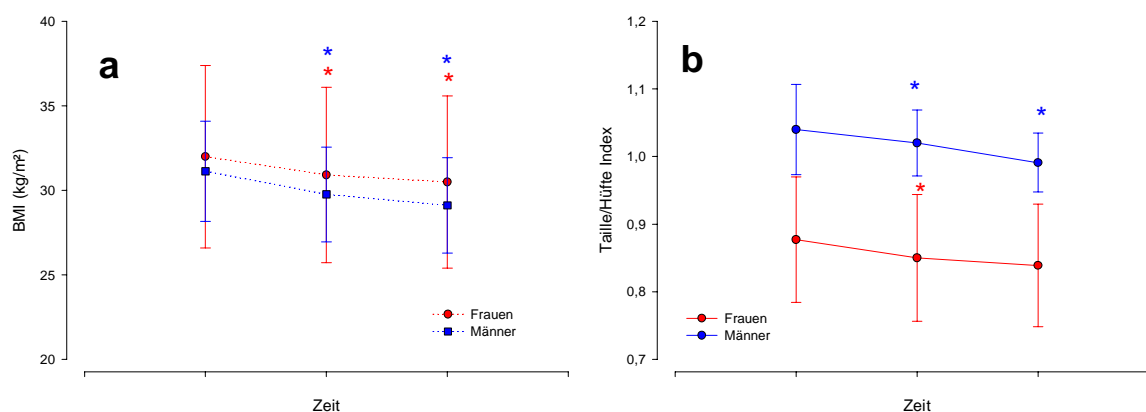


Abbildung 8. Veränderungen des **a)** Body Mass Index (BMI) kg/m^2 und **b)** Taille/Hüfte Index während der 16-wöchigen Intervention; * $p < 0.05$

Die erzielte Reduktion von Körpermasse bzw. Körperfett kann durch den Rückgang der Energieaufnahme mit der Nahrung erklärt werden. Die Daten der Energieaufnahme stützen sich auf die Angaben aus den Ernährungsprotokollen durch die Probanden. Die Frauen senkten ihre Energieaufnahme während des gesamten Interventionszeitraumes signifikant, die Männer nichtsignifikant, **Tabelle 20, 21, Abbildung 9a, 9b**. Der Fettkonsum senkte sich bei den Frauen (von $74,5 \pm 28,7$ g auf $60,5 \pm 21,5$ g) und Männern (von $77,4 \pm 23,6$ g auf $65,0 \pm 19,3$ g) signifikant. Gleichzeitig veränderte sich der Kohlenhydrat- und Proteinverzehr während der Intervention weder bei den Frauen noch bei den Männern signifikant. Die Ballstoffaufnahme der Männer stieg während der Intervention signifikant von $31,7 \pm 8,0$ g auf $40,5 \pm 8,1$ g; bei den Frauen wurde keine signifikante Veränderung festgestellt.

Die Ergebnisse zum Energieverbrauch durch körperliche Aktivität stützen sich ebenfalls auf die Angaben der Probanden in den Aktivitätsprotokollen. Der Energieverbrauch stieg im Verlauf der Intervention weder bei den Frauen noch bei den Männern signifikant, **Tabelle 20, 21, Abbildung 9a, 9b**. Dennoch wurde bei den Männern eine tendenzielle Erhöhung des Energieverbrauchs von $16,0 \pm 2,8$ MJ/24 h auf $16,9 \pm 3,7$ MJ/24h registriert.

Tabelle 20. Energieaufnahme und -verbrauch^a während der Intervention; Männer

	Beginn	8 Wochen	16 Wochen	p ^b	p ^c
Energieaufnahme (MJ/24h)	8,8 ± 1,9 (5,0 – 11,7)	8,6 ± 1,9 (6,1 – 12,8)	9,0 ± 1,7 (5,0 – 11,4)	0,661	0,471
Energieverbrauch (MJ/24h)	16,0 ± 2,8 (12,1 – 19,1)	16,9 ± 4,2 (11,6 – 27,8)	16,9 ± 3,7 (12,7 – 26,9)	0,242	0,942

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spannweite; ^b Student's t-Test Beginn vs. Woche 16; ^c Student's t-Test Woche 8 vs. Woche 16

Tabelle 21. Energieaufnahme und -verbrauch^a während der Intervention; Frauen

	Beginn	8 Wochen	16 Wochen	p ^b	p ^c
Energieaufnahme (MJ/24h)	8,7 ± 2,9 (4,6 – 18,1)	7,0 ± 1,7 (4,3 – 12,8)	7,7 ± 2,2 (4,1 – 13,5)	0,064	0,006
Energieverbrauch (MJ/24h)	14,4 ± 3,0 (9,1 – 22,2)	14,6 ± 2,7 (10,4 – 20,3)	14,2 ± 2,8 (9,5 – 26,9)	0,381	0,050

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spannweite; ^b Student's t-Test Beginn vs. Woche 16; ^c Student's t-Test Woche 8 vs. Woche 16

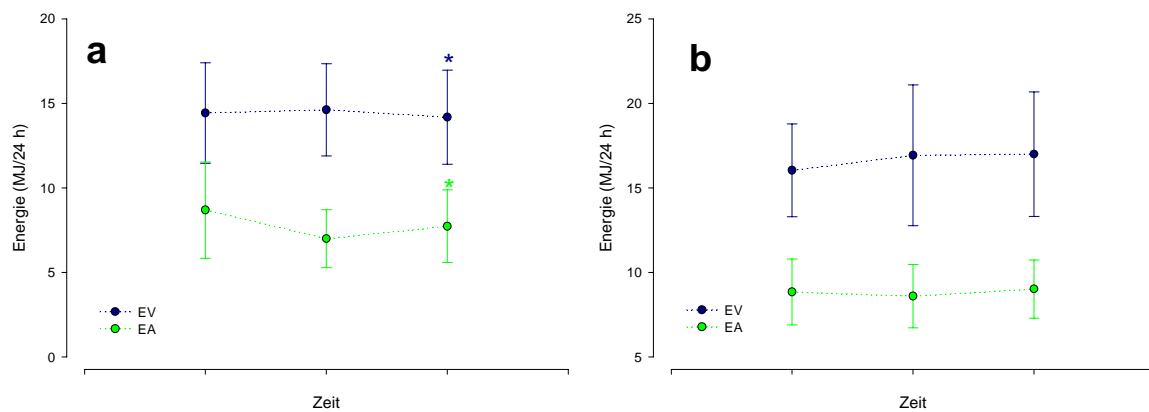


Abbildung 9. Energieverbrauch (EV) MJ/24 h und Energieaufnahme (EA) MJ/24 h während der Intervention, a) Frauen, b) Männer

6.5.2 Erfassung von Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse durch die angewandten Methoden

Eine erste Auswertung der Daten der Körperzusammensetzung zu Beginn der Interventionsstudie zeigte eine Instabilität der Messwerte von nTOBEC. Die beobachtete Instabilität der Messwerte war Anlass für eine detaillierte Fehleranalyse. Es zeigte sich, dass das generierte elektromagnetische Feld durch die im Raum befindlichen Geräte beeinflusst wurde. Eine mehrtägige Analyse und Behebung der technischen Schwierigkeiten konnte valide Messwerte

gewährleisten. Die bis zu diesem Zeitpunkt erfassten Messwerte mussten auf Grund der beschriebenen Schwierigkeiten verworfen werden, so dass keine Werte der Körperzusammensetzung aus nTOBEC zur Baseline-Untersuchung vorliegen. Die Beurteilung der Fähigkeit von nTOBEC Veränderungen der Körperzusammensetzung zu dokumentieren, bezieht sich daher auf die zweite Hälfte des Interventionszeitraums (Woche 8 bis Woche 16). Die **Tabelle 22** informiert über die Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse während der Intervention, erfasst mit den verschiedenen Methoden.

Tabelle 22. Gesamtkörperfettmasse^a (kg) während der Intervention, verschiedenen Methoden, Interventionsgruppe, n = 46

	Woche 0		Woche 8		Woche 16	
	männlich	weiblich	männlich	weiblich	männlich	weiblich
ADP	31,1 ± 8,6 (19,0 – 49,8)	40,0 ± 11,5 (24,3 – 71,1)	28,3 ± 7,7 (14,1 – 43,5)	38,2 ± 11,2 (20,9 – 62,3)	26,3 ± 5,9 (16,9 – 39,2)	36,9 ± 11,2 (20,2 – 62,1)
nTOBEC			19,2 ± 6,9 (8,9 – 31,2)	31,6 ± 10,7 (13,4 – 54,7)	16,6 ± 6,2 (8,6 – 29,9)	28,9 ± 10,1 (14,1 – 51,5)
HD	29,4 ± 6,5 (17,3 – 38,1)	41,3 ± 6,2 (29,5 – 52,6)	27,4 ± 7,1 (16,0 – 37,8)	40,6 ± 7,3 (29,1 – 53,8)	29,2 ± 5,4 (20,6 – 36,8)	39,6 ± 7,1 (27,7 – 51,0)
IV	33,3 ± 9,1 (18,1 – 48,6)	40,6 ± 10,5 (26,6 – 66,1)	30,5 ± 7,3 (18,4 – 42,1)	36,9 ± 11,6 (9,8 – 61,9)	31,9 ± 10,3 (19,7 – 53,1)	35,7 ± 11,2 (8,3 – 60,7)
BIA	25,7 ± 5,9 (17,2 – 38,8)	35,4 ± 9,9 (22,2 – 58,0)	22,8 ± 5,4 (14,7 – 36,5)	33,5 ± 9,4 (20,8 – 54,5)	22,1 ± 5,2 (16,1 – 36,6)	32,7 ± 9,4 (19,7 – 51,8)
HF	30,2 ± 7,8 (18,7 – 41,2)	37,6 ± 8,8 (25,2 – 57,3)	26,2 ± 6,9 (14,6 – 38,2)	35,3 ± 9,2 (21,8 – 53,7)	23,5 ± 6,4 (14,8 – 34,5)	33,0 ± 8,8 (19,3 – 51,8)

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spannweite

Beim Vergleich der Mittelwerte der Gesamtkörperfettmasse wird deutlich, dass sich die Ergebnisse aller Methoden unterscheiden. Sowohl bei den Männern als auch den Frauen unterschieden sich die Mittelwerte zu Beginn der Intervention weniger voneinander als am Ende. Bei den Männern erfasste die Isotopenverdünnung die höchste, nTOBEC die niedrigste Gesamtkörperfettmasse. Diese Beobachtung traf für alle Messpunkte zu. Bei den Frauen ermittelte die Hydrodensitometrie den höchsten, nTOBEC den niedrigsten Anteil an Gesamtkörperfettmasse – an allen Messpunkten, **Abbildung 10**.

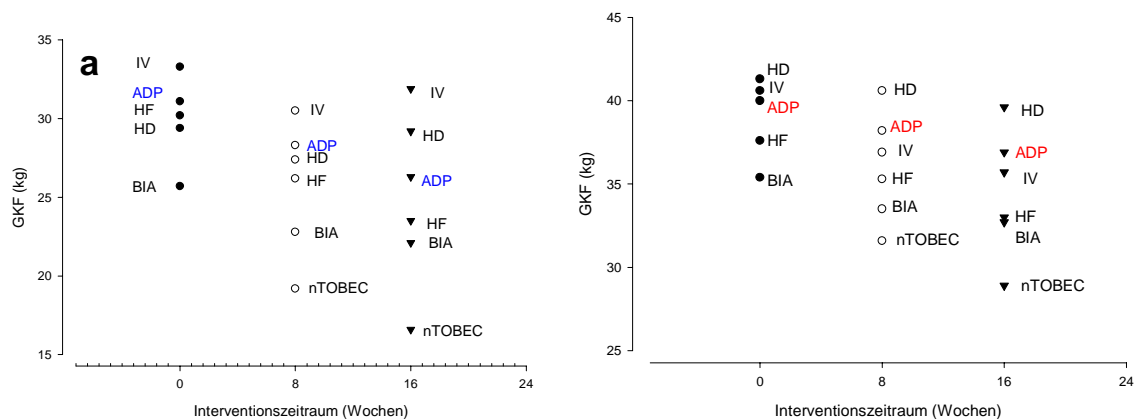


Abbildung 10. GKF (kg), während der Intervention, erfasst mit den angewandten Methoden;
a) Männer b) Frauen

Die mittleren Differenzen der Gesamtkörperfettmasse zwischen dem Referenzwert, nTOBEC und den ausgewählten Methoden sind in **Tabelle 23** zusammengefasst.

Tabelle 23. Mittlere Differenzen^a der Gesamtkörperfettmasse (kg) zwischen GKF_{ADP}, nTOBEC und den ausgewählten Methoden während der Intervention, Interventionsgruppe, n = 46

	Woche 0		Woche 8		Woche 16	
	männlich	weiblich	männlich	weiblich	männlich	weiblich
nTOBEC			-9,1 ± 3,1 (5,2 – 14,7)	6,7 ± 3,7 (-1,6 – 12,6)	-9,7 ± 2,2 (6,0 – 13,0)	-8,0 ± 2,9 (3,3 – 15,1)
HD	-1,7 ± 5,6 (-7,3 – 9,2)	1,3 ± 7,9 (-13,5 – 18,5)	-0,9 ± 5,3 (-6,3 – 9,0)	2,4 ± 7,4 (-14,5 – 11,8)	2,9 ± 5,5 (-13,4 – 8,4)	2,7 ± 7,3 (-13,5 – 11,4)
IV	2,2 ± 4,2 (-8,1 – 6,6)	0,6 ± 3,8 (-8,9 – 6,8)	2,2 ± 3,6 (-8,0 – 5,3)	-1,3 ± 5,9 (-6,2 – 29,5)	5,6 ± 8,3 (-28,8 – 0,5)	-1,2 ± 7,1 (-4,2 – 34,7)
BIA	-5,4 ± 4,4 (0,2 – 16,8)	-4,6 ± 3,2 (-2,0 – 13,1)	-5,5 ± 4,8 (-0,6 – 17,2)	-4,7 ± 2,7 (-0,3 – 10,5)	-4,2 ± 3,4 (0,8 – 12,4)	-4,2 ± 2,8 (-1,4 – 10,3)
HF	-0,9 ± 4,7 (-6,4 – 12,3)	-2,4 ± 4,3 (-5,0 – 13,8)	-2,1 ± 3,4 (-3,6 – 7,7)	-2,9 ± 4,2 (-3,6 – 12,3)	-2,8 ± 3,2 (-4,8 – 7,1)	-3,9 ± 4,3 (-2,2 – 15,2)

^a Mittelwert ± Standardabweichung, Spannweite

Bei den Männern konnte zu Beginn der Intervention die bestmögliche Übereinstimmung zwischen dem Mittelwert der Referenzmethode ADP mit dem der Hautfaltendickenmessung beobachtet werden. Dabei wich der Mittelwert der Feldmethode um 2,9% vom Referenzwert ab. Es folgen die Mittelwerte der Hydrodensitometrie (5,5%), der Isotopenverdünnung (7,1%) und der bioelektrischen Impedanzanalyse (17,4%). Bei den Frauen stimmten die Mittelwerte der

Labormethoden Isotopenverdünnung mit 1,5% und der Hydrodensitometrie mit 3,3% Abweichung am besten mit dem der Referenzmethode überein. Dem folgen die Hautfaltendickenmessung (6,0%) und die bioelektrische Impedanzanalyse (11,5%).

Nach 8 Wochen Intervention ergab sich bei den Männern die beste Übereinstimmung der Gesamtkörperfettmasse zwischen der Referenzmethode und der Hydrodensitometrie. Eine Abweichung von 3,2% wurde erfasst. Die Ergebnisse der Hautfaltendickenmessung (7,4%) und der Isotopenverdünnung (7,8%) folgen. Die Mittelwerte der bioelektrischen Impedanzanalyse (19,4%) und der neuen Technik (32,2%) zeigten erhebliche Unterschiede im Vergleich zum Mittelwert der Referenzmethode. Bei den Frauen der Interventionsgruppe zeigt der Mittelwert der Isotopenverdünnung die beste Übereinstimmung mit der Referenzmethode. Die Abweichung betrug 3,4%. Die Mittelwerte aus der Hydrodensitometrie (6,3%) und der Hautfaltendickenmessung (7,6%) folgen. Eine weitaus größere Abweichung von der mittleren Gesamtkörperfettmasse der Referenzmethode wurden mit der bioelektrischen Impedanzanalyse (12,3%) und der nTOBEC (17,3%) beobachtet.

Die abschließende Erfassung der Gesamtkörperfettmasse erfolgte nach dem 16-wöchigen Interventionszeitraum. Bei den Männern fand sich die bestmögliche Übereinstimmung zwischen der Referenzmethode und der Hautfaltendickenmessung. Die mittlere Abweichung betrug im Mittel 10%. Mit der Hydrodensitometrie wurde eine mittlere Abweichung der Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode von 11%, mit der bioelektrischen Impedanzanalyse von 16%, mit der Isotopenverdünnung von 21,3% und mit nTOBEC von 36,9% erfasst. Bei den Frauen ergab sich die bestmögliche Übereinstimmung zwischen der Isotopenverdünnung und der Referenzmethode. Im Mittel unterschied sich die ermittelte Gesamtkörperfettmasse um 3,3% von der der Referenzmethode. Mit der Hydrodensitometrie wurde eine mittlere Abweichung der Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode von 7,3%, mit der Hautfaltendickenmessung von 10,6%, mit der bioelektrischen Impedanzanalyse von 11,4% und mit nTOBEC von 21,7% beobachtet.

6.5.3 Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse während der ersten Hälfte der Intervention (Woche 0 – 8)

Alle Methoden waren in der Lage, eine Reduktion von Körperfettmasse während der ersten acht Wochen zu dokumentieren. **Tabelle 24** informiert über die mit den verschiedenen Methoden erfassten Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse während der Intervention.

Tabelle 24. Veränderungen der Körperfettmasse ^a (kg) während der ersten Hälfte der Intervention; erfasst mit den ausgewählten Methoden, Interventionsgruppe, n = 46

	Woche 0-8		p ^b	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
ADP	-2,8 ± 2,9	-1,8 ± 2,4		
nTOBEC				
HD	-2,0 ± 2,2	-0,7 ± 3,3	0,086	0,312
IV	-2,8 ± 4,8	-3,7 ± 5,0	0,865	0,034
BIA	-2,9 ± 1,9	-1,9 ± 1,7	0,852	0,848
HF	-4,0 ± 4,7	-2,3 ± 2,1	0,274	0,000

^a Mittelwert ± Standardabweichung; ^b t-Test für gepaarte Stichproben ADP vs. Methode für den Zeitraum Woche 0-8

Die Isotopenverdünnung konnte bei den Männern der Interventionsgruppe die gleiche mittlere Reduktion von Körperfettmasse wie die Referenzmethode beschreiben. Die Ergebnisse beider Methoden unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Bei den Frauen ergab sich die bestmögliche Übereinstimmung zwischen der Referenzmethode und der Feldmethode bioelektrische Impedanzanalyse. Die Ergebnisse der Methoden unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Auch bei den Männern konnte diese Feldmethode gute Übereinstimmung der reduzierten Körperfettmasse mit der Referenzmethode aufzeigen. Größere mittlere Abweichungen der reduzierten Körperfettmasse wurden bei den Männern mit der Hydrodensitometrie und der Hautfaltendickenmessung beobachtet, wobei sich nur die Ergebnisse der Hydrodensitometrie signifikant von denen der Referenzmethode unterschieden. Bei den Frauen erfassten die Hydrodensitometrie und die Isotopenverdünnung eine Reduktion von Körperfettmasse während der ersten Wochen Intervention, die sich im Mittel ca. 100% von der mit der Referenzmethode erfassten reduzierten Körperfettmasse unterschied. Dabei ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Referenzmethode und der Isotopenverdünnung. Die Hautfaltendickenmessung erfasste eine Reduktion von Körperfettmasse, die sich im Mittel nur

relativ gering von der der Referenzmethode unterschied – dennoch war der beobachtete Unterschied signifikant.

Der Vergleich der Ergebnisse der Referenzmethode ADP mit denen der Hydrodensitometrie, der Isotopenverdünnung, der bioelektrischen Impedanzanalyse und der Hautfaltendickenmessung während der ersten acht Wochen Intervention zeigte, dass die Feldmethoden einen stärkeren linearen Zusammenhang aufweisen als die Labormethoden.

Der stärkste Zusammenhang in Bezug auf die reduzierte Körperfettmasse ergab sich zwischen der Referenzmethode und der bioelektrischen Impedanzanalyse, **Abbildung 11c**. Ein ähnlich starker Zusammenhang konnte zwischen der Referenzmethode und der Hautfaltendickenmessung beobachtet werden, **Abbildung 11d**. Die Messwerte der einzelnen Probanden verteilen sich bei beiden Feldmethoden entlang der Regressionsgeraden und innerhalb des Konfidenzintervalls.

Anders bei den Labormethoden Hydrodensitometrie und Isotopenverdünnung. Die Messwerte der einzelnen Probanden verteilen sich nicht entlang der Regressionsgeraden sondern bilden eine Punktwolke, weshalb der lineare Zusammenhang der reduzierten Körperfettmasse, ermittelt mit der Referenzmethode und der Hydrodensitometrie bzw. Isotopenverdünnung als gering anzusehen ist. Die Werte einzelner Probanden streuten punktförmig um die Regressionsgerade und lagen z. T. weit außerhalb des Konfidenzintervalls. Dies deutet darauf, dass die reduzierte Körpermasse einzelner Probanden, erfasst mittels Hydrodensitometrie und Isotopenverdünnung stark von der der Referenzmethode abweicht **Abbildung 11a, 11b**.

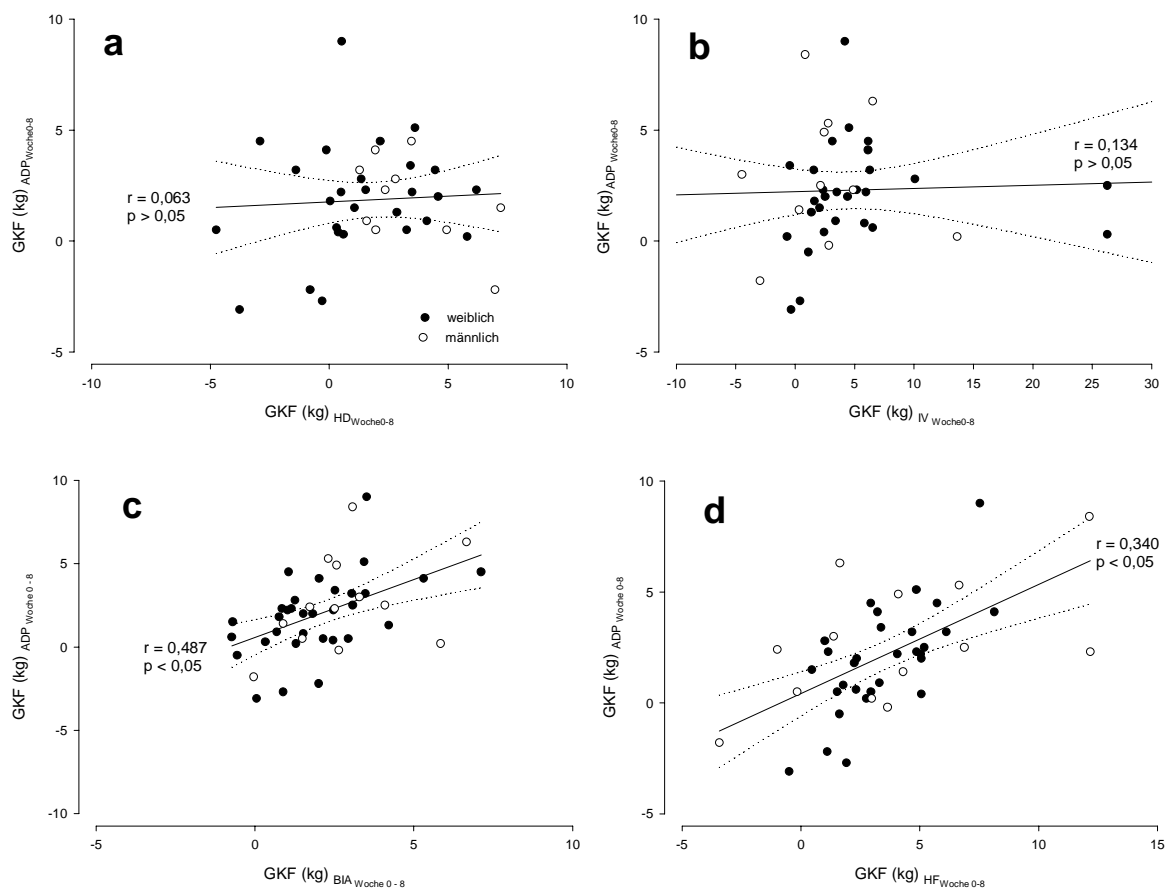


Abbildung 11. Lineare Regression (95% Konfidenzintervall), reduzierte Körperfettmasse $GKF_{ADP \text{ Woche } 0-8}$ aufgetragen gegen

- a)** $GKF_{HD \text{ Woche } 0-8}$, $n = 46$; **b)** $GKF_{IV \text{ Woche } 0-8}$, $n = 37$; **c)** $GKF_{BIA \text{ Woche } 0-8}$, $n = 46$;
d) $GKF_{HF \text{ Woche } 0-8}$; $n = 46$

Veranschaulicht durch die Bland Altman Plots in **Abbildung 12** sind die mittleren Übereinstimmungen der Mittelwerte der reduzierten Körperfettmasse, gemessen mit der Referenzmethode und der Hydrodensitometrie, bzw. der Isotopenverdünnung, der bioelektrischen Impedanzanalyse und der Hautfaltendickenmessung dargestellt. Angezeigt durch die positive mittlere Differenz der Messgröße zwischen ADP und der jeweils betrachteten Methode bestätigt sich eine mittlere Unterschätzung der reduzierten Körperfettmasse durch die Hydrodensitometrie, und die bioelektrische Impedanzanalyse im Vergleich zur Referenzmethode, **Abbildungen 12a, 12c**. Die Hautfaltendickenmessung sowie die Isotopenverdünnung überschätzen – angezeigt durch eine negative Differenz zwischen der reduzierten Körperfettmasse der Referenzmethode und der Hautfaltendickenmessung bzw. Isotopenverdünnung – die Reduktion von Körperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode, **Abbildung 12b, 12d**.

Eine exakte Übereinstimmung der Messwerte der Referenzmethode und der jeweils betrachteten Methode läge vor, wäre die Differenz zwischen beiden Methoden für jedes Individuum Null. Es

zeigt sich aber gerade in diesen Abbildungen, dass die Streuung der Messwerte vom Idealpunkt groß ist. Die Streuung war bei allen Methoden zu finden.

In Abhängigkeit der reduzierten Körperfettmasse weichen die Ergebnisse der Methoden unterschiedlich stark von denen der Referenzmethode ab. In den **Abbildungen 12 a-d** ist auf der y-Achse die Differenz der reduzierten Körperfettmasse aus der Referenzmethode ADP und der jeweils ausgewählten Labor- und Feldmethoden, auf der x-Achse das arithmetische Mittel der Messgröße aus der Referenzmethode und der jeweilig ausgewählten Labor- bzw. Feldmethoden abgetragen. Zusätzlich wurden in diese Abbildungen die entsprechenden Regressionsgeraden involviert, um eventuelle linearen Zusammenhänge zwischen der Differenz und dem arithmetischen Mittel der jeweils betrachteten Methoden aufzudecken.

Ein starker linearer Zusammenhang konnte zwischen den Messwerten der Referenzmethode und der Isotopenverdünnung beobachtet werden. Der Zusammenhang verdeutlicht die Abhängigkeit der Übereinstimmung der Ergebnisse der Isotopenverdünnung mit denen der Referenzmethode von der Menge der reduzierten Körperfettmasse – je mehr Körperfettmasse reduziert wurde, umso mehr überschätzte die Isotopenverdünnung die Reduktion im Vergleich zur Referenzmethode, **Abbildung 12b**.

Mit der Hydrodensitometrie und der Hautfaltendickenmessung fand sich der gleiche Zusammenhang, der aber weniger stark ausgeprägt war, **Abbildung 12a, 12d**.

Mit der Feldmethode bioelektrische Impedanzanalyse ergab sich ebenfalls ein linearer Zusammenhang. Entgegen den bereits beschriebenen Beobachtungen mit der Hydrodensitometrie und der Hautfaltendickenmessung, unterschätzte die bioelektrische Impedanzanalyse die reduzierte Körperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode, je mehr reduziert wurde.

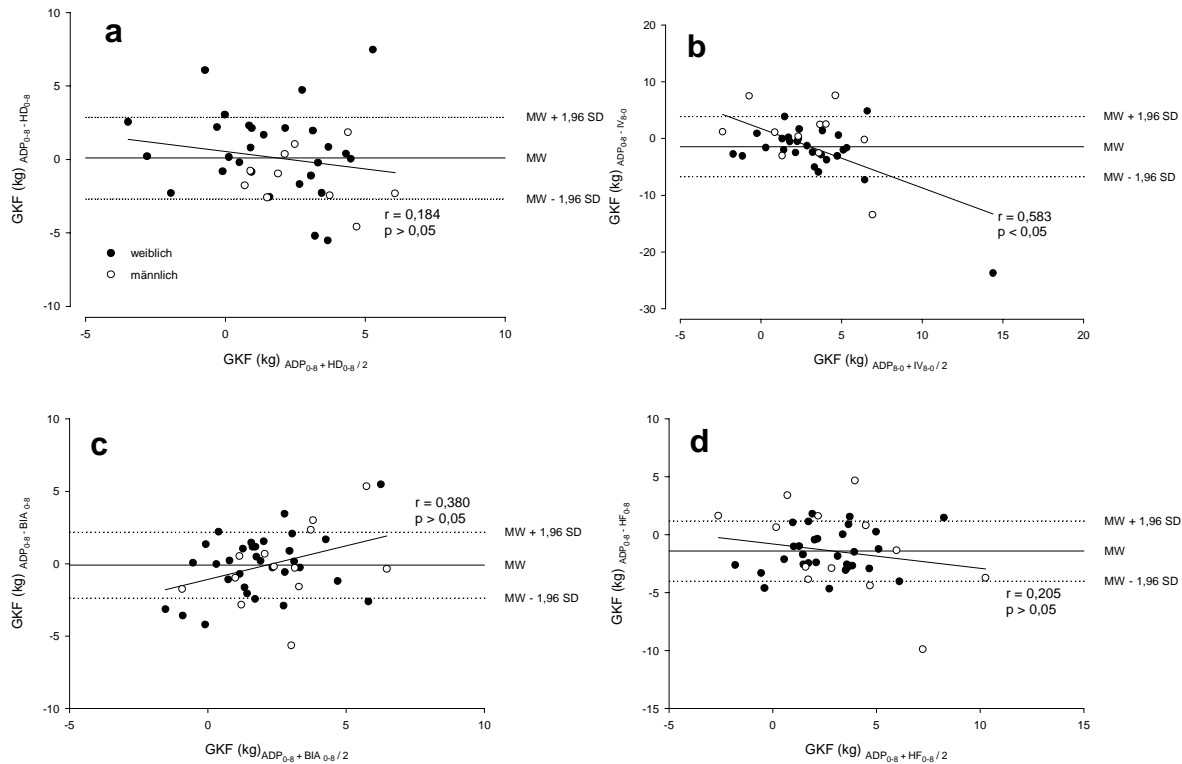


Abbildung 12. Bland Altman Plot: Differenz der reduzierten Körperfettmasse (kg) zwischen $GKF_{ADP\ 0-8}$ und **a)** $GKF_{HD\ 0-8}$, $n = 46$; **b)** $GKF_{IV\ 0-8}$, $n = 37$; **c)** $GKF_{BIA\ 0-8}$, $n = 46$; **d)** $GKF_{HF\ 0-8}$, $n = 46$; aufgetragen gegen das arithmetische Mittel beider Methoden

6.5.4 Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse während der zweiten Hälfte der Intervention (Woche 8-16)

In der zweiten Hälfte des Interventionszeitraumes konnten die Teilnehmer Körpermasse und Körperfettmasse weiterhin reduzieren. Nicht alle Methoden waren in der Lage, die mit der Referenzmethode beobachtete Reduktion von Körperfettmasse in der zweiten Hälfte der Intervention wieder zu spiegeln. Die Labormethoden Hydrodensitometrie und Isotopenverdünnung konnten im Mittel bei den Männern eine Zunahme von Körperfettmasse beschreiben, **Tabelle 25**.

Tabelle 25. Veränderungen der Körperfettmasse ^a (kg) während der Intervention; erfasst mit den ausgewählten Methoden, Interventionsgruppe, n = 46

	Woche 8-16		p ^b	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
ADP	-2,0 ± 3,4	-1,3 ± 1,7		
nTOBEC	-2,6 ± 2,7	-2,7 ± 2,8	0,986	0,001
HD	+1,8 ± 3,7	-1,0 ± 2,4	0,090	0,300
IV	+1,4 ± 9,0	-1,2 ± 5,4	0,016	0,380
BIA	-0,7 ± 2,2	-0,7 ± 1,8	0,058	0,227
HF	-2,7 ± 3,1	-2,3 ± 2,0	0,154	0,003

^a Mittelwert ± Standardabweichung; ^b t-Test für gepaarte Stichproben ADP vs. Methode für den Zeitraum Woche 8 - 16

Mit nTOBEC konnte bei den Männern der Interventionsgruppe eine mittlere Reduktion von Körperfettmasse erfasst werden, die im Mittel nur 0,1 kg vom Ergebnis der Referenzmethode abweicht. Die Ergebnisse der Hautfaltendickenmessung überschätzten die reduzierte Körperfettmasse bei den Männern im Mittel um 0,7 kg Körperfett. Die Ergebnisse beider Methoden - nTOBEC und Hautfaltendickenmessung - unterschieden sich nicht signifikant von denen der Referenzmethode. Die bioelektrische Impedanzanalyse konnte eine Reduktion von Körperfettmasse bestimmen, die im Mittel mehr als 100% von der mit der Referenzmethode erfassten Reduktion abwich. Dabei handelte es sich um eine signifikante Abweichung. Die Labormethoden Hydrodensitometrie und Isotopenverdünnung konnten im Verlauf der zweiten Hälfte der Intervention im Mittel eine Zunahme von Körperfettmasse dokumentieren. Die Ergebnisse beider Methoden unterschieden sich statistisch signifikant von dem der Referenzmethode.

Bei den Frauen wurde die bestmögliche Übereinstimmung zwischen der Referenzmethode und der Isotopenverdünnung gefunden. Die Ergebnisse der Methoden unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Hydrodensitometrie erfasste eine Reduktion von Körperfettmasse, die im Mittel ca. 15% von der aus der Referenzmethode abweicht. Die Hautfaltendickenmessung und die neue Technik dokumentierten eine Reduktion von Körperfettmasse, die sich im Mittel ca. 100% bzw. mehr als 100% von der der Referenzmethode unterschieden. Die beobachteten Unterschiede waren signifikant.

Der stärkste Zusammenhang der Messgröße ergab sich zwischen der Referenzmethode und der Feldmethode Hautfaltendickenmessung. Ein Korrelationskoeffizient von 0,704 wurde berechnet.

Der starke lineare Zusammenhang ist in der **Abbildung 13e** dargestellt. Die Messwerte der einzelnen Probanden verteilen sich entlang der Regressionsgerade und größtenteils innerhalb des Konfidenzintervalls.

Der Zusammenhang der reduzierten Körperfettmasse zwischen der Referenzmethode und der Isotopenverdünnung stellte sich im Gegensatz dazu als geringster dar. Die graphische Darstellung (**Abbildung 13c**) veranschaulicht, dass die Messwerte der einzelnen Probanden in einer „Punktwolke“ resultieren. Der Großteil der Messwerte konzentriert sich dabei um den Nullpunkt der x- bzw. y-Achsen. In der Grafik zeigen sich Messwerte einzelner Probanden, die weit entfernt der Regressionsgeraden liegen. Für sie gilt, dass die Abweichung der Ergebnisse aus der Isotopenverdünnung stark von denen der Referenzmethode abweichen.

Die reduzierte Körperfettmasse, ermittelt mit der neuen Technik, der Hydrodensitometrie und der bioelektrischen Impedanzanalyse zeigen einen starken Zusammenhang mit der reduzierten Körperfettmasse der Referenzmethode. Korrelationskoeffizienten zwischen 0,519 und 0,543 wurden beobachtet. Die Abbildungen **13a**, **b** und **d** verdeutlichen, dass die Messgrößen der einzelnen Individuen größtenteils entlang der Regressionsgerade und innerhalb des Konfidenzintervalls zu finden sind. Ähnlich wie bei der Hautfaltendickenmessung und der Isotopenverdünnung waren auch bei diesen drei Methoden z.T. starke Abweichungen der reduzierten Körperfettmasse einzelner Probanden vom Referenzwert zu beobachten.

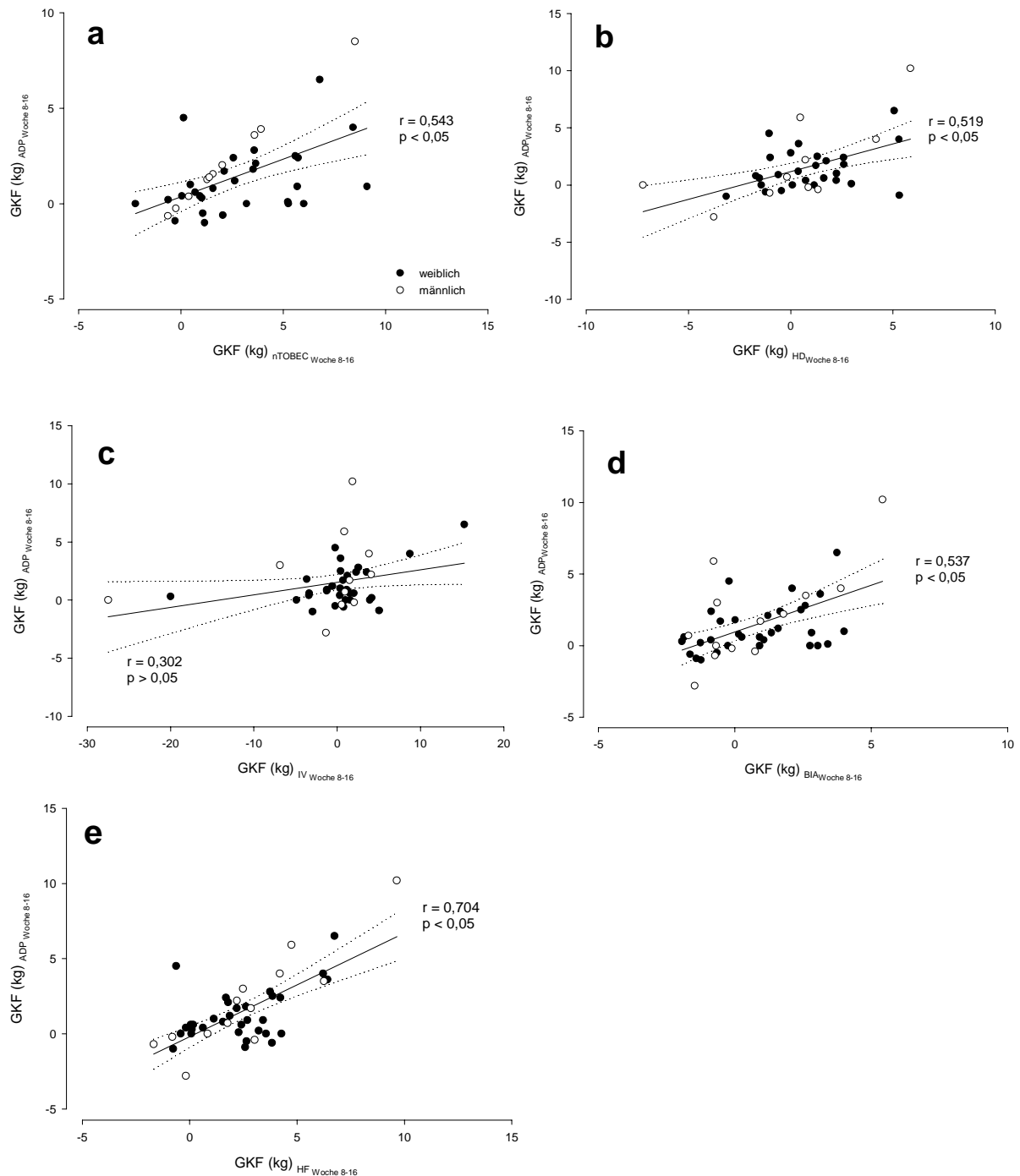


Abbildung 13. Lineare Regression (95% Konfidenzintervall), reduzierte Körperfettmasse $GKF_{ADP \text{ Woche } 8-16}$ aufgetragen gegen

- a)** $GKF_{nTOBEC \text{ Woche } 8-16}$, $n = 46$; **b)** $GKF_{HD \text{ Woche } 8-16}$, $n = 46$; **c)** $GKF_{IV \text{ Woche } 8-16}$, $n = 37$;
d) $GKF_{BIA \text{ Woche } 8-16}$, $n = 46$; **e)** $GKF_{HF \text{ Woche } 8-16}$; $n = 46$.

Die Bland Altman Plots in **Abbildung 14** informieren über die mittleren Übereinstimmungen der Mittelwerte der reduzierten Körperfettmasse, erfasst mit der Referenzmethode und nTOBEC bzw. der Hydrodensitometrie, der Isotopenverdünnung, der bioelektrischen Impedanzanalyse und der Hautfaltendickenmessung. Angezeigt durch die positive mittlere Differenz der Messgröße zwischen ADP und der jeweils betrachteten Methode bestätigt sich die mittlere Unterschätzung

der reduzierten Körperfettmasse durch die Hydrodensitometrie, die Isotopenverdünnung und die bioelektrische Impedanzanalyse im Vergleich zur Referenzmethode, **Abbildungen 14b-c, 14d**. Im Gegensatz dazu stehen die neue Methode sowie die Hautfaltendickenmessung. Beide Methoden überschätzen die Reduktion von Körperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode, **Abbildung 14a, 14e**. Eine ideale Übereinstimmung der Messwerte der Referenzmethode und der jeweils betrachteten Methode läge vor, wäre die Differenz zwischen den Methoden für jedes Individuum Null. Es zeigt sich aber gerade in diesen Abbildungen, dass die Streuung der Messwerte einzelner Individuen vom Idealpunkt recht groß ist. Bei der Hautfaltendickenmessung konnte die geringste Streuung der Messwerte der einzelnen Probanden beobachtet werden. Der Großteil der Messwerte liegt im Bereich des Mittelwertes bzw. im Bereich des Mittelwertes $\pm 1,96$ Standardabweichung. Eine größere Abweichung wurde bei nur einem Probanden beobachtet, **Abbildung 14e**.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Isotopenverdünnung – auch hier ist die Streuung der einzelnen Messwerte relativ gering. Dennoch ergab sich, dass die Messwerte einiger Probanden extrem vom Referenzwert abweichen, **Abbildung 14c**.

Bei nTOBEC, der Hydrodensitometrie und der bioelektrischen Impedanzanalyse zeigte sich die Streuung der Messwerte um den Mittelwert größer als bei der Hautfaltendickenmessung und Isotopenverdünnung, **Abbildung 14a-b, 14d**. Im Besonderen bei der Hydrodensitometrie fanden sich Messwerte, die extrem von dem der Referenzmethode abweichen, **Abbildung 14b**.

In Abhängigkeit der reduzierten Körperfettmasse weichen die Ergebnisse der ausgewählten Labor- und Feldmethoden stärker oder weniger stark von denen der Referenzmethode ab. In den **Abbildungen 14a-e** ist jeweils auf der y-Achse die Differenz der reduzierten Körperfettmasse zwischen der Referenzmethode ADP und nTOBEC, bzw. den ausgewählten Labor- und Feldmethoden, auf der x-Achse das arithmetische Mittel der reduzierten Körperfettmasse aus der Referenzmethode und nTOBEC, bzw. den ausgewählten Methoden abgetragen. Zusätzlich dazu verdeutlichen die entsprechenden Regressionsgeraden die linearen Zusammenhänge zwischen der Differenz und dem arithmetischen Mittel der jeweils betrachteten Methoden. Der starke lineare Zusammenhang der Messgröße aus der Referenzmethode und der Isotopenverdünnung verdeutlicht, dass die Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen der Referenzmethode ADP und der Isotopenverdünnung abhängig von der reduzierten Körperfettmasse ist – je mehr Körperfettmasse reduziert wurde, umso mehr überschätzte die Isotopenverdünnung die Reduktion im Vergleich zur Referenzmethode. Mit der Feldmethode bioelektrische Impedanzanalyse konnte ebenfalls ein linearer Zusammenhang gefunden werden. Je mehr Körperfettmasse reduziert wurde, umso stärker unterschätzte die Feldmethode die Reduktion im Vergleich zur Referenzmethode. Zwischen den Messwerten der Referenzmethode und nTOBEC bzw. der Hydrodensitometrie und der Hautfaltendickenmessung konnte lediglich ein linearer Trend

beobachtet werden. Eine Abweichung der Messgröße durch diese Methoden vom Referenzwert lag daher nicht vor.

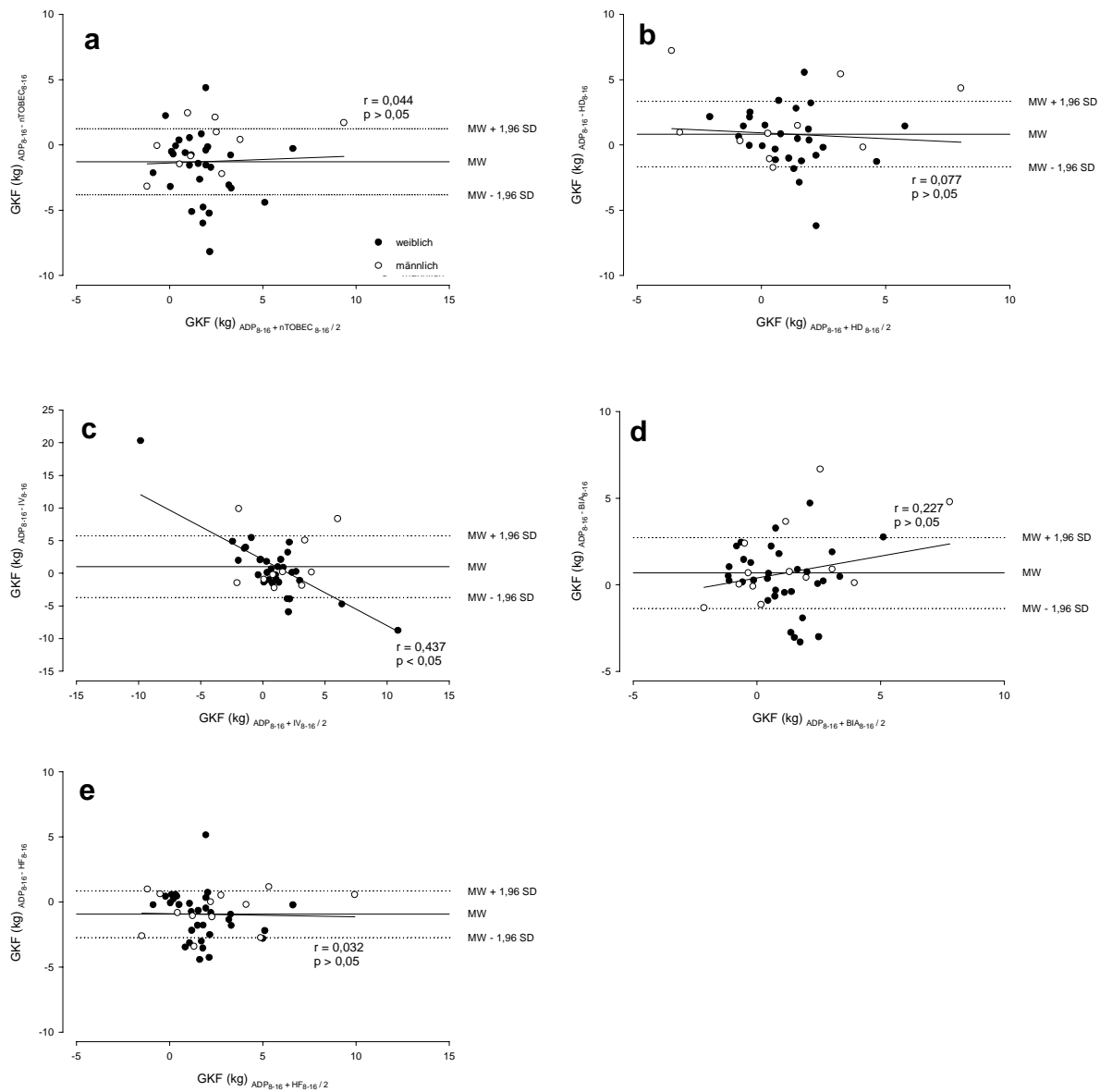


Abbildung 14. Bland Altman Plot: Differenz der reduzierten Körperfettmasse (kg) zwischen $GKF_{ADP\ 8-16}$ und **a)** $GKF_{nTOBEC\ 8-16}$, $n = 46$; **b)** $GKF_{HD\ 8-16}$, $n = 46$; **c)** $GKF_{IV\ 8-16}$, $n = 37$; **d)** $GKF_{BIA\ 8-16}$, $n = 46$; **e)** $GKF_{HF\ 8-16}$, $n = 46$; aufgetragen gegen das arithmetische Mittel beider Methoden

7. Diskussion

7.1 Anwendbarkeit

Die Erfassung der Körperzusammensetzung mit dem Prototypen nTOBEC erwies sich als sehr komfortabel und unkompliziert. Durch Einschalten der Apparatur wird ein elektromagnetisches Feld generiert, in welches der Proband eingebracht wird. Nach einer Verweildauer von ca. zwei Minuten können sowohl der Ohmsche, als auch der kapazitive Widerstand abgelesen werden und der Proband verlässt das Messgerät. Die gesamte Messung nimmt maximal 5 - 10 Minuten in Anspruch. Dabei müssen weder der Untersucher, noch die zu untersuchende Person umständliche Prozeduren durchlaufen.

Im Gegensatz zu der neuen Methode werden bei bereits etablierten Labor- und Feldmethoden zum Teil sehr hohe Anforderungen an den Probanden und Untersucher gestellt. Bei der Unterwasserwägung muss der Proband unter maximaler Ausatmung den gesamten Körper unter Wasser tauchen. Das Untertauchen erweist sich besonders für Kinder, ältere Erwachsene oder adipöse Probanden oftmals als unmöglich. Zusätzlich erfordern der Messvorgang und das Umkleiden des Probanden einen hohen Zeitaufwand (Elia and Ward 1999) (Brodie, Moscrip et al. 1998) (Deurenberg, van der Kooy et al. 1990) (Dewit, Fuller et al. 2000).

Die oftmals als Referenzmethode genutzte „Dual Energy X-Ray Absorptiometry“ unterliegt ebenfalls verschiedenen Limitierungen in der Anwendbarkeit. So erweist sich die Belastung des Körpers mit Röntgenstrahlen besonders für Frauen in gebärfähigem Alter oder Kinder als problematisch. Zudem nimmt die Messung mit dieser Labormethode einen Zeitraum von ca. 20 Minuten ein, in der der Proband vollkommen still liegen muss (Blake and Fogelman 1997) (Clasey, Hartman et al. 1997) (Fields, Goran et al. 2002). Ein weiteres Problem bei der Anwendung dieser Referenzmethode konnten wir während der Studie beobachten – extrem Adipöse oder Probanden mit einer Körperhöhe größer 196 cm konnten nicht auf dem Messtisch platziert werden, weshalb eine Messung unmöglich war.

Bei der Air Displacement Plethysmography, die im Grunde genommen eine Weiterentwicklung der Unterwasserwägung darstellt, stellt die abgeschlossene Messkapsel gerade für Menschen mit Platzangst ein unüberwindbares Hindernis dar. Der Untersucher hat keine Möglichkeit, die Messung zu unterbrechen, d.h. hat der Proband ein Problem, ist nur er allein in der Lage, mittels eines Notfallknopfes die Messkapsel zu öffnen - nicht aber der Untersucher. Während der Messung besteht zwischen Untersucher und zu untersuchender Person keine Verbindung, d.h. Messanweisungen können nur über ein Sichtfenster gegeben werden (Ellis 2000; Fields, Goran et al. 2002). Weitere Probleme zeigten sich im Verlauf der durchgeführten Studie, wobei die

Erfassung des Lungenvolumens als erstes zu benennen ist. Bei einer Vielzahl der Probanden ergab die erste Messung des Lungenvolumens unphysiologische Werte. Die Messung musste z. T. vier bis fünf Mal wiederholt werden, bis ein physiologischer Wert erfasst wurde. Zudem zeigte sich, dass das Messgerät sehr empfindlich auf Veränderungen der äußeren Bedingungen, wie z. B. Temperatur, Luftdruck reagierte.

Die Methode der Isotopenverdünnung stellt in der Anwendung sowohl an den Probanden, als auch an den Untersucher sehr hohe Ansprüche. Zum einen muss der Untersucher eine exakt auf die Körpermasse bezogene Dosis des entsprechenden Isotops in einer exakt definierten Menge an Flüssigkeit herstellen, zum anderen muss der Proband exakt diese - mit dem Isotop versetzten - Flüssigkeit zu sich nehmen. Fehler bei der Herstellung der zu applizierenden Dosis können auftreten. Es erwies sich in der Studie, dass es für den Probanden nicht einfach war die gesamte Dosis aufzunehmen. Kleine Mengen der Flüssigkeit (Tropfen) verblieben am Becherrand. Vom Zeitpunkt der Applikation der Dosis bis zur erneuten Uringabe darf der Proband keinen zusätzlichen Toilettengang absolvieren, was eine Vielzahl der Probanden der Studie als äußerst unangenehm empfand (Fields, Goran et al. 2002). Hinzu kommt der komplizierte Messvorgang der Urinproben im Massenspektrometer und die anschließende Berechnung der Körperzusammensetzung. Die Messprozedur ist gekennzeichnet durch viele Zwischenschritte. Bei jedem dieser Zwischenschritte können Fehler auftreten, die sich im Endergebnis niederschlagen. Der gesamte Messvorgang ist extrem zeitaufwendig (Ellis 2000; LaForgia and Withers 2002).

Die Hautfaltendickenmessung ist eine Feldmethode, die kostengünstig und schnell durchführbar ist, aber auch dabei ergeben sich Probleme in der Anwendung. So ist es zum einen für den Probanden sehr unangenehm, in fast unbekleidetem Zustand vom Untersucher an den verschiedensten Stellen des Körpers untersucht zu werden, zum anderen ist die Qualifizierung des Untersuchers für die Güte der Ergebnisse ausschlaggebend. Nur eine geschulte Fachkraft ist in der Lage die Hautfaltendicken exakt zu messen (Flügel, Greil et al. 1986; Knußmann 1988). Dabei muss der Untersucher die Hautfalte exakt an der definierten Messstelle greifen, da bereits geringfügiges Abweichen zu groben Fehlern führen kann (Fidanza 1991). Der Einsatz verschiedener Untersucher bei der Hautfaltendickenmessung gilt als eine weitere Fehlerquelle (Fischer and Lembcke 1991; Heyward and Stolarczyk 1996). In der Literatur liegen dazu widersprüchliche Angaben vor. Sie reichen von geringfügigen Abweichungen (< 2 mm) (Fidanza 1991), bis hin zu der Behauptung, dass die Inter-Untersucher-Unterschiede bis zu 50% betragen können (Fischer and Lembcke 1991). Zudem ist die Hautfaltendickenmessung durch das Messgerät limitiert. Harpender-, Holtain- und Lange-Kaliper gehören zu den am häufigsten genutzten Hautfaltendickenmessern (Heyward and Stolarczyk 1996; Roche, Heymsfield et al. 1996). Sie arbeiten mit dem einheitlichen Messdruck von 10g/mm^2 . Dennoch wird in der Literatur auf Messunterschiede zwischen den Kalipertypen hingewiesen (Heyward, Cook et al. 1992; Lohmann

1992; Heyward and Stolarczyk 1996). Ein weiteres Problem ist der maximale Messbereich des Kalipers. Eine maximale Hautfaltendicke von 60 mm ist erfassbar. In der Studie zeigte sich, dass bei adipösen Probanden die Hautfaltendicke die Spannweite des Kalipers oftmals überstieg, weshalb das Greifen der Hautfalten unmöglich war.

Bei der Suche nach einer optimalen und präzisen Feldmethode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung war die bioelektrische Impedanzanalyse in den letzten Jahrzehnten auf dem Vormarsch und hat bezüglich ihrer Reproduzierbarkeit und Genauigkeit große Hoffnungen geweckt. Die Methode ist schnell und leicht durchführbar (Deurenberg and Schutz 1995; Ellis 2001; Elberg, McDuffie et al. 2004).

Dennoch ergeben sich auch bei dieser Methode Probleme bei der Anwendung. Die Elektrodenplatzierung sei als Hauptfehlerquelle bei der Anwendung der Methode erwähnt. Die Verschiebung der Messelektroden bewirkt nach den physikalischen Grundlagen, auf denen die Methode beruht, eine Veränderung der Länge des elektrischen Leiters. Verschiedene Autoren berichten über Veränderungen der Impedanz zwischen 4 und 10% bei Verschiebung der Elektroden um 1cm (Lozano, Rosell et al. 1995; Turner, Bouffard et al. 1998; Wagner 2000). Daneben können fettige oder trockene Haut und kalte Extremitäten zu einer verminderten Haftung der Elektroden auf der Haut führen. Die damit einhergehende Beeinflussung des Messwertes kann nicht vollständig verhindert werden (Kußmaul, Döring et al. 1996). In der Literatur wird diskutiert, dass Messungen an Personen mit verschiedenen Gerätetypen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen (Heitmann 1994) (Heitmann 1990). Dennoch erwies sich im Rahmen der durchgeführten Studie, dass die Anwendung der bioelektrischen Impedanzanalyse unter Standardbedingungen einfach und sehr komfortabel für den Probanden war.

Resümiert man die Schwierigkeiten bei der Anwendung der vorgestellten Methoden, wird schnell klar, dass gerade bei der Anwendung von Labormethoden erhebliche Probleme bei speziellen Personengruppen, wie z.B. Kindern, ältere Erwachsenen, Adipösen und Kranken auftreten. Eine Messung von Probanden dieser Personenkreise erweist sich oftmals als sehr schwierig oder unmöglich. Im Gegensatz dazu stehen, die weit verbreitete bioelektrische Impedanzanalyse und die im Projekt neu entwickelte Methode. Beide Methoden nutzen das gleiche physikalische Prinzip aber die neue Methode verfügt über zwei entscheidende Vorteile im Vergleich zur BIA - zum einen kann die neue Methode den gesamten Körper in den Messvorgang involvieren und zum anderen können Probleme, wie die fehlerhafte Elektrodenplatzierung und -haftung nicht auftreten.

7.2 Reproduzierbarkeit

Die einfache Anwendung einer Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung allein reicht nicht aus, um sich als Methode auf dem Markt etablieren zu können. Daher war ein weiterer

Schritt in der Bewertung von nTOBEC die Überprüfung des Prototypen hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. Zur Klärung dieser Frage rekrutierten wir acht normalgewichtige Probanden bei denen eine zehnmahlige Messwiederholung – unter gleichbleibenden Messbedingungen – stattfand. Zur Beurteilung der Ergebnisse berechneten wir den Reliabilitäts- und Variationskoeffizienten. Es ergaben sich Werte von $r = 0,999$ und $c_v = 3,3\%$. Der Reliabilitätskoeffizient kann maximal 1 sein, weshalb wir aus unserem Ergebnis schließen können, dass ein hohes Maß an Übereinstimmung der Wiederholungsmessungen vorliegt. Der berechnete Variationskoeffizient zeigt, dass die Werte der einzelnen Wiederholungsmessungen im Mittel um 3.3% vom Mittelwert abweichen.

Über die Ergebnisse der Reproduzierbarkeit von Messwerten verschiedener Methoden zur Erfassung der Körperzusammensetzung anderer Autoren informiert **Tabelle 26**.

Tabelle 26. Variationskoeffizienten verschiedener Methoden

Literatur	n	Anzahl der Messungen pro Proband	c_v
nTOBEC			
Diese Studie	8	10	3,3 %
DXA			
Pritchard et al, 1993 (Pritchard, Nowson et al. 1993)	3	10 ^a	1,8 %
HD			
Lohman, 1981 (Lohman 1981)			2,5%
ADP			
McCroy et al, 1995 (McCroy, Gomez et al. 1995)	16	2 ^a	1,7 %
Miyatake et al, 1999 (Miyatake, Nonaka et al. 1999)	5	2 ^a	2,5 %
	10	3 ^c	2,3 %
Nunez et al, 1999 (Nunez, Kovera et al. 1999)	4	4 ^c	2,0 %
TOBEC			
Presta et al, 1987 (Presta, Casullo et al. 1987)	28	5 ^a	< 2 %
Segal et al, 1985 (Segal, Gutin et al. 1985)	75	10 ^a	< 2 %
IV			
Ellis & Wong, 1998 (Ellis and Wong 1998)	469	2 ^a	< 2 %
BIA			
Ellis & Wong, 1998 (Ellis and Wong 1998)	6	2 ^a	< 2 %
Fuller et al, 1991 (Fuller, Jebb et al. 1991)	12	6 ^b	2,6 %
HF			
Nordhamn et al, 2000 (Nordhamn, Sodergren et al. 2000)	51	2 ^b	7-16%
Fuller et al, 1991 (Fuller, Jebb et al. 1991)	12	6 ^b	4,6 %
Gregory et al, 1991 (Gregory, Greene et al. 1991)		2 ^a	4,6 %

^a Anzahl der Wiederholungsmessungen an einem Tag

^b Anzahl der Wiederholungsmessungen, durchgeführt durch verschiedene Untersucher

^c Anzahl der Wiederholungsmessungen an verschiedenen Tagen

Dabei fallen die sehr guten Variationskoeffizienten der Labormethoden DXA, ADP, IV und TOBEC, aber auch der Feldmethode BIA auf. Die Ergebnisse der Autoren bestätigen die allgemeine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Labormethoden (Segal, Gutin et al. 1985; Presta, Casullo et al. 1987; Fuller, Jebb et al. 1991; Pritchard, Nowson et al. 1993; McCrory, Gomez et al. 1995; Ellis and Wong 1998; Miyatake, Nonaka et al. 1999; Nunez, Kovera et al. 1999). Im Gegensatz dazu steht die Hautfaltendickenmessung. Variationskoeffizienten zwischen 4 und 16% wurden gefunden (Fuller, Jebb et al. 1991; Gregory, Greene et al. 1991; Nordhamn, Sodergren et al. 2000). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Ergebnisse der Feldmethode Hautfaltendickenmessung im Vergleich zu den Labormethoden weniger gut reproduzierbar sind. Der Hauptgrund dafür ist in der schwierigen Anwendung der Methode zu vermuten. Das Greifen der Hautfalte am exakt definierten Messpunkt ist selbst für den geschulten Untersucher sehr schwierig. Die Literatur berichtet über Abweichungen beim mehrmaligen Greifen ein und derselben Hautfalte durch einen erfahrenen Untersucher von 0,4 bis 2,1 mm (Martorell, Habicht et al. 1975; Zavaleta and Malina 1982; Bouchard 1985).

Presta et al. 1987, und Segal et al. 1985, berechneten Reliabilitätskoeffizienten bei Wiederholungsmessungen mit der klassischen TOBEC-Methode von $r = 0,999$ (Presta, Casullo et al. 1987) (Segal, Gutin et al. 1985).

Demura et al. 2004, fanden bei Wiederholungsmessungen mit der klassischen BIA einen Reliabilitätskoeffizienten von $r = 0,995$, bei der Anwendung einer Acht-Elektrodenteknik zur Erfassung einzelner Körpersegmente von $r = 0,994$ (Demura, Sato et al. 2004).

Der Vergleich der statistischen Kenngrößen Variationskoeffizient und Reliabilitätskoeffizient berechnet aus den Ergebnissen der Messwiederholungen mit der neuen Methode mit denen anderer Methoden aus der Literatur verdeutlicht, dass nTOBEC einen vergleichbar guten Reliabilitätskoeffizienten, wie die klassische TOBEC und BIA produziert. Im Gegensatz zu den angewandten Labormethoden und der bioelektrischen Impedanzanalyse konnte mit der neuen Methode ein unwesentlich höherer Variationskoeffizient berechnet werden. Eine mögliche Ursache für die geringen Abweichungen der einzelnen Messwerte bei den Messwiederholungen könnte in der Stärke bzw. Stabilität des generierten elektromagnetischen Feldes liegen. Bei der klassischen TOBEC-Methode wird das elektromagnetische Feld mit einer Frequenz von 2,5 MHz generiert, bei der neuen Technik hingegen nur mit 500 kHz. Dadurch war das elektromagnetische Feld der neuen Methode womöglich anfälliger für störende Einflüsse, hervorgerufen durch Überlagerungen mit anderen schwachen elektromagnetischen Feldern der im Labor befindlichen Messgeräte. Eine Erhöhung der Frequenz bei der Generierung des elektromagnetischen Feldes könnte eine Maßnahme zur Erhöhung der Reproduzierbarkeit der Messwerte durch nTOBEC für die Zukunft darstellen.

Dennoch lassen die Ergebnisse den Schluss zu, dass die neue Methode in der Lage ist, bei Wiederholungsmessungen an ein und derselben Person die Messwerte sehr gut zu reproduzieren.

7.3 Regressionsgleichung

Die einfache und schnelle Anwendung der neuen Technik, sowie die gute Reproduzierbarkeit der Messwerte waren Voraussetzung für weitere Schritte in der Entwicklungs- und Bewertungsphase von nTOBEC.

Eine indirekte Methode, wie die neue Methode, ist dadurch gekennzeichnet, dass sie die Zielgröße – in unserem Falle die Gesamtkörperfettmasse - nicht messen kann sondern auf Grundlage verschiedener physikalischer Prinzipien und Zuhilfenahme charakteristischer Parametern mit Hilfe einer Regressionsgleichung berechnet. Die neue Methode nutzt dabei das physikalische Prinzip der unterschiedlichen Leitfähigkeit von elektrischem Strom durch verschiedene Gewebe des Körpers. Als mögliche Parameter, die neben den Messwerten der neuen Methode in die Regressionsgleichung einfließen, wählten wir allgemeingültige Parameter des Menschen, wie z.B. Geschlecht, Alter, Körperhöhe, Körpermasse, Umfangsmaße und Hautfaltendicken. Die Involvierung dieser in die Regressionsgleichung soll die Berücksichtigung der individuellen und natürlichen Variabilität der genannten Parameter gewährleisten. So weiß man z.B., dass die Gesamtkörperfettmasse von Frauen und Männern unterschiedlich ist, d.h. die durchschnittliche, normalgewichtige Frau weist, in Abhängigkeit der individuellen Variabilität und des Alters, einen Gesamtkörperfettanteil zwischen 20 und 30%, der durchschnittliche, normalgewichtige Mann zwischen 10 und 20% auf (Biesalski 1999). Die Altersvariable sollte ebenfalls in die Gleichung integriert werden, da eine Abhängigkeit der Gesamtkörperfettmasse vom Alter beschrieben wird (Heyward and Stolarczyk 1996).

Die Nutzung des physikalischen Prinzips der unterschiedlichen Leitfähigkeit verschiedener Gewebe für den elektrischen Strom erfordert die Annahme, dass der menschliche Körper ein Zylinder ist und gleichmäßig vom angelegten Strom durchflossen wird. Die beim Stromfluss durch den Körper entstehende Impedanz kann als eine Funktion des spezifischen Widerstandes, der Länge und der Fläche des Leiters angenommen werden (Thomas, Cornish et al. 1992; Bedogni, Merlini et al. 1996; Roche, Heymsfield et al. 1996). Bei Übertragung des physikalischen Prinzips auf den menschlichen Körper wird die Länge des Leiters als Körperhöhe angenommen (Lukaski 1990), weshalb der Parameter Körperhöhe in jedem Falle in die Regressionsanalyse einbezogen werden musste.

Der Grundgedanke der Einbeziehung verschiedener Umfangsmaße in die Regressionsanalyse war der, dass der Körperfettverteilungstyp berücksichtigt werden sollte. Man unterscheidet dabei den gynoiden und androgenen Verteilungstyp. Übersteigt der Quotient aus Taillen- und Hüftumfang bei

den Frauen einen Wert von 0,8 und bei den Männern von 1,0 spricht man von einer androiden bzw. abdominellen Körperfettverteilung, d.h. ein Großteil des Körperfettes ist im Abdomen um die Bauchorgane herum lokalisiert. Eine solche Körperfettverteilung gilt als ein Hauptrisikofaktor für Krankheiten des metabolischen Syndroms (Bigaard, Tjonneland et al. 2003). Der gynoide Verteilungstyp zeichnet sich durch eine Anlagerung von Körperfett an Beinen, Gesäß und Hüfte aus. Er stellt bis zu einem gewissen Maß mehr ein kosmetisches als ein gesundheitliches Problem dar.

Der Grundgedanke des Einschlusses von Hautfaltendicken in die neue Regressionsgleichung war der, dass das subkutane Fettgewebe, welches durch die Messung von Hautfaltendicken charakterisiert werden kann, in hohem Maße mit der Gesamtkörperfettmasse korreliert und somit die Genauigkeit der, mit der Gleichung berechneten Ergebnisse im Vergleich zur Referenzmethode, erhöhen kann (Heyward and Stolarczyk 1996; Heyward 1998).

Unter Verwendung der multiplen linearen Regressionsanalyse gelang es, eine Regressionsgleichung zu entwickeln, die sowohl die Messwerte der neuen Methode bei einer Frequenz von 500 kHz, die Körperhöhe und Körpermasse, das Geschlecht und eine Hautfaltendicke berücksichtigt. Die Messwerte der neuen Methode bei den Frequenzen 100 und 250 kHz, das Alter und die verschiedenen Umfangsmaße konnten nicht signifikant zur Regressionsgleichung beitragen und wurden aus dem Modell ausgeschlossen. Bei der Entwicklung der Gleichung wurde klar, dass die Messwerte von nTOBEC nur wenig zur Gleichung beitragen können. In Kombination mit der Körperhöhe machen die Messwerte aus nTOBEC 11% der gesamten Regressionsgleichung aus. Im Weiteren wird die Regressionsgleichung von der Körpermasse (67%), dem Geschlecht (11,1%) und der Hautfaltendicke am Triceps (3.6%) erklärt.

Mit der neu entwickelten Regressionsgleichung (**Kapitel 6; Seite 39**) wurde die Gesamtkörperfettmasse der einzelnen Probanden berechnet und mit der aus der Referenzmethode DXA verglichen. Die berechnete Gesamtkörpermasse korrelierte in hohem Maße ($r = 0,961$) mit der aus der Referenzmethode. Eine gute Korrelation zwischen der Zielgröße zweier Methoden kann jedoch nicht das einzige Bewertungskriterium sein. Eine Bland-Altman Analyse erlaubt weitere Aussagen hinsichtlich der Übereinstimmung der Gesamtkörperfettmasse aus nTOBEC und DXA (Bland and Altman 1999). Dabei ergab sich eine negative, mittlere Differenz der Gesamtkörperfettmasse aus DXA und nTOBEC. Diese belief sich bei den Frauen auf $-3,1$ kg, bei den Männern auf $-4,4$ kg. Das Ergebnis verdeutlicht, dass nTOBEC die Gesamtkörpermasse der Probanden im Mittel überschätzt. Der Bland Altman Plot in **Abbildung 3** zeigt, dass diese Überschätzung systematisch ist, d.h. die Gesamtkörperfettmasse wurde durch nTOBEC bei allen Probanden im Vergleich zur Referenzmethode DXA als zu hoch eingeschätzt. Die absoluten Differenzen der Gesamtkörperfettmasse zeigen, dass die Gesamtkörperfettmasse nur bei 18% der

Probanden weniger als 5% vom Referenzwert abweichen. Hingegen weicht die Gesamtkörperfettmasse bei 33% der Probanden mehr als 20% vom Referenzwert ab.

Die **Tabelle 27** gibt einen Überblick über erst kürzlich durch andere Autoren entwickelte Regressionsgleichungen.

Tabelle 27. Bewertung verschiedener Regressionsgleichungen

Literatur	Methode	Referenz- methode	Zielgröße	Beitrag des Messwertes	r ^a	Differenz ^b
Diese Studie	nTOBEC	DXA	GKF (kg)	11%	0,961	-3,1 kg ^c -4,4 kg ^d
Garcia et al. 2005 (Garcia and Trippo U. 2005)	HF	DXA	GKF (kg)	weiblich: 70% männlich: 74%	0,949	0,007 kg 0,046 kg
Sun et al. 2003, (Sun, Chumlea et al. 2003)	BIA	4-KM	FFM (kg)	75 – 86%	0,911 ^c 0,948 ^d	k. A.
Phillips et al. 2003, (Phillips, Bandini et al. 2003)	BIA	IV	FFM (kg)	91% (vor Menarche) 79% (nach Menarche)	k. A.	0,09 kg 0,11 kg
Dey et al. 2003, (Dey, Bosaeus et al. 2003)	BIA	4-KM	FFM (kg)	89%	0,945	k. A.
Van der Ploeg. 2003, (van der Ploeg, Gunn et al. 2003)	HF	4-KM	GKF (%)	90%	0,970	k. A.
Peterson et al. 2003, (Peterson, Czerwinski et al. 2003)	HF	4-KM	GKF (%)	65% ^c 56% ^d	k. A.	0,1% ^c 0,2% ^d

^a Korrelationskoeffizient: Zielgröße aus Referenzmethode vs. Zielgröße aus Regressionsgleichung; ^b mittlere Differenz zwischen Zielgröße aus Referenz und Zielgröße aus Regressionsgleichung; ^c weiblich; ^d männlich; 4-KM: Vier-Kompartimentmodell, k.A.: keine Angaben

Die Autoren berichten, dass die eigentlichen Messwerte der entsprechenden Methode zum großen Teil (56 - 90%) zur Regressionsgleichung beitragen. Der Beitrag der Messwerte von nTOBEC in unserer Studie von 11% ist im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Autoren als gering zu bewerten. Die in der Literatur beschriebenen Korrelationskoeffizienten zwischen der berechneten Größe und dem jeweiligen Referenzwert reichen von $r = 0,911$ bis $r = 0,970$ und verdeutlichen somit einen starken linearen Zusammenhang zwischen den Größen. Der in unserer Studie berechnete Korrelationskoeffizient (aus GKF_{DXA} und GKF_{nTOBEC}) ist durchaus vergleichbar mit denen der vorgestellten Autoren.

Ein Korrelationskoeffizient allein ist aber nicht in der Lage, die Übereinstimmung der Ergebnisse einer Methode im Vergleich zu einer Referenzmethode zu beurteilen. Vielmehr erweist sich die Differenz der Zielgröße und der jeweils betrachteten Methode - in unserem Falle nTOBEC - als hilfreich. Beträge die Differenz zwischen den Methoden im Mittel und einzeln für jeden Probanden gleich null, so bestünde eine vollkommene Übereinstimmung der Ergebnisse der Methoden. Im Gegensatz zu den Ergebnissen anderer Autoren sind die mittleren Differenzen bei den Frauen und Männer zwischen GKF_{DXA} und GKF_{nTOBEC} überdurchschnittlich groß. Die große Streuung der Messwerte einzelner Probanden vom Idealpunkt verweist zudem darauf, dass die Abweichung der Gesamtkörperfettmasse aus nTOBEC für das einzelne Individuum z. T. erheblich groß ist, **Abbildung 3**.

Der Vergleich der für nTOBEC entwickelten Regressionsgleichung mit anderen verdeutlicht, dass es nicht gelang eine Regressionsgleichung zu entwickeln, bei der die Messwerte von nTOBEC einen großen Teil zum Modell beitragen können. Vielmehr wird die neu entwickelte Regressionsgleichung hauptsächlich durch die Körpermasse bestimmt. Die mit der entwickelten Regressionsgleichung berechnete Gesamtkörperfettmasse war im Mittel statistisch signifikant höher als die Gesamtkörperfettmasse der Referenzmethode.

Es zeigte sich im Verlauf der Arbeit, dass die Übereinstimmung der Ergebnisse der neuen Methode mit denen der DXA abhängig von der Gesamtkörperfettmasse der einzelnen Probanden war. Diese Erkenntnis lässt vermuten, dass die Entwicklung verschiedener Regressionsgleichungen - für Probanden mit einem normalen und erhöhten Körperfettanteil von Vorteil gewesen wäre. Würde man körperfettabhängige Gleichungen entwickeln, stünde man aber vor einem weiteren Problem. Es ist nämlich vor der Messung unmöglich die Gesamtkörperfettmasse des Probanden abzuschätzen um die passende Regressionsgleichung auszuwählen. Eventuell böte sich eine Entwicklung von Regressionsgleichungen für verschiedene BMI - Bereiche (kg/m^2) der Probanden an. In der Fachwelt herrscht Einigkeit darüber, dass die Körpermasse in Relation zur Körperhöhe eine präzisere Beurteilung als die Körpermasse allein ermöglicht (Lohmann 1992; Hauner 1999; Kyle, Genton et al. 2002). Weltweit hat sich der BMI durchgesetzt. Er drückt die komplexen Beziehungen zwischen Körperhöhe und Körpermasse durch die Quadrierung der Körperhöhe im Nenner am besten aus und zeigt eine hohe Korrelation zum Gesamtkörperfett (Rush, Plank et al. 2004; Thomas, Ho et al. 2004; Wilhelm Poll, Wittsack et al. 2004). Allerdings ermöglicht der BMI keine direkte Aussage zur Körperzusammensetzung (Lohmann 1992; Greil 1993). Ein Mensch mit einem hohen Skelett- oder Muskelanteil kann einen BMI haben, der ihn als übergewichtig klassifiziert, obwohl er keinen erhöhten Körperfettanteil aufweist. Umgekehrt werden Personen mit einem graziilen Skelett oder wenig Muskulatur in ihrem Fettanteil oft unterschätzt (Lohmann 1992; Schutz 1999). Aus Sicht der Autorin würde daher

die Entwicklung BMI-abhängiger Regressionsgleichung nicht zu einer Verbesserung der Ergebnisse beitragen.

Eine weitere mögliche Erklärung für die Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse durch nTOBEC im Vergleich zur DXA könnte die allgemeingültige Modellvorstellungen sein, dass die fettfreie Masse konstant zu 73.2% hydriert ist. Es gilt jedoch als gesichert, dass diese Annahmen in Abhängigkeit der individuellen Variabilität variieren. So verweist die Literatur auf einen abweichenden Hydrierungsgrad vom allgemeingültigen Referenzwert der fettfreien Masse in Abhängigkeit der Körperfettmasse, des Alters und des Geschlechtes (Das, Roberts et al. 2003) (Wang, Deurenberg et al. 1999) (Phillips, Bandini et al. 2003).

Dennoch sei nochmals darauf verwiesen, dass es sich bei denen in dieser Studie angewandten Methoden ausnahmslos um indirekte Methoden handelt. Bei der Berechnung der Gesamtkörperfettmasse ist es unumgänglich bestimmte Modelle anzunehmen und auf die Gesamtheit der Population zu übertragen, obwohl bekannt ist, dass die Annahmen für das einzelne Individuum nicht 100%-ig zutrifft. Ein solcher Kompromiss muss eingegangen werden, wenn eine direkte Bestimmung der Zielgröße nicht möglich ist.

Aber auch technische Probleme der neuen Methode können Ursache für die Abweichungen der Ergebnisse im Vergleich zur Referenzmethode sein. Es besteht die Möglichkeit, dass das generierte elektromagnetische Feld nicht stark genug war, um im Probanden einen gleichmäßigen Strom zu induzieren. Es kann aber nur spekuliert werden, dass durch eine Erhöhung der Frequenz (von 500 kHz auf z.B. 1MHz) qualitativ bessere Ergebnisse hätten gefunden werden können. Weiterhin erlaubt der gegenwärtigen Wissensstand keine konkrete Aussage, ob das generierte Feld stabil genug war, um gegen äußere Einflüsse, wie z.B. Temperatur oder Luftdruckschwankungen resistent zu sein. Die noch offenen Fragen bzw. Vermutungen können nur durch weitere Forschungsarbeit aufgeklärt werden.

7.4 Erfassung der Gesamtkörperfettmasse normal- und übergewichtiger Probanden - Methodenvergleich

Methodenvergleich: nTOBEC vs. DXA

Inwieweit die neue Methode in Verbindung mit der entwickelten Regressionsgleichung in der Lage ist, die Gesamtkörperfettmasse der Probanden einer unabhängigen Stichproben (n = 60) zu erfassen, wurde im Ergebnisteil der Methode ausführlich beschrieben.

Kurz zusammengefasst ergab sich, dass die Ergebnisse der nTOBEC für die Probanden der Validierungsgruppe (n = 60) in hohem Maße mit denen der DXA korrelieren (r = 0,960). Ein starker linearer Zusammenhang zwischen den Zielgrößen wurde gefunden. Trotz der hohen

Korrelation ergab sich sowohl für die Frauen als auch die Männer eine statistisch signifikante mittlere Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse durch nTOBEC im Vergleich zur Referenzmethode. Die Bland Altman Analyse bestätigte eine Abhängigkeit der Übereinstimmung der Ergebnisse aus nTOBEC und DXA – mit zunehmendem Gesamtkörperfettanteil wurde die Überschätzung geringer. War der Gesamtkörperfettanteil der Probanden extrem hoch, ergab sich eine Unterschätzung, war der Gesamtkörperfettanteil niedrig, prägte sich die Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse umso mehr aus.

Mögliche Ursachen der Abweichungen der Ergebnisse wurden bereits im vorherigen Kapitel diskutiert. Als wichtigste seien die mögliche Instabilität des durch die neue Methode generierten elektromagnetischen Feldes, die Annahme der konstanten Hydrierung der fettfreien Masse und die entwickelte Regressionsgleichung benannt. Unter Umständen könnte, wie im vorherigen Kapitel schon spekuliert, eine spezifischere Regressionsgleichung bessere Ergebnisse produzieren. Diese Vermutung wird bestätigt durch Beobachtungen verschiedener Autoren. Die Literatur berichtet einheitlich, dass die Ergebnisse der von ihnen getesteten indirekten Methoden abhängig von der gewählten Regressionsgleichung sind (Bray, DeLany et al. 2002; Das, Roberts et al. 2003; Phillips, Bandini et al. 2003). **Tabelle 28** informiert beispielhaft über jüngste Beobachtungen. In Abhängigkeit der gewählten Regressionsgleichung fanden die Autoren Abweichungen im Gesamtkörperfettanteil – berechnet aus ein und demselben Messwert - von 0,2 bis maximal 12,3% vom jeweiligen Referenzwert (Bray, DeLany et al. 2002; Das, Roberts et al. 2003; Phillips, Bandini et al. 2003).

Tabelle 28. GKF (%), berechnet mit verschiedenen Regressionsgleichungen

Referenz	Methode	Referenz- methode	Ziel- größe	Regressionsgleichung	Mittlere Differenz ^a
Das et al. 2003, (Das, Roberts et al. 2003)	BIA	3-KM	GKF (%)	Hersteller	5,7 %
				Lukaski et al., 1986	1,1 %
				Segal et al., 1988	1,5 %
Bray et al. 2002, (Bray, DeLany et al. 2002)	BIA	4-KM	GKF (%)	Deurenberg et al., 1990	1,9 %
				Goran et al., 1993	-6,5 %
				Schaefer et al., 1994	0,2 %
				Suprasongsin et al., 1995	-12,3 %
Bray et al., 2002, (Bray, DeLany et al. 2002)	HF	4-KM	GKF (%)	Ellis, 1997	-7,3 %
				Slaughter et al., 1988	3,8 %
Phillips et al., 2003, (Phillips, Bandini et al. 2003)	BIA	IV	GKF (%)	Houtkooper et al., 1992	0,3 %
				Kushner et al., 1992	0,4 %
				Deurenberg et al., 1991	-2,7 %
				Deurenberg et al., 1989	-4,7 %
				Deurenberg et al., 1990	-5,3 %
				Schaefer et al., 1994	-0,5 %

^a mittlere Differenz zwischen dem Ergebnis der Referenzmethode und dem aus der entsprechenden Regressionsgleichung; 3-KM: Drei-Kompartimentmodell; 4-KM: Vier-Kompartimentmodell

Methodenvergleich: Hydrodensitometrie, Air Displacement Plethysmography, Isotopenverdünnung, Bioelektrische Impedanzanalyse und Hautfaltendickenmessung vs. DXA

Der Vergleich der Gesamtkörperfettmasse aus den verschiedenen Methoden mit der aus der Referenzmethode DXA zeigte, dass alle Mittelwerte, inbegriffen des von nTOBEC, vom Referenzwert abweichen, d.h. keine der Methoden war in der Lage eine mittlere Gesamtkörperfettmasse zu bestimmen, die mit der aus der Referenzmethode übereinstimmt. Dieses Ergebnis war wenig überraschend. Bei allen Methoden handelt es sich um indirekte Methoden. Jede Methode nutzt ein anderes physikalisches Prinzip und/oder eine andere Regressionsgleichung zur Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den entsprechenden Messwerten (Brodie 1988; Brodie 1988; Deurenberg and Schutz 1995; Ellis 2000), weshalb eine 100-ige Übereinstimmung kaum möglich erscheint.

Dennoch konnten zwei Methoden – die Air Displacement Plethysmography und die Hautfaltendickenmessung - zumindest im Mittel sehr gute Übereinstimmungen der Ergebnisse im Vergleich zur DXA produzieren. Die Ergebnisse beider Methoden wichen im Mittel weniger als

1 kg vom Referenzwert ab, wobei mit der Air Displacement Plethysmography eine nichtsignifikante Unterschätzung, mit der Hautfaltendickenmessung eine nichtsignifikante Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode gefunden wurde. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse der neuen Technik, der Hydrodensitometrie und der Isotopenverdünnung – sie weichen im Mittel mehr als 10% vom Referenzwert ab.

Methodenvergleich: ADP vs. DXA

Über ähnlich gute Übereinstimmungen der Ergebnisse zwischen ADP und DXA, wie sie im Rahmen der Arbeit gefunden wurden, berichten verschiedene Autoren. So verweisen Radley et al. 2003, ebenfalls auf eine nichtsignifikante Unterschätzung des Körperfettanteils durch ADP im Vergleich zu DXA und einen linearen Trend der anzeigt, dass ADP mit zunehmendem Körperfettanteil der Probanden diesen überschätzt und mit abnehmendem Körperfettanteil unterschätzt (Radley, Gately et al. 2003).

Murphy et al., 2004, Nunez et al., 1999 und Sardinha et al., 1998, verglichen den Gesamtkörperfettanteil gemessen mit ADP und DXA verschiedener Personengruppen, wie z.B. gesunder erwachsener Männer und Frauen sowie Kinder. Die Autoren verweisen einheitlich auf eine statistisch nicht-signifikante Unterschätzung (0 – 3%) des Gesamtkörperfettanteils durch ADP im Vergleich zu DXA (Sardinha, Lohman et al. 1998; Nunez, Kovera et al. 1999; Murphy, Buntain et al. 2004).

Tabelle 29 gibt einen Überblick über die ausgewählten Studien, in denen die Ergebnisse aus ADP und DXA miteinander verglichen wurden.

Tabelle 29. Vergleich der Ergebnisse aus ADP und DXA, verschiedene Autoren

Referenz	Zielgröße	n	r ^a	Mittlere Differenz ^b
Diese Studie	GKF (kg)	60	0,976	-0,3 kg
		weiblich: 35	0,984	-0,6 kg
		männlich: 25	0,899	-0,2 kg
Radley et al., 2003, (Radley, Gately et al. 2003)	GKF (%)	28	0,94	-0,4%
		weiblich: 16	0,86	-1,3%
		männlich: 12	0,95	-0,7%
Sardinhan et al., 1998, (Sardinha, Lohman et al. 1998)	GKF (%)	62 (männlich)	0,93	-2,6%
Murphy et al., 2004, (Murphy, Buntain et al. 2004)	GKF (%)	52	k. A.	-3,0%
Nunez et al., 1999, (Nunez, Kovera et al. 1999)	GKF (%)	120		
		<i>Kinder</i>	0,90	
		weiblich: 22		-0,1%
		männlich: 26		0%
		<i>Erwachsene</i>	0,94	
		weiblich: 44		-1,0%
		männlich: 28		-0,7%

^a Korrelationskoeffizient der betrachteten Zielgröße, ADP vs. DXA,

^b mittlere Differenz der betrachteten Zielgröße, ADP – DXA

Bis heute gilt die Hydrodensitometrie als der „goldene Standard“ zur Bestimmung der Körperzusammensetzung des Menschen (Heymsfield and Wang 1993; Fogelholm and van Marken Lichtenbelt 1997; Ellis 2000). Hydrodensitometrie und Air Displacement Plethysmography stellen zwei Methoden dar, die auf Grundlage des gleichen physikalischen Prinzips arbeiten – durch Verdrängung von Wasser bzw. Luft schließt man auf das Körpervolumen. Korrigiert für das Lungenvolumen werden das ermittelte Volumen und die Körpermasse genutzt, um die Dichte des Körpers zu berechnen. Unter Berücksichtigung der verschiedenen konstanten Dichten der fettfreien Masse und der Körperfettmasse können beide Kompartimente berechnet werden (Siri 1961; Brozek, Grande et al. 1963; Jackson and Pollock 1978; Behnke, Feen et al. 1995; Ellis 2000). ADP stellt eine Weiterentwicklung der Hydrodensitometrie dar. ADP misst das Körpervolumens mittels Verdrängung von Luft, was gerade für den Probanden komfortabler in der Anwendung ist. ADP ist eine Methode, die über die Genauigkeit der noch heute als goldenen Standard akzeptierten Methode Hydrodensitometrie verfügt und darüber hinaus wesentlich einfacher, schneller und kostengünstiger in der Anwendung als die Unterwasserwägung ist. Dieser Fakt und die sehr guten Übereinstimmungen der Ergebnisse aus der Air Displacement Plethysmography mit denen der Referenzmethode Dual Energy X-Ray Absorptiometry in der durchgeführten Studie

sowie die ausnahmslos gute Kritik der Methode ADP durch andere Autoren lassen den Schluss zu, dass die ADP durchaus als Referenzmethode fungieren kann.

Methodenvergleich: HF vs. DXA

Im Rahmen der vorgestellten Studie zeigte sich, dass die Ergebnisse der Feldmethode Hautfaltendickenmessung zwar im Mittel eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der DXA aufweist, jedoch nur deshalb, weil sie bei Probanden mit einem geringen Körperfettanteil die Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur DXA überschätzt und bei Probanden mit einem hohen Körperfettanteil die Gesamtkörperfettmasse unterschätzt. Betrachtet man die absoluten Differenzen der Gesamtkörperfettmasse zwischen der Referenzmethode und der Hautfaltendickenmessung für den einzelnen Probanden, so zeigt sich, dass die Hautfaltendickenmessung auf der einen Seite bei 32% der Probanden eine absolute Differenz unter 5%, auf der anderen Seite bei 31% der Probanden eine absolute Differenz größer als 20% erfassen konnte. Diese Ergebnisse erklären die gute Übereinstimmung der Mittelwerte der Feldmethode und der Referenzmethode, weisen aber gleichzeitig darauf hin, dass die Ergebnisse abhängig sind von der individuellen Variabilität der Gesamtkörperfettmasse des einzelnen Probanden.

Ingbert et al. 2003, erfassten die Körperzusammensetzung von 18 jungen Frauen mit einer Diabetes Typ I – Erkrankung und 18 jungen gesunden Frauen mit der Hautfaltendickenmessung und der Röntgenanalyse DXA. Die erkrankten Frauen hatten einen signifikant höheren Anteil an Gesamtkörperfett als die Frauen der Kontrollgruppe. Trotz der guten Korrelation der Zielgröße wurde eine signifikante Überschätzung des Gesamtkörperfettanteils (3.1%) im Vergleich zur DXA bei den jungen Frauen mit Diabetes Typ I und eine nichtsignifikante Unterschätzung (3%) bei den Frauen der Kontrollgruppe beobachtet. Ebenso wie in unserer Studie fanden die Autoren eine Abhängigkeit der Übereinstimmung der Ergebnisse der Feldmethode und der Referenzmethode vom Anteil an Gesamtkörperfett (Ingberg, Sarnblad et al. 2003).

De Lorenzo et al. 1998, berichten ebenfalls über eine mittlere Überschätzung des Gesamtkörperfettanteils von 0,8% durch die Feldmethode im Vergleich zur DXA. Dabei verweisen die Autoren auf die Abhängigkeit der Ergebnisse von der gewählten Regressionsgleichung (De Lorenzo, Bertini et al. 1998). Im Gegensatz dazu fanden Kamimura et al. 2003, beim Vergleich der Ergebnisse aus der Hautfaltendickenmessung mit denen der DXA eine mittlere nicht signifikante Unterschätzung der Gesamtkörperfettmasse von 0,5 kg bei den Frauen und von 0,4 kg bei den Männern der Studienpopulation im Vergleich zur Referenzmethode (Kamimura, Avesani et al. 2003). In **Tabelle 30** sind die Ergebnisse der verschiedenen Autoren zusammengefasst.

Tabelle 30. Vergleich der Ergebnisse aus HF und DEXA, verschiedene Autoren

Referenz	Zielgröße	n	r ^a	Mittlere Differenz ^b
Diese Studie	GKF (kg)	60	0,959	-0,6 kg
		weiblich: 35	0,967	0,4 kg
		männlich: 25	0,826	2,0 kg
Ingberg et al., 2003, (Ingberg, Sarnblad et al. 2003)	GKF (%)	36		
		Diabetes I-Patienten: 18 Kontrollgruppe: 18	0,90 0,88	-3,1 % 3,0 %
De Lorenzo et al., 1998, (De Lorenzo, Bertini et al. 1998)	GKF (%)	26	k. A.	0,8 % (Slaughter, 1988)
				0,2 % (Deurenberg, 1990)
Kamimura et al., 2003, (Kamimura, Avesani et al. 2003)	GKF (kg)	30	0,94	-0,5 kg
		weiblich: 15	0,89	-0,4 kg
		männlich: 15	0,94	-0,5 kg

^a Korrelationskoeffizient der betrachteten Zielgröße, HF vs. DEXA,

^b mittlere Differenz der betrachteten Zielgröße, HF – DXA

Der Literaturüberblick lässt keine einheitliche Richtung in Bezug auf eine mittlere Über- bzw. Unterschätzung erkennen. Die Autoren verweisen nochmals auf die Abhängigkeit der Ergebnisse von der gewählten Regressionsgleichung zur Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Hautfaltendicken. Des Weiteren nehmen die Autoren Kritik an der konstanten Hydrierung der fettfreien Körpermasse von 73.2%. Trotz des Wissens, dass die Hydrierung der fettfreien Masse in Abhängigkeit des Alters, des Geschlechts, der Körperfettmasse u. a. Faktoren variiert, bildet die modellhafte Annahme die Grundlage der verschiedenen Regressionsgleichungen (Ingberg, Sarnblad et al. 2003; Kamimura, Avesani et al. 2003).

Die Hauptfehlerquelle bei der Anwendung der Hautfaltendickenmessung ist die große Messungenauigkeit beim Einsatz verschiedener Untersucher. In der Literatur liegen widersprüchliche Angaben dazu vor. Sie reichen von geringfügigen Abweichungen (< 2 mm) bis hin zu der Behauptung, die Inter-Untersucher-Unterschiede können bis zu 50% betragen. Für wissenschaftliche Fragestellung wird gefordert, dass die Messung von möglichst nur einer Person durchgeführt wird. Um diese mögliche Fehlerquelle auszuschließen, wurden alle Hautfaltendickenmessungen von der Autorin selbst oder einem zweiten erfahrenen Untersucher durchgeführt. Zur Vermeidung von Fehlern bei der Hautfaltendickenmessung durch das Messgerät selbst wurde das verwendete Lange-Kaliper in regelmäßigen Abständen an einem genormten Messblock überprüft.

Dieser Feldmethode liegt das Prinzip zu Grunde, dass das subkutane Fettgewebe mit der Messung der Hautfaltendicken an prädiktiven Messstellen erfasst werden kann und der Gesamtkörperfettanteil hochgradig mit dem subkutanen Fett korreliert. Jedoch unterliegt die

Elastizität und Komprimierbarkeit des subkutanen Fettgewebes einer großen Variationsbreite. Sie lässt mit zunehmendem Alter nach und ist abhängig vom Geschlecht und dem Ernährungszustand. Die Höhe dieser Abweichungen und der Einfluss einzelner Faktoren sind nicht bekannt. Die Korrelation zwischen subkutanem Fettgewebe und Gesamtkörperfett können individuell unterschiedlich stark ausgeprägt sein. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwiefern das androide Fettverteilungsmuster, bei dem nachweislich ein höherer Anteil an Fettgewebe um die inneren Organe gespeichert wird, eine schwächere Korrelation zeigt. In dieser Stelle besteht im Hinblick einer Optimierung der Hautfaltendickenmessung weiterer Forschungsbedarf.

Dennoch vertreten andere Autoren und die Autorin selbst die Meinung, dass die Hautfaltendickenmessung eine Methode darstellt, mit der die Körperzusammensetzung schnell und kostengünstig erfasst wird. Die Methode kann als Alternative zu den aufwendigen und teuren Labormethoden und den weniger genauen Parametern Körpermasse oder BMI eingesetzt werden.

Methodenvergleich: BIA vs. DXA

Der Vergleich der Gesamtkörperfettmasse, ermittelt mit der BIA und der Referenzmethode ergab neben der guten Korrelation gute Übereinstimmungen der Mittelwerte der Methoden. So konnte für die gesamte Studienpopulation eine mittlere Unterschätzung der Gesamtkörperfettmasse von 1,1 kg durch BIA im Vergleich zur DXA beobachtet werden. Trotz der guten mittleren Übereinstimmung zeigte sich eine Abhängigkeit der Ergebnisse von der Gesamtkörperfettmasse – bei einer geringen Gesamtkörperfettmasse überschätzte, bei einer hohen Gesamtkörperfettmasse unterschätzte die BIA diese im Vergleich zur Referenzmethode.

Ähnlich große bzw. größere Abweichungen der Ergebnisse der BIA von denen der DXA fanden auch andere Autoren. Bolanowski et al. 2001, Pietrobelli et al. 2004, Eisenkölbl et al. 2001 und Kamimura et al. 2003, verglichen den Gesamtkörperfettanteil aus der BIA mit dem der Röntgenanalyse von Erwachsenen und Kindern. Sie berichten einheitlich über sehr gute Korrelationskoeffizienten ($r = 0,87 - r = 0,98$) zwischen dem Gesamtkörperfettanteil beider Methoden. Jedoch informieren die Autoren über mittlere Unterschiede (1,7 – 4,5 kg bzw. 19 – 6,3%) des Anteils an Körperfett zwischen den Methoden, die teilweise signifikant waren. Die BIA überschätzte den Gesamtkörperfettanteil im Vergleich zur DXA (Bolanowski and Nilsson 2001) (Pietrobelli, Rubiano et al. 2004) (Eisenkolbl, Kartasurya et al. 2001) (Kamimura, Avesani et al. 2003). Einzig bei den weiblichen Probanden der Studie von Kamimura et al. 2003, unterschätzte die BIA die Gasamtkörperfettmasse im Vergleich zur DXA (Kamimura, Avesani et al. 2003). Zusätzlich verweisen Bolanowski et al. 2001, Eisenkölbl et al. 2001, und Kamimura et al. 2003, auf geschlechtsspezifische Unterschiede (Bolanowski and Nilsson 2001) (Eisenkolbl, Kartasurya et al. 2001) (Kamimura, Avesani et al. 2003).

In **Tabelle 31** sind die Ergebnisse kürzlich publizierter Arbeiten verschiedener Autoren zusammengefasst.

Tabelle 31. Vergleich der Ergebnisse aus BIA und DXA, verschiedene Autoren

Referenz	Zielgröße	n	r ^a	Mittlere Differenz ^b
Diese Studie	GKF (kg)	60	0,972	-1,1 kg
		weiblich: 35	0,980	-2,1 kg
		männlich: 25	0,843	0,5 kg
Bolanowski & Nilsson, 2001, (Bolanowski and Nilsson 2001)	GKF (kg)	100		
		weiblich: 59	0,98	-1,7 kg
		männlich: 41	0,89	-4,5 kg
Pietrobelli et al, 20045, (Pietrobelli, Rubiano et al. 2004)	GKF (%)	40	0,89	-1,5 kg
Eisenkolbl et al, 2001, (Eisenkolbl, Kartasurya et al. 2001)	GKF (%)	27		
		weiblich: 13	0,923	-1,9 %
		männlich: 14	0,919	-6,3 %
Kamimura et al, 2003, (Kamimura, Avesani et al. 2003)	GKF (kg)	30	0,91	-0,4 kg
		weiblich: 15	0,87	2,6 kg
		männlich: 15	0,91	-1,9 kg

^a Korrelationskoeffizient der betrachteten Zielgröße, BIA vs. DXA,

^b mittlere Differenz der betrachteten Zielgröße, BIA – DXA

Der Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit denen der anderen Autoren ergab, dass die Abweichungen der Ergebnisse der BIA von denen der DXA dieser Arbeit im Mittel geringer waren als die der anderen Autoren. Dennoch zeigte sich auch in dieser Arbeit eine Geschlechtsspezifität und eine Abhängigkeit der Ergebnisse von der absoluten Gesamtkörperfettmasse.

Im Rahmen der Studie wurden mögliche Fehler bei der Anwendung der BIA weitestgehend ausgeschlossen. Alle Messungen wurden mit ein und demselben Messgerät von der Autorin selbst oder einem weiteren erfahrenen Untersucher durchgeführt. Dadurch konnten sowohl geringe Unterschiede der Ergebnissen durch die Verwendung verschiedener Gerätetypen (Heitmann 1994; Kußmaul, Döring et al. 1996) als auch durch verschiedene Untersucher (Elsen, Siu et al. 1987; Heitmann 1990; Kußmaul, Döring et al. 1996) ausgeschlossen werden. Um Fehler durch eine Fehlplatzierung der Elektroden zu vermeiden, die im Endergebnis zu Fehlinterpretation bis zu 8% führen können (Elsen, Siu et al. 1987; Elia 1993), wurden die Elektroden an den exakt definierten Stellen platziert. Starke Schwankungen der Umgebungs- und Körpertemperatur, gelten als eine weitere Fehlerquelle der BIA (Elsen, Siu et al. 1987; Roche, Heymsfield et al. 1996). Da die

vorliegenden Messungen zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt wurden, konnten Schwankungen der Außentemperatur nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Die Raumtemperatur lag jedoch in der Regel zwischen 22 und 26 °C. Da alle möglichen Fehler bei der Anwendung der Feldmethode weitestgehend ausgeschlossen wurden, erklärt sich die Fehlinterpretation der Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur DXA durch eine Reihe verschiedener Annahmen: 1. der menschliche Körper ist ein gleichmäßig geformter Zylinder, 2. das Verhältnis von intra- zu extrazellulärem Wasser bleibt konstant, 3. der Hydratationszustand der Magermasse ist konstant, 4. ein Strom der Frequenz 50 kHz durchtritt alle Zellen gleichmäßig und 5. die Impedanz kann mit der Resistance gleich gesetzt werden. Nach Ellis et al. 1999, trifft keine dieser Annahmen vollständig zu. Der Mensch stellt nur annäherungsweise einen Zylinder dar (Kushner 1992) (Bracco, Thiebaut et al. 1996; Kyle, Pichard et al. 1998). Gleichzeitig ist das Verhältnis von intra- zu extrazellulärem Wasseranteil in Abhängigkeit des Alters oder des Gesamtkörperfettanteils nicht konstant (Segal, Van Loan et al. 1988; Stroh 1995). Als problematisch stellt sich ebenfalls die Annahme des konstanten Wassergehaltes der Magermasse von 73,2% dar. Gerade bei speziellen Personengruppen, wie z.B. Kindern, Adipösen, Senioren, Leistungssportlern oder Kranken mit Störungen im Wasserhaushalt ist der Hydratationsstatus nach dem bisherigen Kenntnisstand verändert (Wang, Deurenberg et al. 1999). Auch die Einnahme bestimmter Medikamente und der Menstruationszyklus der Frau können die konstante Hydrierung der Magermasse beeinflussen (Roche, Heymsfield et al. 1996). Daher werden für diese Gruppen spezifische Regressionsgleichungen zur Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Widerstandswerten gefordert (Heitmann 1990; Deurenberg and Schouten 1992; Heyward 1998). Die z. T. widersprüchlichen Ergebnisse verschiedener Autoren und dieser Arbeit bestätigen, dass bei der Anwendung der BIA noch offene Frage zu klären sind. So sind z.B. sowohl die Vorgänge im menschlichen Körper als auch im Gerät sowie die Wechselwirkung zwischen beiden nicht vollständig bekannt. Somit bleibt die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der BIA besonders am Individuum in Frage gestellt.

Methodenvergleich: Hydrodensitometrie vs. DXA

Beim Vergleich der Ergebnisse aus der Hydrodensitometrie mit denen der Referenzmethode an den Probanden der Validierungsgruppe wurde eine mittlere Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse von 3,1 kg durch die Hydrodensitometrie im Vergleich zur Referenzmethode beobachtet. Die Ergebnisse beider Methoden korrelieren gut ($r = 0,899$) miteinander. Jedoch fiel auf, dass gerade bei Probanden mit einem sehr niedrigen bzw. sehr hohen Gesamtkörperfettanteil erhebliche Abweichungen der Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode auftraten. Ein linearer Trend verweist auf eine Unterschätzung der

Gesamtkörperfettmasse bei Probanden mit einem geringen Anteil an Körperfett und auf eine Überschätzung bei Probanden mit einem hohen Anteil an Körperfett.

Ähnlich Ergebnisse konnten auch andere Autoren finden. Snead et al. 1993, und Van Loan & Mayclin 1992, verglichen den Anteil an Gesamtkörperfett aus der DXA mit dem aus der Hydrodensitometrie von gesunden Erwachsenen. Sie beobachteten gute Korrelationskoeffizienten zwischen dem Anteil an Körperfett aus der Referenzmethode und der Hydrodensitometrie, aber auch eine mittlere Überschätzung des Anteils an Gesamtkörperfett durch die Hydrodensitometrie im Vergleich zur DXA (Snead, Birge et al. 1993) (Van Loan and Mayclin 1992). Dabei nimmt auch bei Snead et al. 1993, und Proctor et al. 1999, die Überschätzung mit steigendem Körperfettanteil bzw. Alter zu (Snead, Birge et al. 1993) (Proctor, O'Brien et al. 1999).

Johansson et al. 1993, verglichen ebenfalls die Ergebnisse aus der Hydrodensitometrie und der Referenzmethode DXA. Die Autoren nutzten bei der Hydrodensitometrie die gleiche Methode zur Erfassung des Lungen- bzw. Residualvolumens wie wir – bei der eigentlichen Tauchung war der Proband angewiesen maximal auszuatmen. Das noch in der Lunge verbliebene - willentlich nicht beeinflussbare Residualvolumen – wurde extern, mittels eines Bodyplethysmographen gemessen und in die Berechnung der Körperzusammensetzung integriert. Sie fanden trotz der guten Korrelation zwischen der Größen der Methoden ($r = 0,86$) eine signifikante mittlere Überschätzung des Gesamtkörperfettanteils durch die Hydrodensitometrie von 8.6% im Vergleich zur DXA (Johansson, Forslund et al. 1993).

Die Ergebnisse der Autoren sind in **Tabelle 32** zusammengefasst.

Tabelle 32. Vergleich der Ergebnisse aus HD und DXA; verschiedene Autoren

Referenz	Zielgröße	n	r ^a	Mittlere Differenz ^b
Diese Studie	GKF (kg)	55	0,899	3,1 kg
		weiblich: 32	0,909	4,2 kg
		männlich: 23	0,798	1,7 kg
Snead et al. 1993, (Snead, Birge et al. 1993)	GKF (%)	weiblich: 113	0,92	21-39 a: -0,9%
				40-59 a: 1,1 %
				60-73 a: 5,4%
		männlich: 72	0,91	21-39 a: 1,0%
				40-59 a: 3,7%
				60-82 a: 6,1%
Van Loan et al. 1992, (Van Loan and Mayclin 1992)	GKF (%)	55	0,92	2,7%
		weiblich: 29	k. A.	1,4%
		männlich 26	k. A.	4,1%
Johansson et al. 1993, (Johansson, Forslund et al. 1993)	GKF (%)	23 (männlich)	0,86	8,6%
Proctor et al. 1999, (Proctor, O'Brien et al. 1999)	GKF (%)	59	k. A.	
		weiblich: 30	k. A.	20-30 a: -2,8%
				45-59 a: 0,1%
				60-79 a: 2,6%
		männlich: 29	k. A.	20-30 a: -0,9%
				45-59 a: 2%
60-79 a: 1,8%				

^a Korrelationskoeffizient der betrachteten Größe, Hydrodensitometrie vs. DEXA,

^b mittlere Differenz der betrachteten Größe Hydrodensitometrie – DEXA

Im Rahmen dieser Arbeit wurde beobachtet, dass die Abweichungen der Gesamtkörperfettmasse aus der Hydrodensitometrie gerade für das einzelne Individuum extrem groß waren. Mögliche Ursachen finden sich in der eigentlichen Anwendung der Methode, aber auch in den verschiedenen Annahmen bei der Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Messwerten der Methode. Es stellte im Verlauf der Studie heraus, dass das komplette Untertauchen des Körpers unter maximaler Expiration für einen Großteil der Probanden sehr problematisch war. Befragungen der Probanden nach den Ursachen der Schwierigkeiten kamen zu einem einheitlichen Ergebnis – entgegen dem natürlichen Verlangen vor dem Untertauchen unter Wasser so viel wie möglich Luft einzuatmen, galt es bei der Messung, so viel wie möglich Luft auszuatmen. Diese Forderung zu erfüllen, stellte für die Probanden das größte Problem dar. Für die Berechnung der Gesamtkörperfettmasse musste zusätzlich zum Körpervolumen das Residualvolumen der Probanden extern ermittelt. Und genau an dieser Stelle ist die größte

Fehlerquelle zu vermuten. Das Residualvolumen ist dasjenige Volumen, welches nach maximaler willentlicher Ausatmung noch in der Lunge verbleibt. Dieses Volumen muss in der weiteren Berechnung vom - durch die Unterwasserwägung - ermittelten Körpervolumen subtrahiert werden (Wilmore 1969; Roche, Heymsfield et al. 1996). Hat der Proband nun unter Wasser nicht maximal ausgeatmet, geht auch dieses Volumen mit in die Berechnung ein und führt im Endergebnis zu einer Fehlinterpretation der Zielgröße. Ähnlich große Abweichungen der Ergebnisse der Hydrodensitometrie von denen der DXA, wie wir sie im Verlauf unserer Studie beobachteten, fanden auch Johannson et al. 1993 (Johansson, Forslund et al. 1993). Die Autoren nutzten dabei das gleiche Prinzip zur Erfassung des Lungenvolumens und standen somit vor dem gleichen Problem – komplettes Untertauchen des Körpers unter maximaler Ausatmung. Andere Autoren konnten Abweichungen der Größenordnung, wie sie im Rahmen dieser Arbeit und durch Johannson et al. 1993 (Johansson, Forslund et al. 1993) vorgestellt wurden, nicht finden. Sie nutzten einheitlich eine andere Methodik zur Erfassung des Lungenvolumens. Parallel zum Tauchvorgang wurde mittels eines geschlossenen Kreislaufes das Lungenvolumen mit verschiedenen Tracer-Gasen bestimmt (Van Loan and Mayclin 1992; Snead, Birge et al. 1993; Proctor, O'Brien et al. 1999).

Demnach liegen die Ursachen der großen Abweichungen der Gesamtkörperfettmasse aus der Hydrodensitometrie im Vergleich zur DXA nicht bei der Methode an sich. Vielmehr erweist sich die Apparatur zur Erfassung der verschiedenen Volumina, wie sie im Rahmen der Arbeit genutzt wurde, als problematisch und daher verbesserungswürdig.

Dennoch sei auf weitere Fehlerquellen der Methode verwiesen, die nicht im Zusammenhang mit der Messung der Volumina stehen. Grundlage der Berechnung stellen die konstanten Dichten der Magermasse und der Körperfettmasse (1.1 g/cm^3 bzw. 0.9 g/cm^3) sowie die konstante Hydrierung der Magermasse (73,2%) dar. Wie bereits bei der bioelektrischen Impedanzanalyse diskutiert, können diese Konstanten – unter Berücksichtigung der individuellen Variabilität – mit dem Alter, dem Geschlecht und dem Gesamtkörperfettanteil variieren, was bei der Berechnung der Körperzusammensetzung dieser Personenkreise zu erheblichen Fehlern führen kann (Wang, Deurenberg et al. 1999).

Unter Berücksichtigung des enormen Aufwandes, den hohen Anforderungen an den Probanden und die z. T. großen Abweichungen der Gesamtkörperfettmasse vom Referenzwert bei der Anwendung der Hydrodensitometrie kann resümiert werden, dass die Hydrodensitometrie, in der Art und Weise, wie sie in der Arbeit angewandt wurde, ausgedient hat. Die Air Displacement Plethysmographie arbeitet nach dem gleichen Prinzip und bringt - bei wesentlich einfacherer Anwendung – bessere Ergebnisse und könnte somit zukünftig die Hydrodensitometrie verdrängen.

Methodenvergleich: Isotopenverdünnung vs. DXA

An einem Teil der Probanden (n = 37) unserer Studie bestimmten wir die Gesamtkörperfettmasse mit der Isotopenverdünnungsmethode. Dabei beobachteten wir eine statistisch signifikante mittlere Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur Referenzmethode DXA von 9,0 kg. Es ergab sich, dass die individuellen Ergebnisse einzelner Probanden in hohem Maße vom Referenzwert abwichen. Auch hier zeigte sich eine Abhängigkeit der Übereinstimmungen der Gesamtkörperfettmasse zwischen DXA und IV von der Gesamtkörperfettmasse.

Andere Autoren verglichen die Ergebnisse beider Methoden und fanden positivere Ergebnisse. Kemink et al. 1999, zeigen, dass der Anteil an Gesamtkörperfett aus der Isotopenverdünnung sehr gut mit dem aus der DXA übereinstimmt. Sie verweisen auf eine mittlere, nichtsignifikante Abweichung von 0,2% Gesamtkörperfett (Kemink, Frijns et al. 1999).

Treuth et al. 2001, konnten eine leichte mittlere Überschätzung der Gesamtkörperfettmasse durch die Isotopenverdünnung im Vergleich zur Röntgenanalyse von 1,2 kg finden (Treuth, Butte et al. 2001). Die Ergebnisse der Autoren sind in **Tabelle 33** zusammengefasst.

Tabelle 33. Vergleich der Ergebnisse aus IV und DXA, verschiedene Autoren

Referenz	Zielgröße	n	r ^a	Mittlere Differenz ^b
Diese Arbeit	GKF (kg)	37	0,897	9,0 kg
		weiblich: 24	0,966	7,4 kg
		männlich: 13	0,819	9,8 kg
Kemink et al. 1999, (Kemink, Frijns et al. 1999)	GKF (%)	14 (weiblich)	k. A.	0,2 %
Treuth et al. 2001, (Treuth, Butte et al. 2001)	GKF (kg)	101 (weiblich)	k. A.	1,2 kg

^a Korrelationskoeffizient der betrachteten Zielgröße, IV vs. DEXA,

^b mittlere Differenz der betrachteten Zielgröße, IV – DEXA

Die Isotopenverdünnungsmethode hat sich unumstritten als eine Referenzmethode zur Erfassung des Gesamtkörperwassers etabliert (Gonzalez, Evans et al. 2002; Masuda and Komiya 2004). Unter der Annahme, dass die fettfreie Masse zu 73,2% hydriert ist, können die fettfreie Körpermasse und die Gesamtkörperfettmasse aus dem Gesamtkörperwasser berechnet werden. Vermutlich stellt diese Annahme die Hauptursache für die beobachteten Abweichungen der Gesamtkörperfettmasse zwischen der Isotopenverdünnung und der DXA dar. Wie bereits bei der bioelektrischen Impedanzanalyse diskutiert, gilt diese allgemeingültige Annahme nicht für das einzelne Individuum. So berichten verschiedene Autoren, dass in Abhängigkeit des Alters, des

Geschlechts oder des Anteils an Körperfett der Hydrierungsgrad der fettfreien Masse variiert (Roche 1987; Lukaski 1990; Wang, Deurenberg et al. 1999).

Der Unterschied der vorgestellten Studie zu denen der genannten Autoren besteht darin, dass die vorliegende Studienpopulation inhomogen war. Sowohl normal- und übergewichtige als auch junge und ältere Erwachsene waren in die Studie involviert. Anders bei Kemink et al. 1999, und Treuth et al. 2001 - ausschließlich junge, normalgewichtige Probanden nahmen an den Studien teil (Kemink, Frijns et al. 1999; Treuth, Butte et al. 2001). Es ist zu vermuten, dass bei diesen homogenen Studienpopulationen die Variationen des Hydrierungsgrades wesentlich geringer ausfielen, als in der vorliegenden Arbeit und somit bessere Übereinstimmungen der Ergebnisse zwischen IV und DXA gefunden wurden.

Die Ergebnisse der vorgestellten Arbeit sowie die Tatsache, dass die Isotopenverdünnung in der Literatur als eine Methode zur Bestimmung des Gesamtkörperwasseranteils, nicht aber des Gesamtkörperfettanteils etabliert ist, lassen den Schluss zu, dass durch die Annahme des konstanten Hydrierungsgrades der fettfreien Masse von 73,2% die Methode nur bedingt für die Erfassung des Gesamtkörperfettes geeignet ist.

7.5 Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse während der Intervention

Neben der Beurteilung der Anwendbarkeit, der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und der Fähigkeit der Erfassung der Körperzusammensetzung durch die neue Methode sollte eingeschätzt werden, inwieweit nTOBEC sowie die Hydrodensitometrie, die Isotopenverdünnung, die bioelektrische Impedanzanalyse und die Hautfaltendickenmessung in der Lage sind, Veränderungen der Körperzusammensetzung zu dokumentieren.

Der Prototyp der neuen Methode wurde – mit einer 10-monatigen Verspätung - im Januar des Jahres 2003 fertiggestellt. Um weitere Verzögerungen im Projekt zu vermeiden und die geplante Interventionsstudie in dem Umfang durchführen zu können, wie es geplant war, begann die vorgestellte Studie zeitgleich mit dem Eintreffen des neuen Gerätes. Eine erste Zwischenbilanz der Messwerte von nTOBEC ließ Zweifel in der Validität der Messwerte aufkommen. Eine detaillierte Fehleranalyse vor Ort ergab, dass das elektromagnetische Feld durch verschiedene im Labor befindliche Geräte erheblich beeinflusst wurde. Durch die Umsetzung des Gerätes an einen geeigneteren Standort und des Verzichtes der störenden Einflussfaktoren, konnten die Fehlerquelle beseitigt werden. Die bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Werte erwiesen sich als nicht verwendbar, weshalb eine Bestimmung der Gesamtkörperfettmasse der Probanden der Interventionsgruppe zu Beginn der Interventionsstudie nicht erfolgen konnte. Die Beurteilung der Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse durch nTOBEC konnte sich daher nur auf die zweite Hälfte des Interventionszeitraumes beziehen. Im Verlauf der Interventionsstudie wurde die

Körperzusammensetzung der Probanden drei Mal im Abstand von jeweils 8 Wochen erfasst. Bei der Wahl der Referenzmethode stellte sich die Frage, ob es ethisch vertretbar sei, die Körperzusammensetzung der Probanden drei Mal in einem relativ kurzen Zeitraum mit einem röntgen-analytischen Verfahren zu erfassen. Obwohl die DXA nur mit einer geringen Strahlung arbeitet, fiel die Entscheidung gegen diese Methode. Vielmehr überzeugten uns die sehr guten Ergebnisse der Air Displacement Plethysmographie und die ausnahmslos positive Kritik der Methode durch die Literatur, weshalb im Rahmen der Interventionsstudie die Air Displacement Plethysmography als Referenzmethode ausgewählt wurde.

7.5.1 Interpretation der Ergebnisse zum Energieverbrauch und zur Energieaufnahme während der Intervention

Im Zeitraum der Interventionsstudie reduzierten die 46 Probanden der Interventionsgruppe ihre Körpermasse und Körperfettmasse signifikant.

Die Reduktion von Körpermasse und Körperfettmasse ergab sich bei den Frauen durch eine signifikante Senkung der Energieaufnahme mit der Nahrung - insbesondere durch eine signifikante Reduktion des Konsums von Fett. Veränderungen in der körperlichen Aktivität wurden nicht beobachtet. Bei den Männern ergab sich die Reduktion hauptsächlich durch eine signifikante Reduktion der Aufnahme von Fett mit der Nahrung und einen gesteigerten Energieverbrauch durch Erhöhung der körperlichen Aktivität. Diese Ergebnisse beziehen sich auf Angaben der Probanden aus den Ernährungs- und Aktivitätsprotokollen. In den vergangenen Jahren wurden solche Protokolle kontrovers diskutiert. Das „missreporting“ bei der Ermittlung des Lebensmittelverzehr durch Ernährungsprotokolle stand dabei im Mittelpunkt (Schoeller and Racette 1990; Kroke, Klipstein-Grobusch et al. 1999; Pomerleau, Ostbye et al. 1999; Samaras, Kelly et al. 1999). Man spricht von „missreporting“, wenn der Proband seine Ernährungsgewohnheiten erhebungsbedingt verändert oder das Ernährungsprotokoll beziehungsweise den Fragebogen durch bewusste oder unbewusste Fehlangaben verfälscht. Ähnliches „missreporting“ wird auch bei der Protokollierung der körperlichen Aktivität beobachtet (Ainsworth, Haskell et al. 2000; Rzewnicki, Vanden Auweele et al. 2003; Adams, Matthews et al. 2005). Die Autoren verweisen auf den Zusammenhang zwischen Adipositas und „missreporting“.

Die Probanden der Interventionsgruppe protokollierten im Mittel eine Energieaufnahme von ca. 8 MJ/24 h und einen Energieverbrauch von ca. 16 MJ/24 h, was bedeutet, dass die Probanden doppelt soviel Energie verbraucht, wie sie aufgenommen haben. Unter Beachtung der Variabilität des Einzelnen hätte unter diesen Voraussetzungen die Reduktion von Körpermasse bzw. Körperfettmasse jedoch wesentlich höher ausfallen müssen. Die Interpretation der Ergebnisse

zum Energieverbrauch und zur Energieaufnahme im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Körperzusammensetzung lassen den Schluss zu, dass auch im Rahmen unserer Studie ein „missreporting“ vorlag.

7.5.2 Erfassung der Gesamtkörperfettmasse der Probanden der Interventionsgruppe– Methodenvergleich

Die mit den verschiedenen Methoden während des Interventionszeitraumes erfassten Gesamtkörperfettmassen unterscheiden sich z. T. erheblich. Keine der Methoden war in der Lage eine mittlere Gesamtkörperfettmasse zu erfassen, die mit der aus der Referenzmethode ADP übereinstimmt. Die Ergebnisse von nTOBEC wichen - verglichen mit der Hydrodensitometrie der Isotopenverdünnung, der bioelektrischen Impedanzanalyse und der Hautfaltendickenmessung - im Mittel am meisten von denen der Referenzmethode ab. Eine signifikante mittlere Unterschätzung der Gesamtkörperfettmasse von 8 kg bei den Frauen und 9,7 kg bei den Männern nach 16-wöchiger Intervention wurde beobachtet. Die Tendenz der Unterschätzung der Gesamtkörperfettmasse bei Probanden mit einem hohen Körperfettanteil deutete sich bereits bei der Interpretation der Ergebnisse von nTOBEC an der aus normalgewichtigen und übergewichtigen bzw. adipösen Probanden zusammengesetzten Validationsgruppe an und wurde im Kapitel 6 diskutiert. Dort wurde berichtet, dass mit steigendem Körperfettanteil nTOBEC die Gesamtkörperfettmasse im Vergleich zur Referenz tendenziell unterschätzt. Die Probanden der Interventionsgruppe waren allesamt übergewichtig und z. T. stark adipös, weshalb sich eine Unterschätzung der Gesamtkörperfettmasse bei einer Population, die ausschließlich aus übergewichtigen bzw. adipösen Probanden zusammensetzt als eine logische Konsequenz der vorherigen Beobachtungen ergab. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die entwickelte Regressionsgleichung die Gesamtkörperfettmasse übergewichtiger Probanden nicht optimal berechnen kann. Unter Berücksichtigung von Messwerten der neuen Methode bei höheren Frequenzen, sollten die Regressionsgleichungen optimiert werden.

Der Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Methode zeigt, dass die Abweichungen der Ergebnisse zu denen der Referenzmethode mit fortschreitendem Interventionszeitraum größer wurden. Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung ist der als konstant angenommene Hydratationsgrad der Magermasse. Er bildet eine Grundlage für die Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten der verwendeten indirekten Methoden. In der Literatur findet sich die begründete Annahme, dass eine Reduktion von Körpermasse den Grad der Hydrierung der Magermasse verändert (Dey, Bosaeus et al. 2003). Lichtenbelt et al. 1999, und Das et al. 2003, bestätigen, dass sich der Hydrierungsgrad der Magermasse adipöser Probanden durch eine massive Reduktion der Körpermasse signifikant verändert (Marken Lichtenbelt and

Fogelholm 1999; Das, Roberts et al. 2003). Das et al. 2003, berichten über einen Hydrierungsgrad vor der Reduktion von 75,6%, nach der Reduktion von 74,7%. Der Hydrierungsgrad variierte nach der Reduktion mehr als zu Beginn (Das, Roberts et al. 2003). Weitere Konstanten, die bei der Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten der Air Displacement Plethysmography und Hydrodensitometrie genutzt werden, sind die konstanten Dichten der fettfreien Masse und des Körperfettes (Siri 1956; Siri 1961; Brozek, Grande et al. 1963). Unter Berücksichtigung der Variabilität des einzelnen Individuums ist eine Konstanz dieser Konstanten während einer Reduktion von Körperfettmasse ebenfalls in Frage gestellt (Wang, Pierson et al. 1992; Jebb and Elia 1993; Schutz 2004).

Die einzelnen Probanden reduzierten die Körperfettmasse in unterschiedlichem Maße, weshalb zu vermuten ist, dass sich auch der Hydrierungsgrad der fettfreien Masse und die Dichten der Gewebe in unterschiedlichem Maße verändert haben. Unter diesen Voraussetzungen gilt, dass zum einen die individuelle Variabilität und zum anderen die Variabilität der reduzierten Körperfettmasse und die damit verbundenen Veränderungen der Konstanten als Fehlerquellen in die Berechnung der Gesamtkörperfettmasse aus den Messwerten der einzelnen Methoden eingehen. Diese Potenzierung verschiedener Fehlerquellen könnte eine Erklärung für die größer werdenden Abweichungen der Ergebnisse der Methoden von der Referenzmethode während der Intervention sein.

7.5.3 Reduzierte Körperfettmasse während der Intervention- Methodenvergleich

Die während der Interventionsstudie reduzierte Körperfettmasse wurde mit der Referenzmethode ADP erfasst und mit den Ergebnissen der nTOBEC, HD, IV, BIA und HF verglichen. Die gute mittlere Übereinstimmung der Zielgröße aus ADP und nTOBEC bzw. HF sowie die geringen Übereinstimmungen der Ergebnisse der HD und IV fielen dabei besonders auf.

Zwar fand sich eine sehr große Abweichung in der Gesamtkörperfettmasse an einem Messpunkt, ermittelt mit nTOBEC im Vergleich zu ADP, aber die Ergebnisse beweisen, dass nTOBEC in der Lage ist, eine Reduktion von Körperfettmasse zu dokumentieren, die vergleichbar ist mit der aus ADP. Die neue Methode überschätzte die während der Intervention erzielte Reduktion von Körperfettmasse, wobei die Überschätzung bei den Frauen wesentlich höher ausgeprägt war als bei den Männern. Ursachen sind in den allgemeinen Unterschieden des Gesamtkörperfettanteils bei den Geschlechtern zu finden. Bei gleichem BMI hat eine Frau ca. 10% mehr Fett als ein Mann bzw. hat ein Mann eine größere fettfreie Masse und weniger Fett als eine Frau (Seidell and Visscher 2000; Schutz 2004). Dieser höhere Körperfettanteil ist genetisch fixiert und hängt wahrscheinlich mit der reproduktiven Funktion der Frau zusammen (Greil 1993). Wenn man Adipositas über den prozentualen Körperfettanteil definiert, müssen daher immer das Geschlecht

und ebenso das Alter berücksichtigt werden. Mit zunehmendem Alter steigt der Körperfettanteil an, da der Alterungsprozess – in Abhängigkeit der individuellen Variabilität - durch einen Verlust der fettfreien Masse gekennzeichnet ist (Dey, Bosaeus et al. 2003; Schutz 2004). Wie bereits ausführlich beschrieben und diskutiert, zeigte sich eine Abhängigkeit der Übereinstimmung der Ergebnisse der neuen Methode mit denen der Referenzmethode vom Anteil der Gesamtkörperfettmasse. Die Fehleinschätzung wurde mit steigendem Körperfettanteil größer. Bezogen auf unsere Stichprobe gilt, dass die Frauen einen höheren Gesamtkörperfettanteil aufweisen und somit eine größere Abweichung der Zielgröße zu erwarten war. Daneben konnten die Männer der Interventionsgruppe signifikant mehr Körperfett reduzieren als die Frauen. Diese Variation in der reduzierten Körperfettmasse kann ebenfalls zu den beobachteten Unterschieden der Ergebnisse bei den Geschlechtern geführt haben.

Aus den Beobachtungen kann der Schluss gezogen werden, dass für nTOBEC eine Regressionsgleichung entwickelt werden müsste, die zum einen die Gesamtkörperfettmasse des einzelnen und zum anderen den Anteil an reduzierter Körperfettmasse zu berücksichtigen in der Lage ist.

Die reduzierte Körperfettmasse, die ermittelt wurde mit der Feldmethode Hautfaltendickenmessung stimmte im Mittel ebenfalls gut mit der der Referenzmethode überein. Auf Grund der bei der Anwendung der Methode möglichen Fehlerquellen, wie z.B. die bereits diskutierte Inter-Untersucher-Variabilität (Fidanza 1991; Fischer and Lembcke 1991; Heyward 1996), die Verwendung unterschiedlicher Kalipertypen (Lohman 1981; Heyward, Cook et al. 1992; Heyward 1996; Roche, Heymsfield et al. 1996) oder das Greifen der Hautfalten an exakt definierten Stellen (Flügel, Greil et al. 1986; Knußmann 1988) wurde die Methode oft zu unrecht als nicht ausreichend genau bezeichnet (Puchstein and Mertens 1989). Neben den Fehlern bei der Anwendung der Feldmethoden wird Kritik an den zugrundeliegenden Annahmen (Erfassung des subkutanen Fettgewebes mit der Methode ist repräsentativ; Gesamtkörperfettanteil korreliert hochgradig mit dem subkutanen Fettgewebe) genommen (Heitmann 1990; Norgan 1991; Lohmann 1992; Stroh 1995). Bei aller Kritik, sollte jedoch angemerkt werden, dass es sich bei allen verwendeten Methoden um indirekte Methoden handelt. Jeder dieser Methoden liegen Annahmen zu Grunde. Unter der Verwendung von Regressionsgleichungen können einzelne Kompartimente des Körpers berechnet werden. Unter den gegebenen Umständen bleibt der Schluss, dass durch Ausschluss beeinflussbarer Fehlerquellen bei der Anwendung der Hautfaltendickenmessung - durch den Einsatz erfahrener Untersucher, die an den exakt definierten Messstellen mit einem geeichten Kaliper die Hautfaltendicken erfassen – diese Feldmethode durchaus sehr gut die Gesamtkörperfettmasse und Veränderungen zu bestimmen in der Lage ist.

Die Methoden HD, IV und BIA erfassten eine Reduktion von Körperfettmasse, die sich relativ stark von der aus der Referenzmethode ADP unterschied. In der zweiten Hälfte der Intervention konnten die HD und IV bei den Männern sogar eine Zunahme der Gesamtkörperfettmasse beschreiben. Dabei wurden mögliche Fehler in der Anwendung der Methoden weitestgehend ausgeschlossen. Ausschließlich erfahrene Untersucher nahmen die entsprechenden Messungen unter den jeweils geforderten Standardbedingungen vor. Die Abweichungen von der Referenz können an dieser Stelle auf die bereits angesprochenen Annahmen einer Konstanz der Hydrierung der fettfreien Masse von 73,2% zurückgeführt werden. Dabei sind die IV und die BIA zwei indirekte Methoden, aus deren Messwerten primär das Gesamtkörperfett berechnet wird (Fields, Goran et al. 2002). In einem sekundären Berechnungsschritt werden unter Berücksichtigung der Hydrierung der fettfreien Masse die Gesamtkörperfettmasse und die fettfreie Körpermasse berechnet. Die Literatur verweist darauf, dass gerade bei einer Reduktion von Körperfettmasse diese Konstante fragwürdig ist, d.h. unabhängig von einer Reduktion von Körperfettmasse variiert die Hydrierung der fettfreien Masse des einzelnen Individuums (Wang, Pierson et al. 1992; Wang, Deurenberg et al. 1999). Verändert sich zusätzlich dazu die Körperzusammensetzung des Einzelnen, wird eine weitere Variation der Konstante verursacht (Das, Roberts et al. 2003; Dey, Bosaeus et al. 2003). Bei der bioelektrischen Impedanzanalyse kommt hinzu, dass die Ergebnisse abhängig von der gewählten Regressionsgleichung zu Berechnung der Zielgröße aus den Messwerten der Impedanzanalyse sind. Das et al. 2003, bestimmten die Körperzusammensetzung von extrem Adipösen vor und nach einer massiven Reduktion von Körpermasse mit der BIA und verglichen die Ergebnisse mit denen eines 3-Kompartimentenmodells. Die Autoren berichten, dass die Feldmethode Veränderungen der Körperzusammensetzung in Abhängigkeit der gewählten Regressionsgleichung erfassen kann. Dabei sind die Unterschiede des reduzierten Körperfettanteils je nach verwendeter Regressionsgleichung sehr unterschiedlich (Das, Roberts et al. 2003). Somit ergibt sich die Behauptung, dass durch die Wahl einer geeigneter Regressionsgleichungen bessere Übereinstimmungen der Ergebnisse aus BIA mit denen der Referenzmethode hätten gefunden werden können.

Bei der Hydrodensitometrie werden weitere Konstanten angenommen – die Dichten der fettfreien Körpermasse und der Fettmasse (Siri 1956; Siri 1961; Brozek, Grande et al. 1963). Auch für diese Größen gilt, dass sie in Abhängigkeit des Individuums und durch Veränderungen der Körperzusammensetzung variieren (Schutz 2004). Die Veränderung einer als konstant angenommenen Größe - hervorgerufen durch die individuelle Variabilität des Einzelnen und Veränderungen der Körperzusammensetzung - die als Grundlage in die Berechnung der Gesamtkörperfettmasse eingehen, resultieren zwangsweise in einer Fehlinterpretation des Endergebnisses. Jedoch befanden andere Autoren die Hydrodensitometrie als eine Methode, die Veränderungen der Körperzusammensetzung zu erfassen in der Lage ist. So berichten Carella et

al. 1997, über die Fähigkeit der Hydrodensitometrie, Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse von 17 Probanden nach Absolvierung eines 25-wöchigen Interventionsprogramms zu erfassen (Carella, Rodgers et al. 1997). Probst et al. 2001, beschreiben eine kontrollierte Zunahme von Körperfettmasse bei Patienten mit Magersucht, die mit der Hydrodensitometrie erfasst werden konnte (Probst, Goris et al. 2001). Erwähnt sei nochmals, dass sich die durch uns verwendete Methodik von denen der anderen Autoren unterschied. So bestimmten wir das Residualvolumen extern mittels Body-Plethysmography - andere Autoren nutzen eine Methode mit verschiedenen Tracer-Gasen. Sowohl bei den Frauen als auch den Männer beobachteten wir einen Lerneffekt im Verlauf der Interventionsstudie d.h. bei der ersten Untersuchung zu Beginn der Intervention traten z. T. erhebliche Schwierigkeiten beim Tauchvorgang auf. Die Probanden hatten Schwierigkeiten das totale Untertauchen des Körpers mit einer maximalen Ausatmung zu kombinieren. Bei den wiederholten Messungen nach 8 bzw. 16 Wochen zeigte sich, dass die Probanden zunehmend in der Lage waren unter maximaler Ausatmung den gesamten Körper unterzutauchen. Zusätzlich zu der Variabilität der angenommenen Konstanten trug dieser Lerneffekt womöglich zu einer Fehlinterpretation der Ergebnisse durch die Hydrodensitometrie bei.

8. Zusammenfassung

Als Resultat überhöhter Energieaufnahme und zu geringen Energieverbrauchs beobachten wir eine über das normale Maß hinausgehende Akkumulation von Fettgewebe, die sich als Adipositas manifestiert. Sie gilt als einer der Hauptrisikofaktoren für Stoffwechselerkrankungen, wie Hypertonie, Diabetes mellitus Typ II und Fettstoffwechselstörungen und nachfolgend für Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit ihrer hohen Mortalität.

Im Rahmen von Prävention, Diagnose und Therapie der Adipositas, muss ihr wesentliches Charakteristikum; der individuelle Körperfettanteil; einer Messung zugänglich gemacht werden. Eine direkte Bestimmung der Körperzusammensetzung erlauben die Neutronenaktivierungsanalyse und die chemische Analyse. Beide Verfahren sind zwar sehr genau und verzerrungsfrei, aber aufwendig und kostenintensiv und darüber hinaus die chemische Analyse nur an der menschlichen Leiche praktikierbar. Um dennoch die Körperzusammensetzung des Menschen hinreichend genau bestimmen zu können, wurden im Laufe der letzten Jahrzehnte zahlreiche indirekte Messverfahren entwickelt. Man kann sie in Labor- und Feldmethoden untergliedern. Die Labormethoden bestechen durch hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, sind aber zumeist aufwendig, teuer und erfordern eine hohe Kooperationsbereitschaft des Probanden. Feldmethoden sind im Gegensatz dazu leicht anwendbar, transportabel und preiswert, weisen aber eine weniger hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit auf.

Es fehlt allerdings weiterhin eine optimale Methode, die die Vorteile der existierenden Verfahren ineinander vereinigt. In der vorgestellten Arbeit wird über eine jüngere Entwicklung, die das Prinzip der unterschiedlichen Leitfähigkeit für den elektrischen Strom durch die verschiedenen Gewebe des Körpers nutzt, berichtet. Der Prototyp eines Gerätes wurde innerhalb eines von der EU geförderten multizentrischen Projekts und in Zusammenarbeit von Physikern, Technikern, Medizinern und Humanbiologen entwickelt und auf seine Einsatzfähigkeit und Qualität hin geprüft. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Einschätzung der Körperzusammensetzung normal- und übergewichtiger Probanden mit der neu entwickelten Technik. Das vorliegende Studiendesign diente nicht nur der Beurteilung der neuen Technik die Körperzusammensetzung und Veränderungen dieser zu erfassen, sondern darüber hinaus, etablierte Methoden hinsichtlich ihrer Genauigkeit zu bewerten.

Die Problematik der theoretischen Annahmen als Grundlage der indirekten Labor- und Feldmethoden stellte sich als eine Hauptfehlerquelle der beobachteten Abweichungen der Ergebnisse von denen der jeweiligen Referenzmethode heraus. Jedoch sei an dieser Stelle vermerkt, dass diese nicht ausschließlich für die oftmals als ungenau bezeichneten Feldmethoden, sondern auch für etablierte Referenzmethoden, wie die DXA oder ADP zutrifft. So werden die konstante Hydrierung der Magermasse von 73,2% bei der DXA und die konstanten Dichten der

fettfreien Masse und Fettmasse bei der ADP ebenso wie bei den Feldmethoden, der Isotopenverdünnung und der neuen Methode vorausgesetzt. Dass diese Konstanten in Abhängigkeit der individuellen Variabilität, des Alters, des Geschlechts und der Gesamtkörperfettmasse nicht konstant sind, wird unumstritten in der Literatur diskutiert (Wang, Pierson et al. 1992; Pietrobelli, Wang et al. 1998; Wang, Deurenberg et al. 1999; Schutz 2004). Unterschiede bei der Verwendung verschiedener Messgeräte werden, wie bei allen anderen Methoden auch, als eine weitere Fehlerquelle in der Anwendung der Referenzmethoden DXA und ADP diskutiert (Roubenoff, Kehayias et al. 1993; Pietrobelli, Wang et al. 1998). Letztendlich verfolgen die auf völlig verschiedenen Messprinzipien beruhenden Labor- und Feldmethoden dasselbe Ziel: Die Bestimmung der Körperzusammensetzung, speziell des Gesamtkörperfettanteils. Beim Vergleich der Methoden bleibt immer die Frage offen, welche der „Wahrheit“ am nächsten kommt. Diese Frage zu beantworten war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, da trotz des breiten Spektrums der verwendeten Methoden keine direkte Methode verwendet wurde und die „Wahrheit“ widerspiegelt.

Bezüglich ihrer Anwendbarkeit und Reproduzierbarkeit hat die *neue Methode* Hoffnung geweckt, sich als eine Feldmethode zu etablieren. Auf der anderen Seite zeigte sich in Abhängigkeit der Gesamtkörperfettmasse eine Über – oder Unterschätzung der Zielgröße im Vergleich zur Referenzmethode DXA. Die Abweichungen waren dabei gerade für das einzelne Individuum sehr groß. Technische Verbesserungen (Erhöhung der Stabilität des elektromagnetischen Feldes) und die Entwicklung spezifischer Regressionsgleichungen könnten in Zukunft zu einer wesentlichen Verbesserung der neuen Methode beitragen.

Die Labormethode „*Air Displacement Plethysmography*“ konnte durch die guten Übereinstimmungen der Ergebnisse mit denen der Referenzmethode DXA und die einfache Anwendung überzeugen. Sie stellt eine durchaus konkurrenzfähige Alternative zur *Hydrodensitometrie* dar, die noch heute als „goldener Standard“ zur Erfassung der Körperzusammensetzung akzeptiert wird. Im Verlauf der durchgeführten Studie wurde bestätigt, dass die Hydrodensitometrie sehr hohe Anforderungen an den Probanden stellt. Das Untertauchen des gesamten Körpers unter Wasser in Kombination mit einer maximalen Ausatmung erwies sich als sehr problematisch. Die dabei auftretenden Fehler schlugen sich in der Berechnung der Gesamtkörperfettmasse des einzelnen Individuums wieder und führten zu zum Teil erheblichen Abweichungen der Ergebnisse von denen der Referenzmethode.

Die *Isotopenverdünnung* erwies sich als eine sehr aufwendige Methode, die im Bereich des einzelnen Individuums erhebliche Fehlinterpretationen der Gesamtkörperfettmasse aufzeigte. Die einheitliche Meinung in der Literatur, die Isotopenverdünnung sei ein „goldener Standard“ zur Erfassung des Gesamtkörperwassers soll keineswegs angegriffen werden. Es folgt lediglich der Schluss, dass diese Methode nicht geeignet ist, die Gesamtkörperfettmasse zu bestimmen.

Die Feldmethoden *bioelektrische Impedanzanalyse* und *Hautfaltendickenmessung* erwiesen sich als kostengünstige und leicht anwendbare Methoden. Die Ergebnisse beider Methoden stimmten im Mittel gut mit den Ergebnissen der Referenzmethoden überein. Dennoch zeigte die BIA größere Abstriche in der Beurteilung der Gesamtkörperfettmasse des einzelnen Individuums und bei der Dokumentation von Veränderungen der Gesamtkörperfettmasse. Die Hautfaltendickenmessung stellt – wendet man sie korrekt an – eine Methode dar, die sowohl die Gesamtkörperfettmasse als auch Veränderungen dieser gut erfassen kann. In Abhängigkeit der geforderten Genauigkeit kann diese Methode für die Erfassung der Körperzusammensetzung empfohlen werden.

Demnach bleibt die Frage unbeantwortet, inwieweit die indirekten Methoden in der Lage sind, die „wahre“ Körperzusammensetzung adäquat zu erfassen. Jede neu entwickelte Methode – die möglichst viele Vorteile in sich vereint – wird wieder vor dem Problem stehen, eine geeignete und dabei praktikable Referenzmethode zu finden, die die wahre Körperzusammensetzung zu bestimmen in der Lage ist. Daher sollte neben dem Streben nach der Entwicklung einer Methode, die genau und leicht anwendbar ist, das Hauptaugenmerk auf die Überarbeitung der zugrunde liegenden Modellvorstellungen und die Verbesserung von Regressionsgleichungen gelegt werden.

9. Literaturverzeichnis

- Adams, S. A., C. E. Matthews, et al. (2005). "The effect of social desirability and social approval on self-reports of physical activity." Am J Epidemiol **161**(4): 389-98.
- Ainsworth, B. E., W. L. Haskell, et al. (2000). "Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities." Med Sci Sports Exerc **32**(9 Suppl): S498-504.
- Akers, R. and E. R. Buskirk (1969). "An underwater weighing system utilizing "force cube" transducers." J Appl Physiol **26**(5): 649-52.
- Albu, J., M. Shur, et al. (1997). "Resting metabolic rate in obese, premenopausal black women." Am J Clin Nutr **66**(3): 531-8.
- Bachrach, L. K. (2000). "Dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) measurements of bone density and body composition: promise and pitfalls." J Pediatr Endocrinol Metab **13**(Suppl 2): 983-8.
- Bedogni, G., L. Merlini, et al. (1996). "Multifrequency bioelectric impedance measurements for predicting body water compartments in duchenne muscular dystrophy." Neuromuscul Disord **6**(1): 55-60.
- Behnke, A. R., Jr., B. G. Feen, et al. (1995). "The specific gravity of healthy men. Body weight divided by volume as an index of obesity. 1942." Obes Res **3**(3): 295-300.
- Biesalski, H. K., Fürst, P., Kasper, H., Kluthe, R., Pöler, W., Puchstein, C., Stähelin, H.B. (1999). Ernährungsmedizin. Stuttgart, Biesalski, H.K.
- Bigaard, J., A. Tjønneland, et al. (2003). "Waist circumference, BMI, smoking, and mortality in middle-aged men and women." Obes Res **11**(7): 895-903.
- Blake, G. M. and I. Fogelman (1997). "Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry." Semin Nucl Med **27**(3): 210-28.
- Bland, J. M. and D. G. Altman (1999). "Measuring agreement in method comparison studies." Stat Methods Med Res **8**(2): 135-60.
- Bolanowski, M., A. Milewicz, et al. (2002). "Serum leptin levels in acromegaly--a significant role for adipose tissue and fasting insulin/glucose ratio." Med Sci Monit **8**(10): CR685-9.
- Bolanowski, M. and B. E. Nilsson (2001). "Assessment of human body composition using dual-energy x-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis." Med Sci Monit **7**(5): 1029-33.
- Bosy-Westphal, A., C. Eichhorn, et al. (2003). "The age-related decline in resting energy expenditure in humans is due to the loss of fat-free mass and to alterations in its metabolically active components." J Nutr **133**(7): 2356-62.
- Bosy-Westphal, A., M. Mast, et al. (2003). "Validation of air-displacement plethysmography for estimation of body fat mass in healthy elderly subjects." Eur J Nutr **42**(4): 207-16.
- Bouchard, C. (1985). Reproducibility of body composition and adipose tissue measurements in humans. Body Composition Assessment in Youth and Adults. A. F. Roche. Columbus (Ohio), Ross Laboratories: 9 - 13.

- Bracco, D., D. Thiebaud, et al. (1996). "Segmental body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and DEXA in humans." J Appl Physiol **81**(6): 2580-7.
- Bray, G. A. (2003). "Risks of obesity." Prim Care **30**(2): 281-99, v-vi.
- Bray, G. A., J. P. DeLany, et al. (2002). "Prediction of body fat in 12-y-old African American and white children: evaluation of methods." Am J Clin Nutr **76**(5): 980-90.
- Brodie, D., V. Moscrip, et al. (1998). "Body composition measurement: a review of hydrodensitometry, anthropometry, and impedance methods." Nutrition **14**(3): 296-310.
- Brodie, D. A. (1988). "Techniques of measurement of body composition. Part I." Sports Med **5**(1): 11-40.
- Brodie, D. A. (1988). "Techniques of measurement of body composition. Part II." Sports Med **5**(2): 74-98.
- Brozek, J., F. Grande, et al. (1963). "Densitometric Analysis of Body Composition: Revision of Some Quantitative Assumptions." Ann N Y Acad Sci **110**: 113-40.
- Bulow, B., B. Ahren, et al. (2003). "The gender differences in growth hormone-binding protein and leptin persist in 80-year-old men and women and is not caused by sex hormones." Clin Endocrinol (Oxf) **59**(4): 482-6.
- Butte, N. F., J. M. Hopkinson, et al. (1997). "Changes in fat-free mass and fat mass in postpartum women: a comparison of body composition models." Int J Obes Relat Metab Disord **21**(10): 874-80.
- Butte, N. F., J. M. Hopkinson, et al. (1997). "Leptin in human reproduction: serum leptin levels in pregnant and lactating women." J Clin Endocrinol Metab **82**(2): 585-9.
- Carella, M. J., C. D. Rodgers, et al. (1997). "Serial measurements of body composition in obese subjects during a very-low-energy diet (VLED) comparing bioelectrical impedance with hydrodensitometry." Obes Res **5**(3): 250-6.
- Chandalia, M., N. Abate, et al. (1999). "Relationship between generalized and upper body obesity to insulin resistance in Asian Indian men." J Clin Endocrinol Metab **84**(7): 2329-35.
- Chumlea, W. C. and S. S. Guo (1994). "Bioelectrical impedance and body composition: present status and future directions." Nutr Rev **52**(4): 123-31.
- Clasey, J. L., M. L. Hartman, et al. (1997). "Body composition by DEXA in older adults: accuracy and influence of scan mode." Med Sci Sports Exerc **29**(4): 560-7.
- Clasey, J. L., J. A. Kanaley, et al. (1999). "Validity of methods of body composition assessment in young and older men and women." J Appl Physiol **86**(5): 1728-38.
- Cohn, S. H. (1981). "In vivo neutron activation analysis: state of the art and future prospects." Med Phys **8**(2): 145-54.
- Cullum, I. D., P. J. Ell, et al. (1989). "X-ray dual-photon absorptiometry: a new method for the measurement of bone density." Br J Radiol **62**(739): 587-92.

- Das, S. K., S. B. Roberts, et al. (2003). "Body composition assessment in extreme obesity and after massive weight loss induced by gastric bypass surgery." Am J Physiol Endocrinol Metab **284**(6): E1080-8.
- Das, S. K., S. B. Roberts, et al. (2003). "Long-term changes in energy expenditure and body composition after massive weight loss induced by gastric bypass surgery." Am J Clin Nutr **78**(1): 22-30.
- Data Input, B. (1996). Gebrauchsanleitung für den BIA 2000 - M Bioelectrical Impedance Analyzer.
- de Bruin, N. C., K. R. Westerterp, et al. (1995). "Measurement of fat-free mass in infants." Pediatr Res **38**(3): 411-7.
- De Lorenzo, A., I. Bertini, et al. (1998). "Comparison of different techniques to measure body composition in moderately active adolescents." Br J Sports Med **32**(3): 215-9.
- Dempster, P. and S. Aitkens (1995). "A new air displacement method for the determination of human body composition." Med Sci Sports Exerc **27**(12): 1692-7.
- Demura, S., S. Sato, et al. (2004). "Percentage of total body fat as estimated by three automatic bioelectrical impedance analyzers." J Physiol Anthropol Appl Human Sci **23**(3): 93-9.
- Deurenberg, P. and F. J. Schouten (1992). "Loss of total body water and extracellular water assessed by multifrequency impedance." Eur J Clin Nutr **46**(4): 247-55.
- Deurenberg, P. and Y. Schutz (1995). "Body composition: overview of methods and future directions of research." Ann Nutr Metab **39**(6): 325-33.
- Deurenberg, P., K. van der Kooy, et al. (1990). "The assessment of the body composition in the elderly by densitometry, anthropometry and bioelectrical impedance." Basic Life Sci **55**: 391-3.
- Deurenberg, P., Z. Wolde-Gebriel, et al. (1995). "Validity of predicted total body water and extracellular water using multifrequency bioelectrical impedance in an Ethiopian population." Ann Nutr Metab **39**(4): 234-41.
- Dewit, O., N. J. Fuller, et al. (2000). "Whole body air displacement plethysmography compared with hydrodensitometry for body composition analysis." Arch Dis Child **82**(2): 159-64.
- Dey, D. K., I. Bosaeus, et al. (2003). "Body composition estimated by bioelectrical impedance in the Swedish elderly. Development of population-based prediction equation and reference values of fat-free mass and body fat for 70- and 75-y olds." Eur J Clin Nutr **57**(8): 909-16.
- Dionne, I. J., M. J. Garant, et al. (2002). "Association between obesity and a polymorphism in the beta(1)-adrenoceptor gene (Gly389Arg ADRB1) in Caucasian women." Int J Obes Relat Metab Disord **26**(5): 633-9.
- Durnin, J. V. and J. Womersley (1974). "Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years." Br J Nutr **32**(1): 77-97.

- Eisenkolbl, J., M. Kartasurya, et al. (2001). "Underestimation of percentage fat mass measured by bioelectrical impedance analysis compared to dual energy X-ray absorptiometry method in obese children." Eur J Clin Nutr **55**(6): 423-9.
- Elberg, J., J. R. McDuffie, et al. (2004). "Comparison of methods to assess change in children's body composition." Am J Clin Nutr **80**(1): 64-9.
- Elia, M. (1993). "The bioimpedance 'craze'." Eur J Clin Nutr **47**(12): 825-7.
- Elia, M. and L. C. Ward (1999). "New techniques in nutritional assessment: body composition methods." Proc Nutr Soc **58**(1): 33-8.
- Ellis, K. J. (2000). "Human body composition: in vivo methods." Physiol Rev **80**(2): 649-80.
- Ellis, K. J. (2001). "Selected body composition methods can be used in field studies." J Nutr **131**(5): 1589S-95S.
- Ellis, K. J., K. K. Shukla, et al. (1974). "A predictor for total body potassium in man based on height, weight, sex and age: applications in metabolic disorders
Total-body potassium in health: effects of age, sex, height, and fat." J Lab Clin Med **83**(5): 716-27.
- Ellis, K. J. and W. W. Wong (1998). "Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with 2H₂O and bromine dilution." J Appl Physiol **85**(3): 1056-62.
- Elsen, R., M. L. Siu, et al. (1987). Sources of variability in bioelectrical impedance determinations in Adults. In vivo body composition studies. K. J. Ellis, S. Yasumura and M. D. Morgan. London, The Institute of Physical Sciences in Medicine.
- Fidanza, F. (1991). Nutritional Status Assessment. A manual for population studies.
- Fields, D. A., M. I. Goran, et al. (2002). "Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review." Am J Clin Nutr **75**(3): 453-67.
- Fields, D. A., M. I. Goran, et al. (2002). "Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review
Am J Clin Nutr **75**(3): 453-67.
- Fiorotto, M. L. and W. J. Klish (1991). "Total body electrical conductivity measurements in the neonate." Clin Perinatol **18**(3): 611-27.
- Fischer, H. and B. Lembcke (1991). "Die Anwendung der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) zur Beurteilung der Körperzusammensetzung und des Ernährungszustandes." Innere Medizin Aktuell **18**: 13-17.
- Flakoll, P. J., P. Kent, et al. (2004). "Bioelectrical impedance vs air displacement plethysmography and dual-energy X-ray absorptiometry to determine body composition in patients with end-stage renal disease." JPEN J Parenter Enteral Nutr **28**(1): 13-21.
- Flügel, B., H. Greil, et al. (1986). Antropologischer Atlas. Berlin.
- Fogelholm, M. and W. van Marken Lichtenbelt (1997). "Comparison of body composition methods: a literature analysis." Eur J Clin Nutr **51**(8): 495-503.

- Fuller, M. F., P. A. Fowler, et al. (1994). "Imaging techniques for the assessment of body composition." J Nutr **124**(8 Suppl): 1546S-1550S.
- Fuller, N. J., S. A. Jebb, et al. (1991). "Inter-observer variability in the measurement of body composition." Eur J Clin Nutr **45**(1): 43-9.
- Gallagher, D. and M. Y. Song (2003). "Evaluation of body composition: practical guidelines." Prim Care **30**(2): 249-65.
- Garcia, A. L., Wagner, K., Hothorn, T., Koebnick C., and Z. H. Trippo U. (2005). "Improved Prediction of Body Fat by Measuring Skinfold Thickness, Circumferences, and Bone Breadths." Obesity Research **13**(3).
- Garcia, A. L., Wagner, K., Hothorn, T., Koebnick, C., Zunft, H. J. F., Trippo, U. (2004). "Improved prediction of body fat by measuring skinfold thickness, circumferences and bone breath." Obes. Res. in press.
- Geddes, L. A. and L. E. Baker (1967). "The specific resistance of biological material--a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist." Med Biol Eng **5**(3): 271-93.
- Gonzalez, C. H., J. A. Evans, et al. (2002). "Total body water measurement using bioelectrical impedance analysis, isotope dilution and total body potassium: a scoring system to facilitate intercomparison." Eur J Clin Nutr **56**(4): 326-37.
- Gregory, J. W., S. A. Greene, et al. (1991). "Body water measurement in growth disorders: a comparison of bioelectrical impedance and skinfold thickness techniques with isotope dilution." Arch Dis Child **66**(2): 220-2.
- Greil, H. (1993). "Alters-, Geschlechts- und Gruppenspezifik von Körperbau un Ernährungszustand." Curare **16**: 265 - 274.
- Grundy, S. M. (2000). "Metabolic complications of obesity." Endocrine **13**(2): 155-65.
- Guggenmoos-Holzman, I. and K.-D. Wernecke (1996). Medizinische Statistik. Berlin-Wien, Blackwell Wissenschafts-verlag Berlin, Wien.
- Hauner, H. (1999). Übergewicht im Erwachsenenalter. Ernährungsmedizin. H. K. Biesalski, P. Fürst, H. Kasperet al. Stuttgart, Thieme Verlag: 246 - 269.
- Heitmann, B. L. (1990). "Evaluation of body fat estimated from body mass index, skinfolds and impedance. A comparative study." Eur J Clin Nutr **44**(11): 831-7.
- Heitmann, B. L. (1990). "Prediction of body water and fat in adult Danes from measurement of electrical impedance. A validation study." Int J Obes **14**(9): 789-802.
- Heitmann, B. L. (1994). "Impedance: a valid method in assessment of body composition?" Eur J Clin Nutr **48**(4): 228-40.
- Heymsfield, S. B., J. Wang, et al. (1989). "Body composition in elderly subjects: a critical appraisal of clinical methodology." Am J Clin Nutr **50**(5 Suppl): 1167-75; discussion 1231-5.
- Heymsfield, S. B. and Z. M. Wang (1993). "Measurement of total-body fat by underwater weighing: new insights and uses for old method." Nutrition **9**(5): 472-3.

- Heyward, V. H. (1996). "Evaluation of body composition. Current issues." Sports Med **22**(3): 146-56.
- Heyward, V. H. (1998). "Practical body composition assessment for children, adults, and older adults." Int J Sport Nutr **8**(3): 285-307.
- Heyward, V. H., K. L. Cook, et al. (1992). "Predictive accuracy of three field methods for estimating relative body fatness of nonobese and obese women." Int J Sport Nutr **2**(1): 75-86.
- Heyward, V. H. and L. M. Stolarczyk (1996). Applied body composition assessment. Human kinetics. HOLOGIC QDR-2000 Operator's Manual. Bruxelles.
- Horswill, C. A., R. Geeseman, et al. (1989). "Total-body electrical conductivity (TOBEC): relationship to estimates of muscle mass, fat-free weight, and lean body mass." Am J Clin Nutr **49**(4): 593-8.
- Hughes, V. A., R. Roubenoff, et al. (2004). "Anthropometric assessment of 10-y changes in body composition in the elderly." Am J Clin Nutr **80**(2): 475-82.
- Hukshorn, C. J., M. S. Westerterp-Plantenga, et al. (2003). "Pegylated human recombinant leptin (PEG-OB) causes additional weight loss in severely energy-restricted, overweight men." Am J Clin Nutr **77**(4): 771-6.
- Ihaka, R. and R. Gentleman (1996). "R: A Language for Data Analysis and Graphics." Journal of Computational and Graphical Statistics **5**: 299-314.
- Ingberg, C. M., S. Sarnblad, et al. (2003). "Body composition in adolescent girls with type 1 diabetes." Diabet Med **20**(12): 1005-11.
- Instruments, L. M. (1997). Operators Manual, Bod Pod.
- Isomaa, B. (2003). "A major health hazard: the metabolic syndrome." Life Sci **73**(19): 2395-411.
- Jackson, A. S. and M. L. Pollock (1978). "Generalized equations for predicting body density of men." Br J Nutr **40**(3): 497-504.
- Janssen J., L. W. (2002). Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. Berlin Heidelberg New York.
- Jebb, S. A. (1997). "Measurement of soft tissue composition by dual energy X-ray absorptiometry." Br J Nutr **77**(2): 151-63.
- Jebb, S. A. and M. Elia (1993). "Techniques for the measurement of body composition: a practical guide." Int J Obes Relat Metab Disord **17**(11): 611-21.
- Johansson, A. G., A. Forslund, et al. (1993). "Determination of body composition--a comparison of dual-energy x-ray absorptiometry and hydrodensitometry." Am J Clin Nutr **57**(3): 323-6.
- Kahn, S. E., R. L. Prigeon, et al. (2001). "Obesity, body fat distribution, insulin sensitivity and Islet beta-cell function as explanations for metabolic diversity." J Nutr **131**(2): 354S-60S.
- Kamimura, M. A., C. M. Avesani, et al. (2003). "Comparison of skinfold thicknesses and bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of body fat in patients on long-term haemodialysis therapy." Nephrol Dial Transplant **18**(1): 101-5.

- Kamphuis, M. M., M. P. Lejeune, et al. (2003). "The effect of conjugated linoleic acid supplementation after weight loss on body weight regain, body composition, and resting metabolic rate in overweight subjects." Int J Obes Relat Metab Disord **27**(7): 840-7.
- Kemink, S. A., J. T. Frijns, et al. (1999). "Body composition determined by six different methods in women bilaterally adrenalectomized for treatment of Cushing's disease." J Clin Endocrinol Metab **84**(11): 3991-9.
- Knußmann, R. (1988). Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen.
- Koebnick, C., Wagner, K., Thielecke, F., Höhne, A., Franke, A., Garcia, A., Meyer, H., Hoffmann, I., Leitzmann, P., Trippo, U., Zunft, H. J. F. (2004). "Validation of energy intake from a simple semi-quantitative food record with the doubly labelled water technique." Eur. J. Clin. Nutr. in press.
- Koebnick, C., Wagner, K., Thielecke, F., Moeseneder, J., Höhne, A., Franke, A., Meyer, H., Garcia, A. L., Trippo, U., Zunft, H. J. F. (2004). "Validation of a simplified physical activity record by doubly labeled water technique." Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord. in press.
- Kretsch, M. J., M. W. Green, et al. (1997). "Cognitive effects of a long-term weight reducing diet." Int J Obes Relat Metab Disord **21**(1): 14-21.
- Kroke, A., K. Klipstein-Grobusch, et al. (1999). "Validation of a self-administered food-frequency questionnaire administered in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) Study: comparison of energy, protein, and macronutrient intakes estimated with the doubly labeled water, urinary nitrogen, and repeated 24-h dietary recall methods." Am J Clin Nutr **70**(4): 439-47.
- Kushner, R. F. (1992). "Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications." J Am Coll Nutr **11**(2): 199-209.
- Kußmaul, B., A. Döring, et al. (1996). "Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) in einer epidemiologischen Studie." Ernährungs-Umschau **43**(2): 46 - 48.
- Kyle, U. G., L. Genton, et al. (2002). "Body composition: what's new?" Curr Opin Clin Nutr Metab Care **5**(4): 427-33.
- Kyle, U. G., C. Pichard, et al. (1998). "New bioelectrical impedance formula for patients with respiratory insufficiency: comparison to dual-energy X-ray absorptiometry." Eur Respir J **12**(4): 960-6.
- LaForgia, J., G. E. van der Ploeg, et al. (2004). "Impact of indexing resting metabolic rate against fat-free mass determined by different body composition models." Eur J Clin Nutr **58**(8): 1132-41.
- LaForgia, J. and R. T. Withers (2002). "Measurement of total body water using 2H dilution: impact of different calculations for determining body fat." Br J Nutr **88**(3): 325-9.
- Littlewood, R. A., O. Trocki, et al. (2003). "Measured and predicted total body water in children with myelomeningocele." J Paediatr Child Health **39**(4): 278-81.

- Lohman, T. G. (1981). "Skinfolds and body density and their relation to body fatness: a review." *Hum Biol* **53**(2): 181-225.
- Lohmann, T. G. (1992). *Advances in Body Composition Assessment*. Illinois, Human Kinetics Publisher.
- Lozano, A., J. Rosell, et al. (1995). "Errors in prolonged electrical impedance measurements due to electrode repositioning and postural changes." *Physiol Meas* **16**(2): 121-30.
- Lukaski, H. C. (1990). "Applications of bioelectrical impedance analysis: a critical review." *Basic Life Sci* **55**: 365-74.
- Lukaski, H. C., P. E. Johnson, et al. (1985). "Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body." *Am J Clin Nutr* **41**(4): 810-7.
- Ma, R., K. J. Ellis, et al. (1999). "Total body-calcium measurements: comparison of two delayed-gamma neutron activation facilities." *Phys Med Biol* **44**(6): N113-8.
- Mamoto, T., H. Fujiwara, et al. (2003). "Relationship between exercise performance and water distribution measured by new bioelectrical impedance analysis in patients with chronic obstructive pulmonary disease." *Clin Physiol Funct Imaging* **23**(4): 230-5.
- Marken Lichtenbelt, W. D. and M. Fogelholm (1999). "Increased extracellular water compartment, relative to intracellular water compartment, after weight reduction." *J Appl Physiol* **87**(1): 294-8.
- Marks, V. (2003). "The metabolic syndrome." *Nurs Stand* **17**(49): 37-44.
- Martorell, R., J. P. Habicht, et al. (1975). "The identification and evaluation of measurement variability in the anthropometry of preschool children." *Am J Phys Anthropol* **43**(3): 347-52.
- Masuda, T. and S. Komiya (2004). "A prediction equation for total body water from bioelectrical impedance in Japanese children." *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* **23**(2): 35-9.
- Mazess, R. B., H. S. Barden, et al. (1990). "Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition." *Am J Clin Nutr* **51**(6): 1106-12.
- McCroy, M. A., T. D. Gomez, et al. (1995). "Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition." *Med Sci Sports Exerc* **27**(12): 1686-91.
- McCroy, M. A., P. A. Mole, et al. (1998). "Body composition by air-displacement plethysmography by using predicted and measured thoracic gas volumes." *J Appl Physiol* **84**(4): 1475-9.
- Medics, S. (2002). Bedienungsanleitung für Vmax-Serie/V6200 Autobox/ 6200 Autobox DL.
- Miyatake, N., K. Nonaka, et al. (1999). "A new air displacement plethysmograph for the determination of Japanese body composition." *Diabetes Obes Metab* **1**(6): 347-51.
- Murphy, A. J., H. M. Buntain, et al. (2004). "The use of air displacement plethysmography in children and adolescents with cystic fibrosis." *Eur J Clin Nutr* **58**(7): 985-9.
- Nicholson, J. C., J. R. McDuffie, et al. (2001). "Estimation of body fatness by air displacement plethysmography in African American and white children." *Pediatr Res* **50**(4): 467-73.

- Nordhamn, K., E. Sodergren, et al. (2000). "Reliability of anthropometric measurements in overweight and lean subjects: consequences for correlations between anthropometric and other variables." Int J Obes Relat Metab Disord **24**(5): 652-7.
- Norgan, N. (1991). Anthropometric assessment of body fat and fatness. Anthropometric Assessment of Nutritional Status. J. H. Himes. New York, Wiley-Liss: 197-212.
- Norman, R. A., P. A. Tataranni, et al. (1998). "Autosomal genomic scan for loci linked to obesity and energy metabolism in Pima Indians." Am J Hum Genet **62**(3): 659-68.
- Nunez, C., A. J. Kovera, et al. (1999). "Body composition in children and adults by air displacement plethysmography." Eur J Clin Nutr **53**(5): 382-7.
- Organ, L. W., A. D. Eklund, et al. (1994). "An automated real time underwater weighing system." Med Sci Sports Exerc **26**(3): 383-91.
- Pajmans, I. J., K. M. Wilmore, et al. (1992). "Use of skinfolds and bioelectrical impedance for body composition assessment after weight reduction." J Am Coll Nutr **11**(2): 145-51.
- Peters, A., T. Hothorn, et al. (2002). ipred: Improved Predictors. R News 2 (2), 33-36., R Foundation for Statistical Computing.
- Peterson, M. J., S. A. Czerwinski, et al. (2003). "Development and validation of skinfold-thickness prediction equations with a 4-compartment model." Am J Clin Nutr **77**(5): 1186-91.
- Phillips, S. M., L. G. Bandini, et al. (2003). "A longitudinal comparison of body composition by total body water and bioelectrical impedance in adolescent girls." J Nutr **133**(5): 1419-25.
- Pietrobelli, A., C. Formica, et al. (1996). "Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts." Am J Physiol **271**(6 Pt 1): E941-51.
- Pietrobelli, A., F. Rubiano, et al. (2004). "New bioimpedance analysis system: improved phenotyping with whole-body analysis." Eur J Clin Nutr **58**(11): 1479-84.
- Pietrobelli, A., Z. Wang, et al. (1998). "Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration." Am J Physiol **274**(5 Pt 1): E808-16.
- Pomerleau, J., T. Ostbye, et al. (1999). "Potential underreporting of energy intake in the Ontario Health Survey and its relationship with nutrient and food intakes." Eur J Epidemiol **15**(6): 553-7.
- Presta, E., A. M. Casullo, et al. (1987). "Body composition in adolescents: estimation by total body electrical conductivity." J Appl Physiol **63**(3): 937-41.
- Presta, E., K. R. Segal, et al. (1983). "Comparison in man of total body electrical conductivity and lean body mass derived from body density: validation of a new body composition method." Metabolism **32**(5): 524-7.
- Presta, E., J. Wang, et al. (1983). "Measurement of total body electrical conductivity: a new method for estimation of body composition." Am J Clin Nutr **37**(5): 735-9.
- Pritchard, J. E., C. A. Nowson, et al. (1993). "Evaluation of dual energy X-ray absorptiometry as a method of measurement of body fat." Eur J Clin Nutr **47**(3): 216-28.

- Probst, M., M. Goris, et al. (2001). "Body composition of anorexia nervosa patients assessed by underwater weighing and skinfold-thickness measurements before and after weight gain." Am J Clin Nutr **73**(2): 190-7.
- Proctor, D. N., P. C. O'Brien, et al. (1999). "Comparison of techniques to estimate total body skeletal muscle mass in people of different age groups." Am J Physiol **277**(3 Pt 1): E489-95.
- Puchstein, C. and N. N. Mertens, G. (1989). "Erfassung des Ernährungszustandes." Infusionstherapie **16**(5): 222 - 228.
- Punjabi, N. M., J. D. Sorkin, et al. (2002). "Sleep-disordered breathing and insulin resistance in middle-aged and overweight men." Am J Respir Crit Care Med **165**(5): 677-82.
- R Development Core Team (2004). R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing.
- Radley, D., P. J. Gately, et al. (2003). "Estimates of percentage body fat in young adolescents: a comparison of dual-energy X-ray absorptiometry and air displacement plethysmography." Eur J Clin Nutr **57**(11): 1402-10.
- Rao, P. S. and E. C. Gregg (1975). "Attenuation of monoenergetic gamma rays in tissues." Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med **123**(3): 631-7.
- Rasch, D., G. Herrendörfer, et al. (1978). Verfahrensbibliothek
Versuchsplanung und-Auswertung; Band 1-3. Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Robin, J. P., A. Heitz, et al. (2002). "Physical limitations of the TOBEC method: accuracy and long-term stability." Physiol Behav **75**(1-2): 105-18.
- Roche, A. F. (1987). "Some aspects of the criterion methods for the measurement of body composition." Hum Biol **59**(2): 209-20.
- Roche, A. F., S. B. Heymsfield, et al. (1996). Human Body Composition.
- Rosenfalck, A. M., T. Almdal, et al. (2002). "Body composition in adults with Type 1 diabetes at onset and during the first year of insulin therapy." Diabet Med **19**(5): 417-23.
- Roubenoff, R., J. J. Kehayias, et al. (1993). "Use of dual-energy x-ray absorptiometry in body-composition studies: not yet a "gold standard". " Am J Clin Nutr **58**(5): 589-91.
- Rush, E., L. Plank, et al. (2004). "Body size, body composition, and fat distribution: a comparison of young New Zealand men of European, Pacific Island, and Asian Indian ethnicities." N Z Med J **117**(1207): U1203.
- Rzewnicki, R., Y. Vanden Auweele, et al. (2003). "Addressing overreporting on the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) telephone survey with a population sample." Public Health Nutr **6**(3): 299-305.
- Samaras, K., P. J. Kelly, et al. (1999). "Dietary underreporting is prevalent in middle-aged British women and is not related to adiposity (percentage body fat)." Int J Obes Relat Metab Disord **23**(8): 881-8.

- Sardinha, L. B., T. G. Lohman, et al. (1998). "Comparison of air displacement plethysmography with dual-energy X-ray absorptiometry and 3 field methods for estimating body composition in middle-aged men." *Am J Clin Nutr* **68**(4): 786-93.
- Schoeller, D. A. and S. B. Racette (1990). "A review of field techniques for the assessment of energy expenditure." *J Nutr* **120**(Suppl 11): 1492-5.
- Schoeller, D. A., E. van Santen, et al. (1980). "Total body water measurement in humans with ¹⁸O and ²H labeled water." *Am J Clin Nutr* **33**(12): 2686-93.
- Schutz, Y. (1999). Ermittlung der Körperzusammensetzung. *Ernährungsmedizin*. H. K. Biesalski, P. Fürst, H. Kasperet al. Stuttgart, Thieme Verlag: 246 - 269.
- Schutz, Y. (2004). Ermittlung der Körperzusammensetzung. *Ernährungsmedizin*. H. K. Biesalski, P. Fürst, H. Kasperet al. Stuttgart, Georg Thieme Verlag: 8 - 18.
- Segal, K. R., B. Gutin, et al. (1985). "Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study." *J Appl Physiol* **58**(5): 1565-71.
- Segal, K. R., M. Van Loan, et al. (1988). "Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study." *Am J Clin Nutr* **47**(1): 7-14.
- Seidell, J. C. and T. L. Visscher (2000). "Body weight and weight change and their health implications for the elderly." *Eur J Clin Nutr* **54**(Suppl 3): S33-9.
- Silliman, K. and N. Kretchmer (1995). "Maternal obesity and body composition of the neonate." *Biol Neonate* **68**(6): 384-93.
- Siri, W. E. (1956). "The gross composition of the body." *Adv Biol Med Phys* **4**: 239-80.
- Siri, W. E. (1961). Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In Techniques for measuring body composition. Washington, DC, National Academy of Science, National Research Council.
- Snead, D. B., S. J. Birge, et al. (1993). "Age-related differences in body composition by hydrodensitometry and dual-energy X-ray absorptiometry." *J Appl Physiol* **74**(2): 770-5.
- Stefan, N., B. Vozarova, et al. (2002). "Plasma adiponectin concentration is associated with skeletal muscle insulin receptor tyrosine phosphorylation, and low plasma concentration precedes a decrease in whole-body insulin sensitivity in humans." *Diabetes* **51**(6): 1884-8.
- Stettler, N., D. A. Kawachak, et al. (2000). "A prospective study of body composition changes in children with cystic fibrosis." *Ann N Y Acad Sci* **904**: 406-9.
- Stöcker, H. (1994). Taschenbuch der Physik. Frankfurt/Main, Stöcker, Horst.
- Stroh, S. (1995). "Methoden zur Erfassung der Körperzusammensetzung." *Ernährungsumschau* **42**: 88-94.
- Sun, S. S., W. C. Chumlea, et al. (2003). "Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys." *Am J Clin Nutr* **77**(2): 331-40.

- Thomas, B. J., B. H. Cornish, et al. (1992). "Bioelectrical impedance analysis for measurement of body fluid volumes: a review." J Clin Eng **17**(6): 505-10.
- Thomas, G. N., S. Y. Ho, et al. (2004). "Impact of obesity and body fat distribution on cardiovascular risk factors in Hong Kong Chinese." Obes Res **12**(11): 1805-13.
- Tomezsko, J. L., T. F. Scanlin, et al. (1994). "Body composition of children with cystic fibrosis with mild clinical manifestations compared with normal children." Am J Clin Nutr **59**(1): 123-8.
- Treuth, M. S., N. F. Butte, et al. (2001). "Body composition in prepubertal girls: comparison of six methods." Int J Obes Relat Metab Disord **25**(9): 1352-9.
- Turner, A. A., M. Bouffard, et al. (1998). "Standard versus modified bio-electrical impedance analysis on reactance measurements." Int J Circumpolar Health **57**(Suppl 1): 730-7.
- Ukkola, O., Y. A. Kesaniemi, et al. (2004). "Two variants in the resistin gene and the response to long-term overfeeding." Eur J Clin Nutr **58**(4): 654-9.
- Ukkola, O., A. Tremblay, et al. (2001). "Genetic variation at the uncoupling protein 1, 2 and 3 loci and the response to long-term overfeeding." Eur J Clin Nutr **55**(11): 1008-15.
- van der Kooy, K., R. Leenen, et al. (1992). "Changes in fat-free mass in obese subjects after weight loss: a comparison of body composition measures." Int J Obes Relat Metab Disord **16**(9): 675-83.
- van der Ploeg, G. E., S. M. Gunn, et al. (2003). "Use of anthropometric variables to predict relative body fat determined by a four-compartment body composition model." Eur J Clin Nutr **57**(8): 1009-16.
- Van Loan, M. and P. Mayclin (1987). "A new TOBEC instrument and procedure for the assessment of body composition: use of Fourier coefficients to predict lean body mass and total body water." Am J Clin Nutr **45**(1): 131-7.
- Van Loan, M. D., A. Z. Belko, et al. (1987). "Use of total-body electrical conductivity for monitoring body composition changes during weight reduction." Am J Clin Nutr **46**(1): 5-8.
- Van Loan, M. D. and L. S. Koehler (1990). "Use of total-body electrical conductivity for the assessment of body composition in middle-aged and elderly individuals." Am J Clin Nutr **51**(4): 548-52.
- Van Loan, M. D. and P. L. Mayclin (1992). "Body composition assessment: dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) compared to reference methods." Eur J Clin Nutr **46**(2): 125-30.
- Volarova de Courten, B., M. Degawa-Yamauchi, et al. (2004). "High serum resistin is associated with an increase in adiposity but not a worsening of insulin resistance in Pima Indians." Diabetes **53**(5): 1279-84.
- Wagner, D. R. and V. H. Heyward (1999). "Techniques of body composition assessment: a review of laboratory and field methods." Res Q Exerc Sport **70**(2): 135-49.
- Wagner, K. (2000). Die bioelektrische Impedanzanalyse und ihre Störfaktoren - kritische Methodenanalyse. Potsdam.

- Wang, Z., P. Deurenberg, et al. (1999). "Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant." Am J Clin Nutr **69**(5): 833-41.
- Wang, Z. M., R. N. Pierson, Jr., et al. (1992). "The five-level model: a new approach to organizing body-composition research." Am J Clin Nutr **56**(1): 19-28.
- Weits, T. and H. P. Koppeschaar (1989). "Body composition measurements." Neth J Med **35**(3-4): 204-17.
- Weyer, C., R. E. Pratley, et al. (2000). "Ethnic differences in insulinemia and sympathetic tone as links between obesity and blood pressure." Hypertension **36**(4): 531-7.
- Weyer, C., P. A. Tataranni, et al. (2001). "Insulin resistance and insulin secretory dysfunction are independent predictors of worsening of glucose tolerance during each stage of type 2 diabetes development." Diabetes Care **24**(1): 89-94.
- Weyers, A. M., S. A. Mazzetti, et al. (2002). "Comparison of methods for assessing body composition changes during weight loss." Med Sci Sports Exerc **34**(3): 497-502.
- Wilhelm Poll, L., H. J. Wittsack, et al. (2004). "Correlation between anthropometric parameters and abdominal fat volumes assessed by a magnetic resonance imaging method in patients with diabetes." Diabetes Technol Ther **6**(6): 844-9.
- Wilmore, J. H. (1969). "A simplified method for determination of residual lung volumes." J Appl Physiol **27**(1): 96-100.
- Zavaleta, A. N. and R. M. Malina (1982). "Growth and body composition of Mexican-American boys 9 through 14 years of age." Am J Phys Anthropol **57**(3): 261-71.

II. Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema:

„nTOBEC – Eine neue Methode zur Erfassung der Körperzusammensetzung“

selbständig angefertigt und an keiner anderen Stelle eine Arbeit desselben Inhalts eingereicht

habe. Die Arbeit stellt weder als Ganzes, noch in Teilen eine Kopie fremder Arbeiten dar.

Benutzte Hilfsmittel und Literaturquellen sind vollständig angeführt.

III. Danksagung

Ich möchte Herrn Prof. Dr. H. - JF. Zunft für die gute Betreuung und Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit herzlich danken. Seine zahlreichen Anregungen und fachlichen Diskussionen förderten und prägten diese Dissertation.

Beim Koordinator Dr. P. Papachristou, des durch die EU geförderten Projektes „BodyLife“ (IST -2000 – 25410) möchte ich mich für die Zusammenarbeit bedanken.

Allen Teilnehmern dieser Studie, die sich bereit erklärten, an den Untersuchungen teil zu nehmen und dabei z.T. recht große Strapazen auf sich nahmen, möchte ich meinen Dank aussprechen.

Frau Dr. U. Trippo unterstützte mich bei der Durchführung der Studie und stand für fachliche Diskussionen, die maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beitrugen stets zur Verfügung. Recht herzlichen Dank.

Besonders danke ich Frau Silvia Pester für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Studie.

Meinem Mann Maik Wagner sowie meinen Kindern Malte und Lucie Wagner danke ich für das erbrachte Verständnis.

Meinen Eltern Bärbel und Bernd Jürgen Bienert danke ich herzlich, dass Sie mir den eingeschlagenen Bildungsweg ermöglichten und in mich in jeder Lebenslage unterstützten.