

Aus dem Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Formulierung populationspezifischer Algorithmen zur Bestimmung der
Körperfettmasse von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen, basierend
auf Feldmethoden mit *Air Displacement Plethysmography* als Referenz**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen
Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Dipl. oec. troph. Christine Becker

aus Bremervörde

Kiel, im Dezember 2002

| | |
|-----------------------------|--|
| Dekan: | Prof. Dr. F. Taube |
| Erster Berichterstatter: | Prof. Dr. med. M. J. Müller |
| Zweiter Berichterstatter: | Prof. Dr. med. vet. H. F. Erbersdobler |
| Tag der mündlichen Prüfung: | 13.02.2003 |

Gedruckt mit Genehmigung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--|----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Problemstellung | 1 |
| 1.2 „Goldstandard“ und Referenzmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung | 1 |
| 1.3 „Feldmethoden“ zur Bestimmung der Körperzusammensetzung | 3 |
| 1.4 Validität von „Feldmethoden“ | 3 |
| 1.5 Ziele und Hypothesen der Studie | 4 |
| 2. Methoden | 5 |
| 2.1 Rekrutierung der Probanden | 5 |
| 2.2 Unterteilung der Stichprobe | 5 |
| 2.2.1 Kinder und Jugendliche | 5 |
| 2.2.2 Erwachsene | 5 |
| 2.3 Das Zwei-Kompartiment-Modell | 6 |
| 2.4 Anthropometrie | 6 |
| 2.4.1 Methodik | 6 |
| 2.4.1.1 Körpergröße und Körpergewicht | 6 |
| 2.4.1.2 Umfänge | 7 |
| 2.4.1.3 Hautfaltendicken | 7 |
| 2.4.1.4 Ellenbogenbreite | 7 |
| 2.4.2 Berechnung der Körperfettmasse | 8 |
| 2.4.2.1 Kinder und Jugendliche | 8 |
| 2.4.2.2 Erwachsene | 9 |
| 2.5 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) | 10 |
| 2.5.1 Methodik | 10 |
| 2.5.2 Messung | 11 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.3 Berechnungen der Körperfettmasse | 12 |
| 2.5.3.1 Kinder und Jugendliche | 13 |
| 2.5.3.2 Erwachsene | 14 |
| 2.6 <i>Air Displacement Plethysmography</i> | 14 |
| 2.6.1 Methodik | 14 |
| 2.6.2 Messung | 19 |
| 2.6.3 Validierung von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) | 20 |
| 2.6.3.1 Validierung von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) gegen <i>Dual-energy X-ray absorptiometry</i> (DEXA) in einer Subpopulation | 20 |
| 2.6.3.2 Validierung von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) gegen das Vier-Kompartiment-Modell nach Selinger <i>et al.</i> (1977) in einer Subpopulation | 20 |
| 2.6.4 Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) | 21 |
| 2.6.4.1 Bestimmung der Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) durch Wiederholungsmessungen von 50-l- und 20-l-Hohlzylindern | 21 |
| 2.6.4.2 Bestimmung der Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) während Wiederholungsmessungen von Kindern und Erwachsenen | 21 |
| 2.7 Statistische Auswertung | 22 |
| 3. Ergebnisse | 24 |
| 3.1 Studienergebnisse der Körperzusammensetzung nach <i>Air Displacement Plethysmography</i> und Feldmethoden (Anthropometrie und Bioelektrische Impedanzanalyse, Multifrequenz) | 24 |
| 3.1.1 Kinder und Jugendliche | 24 |
| 3.1.2 Erwachsene | 32 |
| 3.2 Validierung von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) in einer Subpopulation | 37 |
| 3.2.1 Validierung von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) gegen <i>Dual-energy X-ray absorptiometry</i> (DEXA) in einer Subpopulation | 37 |
| 3.2.2 Validierung von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) gegen das Vier-Kompartiment-Modell nach Selinger <i>et al.</i> (1977) in einer Subpopulation | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3 Bestimmung der Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) | 40 |
| 3.3.1 Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) bei Wiederholungsmessungen eines 50-l- und 20-l-Hohlzylinders | 40 |
| 3.3.2 Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) bei Wiederholungsmessungen von Probanden einer Subpopulation | 41 |
| 3.3.3 Vergleich des nach <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) gemessenen und berechneten Lungenvolumens (Subpopulation) | 42 |
| 3.3.3.1 Kinder und Jugendliche | 42 |
| 3.3.3.2 Erwachsene | 47 |
| 3.4 Vergleich der Körperfettmasse nach <i>Air Displacement Plethysmography</i> und Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse | 49 |
| 3.4.1 Kinder und Jugendliche | 49 |
| 3.4.2 Erwachsene | 66 |
| 3.5 Multiple Regression | 72 |
| 3.5.1 Signifikanztests | 72 |
| 3.5.2 Algorithmen zur Bestimmung der absoluten fettfreien Masse | 74 |
| 3.5.2.1 Kinder und Jugendliche | 74 |
| 3.5.2.2 Erwachsene | 76 |
| 3.6 Vergleich der Ergebnisse der nach Kieler Algorithmen und “Fremdalgorithmen” berechneten Körperfettmasse | 77 |
| 4. Diskussion | 86 |
| 4.1 I. <i>Hypothese</i> : Bestimmung der Validität und Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) | 86 |
| 4.1.1 Validität von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) | 86 |
| 4.1.2 Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) | 87 |
| 4.1.2.1 Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) bei Wiederholungsmessungen | 87 |
| 4.1.2.2 Präzision von <i>Air Displacement Plethysmography</i> (BOD POD [®]) bei der Messung des Lungenvolumens | 88 |
| 4.2 II. <i>Hypothese</i> : Körperfettmasse nach Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse) im Vergleich zur Körperfettmasse nach Referenzmethode (<i>Air Displacement Plethysmography</i> , BOD POD [®]) | 89 |

| | |
|---|------------|
| 4.3 <i>III. Hypothese:</i> Populationsspezifische Algorithmen sind populationsunspezifischen Algorithmen bei der Bestimmung der Körperfettmasse vorzuziehen | 91 |
| 4.3.1 Einfluß der Abweichung zwischen Referenz- und Studienkollektiv auf die berechnete Körperfettmasse nach Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse) | 91 |
| 4.3.2 Einfluß der Referenzmethode auf populationsspezifische Algorithmen | 92 |
| 4.3.3 Kombination verschiedener Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse) | 95 |
| 4.3.4 Unterschiede zwischen der Körperfettmasse nach populationsspezifischen und populationsunspezifischen Algorithmen | 95 |
| 5. Zusammenfassung | 97 |
| 6. Summary | 99 |
| 7. Fazit und Ausblick | 101 |
| Literaturverzeichnis | |
| Anhang | |

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Stromfluß durch das menschliche Gewebe
- Abb. 2: Elektrodenplazierung an Hand und Fuß
- Abb. 3: Schematische Darstellung des *Air-Displacement-Plethysmographen* (BOD POD®)
- Abb. 4: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach *Dual-energy X-ray absorptiometry*
- Abb. 5: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach *Dual-energy X-ray absorptiometry*
- Abb. 6: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach dem Vier-Kompartiment-Modell, nach Selinger *et al.*, 1977
- Abb. 7: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach dem Vier-Kompartiment-Modell, nach Selinger *et al.*, 1977
- Abb. 8: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 9: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 10: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 11: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 12: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989: Kinder vor der Pubertät

- Abb. 13: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 14: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 15: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 16: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 17: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 18: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 19: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 20: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990: Kinder in und nach der Pubertät

- Abb. 21: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 22: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 23: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 24: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 25: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 26: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 27: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 28: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.*, 1963: Erwachsene
- Abb. 29: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.*, 1963: Erwachsene

- Abb. 30: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.*, 1992: Erwachsene
- Abb. 31: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.*, 1992: Erwachsene
- Abb. 32: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 33: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 34: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956, und absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus: Erwachsene
- Abb. 35: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 36: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 37: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 38: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994: Kinder vor der Pubertät
- Abb. 39: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996: Kinder vor Pubertät
- Abb. 40: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986: Kinder in und nach der Pubertät

- Abb. 41: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 42: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 43: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 44: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996: Kinder in und nach der Pubertät
- Abb. 45: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.*, 1963: Erwachsene
- Abb. 46: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.*, 1992: Erwachsene

Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Meßdaten der *Air Displacement Plethysmography*: Kinder und Jugendliche
- Tab. 2a: Anthropometrische Meßparameter: Kinder und Jugendliche
- Tab. 2b: Prozentuale und absolute Körperfettmasse sowie fettfreie Masse nach Anthropometrie: Kinder und Jugendliche
- Tab. 3a: Meßergebnisse der Bioelektrischen Impedanzanalyse (1 bis 100 kHz): Kinder und Jugendliche
- Tab. 3b: Prozentuale und absolute Körperfettmasse sowie fettfreie Masse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse: Kinder und Jugendliche
- Tab. 4: Meßdaten der *Air Displacement Plethysmography*: Erwachsene
- Tab. 5a: Anthropometrische Meßparameter: Erwachsene
- Tab. 5b: Prozentuale und absolute Körperfettmasse sowie fettfreie Masse nach Anthropometrie: Erwachsene
- Tab. 6a: Meßergebnisse der Bioelektrischen Impedanzanalyse (1 bis 100 kHz): Erwachsene
- Tab. 6b: Prozentuale und absolute Körperfettmasse sowie fettfreie Masse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse: Erwachsene
- Tab. 7a: Vergleich des gemessenen Volumens eines 50-l- und 20-l-Hohlzylinders zwischen 1. und 2. Meßtag
- Tab. 7b: Vergleich des gemessenen Volumens eines 50-l- und 20-l-Hohlzylinders bei zwanzig aufeinanderfolgenden Messungen (1. und 2. Meßtag)
- Tab. 8: Lungenvolumen, gemessen und berechnet nach *Air Displacement Plethysmography*, sowie nach kinderspezifischer Berechnung: Kinder und Jugendliche
- Tab. 9: Einfluß des gemessenen und berechneten Lungenvolumens, nach *Air Displacement Plethysmography*, auf die prozentuale Körperfettmasse: Kinder und Jugendliche
- Tab. 10: Vergleich der funktionellen Residualkapazität, nach *Air Displacement Plethysmography* und kinderspezifischer Formel: Kinder und Jugendliche
- Tab. 11: Vergleich des Atemzugvolumens, nach *Air Displacement Plethysmography* und kinderspezifischer Betrachtung: Kinder und Jugendliche
- Tab. 12: Lungenvolumen, gemessen und berechnet nach *Air Displacement Plethysmography*: Erwachsene

- Tab. 13: Einfluß des mit *Air Displacement Plethysmography* gemessenen und berechneten Lungenvolumens auf die prozentuale Körperfettmasse: Erwachsene
- Tab. 14: Angabe der Differenzen (absolut und prozentual) zwischen Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse): Kinder und Jugendliche
- Tab. 15: Angabe der Differenzen zwischen Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse) von < 10 % bzw. ≥ 10 %: Kinder und Jugendliche
- Tab. 16: Angabe der Differenzen (absolut und prozentual) zwischen Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse): Erwachsene
- Tab. 17: Angabe der Differenzen zwischen Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse) von < 10 % bzw. ≥ 10 %: Erwachsene
- Tab. 18: Ergebnisse bivariater Korrelation zwischen absoluter fettfreier Masse nach *Air Displacement Plethysmography* und Meßparametern der Anthropometrie und Bioelektrischen Impedanzanalyse: Kinder, Jugendliche und Erwachsene
- Tab. 19: Ergebnisse schrittweiser multipler Regression mit absoluter fettfreier Masse nach *Air Displacement Plethysmography* als abhängiger Variablen und Meßparametern der Anthropometrie, Bioelektrischen Impedanzanalyse sowie Alter und Geschlecht als unabhängige Variablen: Kinder, Jugendliche und Erwachsene

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------|--|
| α | Phasenwinkel |
| Abb. | Abbildung |
| ASF | Abdominalhautfalte |
| BIA | Bioelektrische Impedanzanalyse |
| BMC | <i>Bone Mineral Content</i> (Knochenmasse) |
| BMI | <i>Body-Mass-Index</i> |
| BSF | Bizepshautfalte |
| 4C | Vier-Kompartiment-Modell |
| CV | Variationskoeffizient |
| d | Körperdichte |
| DEXA | <i>Dual-energy X-ray absorptiometry</i> |
| e | Euler'sche Zahl (2,71828) |
| EBB | Ellenbogenbreite |
| FFM | fettfreie Masse |
| FM | Körperfettmasse |
| FRC | <i>Functional residual capacity</i> (funktionelle Residualkapazität) |
| G | Geschlecht |
| HD | Hydrodensitometrie |
| HO | Hautoberfläche |
| k | Konstante |
| KG | Körpergewicht |
| Kgr | Körpergröße |
| KOPS | <i>Kiel Obesity Prevention Study</i> |
| LBM | <i>Lean Body Mass</i> (Magermasse) |
| $\log \Sigma 4SF$ | Logarithmus der Summe aus TSF+BSF+SIF+SSF |
| MONICA | <i>Monitoring Trends and Determinants in Cardiovascular Disease</i> |
| MW | Mittelwert |
| NVS | <i>Nationale Verzehrsstudie</i> |
| p | Druck |
| R | Resistanz |
| RI | Resistanz-Index |
| SAA | <i>Surface area artifact</i> |
| SD | Standardabweichung |
| SEE | <i>Standard error of estimate</i> (Standardfehler der Berechnung) |
| SF | <i>Skinfold</i> (Hautfalte) |
| SIF | Suprailiacalhautfalte |
| SSF | Subscapularhautfalte |
| $\Sigma 4SF$ | Summe von TSF+BSF+SIF+SSF |
| Tab. | Tabelle |
| TBW | <i>Total Body Water</i> (Ganzkörperwasser) |
| TSF | Trizepshautfalte |
| V | Volumen |
| Vb | <i>Body volume</i> (Körpervolumen) |
| Vb _{kor} | korrigiertes <i>body volume</i> (Körpervolumen) |
| VERA | <i>Verbundstudie Ernährungserhebung Risikofaktoren Analytik</i> |
| Vl | <i>Lung volume</i> (Lungenvolumen) |
| Vt | <i>Tidal volume</i> (Atemzugvolumen) |
| w/h-ratio | <i>waist-to-hip ratio</i> (Quotient aus Taillen- und Hüftumfang) |
| Xc | Reaktanz |
| Z | Impedanz |
| ZI | Impedanz-Index |

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Weltweit wird von einer Zunahme von Übergewicht und Adipositas berichtet. Nach Angaben des *MONICA (Monitoring Trends and Determinants in Cardiovascular Disease)*-Projekts sind bundesweit jeder 2. Erwachsene, jeder 3. Jugendliche und jedes 5. Kind übergewichtig. Für das Jahr 2040 wird, unter Fortführung des bisherigen Trends, prognostiziert, daß jeder 2. Erwachsene einen *Body-Mass-Index* von $> 30 \text{ kg/m}^2$ besitzen und damit als adipös klassifiziert werden wird. [1, 2, 3] Entsprechende Entwicklungen werden für die USA genannt [3]. Für die Einschätzung des gesundheitlichen Risikos und eine verbesserte Klassifikation der Adipositas ist die Bestimmung der Körperzusammensetzung, insbesondere der Körperfettmasse, notwendig. Kenntnisse der Körperzusammensetzung eines Menschen erlauben eine differenzierte Beurteilung des Ernährungszustands und des gesundheitlichen Risikos. Wie im folgenden aufgezeigt wird, stehen verschiedene Methoden für die Erfassung der Körperkompartimente im Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter zur Verfügung [4, 5, 6, 7]

1.2 „Goldstandard“ und Referenzmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

Als Referenzmethoden für die Bestimmung der Körperfettmasse werden *Dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA)* [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] und *Hydrodensitometrie (HD)* [15, 16, 17, 18] angegeben.

DEXA ist ein radiologisches Meßverfahren, bei dem der Körper (Arme, Beine und Rumpf) von Röntgenstrahlen abgetastet wird [4, 19]. Aufgrund unterschiedlicher Absorption der Röntgenstrahlen durch die Körpergewebe wird eine Differenzierung des Körpers in Knochen- und Weichgewebe (Körperfettmasse und fettfreie Masse) möglich. Aufgrund der Strahlenexposition ($< 1 \text{ mSv}$) [10, 20], die mit der *DEXA*-Messung verbunden ist, dürfen in Deutschland keine *DEXA*-Messungen im Kindes- und Jugendalter durchgeführt werden. Bei *HD* wird der Körper des Probanden unter Wasser getaucht. Während maximaler Expiration, wird das Körpergewicht unter Wasser gemessen. Aus der Differenz des Körpergewichts an Land und unter Wasser erfolgt die Berechnung des Körpervolumens.

Da das Lungenvolumen zum Körpervolumen, nicht jedoch zur Körperzusammensetzung beiträgt, wird das Körpervolumen um das Lungenvolumen „korrigiert“. Wird das Körpergewicht durch das korrigierte Körpervolumen dividiert, erhält man die Körperdichte. Mit Hilfe verschiedener Algorithmen [21, 22] kann die prozentuale Körperfettmasse berechnet werden. Da für die hydrodensitometrische Messung die Notwendigkeit des Untertauchens unter Wasser besteht, führt diese Methode, insbesondere im Kindesalter, zu einer verminderten Akzeptanz [23]. Auch bei alten und kranken Menschen ist *HD* nur bedingt durchführbar. Beide Methoden weisen somit in ihrer Durchführbarkeit Einschränkungen auf.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden verschiedene Methoden entwickelt, um das Körpervolumen ohne die Notwendigkeit des Untertauchens unter Wasser zu erfassen und damit eine Alternative zur *Hydrodensitometrie* zu schaffen. So wurde mit dem *Three-Dimensional Photonic Bodyline Scanner* ein Verfahren entwickelt, das Körpervolumen mit bildgebenden Medien erfaßt [24]. Weiterhin wurde in Japan die *Sulfur Hexafluoride Verdünnungsmethode* entwickelt, die auf Druckänderung, resultierend aus der Wärmeabgabe des menschlichen Körpers, basiert [25]. Da diese Methoden zu große Abweichungen gegenüber den etablierten Referenzmethoden (*DEXA*, *HD*) und/oder Unzulänglichkeiten in der Praktikabilität aufweisen, finden sie im Bereich der Körperzusammensetzungsbestimmung keine weitere Anwendung.

Ende der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde eine Methode, *Air Displacement Plethysmography (ADP, BOD POD®)*, entwickelt, die Validität und Präzision gegenüber *DEXA* und *HD* sowie Praktikabilität und Akzeptanz aufweist. *ADP* nutzt Luftverdrängung an Stelle von Wasserverdrängung (Prinzip der *HD*) zur Körpervolumenbestimmung. [26, 27, 28, 29] Hiermit ist der Vorteil geschaffen, daß das „Untertauchen“ der Probanden entfällt und dadurch die Methode angenehmer und komfortabler wird [23]. Zudem ist die Meßdauer (ca. 10 Min.) niedriger als bei *HD* (30 bis 35 Min.) bzw. *DEXA* (10 bis 20 Min.) [30].

Die genannten Methoden sind ortsgebunden und bedeuten für den Anwender eine hohe finanzielle Belastung. Eine Anwendung in der alltäglichen Praxis sowie in Querschnittsuntersuchungen mit hoher Stichprobengröße ist in der Regel nicht möglich.

1.3 „Feldmethoden“ zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

Alternativ zu den oben aufgeführten Methoden stehen sogenannte „Feldmethoden“ zur Bestimmung der Körperzusammensetzung zur Verfügung. Sie sind, im Vergleich zu den genannten Referenzmethoden, kostengünstiger, transportabel, für Meßperson und Probanden anwenderfreundlicher und von kürzerer Meßdauer. [31, 32] Feldmethoden sind *anthropometrische Messungen*, wie Körpergröße, -gewicht, Hautfaltendicken-, Umfangsmessungen und *Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)*. Die Bestimmung der Körperzusammensetzung nach Feldmethoden basiert auf einer Vielzahl von Algorithmen, die gegen eine der Referenzmethoden validiert wurden [10, 21, 22, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38]. Die Validität der Feldmethoden wird durch die jeweilige Referenzmethode und die Referenz- bzw. Studienpopulation bestimmt.

1.4 Validität von „Feldmethoden“

Mast *et al.* (2002) verglichen die Ergebnisse der prozentualen Körperfettmasse nach verschiedenen Feldmethoden (*Anthropometrie, BIA*) an 1146 Jungen und 1140 Mädchen im Alter von 5 bis 7 Jahren eines Kollektivs der *Kiel Obesity Prevention Study (KOPS)* [39]. Sowohl *Hautfaltendickenmessungen* als auch *BIA* zeigen nach Mast *et al.* (2002) eine gute Wiederholbarkeit, die für eine grundsätzlich gute Anwendbarkeit der Feldmethoden im Kindesalter spricht. Die Variationskoeffizienten (CV) betragen für *Hautfaltendickenmessung* zwischen verschiedenen Erfassern 5,7 bis 13,2 % (n=15). Bei Wiederholungsmessungen, die durch einen Erfasser vollzogen werden, beträgt der CV 4,2 bis 6,8 % (n=3). Für *BIA* wird CV mit 1,0 (Resistanz) bzw. 2,1 (Reaktanz) % angegeben (n=3), woraus ein CV der Körperfettmasse von 1,5 % resultiert. Mast *et al.* (2002) wählten Berechnungsformeln unterschiedlicher Autoren, die für das Kindes- und Jugendalter formuliert wurden. [39] Die Algorithmen basieren auf *Hautfaltendickenmessung* [31, 33], *BIA* [35, 38, 40] und einer Kombination von *Hautfaltendickenmessung* und *BIA* [10].

Der Vergleich der nach unterschiedlichen Methoden und Algorithmen berechneten prozentualen Körperfettmasse zeigt nach Mast *et al.* (2002) Abweichungen von bis zu 20 % [39].

Diese Differenzen sind u.a. auf den Unterschied zwischen Probandenkollektiv der eigenen Studie und dem Referenzkollektiv sowie auf die jeweilige Referenzmethode zurückzuführen. Ein weiterer Grund dieser Differenzen wird in der sich mit Alter und Pubertätsstatus verändernden Hydratation der fettfreien Masse gesehen. [39]

1.5 Ziele und Hypothesen der Studie

Aufgrund der bisherigen Studienergebnisse, die die algorithmenabhängigen Abweichungen der Körperfettmasse nach *Hautfaltendickenmessung* und *BIA* aufzeigen, werden im Rahmen dieser Studie populationsspezifische Algorithmen für die Bestimmung der Körperfettmasse mit *Anthropometrie* und *BIA* für das Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter formuliert. Als Referenzmethode dient die *Air Displacement Plethysmography (BOD POD®)*, welche im Rahmen dieser Arbeit validiert wird.

Für die Bearbeitung der aufgeführten Problemstellungen dienen folgende Hypothesen:

- I.** *Air Displacement Plethysmography* ist eine valide und präzise Methode zur Bestimmung der Körperfettmasse.

- II.** Für den Vergleich der prozentualen Körperfettmasse nach Feldmethoden (*Hautfaltendickenmessung* und *Bioelektrische Impedanzanalyse*) zur Referenzmethode (*Air Displacement Plethysmography*) werden mittlere Abweichungen von bis zu 10 % erwartet.

- III.** Populationsspezifische Algorithmen zur Bestimmung der Körperfettmasse sind populationsunspezifischen Algorithmen vorzuziehen.

2. Methoden

2.1 Rekrutierung der Probanden

Kinder, Jugendliche und Erwachsene wurden über Aushänge in Sportstätten, Kindergärten, Schulen, in der Universität und durch die lokale Presse auf unsere Studie aufmerksam gemacht. Die Probanden wurden von einer Untersucherin erfaßt. 25 Probanden/Probandinnen ≥ 60 Jahre wurden von einer zweiten angelernten Erfasserin untersucht. Die Untersuchungen wurden morgens, nüchtern, unter konstanter Luftfeuchte und Zimmertemperatur (21 °C) in einem Stoffwechseluntersuchungsraum durchgeführt. Die Studie erfolgte nach Genehmigung durch die Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Vor Meßbeginn überzeugten sich die Untersucher von einem guten gesundheitlichen Befinden der Studienteilnehmer und schlossen eine regelmäßige Medikamenteneinnahme, die die Körperzusammensetzung hätte beeinflussen können, aus. Die Probanden (bei Kindern und Jugendlichen auch deren Erziehungsberechtigten) wurden vor Meßbeginn über die angewandten Methoden informiert und die Einwilligungserklärung unterschrieben.

2.2 Unterteilung der Stichprobe

Da Alter und Geschlecht einen Einfluß auf die Körperzusammensetzung besitzen, wurde die Gesamtgruppe nach folgenden Kriterien differenziert:

2.2.1 Kinder und Jugendliche

Nach dem Tanner-score, wurden Kinder und Jugendliche (Jungen und Mädchen) in vorpubertär, d.h. Kinder vor der Pubertät (Tanner-score ≤ 1), und (post)pubertär, d.h. Kinder und Jugendliche in und nach der Pubertät (Tanner-score > 1), eingeteilt [35, 41].

2.2.2 Erwachsene

Erwachsene (Männer und Frauen) wurden ihrem Lebensalter entsprechend in die Gruppen 19 bis 60 Jahre und ≥ 60 Jahre eingeteilt.

2.3 Das Zwei-Kompartiment-Modell

Im Rahmen dieser Arbeit basiert die Betrachtung der Körperzusammensetzung auf Annahme eines Zwei-Kompartiment-Modells. Dabei wird davon ausgegangen, daß der menschliche Körper aus den Kompartimenten Körperfett und fettfreie Masse besteht. Entsprechend gilt:

$$\text{Körpergewicht [kg]} = \text{Körperfettmasse [kg]} + \text{fettfreie Masse des Körpers [kg]}.$$

Körperfettmasse definiert sich über wasser- und kaliumfreie Triglyceride. Es wird eine konstante Dichte von $0,9 \text{ g/cm}^3$ angenommen. Für die Bestimmung der fettfreien Körpermasse wird von einer konstanten Hydratation (73,2 %) und einer Dichte von $1,1 \text{ g/cm}^3$ ausgegangen. In dieser Arbeit werden fettfreie Masse und Magermasse (*LBM=Lean Body Mass*) folglich synonym angewendet. [42]

2.4 Anthropometrie

Es wurden Körpergröße und -gewicht, Umfänge von Oberarm, Taille und Hüfte, Arm- und Rumpfhautfalten sowie Ellenbogenbreite erfaßt.

2.4.1 Methodik

2.4.1.1 Körpergröße und Körpergewicht

Die Körpergröße wurde am barfüßigen, geradestehenden Probanden an einer millimetergenauen Meßlatte gemessen. Der Blick des Probanden war in Augenhöhe, nach vorne gerichtet. Das Körpergewicht wurde auf der 10 g genauen elektronischen Waage bestimmt, die mit dem BOD POD[®]-Gerät verbunden war. Der Wiegeprozeß erfolgte ausschließlich in Badekleidung. Während der Messung wurde darauf geachtet, daß der Proband ruhig und mit vollem Gewicht auf beiden Füßen auf der Waage stand.

Der *Body-Mass-Index* (*BMI* [kg/m^2]) wurde gemäß nachstehender Formel berechnet [42]:

$$\boxed{BMI = \text{Körpergewicht [kg]} / \text{Körpergröße}^2 \text{ [m]}}$$

2.4.1.2 Umfänge

Mit einem flexiblem Maßband wurden in horizontaler Richtung Umfänge an Oberarm (OAU), Taille (*waist*) und Hüfte (*hip*) bestimmt. Die Angaben erfolgten millimetergenau. OAU wurde im Mittelpunkt zwischen Acromion und Olecranon gemessen. Der Referenzpunkt der Taille befand sich ca. 2 cm unterhalb des Arcus costalis, an der schmalsten Stelle des Oberkörpers. Der Hüftumfang wurde in Höhe des Trochanter majores erfaßt. Durch Division von Taillen- und Hüftumfang wurde der *waist-to-hip (w/h) ratio* gebildet.

2.4.1.3 Hautfaltendicken

Hautfaltendickenmessung wurde am aufrecht stehenden Probanden, an fünf Referenzstellen des Körpers durchgeführt (Trizeps [TSF]-, Bizeps [BSF]-, Abdominal [ASF]-, Suprailiacal [SIF]- und Subscapularhautfalte [SSF]). Die Erfassungen erfolgten mit einem *Lafayette Skinfold Caliper (Lafayette Instrument Company, Indiana, USA)*, mit millimetergenauer Skalierung. Die Messungen der Armhautfalten (TSF, BSF) erfolgten am dominanten, 90° gebeugten, auf dem Bauch ruhenden Arm. Rumpfhautfalten wurden bei aufrechter Körperhaltung und locker herabhängenden Armen erfaßt. Die Messungen erfolgten unter Ausübung eines konstanten Drucks von 10 g/mm², der sich über eine Fläche von 20 bis 40 mm² ausbreitete. Mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand wurde die Hautfalte gefaßt und 1 cm unterhalb mit dem Kaliper, das sich in der rechten Hand befand, gemessen. Die Dicke der Hautfalte wurde von der 1-Millimeter-Skalierung abgelesen und notiert. Jede Hautfalte wurde dreimal gemessen und daraus der Mittelwert gebildet. Referenzpunkte der Armhautfalten (TSF, BSF) befanden sich auf mittlerer Strecke zwischen Olecranon und Acromion; TSF auf dorsaler, BSF auf ventraler Seite. Die Hautfalten wurden senkrecht gefaßt. ASF wurde 3 cm lateral und 1 cm unterhalb des Umbilicus waagrecht gemessen. SIF wurde in der Mittaxillarlinie, direkt oberhalb des Beckenrands, waagrecht gefaßt. Für die Messung der SSF wurde die Spitze des Schulterblatts ertastet und ca. 2 cm unterhalb in einem Winkel von 45° zur Waagerechten gemessen.

2.4.1.4 Ellenbogenbreite

Am 90° gebeugten, dominanten Arm wurde mit einem Stangenzirkel (*Lafayette Instrument Company, Indiana, USA*) der maximale Abstand zwischen den Epikondylen gemessen.

2.4.2 Berechnung der Körperfettmasse

Im folgenden werden Algorithmen aufgeführt, nach denen die Körperfettmasse, basierend auf Hautfaltendickenmessung, berechnet wurde. Diese Berechnungsformeln wurden ausgewählt, da sie in einer Vielzahl von Studien Anwendung finden und als Vergleichswerte dienen. Weiterhin sollte eine Vergleichbarkeit zu der Studie nach Mast *et al.* (2002) [39] hergestellt werden.

2.4.2.1 Kinder und Jugendliche

2.4.2.1.1 Berechnung der Körperdichte nach Durnin *et al.* (1967, 1974)

Körperdichte der Jungen:

$$1 \text{ bis } 11 \text{ Jahre: } 1,1690 - 0,0788 \cdot \log \Sigma 4SF \text{ [mm] [43]}$$

$$12 \text{ bis } 16 \text{ Jahre: } 1,1533 - 0,0643 \cdot \log \Sigma 4SF \text{ [mm] [43]}$$

$$17 \text{ bis } 19 \text{ Jahre: } 1,1620 - 0,0630 \cdot \log \Sigma 4SF \text{ [mm] [37]}$$

Körperdichte der Mädchen:

$$1 \text{ bis } 11 \text{ Jahre: } 1,2063 - 0,0999 \cdot \log \Sigma 4SF \text{ [mm] [43]}$$

$$12 \text{ bis } 16 \text{ Jahre: } 1,1369 - 0,0598 \cdot \log \Sigma 4SF \text{ [mm] [43]}$$

$$17 \text{ bis } 19 \text{ Jahre: } 1,1549 - 0,0678 \cdot \log \Sigma 4SF \text{ [mm] [37]},$$

wobei: $\log \Sigma 4SF$ = Logarithmus der Summe aus Trizeps-, Bizeps-, Suprailiacal-, Subscapularhautfalte [mm]

2.4.2.1.2 Berechnung der Körperfettmasse nach Lohman *et al.* (1986)

$$FM \text{ [kg]} = KG \text{ [kg]} \cdot (5,28 / d \text{ [g/cm}^3]) - 4,86 \text{ [33]},$$

wobei: FM = Körperfettmasse [kg]

KG = Körpergewicht [kg]

d = Körperdichte [g/cm³], nach Durnin *et al.* (1967, 1974) [37, 43]

2.4.2.1.3 Berechnung der Körperfettmasse nach Deurenberg *et al.* (1990)

$$\text{FM} [\%] = (562 - 4,2 [\text{Alter} [\text{Jahre}] - 2]) / d - (525 - 4,7 [\text{Alter} [\text{Jahre}] - 2]) [31],$$

wobei: FM = Körperfettmasse [%]
 d = Körperdichte [g/cm³], nach Durnin *et al.* (1967, 1974) [37, 43]

2.4.2.2 Erwachsene

2.4.2.2.1 Berechnung der Körperdichte nach Durnin und Womersley *et al.* (1974)

Körperdichte der Männer [37]:

| | |
|------------------|--|
| 17 bis 19 Jahre: | $1,1620 - 0,0630 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |
| 20 bis 29 Jahre: | $1,1631 - 0,0632 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |
| 30 bis 39 Jahre: | $1,1422 - 0,0544 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |
| 40 bis 49 Jahre: | $1,1620 - 0,0700 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |
| ≥ 50 Jahre : | $1,1715 - 0,0779 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |

Körperdichte der Frauen [37]:

| | |
|------------------|---|
| 17 bis 19 Jahre: | $1,1549 - 0,0678 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |
| 20 bis 29 Jahre: | $1,1599 - 0,0717 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |
| 30 bis 39 Jahre: | $1,1423 - 0,0632 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |
| 40 bis 49 Jahre: | $1,1333 - 0,0612 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}]$ |
| ≥ 50 Jahre : | $1,1339 - 0,0645 \cdot \log \Sigma 4\text{SF} [\text{mm}],$ |

wobei: $\log \Sigma 4\text{SF}$ = Logarithmus der Summe aus Trizeps-, Bizeps-, Suprailiacal-,
 Subscapularhautfalte [mm]

2.4.2.2.2 Berechnung der Körperfettmasse nach Brožek *et al.* (1963)

$$\text{FM} [\%] = (4,570 / d - 4,142) \cdot 100 [22],$$

wobei: FM = Körperfettmasse [%]
 d = Körperdichte [g/cm³], nach Durnin und Womersley *et al.*,
 1974 [37]

2.5 Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Mit BIA-Gerät *Bioelectrical Impedance Analyser BIA 2000-M* der Firma Data Input GmbH Frankfurt am Main wurden Messungen bei 800 μA und Frequenzen von 1, 5, 50 und 100 kHz durchgeführt.

2.5.1 Methodik

Über Hautklebelektroden und Anlegen einer definierten Spannung (800 μA) wurde im menschlichen Körper ein Wechselstromfeld aufgebaut. Aufgrund des hohen Wasser- und Elektrolytgehalts stellt fettfreie Masse (FFM) einen guten Leiter für Wechselstrom dar. Körperfettmasse (FM) weist hingegen einen hohen Widerstand auf [42, 44]. Mit BIA wird die Impedanz (Z) des menschlichen Körpers gemessen. Durch Anwendung phasensensitiver Elektronik, wie sie bei Multifrequenzmessung gegeben ist, wird eine Differenzierung von Z , gemäß nachstehender Formel, in Resistanz (R) und Reaktanz (X_c) ermöglicht: [42, 44, 45]

$$Z^2 = R^2 + X_c^2$$

R ist der reine Widerstand. Er verhält sich umgekehrt proportional zum Körperwasser [44, 46, 47, 48, 49], wobei die zu bestimmenden Funktionsräume frequenzabhängig sind [38, 44, 45, 46]. Bei < 5 kHz wird ausschließlich extrazelluläres Wasser ($ECW = \text{Extra Cellular Water}$), bei ≥ 50 kHz Ganzkörperwasser ($TBW = \text{Total Body Water}$) bestimmt (siehe Abb. 1, S. 11) [44, 45, 46].

Resistenz-Index (RI) gilt als Bestimmungsparemeter für Körperwasser [34, 50, 51, 52]. Er wurde wie folgt berechnet:

$$\text{Resistenz-Index (RI)} = \text{Körpergröße}^2 [\text{cm}] / \text{Resistenz} [\Omega]$$

Entsprechend konnte der Impedanz-Index (ZI) nach nachstehender Formel definiert werden:

$$\text{Impedanz-Index (ZI)} = \text{Körpergröße}^2 [\text{cm}] / \text{Impedanz} [\Omega]$$

Reaktanz (X_c) ist der Blindwiderstand, dem ein Kondensator Wechselstrom entgegensetzt. Da Zellmembranen des menschlichen Körpers aufgrund ihrer Protein-Lipid-Schicht wie ein Mini-Kondensator wirken [42, 45, 51], stellt X_c ein Maß für Körperzellmasse ($BCM = \text{Body Cell Mass}$) dar [44]. Sie wird nach *Moore et al.* als Summe der sauerstoffverbrauchenden, kaliumreichen, glucoseoxidierenden Zellen definiert [42, 47, 53] und setzt sich aus Muskulatur, Eingeweiden, Blut, Drüsen und Nervenzellen zusammen.

Sie ist wesentlicher Bestandteil der fettfreien Masse (FFM). Da in ihr 99 % des Stoffwechsels stattfinden, stellt sie eine zentrale Größe für die Beurteilung des Ernährungszustands dar [44]. Eine sehr vereinfachte, schematische Darstellung nach Roos *et al.*, 1993, [45], wie elektrischer Strom Gewebe passiert, zeigt folgende Abbildung:

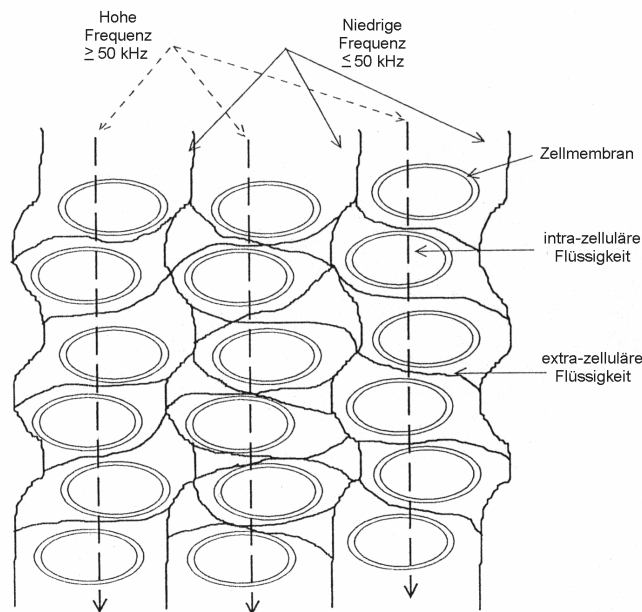


Abb. 1: Stromfluß durch das menschliche Gewebe

Bei niedriger Frequenz findet keine Passage der Zellmembranen statt; die Messung erfolgt ausschließlich im extrazellulären Raum. Bei Frequenzen ≥ 50 kHz werden Zellmembranen passiert, so daß die Messung im intra- und extrazellulären Raum erfolgt.

2.5.2 Messung

Die Probanden wurden liegend, an dominanter Körperseite gemessen. Es wurde darauf geachtet, daß die Testpersonen keinen Kontakt zu einem ihrer Körperteile oder metallischen Gegenständen hatten. Vor Anlegen der (vier) Hautklebelektroden, die eine Geloberfläche von 4 cm² besaßen, wurden Hand- und Fußoberfläche mit Flüssigdesinfektionsmittel gereinigt. Überschüssige Flüssigkeit wurde mit einem Tuch entfernt, um einen möglichst guten Kontakt zwischen Elektrode und Haut erzielen zu können. Distale Elektroden dienten der Strömungsinittierung, ventrale Elektroden der Messung der Spannung.

Elektrodenplatzierung (siehe Abb. 2) wurde, wie von *Siervogel et al.*, 1987, beschrieben [54], durchgeführt. Die dorsale Elektrode der Hand wurde auf der Überschneidungsfläche zwischen Os lunatum und Os scaphoideum, die ventrale Elektrode zwischen Ossa metacarpi von Mittel- und Ringfinger positioniert. Die dorsale Elektrode des Fußes wurde in Höhe des Os naviculare, die ventrale Elektrode am Grundgelenk des Os metatarsale etwas lateral vom mittleren Zeh platziert. Die Mittelpunkte der Elektroden dienten als Referenzpunkte.

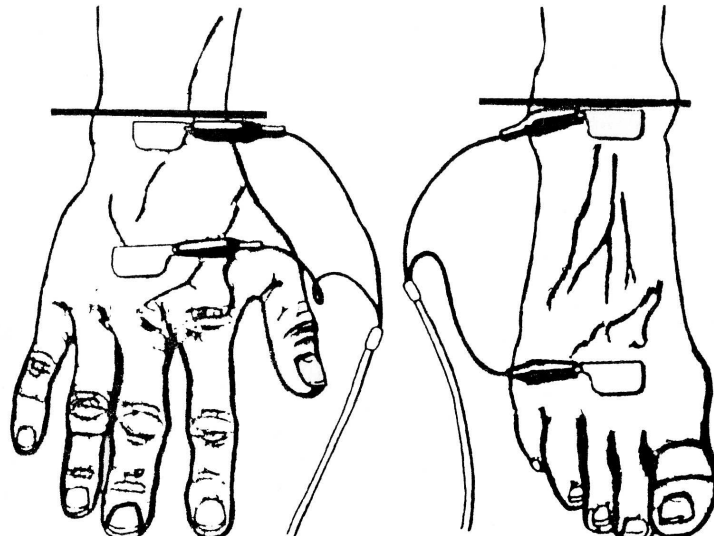


Abb. 2: Elektrodenplatzierung an Hand und Fuß

2.5.3 Berechnungen der Körperfettmasse

Um einen Vergleich der Körperfettmasse nach unterschiedlichen Algorithmen durchführen zu können, wurden mehrere Algorithmen für die Datenauswertung gewählt. Die nachstehend aufgeführten Berechnungsformeln wurden für das Kindes- und Jugendalter formuliert und finden in der täglichen Praxis, wie der *Kiel Obesity Prevention Study (KOPS-Studie)*, Anwendung. Zudem sollte die in der Studie von *Mast et al.*, 2002, aufgeführte Problematik der Anwendung unterschiedlicher Algorithmen zur Bestimmung der Körperfettmasse im Kindesalter [39] aufgegriffen werden. In der Formel von *Goran et al.*, 1996, wurden neben Hautfalten Parametern der BIA in den Algorithmus einbezogen [10]. Mit den Auswertungen sollten Informationen darüber erhalten werden, ob die Integration anthropometrischer Meßparameter zu einer präziseren Berechnung der Körperfettmasse geführt hatte.

2.5.3.1 Kinder und Jugendliche

2.5.3.1.1 Nach Houtkooper *et al.* (1989)

$$FM [\%] = (-1,11) \cdot RI_{50} [cm^2/\Omega] + 1,04 \cdot KG [kg] + 15,16 [34],$$

wobei: FM = Körperfettmasse [%]

RI₅₀ = Resistanz-Index bei 50 kHz = Körpergröße² [cm] / Resistanz bei 50 kHz [Ω]

KG = Körpergewicht [kg]

2.5.3.1.2 Nach Schaefer *et al.* (1994)

$$FFM [kg] = 0,65 \cdot RI_{50} [cm^2/\Omega] + 0,68 \cdot \text{Alter [Jahre]} + 0,15 [35],$$

wobei: FFM = fettfreie Masse [kg]

RI₅₀ = Resistanz-Index bei 50 kHz = Körpergröße² [cm] / Resistanz bei 50 kHz [Ω]

$$FM [kg] = KG [kg] - FFM [kg],$$

wobei: FM = Körperfettmasse [kg]

KG = Körpergewicht [kg]

FFM = fettfreie Masse [kg]

2.5.3.1.3 Nach Goran *et al.* (1996)

$$FFM [kg] = 0,16 \cdot RI_{50} [cm^2/\Omega] + 0,67 \cdot KG [kg] - 0,11 \cdot \text{TSF [mm]} - 0,16 \cdot \text{SSF [mm]} + 0,43 \cdot G + 2,41 [10],$$

wobei: FFM = fettfreie Masse [kg]

RI₅₀ = Resistanz-Index bei 50 kHz = Körpergröße² [cm] / Resistanz bei 50 kHz [Ω]

KG = Körpergewicht [kg]

TSF = Trizephshautfalte [mm]

SSF = Subscapularhautfalte [mm]

G = Geschlecht (Jungen=1; Mädchen=0)

$$FM [kg] = \text{Körpergewicht [kg]} - FFM [kg],$$

wobei: FM = Körperfettmasse [kg]

KG = Körpergewicht [kg]

FFM = fettfreie Masse [kg]

2.5.3.2 Erwachsene

2.5.3.2.1 Nach Kushner *et al.* (1992)

$$TBW \text{ [kg]} = 0,59 \cdot RI_{50} \text{ [cm}^2/\Omega] + 0,065 \cdot KG \text{ [kg]} + 0,04 \text{ [38]},$$

wobei: TBW = *Total Body Water* (Ganzkörperwasser) [l]

RI_{50} = Resistanz-Index bei 50 kHz = Körpergröße² [cm] / Resistanz bei 50 kHz [Ω]

KG = Körpergewicht [kg]

Für erwachsene Probanden wurde eine Hydratation von 73,2 % angenommen. Das nach Kushner *et al.*, 1992, berechnete Körperwasser [38] wurde (entsprechend der Hydratation von 73,2 %) durch 0,732 dividiert und die fettfreie Masse (FFM) berechnet. Durch Subtraktion der FFM vom Körpergewicht wurde, dem Zwei-Kompartiment-Modell entsprechend, Körperfettmasse (FM) berechnet.

2.6 Air Displacement Plethysmography

Die densitometrische Messung wurde mit einem „Air-Displacement-Plethysmographen“ (ADP), BOD POD[®], hergestellt von *Body Composition System (Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA)*, durchgeführt.

2.6.1 Methodik

ADP ist ein densitometrisches Meßverfahren. Es dient der Bestimmung des Körpervolumens. Über Körpervolumen wurde entsprechend nachstehender Formel Körperdichte berechnet:

| |
|---|
| $\text{Körperdichte [g/cm}^3] = \text{Körpergewicht [g]} / \text{Körpervolumen [cm}^3]$ |
|---|

Körpergewicht wurde während des Meßprozesses mit einer elektronischen Waage, die mit dem BOD POD[®]-Gerät verbunden ist, bestimmt. Die Meßgenauigkeit der Waage beträgt 10 g. Die Bestimmung des Körpervolumens wird im folgenden beschrieben:

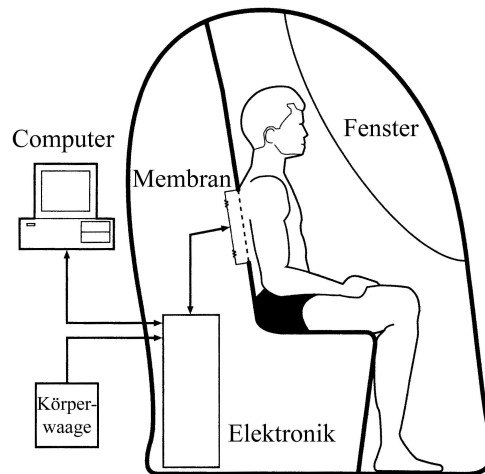


Abb. 3: Schematische Darstellung des „Air-Displacement-Plethysmographen“ (BOD POD®)

BOD POD® besteht aus zwei Kammern (siehe Abb. 3). Im vorderen Gerätebereich befindet sich die Meßkammer (450 l); die Referenzkammer ist im hinteren Gerätebereich (300 l) lokalisiert. Beide Kammern sind durch eine flexible Membran miteinander verbunden. Während der Körpervolumenmessung schwingt die Membran, so daß in beiden Kammern sinusoidale Volumenveränderungen erzeugt werden. Diese Veränderungen sind von ihrem Ausmaß in beiden Kammern identisch. Sie verhalten sich jedoch entgegengesetzt zueinander; d.h. nimmt das Volumen in der Meßkammer zu, nimmt es um denselben Betrag in der Referenzkammer ab. Die Volumenveränderungen haben Druckänderungen zur Folge, die über Membran und Fourier-Koeffizienten bestimmt werden können. Im Vergleich zum Umgebungsdruck (1000 cm H₂O) sind die Druckänderungen der Membran gering (± 1 cm H₂O). [6, 28, 29, 55, 56] Über den erfaßten Druck wird, basierend auf dem Boyle'schen Gesetz, das unter isothermen Zuständen gilt [29, 56, 57], das Körpervolumen bestimmt.

$$\begin{aligned} \text{Boyle'sches Gesetz:} \quad & (p_1 \cdot V_1) = (p_2 \cdot V_2), \\ \Rightarrow \quad & V_2 = (p_1 \cdot V_1) / p_2, \end{aligned}$$

wobei:

- p_1 = Druck der Membran bei leerer Kammer (Ruhezustand)
- p_2 = Druck der Membran, wenn die Kammer besetzt ist
(z.B. durch einen Probanden)
- V_1 = Kammervolumen der leeren Kammer
- V_2 = Kammervolumen der besetzten Kammer.

Da während des Meßprozesses, z.B. durch Körperwärmeabgabe, keine isothermen Zustände gegeben sind, wird das Körpervolumen nach dem Poisson'schen-Gesetz [29, 57] berechnet.

$$\begin{aligned} \text{Poisson'sches Gesetz:} \quad & (p_1 \cdot V_1^\chi) = (p_2 \cdot V_2^\chi) \\ \Rightarrow \quad & V_2 = (p_1/p_2)^{1/\chi} \cdot V_1, \end{aligned}$$

wobei:

- p_1 = Druck der Membran bei leerer Kammer (Ruhezustand)
- p_2 = Druck der Membran, wenn die Kammer besetzt ist
(z.B. durch einen Probanden)
- V_1 = Kammervolumen der leeren Kammer
- V_2 = Kammervolumen der besetzten Kammer
- χ = Spezifische Wärme eines Gases bei konstantem Druck im Verhältnis zur spezifischen Wärme dieses Gases bei konstantem Volumen. Für Luft $\chi \approx 1,4$, für dreiatomige Gemische, wie CO_2 , H_2O , $\chi \approx 1,3$ [29].

Wie zuvor erwähnt, wird die Körpervolumenmessung durch isotherme Zustände (z.B. Luft in der Lunge oder Luft auf der Haut) beeinflusst. Isotherme Luft ist 40 % leichter komprimierbar als Luft unter adiabatischen Verhältnissen. Dies hat zur Folge, daß isotherme Luft zu einer Unterschätzung des Körpervolumens führt. [29, 58] Um den Einfluß isothermer Luft gering zu halten, wurden während der Messung enganliegende Badekleidung und Badekappe getragen [29, 56]. Weiterhin fand zwischen Meß- und Referenzkammer eine Luftzirkulation statt, die der Konstanthaltung der Kammertemperatur und der Vermeidung von Temperaturunterschieden während des Meßprozesses diente. Da, wie erwähnt, die Körperoberfläche in Beziehung zur eingebrachten Menge isothermer Luft steht, erfolgte die Erfassung der Hautoberfläche (HO): [29]

$$\text{HO [cm}^2\text{]} = 7,184 \cdot \text{KG [kg]}^{0,425} \cdot \text{Kgr [cm]}^{0,725} \quad (\text{nach [23, 29, 59]}),$$

wobei:

- HO = Hautoberfläche [cm²]
- KG = Körpergewicht [kg]
- Kgr = Körpergröße [cm]

Über Hautoberfläche wird *Surface Area Artifact* (SAA) bestimmt (nach [23, 29, 56, 59]):

$$SAA [l] = HO [cm^2] \cdot k [l/cm^2],$$

wobei: *SAA* = *Surface Area Artifact* [l]
HO = Hautoberfläche [cm²]
k = Konstante = $-4,67 \cdot 10^{-4}$ [l/cm²], die nach Herstellerangaben die Mitarbeit des Probanden berücksichtigt.

Da das Volumen der Lunge (Vl) und des Gastrointestinaltrakts zum Körpervolumen, nicht jedoch zur Körperzusammensetzung beitragen, wurden sie in die Körpervolumenbestimmung einbezogen. Vl wurde bei geschlossener Kammer erfaßt. Der Proband atmete dabei durch einen sterilen Atemschlauch, der Meß- und Referenzkammer miteinander verband. Der nasale Luftweg wurde während dieses Meßabschnitts durch eine Nasenklammer verschlossen. Nach 2 bis 3 regelmäßigen Atemzügen (Messung des Atemzugvolumens, s.u., S. 18, 19), baute sich, kurz vor der Expiration, im Atemschlauch ein Widerstand von 1 kHz auf [29], der ca. 3 sec. bestehen blieb (Bestimmung der funktionellen Residualkapazität, s.u., S. 18, 19). Zur Kontrolle einer korrekten Lungenvolumenmessung wurde während der Erfassung des Atemzugvolumens eine entsprechende Atemkurve auf dem Computerbildschirm angezeigt, so daß die Regelmäßigkeit der Atmung überprüft werden konnte. Weiterhin wurde der *Merit* angegeben, der die Beziehung zwischen Druck der Atemluft und Kammerdruck beschreibt. Er sollte < 1,0 sein. *Airway pressure value* (Angabe des Drucks des Atemstroms) gibt den maximalen Druck der Atemluft nach Aufbau des Widerstands im Atemschlauch an. Er sollte < 35 cm H₂O betragen. War *Merit* > 1, bestanden Anzeichen, daß Atemluft am Atemschlauch vorbeizog und bei der Lungenvolumenbestimmung nicht erfaßt wurde. Betrag der *airway pressure value* > 35 cm H₂O, war die Atmung zu hektisch oder kräftig. In beiden Fällen mußte die Lungenvolumenmessung wiederholt werden. [29, 55, 56]

Aufgrund der isothermen Luft in der Lunge und der daraus resultierenden Unterschätzung des Körpervolumens wurde Vl, entsprechend nachstehender Formel, mit dem Körpervolumen (Vb) addiert [29, 59, 60, 61]:

$$Vb_{\text{kor}} [l] = Vb [l] - SAA [l] + 40 \% Vl [l],$$

wobei: *Vb_{kor}* = korrigiertes Körpervolumen [l]
Vb = Körpervolumen [l]
SAA = *Surface Area Artifact* [l]
Vl = Lungenvolumen [l]

$$\text{Körperdichte [g / cm}^3] = \text{Körpergewicht [g] / Körpervolumen (V}_{b_{\text{kor}}}) \text{ [cm}^3] \text{ [55]}$$

$$\text{Körperfettmasse [\%]} = (495 / \text{Körperdichte [g/cm}^3]) - 450 \quad [21, 36]$$

Lungenvolumen (V_l), das durch *ADP* erfaßt wurde, berechnete sich aus funktioneller Residualkapazität (*functional residual capacity* [*FRC*]) und Atemzugvolumen (*tidal volume* [V_t]). Funktionelle Residualkapazität war das nach normaler Expiration in der Lunge vorhandene Gasvolumen. Atemzugvolumen wurde durch die Luftmenge, die bei einem Atemzug ein- bzw. ausgeatmet wurde, bestimmt. Entsprechend nachstehender Formel wurde V_l durch *ADP* erfaßt [23, 60]:

$$V_l [l] = FRC [l] + 0,5 \cdot V_t [l],$$

wobei: V_l = Lungenvolumen [l]
 FRC = funktionelle Residualkapazität (*functional residual capacity*) [l]
 V_t = Atemzugvolumen (*tidal volume*) [l]

ADP bot drei Möglichkeiten der Lungenvolumenbestimmung: 1. Messung, 2. Berechnung, 3. Einfügen eines zu einem früheren Zeitpunkt ermittelten V_l . [55]

Die Messung beruhte auf der Erfassung des Drucks und der Druckdifferenz der Atem- und Kammerluft. Die Bestimmung der funktionellen Residualkapazität basierte auf der Formel von Crapo *et al.* (1982), bezogen auf ein Kollektiv 245 gesunder Männer und Frauen im Alter von 17 bis 91 Jahren [62].

$$FRC [l] = 0,0472 \cdot Kgr [cm] + 0,009 \cdot \text{Alter [Jahre]} - 5,29,$$

wobei: FRC = funktionelle Residualkapazität (*functional residual capacity*) [l]
 Kgr = Körpergröße [cm].

Da die Formel von Crapo *et al.* (1982) auf einem Studienkollektiv erwachsener Probanden basierte [62], wurde im Rahmen dieser Arbeit die funktionelle Residualkapazität der Kinder und Jugendlichen nach dem kinderspezifischen Algorithmus von Manzke *et al.* (2001) berechnet [63]. Grundlage dieser Formel war eine Stichprobe von 397 6- bis 16jährigen, gesunden, deutschsprachigen Jungen und Mädchen [63].

$$\begin{array}{ll} \text{Kinder:} & \text{Jungen: } FRC [l] = e^{(-1,8195 + 1,6779 \cdot Kgr [m])} \\ & \text{Mädchen: } FRC [l] = e^{(-2,0159 + 1,7942 \cdot Kgr [m])}, \end{array}$$

wobei: FRC = funktionelle Residualkapazität (*functional residual capacity*) [l]
 e = Euler'sche Zahl: 2,71828
 Kgr = Körpergröße [m].

Das Atemzugvolumen wurde in dieser Studie bei Kindern und Jugendlichen mit 8 ml/kg Körpergewicht angegeben. Um für das Kindes- und Jugendalter Aussagen über die Anwendbarkeit des nach *ADP* berechneten Lungenvolumens treffen zu können, wurden gemessenes (nach *ADP*) und berechnetes Lungenvolumen (nach *ADP* und kinderspezifischer Berechnung) sowie resultierende Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) verglichen.

2.6.2 Messung

Vor jeder Messung fand eine Zwei-Punkt-Kalibrierung der BOD POD[®]-Kapsel statt. Im ersten Schritt wurde das Leervolumen (450 l) der Meßkammer bestimmt. Im zweiten Schritt erfolgte die Messung eines Kalibrierungszyinders, mit einem Volumen von 50,005 l. Während der Kalibrierung wurde das Körpergewicht des Probanden mit der elektronischen Körperwaage, die mit Kapsel und Gerätesoftware (Computer) verbunden war, bestimmt. Zudem wurden Probandendaten, wie Name, Vorname, Körpergröße, Alter, Geschlecht, Name des Anwenders und die gewünschte Berechnungsformel zur Bestimmung der Körperfettmasse (hier: Siri *et al.*, 1956, [21]), in den Computer eingegeben. Anschließend begann die Körpervolumenbestimmung des Probanden. Dazu nahm der Proband in der Meßkammer Platz; danach wurde die Kapsel geschlossen. In 50sekündiger Meßphase wurde - aufgrund der beschriebenen Druckänderungen - das Körpervolumen bestimmt. Nach Öffnen und erneutem Schließen der Kammer, wurde dieser Meßabschnitt wiederholt. Wichen beide Meßwerte um > 150 ml voneinander ab, wurde eine dritte Messung vollzogen.

Das Körpervolumen wurde dann aus den beiden Messungen, deren Abweichungen < 150 ml betragen, berechnet. Wurden weiterhin ausschließlich Abweichungen > 150 ml zwischen zwei Messungen erfaßt, war der gesamte Meßprozeß, mit Kalibrierung, zu wiederholen. Anschließend erfolgte die Bestimmung des Lungenvolumens, wobei, wie oben erwähnt, 1. Messung, 2. Berechnung und 3. Einfügen eines zu einem früheren Zeitpunkt ermittelten Lungenvolumens erfolgen konnten. Für die Bestimmung des Lungenvolumens trug der Proband eine Nasenklammer; der sterile Atemschlauch wurde an der Rückwand der Meßkammer befestigt. Auf Handzeichen nahm der Proband den Atemschlauch in den Mund und atmete in gewohnter Weise durch den Schlauch. [28, 29, 55, 64]

2.6.3 Validierung von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®)

2.6.3.1 Validierung von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) gegen *Dual-energy X-ray absorptiometry* (DEXA) in einer Subpopulation

Für den Vergleich der Körperfettmasse nach *ADP* und *DEXA* wurde eine Studiensubpopulation von 11 Männern und 15 Frauen im Alter von 60 bis 82 Jahren gewählt, da die Veränderung der Körperzusammensetzung im Alter besondere methodische Anforderungen stellt. Eine Validierung in dieser Studiensubpopulation würde die Eignung der Methode für die Bestimmung der Körperzusammensetzung unterstreichen.

2.6.3.2 Validierung von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) gegen das Vier-Kompartiment-Modell nach Selinger *et al.* (1977) in einer Subpopulation

Selinger *et al.* (1977) formulierten ein Vier-Kompartiment-Modell zur Bestimmung der prozentualen Körperfettmasse [65]. Das Modell basiert auf nachstehender Berechnung:

$$FM [\%] = ([2,747 / d [\text{g/cm}^3]] - [0,714 \cdot TBW [\%]] + [1,146 \cdot BMC [\%]] - 2,0503) \cdot 100,$$

wobei:

- FM = Körperfettmasse [%]
- d = Körperdichte [g/cm³]
- TBW = *Total Body Water* (Ganzkörperwasser), [%]
- BMC = *Bone Mineral Content* (Knochenmasse), nach *DEXA* [%]

Abweichend von Selingers Berechnungen wurden im Rahmen dieser Arbeit Körperdichte nach *ADP* und Ganzkörperwasser nach *BIA* berechnet.

2.6.4 Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®)

2.6.4.1 Bestimmung der Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) durch Wiederholungsmessungen von 50-l- und 20-l-Hohlzylindern

Um eine akkurate Bestimmung des Körpervolumens mit *ADP* gewährleisten zu können, wurde die *Präzision* des Geräts durch Wiederholungsmessungen mit Hohlzylindern eines konstanten Volumens von 50,005 l bzw. 20,003 l durchgeführt. Dieses entsprach dem Körpervolumen eines jungen Erwachsenen bzw. dem eines 5- bis 7jährigen Kindes. *Präzision* wurde nach Wells *et al.* (2001) [66], der Variationskoeffizienten (CV), entsprechend Nuñez *et al.* (1999), angegeben [27].

$$\text{Präzision} = \text{SD} / \sqrt{2},$$

wobei: SD = Standardabweichung zwischen den Messungen.

$$\text{Variationskoeffizient (CV)} = (\text{SD} / \text{MW}) \cdot 100,$$

wobei: SD = Standardabweichung zwischen zwei Messungen
MW = Mittelwert zwischen zwei Messungen.

2.6.4.2 Bestimmung der Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) während Wiederholungsmessungen von Kindern und Erwachsenen

Um Aussagen über die Genauigkeit von Wiederholungsmessungen mit *ADP* treffen zu können, wurden bei 10 Kindern (5 Jungen und 5 Mädchen) im mittleren Alter von 11,2 Jahren (7,3 bis 16,4 Jahre) und 12 Erwachsenen (6 Männer und 6 Frauen), die ein Alter im Mittel von 36,1 Jahren (29,0 bis 43,4 Jahre) besaßen, zwei aufeinanderfolgende, vollständige Messungen durchgeführt. Die *Präzision* und der Variationskoeffizienten (CV) wurden entsprechend Wells *et al.* und Nuñez *et al.* (1999), berechnet [66, 27].

2.7 Statistische Auswertung

Die Studienergebnisse wurden mit Excel 97 und SPSS 8.0 für Windows 98 statistisch ausgewertet. Die Angaben erfolgten als arithmetisches Mittel und Standardabweichung. Um Aussagen über die Repräsentativität der Studienstichprobe zu erhalten, wurden die erfaßten *BMI*-Werte von Kindern und Jugendlichen mit Daten von Kromeyer-Hauschild *et al.* (2001) verglichen [67]. Für einen *BMI*-Vergleich der erwachsenen Studienteilnehmer wurden Daten der *Verbundstudie Ernährungserhebung Risikofaktoren Analytik (VERA-Studie)* und der *Nationalen Verzehrsstudie (NVS)* gewählt [68, 69, 70]. Weiterhin erfolgte eine Prüfung auf Normalverteilung mit dem *Kolmogorov-Smirnoff-Test*. Konnte eine Normalverteilung angenommen werden, wurden Vergleiche innerhalb einer Klasse mit gepaartem, Vergleiche zwischen unterschiedlichen Klassen mit ungepaartem *T-Test* durchgeführt. Ergaben sich signifikante Abweichungen von der Normalverteilung, wurde ein *U-Test* nach *Mann und Whitney* vollzogen. War $P \leq 0,05$, wurde von statistisch signifikanten Unterschieden ausgegangen, wobei $P \leq 0,05$ und $> 0,01$ mit *, $P \leq 0,01$ und $> 0,001$ mit ** und $P \leq 0,001$ mit *** gekennzeichnet wurden.

Multiple Regression, die die Grundlage der Formelformulierung bildete, basierte auf nachstehender Gleichung:

$$y_i = a + b_1 \cdot x_{(1)i} + b_2 \cdot x_{(2)i} + E_i,$$

wobei: y_i = abhängige, zu erklärende Variable

a = Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit Achse des Koordinatensystems

b = Steigungsmaß der Regressionsgeraden

x_i = unabhängige, erklärende Variable

E_i = zufälliger Fehler

Als abhängige Variable wurde fettfreie Masse (FFM [kg]) nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) gewählt. Alter, Körpergröße, Körpergewicht, *Body-Mass-Index*, Oberarm-, Taillen-, Hüftumfang, *waist-to-hip ratio*, Trizeps-, Bizeps-, Abdominal-, Suprailiacal-, Subscapularhautfalte, Summe aus Trizeps-, Bizeps-, Suprailiacal-, Subscapularhautfalte sowie Resistanz, Impedanz, Reaktanz, Phasenwinkel, Resistanz- und Impedanz-Index bei 50 kHz stellten unabhängige Variablen dar. Bevor die multiple Regression durchgeführt wurde, erfolgte die Prüfung auf Linearität zwischen der abhängigen und den unabhängigen Variablen mit Streudiagrammen.

Mittels bivariater Korrelationsanalysen wurden signifikante Beziehungen zwischen der abhängigen und den unabhängigen Variablen nachgewiesen. Korrelationsanalyse diente weiterhin der Prüfung auf Multikollinearität zwischen den unabhängigen Variablen. Zur weiteren Multikollinearitätsdiagnose wurde ein Toleranztest durchgeführt. Werte unter 0,1 ließen Multikollinearität vermuten, während bei Werten unter 0,01 von Multikollinearität ausgegangen werden mußte. Die Ergebnisse des Toleranztests wurden weiterhin durch den *Variance Inflation Factor* wiedergegeben. Auch der *Konditionsindex* diente der Prüfung auf Multikollinearität. Dabei wiesen Werte zwischen 10 und 30 auf eine mäßige, Werte über 30 auf eine starke Multikollinearität hin.

Konnte von linearen, signifikanten Beziehungen zwischen der normalverteilten abhängigen und den normalverteilten unabhängigen Variablen ausgegangen und ein Einfluß durch Multikollinearität ausgeschlossen werden, wurden Modelle der *Einschluß-* und *schrittweisen, multiplen Regression* zwischen der abhängigen und den unabhängigen Variablen durchgeführt. Multiple Regression wurde jeweils mit einer kleinen, variierenden Auswahl unabhängiger Variablen, die Multikollinearität zwischen unabhängigen Variablen ausschloß, vollzogen. Um von einer unverzerrten Signifikanzprüfung ausgehen zu können, wurde im Anschluß an die multiple Regression eine Prüfung der Normalverteilung der standardisierten Residuen, an Hand standardisierter Residuenplots, durchgeführt. [71, 72, 73, 74, 75] Neben Standardabweichungen und Korrelationskoeffizienten, wurden *standard errors of estimate (SEE)* zwischen absoluter fettfreier Masse bzw. absoluter Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und dem neuformulierten Algorithmus berechnet:

$$SEE = SD \cdot \sqrt{(1-r^2)}, [76, 77]$$

wobei:

- SEE* = *standard error of estimate*
- SD = Standardabweichung zwischen fettfreier Masse bzw. Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und Kieler Algorithmus
- r^2 = Bestimmtheitsmaß zwischen fettfreier Masse bzw. Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und Kieler Algorithmus

3. Ergebnisse

3.1 Studienergebnisse der Körperzusammensetzung nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Anthropometrie und Bioelektrische Impedanzanalyse, Multifrequenz)

BMI-Werte der Kieler Studienpopulation zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Studienergebnissen nach Kromeyer-Hauschild *et al.* (2001) [67], *VERA-Studie* [68] und *NVS* [69, 70]. Lediglich Jungen in und nach der Pubertät und Mädchen vor der Pubertät weisen mittlere Abweichungen von $> 1,0$ *BMI*-Einheiten (1,2 und 2,0 kg/m²) zu der Stichprobe nach Kromeyer-Hauschild *et al.* (2001) auf [67]. Die genannten Gruppen der Kieler Stichprobe besitzen, im Vergleich zu den Angaben nach Kromeyer-Hauschild *et al.* (2001) [67], einen höheren mittleren *BMI*. Für die Gruppe erwachsener Probanden besteht in der Kieler Stichprobe, insbesondere bei jungen erwachsenen Frauen, ein erhöhter Anteil untergewichtiger Studienteilnehmer. Bei Männern ist der Anteil übergewichtiger Studienteilnehmer (*BMI*: 25 bis 30 kg/m²) geringer. Die Anzahl der adipösen (*BMI*: > 30 kg/m²) Männer und Frauen ≥ 60 Jahre ist größer als in den oben aufgeführten Studiengruppen.

3.1.1 Kinder und Jugendliche

In den Tabellen 1 und 2a, 2b werden die bei Kindern und Jugendlichen densitometrisch und anthropometrisch erfaßten Studienergebnisse aufgeführt.

Tab. 1: Meßdaten der Air Displacement Plethysmography: Kinder und Jugendliche

| | vor der Pubertät (Tanner score ≤ 1) | | in und nach der Pubertät (Tanner score > 1) | |
|--------------------------|--|---------------------|--|----------------|
| | Jungen (n=32) | Mädchen (n=26) | Jungen (n=13) | Mädchen (n=30) |
| Alter[Jahre] | 8,2 ± 1,7 ccc | 7,9 ± 1,0 ccc | 13,7 ± 1,9 | 14,0 ± 2,2 |
| Kgr [cm] | 134,0 ± 9,4 ccc | 133,6 ± 5,8 ccc | 163,1 ± 10,5 | 160,9 ± 10,0 |
| KG [kg] | 28,4 ± 7,0 * ccc | 32,3 ± 7,1 ccc | 54,9 ± 16,2 | 53,8 ± 13,1 |
| BMI [kg/m ²] | 15,6 ± 2,6 ** ccc | 18,0 ± 3,1 cc | 20,3 ± 4,0 | 20,6 ± 4,3 |
| HO [m ²] | 1,03 ± 0,15 ccc | 1,09 ± 0,13 ccc | 1,58 ± 0,25 | 1,55 ± 0,21 |
| ADP | | | | |
| Vb [l] | 26,2 ± 6,9 * ccc | 30,4 ± 7,3 ccc | 50,9 ± 16,0 | 50,3 ± 13,3 |
| Vb _{kor} | 27,3 ± 7,1 * ccc | 31,5 ± 7,4 ccc | 52,7 ± 16,3 | 52,1 ± 13,5 |
| VI [l] | 1,6 ± 0,4 ccc | 1,5 ± 0,3 ccc | 2,6 ± 0,9 | 2,6 ± 0,7 |
| SAA [l] | -0,48 ± 0,07 ccc | -0,51 ± 0,06 ccc | -0,74 ± 0,12 | -0,72 ± 0,10 |
| d [g/cm ³] | 1,044 ± 0,016 ** | 1,029 ± 0,019 c | 1,045 ± 0,025 | 1,037 ± 0,020 |
| FM [%] | 24,2 ± 7,5 *** | 31,4 ± 8,9 c | 24,2 ± 11,5 | 27,6 ± 9,2 |
| FFM [%] | 75,8 ± 7,5 *** | 68,6 ± 8,9 c | 75,9 ± 11,5 | 72,4 ± 9,2 |
| FM [kg] | 7,2 ± 4,0 ** ccc | 10,6 ± 5,0 ccc | 14,0 ± 9,7 | 15,6 ± 8,6 |
| FFM [kg] | 21,2 ± 3,9 ccc | 21,6 ± 2,6 ccc | 40,9 ± 10,3 | 38,2 ± 7,1 |

Kgr: Körpergröße; KG: Körpergewicht; BMI: *Body-Mass-Index* (Körpergewicht/Körpergröße²); HO: Hautoberfläche; ADP: *Air Displacement Plethysmography*; Vb: Körpervolumen; Vb_{kor}: korrigiertes Körpervolumen; VI: Lungenvolumen; SAA: *Surface Area Artifact*; d: Körperdichte; FM: Körperfettmasse, nach Siri *et al.* (1956); FFM: fettfreie Masse, nach Siri *et al.* (1956); *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: P≤0,001; **: P≤0,01; *: P≤0,05); c: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor der Pubertät und Kindern in bzw. nach der Pubertät (ccc: P≤0,001; cc: P≤0,01; c: P≤0,05)

Alter, Körpergröße, -gewicht, *BMI*, Hautoberfläche, Körper-, Lungenvolumen, absolute Körperfett- und fettfreie Masse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) sind bei Kindern vor der Pubertät niedriger (P≤0,01) als bei Kindern in und nach der Pubertät. *SAA* zeigt vor der Pubertät signifikant höhere Werte als in und nach der Pubertät. Vorpupertäre Mädchen besitzen niedrigere Körperdichte, prozentuale fettfreie Masse und höhere prozentuale Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) als Mädchen in und nach der Pubertät (P≤0,05). Sie weisen vor der Pubertät höheres Körpergewicht, *BMI*, Körpervolumen (P≤0,05), Körperfett (absolut und prozentual, nach Siri *et al.*, 1956) (P≤0,01), signifikant niedrigere Körperdichte und prozentuale fettfreie Masse (nach Siri *et al.*, 1956) auf als Jungen vor der Pubertät.

Tab. 2a: Anthropometrische Meßparameter: Kinder und Jugendliche

| | vor der Pubertät (Tanner score ≤ 1) | | in und nach der Pubertät (Tanner score > 1) | |
|-------------------|--|--------------------|--|-------------------|
| | Jungen (n=32) | Mädchen (n=26) | Jungen (n=13) | Mädchen (n=30) |
| Hautfalten | | | | |
| TSF [mm] | 11,9 ± 5,2 *** | 17,7 ± 6,3 | 13,4 ± 8,5 | 16,0 ± 6,5 |
| BSF [mm] | 4,9 ± 4,5 *** | 9,5 ± 5,7 | 8,5 ± 6,8 | 8,2 ± 5,1 |
| ASF [mm] | 8,9 ± 9,7 *** cc | 18,3 ± 9,6 | 18,0 ± 13,5 | 19,5 ± 10,4 |
| SIF [mm] | 10,7 ± 11,5 ** c | 18,7 ± 10,0 c | 21,3 ± 15,1 | 23,5 ± 12,0 |
| SSF [mm] | 6,6 ± 6,5 *** cc | 11,1 ± 6,4 | 13,1 ± 9,5 | 13,3 ± 7,6 |
| Σ4SF [mm] | 34,1 ± 25,5 *** | 56,6 ± 26,5 | 56,3 ± 37,4 | 61,0 ± 28,5 |
| Umfänge | | | | |
| OAU [cm] | 19,3 ± 2,4 *** ccc | 21,3 ± 2,7 ccc | 25,1 ± 3,4 | 24,9 ± 3,8 |
| Taille [cm] | 56,4 ± 6,2 ccc | 59,6 ± 7,1 ccc | 69,8 ± 9,0 | 67,4 ± 9,4 |
| Hüfte [cm] | 66,0 ± 8,2 ** ccc | 71,7 ± 8,2 ccc | 85,2 ± 10,0 | 87,6 ± 10,5 |
| W/h [cm] | 0,86 ± 0,05 * cc | 0,83 ± 0,04 ccc | 0,82 ± 0,03 *** | 0,77 ± 0,05 |
| EBB [cm] | 5,0 ± 0,5 ccc | 5,0 ± 0,4 | 6,1 ± 0,5 *** | 5,5 ± 0,4 |

TSF: Trizeps-, BSF: Bizeps-, ASF: Abdominal-, SIF: Suprailiacal-, SSF: Subscapularhautfalte; Σ 4SF: Summe von TSF+BSF+SIF+SSF; OAU: Oberarmumfang; w/h: *waist-to-hip ratio* (Quotient aus Taillen- und Hüftumfang); EBB: Ellenbogenbreite; *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: P≤0,001; **: P≤0,01; *: P≤0,05); c: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor der Pubertät und Kindern in bzw. nach der Pubertät (ccc: P≤0,001; cc: P≤0,01; c: P≤0,05)

Mit Ausnahme des Taillenumfangs, des *waist-to-hip ratios* und der Ellenbogenbreite sind anthropometrische Meßparameter der Mädchen vor der Pubertät höher (P≤0,01), als die der gleichaltrigen Jungen. *Waist-to-hip ratio* zeigt bei Jungen im vorpubertären Alter höhere Werte als bei Mädchen der gleichen Gruppe (P≤0,05). Für Kinder in und nach der Pubertät werden für *waist-to-hip ratio* und Ellenbogenbreite signifikant höhere Werte bei Jungen, als bei Mädchen festgestellt. Kinder in und nach der Pubertät besitzen signifikant weitere Körperrumfangen als Kinder im vorpubertären Alter. *Waist-to-hip ratio* ist im vorpubertären Alter signifikant höher als bei (post)pubertären Studienteilnehmern. Abdominal-, Suprailiacal-, Subscapularhautfalte und Ellenbogenbreite sind bei (post)pubertären Jungen stärker ausgeprägt als bei Jungen vor der Pubertät (P≤0,05). Mädchen im vorpubertären Alter besitzen signifikant niedrigere Suprailiacalhautfalte als Mädchen in und nach der Pubertät.

In der nachstehenden Tabelle 2b werden prozentuale und absolute Körperfett- und fettfreie Masse nach Hautfaltendickenmessung, nach Algorithmen von Lohman *et al.* (1986) und Deurenberg *et al.* (1990), aufgeführt.

Tab. 2b: Prozentuale und absolute Körperfettmasse sowie fettfreie Masse nach Anthropometrie: Kinder und Jugendliche

| | vor der Pubertät (Tanner score ≤ 1) | | in und nach der Pubertät (Tanner score > 1) | |
|-----------------------------|--|----------------------|--|-------------------|
| | Jungen (n=32) | Mädchen (n=26) | Jungen (n=13) | Mädchen (n=30) |
| FM [%] | | | | |
| Lohman <i>et al.</i> | 14,9 ± 9,4*** cccggg | 24,5 ± 10,8 ggg | 17,9 ± 10,3 * ggg | 24,1 ± 6,8 ggg |
| Deurenberg <i>et al.</i> | 13,4 ± 9,6*** cccggg | 23,1 ± 10,1 ggg | 19,8 ± 9,6 * g | 26,9 ± 10,8 |
| FFM [%] | | | | |
| Lohman <i>et al.</i> | 85,1 ± 9,4*** cccggg | 75,5 ± 10,8 ggg | 82,1 ± 10,3 * ggg | 75,9 ± 6,8 ggg |
| Deurenberg <i>et al.</i> | 86,6 ± 9,6*** cccggg | 76,9 ± 10,1 ggg | 80,2 ± 9,6 * g | 73,1 ± 10,8 |
| FM [kg] | | | | |
| Lohman <i>et al.</i> | 4,7 ± 4,3 *** cccggg | 8,6 ± 5,0 ccggg | 10,5 ± 8,0 ggg | 13,8 ± 6,6 gg |
| Deurenberg <i>et al.</i> | 4,4 ± 4,3 *** cccggg | 8,5 ± 4,5 cccggg | 11,7 ± 8,1 gg | 15,6 ± 8,9 |
| FFM [kg] | | | | |
| Lohman <i>et al.</i> | 23,7 ± 3,8*** cccggg | 24,0 ± 2,7 cccggg | 44,3 ± 11,1 ggg | 40,0 ± 7,2 gg |
| Deurenberg <i>et al.</i> | 24,5 ± 3,7*** cccggg | 25,0 ± 2,6 cccggg | 43,2 ± 10,1 gg | 38,2 ± 5,7 |

FM: Körperfettmasse; FFM: fettfreie Masse; *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: $P \leq 0,001$; *: $P \leq 0,05$); c: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor der Pubertät und Kindern in bzw. nach der Pubertät (ccc: $P \leq 0,001$; cc: $P \leq 0,01$); g: statistisch signifikante Unterschiede zur Körperfett- bzw. fettfreien Masse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (ggg: $P \leq 0,001$; gg: $P \leq 0,01$; g: $\leq 0,05$)

In beiden Pubertätsgruppen ist prozentuale Körperfettmasse (nach Lohman *et al.*, 1986, und Deurenberg *et al.*, 1990) bei Mädchen höher, prozentuale fettfreie Masse niedriger als bei Jungen ($P \leq 0,05$). Zudem zeigt absolute Körperfettmasse (nach Lohman *et al.*, 1986, und Deurenberg *et al.*, 1990) für Mädchen höhere Werte als für Jungen. Diese Ergebnisse sind nur für vorpubertäre Studienteilnehmer signifikant. Absolute fettfreie Masse (nach Lohman *et al.*, 1986, und Deurenberg *et al.*, 1990) zeigt bei vorpubertären Mädchen höhere Werte als für vorpubertäre Jungen ($P \leq 0,001$). Prozentuale Körperfettmasse (nach Lohman *et al.*, 1986, und Deurenberg *et al.*, 1990) ist bei vorpubertären Jungen niedriger, prozentuale fettfreie Masse (nach Lohman *et al.*, 1986, und Deurenberg *et al.*, 1990) höher, als im (post)pubertären Alter ($P \leq 0,001$). Hingegen weisen absolute Körperfettmasse und absolute fettfreie Masse (nach

Lohman *et al.*, 1986, und Deurenberg *et al.*, 1990) bei Kindern vor der Pubertät niedrigere Werte als in und nach der Pubertät auf ($P \leq 0,01$).

Körperfett- und fettfreie Masse, sowohl absolut als auch prozentual, zeigen nach Lohman *et al.* (1986) und Deurenberg *et al.* (1990) - mit Ausnahme der Berechnungen nach Deurenberg *et al.* (1990) für Mädchen in und nach der Pubertät - signifikante Unterschiede zur Referenzmethode (ADP). Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung ist signifikant niedriger, fettfreie Masse (nach Lohman *et al.*, 1986, und Deurenberg *et al.*, 1990) signifikant höher als nach ADP (nach Siri *et al.*, 1956).

Tabelle 3a informiert über Meßergebnisse der tetrapolaren BIA (1 bis 100 kHz).

Tab. 3a: Meßergebnisse der Bioelektrischen Impedanzanalyse (1 bis 100 kHz): Kinder und Jugendliche

| | vor der Pubertät (Tanner score ≤ 1) | | in und nach der Pubertät (Tanner score > 1) | |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|---------------------------------|
| | Jungen (n=32) | Mädchen(n=26) | Jungen (n=13) | Mädchen (n=30) |
| Z_1 [Ω] | 842,2 \pm 92,9 ccc | 856,3 \pm 75,9 cc | 719,2 \pm 116,5 ** | 802,6 \pm 82,2 |
| Z_5 [Ω] | 832,1 \pm 88,1 ccc ^{tt} | 843,8 \pm 67,4 cc ^{ttt} | 700,7 \pm 104,6 ** ^t | 779,1 \pm 77,5 ^{ttt} |
| Z_{50} [Ω] | 760,8 \pm 85,0 ccc ^{ttt} | 770,9 \pm 64,7 ccc ^{ttt} | 623,8 \pm 94,9 ** ^{ttt} | 696,0 \pm 71,0 ^{ttt} |
| Z_{100} [Ω] | 723,9 \pm 81,8 ccc ^{ttt} | 733,0 \pm 63,1 ccc ^{ttt} | 594,1 \pm 93,2 ** ^{ttt} | 660,7 \pm 67,6 ^{ttt} |
| R_1 [Ω] | 842,2 \pm 92,9 ccc | 856,3 \pm 75,9 cc | 719,2 \pm 116,5 ** | 802,6 \pm 82,2 |
| R_5 [Ω] | 831,3 \pm 88,1 ccc ^{tt} | 843,0 \pm 67,4 cc ^{ttt} | 699,8 \pm 104,6 ** ^t | 778,2 \pm 77,5 ^{ttt} |
| R_{50} [Ω] | 757,5 \pm 84,8 ccc ^{ttt} | 767,7 \pm 64,6 cc ^{ttt} | 620,4 \pm 94,2 ** ^{ttt} | 692,5 \pm 70,7 ^{ttt} |
| R_{100} [Ω] | 720,3 \pm 81,5 ccc ^{ttt} | 729,5 \pm 63,0 ccc ^{ttt} | 591,0 \pm 92,5 ** ^{ttt} | 657,4 \pm 67,2 ^{ttt} |
| Xc_1 [Ω] | 0,0 \pm 0,0 | 0,0 \pm 0,0 | 0,0 \pm 0,0 | 0,0 \pm 0,0 |
| Xc_5 [Ω] | 34,8 \pm 6,2 ^{ttt} | 36,3 \pm 4,7 ^{ttt} | 33,2 \pm 6,0 ^{ttt} | 34,6 \pm 10,1 ^{ttt} |
| Xc_{50} [Ω] | 70,6 \pm 7,0 ^{ttt} | 70,8 \pm 6,5 ^{tt} | 64,6 \pm 15,8 ^{ttt} | 69,4 \pm 10,4 ^{ttt} |
| Xc_{100} [Ω] | 72,0 \pm 7,4 cc ^{tt} | 71,4 \pm 6,9 c ^{ttt} | 59,8 \pm 13,4 ^t | 65,7 \pm 9,7 ^{ttt} |
| α_1 [$^\circ$] | 0,0 \pm 0,0 | 0,0 \pm 0,0 | 0,0 \pm 0,0 | 0,0 \pm 0,0 |
| α_5 [$^\circ$] | 2,3 \pm 0,6 c ^{ttt} | 2,4 \pm 0,6 ^{ttt} | 2,7 \pm 0,5 ^{ttt} | 2,6 \pm 0,8 ^{ttt} |
| α_{50} [$^\circ$] | 5,3 \pm 0,4 cc ^{ttt} | 5,3 \pm 0,4 cc ^{tt} | 5,9 \pm 1,0 ^{ttt} | 5,7 \pm 0,6 ^{ttt} |
| α_{100} [$^\circ$] | 5,7 \pm 0,3 ^{ttt} | 5,6 \pm 0,4 ^{ttt} | 5,8 \pm 0,7 | 5,7 \pm 0,6 |
| ZI_1 [cm^2/Ω] | 21,7 \pm 3,7 ccc | 21,0 \pm 2,6 ccc | 38,6 \pm 10,6 * | 32,7 \pm 5,5 |
| ZI_5 [cm^2/Ω] | 21,9 \pm 3,7 ccc ^{tt} | 21,3 \pm 2,4 ccc ^{ttt} | 39,5 \pm 10,7 ** ^{tt} | 33,7 \pm 5,5 ^{ttt} |
| ZI_{50} [cm^2/Ω] | 24,0 \pm 4,3 ccc ^{ttt} | 23,4 \pm 2,8 ccc ^{ttt} | 44,5 \pm 12,3 ** ^{ttt} | 37,8 \pm 6,3 ^{ttt} |
| ZI_{100} [cm^2/Ω] | 25,2 \pm 4,6 ccc ^{ttt} | 24,6 \pm 3,0 ccc ^{ttt} | 46,8 \pm 13,2 ** ^{ttt} | 39,8 \pm 6,7 ^{ttt} |
| RI_1 [cm^2/Ω] | 21,7 \pm 3,7 ccc | 21,0 \pm 2,6 ccc | 38,6 \pm 10,6 * | 32,7 \pm 5,5 |
| RI_5 [cm^2/Ω] | 21,9 \pm 3,7 ccc ^{tt} | 21,3 \pm 2,4 ccc ^{ttt} | 39,6 \pm 10,7 ** ^{tt} | 33,7 \pm 5,5 ^{ttt} |
| RI_{50} [cm^2/Ω] | 24,1 \pm 4,3 ccc ^{ttt} | 23,5 \pm 2,8 ccc ^{ttt} | 44,7 \pm 12,4 ** ^{ttt} | 38,0 \pm 6,3 ^{ttt} |
| RI_{100} [cm^2/Ω] | 25,4 \pm 4,6 ccc ^{ttt} | 24,7 \pm 3,0 ccc ^{ttt} | 47,0 \pm 13,2 ** ^{ttt} | 40,0 \pm 6,7 ^{ttt} |

Z: Impedanz bei 1, 5, 50, 100 kHz; R: Resistanz bei 1, 5, 50, 100 kHz; Xc: Reaktanz bei 1, 5, 50, 100 kHz; α : Phasenwinkel bei 1, 5, 50, 100 kHz; ZI: Impedanz-Index (Körpergröße²/Z) bei 1, 5, 50, 100 kHz; RI: Resistanz-Index (Körpergröße²/R) bei 1, 5, 50, 100 kHz; *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (**: $P \leq 0,01$; *: $P \leq 0,05$); c: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor und Kindern in bzw. nach der Pubertät (ccc: $P \leq 0,001$, cc: $P \leq 0,01$, c: $P \leq 0,05$); ^t: signifikante Unterschiede zur vorigen Frequenz (^{ttt}: $P \leq 0,001$; ^{tt}: $P \leq 0,01$; ^t: $P \leq 0,05$)

Mädchen beider Pubertätsklassen besitzen bei allen Frequenzen höhere Impedanz, Resistanz und Reaktanz als Jungen. Nur bei 100 kHz ist die Reaktanz vorpubertärer Jungen höher als bei Mädchen vor der Pubertät. Für Kinder in und nach der Pubertät sind diese Geschlechtsunterschiede (mit Ausnahme der Reaktanz) signifikant. Resistanz- und Impedanz-Indizes weisen bei Jungen höhere Werte auf als bei Mädchen ([post]pubertäres Alter: $P \leq 0,05$). Impedanz ($P \leq 0,01$), Resistanz ($P \leq 0,01$) und Reaktanz (100 kHz: $P \leq 0,05$) zeigen im vorpubertären Alter höhere, Resistanz- und Impedanz-Indizes ($P \leq 0,001$) niedrigere Werte als bei Kindern in und nach der Pubertät. Phasenwinkel α ist bei 50 kHz bei Kindern vor der Pubertät signifikant niedriger als im (post)pubertären Alter. Dies gilt für Jungen auch für die 5-kHz-Frequenz. In allen Gruppen nehmen Impedanz und Resistanz mit zunehmender Frequenz ab ($P \leq 0,05$). Reaktanz und Phasenwinkel nehmen im vorpubertären Alter stetig mit der Frequenz zu ($P \leq 0,01$). Bei Kindern in und nach der Pubertät zeigen Reaktanz und Phasenwinkel zunächst (1 bis 50 kHz) eine Zunahme ($P \leq 0,001$), auf die, bei 100 kHz, eine Abnahme folgt. Diese Abnahme ist für Reaktanz, nicht jedoch Phasenwinkel α , signifikant. Bei Mädchen in und nach der Pubertät besteht zwischen 50 und 100 kHz keine Abnahme des Phasenwinkels, sondern Wertekonstanz. Für Impedanz- und Resistanz-Indizes werden in allen Gruppen stetige Anstiege mit steigender Frequenz verzeichnet ($P \leq 0,01$).

Die nach BIA (bei der Standardfrequenz von 50 kHz) berechnete Körperfett- und fettfreie Masse wird in Tabelle 3b dargestellt. Für die Berechnungen wurden Formeln der Autoren Houtkooper *et al.* (1989), Schaefer *et al.* (1994) und Goran *et al.* (1996) gewählt.

Tab. 3b: Prozentuale und absolute Körperfettmasse sowie fettfreie Masse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse: Kinder und Jugendliche

| | vor der Pubertät (Tanner score ≤ 1) | | in und nach der Pubertät (Tanner score >1) | |
|-----------------------------|--|----------------------|---|--------------------|
| | Jungen (n=32) | Mädchen (n=26) | Jungen (n=13) | Mädchen (n=30) |
| FM [%] | | | | |
| Houtkooper <i>et al.</i> | 17,9 ± 3,7 *** ccggg | 22,7 ± 5,2 cccggg | 22,6 ± 7,9 * gg | 29,0 ± 9,6 ggg |
| Schaefer <i>et al.</i> | 22,8 ± 8,6 *** c | 33,8 ± 10,9 gg | 26,3 ± 10,2 * gg | 34,3 ± 10,2 ggg |
| Goran <i>et al.</i> | 16,6 ± 5,6 *** ggg | 24,4 ± 5,9 ggg | 20,8 ± 5,9 ggg | 23,6 ± 4,2 ggg |
| FFM [%] | | | | |
| Houtkooper <i>et al.</i> | 82,1 ± 3,7 *** ccggg | 77,3 ± 5,2 cccggg | 77,4 ± 7,9 * gg | 71,0 ± 9,6 ggg |
| Schaefer <i>et al.</i> | 77,2 ± 8,6 *** c | 66,2 ± 10,9 gg | 73,7 ± 10,2 * gg | 65,7 ± 10,2 ggg |
| Goran <i>et al.</i> | 83,4 ± 5,6 *** ggg | 75,6 ± 5,9 ggg | 79,2 ± 5,9 ggg | 76,4 ± 4,2 ggg |
| FM [kg] | | | | |
| Houtkooper <i>et al.</i> | 5,3 ± 2,5 *** cccggg | 7,6 ± 3,4 cccggg | 13,1 ± 8,4 gg | 16,7 ± 9,8 ggg |
| Schaefer <i>et al.</i> | 7,1 ± 4,3 *** ccc | 11,6 ± 5,8 cccggg | 16,4 ± 9,5 gg | 19,5 ± 10,3 ggg |
| Goran <i>et al.</i> | 5,0 ± 3,1 *** cccggg | 8,2 ± 3,5 cccggg | 11,7 ± 5,6 gg | 13,2 ± 5,3 gg |
| FFM [kg] | | | | |
| Houtkooper <i>et al.</i> | 23,1 ± 4,8 *** cccggg | 24,6 ± 3,8 cccggg | 41,8 ± 9,6 * gg | 37,1 ± 5,6 ggg |
| Schaefer <i>et al.</i> | 21,4 ± 3,7 *** ccc | 20,7 ± 2,1 cccggg | 38,5 ± 8,9 gg | 34,3 ± 5,1 ggg |
| Goran <i>et al.</i> | 23,4 ± 4,3 *** cccggg | 24,1 ± 3,8 cccggg | 43,2 ± 11,8 gg | 40,6 ± 8,1 gg |

FM: Körperfettmasse; FFM: fettfreie Masse; *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: $P \leq 0,001$; *: $P \leq 0,05$); c: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor der Pubertät und Kindern in bzw. nach der Pubertät (ccc $\leq 0,001$; cc: $P \leq 0,01$; c: $P \leq 0,05$); g: statistisch signifikante Unterschiede zur Körperfett- bzw. fettfreien Masse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (ggg: $P \leq 0,001$; gg: $P \leq 0,01$; g: $\leq 0,05$)

Nach allen Berechnungsformeln wird - mit Ausnahme der Berechnungen nach Goran *et al.* (1996) für (post)pubertäre Kinder ($P > 0,05$) - für Mädchen beider Pubertätsklassen signifikant höhere prozentuale Körperfettmasse und signifikant niedrigere prozentuale fettfreie Masse erkannt als für Jungen. Diese Geschlechtsunterschiede sind im vorpubertären Alter auch für die absolute Körperfettmasse signifikant. Absolute fettfreie Masse ist im vorpubertären Alter nach Houtkooper *et al.* (1989) und Goran *et al.* (1996) bei Jungen niedriger, nach Schaefer *et al.* (1994) höher als bei Mädchen ($P \leq 0,001$). Im (post)pubertären Alter besteht nur nach Houtkooper *et al.* (1989) signifikant höhere fettfreie Masse für Jungen als für Mädchen. Nach Houtkooper *et al.* (1989) besitzen Kinder vor der Pubertät niedrigere prozentuale

Körperfettmasse, höhere prozentuale fettfreie Masse, als Kinder in und nach der Pubertät ($P \leq 0,01$). Auch nach Schaefer *et al.* (1994) wird für vorpubertäre Jungen niedrigere prozentuale Körperfettmasse, höhere prozentuale fettfreie Masse, als im (post)pubertären Alter ($P \leq 0,05$) deutlich. Sowohl für die absolute Körperfettmasse als auch die fettfreie Masse bestehen nach allen Berechnungsformeln für Kinder im vorpubertären Alter signifikant niedrigere Werte als in und nach der Pubertät. Signifikante Unterschiede zur Körperfett- und fettfreien Masse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956) werden absolut und prozentual gegenüber den Berechnungen nach Houtkooper *et al.* (1989) für das vorpubertäre Alter, nach Schaefer *et al.* (1994) für Mädchen beider Pubertätsklassen und nach Goran *et al.* (1996) für vorpubertäre Jungen und Mädchen sowie Mädchen in und nach der Pubertät verzeichnet. Weiterhin besteht für Jungen in und nach der Pubertät für absolute Körperfett- und fettfreie Masse nach Schaefer *et al.* (1994) eine signifikante Abweichung zur absoluten Körperfett- und fettfreien Masse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956). Im Vergleich zur Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956) werden absolute und prozentuale Körperfettmasse durch die Berechnungen nach Houtkooper *et al.* (1989) und Goran *et al.* (1996) unter-, nach Schaefer *et al.* (1994) überschätzt. Bei absoluter und prozentualer fettfreien Masse finden, im Vergleich zur Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956), Überschätzungen durch die Berechnungen nach Houtkooper *et al.* (1989) und Goran *et al.* (1996) statt, während durch Schaefer's Algorithmus eine Unterschätzung erfolgt. Ausnahmen stellen für die Berechnungen nach Schaefer *et al.* (1994) Jungen vor der Pubertät dar ($P > 0,05$).

3.1.2 Erwachsene

Wie zuvor für das Kindes- und Jugendalter werden durch die Tabellen 4 bis 6 Studienergebnisse der Densitometrie, Anthropometrie und BIA erwachsener Probanden wiedergegeben.

Tab. 4: Meßdaten nach Air Displacement Plethysmography: Erwachsene

| | < 60 Jahre | | ≥ 60 Jahre | |
|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------|---------------|
| | Männer (n=45) | Frauen (n=104) | Männer (n=13) | Frauen (n=21) |
| Alter[Jahre] | 32,6 ± 9,5 eee | 29,8 ± 9,7 eee | 66,9 ± 6,0 | 68,1 ± 5,8 |
| Kgr [cm] | 181,3 ± 6,8 *** eee | 168,4 ± 5,8 eee | 173,3 ± 9,7 *** | 162,6 ± 5,4 |
| KG [kg] | 80,3 ± 12,7 *** | 66,4 ± 12,9 | 79,6 ± 16,5 * | 70,8 ± 9,3 |
| BMI [kg/m ²] | 24,4 ± 3,5 | 23,4 ± 4,5 eee | 26,3 ± 4,0 | 26,7 ± 3,1 |
| HO [m ²] | 2,01 ± 0,17 *** | 1,75 ± 0,16 | 1,93 ± 0,23 ** | 1,76 ± 0,13 |
| ADP | | | | |
| Vb [l] | 73,4 ± 13,3 *** | 62,5 ± 13,7 | 74,6 ± 16,5 | 68,1 ± 9,7 |
| Vb _{kor} [l] | 76,1 ± 13,3 *** | 64,6 ± 13,7 | 77,0 ± 16,4 | 70,2 ± 9,7 |
| VI [l] | 4,3 ± 0,8 *** e | 3,2 ± 0,5 | 3,8 ± 1,3 | 3,3 ± 0,7 |
| SAA [l] | -0,94 ± 0,08 *** | -0,82 ± 0,07 | -0,90 ± 0,11 ** | -0,82 ± 0,06 |
| d [g/cm ³] | 1,057±0,020 *** eee | 1,032 ± 0,019 eee | 1,036 ± 0,014*** | 1,009 ± 0,013 |
| FM [%] | 18,4 ± 9,1 *** eee | 30,0 ± 9,1 eee | 28,0 ± 6,6 *** | 40,8 ± 6,2 |
| FFM [%] | 81,6 ± 9,1 *** eee | 70,0 ± 9,1 eee | 72,0 ± 6,6 *** | 59,2 ± 6,2 |
| FM [kg] | 15,4 ± 9,9 ** e | 20,9 ± 10,5 eee | 22,8 ± 8,6 * | 29,2 ± 6,9 |
| FFM [kg] | 63,2 ± 11,3 *** ee | 45,5 ± 4,7 eee | 56,9 ± 11,1 *** | 41,6 ± 4,8 |

Kgr: Körpergröße; KG: Körpergewicht; BMI: *Body-Mass-Index* (Körpergewicht/Körpergröße²); HO: Hautoberfläche; ADP: *Air Displacement Plethysmography*; Vb: Körpervolumen; Vb_{kor}: korrigiertes Körpervolumen; VI: Lungenvolumen; SAA: *Surface Area Artifact*; d: Körperdichte; FM: Körperfettmasse, nach Siri *et al.* (1956); FFM: fettfreie Masse, nach Siri *et al.* (1956); *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: P≤0,001; **: P≤0,01; *: P≤0,05); e: statistisch signifikante Unterschiede zwischen <60- und ≥60-Jährigen (eee: P≤0,001, ee: P≤0,01, e: P≤0,05)

Männer beider Altersklassen sind größer und schwerer als Frauen (P≤0,05). Zudem besitzen sie signifikant größere Hautoberfläche, Körperdichte und fettfreie Masse (absolut und prozentual, nach Siri *et al.*, 1956) sowie signifikant geringere SAA, absolute und prozentuale Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) als Frauen. Körper- und Lungenvolumen sind bei

unter 60jährigen Männern signifikant höher als bei gleichaltrigen Frauen. Männer und Frauen unter 60 Jahren sind jünger, größer und weisen höhere Körperdichte und fettfreie Masse (absolut und prozentual, nach Siri *et al.*, 1956) sowie niedrigere absolute und prozentuale Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) auf als Probanden ≥ 60 Jahre ($P \leq 0,05$). Männer unter 60 Jahren lassen signifikant größeres Lungenvolumen als Männer ≥ 60 Jahren, erkennen. Unter 60jährige Frauen besitzen signifikant niedrigeren *BMI* als Frauen ≥ 60 Jahre.

Tab. 5a: Anthropometrische Meßparameter: Erwachsene

| | < 60 Jahre | | ≥ 60 Jahre | |
|-------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Männer (n=45) | Frauen (n=104) | Männer (n=13) | Frauen (n=21) |
| Hautfalten | | | | |
| TSF [mm] | 9,4 \pm 6,4*** e | 17,8 \pm 6,4 e | 13,9 \pm 6,4 ** | 21,0 \pm 6,9 |
| BSF [mm] | 5,7 \pm 4,5 *** eee | 9,7 \pm 5,4 eee | 13,4 \pm 6,0 | 15,7 \pm 6,8 |
| ASF [mm] | 16,4 \pm 9,5 * | 20,2 \pm 11,2 | 18,1 \pm 14,1 ² | 26,4 \pm 13,9 ³ |
| SIF [mm] | 20,3 \pm 11,0 | 21,1 \pm 9,8 | 16,1 \pm 6,6 | 21,9 \pm 9,8 |
| SSF [mm] | 15,1 \pm 6,7 | 15,7 \pm 8,5 e | 18,7 \pm 5,7 | 20,0 \pm 6,9 |
| Σ 4SF [mm] | 50,6 \pm 26,1 ** | 64,3 \pm 26,2 e | 62,1 \pm 20,1 * | 78,6 \pm 22,4 |
| Umfänge | | | | |
| OAU [cm] | 29,6 \pm 2,2 *** | 27,4 \pm 3,3 | 29,7 \pm 3,2 | 28,3 \pm 2,3 |
| Taille [cm] | 84,0 \pm 10,7 *** ee | 74,4 \pm 11,0 eee | 93,9 \pm 13,1 | 86,6 \pm 8,4 |
| Hüfte [cm] | 96,9 \pm 7,4 | 97,9 \pm 10,8 | 100,4 \pm 9,7 | 102,2 \pm 10,2 |
| w/h [cm] | 0,87 \pm 0,07 *** eee | 0,76 \pm 0,06 eee | 0,93 \pm 0,06 ** | 0,85 \pm 0,10 |
| EBB [cm] | 6,9 \pm 0,5 *** eee | 5,9 \pm 0,5 eee | 7,6 \pm 0,6 *** | 6,5 \pm 0,8 |

TSF: Trizeps-, BSF: Bizeps-, ASF: Abdominal-, SIF: Suprailiacal-, SSF: Subscapularhautfalte; Σ 4SF: Summe von TSF+BSF+SIF+SSF; OAU: Oberarmumfang; w/h: *waist-to-hip ratio* (Quotient aus Taillen- und Hüftumfang); EBB: Ellenbogenbreite; *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: $P \leq 0,001$; **: $P \leq 0,01$; *: $P \leq 0,05$); e: statistisch signifikante Unterschiede zwischen <60- und ≥ 60 -Jährigen (eee: $P \leq 0,001$, ee: $P \leq 0,01$, e: $P \leq 0,05$); ²: n=3; ³: n=6

Trizeps- und Bizeps- Hautfalte und Summe aus Trizeps-, Bizeps-, Subscapular- und Suprailiacal- Hautfalte sind bei Männern beider Altersklassen signifikant niedriger, *waist-to-hip ratio* und Ellenbogenbreite signifikant höher als bei gleichaltrigen Frauen. In der Altersgruppe unter 60 Jahren werden für Bizeps- und Abdominal- Hautfalte bei Männern niedrigere Werte deutlich als bei Frauen ($P \leq 0,05$). Hingegen sind Oberarm- und Taillenumfang von Männern dieser Altersklasse größer als von Frauen ($P \leq 0,001$). Männer und Frauen unter 60 Jahren besitzen signifikant niedrigere Trizeps- und Bizeps- Hautfalte, Taillenumfang, *waist-to-hip ratio* und

Ellenbogenbreite als Probanden ≥ 60 Jahre. Für Frauen unter 60 Jahren werden signifikant geringere Subscapularhautfalte und Summe aus Trizeps-, Bizeps-, Subscapular- und Suprailiacalhautfalte erkannt als für Frauen ≥ 60 Jahre.

Prozentuale und absolute Körperfett- und fettfreie Masse nach Hautfaltendickenmessung, beruhend auf Berechnungen nach Brožek *et al.* (1963), werden in Tabelle 5b aufgeführt.

Tab. 5b: Prozentuale und absolute Körperfettmasse sowie fettfreie Masse nach Anthropometrie: Erwachsene

| | < 60 Jahre | | ≥ 60 Jahre | |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|
| | Männer (n=45) | Frauen (n=104) | Männer (n=13) | Frauen (n=21) |
| FM [%] | | | | |
| Brožek <i>et al.</i> | 19,2 \pm 6,4 *** eee | 29,1 \pm 6,1 eee | 28,1 \pm 4,7 *** | 36,9 \pm 4,7 ggg |
| FFM [%] | | | | |
| Brožek <i>et al.</i> | 80,8 \pm 6,4 *** eee | 70,9 \pm 6,1 eee | 71,9 \pm 4,7 *** | 63,1 \pm 4,7 ggg |
| FM [kg] | | | | |
| Brožek <i>et al.</i> | 15,9 \pm 7,4 ** ee | 20,0 \pm 7,9 eeegg | 22,8 \pm 7,5 | 26,4 \pm 5,8 ggg |
| FFM [kg] | | | | |
| Brožek <i>et al.</i> | 64,4 \pm 6,9 *** eee | 46,4 \pm 5,7 egg | 56,8 \pm 10,0 | 44,4 \pm 4,4 ggg |

FM: Körperfettmasse; FFM: fettfreie Masse; *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: $P \leq 0,001$; **: $P \leq 0,01$); e: statistisch signifikante Unterschiede zwischen <60 - und ≥ 60 -Jährigen (eee: $P \leq 0,001$, ee: $P \leq 0,01$, e: $P \leq 0,05$); g: statistisch signifikante Unterschiede zur Fett- bzw. fettfreien Masse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (ggg: $P \leq 0,001$; gg: $P \leq 0,01$)

Prozentuale - für unter 60-Jährige auch absolute - Körperfettmasse, nach Brožek *et al.* (1963), ist bei Männern beider Altersklassen signifikant niedriger, prozentuale - in der Gruppe unter 60 Jahren auch absolute - fettfreie Masse, nach Brožek *et al.* (1963), signifikant höher als für gleichaltrige Frauen. Männer und Frauen unter 60 Jahren besitzen signifikant niedrigere absolute und prozentuale Körperfettmasse (nach Brožek *et al.*, 1963), höhere absolute und prozentuale fettfreie Masse, nach Brožek *et al.* (1963) als Probanden ≥ 60 Jahre ($P \leq 0,001$). Prozentuale Körperfett- und fettfreie Masse nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.* (1963), zeigen bei Frauen ≥ 60 Jahre signifikante Abweichungen zu den Berechnungen nach ADP, nach Siri *et al.* (1956). Werden Absolutwerte betrachtet, bestehen auch bei Frauen unter 60 Jahren signifikante Abweichungen. Im Vergleich zu den Meßergebnissen nach ADP, nach Siri *et al.* (1956), wird Körperfettmasse durch Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) unter-, fettfreie Masse überschätzt ($P \leq 0,01$).

Tab. 6a: Meßergebnisse der Bioelektrischen Impedanzanalyse (1 bis 100 kHz):

Erwachsene

| | < 60 Jahre | | ≥ 60 Jahre | |
|---------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| | Männer (n=45) | Frauen (n=104) | Männer (n=13) | Frauen (n=21) |
| Z_1 [Ω] | 653,1 ± 64,8 *** | 749,0 ± 88,9 eee | 624,8 ± 103,0 | 654,3 ± 118,3 |
| Z_5 [Ω] | 620,0 ± 51,2*** ^{ttt} | 732,5 ± 77,9eee ^{ttt} | 592,9 ± 73,5 ** ^t | 667,3 ± 68,5 |
| Z_{50} [Ω] | 532,2 ± 47,9*** ^{ttt} | 647,8 ± 73,7 ee ^{ttt} | 522,4 ± 67,9*** ^{ttt} | 597,6 ± 60,5 ^{ttt} |
| Z_{100} [Ω] | 499,8 ± 46,2*** ^{ttt} | 613,8 ± 72,5 ee ^{ttt} | 496,0 ± 65,6*** ^{ttt} | 570,0 ± 58,4 ^{ttt} |
| R_1 [Ω] | 653,1 ± 64,8 *** | 749,1 ± 88,9 eee | 624,9 ± 103,0 | 654,3 ± 118,3 |
| R_5 [Ω] | 619,0 ± 51,3*** ^{ttt} | 731,4 ± 77,9eee ^{ttt} | 592,1 ± 73,6 *** ^{tt} | 665,8 ± 68,8 |
| R_{50} [Ω] | 528,2 ± 47,8*** ^{ttt} | 644,1 ± 73,6 ee ^{ttt} | 519,7 ± 67,9*** ^{ttt} | 595,0 ± 60,3 ^{ttt} |
| R_{100} [Ω] | 496,5 ± 46,2*** ^{ttt} | 610,5 ± 72,4 ee ^{ttt} | 493,7 ± 65,5*** ^{ttt} | 567,7 ± 58,2 ^{ttt} |
| X_{c1} [Ω] | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 |
| X_{c5} [Ω] | 34,7 ± 7,3** ^e ^{ttt} | 39,2 ± 10,3 ^{ttt} | 29,3 ± 10,3 *** ^{ttt} | 41,9 ± 16,0 ^{ttt} |
| X_{c50} [Ω] | 64,8 ± 6,5** ^{eee} ^{ttt} | 68,7 ± 8,4 eee ^{ttt} | 52,9 ± 7,5 ^{ttt} | 56,4 ± 7,5 ^{ttt} |
| X_{c100} [Ω] | 57,1 ± 5,9*** ^{eee} ^{ttt} | 63,2 ± 8,1 eee ^{ttt} | 47,6 ± 6,5 ^{ttt} | 50,7 ± 7,0 ^{ttt} |
| α_1 [°] | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 |
| α_5 [°] | 3,2 ± 0,7 ^{ttt} | 3,1 ± 0,9 e ^{ttt} | 2,9 ± 1,0 ^{ttt} | 3,6 ± 1,6 ^{ttt} |
| α_{50} [°] | 7,0 ± 0,7*** ^{eee} ^{ttt} | 6,1 ± 0,7 eee ^{ttt} | 5,8 ± 0,8 ^{ttt} | 5,4 ± 0,5 ^{ttt} |
| α_{100} [°] | 6,6 ± 0,6*** ^{eee} ^{ttt} | 5,9 ± 0,6 eee ^{ttt} | 5,5 ± 0,6 *** ^{ttt} | 5,1 ± 0,5 ^{ttt} |
| ZI_1 [cm ² /Ω] | 50,7 ± 5,0 *** | 38,4 ± 4,7 ee | 49,6 ± 10,7 | 42,5 ± 12,7 |
| ZI_5 [cm ² /Ω] | 53,4 ± 5,5 *** ^{ttt} | 39,1 ± 4,5 ^{ttt} | 51,7 ± 9,8 *** ^t | 40,1 ± 5,0 |
| ZI_{50} [cm ² /Ω] | 62,3 ± 6,7 *** ^{ttt} | 44,3 ± 5,4 ^{ttt} | 58,8 ± 11,3 *** ^{ttt} | 44,7 ± 5,5 ^{ttt} |
| ZI_{100} [cm ² /Ω] | 66,3 ± 7,1 *** ^{ttt} | 46,8 ± 5,8 ^{ttt} | 62,0 ± 12,0 *** ^{ttt} | 46,9 ± 5,9 ^{ttt} |
| RI_1 [cm ² /Ω] | 50,7 ± 5,0 *** | 38,4 ± 4,7 ee | 49,6 ± 10,7 | 42,5 ± 12,7 |
| RI_5 [cm ² /Ω] | 53,5 ± 5,6 *** ^{ttt} | 39,2 ± 4,5 ^{ttt} | 51,8 ± 9,8 *** ^{tt} | 40,2 ± 5,0 |
| RI_{50} [cm ² /Ω] | 62,7 ± 6,7 *** ^{ttt} | 44,6 ± 5,4 ^{ttt} | 59,1 ± 11,4 *** ^{ttt} | 44,9 ± 5,6 ^{ttt} |
| RI_{100} [cm ² /Ω] | 66,8 ± 7,2 *** ^{ttt} | 47,1 ± 5,8 ^{ttt} | 62,3 ± 12,1 *** ^{ttt} | 47,1 ± 5,9 ^{ttt} |

Z: Impedanz bei 1, 5, 50, 100 kHz; R: Resistanz bei 1, 5, 50, 100 kHz; Xc: Reaktanz bei 1, 5, 50, 100 kHz; α : Phasenwinkel bei 1, 5, 50, 100 kHz; ZI: Impedanz-Index (Körpergröße²/Z) bei 1, 5, 50, 100 kHz; RI: Resistanz-Index (Körpergröße²/R) bei 1, 5, 50, 100 kHz; *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: P≤0,001; **: P≤0,01; *: P≤0,05); e: statistisch signifikante Unterschiede zwischen <60- und ≥60-Jährigen (eee: P≤0,001, ee: P≤0,01, e: P≤0,05); ^t: signifikante Unterschiede zur vorigen Frequenz (^{ttt}: P≤0,001; ^{tt}: P≤0,01; ^t: P≤0,05)

In beiden Altersklassen sind Impedanz, Resistanz und Reaktanz bei Männern signifikant niedriger als bei Frauen. In der Gruppe ≥ 60 Jahre sind die Unterschiede zwischen den Geschlechtern nur für Impedanz und Resistanz bei 5 bis 100 kHz, für Reaktanz nur für die 5-kHz-Frequenz signifikant. Phasenwinkel α läßt bei den Frequenzen 50 kHz (Altersgruppe unter 60 Jahren) und 100 kHz (beide Gruppen) signifikant höhere Werte für Männer als für Frauen erkennen. Weiterhin zeigen Impedanz- und Resistanz-Indizes bei Männern höhere Werte als bei Frauen (P≤0,001). Dies gilt für die Gruppe über 60jähriger Studienteilnehmer nur für die Frequenzen 5 bis 100 kHz. Für Männer unter 60 Jahren werden signifikant höhere Reaktanz (5 bis 100 kHz) und Phasenwinkel (50 und 100 kHz) als bei Männern ≥ 60 Jahre deutlich. Im Vergleich der Frauen beider Altersklassen werden für Probandinnen unter 60

Jahren in allen Frequenzen signifikant höhere Impedanz, Resistanz und Reaktanz (50, 100 kHz), niedrigerer Impedanz-, Resistanz-Index (1-kHz-Frequenz) als für Frauen ≥ 60 Jahre verzeichnet. Der Phasenwinkel ist bei Frauen unter 60 Jahren für die Frequenz 5 kHz niedriger, bei 50 und 100 kHz höher als bei Frauen ≥ 60 Jahre ($P \leq 0,05$). In beiden Gruppen nehmen Impedanz und Resistanz (wie im Kindes- und Jugendalter) mit steigender Frequenz kontinuierlich ab ($P \leq 0,05$). Nur für Frauen ≥ 60 Jahre wird zwischen 1 und 5 kHz eine leichte Zunahme von Impedanz und Resistanz registriert ($P > 0,05$). Reaktanz und Phasenwinkel nehmen zwischen 1 und 50 kHz in beiden Gruppen zu ($P \leq 0,001$); mit der 100-kHz-Frequenz ist eine leichte Abnahme verbunden ($P \leq 0,001$). Für Impedanz- und Resistanz-Indizes werden bei beiden Gruppen kontinuierliche Anstiege mit zunehmender Frequenz deutlich ($P \leq 0,05$). Abnahmen der Indizes ($P > 0,05$) bestehen für Frauen ≥ 60 Jahre zwischen 1 und 5 kHz.

Tab. 6b: Prozentuale und absolute Körperfettmasse sowie fettfreie Masse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse: Erwachsene

| | < 60 Jahre | | ≥ 60 Jahre | |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------|
| | Männer (n=45) | Frauen (n=104) | Männer (n=13) | Frauen (n=21) |
| FM_{Kus} [%] | 27,5 \pm 7,5*** ggg | 35,8 \pm 7,9 eggg | 30,6 \pm 6,9 gg | 39,4 \pm 6,5 |
| FFM_{Kus} [%] | 72,5 \pm 7,5*** ggg | 64,2 \pm 7,9 eggg | 69,4 \pm 6,9 gg | 60,6 \pm 6,5 |
| FM_{Kus} [kg] | 22,5 \pm 9,5 ggg | 24,5 \pm 9,8 ggg | 24,9 \pm 9,4 | 28,2 \pm 5,0 |
| FFM_{Kus} [kg] | 57,8 \pm 6,1*** ggg | 41,9 \pm 5,1 ggg | 54,8 \pm 10,4*** | 42,6 \pm 5,0 |

FM_{Kus}: Körperfettmasse nach Kushner *et al.* (1992); FFM_{Kus}: fettfreie Masse nach Kushner *et al.* (1992); *: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (***: $P \leq 0,001$); e: statistisch signifikante Unterschiede zwischen <60- und ≥ 60 -Jährigen (e: $P \leq 0,05$); g: statistisch signifikante Unterschiede zur Körperfett- bzw. fettfreien Masse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (ggg: $P \leq 0,001$, gg: $P \leq 0,01$)

Frauen unter 60 Jahren besitzen nach Kushner *et al.* (1992) signifikant höhere prozentuale Körperfettmasse - signifikant niedrigere prozentuale und absolute fettfreie Masse - als Männer gleicher Altersklasse. Prozentuale Körperfettmasse, nach Kushner *et al.* (1992), ist bei Frauen unter 60 Jahren signifikant niedriger, prozentuale fettfreie Masse, nach Kushner *et al.* (1992), signifikant höher als bei Frauen ≥ 60 Jahren. Bei Männern und Frauen unter 60 Jahren und Männern ≥ 60 Jahren wird die prozentuale Körperfettmasse durch die Berechnung nach Kushner *et al.* (1992) gegenüber der Referenzmethode (ADP, nach Siri *et al.*, 1956) über-, prozentuale fettfreie Masse unterschätzt ($P \leq 0,01$). Für absolute Körperfett- und fettfreie Masse werden entsprechende Differenzen in der Altersklasse unter 60 Jahren deutlich ($P \leq 0,001$).

I. Hypothese: *Air Displacement Plethysmography* ist eine valide und präzise Methode zur Bestimmung der Körperfettmasse.

3.2 Validierung von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) in einer Subpopulation

Die Validierung von *ADP* wird in einer Subpopulation von 26 älteren Menschen durchgeführt. Die Männer (n=11) bzw. Frauen (n=15) sind im Mittel $67,3 \pm 5,1$, $68,9 \pm 5,2$ Jahre alt, die Körpergröße beträgt $173,5 \pm 9,2$, $162,5 \pm 5,9$ cm, das Körpergewicht $79,3 \pm 15,6$, $70,0 \pm 8,5$ kg und der *BMI* $26,1 \pm 3,9$, $26,5 \pm 2,6$ kg/m². Signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern werden nur für die Körpergröße erkannt ($P \leq 0,01$).

3.2.1 Validierung von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) gegen *Dual-energy X-ray absorptiometry* (DEXA) in einer Subpopulation

Abbildung 4 illustriert die bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) gegenüber absoluter Körperfettmasse nach *DEXA*. Wie die nachfolgenden Abbildungen 5 bis 7 basieren die Studienergebnisse auf der o.g. Gesamtgruppe von 26 erwachsenen Probanden.

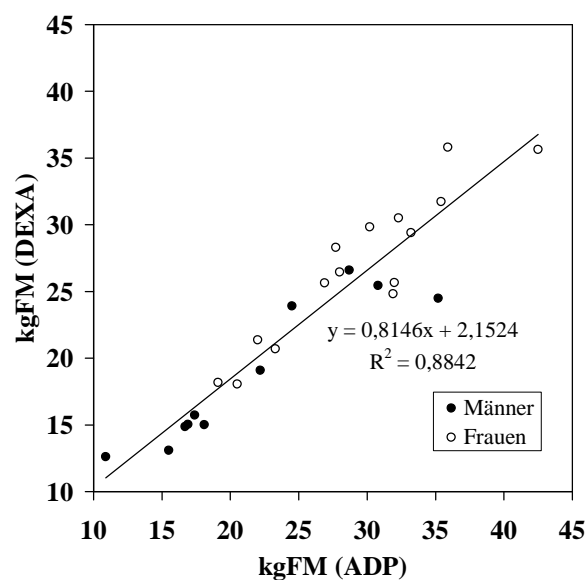


Abb. 4: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach *Dual-energy X-ray absorptiometry* (kgFM [DEXA]) bei 11 Männern und 15 Frauen im Alter von 60 bis 82 Jahren

Um Aussagen über die mittlere Abweichung der absoluten Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und *DEXA* sowie eine mögliche Über- bzw. Unterschätzung der absoluten Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) im Vergleich zur absoluten Körperfettmasse nach *DEXA* klassifizieren zu können, wird in Abbildung 5 absolute Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) gegenüber absoluter Körperfettmasse nach *DEXA* dargestellt.

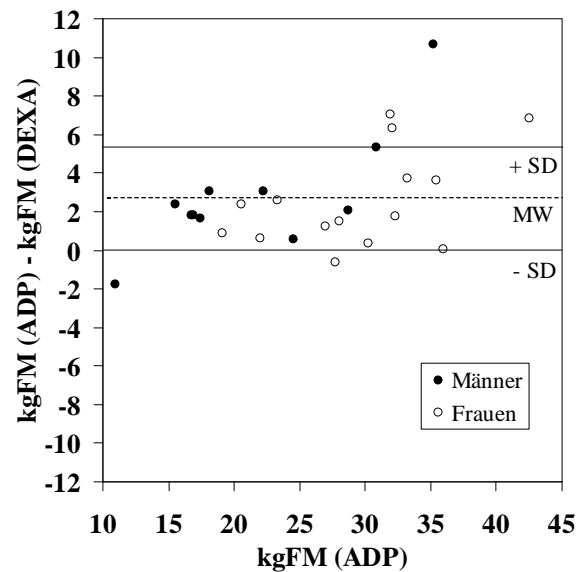


Abb. 5: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach *Dual-energy X-ray absorptiometry* (kgFM [DEXA]) bei 11 Männern und 15 Frauen im Alter von 60 bis 82 Jahren

3.2.2 Validierung von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) gegen das Vier-Kompartiment-Modell nach Selinger *et al.* (1977) in einer Subpopulation

In den nachstehenden Abbildungen wird absolute Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) gegenüber absoluter Körperfettmasse nach dem Vier-Kompartiment-Modell (nach Selinger *et al.*, 1977) dargestellt. In Abbildung 6 wird die bivariate Korrelation, in Abbildung 7 die mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und dem Vier-Kompartiment-Modell (nach Selinger *et al.*, 1977) aufgeführt.

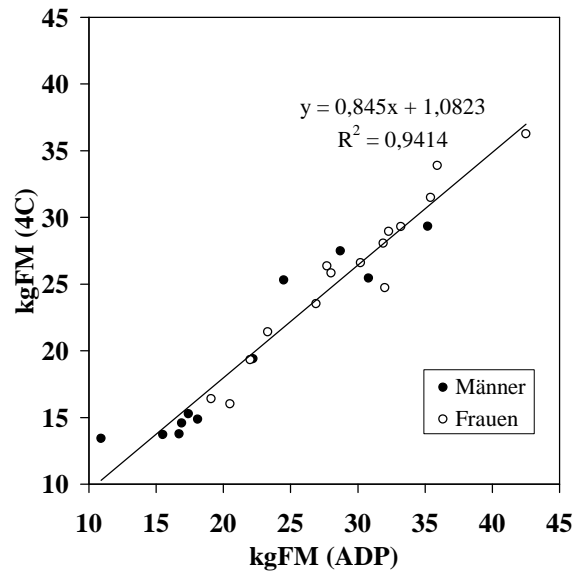


Abb. 6: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach dem Vier-Kompartiment-Modell, nach Selinger *et al.*, 1977 (kgFM [4C]) bei 11 Männern und 15 Frauen im Alter von 60 bis 82 Jahren

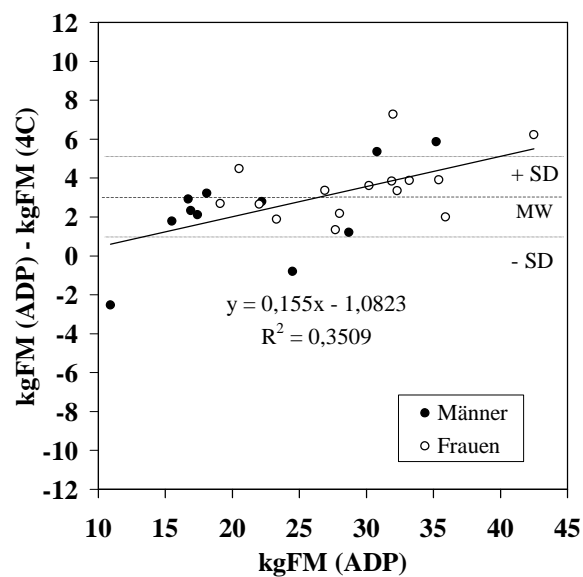


Abb. 7: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach dem Vier-Kompartiment-Modell, nach Selinger *et al.*, 1977 (kgFM [4C]) bei 11 Männern und 15 Frauen im Alter von 60 bis 82 Jahren

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Methoden an.)

Die Abbildungen 4 und 6 geben, trotz signifikanter Unterschiede, eine hohe Korrelation zwischen der absoluten Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und *DEXA* bzw. 4C (nach Selinger *et al.*, 1977) wieder. Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) ist, wie Abb. 5 und 7 zeigen, im Mittel ca. 3 kg höher als nach *DEXA* und 4C (nach Selinger *et al.*, 1977). Abbildung 7 macht eine systematische Überschätzung der absoluten Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) im Vergleich zur absoluten Körperfettmasse nach 4C (nach Selinger *et al.*, 1977) deutlich, die mit zunehmender Körperfettmasse ansteigt.

3.3 Bestimmung der Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®)

3.3.1 Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) bei Wiederholungsmessungen eines 50-l- und 20-l-Hohlzylinders

Über die Studienergebnisse, die durch Wiederholungsmessungen (n=20) von Hohlzylindern des Volumens von 50,005 l und 20,003 l erzielt werden, informieren die Tabellen 7a und 7b.

Tab. 7a: Vergleich des gemessenen Volumens eines 50-l- und 20-l-Hohlzylinders zwischen 1. und 2. Meßtag (n=20 / Tag)

| | MW ± SD 1. Meßtag | MW ± SD 2. Meßtag | bias 1. vs. 2. Tag | CV [%] 1. vs. 2. Tag | Präzision 1. vs. 2. Tag |
|---------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|
| 50-l-Zylinder | 49,912 ± 0,040 | 49,900 ± 0,039 | -0,015 ± 0,053 | 0,06 ± 0,04 | 0,022 |
| 20-l-Zylinder | 19,013 ± 0,039 | 19,024 ± 0,036 | -0,010 ± 0,037 | 0,12 ± 0,07 | 0,015 |

MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; CV: Variationskoeffizient=(SD/MW)·100; Präzision=SD/√2

Das Volumen beider Zylinder weist keine signifikanten Unterschiede zwischen 1. und 2. Meßtag auf. Das gemessene Zylindervolumen weicht jedoch signifikant ($P \leq 0,001$) vom "Soll-Volumen" (50,005 bzw. 20,003 l) ab. Die mittlere Differenz (bias) zwischen "Soll" und gemessenem Volumen beträgt beim 50-l-Zylinder am 1. Meßtag 93 ml, am 2. Meßtag 109 ml. Wird diese Differenz von im Mittel 101 ml auf die Meßdaten einer Probandin entsprechenden Körpervolumens (50,843 l) projiziert, ergibt sich in der Körperfettmasse eine mittlere Abweichung von 0,9 %. Der 20-l-Hohlzylinder zeigt eine mittlere Abweichung von 990 ml (1. Meßtag) und 980 ml (2. Meßtag). Wird diese Differenz von (im Mittel) 985 ml auf die Meßdaten einer Probandin, die ein Körpervolumen von 20,294 l besitzt, angewandt, ergibt sich für die Körperfettmasse eine mittlere Abweichung von 21,8 %.

Das gemessene Volumen der Zylinder ist - mit Ausnahme eines Meßwerts - niedriger als das tatsächliche Zylindervolumen. Der Variationskoeffizient zwischen den Volumenmessungen am 1. und 2. Meßtag weist beim 20-l-Zylinder doppelt so hohe Werte wie beim 50-l-Zylinder auf. Die Präzision der Wiederholungsmessungen ist für den 50-l-Zylinder höher als für den 20-l-Zylinder.

Tab. 7b: Vergleich des gemessenen Volumens eines 50-l- und 20-l-Hohlzylinders bei zwanzig aufeinanderfolgenden Messungen (1. und 2. Meßtag)

| | 1. Meßtag | | | 2. Meßtag | | |
|---------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| | bias | CV [%] | Präzision | bias | CV [%] | Präzision |
| 50-l-Zylinder | 0,002±0,050 | 0,05±0,05 | 0,019 | -0,001±0,052 | 0,06±0,05 | 0,021 |
| 20-l-Zylinder | 0,002±0,043 | 0,13±0,10 | 0,016 | -0,000±0,040 | 0,10±0,11 | 0,013 |

CV: Variationskoeffizient=(SD/MW)·100; Präzision=SD/√2; SD: Standardabweichung; MW: Mittelwert

Bias und Variationskoeffizient sind für den 50-l-Zylinder niedriger, Präzision höher, als bei dem 20-l-Zylinder. Meßunterschiede, die innerhalb eines Meßtags erkannt werden, sind geringfügig niedriger als Abweichungen, die zwischen zwei Meßtagen bestehen.

3.3.2 Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) bei Wiederholungsmessungen von Probanden einer Subpopulation

Für die Gesamtgruppe (n=22) beträgt der Variationskoeffizient $2,7 \pm 2,2$ % Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) und die Präzision 0,543 zwischen zwei aufeinanderfolgenden ADP-Messungen. Bei Erwachsenen (n=12) eines mittleren Alters von $36,1 \pm 6,1$ Jahren sind Variationskoeffizient mit $2,4 \pm 2,4$ % Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) und Präzision mit 0,405 niedriger ($P > 0,05$) als im Kindes- und Jugendalter. Bei Kindern und Jugendlichen (n=10; $11,2 \pm 3,0$ Jahre) beträgt der Variationskoeffizient $3,0 \pm 2,0$ % Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956), die Präzision 0,772. Probandinnen (Mädchen und Frauen) besitzen einen niedrigeren Variationskoeffizienten als männliche Studienteilnehmer ($P > 0,5$).

3.3.3 Vergleich des nach *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) gemessenen und berechneten Lungenvolumens (Subpopulation)

Bei 55 Kindern und Jugendlichen (29 Jungen, 26 Mädchen) und 132 Erwachsenen (38 Männer, 94 Frauen) erfolgte eine Messung des Lungenvolumens mit *ADP*. Für diese Studienkollektive werden Vergleiche des gemessenen gegenüber dem berechneten Lungenvolumen durchgeführt.

3.3.3.1 Kinder und Jugendliche

In Tabelle 8 werden Lungenvolumina, gemessen und berechnet nach *ADP* sowie nach kinderspezifischer Berechnung, aufgeführt.

Tab. 8: Lungenvolumen, gemessen und berechnet nach *Air Displacement Plethysmography*, sowie nach kinderspezifischer Berechnung: Kinder und Jugendliche

| | $V_{I_{gem}}$ | $V_{I_{ber}}$ | bias | r | $V_{I_{Ki}}$ | bias | r |
|--|-------------------------|-------------------------|------------|------------------------|-------------------------|------------|------------------------|
| Gesamtgruppe | | | | | | | |
| Gesamt (n=55) | 2,0 ± 0,8 | 2,4 ± 0,7 | -0,4 ± 0,5 | 0,82 *** aaa | 2,1 ± 0,6 | -0,2 ± 0,4 | 0,87 *** aa |
| Jungen (n=29) | 1,9 ± 0,8 | 2,2 ± 0,8 h | -0,3 ± 0,4 | 0,85 *** aaa | 2,0 ± 0,6 | -0,2 ± 0,4 | 0,87 *** a |
| Mädchen (n=26) | 2,1 ± 0,8 | 2,6 ± 0,6 | -0,6 ± 0,5 | 0,84 *** aaa | 2,2 ± 0,6 | -0,2 ± 0,4 | 0,86 *** |
| Kinder vor der Pubertät | | | | | | | |
| Gesamt (n=28) | 1,5 ± 0,4 | 1,8 ± 0,5 | -0,3 ± 0,4 | 0,67 *** aaa | 1,7 ± 0,3 | -0,2 ± 0,3 | 0,78 *** aaa |
| Jungen (n=19) | 1,6 ± 0,5 ccc | 1,8 ± 0,5 ccc | -0,2 ± 0,3 | 0,78 *** a | 1,7 ± 0,3 ccc | -0,1 ± 0,3 | 0,79 *** |
| Mädchen (n=9) | 1,3 ± 0,3 ccc | 2,0 ± 0,3 ccc | -0,6 ± 0,2 | 0,68 * aaa | 1,6 ± 0,2 ccc | -0,2 ± 0,2 | 0,72 * a |
| Kinder in und nach der Pubertät | | | | | | | |
| Gesamt (n=27) | 2,5 ± 0,8 | 3,0 ± 0,4 | -0,6 ± 0,5 | 0,81 *** aaa | 2,6 ± 0,4 | -0,2 ± 0,5 | 0,82 *** |
| Jungen (n=10) | 2,5 ± 0,9 | 3,1 ± 0,5 | -0,6 ± 0,5 | 0,88 *** aa | 2,7 ± 0,5 | -0,2 ± 0,6 | 0,89 *** |
| Mädchen (n=17) | 2,4 ± 0,7 | 3,0 ± 0,3 | -0,5 ± 0,5 | 0,76 *** aaa | 2,6 ± 0,4 | -0,1 ± 0,5 | 0,76 *** |

V_I : Lungenvolumen [l]; gem: gemessen nach *Air Displacement Plethysmography* (*ADP*); ber: berechnet nach *ADP*; Ki: nach kinderspezifischer Berechnung; bias: mittlere Abweichung zwischen dem nach *ADP* bzw. nach kinderspezifischer Berechnung erfaßten Lungenvolumens gegenüber gemessenem Lungenvolumen nach *ADP*; r: Korrelation des nach *ADP* bzw. nach kinderspezifischer Berechnung erfaßten Lungenvolumens gegenüber gemessenem Lungenvolumen nach *ADP*; *: Signifikanzniveau: (***: $P \leq 0,001$; *: $P \leq 0,05$); a: statistisch signifikante Unterschiede zum gemessenen Lungenvolumen nach *ADP* (aaa: $P \leq 0,001$; aa: $P \leq 0,01$; a: $P \leq 0,05$); ccc: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor und in bzw. nach der Pubertät (ccc: $P \leq 0,001$); h: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (h: $P \leq 0,05$)

Zwischen gemessenem und - nach *ADP* und kinderspezifischer Formel - berechnetem Lungenvolumen bestehen signifikante Korrelationen. Berechnetes Lungenvolumen ist signifikant höher als gemessenes. Die Überschätzung durch die kinderspezifische Berechnung ist für die Gesamtgruppe, die Gesamtgruppe der Jungen, die Gesamtgruppe der vorpubertären Kinder und die vorpubertären Mädchen signifikant. Nach *ADP* berechnetes Lungenvolumen weicht deutlich stärker, für alle Gruppen signifikant, von den gemessenen Werten ab als nach kinderspezifischer Berechnung. Das nach *ADP* berechnete Lungenvolumen ist bei Jungen der Gesamtgruppe signifikant niedriger als bei Mädchen. Lungenvolumen, gemessen und berechnet nach *ADP* sowie nach kinderspezifischer Berechnung, ist bei Jungen und Mädchen vor der Pubertät signifikant niedriger als bei Kindern in und nach der Pubertät. Für Mädchen vor der Pubertät besteht zwischen gemessenem und berechnetem (beide Betrachtungen) Lungenvolumen größere bias als bei Jungen. Bei Jungen ist bias während und nach der Pubertät höher als bei Mädchen.

Tabelle 9 gibt den Einfluß des Lungenvolumens, gemessen bzw. berechnet nach *ADP* sowie nach kinderspezifischer Berechnung, auf die prozentuale Körperfettmasse nach *ADP* (nach *Siri et al.*, 1956) wieder.

Tab. 9: Einfluß des gemessenen und berechneten Lungenvolumens, nach *Air Displacement Plethysmography* und kinderspezifischer Berechnung, auf die prozentuale Körperfettmasse: Kinder und Jugendliche

| | FM _{gem} | FM _{ber} | bias | r | FM _{Ki} | bias | r |
|--|-------------------|-------------------|------------|-----------------|------------------|------------|----------------|
| Gesamtgruppe | | | | | | | |
| Gesamt (n=55) | 24,2 ± 8,6 | 26,6 ± 8,9 | -2,4 ± 2,5 | 0,96 *** aaa | 25,2 ± 8,6 | -1,0 ± 2,1 | 0,97 *** aa |
| Jungen (n=29) | 21,5 ± 8,1 | 23,3 ± 8,4 hh | -1,8 ± 2,4 | 0,96 *** aaa | 22,7 ± 8,0 hh | -1,2 ± 2,3 | 0,96 *** aa |
| Mädchen (n=26) | 27,1 ± 8,3 | 30,1 ± 8,3 | -3,0 ± 2,5 | 0,96 *** aaa | 28,1 ± 8,5 | -1,0 ± 2,0 | 0,97 *** a |
| Kinder vor der Pubertät | | | | | | | |
| Gesamt (n=28) | 23,8 ± 8,4 | 26,2 ± 8,8 | -2,4 ± 2,7 | 0,95 *** aaa | 25,2 ± 7,8 | -1,4 ± 2,1 | 0,97 *** aa |
| Jungen (n=19) | 21,8 ± 7,0 | 23,2 ± 7,3 hh | -1,4 ± 2,3 | 0,95 *** a | 23,1 ± 6,4 h | -1,2 ± 2,3 | 0,95 *** a |
| Mädchen (n=9) | 28,1 ± 9,9 | 32,6 ± 8,5 | -4,5 ± 2,3 | 0,98 *** aaa | 29,7 ± 9,1 | -1,7 ± 1,9 | 0,98 *** a |
| Kinder in und nach der Pubertät | | | | | | | |
| Gesamt (n=27) | 24,5 ± 8,9 | 26,9 ± 9,3 | -2,4 ± 2,3 | 0,97 *** aaa | 25,2 ± 9,4 | -0,7 ± 2,1 | 0,98 *** |
| Jungen (n=10) | 20,9 ± 10,1 | 23,5 ± 10,5 | -2,6 ± 2,5 | 0,97 *** aa | 21,9 ± 10,7 | -1,0 ± 2,3 | 0,98 *** |
| Mädchen (n=17) | 26,6 ± 7,7 | 28,9 ± 8,2 | -2,3 ± 2,3 | 0,96 *** aaa | 27,2 ± 8,3 | -0,6 ± 2,0 | 0,97 *** |

FM: Körperfettmasse [%], nach Siri *et al.* (1956); gem: Lungenvolumen gemessen nach *Air Displacement Plethysmography* (ADP); ber: Lungenvolumen berechnet nach ADP; Ki: Lungenvolumen nach kinderspezifischer Berechnung; bias: mittlere Abweichung zwischen prozentualer Körperfettmasse nach ADP bzw. kinderspezifisch berechnetem Lungenvolumen gegenüber prozentualer Körperfettmasse nach gemessenem Lungenvolumen (nach ADP); r: Korrelation zwischen prozentualer Körperfettmasse nach ADP bzw. kinderspezifisch berechnetem Lungenvolumen gegenüber prozentualer Körperfettmasse nach gemessenem Lungenvolumen (nach ADP); *: Signifikanzniveau: (***: P≤0,001); a: statistisch signifikante Unterschiede zur prozentualen Körperfettmasse nach gemessenem Lungenvolumen (nach ADP) (aaa: P≤0,001; aa: P≤0,01; a: P≤0,05), h: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (hh: P≤0,01; h: P≤0,05)

Zwischen Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) nach gemessenem und nach ADP bzw. kinderspezifisch berechnetem Lungenvolumen bestehen hochsignifikante Korrelationen. Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) nach ADP und kinderspezifisch berechnetem Lungenvolumen ist signifikant höher als nach gemessenem Lungenvolumen. Nur für die Körperfettmasse nach kinderspezifisch berechnetem Lungenvolumen vs. Körperfettmasse nach gemessenem Lungenvolumen ist P bei Jungen und Mädchen in der Pubertät >0,05. Differenzen zwischen prozentualer Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) nach, mit ADP, berechnetem bzw. gemessenem Lungenvolumen sind deutlich höher als zwischen den mit ADP gemessenen und kinderspezifisch erfaßten Daten.

Die mit *ADP* und kinderspezifisch berechnetem Lungenvolumen ermittelte Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) ist im vorpubertären Alter sowie in der Gesamtgruppe für Mädchen höher als für Jungen ($P \leq 0,05$). Mädchen vor der Pubertät weisen zwischen Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) nach berechnetem (beide Betrachtungen) und gemessenem Lungenvolumen höhere bias als Jungen auf. In und nach der Pubertät besteht bei Jungen höhere bias als bei Mädchen.

Tabelle 10 bildet die funktionelle Residualkapazität (*FRC*), nach *ADP* und kinderspezifischer Berechnung, ab.

Tab. 10: Vergleich der funktionellen Residualkapazität, nach *Air Displacement Plethysmography* und kinderspezifischer Formel: Kinder und Jugendliche

| | FRC_{ADP} | FRC_{Ki} | bias | r |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------|---------------------|
| Gesamtgruppe | | | | |
| Gesamt (n=55) | 1,7 ± 0,7 | 2,0 ± 0,5 | -0,3 ± 0,4 | 0,83 *** aaa |
| Jungen (n=29) | 1,6 ± 0,7 | 1,9 ± 0,5 | -0,3 ± 0,4 | 0,86 *** aaa |
| Mädchen (n=26) | 1,7 ± 0,8 | 2,1 ± 0,5 | -0,3 ± 0,5 | 0,81 *** aaa |
| Kinder vor der Pubertät | | | | |
| Gesamt (n=28) | 1,3 ± 0,4 | 1,5 ± 0,2 | -0,3 ± 0,3 | 0,74 *** aaa |
| Jungen (n=19) | 1,3 ± 0,5 ccc | 1,6 ± 0,3 ccc | -0,3 ± 0,3 | 0,72 *** aa |
| Mädchen (n=9) | 1,1 ± 0,3 ccc | 1,5 ± 0,2 ccc | -0,3 ± 0,2 | 0,74 * aa |
| Kinder in und nach der Pubertät | | | | |
| Gesamt (n=27) | 2,1 ± 0,8 | 2,4 ± 0,4 | -0,3 ± 0,5 | 0,79 *** aa |
| Jungen (n=10) | 2,2 ± 0,8 | 2,5 ± 0,4 | -0,3 ± 0,5 | 0,89 *** |
| Mädchen (n=17) | 2,0 ± 0,7 | 2,4 ± 0,4 | -0,3 ± 0,5 | 0,71 *** a |

FRC: funktionelle Residualkapazität (*functional residual capacity*) [l]; *ADP*: nach *Air Displacement Plethysmography*; *Ki*: nach kinderspezifischer Formel, nach Manzke *et al.* (2001); *: Signifikanzniveau: (***: $P \leq 0,001$; *: $P \leq 0,05$); a: statistisch signifikante Unterschiede zwischen *FRC* nach *ADP* und kinderspezifischer *FRC* (aaa: $P \leq 0,001$; aa: $P \leq 0,01$; a: $P \leq 0,05$); c: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor der Pubertät und Kindern in bzw. nach der Pubertät (ccc: $P \leq 0,001$)

FRC nach *ADP* ist, trotz signifikanter Korrelationen, signifikant niedriger als die kinderspezifisch berechnete *FRC* (nach Manzke *et al.*, 2001). Nur für Jungen in und nach der Pubertät ist $P > 0,05$. Jungen und Mädchen vor der Pubertät besitzen niedrigere *FRC* als Jugendliche ($P \leq 0,001$).

In Tabelle 11 ist das Atemzugvolumen (V_t), nach *ADP* und kinderspezifischer Betrachtung, aufgeführt.

Tab. 11: Vergleich des Atemzugvolumens, nach *Air Displacement Plethysmography* und kinderspezifischer Betrachtung: Kinder und Jugendliche

| | V_{tADP} | V_{tKi} | bias | r |
|--|--------------------|----------------------|-----------|---------------------|
| Gesamtgruppe | | | | |
| Jungen+Mädchen (n=55) | 0,6 ± 0,3 | 0,3 ± 0,1 | 0,3 ± 0,3 | 0,42 ** aaa |
| Jungen (n=29) | 0,6 ± 0,2 | 0,3 ± 0,1 h | 0,3 ± 0,2 | 0,41* aaa |
| Mädchen (n=26) | 0,7 ± 0,4 | 0,4 ± 0,1 | 0,4 ± 0,3 | 0,84 *** aaa |
| Kinder vor der Pubertät | | | | |
| Jungen+Mädchen (n=28) | 0,5 ± 0,2 | 0,2 ± 0,1 | 0,3 ± 0,2 | 0,16 aaa |
| Jungen (n=19) | 0,5 ± 0,2 | 0,2 ± 0,1 ccc | 0,3 ± 0,2 | 0,23 aaa |
| Mädchen (n=9) | 0,5 ± 0,1 c | 0,2 ± 0,1 ccc | 0,3 ± 0,1 | 0,07 aaa |
| Kinder in und nach der Pubertät | | | | |
| Jungen+Mädchen (n=27) | 0,7 ± 0,4 | 0,4 ± 0,1 | 0,3 ± 0,4 | 0,22 aaa |
| Jungen (n=10) | 0,6 ± 0,3 | 0,4 ± 0,1 | 0,2 ± 0,2 | 0,64 * a |
| Mädchen (n=17) | 0,8 ± 0,4 | 0,4 ± 0,1 | 0,4 ± 0,4 | 0,03 aaa |

V_t : Atemzugvolumen (*tidal volume*) [l]; ADP: nach *Air Displacement Plethysmography* (ADP); Ki: nach kinderspezifischer Betrachtung; *: Signifikanzniveau: (***: $P \leq 0,001$; **: $P \leq 0,01$; *: $P \leq 0,05$); a: signifikante Unterschiede zwischen V_t nach ADP und kinderspezifischem V_t (aaa: $P \leq 0,001$; a: $P \leq 0,05$); c: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor der Pubertät und Kindern in bzw. nach der Pubertät (ccc: $P \leq 0,001$; c: $P \leq 0,05$); h: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (h: $P \leq 0,05$)

Im Gegensatz zu der funktionellen Residualkapazität ist das Atemzugvolumen nach ADP höher als nach kinderspezifischer Betrachtung ($P < 0,05$). In der Gesamtgruppe der Jungen und Mädchen bestehen signifikante Korrelationen zwischen dem Atemzugvolumen nach ADP und Manzke *et al.* (2001). Atemzugvolumen nach ADP zeigt etwa doppelt so hohe Werte wie kinderspezifisch erfaßtes Atemzugvolumen. Das kinderspezifisch berechnete Atemzugvolumen ist in der Gesamtgruppe bei Jungen signifikant niedriger als bei Mädchen. Es ist bei vorpubertären Kindern signifikant niedriger als bei Jungen und Mädchen in und nach der Pubertät. Das nach ADP erfaßte Atemzugvolumen weist bei Mädchen vor der Pubertät niedrigere Werte auf als bei Mädchen in und nach der Pubertät ($P \leq 0,05$).

3.3.3.2 Erwachsene

In den Tabellen 12 und 13 wird das Lungenvolumen, gemessen und berechnet nach *ADP*, sowie der daraus resultierende Einfluß auf die prozentuale Körperfettmasse, nach Siri *et al.* (1956), der erwachsenen Probanden aufgeführt.

Tab. 12: Lungenvolumen, gemessen und berechnet nach *Air Displacement Plethysmography*: Erwachsene

| | V_{gem} | V_{ber} | bias | r |
|---------------------------------|------------------|------------------|------------|-------------|
| Gesamtgruppe | | | | |
| Gesamt (n=131) | 3,4 ± 0,9 | 3,6 ± 0,5 | -0,2 ± 0,8 | 0,48 *** aa |
| Männer (n=37) | 4,1 ± 1,0 | 4,1 ± 0,4 | 0,0 ± 1,1 | 0,15 |
| Frauen (n=94) | 3,1 ± 0,6 | 3,4 ± 0,2 | -0,2 ± 0,6 | 0,20 aaa |
| Erwachsene < 60 Jahre | | | | |
| Gesamt (n=107) | 3,4 ± 0,8 | 3,6 ± 0,4 | -0,1 ± 0,7 | 0,57 ***a |
| Männer (n=29) | 4,3 ± 0,8 hhh | 4,2 ± 0,4 hhh | 0,1 ± 0,9 | 0,18 |
| Frauen (n=78) | 3,1 ± 0,6 | 3,4 ± 0,2 | -0,2 ± 0,6 | 0,21 aaa |
| Erwachsene ≥ 60 Jahre | | | | |
| Gesamt (n=24) | 3,3 ± 1,1 | 3,6 ± 0,5 | -0,3 ± 1,1 | 0,18 |
| Männer (n=8) | 3,6 ± 1,5 | 4,1 ± 0,5 hhh | -0,6 ± 1,6 | 0,09 |
| Frauen (n=16) | 3,2 ± 0,8 | 3,4 ± 0,2 | -0,1 ± 0,8 | 0,14 |

V_{I} : Lungenvolumen [l]; gem: gemessen nach *Air Displacement Plethysmography* (*ADP*); ber: berechnet nach *ADP*; bias: mittlere Abweichung zwischen dem nach *ADP* gemessenen und berechneten Lungenvolumen; r: Korrelation zwischen dem nach *ADP* gemessenen und berechneten Lungenvolumen; *: Signifikanzniveau: (***: $P \leq 0,001$); a: statistisch signifikante Unterschiede zwischen dem nach *ADP* gemessenen und berechneten Lungenvolumen (aaa: $P \leq 0,001$; aa: $P \leq 0,01$; a: $P \leq 0,05$); h: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (hhh: $P \leq 0,001$)

Für die Gesamtgruppe und die Gruppe unter 60jähriger Männer und Frauen bestehen signifikante Korrelationen zwischen gemessenem und berechnetem Lungenvolumen. Mit Ausnahme der Männer der Gesamtgruppe und Männer unter 60 Jahren ist das berechnete Lungenvolumen höher als das gemessene. Die Unterschiede sind deutlich niedriger als bei Kindern und Jugendlichen. Für die Gesamtgruppe, Frauen der Gesamtgruppe, die Gesamtgruppe unter 60 Jahren und Frauen unter 60 Jahren sind die Differenzen signifikant. Gemessenes Lungenvolumen ist bei unter 60jährigen Männern höher als bei gleichaltrigen Frauen ($P \leq 0,001$). Berechnetes Lungenvolumen weist bei Männern unter und ≥ 60 Jahren höhere Werte als bei Frauen gleicher Altersstufe auf ($P \leq 0,001$). Für Frauen der Gesamtgruppe und Frauen unter 60 Jahren werden höhere Abweichungen zwischen gemessenem und berechnetem Lungenvolumen erkannt als für Männer. In der Gruppe ≥ 60 Jahre bestehen bei Männern höhere Differenzen zwischen gemessenem und berechnetem Lungenvolumen als bei Frauen.

Tab. 13: Einfluß des mit *Air Displacement Plethysmography* gemessenen und berechneten Lungenvolumens auf die prozentuale Körperfettmasse: Erwachsene

| | FM _{gem} | FM _{ber} | bias | r |
|---------------------------------|-----------------------|------------------------|------------|---------------------|
| Gesamtgruppe | | | | |
| Gesamt (n=131) | 28,3 ± 10,2 | 28,7 ± 10,9 | -0,4 ± 2,1 | 0,98 *** a |
| Männer (n=37) | 20,8 ± 9,1 | 20,6 ± 10,5 | 0,1 ± 2,5 | 0,98 *** |
| Frauen (n=94) | 31,3 ± 9,1 | 31,9 ± 9,3 | -0,6 ± 1,9 | 0,98 *** aa |
| Erwachsene < 60 Jahre | | | | |
| Gesamt (n=107) | 26,7 ± 9,7 | 27,1 ± 10,5 | -0,4 ± 2,0 | 0,98 *** a |
| Männer (n=29) | 19,5 ± 9,7 hhh | 19,1 ± 11,0 hhh | 0,5 ± 2,3 | 0,98 *** |
| Frauen (n=78) | 29,4 ± 8,3 eee | 30,1 ± 8,6 eee | -0,7 ± 1,8 | 0,98 *** aaa |
| Erwachsene ≥ 60 Jahre | | | | |
| Gesamt (n=24) | 35,5 ± 9,4 | 36,0 ± 9,5 | -0,5 ± 2,5 | 0,96 *** |
| Männer (n=8) | 25,4 ± 4,0 hhh | 26,3 ± 5,7 hhh | -1,0 ± 3,2 | 0,85 ** |
| Frauen (n=16) | 40,6 ± 6,6 | 40,9 ± 7,0 | -0,3 ± 2,2 | 0,95 *** |

FM: Körperfettmasse [%], nach Siri *et al.* (1956); gem: nach mit *Air Displacement Plethysmography* (ADP) gemessenem Lungenvolumen; ber: nach mit ADP berechnetem Lungenvolumen; r: Korrelation zwischen prozentualer Körperfettmasse nach (mit ADP) gemessenem und berechnetem Lungenvolumen; *: Signifikanzniveau: (***: P≤0,001; **: P≤0,01); a: statistisch signifikante Unterschiede zwischen prozentualer Körperfettmasse nach (mit ADP) gemessenem und berechnetem Lungenvolumen (aaa: P≤0,001; aa: P≤0,01; a: P≤0,05); e: statistisch signifikante Unterschiede zwischen <60- und ≥60-Jährigen (eee: P≤0,001); h: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (hhh: P≤0,001)

Korrelationen zwischen Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) nach berechnetem und gemessenem Lungenvolumen sind in allen Gruppen signifikant. Prozentuale Körperfettmasse, nach Siri *et al.* (1956), ist nach berechnetem Lungenvolumen höher als nach gemessenem (Ausnahme: Männer unter 60 Jahren und die Gesamtgruppe der Männer). Die Differenzen sind deutlich niedriger als bei Kindern und Jugendlichen. Für die Gesamtgruppe, Frauen der Gesamtgruppe, die Gesamtgruppe unter 60 Jahren und Frauen unter 60 Jahren sind die Abweichungen zwischen der nach berechnetem und gemessenem Lungenvolumen erfaßten prozentualen Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) signifikant. Sie sind bei Frauen der Gesamtgruppe und unter 60jährigen Probandinnen höher als bei Männern gleicher Altersstufe. Männer weisen in der Gruppe ≥ 60 Jahre höhere Abweichungen als Frauen ≥ 60 Jahre auf. Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) nach gemessenem und berechnetem Lungenvolumen ist bei Männern beider Altersklassen signifikant niedriger als bei Frauen entsprechender Altersstufe. Frauen unter 60 Jahren besitzen niedrigere Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956) als Frauen ≥ 60 Jahre (P≤0,001).

II. Hypothese: Für den Vergleich der Körperfettmasse nach Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und Bioelektrische Impedanzanalyse) zur Referenzmethode (*Air Displacement Plethysmography*) werden mittlere Abweichungen von bis zu 10 % erwartet.

3.4 Vergleich der Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse

3.4.1 Kinder und Jugendliche

In Tabelle 14 erfolgt ein Vergleich der Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA), wobei insbesondere auf absolute und prozentuale Abweichungen (bias) eingegangen wird.

Tab. 14: Angabe der Differenzen (absolut und prozentual) zwischen Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse): Kinder und Jugendliche

| | | vor der Pubertät (Tanner score ≤ 1) | | | in und nach der Pubertät (Tanner score > 1) | | |
|------------------------------------|---|--|---------------------------|---------------------------|--|-----------------------|------------|
| | | | bias [kg] | bias [%] | | bias [kg] | bias [%] |
| FM (ADP) [kg] | m | 7,2 ± 4,0 ccchh | | | 14,0 ± 9,7 | | |
| | w | 10,6 ± 5,0 ccc | | | 15,6 ± 8,6 | | |
| FM (SF _{Loh}) [kg] | m | 4,7 ± 4,3 cccgghhh | 2,5 ± 1,3 | 9,4 ± 4,9 c | 10,5 ± 8,0 ggg | 3,4 ± 3,0 | 6,2 ± 4,2 |
| | w | 8,6 ± 5,0 ccggg | 2,3 ± 1,5 | 7,6 ± 5,5 cc | 13,8 ± 6,6 gg | 1,8 ± 3,1 | 3,2 ± 4,8 |
| FM (SF _{Deur}) [kg] | m | 4,4 ± 4,3 cccgghhh | 3,1 ± 1,4 | 11,3 ± 5,4 ccc | 11,7 ± 8,1 gg | 2,3 ± 2,6 h | 4,3 ± 4,2 |
| | w | 8,5 ± 4,5 cccggg | 2,9 ± 1,4 ccc | 8,8 ± 4,3 ccc | 15,6 ± 8,9 | 0,0 ± 3,3 | 0,7 ± 6,2 |
| FM (BIA _{Houtk}) [kg] | m | 5,3 ± 2,5 cccgghhh | 1,9 ± 1,8 h | 6,3 ± 5,0 cc | 13,1 ± 8,4 | 0,9 ± 2,5 | 1,6 ± 5,0 |
| | w | 7,6 ± 3,4 cccggg | 3,0 ± 1,9 ccc | 8,7 ± 4,9 ccc | 16,7 ± 9,8 | -1,0 ± 3,5 | -1,4 ± 6,2 |
| FM (BIA _{Schaefer}) [kg] | m | 7,1 ± 4,3 ccchhh | 0,2 ± 1,1 ccchh | 0,9 ± 4,2 ccchh | 16,4 ± 9,5 gg | -2,4 ± 2,7 | -4,2 ± 4,7 |
| | w | 11,6 ± 5,8 cccggg | -0,9 ± 1,5 ccc | -2,4 ± 4,4 cc | 19,5 ± 10,3 | -3,9 ± 3,5 | -6,6 ± 5,7 |
| FM (SF+BIA _{Goran}) [kg] | m | 5,0 ± 3,1 cccgghhh | 2,2 ± 1,3 | 7,6 ± 3,9 cc | 11,7 ± 5,6 ggg | 2,3 ± 4,4 | 3,4 ± 6,2 |
| | w | 8,2 ± 3,5 cccggg | 2,4 ± 1,7 | 7,0 ± 4,2 c | 13,2 ± 5,3 | 2,4 ± 3,8 | 3,9 ± 5,8 |

m: Jungen: vor der Pubertät: n=32, in und nach der Pubertät: n=13; w: Mädchen: vor der Pubertät: n=26, in und nach der Pubertät: n=30; FM: Körperfettmasse; ADP: nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); SF: nach Hautfaltendickenmessung; Loh: nach Lohman *et al.* (1986); Deur: nach Deurenberg *et al.* (1990); BIA: nach Bioelektrischer Impedanzanalyse; Houtk: nach Houtkooper *et al.* (1989); bias: mittlere Abweichung zur Körperfettmasse nach *ADP*; c: statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern vor und Kindern in bzw. nach der Pubertät (ccc: P≤0,001; cc: P≤0,01; c: P≤0,05); g: statistisch signifikante Unterschiede zur Körperfettmasse nach *ADP* (ggg: P≤0,001; gg: P≤0,01); h: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (hhh: P≤0,001; hh: P≤0,01; h: P≤0,05)

Wie Tabelle 14 zeigt, ist Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) höher als nach Feldmethoden. Nur für vorpubertäre Mädchen sowie Kinder in und nach der Pubertät wird nach Schaefer *et al.* (1994) höhere Körperfettmasse als nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) erkannt. Nach Houtkooper *et al.* (1989) ist die Körperfettmasse bei Mädchen in und nach der Pubertät höher als nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956). Niedrigsten mittlere Differenzen zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) bestehen im vorpubertären Alter gegenüber den Berechnungen nach BIA, nach Schaefer *et al.* (1994). Für Jungen in und nach der Pubertät werden geringste Abweichungen zur Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956) gegenüber der Körperfettmasse nach der BIA-Formel von Houtkooper *et al.* (1989) deutlich. Für Mädchen in und nach der Pubertät bestehen geringste Abweichungen zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) nach den Berechnungen der Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.* (1990). Höchste Differenzen zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) werden im vorpubertären Alter gegenüber den Berechnungen nach Deurenberg *et al.*, 1990 (Hautfaltendickenmessung) erkannt. Unter Betrachtung der absoluten Differenzen gegenüber der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) bestehen bei Mädchen vor der Pubertät geringfügig höhere Abweichungen gegenüber der Körperfettmasse nach dem BIA-Algorithmus nach Houtkooper *et al.* (1989). Für Jungen in und nach der Pubertät werden höchste Differenzen, sowohl absolut als auch prozentual, zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) gegenüber der Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.* (1986) und bei Mädchen in und nach der Pubertät nach dem BIA-Algorithmus von Schaefer *et al.*, 1994 erkannt. Im vorpubertären Alter bestehen - mit Ausnahme der Berechnungen nach BIA, nach Schaefer *et al.* (1994) - größere prozentuale Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach Referenz- und Feldmethoden als bei Kindern in und nach der Pubertät ($P \leq 0,05$). Absolute bias zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und den Berechnungen nach BIA, nach Houtkooper *et al.* (1989) und Schaefer *et al.* (1994), ist im vorpubertären Alter für Jungen signifikant niedriger als für Mädchen. Zwischen den Berechnungen nach *ADP* und BIA, nach Schaefer *et al.* (1994), gilt dies im vorpubertären Alter auch für die prozentuale Angabe der bias. Signifikante Differenzen zwischen der Körperfettmasse von vor- und (post)pubertären Kindern werden für absolute bias zwischen Körperfettmasse nach *ADP*, nach Siri *et al.* (1956), und, für Mädchen, nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.* (1990), sowie nach BIA, nach Houtkooper *et al.* (1989) erkannt. Weiterhin bestehen für Jungen und Mädchen signifikante Differenzen zwischen vor- und (post)pubertärer Altersklasse bei der

absoluten bias zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und BIA, nach Schaefer *et al.* (1994). Bei Kindern vor der Pubertät sind absolute Differenzen zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und den Berechnungen nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.* (1990), und BIA, nach Houtkooper *et al.* (1989), größer als bei Kindern in und nach der Pubertät. Für Kinder in und nach der Pubertät bestehen größere absolute Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und den BIA-Berechnungen nach Schaefer *et al.* (1994) als in vorpubertärer Altersklasse ($P \leq 0,001$). Wie unter 3.1.1 aufgeführt, besitzen vorpubertäre Jungen, nach allen Berechnungsformeln, signifikant niedrigere absolute Körperfettmasse als vorpubertäre Mädchen. Die absolute Körperfettmasse beider Geschlechter ist sowohl nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), als auch nach Feldmethoden im vorpubertären Alter signifikant niedriger als bei Kinder in und nach der Pubertät. Im vorpubertären Alter ist die Körperfettmasse nach Feldmethoden signifikant niedriger als nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956). Nur nach Schaefers BIA-Formel (1994) besteht für vorpubertäre Mädchen ($P \leq 0,001$) niedrigere Körperfettmasse als nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), für Jungen ist $P > 0,05$. Bei Jungen in und nach der Pubertät findet nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.* (1986), Deurenberg *et al.* (1990) sowie nach Hautfaltendickenmessung, kombiniert mit BIA, nach Goran *et al.* (1996), eine signifikante Unterschätzung, nach Schaefers BIA-Formel (1994) eine signifikante Überschätzung der Körperfettmasse im Vergleich zu *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) statt. Bei Mädchen in und nach der Pubertät ist die Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.* (1986), signifikant niedriger als nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956)

Die Ergebnisse der Tabelle 14 werden in nachstehenden Punktdiagrammen graphisch veranschaulicht. Die Abbildungen 8 bis 17 geben die Studienergebnisse in bezug auf vorpubertäre Kinder wieder. Die Abbildungen 18 bis 27 führen die Studienergebnisse bezüglich Kindern in und nach der Pubertät auf. Die Streudiagramme geben für das Kindes- und Jugendalter den Vergleich der Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956) zur Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung (nach Lohman *et al.*, 1986, Deurenberg *et al.*, 1990), BIA (nach Schaefer *et al.*, 1994, Houtkooper *et al.*, 1989) und dem Algorithmus, der Meßparameter aus Anthropometrie und BIA berücksichtigt (nach Goran *et al.*, 1996), wieder.

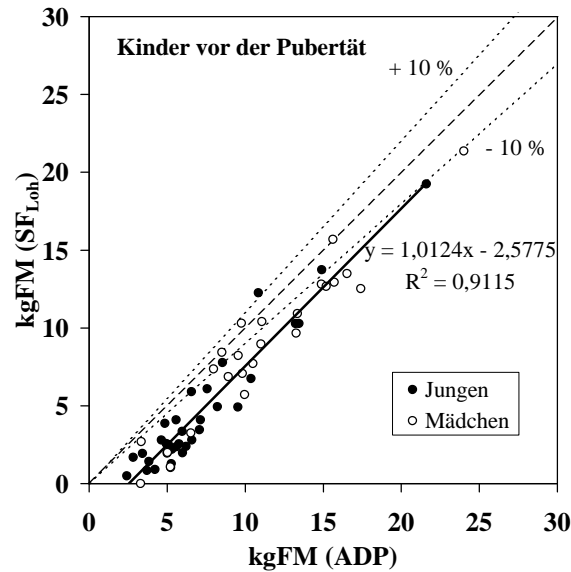


Abb. 8: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986 (kgFM [SF_{Loh}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986, von $\pm 10\%$.)

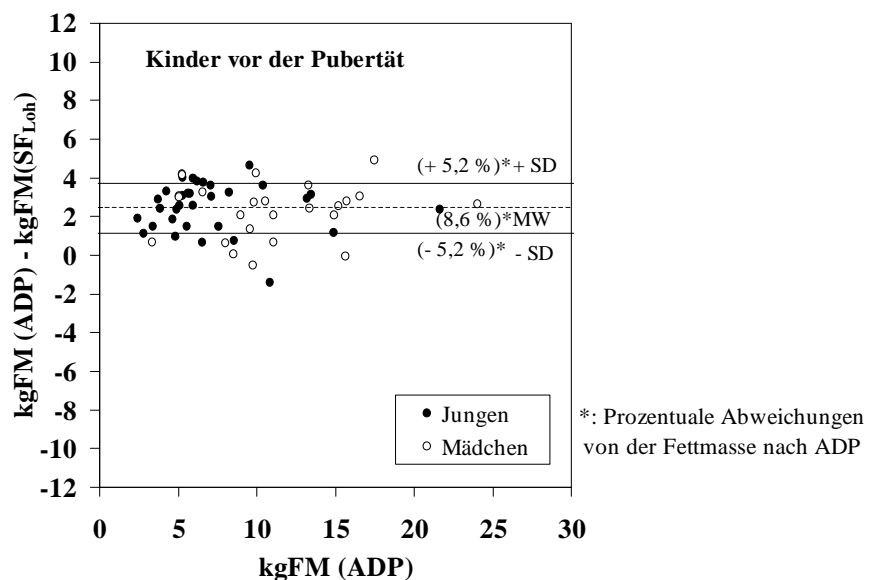


Abb. 9: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986 (kgFM [SF_{Loh}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

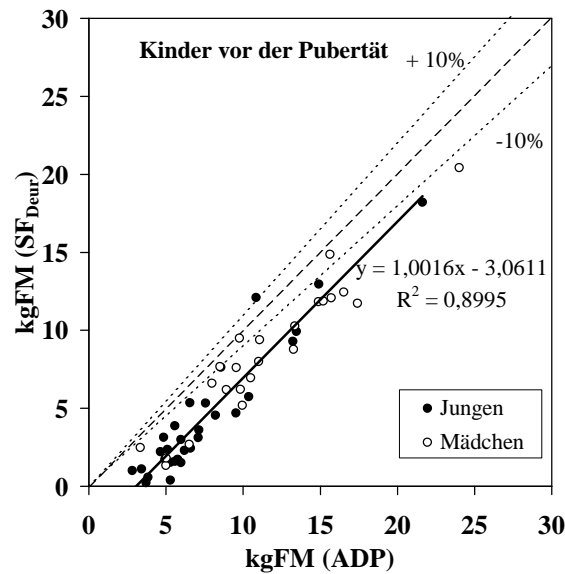


Abb. 10: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990 (kgFM [SF_{Deur}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach *ADP*, nach Siri *et al.*, 1956, und Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990, von $\pm 10\%$.)

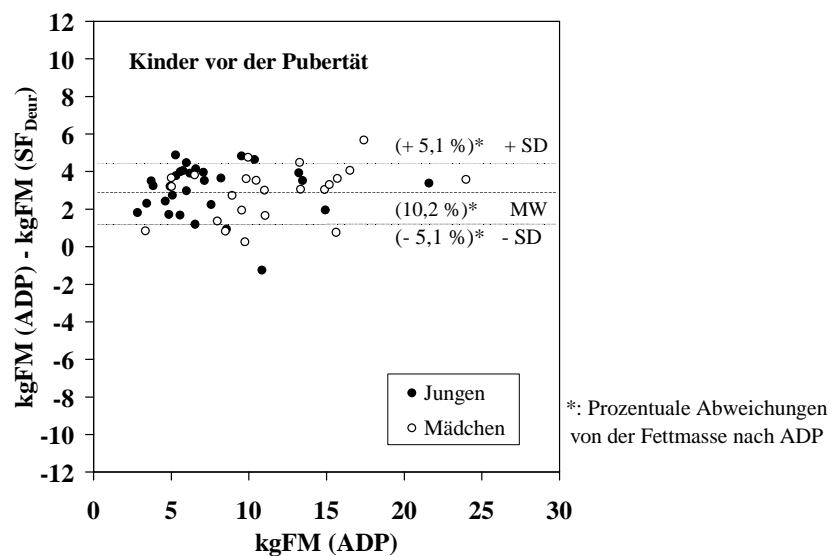


Abb. 11: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990 (kgFM [SF_{Deur}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

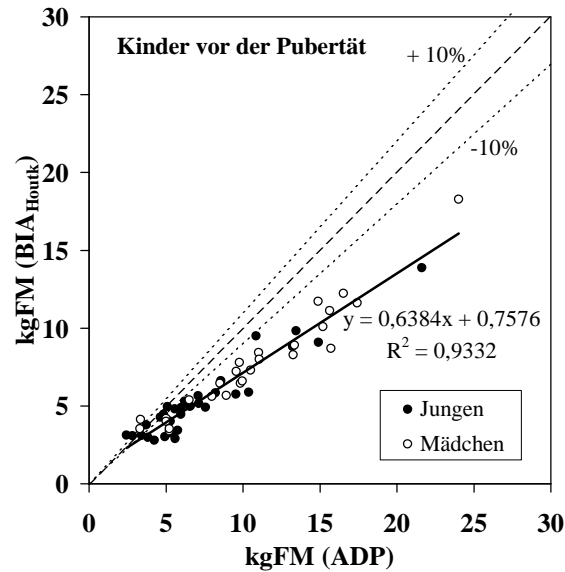


Abb. 12: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989 (kgFM [BIA_{Houtk}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989, von $\pm 10\%$.)

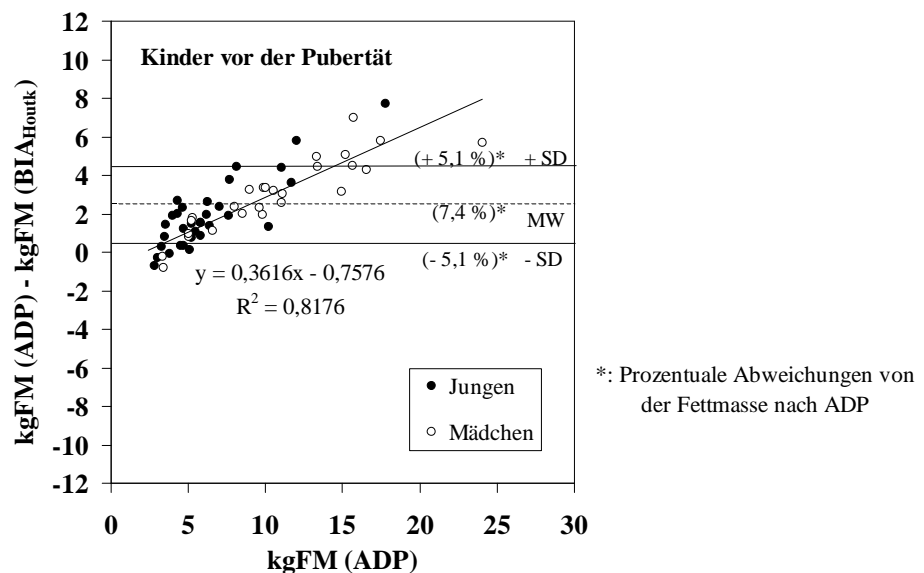


Abb. 13: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989 (kgFM [BIA_{Houtk}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

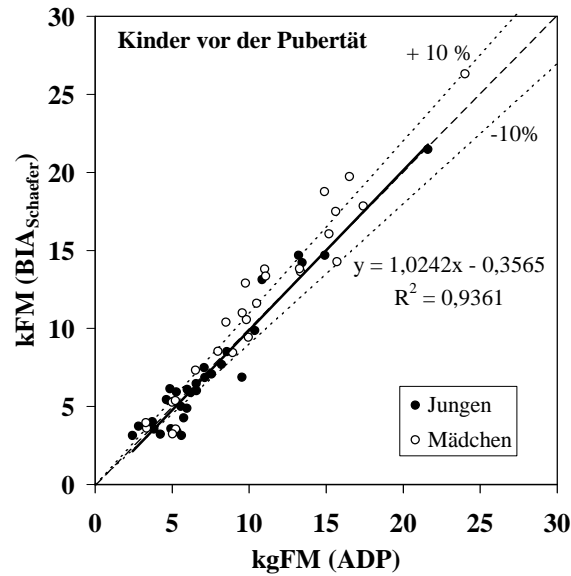


Abb. 14: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994 (kgFM [BIA_{Schaefer}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994, von $\pm 10\%$.)

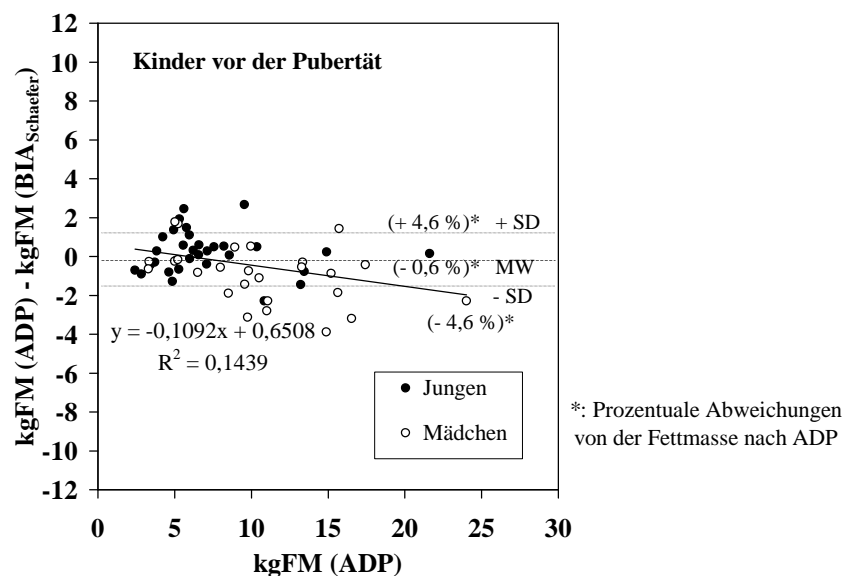


Abb. 15: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994 (kgFM [BIA_{Schaefer}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

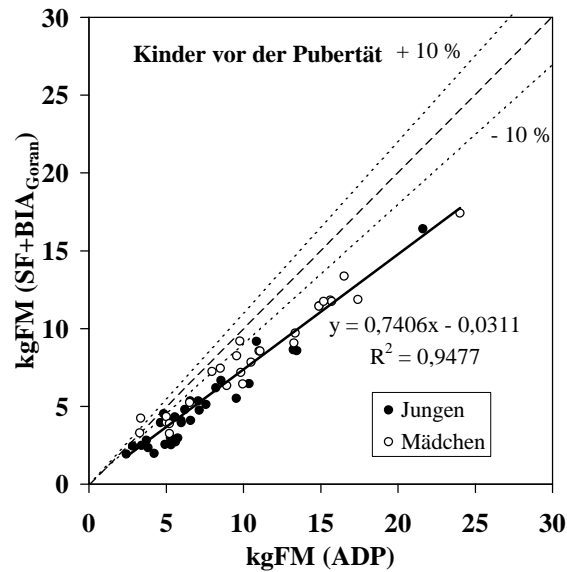
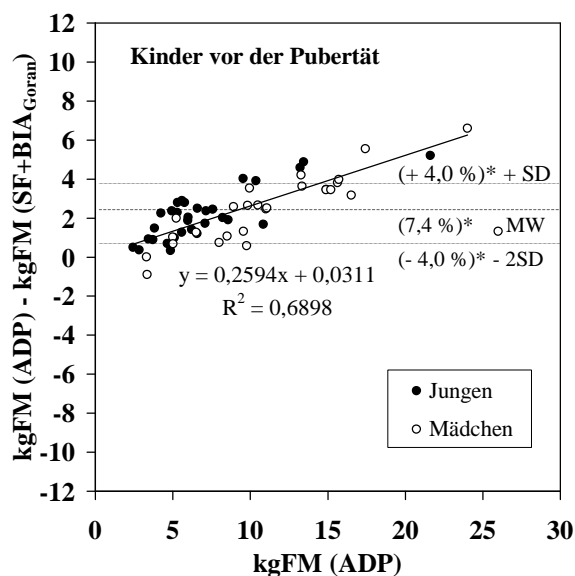


Abb. 16: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996 (kgFM [SF+BIA_{Goran}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26) (Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996, von $\pm 10\%$.)



*: Prozentuale Abweichungen von der Fettmasse nach ADP

Abb. 17: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996, (kgFM [SF+BIA_{Goran}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26) (Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

Die nach Feldmethoden berechneten Körperfettmassen weisen hohe Korrelationen gegenüber der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) auf (R^2 : 0,90 bis 0,95). Die Vergleiche der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) zu den Auswertungen nach BIA, nach Houtkooper *et al.* (1989), und Hautfaltendickenmessung, kombiniert mit BIA, nach Goran *et al.* (1996), machen systematische Unterschätzungen der Körperfettmasse durch die gewählten Algorithmen der Feldmethoden deutlich; sie nehmen mit zunehmender Körperfettmasse zu. Nach Schaefers BIA-Formel, 1994, besteht, im Vergleich zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), bis zu 7 kg Körperfett eine Unter-, ab ca. 7 kg Körperfett eine Überschätzung des Körperfettanteils. Die mittleren Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden sind mit Ausnahme der Berechnungen nach der BIA-Formel von Schaefer *et al.* (1994) sehr deutlich ausgeprägt. Nach Hautfaltendickenmessung (nach Lohman *et al.*, 1986, Deurenberg *et al.*, 1990) werden höhere mittlere Abweichungen (8,6, 10,2 %) gegenüber der Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956) erkannt als nach BIA (nach Houtkooper *et al.*, 1989: 7,4 %, nach Schaefer *et al.*, 1994: -0,6 %) bzw. Hautfaltendickenmessung in Kombination mit BIA (nach Goran *et al.*, 1996: 7,4 %).

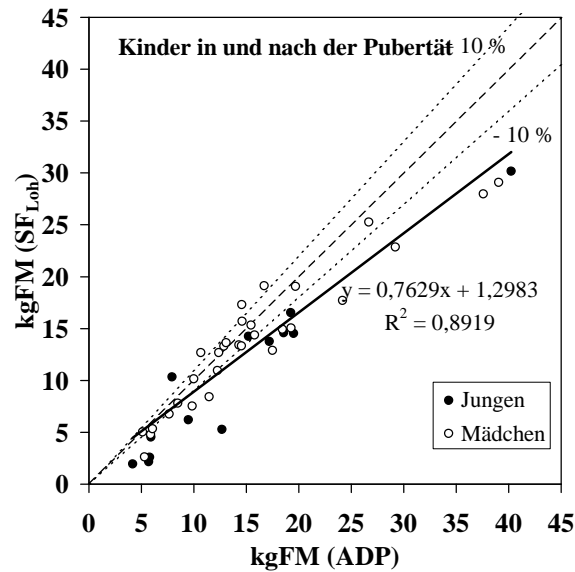


Abb. 18: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986 (kgFM [SF_{Loh}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986, von $\pm 10\%$.)

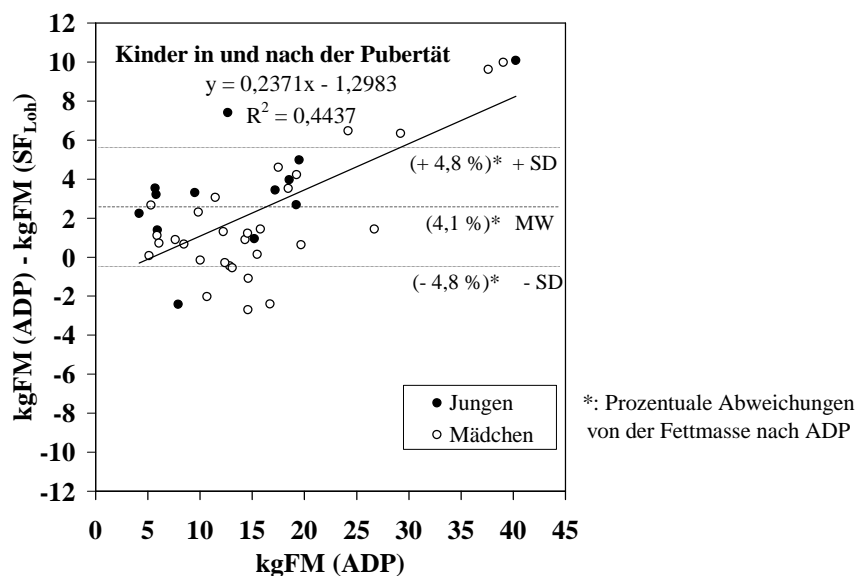


Abb. 19: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986 (kgFM [SF_{Loh}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

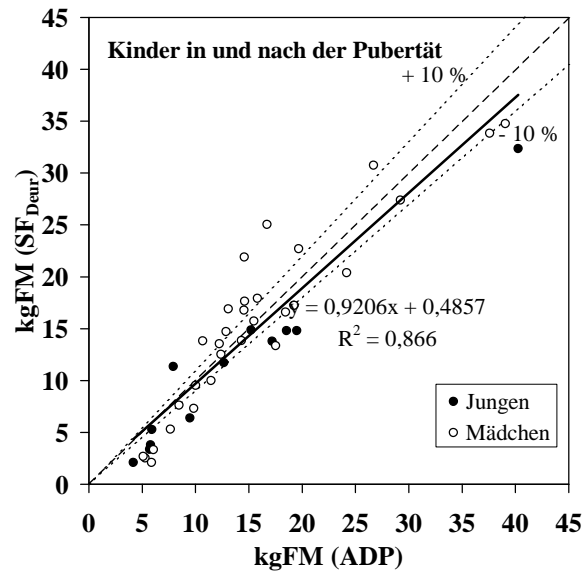


Abb. 20: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990 (kgFM [SF_{Deur}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach *ADP*, nach Siri *et al.*, 1956, und Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990, von $\pm 10\%$.)

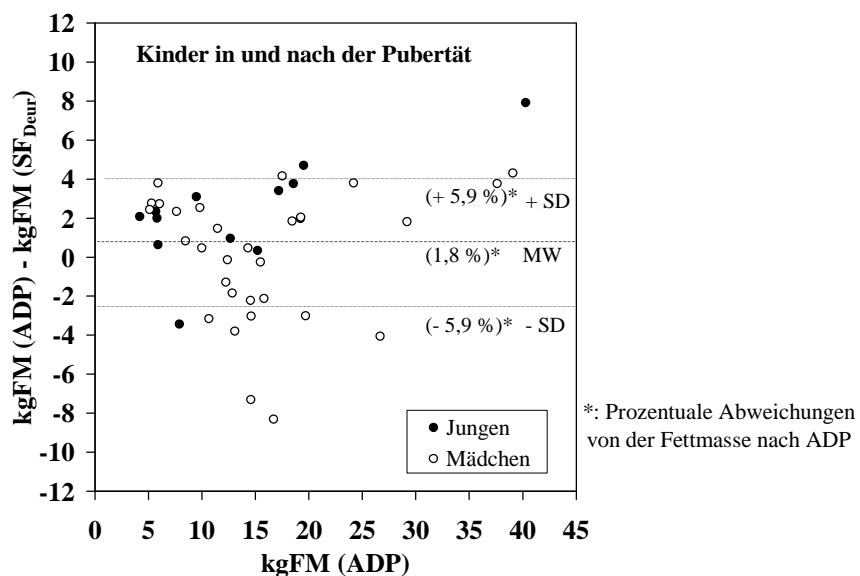


Abb. 21: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990 (kgFM [SF_{Deur}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

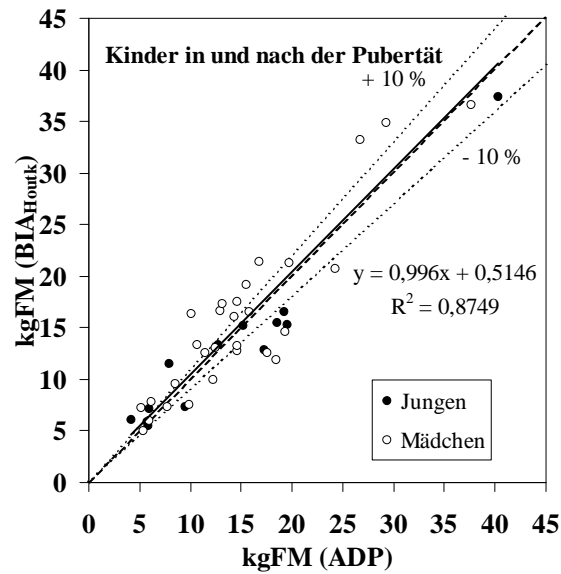


Abb. 22: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989 (kgFM [BIA_{Houtk}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989, von $\pm 10\%$.)

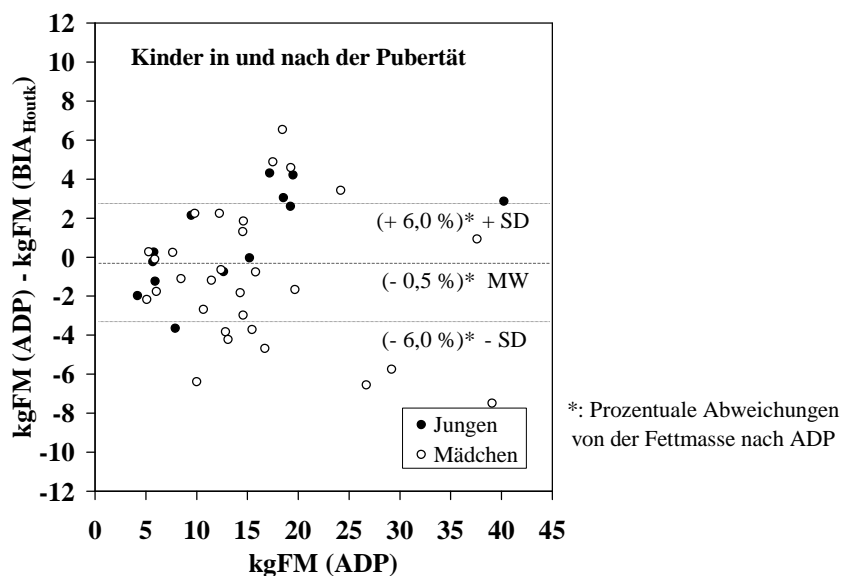


Abb. 23: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989 (kgFM [BIA_{Houtk}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

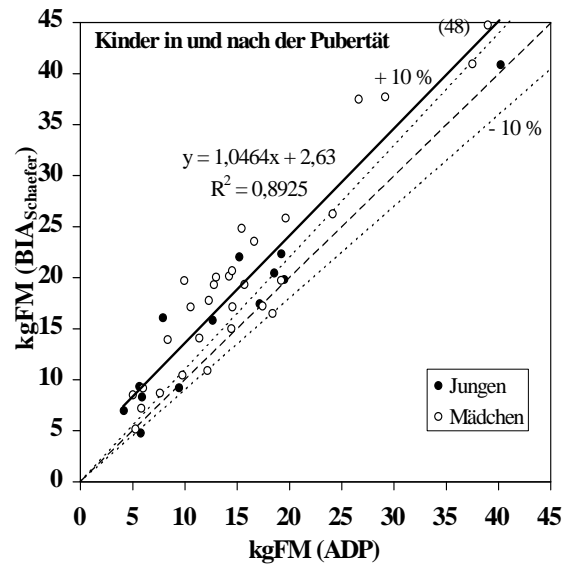


Abb. 24: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994 (kgFM [BIA_{Schaefer}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994, von $\pm 10\%$.)

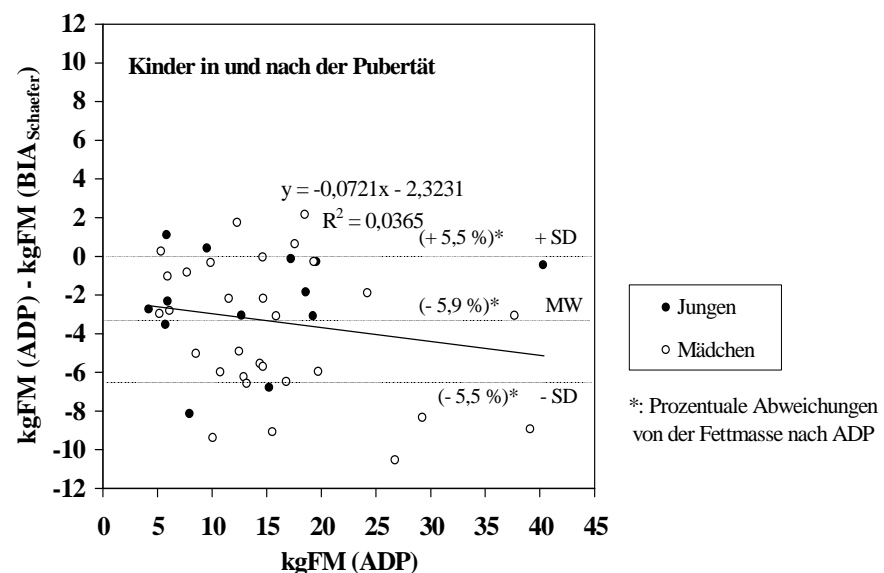


Abb. 25: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994 (kgFM [BIA_{Schaefer}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

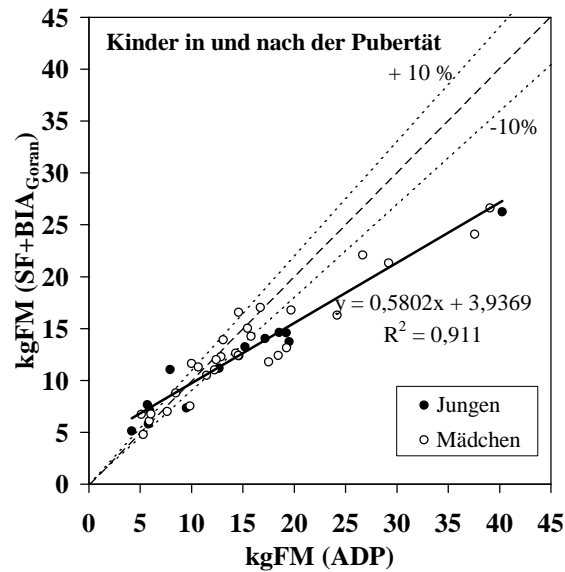


Abb. 26: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996 (kgFM [SF+BIA_{Goran}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30) (Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996, von $\pm 10\%$.)

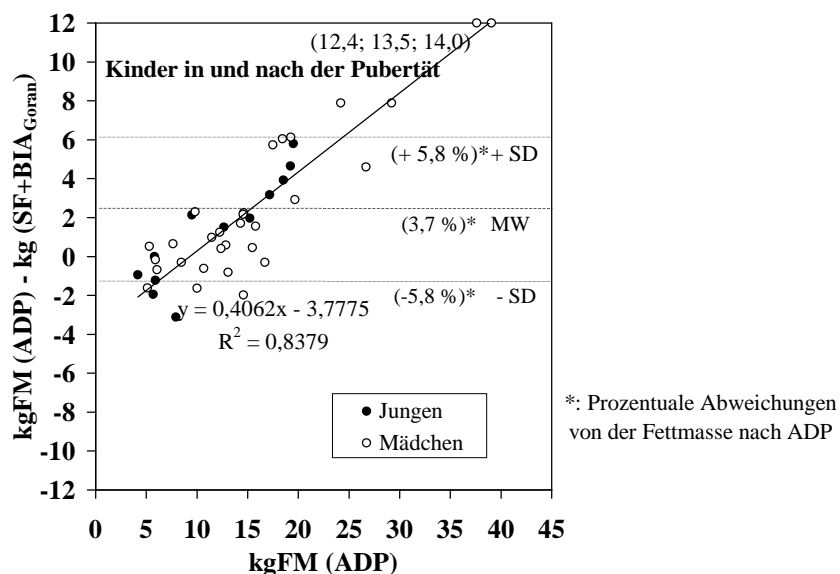


Abb. 27: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996 (kgFM [SF+BIA_{Goran}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

Für Kinder in und nach der Pubertät wird zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden geringeres R^2 (0,87 bis 0,91) deutlich als bei Kindern vor der Pubertät (siehe Abb. 8 bis 17, S. 52 bis 56). Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.* (1986), wird im Vergleich zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), systematisch unterschätzt. Mit zunehmender Körperfettmasse werden kontinuierlich steigende Differenzen deutlich. Nach Schaefers BIA-Algorithmus (1994) besteht demgegenüber - im Vergleich zu *ADP*, nach Siri *et al.* (1956) - eine Überschätzung der Körperfettmasse, die mit zunehmender Körperfettmasse ansteigt. Nach den Berechnungen, basierend auf Hautfaltendickenmessung und BIA, nach Goran *et al.* (1996), findet, im Vergleich zu den Berechnungen nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), bis zu einer Körperfettmasse von ca. 8 kg eine Über-, über diesem Wert eine Unterschätzung der Körperfettmasse statt. Die mittleren Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach Referenz- und Feldmethode sind - unter Ausnahme der Berechnungen nach BIA, nach Schaefer *et al.* (1994) - deutlich niedriger als bei Kindern vor der Pubertät. Höchste Abweichungen zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) bestehen gegenüber den Berechnungen nach BIA, nach Schaefer *et al.* (1994). Weiterhin ist festzustellen, daß die Körperfettmasse nach Formeln, die ausschließlich auf BIA basieren (nach Houtkooper *et al.*, 1989, Schaefer *et al.*, 1994), verglichen mit der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), im Mittel überschätzt wird. Enthalten die Formeln anthropometrische Elemente, resultiert eine Unterschätzung.

In Tabelle 15 wird darüber informiert, für wieviel Prozent der Kinder vor der Pubertät und Kinder in und nach der Pubertät Abweichungen von weniger als 10 % bzw. ≥ 10 % zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA) bestehen.

Tab. 15: Angabe der Differenzen zwischen Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse) von < 10 % bzw. ≥ 10 %: Kinder und Jugendliche

| | | vor der Pubertät (Tanner score ≤ 1) | | in und nach der Pubertät (Tanner score > 1) | |
|------------------------------------|---|--|-------------|---|-------------|
| | | Differenz zur Fettmasse nach ADP [kg] | | Differenz zur Fettmasse nach ADP [kg] | |
| | | < 10 % | ≥ 10 % | < 10 % | ≥ 10 % |
| FM (SF _{Loh}) [kg] | m | 56,3 % | 43,8 % | m | 76,9 % |
| | w | 68,0 % | 32,0 % | w | 23,1 % |
| FM (SF _{Deur}) [kg] | m | 36,7 % | 63,3 % | m | 90,0 % |
| | w | 56,5 % | 43,5 % | w | 10,0 % |
| FM (BIA _{Houtk}) [kg] | m | 78,1 % | 21,9 % | m | 100 % |
| | w | 53,8 % | 46,2 % | w | 0,0 % |
| FM (BIA _{Schaefer}) [kg] | m | 96,6 % | 3,1 % | m | 93,3 % |
| | w | 100 % | 0,0 % | w | 6,7 % |
| FM (SF+BIA _{Goran}) [kg] | m | 65,6 % | 34,4 % | m | 92,3 % |
| | w | 76,9 % | 23,1 % | w | 7,7 % |

m: Jungen: vor der Pubertät: n=32, in und nach der Pubertät: n=13; w: Mädchen: vor der Pubertät: n=26, in und nach der Pubertät: n=30; FM: Körperfettmasse; ADP: nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); SF: nach Hautfaltendickenmessung; Loh: nach Lohman *et al.* (1986); Deur: nach Deurenberg *et al.* (1990); BIA: nach Bioelektrischer Impedanzanalyse; Houtk: nach Houtkooper *et al.* (1989)

Tabelle 15 verdeutlicht, daß der prozentuale Anteil der Differenzen zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden von < 10 % für Kinder vor der Pubertät niedriger, und der prozentuale Anteil der Abweichungen ≥ 10 %, höher ist als bei Kindern in und nach der Pubertät. Ausnahmen bilden die Vergleiche der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) mit den Berechnungen nach BIA, nach Schaefer *et al.* (1994), für Jungen und Mädchen, und, für Mädchen, Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung kombiniert mit BIA, nach Goran *et al.* (1996), wonach bei Kindern in und nach der Pubertät höhere Differenzen zwischen Körperfettmasse nach Referenz- und Feldmethoden als im vorpubertären Alter bestehen. Der Anteil der Abweichungen zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) von < 10 % ist im vorpubertären Alter gegenüber Körperfettmasse nach BIA, nach Schaefer *et al.* (1994), am größten. Höchste Abweichungen (hoher Prozentsatz der Abweichungen ≥ 10 % zur Körperfettmasse nach *ADP*, nach Siri *et al.*, 1956)

werden bei Jungen vor der Pubertät gegenüber Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.* (1990), für Mädchen nach BIA, nach Houtkooper *et al.* (1989), erkannt. In der Gruppe der Kinder in und nach der Pubertät sind für die Abweichungen zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) von < 10 % am häufigsten gegenüber der Körperfettmasse nach BIA, nach Houtkooper *et al.* (1989), zu verzeichnen. Der höchste Prozentsatz der Abweichungen ≥ 10 % zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) ist bei Jungen gegenüber den Berechnungen nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.* (1986), bei Mädchen gegenüber der Körperfettmasse nach BIA, nach Schaefer *et al.* (1994), gegeben. Weiterhin werden Auswertungen durchgeführt, die Aussagen über die *Sensitivität* der Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA) bei der Klassifikation des Übergewichts zulassen. Die 90. Perzentile der prozentualen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) wird als Grenzwert zwischen Normal- und Übergewicht gewählt. Dies entspricht bei Jungen im vorpubertären bzw. (post)pubertären Alter einer prozentualen Körperfettmasse von 37,6 % bzw. 41,1 %. Für Mädchen vor bzw. in und nach der Pubertät wird die 90. Perzentile mit 42,6 % Körperfett angegeben. Nach Hautfaltendickenmessung besteht für die Berechnungen nach Lohman *et al.* (1986) und Deurenberg *et al.* (1990) für die Gesamtgruppe der Kinder eine *Sensitivität* von 0,11 an. D.h. 11 % der Kinder, die nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) übergewichtig sind, werden auch nach Hautfaltendickenmessung als übergewichtig klassifiziert (nach Lohman *et al.*, 1986, Jungen: vorpubertär: 0,33, [post]pubertär: 0,0; Mädchen: vor-, [post]pubertär: 0,0; Deurenberg *et al.*, 1990, Jungen: vor-, [post]pubertär: 0,0; Mädchen: vorpubertär: 0,0, [post]pubertär: 0,33). Für die Auswertungen nach BIA ergibt sich für die Gesamtgruppe nach Houtkooper *et al.* (1989) eine *Sensitivität* von 0,22 (Jungen: vor-, [post]pubertär: 0,0; Mädchen: vorpubertär: 0,0, [post]pubertär: 9,3), nach Schaefer *et al.* (1994) beträgt sie für die Gesamtgruppe 0,89 (Jungen: vor-, [post]pubertär: 1,0; Mädchen: vorpubertär: 0,5, [post]pubertär: 1,0) und nach Hautfaltendickenmessung in Kombination mit BIA, nach Goran *et al.* (1996) 0,0. Die *Spezifität* gibt an, wieviel Prozent der nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) als nicht übergewichtig klassifizierten Studienteilnehmer auch nach Hautfaltendickenmessung und/bzw. BIA als nicht übergewichtig klassifiziert werden. Für die Gesamtgruppe der Kinder ergibt sich nach Hautfaltendickenmessung eine *Spezifität* von 1,0 (nach Lohman *et al.*, 1986) und 0,99 (nach Deurenberg *et al.*, 1990, wobei: Jungen: vor-, [post]pubertär: 1,0; Mädchen: vorpubertär: 1,0, [post]pubertär: 0,98). Entsprechend werden 100 bzw. 99 % der nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) als nicht übergewichtig klassifizierten

Kinder auch nach Hautfaltendickenmessung (nach Lohman *et al.*, 1986, Deurenberg *et al.*, 1990) als nicht übergewichtig klassifiziert. Für die Gesamtgruppe ergibt sich nach den Auswertungen der BIA nach Houtkooper *et al.* (1989) eine *Spezifität* von 0,98 (Jungen: vor-, [post]pubertär: 1,0; Mädchen: vorpubertär: 1,0, [post]pubertär: 0,93), nach Schaefer *et al.* (1994) ist sie 0,90 (Jungen: vorpubertär: 0,97, [post]pubertär: 1,0; Mädchen: vorpubertär: 0,79, [post]pubertär: 0,89). Nach dem Algorithmus von Goran *et al.* (1996), der Hautfaltendickenmessung und BIA integriert beträgt die *Spezifität* in allen Gruppen 1,0.

3.4.2 Erwachsene

Wie zuvor bezogen auf das Kindes- und Jugendalter, wird im folgenden ein Vergleich der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA) durchgeführt. In Tabelle 16 werden absolute und prozentuale Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach Referenz- (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA) dargestellt.

Tab. 16: Angabe der Differenzen (absolut und prozentual) zwischen Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse): Erwachsene

| | | < 60 Jahre | | | ≥ 60 Jahre | | |
|-----------------------------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | bias [kg] | bias [%] | | bias [kg] | bias [%] |
| FM (ADP) [kg] | m | 15,4 ± 9,9 ehh | | | 22,8 ± 8,6 h | | |
| | w | 20,9 ± 10,5 eee | | | 29,2 ± 6,9 | | |
| FM (SF _{Brožek}) [kg] | m | 15,9 ± 7,4 eehh | -0,5 ± 4,0 h | -0,9 ± 4,7 h | 22,8 ± 7,5 | -0,1 ± 3,4 hh | -0,1 ± 3,8 hh |
| | w | 20,0 ± 7,9 eeegg | 1,0 ± 3,8 e | 1,0 ± 5,2 e | 26,4 ± 5,8 ggg | 2,8 ± 2,9 | 3,9 ± 4,1 |
| FM (BIA _{Kushner}) [kg] | m | 22,5 ± 9,5 ggg | -7,1 ± 4,6 eehhh | -9,0 ± 6,0 eehhh | 24,9 ± 9,4 | -2,1 ± 3,8 h | -2,6 ± 4,2 h |
| | w | 24,5 ± 9,8 ggg | -3,6 ± 3,1 eee | -5,8 ± 5,0 eee | 28,2 ± 7,1 | 1,0 ± 3,5 | 1,4 ± 4,9 |

m: Männer, < 60 Jahren: n=45, ≥ 60 Jahren: n=13; w: Frauen, < 60 Jahren: n=104, ≥ 60 Jahren: n=21; FM: Körperfettmasse; ADP: nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); SF: nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.* (1963); BIA: nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.* (1992); bias: mittlere Abweichung gegenüber der Körperfettmasse nach *ADP*; e: statistisch signifikante Unterschiede zwischen <60- und ≥60-Jährigen (eee: P≤0,001; ee: P≤0,01; e:P≤0,05); g: statistisch signifikante Unterschiede zur Körperfettmasse nach *ADP* (ggg: P≤0,001; gg: P≤0,01); h: statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern (hhh: P≤0,001; hh: P≤0,01; h: P≤0,05)

Mittlere Abweichungen gegenüber der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) sind - mit Ausnahme der Frauen ≥ 60 Jahre - für BIA (nach Kushner *et al.*, 1992) deutlich höher als nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963).

Differenzen (bias) zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden sind (absolut und prozentual) nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) für unter 60jährige Männer ($P > 0,05$) und Frauen ($P \leq 0,05$) geringer, nach BIA (nach Kushner *et al.*, 1992) signifikant höher als für Studienteilnehmer ≥ 60 Jahre. Nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) besteht bei Männern beider Altersklassen signifikant niedrigere bias (absolut und prozentual) zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), als bei Frauen. Für die Berechnungen nach BIA (nach Kushner *et al.*, 1992) wird gegenüber der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) in beiden Altersklassen niedrigere bias ($P \leq 0,05$) für Frauen erkannt. Wie in Punkt 3.1.2 aufgeführt, ist Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) bei Frauen signifikant höher als bei Männern. Dies gilt für Studienteilnehmer unter 60 Jahren auch für die Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.* (1963). Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) ist für unter 60jährige Männer und Frauen signifikant niedriger als bei ≥ 60 jährigen Studienteilnehmern. Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) ist bei Frauen beider Altersklassen signifikant niedriger; bei Männern und Frauen unter 60 Jahren nach BIA (nach Kushner *et al.*, 1992) signifikant höher als nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956).

Nachstehende Streudiagramme (Abb. 28 bis 31) geben absolute Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) gegenüber Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) und BIA (nach Kushner *et al.*, 1992) wieder. Dargestellt ist die Gesamtgruppe erwachsener Probanden.

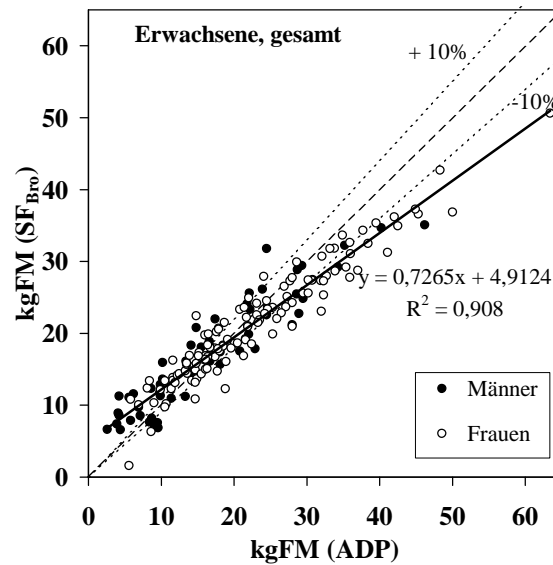


Abb. 28: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.*, 1963 (kgFM [SF_{Bro}]): Erwachsene (n=183, Männer: n=58, Frauen: n=125)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.*, 1963, von $\pm 10\%$.)

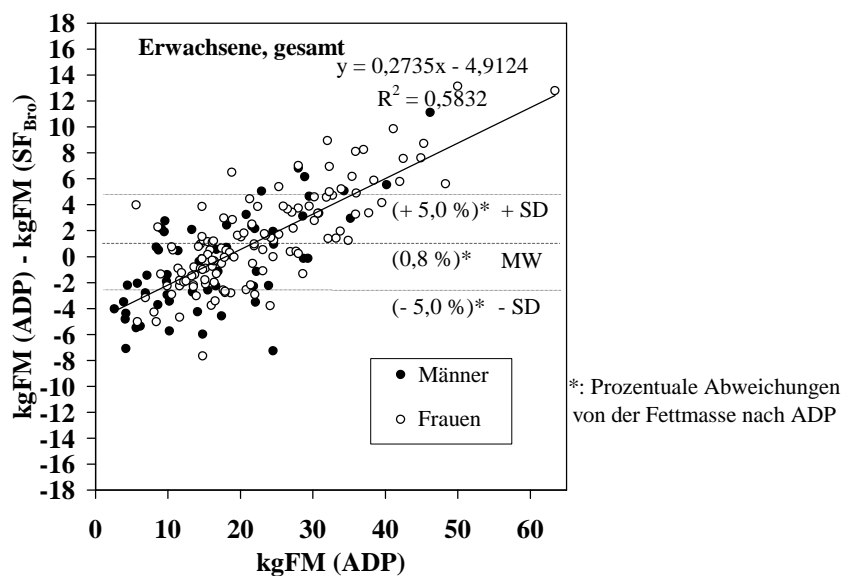


Abb. 29: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.*, 1963 (kgFM [SF_{Bro}]): Erwachsene (n=183, Männer: n=58, Frauen: n=125)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

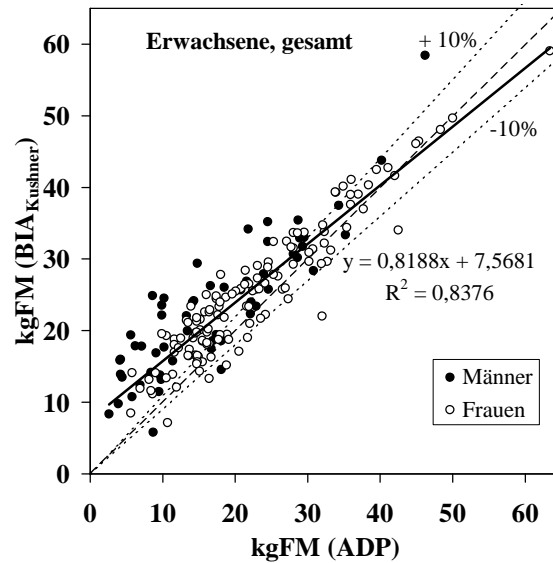


Abb. 30: Bivariate Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.*, 1992 (kgFM [BIA_{Kushner}]): Erwachsene (n=183, Männer: n=58, Frauen: n=125)

(Gestrichelte Linien symbolisieren die mittlere Abweichung zwischen Körperfettmasse nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956, und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.*, 1992, von $\pm 10\%$.)

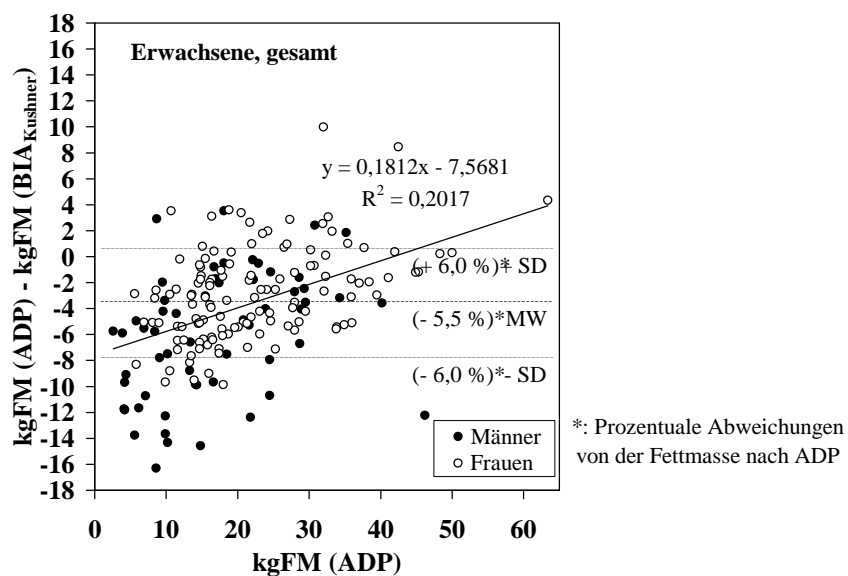


Abb. 31: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.*, 1992 (kgFM [BIA_{Kushner}]): Erwachsene (n=183, Männer: n=58, Frauen: n=125)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

Zwischen absoluter Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) besteht deutlich höheres R^2 (0,91) als gegenüber der Körperfettmasse nach *BIA* (nach Kushner *et al.*, 1992) ($R^2=0,84$). Körperfettmasse nach Feldmethode (Hautfaltendickenmessung, *BIA*) wird, im Vergleich zur Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), bis ca. 18 kg (nach Brožek *et al.*, 1963) bzw. 42 kg Körperfett (nach Kushner *et al.*, 1992) systematisch überschätzt, oberhalb dieser Werte findet eine Unterschätzung der Körperfettmasse durch die Feldmethoden statt. Mittlere Abweichungen zur Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956) sind mit 0,8 % gegenüber den Berechnungen nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) deutlich niedriger als für den Vergleich mit der Körperfettmasse nach *BIA* (nach Kushner *et al.*, 1992). Die mittlere Differenz beträgt hierbei -5,5 %.

Tabelle 17 führt den prozentualen Anteil erwachsener Studienteilnehmer auf, für den Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und *BIA*) von < 10 bzw. ≥ 10 % verzeichnet werden.

Tab. 17: Angabe der Differenzen zwischen Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse) von < 10 % bzw. ≥ 10 %: Erwachsene

| | | < 60 Jahre | | ≥ 60 Jahre | |
|-----------------------------------|----------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|
| | | Differenz zur Fettmasse nach ADP [kg] | | Differenz zur Fettmasse nach ADP [kg] | |
| | | < 10 % | ≥ 10 % | < 10 % | ≥ 10 % |
| FM (SF _{Brožek}) [kg] | m | 100 % | 0,0 % | m | 100 % |
| | w | 93,3 % | 6,7 % | w | 95,2 % |
| FM (BIA _{Kushner}) [kg] | m | 55,6 % | 44,4 % | m | 92,3 % |
| | w | 79,8 % | 20,2 % | w | 95,2 % |

m: Männer, < 60 Jahren: n=45, ≥ 60 Jahren: n=13; w: Frauen, < 60 Jahren: n=104, ≥ 60 Jahren: n=21; FM: Körperfettmasse; ADP: nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); SF: nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.* (1963); BIA: nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.* (1992)

Nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) besteht für Männer beider Altersklassen und Frauen unter 60 Jahren ein höherer Prozentsatz von Meßergebnissen, die Abweichungen von weniger als 10 % gegenüber der Körperfettmasse nach ADP (nach Siri *et al.*, 1956) zeigen als nach BIA (nach Kushner *et al.*, 1992). Wie für das Kindes- und Jugendalter wird für Erwachsene die *Sensitivität* der Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA) bei der Klassifikation von Übergewicht bestimmt. Als übergewichtig gelten (entsprechend der Herstellerangaben von BOD POD[®]) Männer mit einer Körperfettmasse > 20 % und Frauen, bei denen die Körperfettmasse mehr als 30 % des Körpergewichts bestimmt. Die *Sensitivität* beträgt für die Gesamtgruppe nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.* (1963), 0,88 (Männer: gesamt: 0,97, unter 60 Jahren: 1,0, ≥ 60 Jahren: 0,92; Frauen: gesamt: 0,84, unter 60 Jahren: 0,77, ≥ 60 Jahre: 1,0). Entsprechend werden 88 % der nach ADP (nach Siri *et al.*, 1956) als übergewichtig klassifizierten Männer und Frauen auch nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) als übergewichtig klassifiziert. Nach BIA bestehen für die Gesamtgruppe, nach Kushner *et al.* (1992), Angaben der *Sensitivität* von 0,96 (Männer: gesamt: 0,97, unter 60 Jahren: 1,0, ≥ 60 Jahre: 0,92; Frauen: gesamt: 0,95, unter 60 Jahren: 0,98, ≥ 60 Jahre: 0,90). Die *Spezifität* beträgt für die Gesamtgruppe nach den Berechnungen der Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) 0,87. Männer, gesamt: 0,86. Da Männer im Alter ≥ 60 Jahre ausschließlich mehr als 20 % Körperfett (nach ADP, nach Siri *et al.*, 1956) besitzen, erfolgt für Männer keine nach Altersklassen differenzierte Angabe. Für Frauen wird eine *Spezifität* von 0,87 deutlich (Frauen, gesamt), für Frauen unter 60 Jahren beträgt sie 0,87 und für Frauen ≥ 60 Jahre 1,0. Die Auswertung nach BIA (nach Kushner *et al.*, 1992) weist eine *Spezifität* von 0,38 für die Gesamtgruppe auf (Männer: gesamt: 0,31; Frauen: gesamt: 0,41, unter 60 Jahren: 0,40, ≥ 60 Jahre: 1,0).

3.5 Multiple Regression

3.5.1 Signifikanztests

Einige der signifikanten Beziehungen, die zwischen der abhängigen Variablen (absolute fettfreie Masse nach *ADP*, nach Siri *et al.*, 1963) und den unabhängigen Variablen (Meßparameter der Anthropometrie und BIA) mit bivariater Korrelationsanalyse erfaßt werden konnten, sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Tab. 18: Ergebnisse bivariater Korrelation zwischen absoluter fettfreier Masse nach *Air Displacement Plethysmography* und Meßparametern der Anthropometrie und Bioelektrischen Impedanzanalyse (50 kHz): Kinder, Jugendliche und Erwachsene

| | Kinder und Jugendliche (n=101) | Erwachsene (n=183) |
|---|-----------------------------------|-----------------------|
| | FFM [kg] | FFM [kg] |
| Geschlecht | -0,17 | 0,80 *** |
| Alter [Jahre] | 0,88 *** | -0,07 * |
| Körpergröße [cm] | 0,95 *** | 0,83 *** |
| Körpergewicht [kg] | 0,92 *** | 0,67 *** |
| TSF [mm] | 0,14 | -0,36 *** |
| BSF [mm] | 0,18 | -0,19 ** |
| Σ TSF+BSF+SIF+SSF [mm] | 0,36 *** | -0,09 |
| Resistanz bei 50 kHz [Ω] | 0,68 *** | -0,66 *** |
| Resistanz-Index bei 50 kHz [cm ² / Ω] | 0,96 *** | 0,92 *** |

FFM: fettfreie Masse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); TSF: Trizepshautfalte; BSF: Bizepshautfalte; Σ TSF+BSF+SIF+SSF: Summe aus Trizeps-, Bizeps-, Suprailiacal-, Subscapularhautfalte; *: Signifikanzniveau (***: P \leq 0,001; **: P \leq 0,01; *: P \leq 0,05)

Signifikante Beziehungen werden nach bivariater Korrelationsanalyse insbesondere zwischen fettfreier Masse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und dem Resistanz-Index bei 50 kHz sowie Körpergröße und Körpergewicht erkannt. Weiterhin besteht bei Erwachsenen, nicht hingegen bei Kindern und Jugendlichen, hohe, signifikante Korrelation gegenüber dem Geschlecht. Bei Kindern und Jugendlichen stellt Alter eine signifikante Einflußgröße, hoher Korrelation dar. Obwohl es bei Erwachsenen nur eine geringe Beziehung zur abhängigen Variablen zeigt, wurde es in schrittweise multiple Regression einbezogen. Korrelationsanalysen, die zwischen unabhängigen Variablen durchgeführt wurden, sowie Toleranztests und Konditionsindex schließen Multikollinearität aus.

Tabelle 19 gibt Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regression wieder, wobei absolute fettfreie Masse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) die abhängige Variable und Meßparameter von Anthropometrie und BIA (50 kHz) sowie Alter und Geschlecht die unabhängigen Variablen bilden.

Tab. 19: Ergebnisse schrittweiser multipler Regression mit absoluter fettfreier Masse nach *Air Displacement Plethysmography* als abhängiger Variablen und Meßparametern der Anthropometrie, Bioelektrischen Impedanzanalyse (50 kHz) sowie Alter und Geschlecht als unabhängige Variablen: Kinder, Jugendliche und Erwachsene

| | R | R² | korr. R² | Signifikanz |
|-----------------------------------|----------|----------------------|----------------------------|--------------------|
| Kinder und Jugendliche | | | | |
| RI ₅₀ | 0,96 | 0,92 | 0,92 | 0,000 |
| RI ₅₀ + Alter | 0,97 | 0,95 | 0,95 | 0,000 |
| RI ₅₀ + Alter + KG | 0,98 | 0,96 | 0,96 | 0,000 |
| Erwachsene | | | | |
| RI ₅₀ | 0,92 | 0,84 | 0,84 | 0,000 |
| RI ₅₀ + Alter | 0,93 | 0,86 | 0,86 | 0,000 |
| RI ₅₀ + Alter + G | 0,94 | 0,88 | 0,88 | 0,000 |
| RI ₅₀ + Alter + G + KG | 0,95 | 0,91 | 0,90 | 0,000 |

korr. R²: korrigiertes R²; RI₅₀: Resistanz-Index [cm²/Ω] bei 50 kHz; Alter [Jahre], KG: Körpergewicht [kg], G: Geschlecht (Männer=1, Frauen=0)

Bereits 84 % (Erwachsene) bzw. 92 % (Kinder) der absoluten fettfreien Masse nach *ADP*, nach Siri *et al.* (1956), werden durch den Resistanz-Index (bei 50 kHz) erklärt. Unter Hinzunahme von Alter und Körpergewicht sowie Geschlecht (bei Erwachsenen) nimmt dieser Wert auf 90 % (Erwachsene) bzw. 96 % (Kinder) zu.

3.5.2 Algorithmen zur Bestimmung der absoluten fettfreien Masse

Auf der Grundlage schrittweiser, multipler Regression wurden folgende Algorithmen zur Bestimmung der absoluten fettfreien Masse, mit *ADP* als Referenz, formuliert:

3.5.2.1 Kinder und Jugendliche

$$\text{Fettfreie Masse [kg]} = -2,705 + 0,517 \cdot \text{RI}_{50} [\text{cm}^2/\Omega] + 0,823 \cdot \text{Alter [Jahre]} + 0,175 \cdot \text{Körpergewicht [kg]},$$

wobei: $\text{RI}_{50} = \text{Resistanz-Index (Körpergröße}^2 [\text{cm}] / \text{Resistanz } [\Omega] \text{ bei 50 kHz)}$

Zwischen absoluter fettfreier Masse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Kieler Algorithmus werden im Kindes- und Jugendalter für beide Geschlechter hochsignifikante Korrelationen (0,90 bis 0,99) deutlich. Die mittleren Abweichungen betragen $0,0 \pm 2,1$ kg (Gesamtgruppe) bis $-0,4 \text{ kg} \pm 3,2$ kg (Jungen in und nach der Pubertät) bzw. $0,4 \text{ kg} \pm 2,7$ kg (Mädchen in und nach der Pubertät). Prozentuale Differenzen werden mit $0,0 \pm 4,5$ % (Gesamtgruppe) bis $0,9 \pm 5,1$ % (Jungen und Mädchen in und nach der Pubertät) angegeben. Absolute Körperfettmasse entsprechend eines Zwei-Kompartiment-Modells (Körperfettmasse = Körpergewicht – fettfreie Masse) zeigt hochsignifikante Korrelationen (0,95 bis 0,97) zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Kieler Algorithmus. Die bisher genannten Ergebnisse sind tabellarisch in den Tabellen A1, A2, S. x im Anhang aufgeführt. *SEE* ist für die Gruppe Kinder vor der Pubertät mit 3,98 % (Gesamtgruppe), 3,95 % (Jungen) und 3,74 % (Mädchen) niedriger als bei Kindern in und nach der Pubertät. Im (post)pubertären Alter beträgt *SEE* 4,72 % (Gesamtgruppe), 4,25 % (Jungen) und 4,76 % (Mädchen). In der Gesamtgruppe aller Kinder wird *SEE* mit 4,04 % (Jungen) und 4,32 % (Mädchen) angegeben.

Um diese Studienergebnisse graphisch zu verdeutlichen, sind Streudiagramme erstellt worden, die für das Kindes- und Jugendalter die absolute Körperfettmasse nach Referenzmethode, *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956), gegen absolute Körperfettmasse nach dem Kieler Algorithmus abbilden:

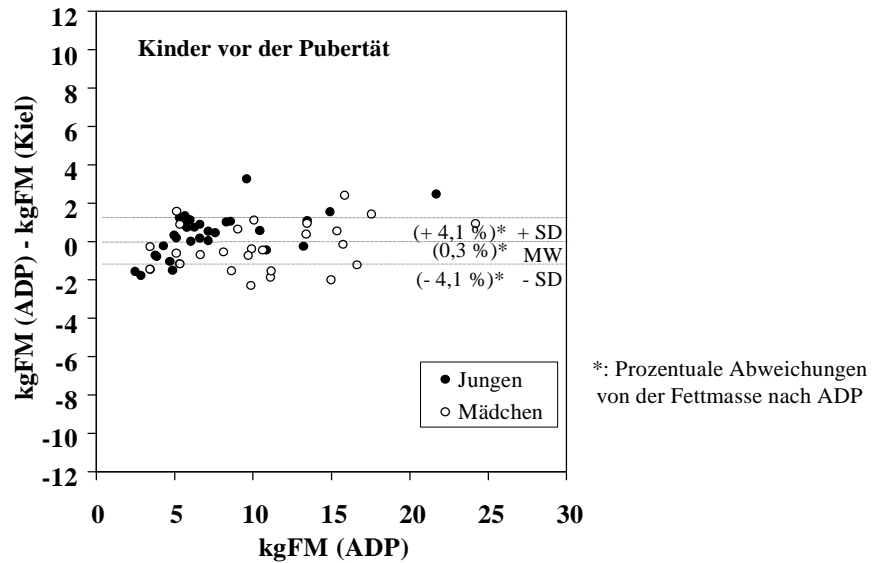


Abb. 32: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

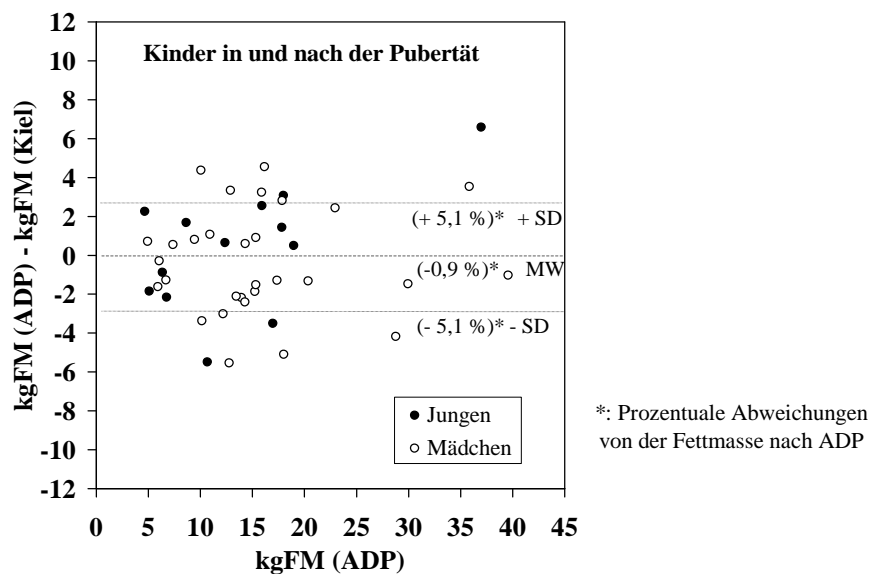


Abb. 33: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

Zwischen absoluter Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Kieler Algorithmus bestehen (unabhängig von Alter und Fettleibigkeitsgrad) keine systematischen Abweichungen. Zwischen beiden Erhebungen wird für Kinder vor der Pubertät ein mittlerer Fehler von 0,3 % deutlich; für Kinder in und nach der Pubertät beträgt die mittlere Differenz – 0,9 %.

3.5.2.2 Erwachsene

Nachstehend wird der Algorithmus aufgeführt, der - mit *ADP* als Referenzmethode - für die Berechnung der absoluten fettfreien Masse für erwachsene Probanden formuliert wurde.

$$\text{Fettfreie Masse [kg]} = 13,35 + 0,555 \cdot \text{RI}_{50} [\text{cm}^2/\Omega] - 0,132 \cdot \text{Alter [Jahre]} + 6,946 \cdot G + 0,170 \cdot \text{Körpergewicht [kg]},$$

wobei: RI_{50} = Resistanz-Index (Körpergröße² [cm] / Resistanz [Ω] bei 50 kHz)
 G = Geschlecht (Männer=1; Frauen=0)

Korrelationen zwischen absoluter fettfreier Masse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Kieler Algorithmus sind - trotz großer Altersspanne - hoch und signifikant (0,79 bis 0,95), jedoch deutlich geringer als in der Gruppe der Kinder und Jugendlichen. Die mittleren Abweichungen zwischen absoluter fettfreier Masse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Kieler Algorithmus betragen $0,0 \pm 2,7$ kg (Frauen unter 60 Jahre) bis $-0,9 \pm 4,4$ kg (Männer \geq 60 Jahre). Dies entspricht prozentualen Abweichungen von $0,1 \pm 4,3$ % (Frauen unter 60 Jahren) bis $-1,6 \pm 5,0$ % (Männer \geq 60 Jahren). Für die absolute Körperfettmasse, berechnet nach dem Zwei-Kompartiment-Modell, werden zwischen den Berechnungen nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und dem Kieler Algorithmus signifikante Korrelationen zwischen 0,89 und 0,97 deutlich. Die bisher genannten Ergebnisse sind in den Tabellen A3, A4, S. xi im Anhang aufgeführt. Für Erwachsene besteht höherer *SEE* als im Kindes- und Jugendalter. Männer weisen *SEE* von 4,93 % auf; bei Frauen beträgt *SEE* 4,16 % und in der Gesamtgruppe 4,48 %.

In nachstehendem Streudiagramm wird absolute Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) gegen absolute Körperfettmasse nach dem Kieler Algorithmus für erwachsene Studienteilnehmer abgebildet.

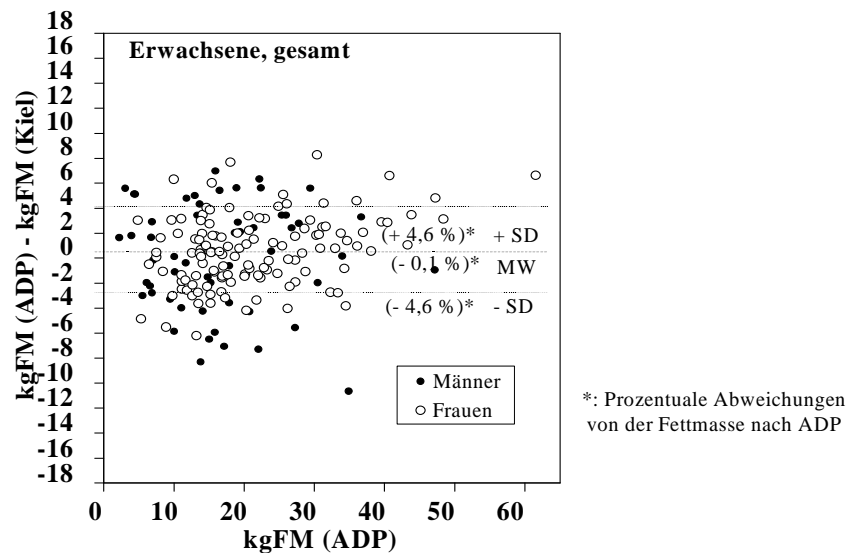


Abb. 34: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.*, 1956 (kgFM [ADP]), und absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]): Erwachsene (n=183, Männer: n=58, Frauen: n=125)

Zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und Kieler Algorithmus werden keine systematischen Abweichungen erkannt. Mittlere Differenz zwischen beiden Erhebungen wird mit -0,1 % angegeben.

III. Hypothese: Populationsspezifische Algorithmen zur Bestimmung der Körperfettmasse sind populationsunspezifischen Algorithmen vorzuziehen.

3.6 Vergleich der Ergebnisse der nach Kieler Algorithmen und “Fremdalgorithmen” berechneten Körperfettmasse

Die Abbildungen 35 bis 46 geben absolute Körperfettmasse nach den Kieler Algorithmen im Vergleich zur absoluten Körperfettmasse nach Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, BIA) wieder. In den Abbildungen 35 bis 39 werden Studienergebnisse mit vorpubertären Kindern, in den Abbildungen 40 bis 44 Auswertungen bei Kindern in und nach der Pubertät und in den Abbildungen 45 und 46 Meßdaten erwachsener Probanden aufgeführt.

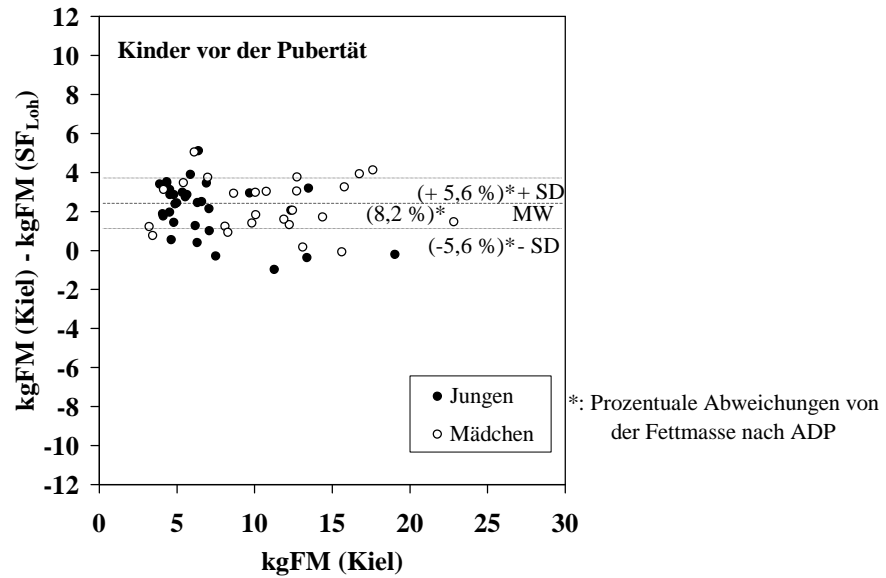


Abb. 35: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986 (kgFM [SF_{Loh}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

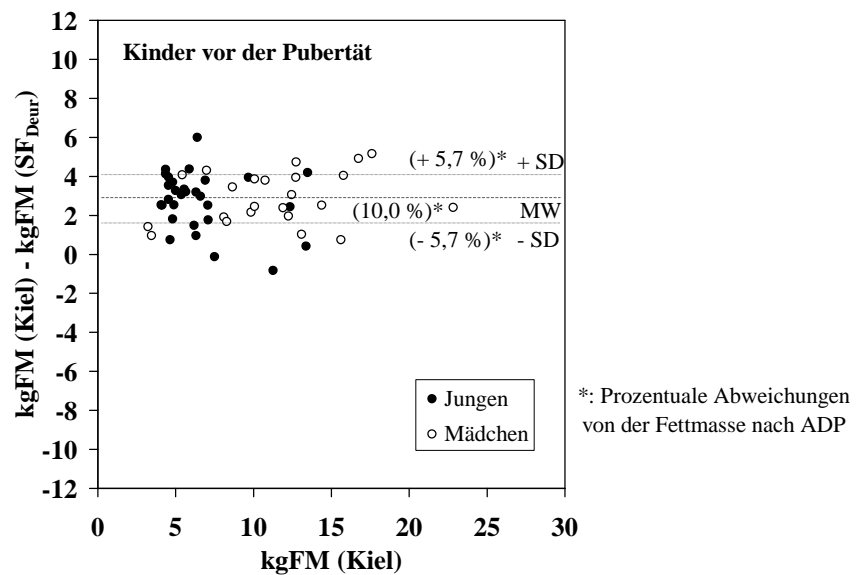


Abb. 36: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990 (kgFM [SF_{Deurr}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

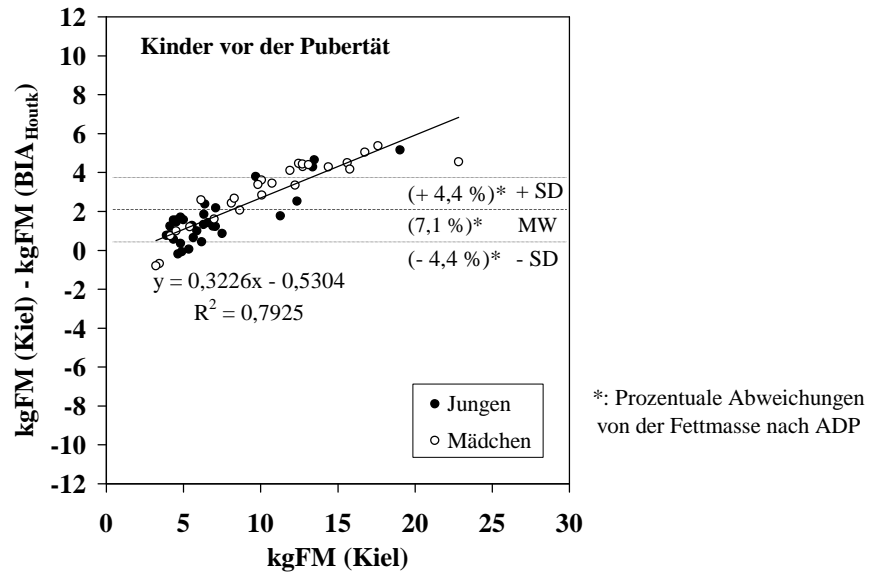


Abb. 37: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989 (kgFM [BIA_{Houtk}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

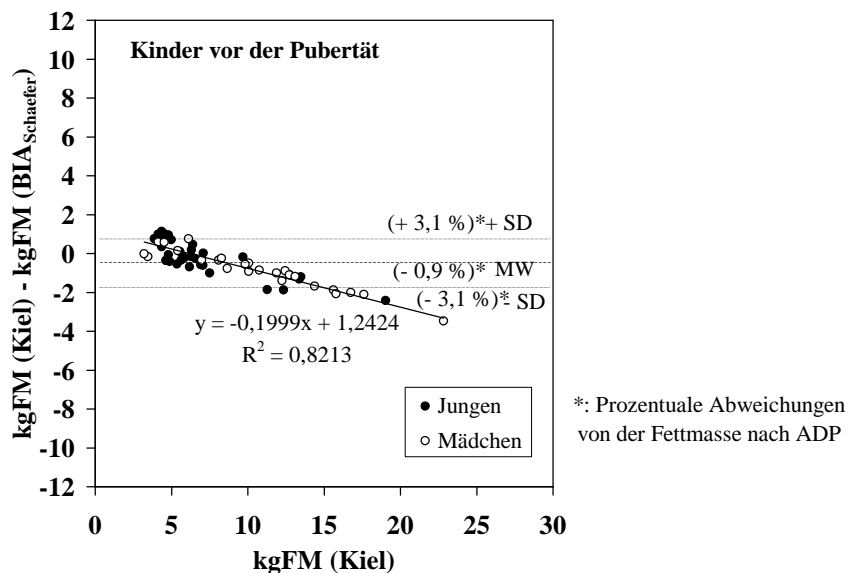


Abb. 38: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994 (kgFM [BIA_{Schaefer}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

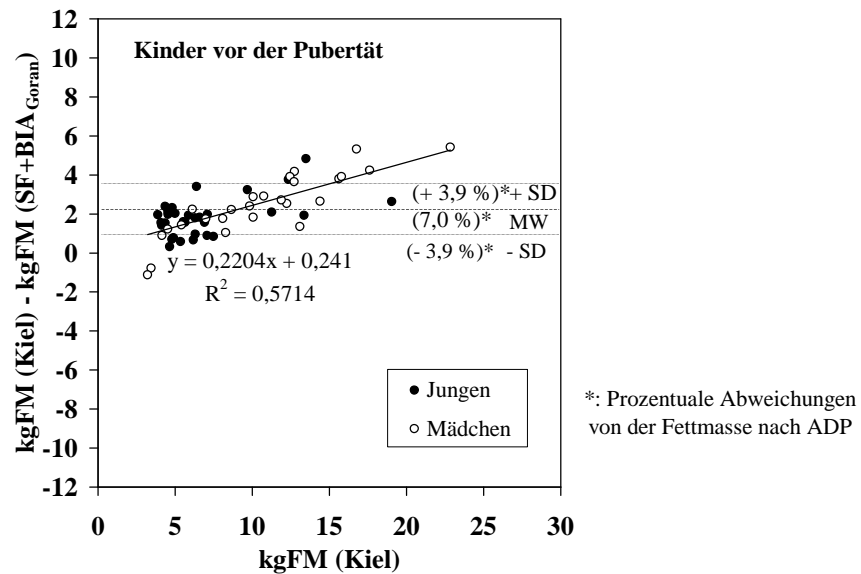


Abb. 39: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996 (kgFM [BIA_{Goran}]): Kinder vor der Pubertät (n=58, Jungen: n=32, Mädchen: n=26)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

Der Vergleich der absoluten Körperfettmasse nach kinderspezifischem Kieler Algorithmus und absoluter Körperfettmasse nach Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA) läßt für vorpubertäre Kinder geringere mittlere Abweichungen erkennen als für den Vergleich der absoluten Körperfettmasse nach Referenz- (ADP, nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA), siehe Abbildung 8 bis 17, S. 52 bis 56. Zwischen der absoluten Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus und den Berechnungen nach Hautfaltendickenmessung (nach Lohman *et al.*, 1986, Deurenberg *et al.*, 1990) werden keine systematischen Abweichungen erkannt. Die Körperfettmasse wird nach BIA-Berechnungen, nach Houtkooper *et al.* (1989), und Hautfaltendickenmessung kombiniert mit BIA, nach Goran *et al.* (1996), gegenüber der Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus systematisch unterschätzt. Die Abweichungen nehmen mit steigender Körperfettmasse zu. Nach Schaefer *et al.*, 1994, (BIA) findet gegenüber der Berechnung nach Kieler Algorithmus bis ca. 5 kg Körperfett eine Unter-, ab ca. 5 kg Körperfett eine Überschätzung der Körperfettmasse statt, sie nimmt mit zunehmender Körperfettmasse zu.

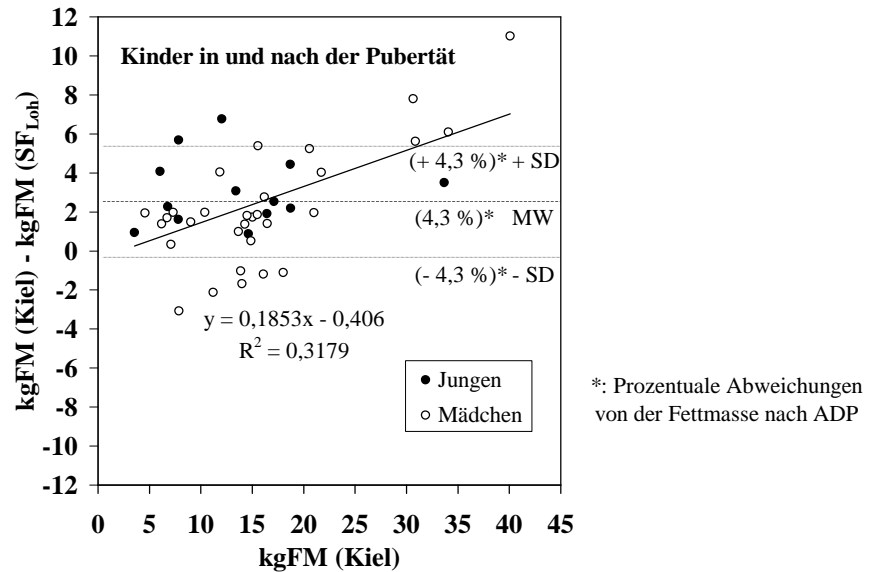


Abb. 40: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.*, 1986 (kgFM [SF_{Loh}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

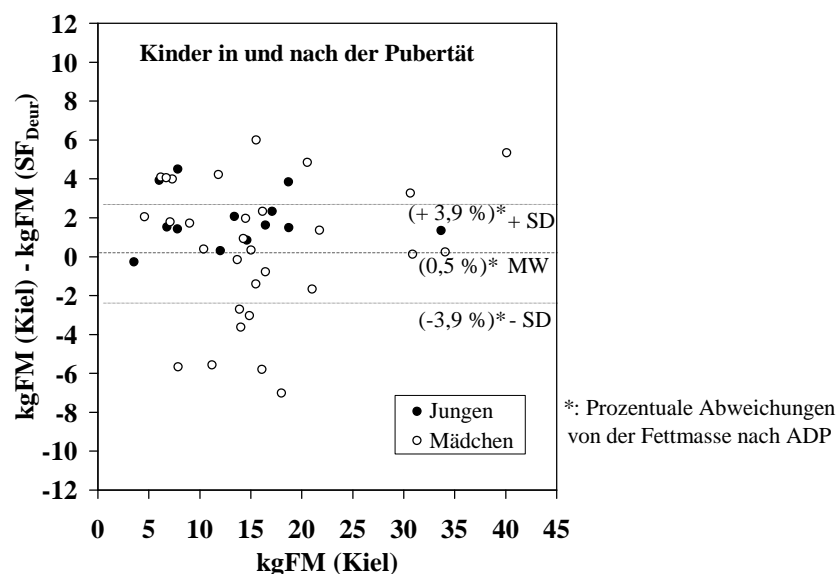


Abb. 41: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990 (kgFM [SF_{Deurr}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

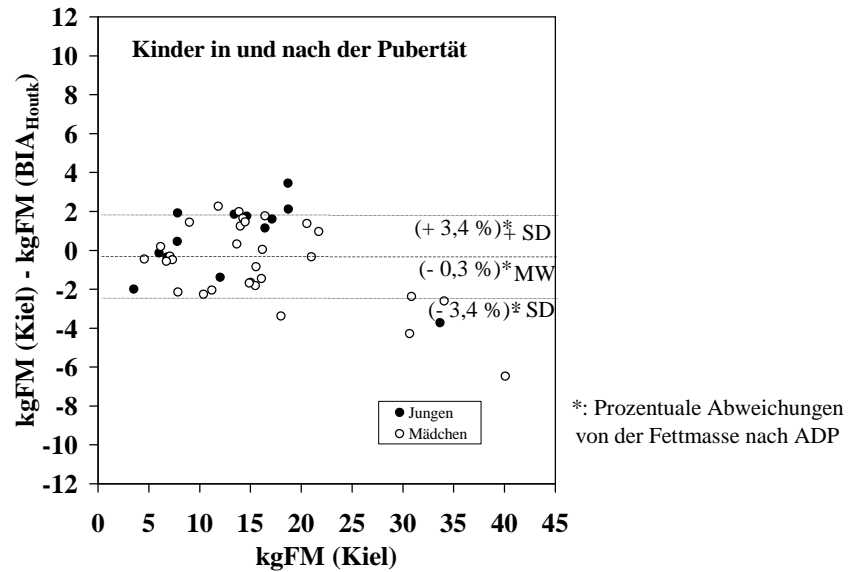


Abb. 42: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Houtkooper *et al.*, 1989 (kgFM [BIA_{Houtk}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

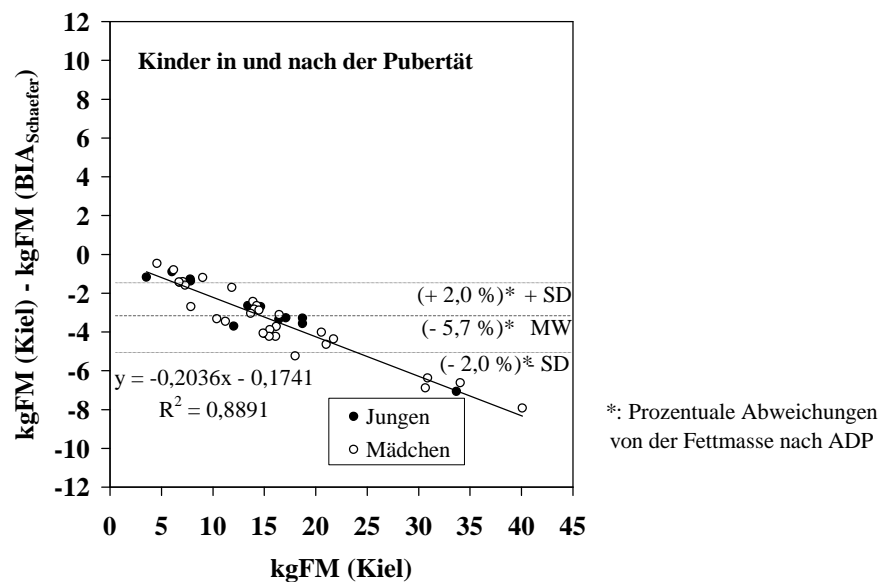


Abb. 43: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Schaefer *et al.*, 1994 (kgFM [BIA_{Schaefer}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

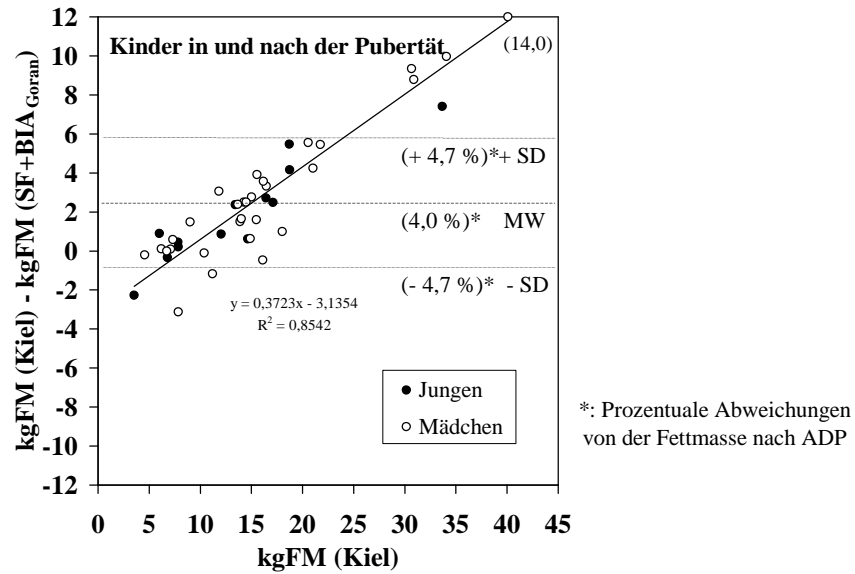


Abb. 44: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Goran *et al.*, 1996 (kgFM [SF+BIA_{Goran}]): Kinder in und nach der Pubertät (n=43, Jungen: n=13, Mädchen: n=30)

(Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

Mit Ausnahme der Berechnungen nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.* (1986), und Hautfaltendickenmessung in Kombination mit BIA, nach Goran *et al.* (1996), sind die mittleren Abweichungen zwischen der absoluten Körperfettmasse nach dem neuformuliertem Kieler Algorithmus und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, BIA) geringer als zwischen Referenz- (ADP, nach Siri *et al.*, 1956) und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, BIA), siehe Abbildungen 18 bis 27, S. 58 bis 62. Verglichen mit den Berechnungen nach dem Kieler Algorithmus, wird die Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Lohman *et al.* (1986), systematisch unterschätzt. Die Differenzen nehmen mit steigender Körperfettmasse zu. Aus dem Vergleich Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus mit Körperfettmasse nach BIA, nach Schaefer *et al.* (1994), wird eine Überschätzung der Körperfettmasse nach Schaefers BIA-Algorithmus (1994) aufgezeigt. Abweichungen nehmen mit steigender Körperfettmasse zu. Nach Hautfaltendickenmessung in Kombination mit BIA, nach Goran *et al.* (1996), wird, im Vergleich zur Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus, bis zu einer Körperfettmasse von ca. 7 kg eine Überschätzung, auf die (ab ca. 7 kg Körperfett) eine Unterschätzung der Körperfettmasse folgt, durch Gorans Algorithmus (1996) erkannt. Die Differenzen steigen mit zunehmender Körperfettmasse.

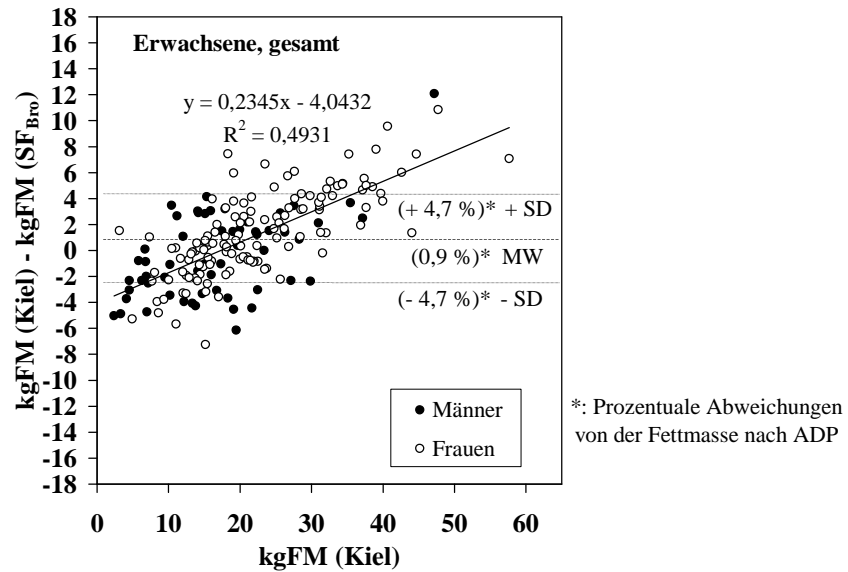


Abb. 45: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Hautfaltendickenmessung, nach Brožek *et al.*, 1963 (kgFM [SF_{Bro}]): Erwachsene (n=183, Männer: n=58, Frauen: n=125) (Die Gerade gibt systematische Unterschiede zwischen den Algorithmen an.)

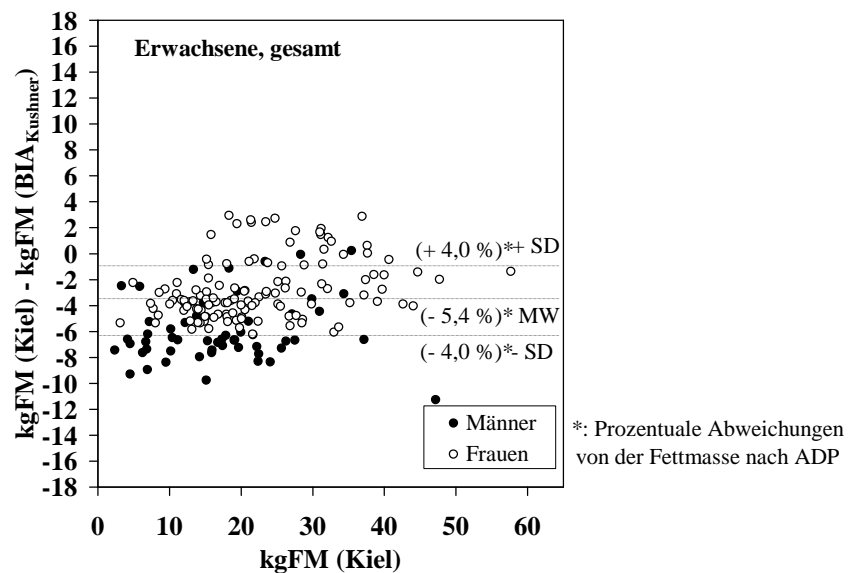


Abb. 46: Mittlere Abweichung zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus (kgFM [Kiel]), und absoluter Körperfettmasse nach Bioelektrischer Impedanzanalyse, nach Kushner *et al.*, 1992 (kgFM [BIA_{Kushner}]): Erwachsene (n=183, Männer: n=58, Frauen: n=125)

Abweichungen zwischen absoluter Körperfettmasse nach neuformuliertem Algorithmus und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA) entsprechen denen, die im Vergleich der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956) und feldmethodenbasierten Algorithmen (siehe Abbildungen 28 bis 31, S. 68 bis 69) erkannt wurden. Eine systematische Abweichung wird zwischen absoluter Körperfettmasse nach Kieler Algorithmus und der Berechnung nach Hautfaltendickenmessung (nach Brožek *et al.*, 1963) deutlich. Die Körperfettmasse wird nach dem Algorithmus von Brožek *et al.* (1963) bis zu ca. 12 kg Körperfett über-, ab ca. 12 kg Körperfett unterschätzt.

4. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die formulierten Hypothesen (siehe 1.4, S. 4). Weiterhin sind populationsspezifische Algorithmen, basierend auf Alter, Bioelektrischer Impedanzanalyse (BIA) und Anthropometrie für die Bestimmung der fettfreien Masse und der Körperfettmasse formuliert worden, die, auch im Rahmen von Feldstudien, für Kinder, Jugendliche und Erwachsene anwendbar sind.

4.1 I. Hypothese: Bestimmung der Validität und Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®)

4.1.1 Validität von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®)

In dieser Studie konnte aufgezeigt werden, daß *Air Displacement Plethysmography* (ADP) eine valide und präzise Methode für die Bestimmung der Körperfettmasse von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen ist. In einer Subpopulation der Kieler Studiengruppe (26 alte Menschen im Alter von 60 bis 82 Jahren) wurden hohe Korrelationen zwischen der Körperfettmasse nach ADP (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und *Dual-energy X-ray absorptiometry* (DEXA) sowie dem Vier-Kompartiment-Modell (nach Selinger *et al.*, 1977 [65]) erkannt. Im Vergleich der mittleren Abweichungen zwischen der Körperfettmasse nach ADP (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und DEXA werden keine systematischen Unterschiede zwischen den Methoden deutlich. Methodenvergleiche von ADP mit DEXA und Hydrodensitometrie (HD) wurden in verschiedenen Altersklassen in einer Vielzahl von Studien durchgeführt. Diese Studien weisen für das Kindes-, Jugend-, Erwachsenen- und Seniorenalter keine signifikanten Unterschiede zwischen Körperfettmasse nach ADP und DEXA bzw. HD [5, 23, 27, 28, 61, 64, 66, 78, 79, 80, 81] sowie dem Vier-Kompartiment-Modell [82] auf. Für die Betrachtung nach Yee *et al.* (2001), die wie im Rahmen dieser Studie mit dem Vier-Kompartiment-Modell nach Selinger *et al.* (1977) gearbeitet haben [65, 82], muß erwähnt werden, daß aus dem Vergleich der Körperfettmasse nach ADP (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und dem Vier-Kompartiment-Modell ein bias resultiert, da beide Berechnungsgrundlagen die Körperdichte nach ADP enthalten.

Fields *et al.* (2002) geben in ihrem Übersichtsartikel [56] Ergebnisse von Studien wieder, die sich zwischen 1995 und 2001 mit Messungen von ADP befaßt haben. Für Kinder und Erwachsene werden nach dem Studienvergleich von Fields *et al.* (2002) mittlere

Abweichungen von lediglich 1 % zwischen Körperfettmasse nach *ADP* und HD festgestellt. Zwischen prozentualer Körperfettmasse nach *ADP* und *DEXA* bestehen nach Fields *et al.* (2002) mittlere Abweichungen von 1 % (Erwachsene) bzw. 2 % (Kinder und Jugendliche). [56] Ein Teil der Studien, die sich mit der Validierung von *ADP* befaßt haben, gibt an, daß *ADP* die prozentuale Körperfettmasse im Vergleich zu HD [61, 83] bzw. *DEXA* [83] überschätzt. In weiteren Studien wird von einer Unterschätzung der prozentualen Körperfettmasse durch *ADP* im Vergleich zu den Erfassungen nach HD [17, 23, 25, 84, 85] bzw. *DEXA* [5, 17, 81, 84, 85, 86] berichtet. Folglich ist in Gruppenvergleichen unterschiedlicher Altersklassen von geringen mittleren Abweichungen zwischen der prozentualen Körperfettmasse nach *ADP* und *DEXA* bzw. HD auszugehen. Dewit *et al.* (2000) weisen jedoch darauf hin [23], daß auf individueller Ebene deutliche Abweichungen (nach ihren Untersuchungen bis zu 5 kg Körperfett) zwischen den Methoden (*ADP* und HD) bestehen können.

4.1.2 Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®)

4.1.2.1 Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) bei Wiederholungsmessungen

Wie in der Kieler Studie wurden auch von Dempster *et al.* (1995) Wiederholungsmessungen an Hohlzylindern (24,484 l bis 146,378 l) mit *ADP* durchgeführt [29]. Für 20 aufeinanderfolgende Messungen eines Hohlzylinders mit einem Volumen von 50,039 l erkennen Dempster *et al.* (1995), entsprechend den Kieler Studienergebnissen, keine signifikanten Unterschiede zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meßtagen. Die mittlere Abweichung zum „Soll-Volumen“ (50,039 l) beträgt nach Dempster *et al.* (1995) am 1. Meßtag 12 ml, am 2. Meßtag 9 ml. [29] Die mittlere Abweichung ist somit niedriger als im Rahmen der Kieler Studie. Weiterhin stellen Dempster *et al.* (1995), übereinstimmend mit der Kieler Studie, fest [29], daß kleine Volumina (24,484 l) höhere Abweichungen zum „Soll-Volumen“ aufweisen als große Volumina ($\geq 48,587$ l). Das gemessene Zylindervolumen ist nach Dempster *et al.* (1995) sowie nach Kieler Ergebnissen, niedriger als das „Soll-Volumen“ [29], was einer Unterschätzung des Körpervolumens entspricht. Diese Unterschätzung hat eine Überschätzung der Körperdichte und folglich eine Unterschätzung der Körperfettmasse zur Folge [60].

Variationskoeffizienten (CV), die in der Literatur für Wiederholungsmessungen mit *ADP* angegeben werden, sind für Erwachsene mit $CV=3,7 \pm 4,3 \%$ ($n=7$), nach Iwaoka *et al.* (1998) höher [25], nach Miyatake *et al.* (1999) gleich hoch ($CV= 2,5 \%$, $n=5$) [87] und mit $CV=1,7 \pm 1,1 \%$ ($n=16$) nach Mc Crory *et al.* (1995) niedriger [28] als in der Kieler Studie ($CV=2,4 \pm 2,4 \%$, $n=12$). Weiterhin wird angegeben, daß CV bei HD höher ist als nach *ADP*. Nach Iwaoka *et al.* (1998) beträgt CV für Wiederholungsmessungen mit HD $4,3 \pm 2,5 \%$ [25], nach Mc Crory *et al.* (1995) $2,3 \pm 1,9 \%$. [28] Diese Ergebnisse sprechen für eine bessere Wiederholbarkeit der Messungen mit *ADP* als mit HD. Für das Kindes- und Jugendalter wurde CV für Wiederholungsmessungen mit *ADP* nach Demerath *et al.* (2002) bestimmt [61]. Mit $10,8 \%$ (Jungen, $n=19$) und $6,5 \%$ (Mädchen, $n=21$) ist CV [61] deutlich höher als bei Kindern und Jugendlichen der Kieler Studie (Jungen, $n=5$: $3,6 \%$, Mädchen, $n=5$: $2,5 \%$).

4.1.2.2 Präzision von *Air Displacement Plethysmography* (BOD POD®) bei der Messung des Lungenvolumens

Im Rahmen der Kieler Studie wurde gemessenes und berechnetes Lungenvolumen von 55 Kindern und Jugendlichen sowie 132 Erwachsenen miteinander verglichen. In beiden Gruppen ist das berechnete Lungenvolumen höher als das gemessene Lungenvolumen (siehe Tab. 8, S. 42, Tab. 12, S. 47). Diese Differenz spiegelt sich auch in der Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) wieder. Die Körperfettmasse (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) ist nach berechnetem Lungenvolumen höher als nach gemessenem Lungenvolumen (siehe Tab. 9, S. 44, Tab. 13, S. 48). Die Studie nach Demerath *et al.* (2002), in der 39 Jungen und Mädchen zwischen 8 und 17 Jahren untersucht wurden, bestätigt unsere Studienergebnisse [61]. Die Unterschiede sind nach Demeraths Studie (2002), wie auch für die Gesamtgruppe der Kieler Kinder und Jugendlichen, signifikant [61]. Für die 83 Männer und Frauen im Alter von 18 bis 69 Jahren, die im Rahmen der Studie von Demerath *et al.* (2002) untersucht wurden, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen berechnetem und gemessenem Lungenvolumen und der daraus berechneten Körperfettmasse. Gemessenes Lungenvolumen war nach Demerath *et al.* (2002) geringfügig (im Mittel 4 ml) höher als berechnetes Lungenvolumen. Körperfettmasse nach gemessenem Lungenvolumen zeigte im Mittel $0,2 \%$ höhere Werte als nach berechnetem Lungenvolumen. [61] In der Studie von Collins *et al.* (1999) wurden 69 Football-Spieler im mittleren Alter von 19,5 Jahren untersucht. In dieser Studiengruppe ist berechnetem Lungenvolumen signifikant höher als gemessenes

Lungenvolumen. Entsprechend zeigt die Körperfettmasse nach berechnetem Lungenvolumen signifikant höhere Werte als nach gemessenem Lungenvolumen. [84]

Die Erfassung der funktionellen Residualkapazität (FRC), die wesentlicher Bestandteil des Lungenvolumens ist, basiert bei ADP auf der Formel von Crapo et al. (1982), bezogen auf ein Studienkollektiv 17- bis 91jähriger Probanden (n=245, Männer: n=123, Frauen: n=122) [62]. Im Rahmen der Kieler Studie wird bei Kindern und Jugendlichen das nach ADP gemessene und berechnete Lungenvolumen mit kinderspezifisch berechnetem Lungenvolumen verglichen (siehe S. 18 bis 19, Tab. 8, S. 42). FRC nach kinderspezifischer Berechnung ist signifikant höher als FRC nach ADP (siehe Tab. 10, S. 45). Kinderspezifisch berechnetes Atemzugvolumen ist signifikant niedriger als nach Messung (siehe Tab. 11, S. 46). Da das Atemzugvolumen einen wesentlich geringeren Anteil am Gesamtlungenvolumen als FRC hat (siehe S. 18) und zudem wesentlich geringere Werte besitzt, ist das Lungenvolumen nach kinderspezifischer Berechnung höher als die nach ADP gemessenen Werte. Nach Dewit et al. (2000) wurde das Lungenvolumen für 13 Jungen und 9 Mädchen kinderspezifisch (nach Rosenthal et al., 1993 [88] und Zapletal et al., 1976 [89]) berechnet und mit dem nach ADP berechnetem Lungenvolumen verglichen [23]. Kinderspezifisch berechnetes Lungenvolumen ist mit $1,77 \pm 0,32$ l, wie in der Gesamtgruppe der Kieler Kinder, auch nach Dewit et al. (2000) signifikant niedriger als das nach ADP berechnete Lungenvolumen ($2,05 \pm 0,4$ l) [23]. Aus diesen Studienergebnissen wird deutlich, daß in Gruppen, die vom Studienkollektiv nach Crapo et al., 1982 [62] abweichen, wie Kinder und Sportler, populationspezifische Algorithmen zur Bestimmung des Lungenvolumens zu wählen sind.

4.2 II. Hypothese: Körperfettmasse nach Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse) im Vergleich zur Körperfettmasse nach Referenzmethode (*Air Displacement Plethysmography*, BOD POD®)

Körperfettmasse nach Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, BIA) weicht im Mittel bis zu 11 % - und damit deutlich - von der Körperfettmasse nach Referenzmethode (ADP, nach Siri et al., 1956 [21]) ab (siehe Tab. 14, S. 49). Streudiagramme, die für die Gesamtgruppen vorpubertärer und (post)pubertärer Kinder sowie für erwachsene Probanden Körperfettmasse nach ADP (nach Siri et al., 1956 [21]) und Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung und BIA) vergleichen (siehe Abb. 8 bis 27, S. 52 bis 62, Abb. 28 bis 31, S. 68 bis 69), geben im vorpubertären Alter mittlere Differenzen von bis zu 10,2 % wieder. Im (post)pubertären Alter sind die mittleren Abweichungen mit maximal 5,9 % deutlich geringer als im vorpubertären

Alter. Für erwachsene Probanden werden mittlere Differenzen von bis zu 9,0 % erkannt (siehe Tab. 16, S. 66, Abb. 28 bis 31, S. 68 bis 69).

Eine Vielzahl der Meßdaten weist auf individueller Ebene, insbesondere bei geschlechtsdifferenzierter Betrachtung der vorpubertären Altersklasse, zwischen Körperfettmasse nach Referenz- (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und Feldmethode (Hautfaltendickenmessung und *BIA*) mittlere Abweichungen von ≥ 10 % auf. Entsprechende Vergleiche, mit HD bzw. *DEXA* an Stelle von *ADP*, wurden von Wells *et al.* (1999) an 16 Jungen und 14 Mädchen im mittleren Alter von $9,7 \pm 1,3$ und $10,1 \pm 1,4$ Jahren durchgeführt [14]. Prozentuale Körperfettmasse wurde nach verschiedenen Algorithmen der HD (nach Weststrate *et al.*, 1989, [90], Lohman *et al.*, 1989, [91]) und *DEXA* berechnet und mit der Körperfettmasse nach Berechnungen der Hautfaltendickenmessung (nach Slaughter *et al.*, 1988, [92], Johnston *et al.*, 1988, [93], Deurenberg *et al.*, 1990, [31], Brook *et al.*, 1971, [94]) und *BIA* (nach Deurenberg *et al.*, 1989, [95], Davies *et al.*, 1988, [96], Houtkooper *et al.*, 1989 [34], Danford *et al.*, 1992, [97]) verglichen. Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach HD bzw. *DEXA* und Feldmethoden werden, nach Davies Algorithmus (1988) [96], mit bis zu 16,5 (Jungen) und 14,9 % (Mädchen) angegeben [14]. Die Differenzen zwischen der Körperfettmasse nach HD bzw. *DEXA* und den genannten Algorithmen der Feldmethoden sind - mit Ausnahme der Jungen und dem Algorithmus nach Houtkooper *et al.*, 1989, [34] - gegenüber *BIA* deutlich höher als im Vergleich zur Hautfaltendickenmessung. Zwischen HD bzw. *DEXA* und *BIA* betragen die Differenzen bei Jungen 7,9 % (nach Deurenberg *et al.*, 1989, [95]) bis 16,5 % (nach Davies *et al.*, 1988, [96]). Für Mädchen werden Abweichungen von 4,3 % (nach Deurenberg *et al.*, 1989, [95]) bis 14,9 % (nach Davies *et al.*, 1989 [96]) erkannt. Für den Vergleich der Körperfettmasse nach HD bzw. *DEXA* und Hautfaltendickenmessung bestehen bei Jungen Abweichungen von 0,6 % (nach Slaughter *et al.*, 1988, [92]) bis 6,7 % (nach Johnston *et al.*, 1988, [93]). Bei Mädchen betragen die Abweichungen 0,1 % (nach Deurenberg *et al.*, 1990, [31]) bis 8,5 % (nach Johnston *et al.*, 1988, [93]). Für 36 Erwachsene (13 Männer, 23 Frauen) im mittleren Alter von $28,7 \pm 4,9$ Jahren wird nach de Cossio *et al.* (1986) eine Abweichung zwischen Körperfettmasse nach HD und Anthropometrie (nach Durnin *et al.*, 1974, [43], Siri *et al.*, 1956, [21]) bzw. *BIA* (nach Gerätesoftware) von $1,0 \pm 3,1$ bzw. $4,8 \pm 4,0$ % angegeben [98].

Diese Studienergebnisse bestätigen, daß beim Vergleich der Körperfettmasse nach einer Referenzmethode, wie *ADP*, *DEXA* oder HD, mit der Körperfettmasse nach populationsunspezifischen Algorithmen, die auf Feldmethoden basieren, mit Abweichungen von ≥ 10 % zu rechnen ist.

4.3 III. Hypothese: Populationsspezifische Algorithmen sind populationsunspezifischen Algorithmen bei der Bestimmung der Körperfettmasse vorzuziehen

4.3.1 Einfluß der Abweichung zwischen Referenz- und Studienkollektiv auf die berechnete Körperfettmasse nach Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse)

Mast *et al.* (2002) verglichen an einem Studienkollektiv von 1146 Jungen und 1140 Mädchen der *Kiel Obesity Prevention Study (KOPS)* die Körperfettmasse nach verschiedenen Algorithmen, basierend auf Hautfaltendickenmessung und BIA. Zwischen den gewählten Algorithmen werden Abweichungen von bis zu 20 % Körperfett erkannt. Eine Ursache für die hohen Differenzen wird nach Mast *et al.* (2002) in den Abweichungen zwischen ihrem Studien- und den Referenzkollektiven, die bei der Formulierung der Algorithmen zugrunde lagen, gesehen (siehe Anhang, Tab. A5, A6, S. xii). [39]

Aufgrund dieser Studienergebnisse wird eine Erklärung dafür gefunden, warum in der Studie, auf der diese Arbeit basiert, die Abweichungen zwischen der Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und den Berechnungen nach Hautfaltendickenmessung und BIA so große Ausmaße annimmt. So werden beispielsweise bei vorpubertären Kindern deutliche systematische und signifikante Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und dem BIA-Algorithmus nach Houtkooper *et al.* (1989) [34] erkannt (siehe Tab. 14, S. 49, Abb. 13, S. 54). In Houtkoopers Studienkollektiv wurden Kinder im Alter zwischen 10,2 und 14,8 Jahren erfaßt. In unserer Studie beträgt das mittlere Alter der Kinder vor der Pubertät 8,1 Jahre (5,5 bis 11,0 Jahre). Ein Teil der Kinder, insbesondere Jungen, zwischen 10 und 14 Jahren befindet sich somit in der Gruppe vorpubertärer Kinder, während der größere Teil der (post)pubertären Gruppe zugeordnet ist. Diese Differenzen zwischen dem Kieler Kollektiv und der Probandengruppe von Houtkooper *et al.* (1989) [34] könnte eine Erklärung für die systematischen, z.T. signifikanten, Abweichung zwischen der Körperfettmasse nach *ADP*, nach Siri *et al.* (1956) [21], und dem BIA-Algorithmus nach Houtkooper *et al.* (1989) [34] sein. Da dieser Altersunterschied zwischen Studien- und Referenzkollektiv jedoch auch in der (post)pubertären Altersklasse besteht, jedoch keine systematischen, aber signifikanten, Unterschiede zwischen der Körperfettmasse nach *ADP*, nach Siri *et al.* (1956) [21], und den Berechnungen nach Houtkooper *et al.* (1989) bestehen (siehe Tab. 14, S. 49, Abb. 23, S. 60),

kann die abweichende Altersstruktur zwischen Referenz- und Studienpopulation nicht die alleinige Ursache der bestehenden systematischen Abweichungen sein. Gleiches gilt - sowohl im vor- als auch (post)pubertären Alter - für die deutlichen, systematischen Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und Hautfaltendickenmessung in Kombination mit BIA, nach Goran *et al.* (1996) [10], siehe Abb. 17, S. 56, Abb. 27, S. 62. Für Kinder in und nach der Pubertät könnten die Differenzen auf die Abweichungen zwischen Studien- (10,5 bis 18,4 Jahre) und Referenzkollektiv (4- bis 10jährige Kinder) zurückgeführt werden. Da auch für Kinder vor der Pubertät geringere, jedoch systematische und signifikante Unterschiede zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und den Berechnungen nach Hautfaltendickenmessung und BIA, nach Goran *et al.* (1996) [10], bestehen, kann die Ursache der hohen Abweichungen der Körperfettmasse nicht ausschließlich in der Altersdifferenz zwischen Studien- und Referenzkollektiv gesehen werden. Die Arbeitsgruppe von Mast *et al.* (2002) sieht eine weitere Ursache in der sich mit Alter und Pubertätsstatus verändernden Hydratation der fettfreien Masse, die unmittelbaren Einfluß auf die Körperzusammensetzung nimmt [39]. Kinder besitzen eine höhere Hydratation als Erwachsene [38, 99, 100]. Wird ein Algorithmus gewählt, dessen Referenzpopulation beispielsweise vornehmlich aus Kindern der Altersklasse unter 7 Jahren besteht und für eine Studienpopulation angewendet wird, die sich insbesondere aus Erwachsenen zusammensetzt, kann daraus eine Unterschätzung der Körperfettmasse der erwachsenen Studienteilnehmer resultieren. Aufgrund obengenannter Aspekte ist der Referenzpopulation des angewandten Algorithmus höchste Bedeutung bei der Auswertung der eigenen Studie zu schenken. In den Kieler Algorithmen zur Bestimmung der absoluten fettfreien Masse des Kinder-, Jugend- bzw. Erwachsenenalters wird das Alter integriert, so daß bei der Berechnung der Körperzusammensetzung das Alter Berücksichtigung findet und eine Anwendung der Algorithmen in den unterschiedlichen Altersklassen möglich ist.

4.3.2 Einfluß der Referenzmethode auf populationsspezifische Algorithmen

Die Korrelation zwischen absoluter Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und Kieler Algorithmus beträgt bei Kindern vor der Pubertät 0,97; für Kinder in und nach der Pubertät sowie für Erwachsene ist $r=0,95$ (siehe Anhang, Tab. A2, S. x, Tab. A4, S. xi). Sie sind damit deutlich höher als die Korrelationen zwischen Körperfettmasse, nach den Algorithmen, die für Hautfaltendickenmessung von Lohman *et al.* (1986) [33], Deurenberg *et*

al. (1990) [31] und Durnin und Womersley *et al.* (1974) [37] und deren Referenzmethode (HD) ($r=0,88, 0,63, 0,80$) erkannt worden sind (siehe Anhang, Tab. A5, A6, S. xii). Im Kindes- und Jugendalter entsprechen die Korrelationen zwischen Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und Körperfettmasse nach den neuformulierten Algorithmen der Kieler Studie denen, die Houtkooper *et al.* (1989) [34], Schaefer *et al.* (1994) [35] und Goran *et al.* (1996) [10] zwischen den von ihnen gewählten Referenzmethoden und den von ihnen formulierten Algorithmen verzeichnen. Houtkooper *et al.* (1989) arbeiteten mit HD und Isotopenverdünnung als Referenzmethode [34], Schaefer *et al.* (1994) wählten Ganzkörperkalium [35] und Goran *et al.* (1996) *DEXA* [10] als Referenzmethode. Die Korrelationen zwischen dem nach Referenzmethode und dem von ihnen formuliertem Algorithmus erfaßten Körperkompartiment betragen 0,94 (nach Houtkooper *et al.*, 1989, [34]), 0,99 (nach Schaefer *et al.*, 1994, [35]), und 0,95 (nach Goran *et al.*, 1996, [10]), siehe Anhang Tab. A5, S. xii. Nach Kushners Studie (1992) bestehen zwischen Ganzkörperwasser nach Referenzmethode (Isotopenverdünnung, markiertes Wasser) und dem von ihnen formuliertem Algorithmus Korrelationen von $r \geq 0,98$. Die von ihm erkannten Korrelationen sind somit höher als die der Kieler Studie. Um die „Aussagekraft“ des Korrelationskoeffizienten zwischen dem nach Referenzmethode und neuformulierten Algorithmus erfaßten Körperkompartiment beurteilen zu können, ist es notwendig die Referenzmethode zu betrachten, mit der bei der Formelformulierung gearbeitet worden ist. Schaefer *et al.* (1994) wählte Ganzkörperkaliumerfassung und formulierte einen Algorithmus zur Bestimmung der fettfreien Masse im Kindes- und Jugendalter. Kalium ist zu 98 % intrazellulär lokalisiert, die extrazelluläre Konzentration ist recht gering. Muskelmasse ist sehr kaliumreich, Knochen und Körperfettmasse sehr kaliumarm, so daß eine direkte Beziehung zwischen Körperkalium und fettfreier Masse besteht. [42] Kushner *et al.* (1992) wählte hingegen Isotopenverdünnung als Referenzmethode, mit der eine direkte Bestimmung des Ganzkörperwassers möglich ist [38, 42]. Im Rahmen der Studie von Kushner *et al.* (1992) [38] erfolgte keine Validierung gegenüber der - nach seinem Algorithmus - berechneten Körperfett- oder fettfreien Masse. Im Rahmen der Kieler Studie wurde jedoch nach Kushners Algorithmus, der für die Berechnung des Ganzkörperwassers formuliert wurde, die Körperfettmasse berechnet. Hierin wird eine Ursache und Erklärung für die hohen Differenzen zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) bzw. neuformuliertem Kieler Algorithmus und den Berechnungen nach Kushner *et al.* (1992) [38] gesehen, siehe Abb. 31, S. 69, Abb. 46, S. 84.

Zwischen Körperfett- bzw. fettfreier Masse nach *ADP* und Hautfaltendickenmessung bzw. BIA wird keine derart direkte Beziehung wie zwischen Körperkalium und fettfreier Masse oder isotope markiertem Wasser und Ganzkörperwasser erkannt. Hautfaltendickenmessung gibt ausschließlich Informationen über das subkutane Körperfett; seine Relation zum Gesamtkörperfett ist u.a. abhängig von Alter, Hormoneinfluß, Geschlecht und Gesamtkörperfett [77, 101]. Die Widerstandswerte, auf denen die Berechnungen der Körperkompartimente nach BIA beruhen, weisen, aufgrund des hohen Elektrolytgehalts und der Leitfähigkeit des Körperwassers, eine Beziehung zum Körperwasser, nicht jedoch zum Körperfett auf. Da sich das Körperwasser vornehmlich in der fettfreien Masse des Körpers lokalisiert, stehen die Meßparameter der BIA, wie Resistanz und Resistanz-Index, in engerer Beziehung zur fettfreien Masse des Körpers, als zur Körperfettmasse. Aus diesem Grunde wurde für die Formulierung der Kieler Algorithmen fettfreie Masse und nicht Körperfettmasse als abhängige Variable gewählt. Da Monofrequenzmessungen (50 kHz) von kürzerer Meßdauer als Multifrequenzmessungen sind und Monofrequenz-BIA-Geräte eher verbreitet sind als Multifrequenz-BIA-Geräte, wurde bei der Formelformulierung ausschließlich der 50-kHz-Frequenz Berücksichtigung geschenkt. Lohman *et al.* (1981) weisen darauf hin [77], daß, ergänzend zu dem Korrelationskoeffizienten, ein Vergleich der Standardabweichung zwischen dem gemessenen (nach *ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und dem, nach neuformulierten Algorithmus, berechneten Körperkompartiment stattfinden sollte. Die Abweichung ist gering zu halten. In der Kieler Stichprobe bestehen zwischen der Standardabweichung der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und der Standardabweichung der Körperfettmasse nach den Kieler Algorithmen in der Gesamtgruppe Differenzen von 0,3 kg (Kinder) und 0,5 kg (Erwachsene) Körperfett, siehe Anhang, Tab. A2, S. x, Tab. A4, S. xi. Sie können somit als gering angesehen werden. Zudem ist bias zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und den Kieler Algorithmen mit 0,0 kg (Gesamtgruppe, Kinder) bzw. -0,1 kg (Gesamtgruppe, Erwachsene) gering, siehe Anhang, Tab. A2, S. x, Tab. A4, S. xi. Grande *et al.* (1961) und Lohman *et al.* (1961) empfehlen [76, 77] für den Vergleich der Körperkompartimente, berechnet nach unterschiedlichen Algorithmen, die Berechnung des *standard errors of estimate (SEE)*. Für die Referenzpopulation ergibt sich in der Studie von Houtkooper *et al.* (1989) zwischen Körperfettmasse nach Referenzmethode (HD bzw. Isotopenverdünnung) und den von ihnen formuliertem Algorithmus ein *SEE* von 4,2 % [34]. *SEEs*, die in der Kieler Studie zwischen Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und neuformulierten Algorithmen erkannt werden (3,7 % bis 4,9 %), gelten folglich als vergleichbar und akzeptabel.

4.3.3 Kombination verschiedener Feldmethoden (Hautfaltendickenmessung, Bioelektrische Impedanzanalyse)

Es wäre zu vermuten, daß die Kombination von Hautfaltendickenmessung und BIA in Algorithmen zur Bestimmung der Körperfettmasse, entsprechend der Formel von Goran *et al.* (1996) [10], zu präziseren Studienergebnissen führt, als Algorithmen, die ausschließlich Hautfaltendickenmessung (siehe Lohman *et al.*, 1986 [33], Deurenberg *et al.*, [31], Brožek *et al.*, 1963 [22]) oder Parameter der BIA (siehe Houtkooper *et al.*, 1989 [34], Schaefer *et al.*, 1994 [35], Kushner *et al.*, 1992 [38]) integrieren.

Im Rahmen der Kieler Studie werden zwischen der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und den Berechnungen, die sowohl Hautfaltendickenmessung als auch BIA-Parameter einbeziehen, nach Goran *et al.* (1996) [10], höhere Differenzen deutlich, als gegenüber den Berechnungen, die ausschließlich auf Hautfaltendickenmessung oder BIA basieren. Dies gilt in der Gesamtgruppe für Kinder in und nach der Pubertät (siehe Abb. 19 bis 27, S. 58 bis 62) für den Vergleich der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und den Berechnungen nach Hautfaltendickenmessung, nach Deurenberg *et al.*, 1990, [31] sowie gegenüber den Auswertungen nach BIA, nach Houtkooper *et al.*, 1989, [34]. Für das vorpubertäre Alter werden geringere Differenzen zwischen der Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und den Berechnungen nach dem BIA-Algorithmus von Schaefer *et al.*, 1994 [35] erkannt, als gegenüber der Körperfettmasse nach dem Algorithmus von Goran *et al.*, 1996 [21], der Hautfaltendickenmessung und BIA berücksichtigt; siehe Abb. 9 bis 17, S. 52 bis 56. Weiterhin wurde während der multiplen Regression bei der Formulierung der Kieler Algorithmen keine Verbesserung durch die zusätzliche Anwendung von Hautfaltendicken erkannt. Diese Studienergebnisse führen zu dem Fazit, daß eine zusätzliche Anwendung von Hautfaltendicken oder BIA zu keinen präziseren Ergebnisse führt, als Algorithmen, die jeweils ausschließlich auf Hautfaltendickenmessung oder BIA basieren.

4.3.4 Unterschiede zwischen der Körperfettmasse nach populationspezifischen und populationsunspezifischen Algorithmen

Wie unter 4.3.1 aufgeführt, wurden beim Vergleich der Körperfettmasse nach verschiedenen populationsunspezifischen Algorithmen, basierend auf Anthropometrie und BIA, von Mast *et al.* (2002) Abweichungen von bis zu 20 % Körperfett festgestellt.

Aufgrund dieser Studienergebnisse, wurden im Rahmen dieser Arbeit populationspezifische Algorithmen zur Bestimmung der Körperfett- und fettfreien Masse nach Anthropometrie und BIA für Kinder, Jugendliche und Erwachsene formuliert. Die mittleren Abweichungen zwischen Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und neuformulierten Kieler Algorithmen sind $\leq 2\%$ (siehe Abb. 32, 33, S. 75, Abb. 34, S. 77; Anhang: Tab. A1 bis A4, S. x bis xi) und somit deutlich niedriger als zwischen Körperfettmasse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) und populationsunspezifischen Algorithmen (siehe Abb. 8 bis 27, S. 52 bis 62, Abb. 28 bis 33, S. 68 bis 69). Populationspezifische Algorithmen sind folglich, auch aufgrund der in 4.2 (nach Wells *et al.*, 1999 [14], de Cossio *et al.*, 1986 [98]) und 4.3.1 (nach Mast *et al.*, 2002 [39]) aufgeführten Studienergebnisse, populationsunspezifischen Algorithmen vorzuziehen. Eine Anwendung der Kieler Algorithmen auf Populationen außerhalb Kiels bzw. Schleswig-Holsteins ist zu prüfen. Da die in Kiel formulierten Algorithmen auf Anthropometrie und BIA basieren, ist eine Anwendung in Feldstudien, wie der *KOPS*-Studie, möglich.

5. Zusammenfassung

Die Erfassung der Körperzusammensetzung ermöglicht eine Aussage über den Ernährungszustand eines Probanden. Da weltweit von einer Zunahme von Übergewicht und Adipositas berichtet wird [2, 3], ist die Bestimmung der Körperzusammensetzung, insbesondere der Körperfettmasse, für die ernährungswissenschaftliche Charakterisierung und Einschätzung des gesundheitlichen Risikos von Bedeutung. Verschiedene Methoden werden für die Erfassung der Körperzusammensetzung verwendet. Methoden wie *Dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA)* oder *Hydrodensitometrie (HD)*, die häufig als „Goldstandard“ und Referenzmethoden beschrieben werden, weisen Nachteile durch Strahlenexposition (*DEXA*) und die bedingte Anwendbarkeit bei Kindern, alten und kranken Menschen (*HD*) auf [9, 11, 15, 17]. *Air Displacement Plethysmography (ADP)* ist eine neuartige Methode, die, wie *HD*, auf der Bestimmung des Körpervolumens basiert. *HD* nutzt Wasser, *ADP* Luft als Verdrängungsmedium. Sind Körpervolumen und Körpergewicht bekannt, kann Körperdichte und folglich, über verschiedene Algorithmen, die Körperfettmasse bestimmt werden. *ADP* hat eine kurze Meßdauer (ca. 10 Min.), ist komfortabel und für Probanden und Anwender leicht durchführbar. [28, 29, 56]

DEXA, *HD* und *ADP* sind für einen Einsatz in Querschnitts- und/oder Feldstudien nicht geeignet. Für Querschnitts- bzw. Feldstudien und den klinischen Alltag werden transportable, leicht praktikable, kostengünstige Methoden von kurzer Meßdauer (d.h. „Feldmethoden“), wie *Anthropometrie* (Körpergewicht, -größe, Umfangs-, Hautfaltendickenmessung) und *Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)* verwendet. [31, 32]

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde *ADP* für die Bestimmung der Körperfettmasse im Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter validiert und charakterisiert. Die Validierung erfolgte in einer Subpopulation gegenüber *DEXA* und dem *4-Kompartiment-Modell* nach Selinger *et al.* (1977) [65]. Wiederholungsmessungen an Zylindern und Probanden (Kindern und Erwachsenen) wiesen gute Wiederholbarkeit der *ADP*-Messungen auf. Jedoch wurden insbesondere recht kleine Volumina (20,0 l) bei den Messungen der Zylinder signifikant unterschätzt, was zu einer Unterschätzung der Körperfettmasse führen kann.

Da Lungenvolumen zum Körpervolumen, nicht jedoch zur Körperzusammensetzung beiträgt, wird es von *ADP* durch Messung oder Berechnung erfaßt. Für das Kindes- und Jugendalter wurde erkannt, daß nach *ADP* berechnetes Lungenvolumen signifikant höher als gemessenes Lungenvolumen ist, was eine signifikante Überschätzung der Körperfettmasse nach sich zieht.

Um o.g. Differenzen zu korrigieren, wurde in dieser Studie mit kinderspezifischen Algorithmen zur Bestimmung des Lungenvolumens gearbeitet.

Weiterhin wurden die Ergebnisse der Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) mit der Körperfettmasse nach Algorithmen, die auf *Hautfaltendickenmessung* und *BIA* basieren [10, 22, 31, 33, 34, 35, 38], für eine Studiengruppe von 101 gesunden Kindern und Jugendlichen sowie 183 gesunden Erwachsenen verglichen. Es wurden mittlere Unterschiede von bis zu 11 % Körperfett festgestellt. Die Abweichungen bestätigen die Anwendungsproblematik populationsunspezifischer Algorithmen für die Bestimmung der Körperfettmasse und die Bedeutsamkeit der Übereinstimmung zwischen Referenz- und Studienkollektiv. Infolgedessen wurden, sowohl für Kinder und Jugendliche als auch für Erwachsene altersspezifische Algorithmen, die auf Meßparametern der *Anthropometrie* und *BIA* basieren, zur Bestimmung der fettfreien Körpermasse formuliert.

Wird von einem Zwei-Kompartiment-Modell (Körpergewicht = Körperfettmasse + fettfreie Masse des Körpers) ausgegangen, ist, sofern das Körpergewicht des Probanden bekannt ist, die Bestimmung der Körperfettmasse möglich.

Schrittweise multiple Regression zeigte, daß der Resistanz-Index (Körpergröße² [cm] / Resistanz [Ω]), durch seine direkte Beziehung zum Körperwasser, einen besseren Bestimmungsparameter für fettfreie Masse darstellt als Meßparameter der *Anthropometrie*. Resistanz-Index sowie Alter, Geschlecht (nur Erwachsene) und Körpergewicht ließen für Kinder, Jugendliche und Erwachsene höchste R²-Werte gegenüber absoluter fettfreier Masse nach *ADP* (nach Siri *et al.*, 1956 [21]) erkennen. Fettfreie Masse, berechnet nach Kieler Algorithmen und nach dem Zwei-Kompartiment-Modell berechnete Körperfettmasse wiesen in allen Altersklassen hochsignifikante Korrelationen zur fettfreien Masse bzw. Körperfettmasse nach Referenzmethode (*ADP*, nach Siri *et al.*, 1956 [21]) auf, ohne systematische und signifikante Unterschiede. Da die Kieler Algorithmen auf Feldmethoden (*Anthropometrie* und *BIA*) und einem Studienkollektiv 5- bis 82jähriger Probanden basieren, ist eine Anwendung in Querschnitts- und/oder Feldstudien hoher Stichprobengröße und breiter Altersspanne möglich.

6. Summary

Measuring the body composition gives you the possibility to tell the nutrition status of the test-person. The global increase of overweight and obesity deems the necessity to measure the body composition, especially the measurement of body fat, to nutritionally characterize and assess the risk to men's health. Different methods exist to determine the body composition. The methods of *dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA)* and *hydrodensitometry (HD)* - which are usually called upon as reference method or so to say "goldstandard" - have distinct drawbacks; *DEXA* contaminates the test-person with radiation, while *HD* is inappropriate for use with young, old or ill subjects. *Air displacement plethysmography (ADP)* is a particularly new method, which like *HD* is based on measuring the body volume. While *HD* uses water, *ADP* utilizes air as displacement medium. When body volume and weight have been determined, so is the body density, and by applying fitted algorithms the body fat can be calculated. *ADP* is easy in use and with a time period of c. 10 min. per test very comfortable. While *DEXA*, *HD* and *ADP* are unfit for field studies, *anthropometry* (weight, height, measurements of circumferences and skinfolds) and *bioelectrical impedance analysis (BIA)* find their use in such all day situations since they provide easy to use, low cost, mobile methods for "field use".

This work constitutes the use of *ADP* for children, juveniles and adults to determine body fat. Validation was done in comparison to *DEXA* and the 4-compartment model by Selinger *et al.* (1977) within a subpopulation. Repeated tests with calibration cylinders and subjects (children as well as adults) gave good results for reproducibility of *ADP*-tests. Especially rather small cylinder volumina (20,0 l) have been significantly underestimated, which would lead to an underestimation of body fat.

Lung volume adds to body volume but not to body composition, so it has to be determined additionally. This can be done by measurement or calculation. It has been found for children and juveniles that the measured lung volumes are significantly lower than the values calculated by *ADP*. This miscalculation results in a significant overestimation of body fat if calculated lung volume is used, instead of measured lung volume. To correct these differences children-specific algorithms for the prediction of lung volume have been applied in this study. Additionally the results of 101 healthy children and juveniles as well as 183 healthy adults by reference method (*ADP*, by Siri *et al.*, 1956) were compared with the results of algorithms based on skinfold measurements as well as *BIA*.

Mean deviations of up to 11% body fat were registered. These deviations show the problematic of nonpopulation specific algorithms for determination of body fat as well as the importance of conformity between reference- and study populations. Hence agespecific algorithms have been formulated for children, juveniles and adults, based on *anthropometry* and *BIA*. If according to a 2-compartment model (body weight = body fat + fat free mass) it is possible to calculate body fat when the body weight of a test person is known. Stepwise multiple regression analysis leads to the fact that the resistance-index (height^2 [cm] / resistance [Ω]) is better suited as parameter for the fat free mass than any *anthropometric* parameter due to its direct reference to body water. Resistance-index, age, weight and gender (adults only) yielded highest R^2 -values for children, juveniles and adults in correspondence to absolute fat free mass by *ADP* (by Siri *et al.*, 1956). With the fat free mass calculated with the Kieler algorithms, body fat is calculated according to the 2-compartment model. Both revealed significant correlation to the data gained from the reference method (*ADP*, by Siri *et al.*, 1956). Neither systematic nor significant differences were found. Since the Kieler algorithms are based on field methods (*anthropometry* and *BIA*) as well as a sample of the population of people aged from 5 to 82 it is possible to apply these algorithms to general field studies of different age categories.

7. Fazit und Ausblick

Air Displacement Plethysmography (ADP) hat eine gute Validität, Präzision und Akzeptanz. Aufgrund des non-invasiven, komfortablen, für Anwender und Probanden leicht praktikablen Meßverfahrens, das von kurzer Dauer ist, stellt *ADP* für Kinder, Jugendliche, Erwachsene und alte Menschen eine gute Alternative zu den bisherigen „Goldstandardmethoden“, *Hydrodensitometrie* und *Dual-energy X-ray absorptiometry*, dar. Lediglich in den jüngsten Altersklassen scheint eine Korrektur des Körper- bzw. Lungenvolumens empfehlenswert zu sein.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden erstmalig populationsspezifische Algorithmen, basierend auf *Anthropometrie* und *Bioelektrischer Impedanzanalyse*, mit *ADP* als Referenzmethode, für die Berechnung der Körperfett- und fettfreien Masse für Kinder, Jugendliche und Erwachsene formuliert. Die Kieler Berechnungsformeln zeigen eine breite Anwendbarkeit, da sie auf einem Studienkollektiv von 284 gesunden 5- bis 82jährigen Studienteilnehmern beider Geschlechter basieren. Es gilt als wünschenswert, daß diese Algorithmen, nach Validierung gegen ein Kollektiv, das nicht in Kiel bzw. Schleswig-Holstein beheimatet ist, in Zukunft verbreitet Anwendung finden.

Literatur

- [1]: Müller, M. J.: Therapie der Adipositas: *internist. Prax.*, 38, 1998, 759-776.
- [2]: Müller, M. J., Mast, M., Langnäse, K.: Die „Adipositasepidemie“-Gesundheitsförderung und Prävention sind notwendige Schritte zu ihrer Eingrenzung: *Ernährungs-Umschau*, 48 (10), 2001, 398-402.
- [3]: Grünewald-Funk, D.: Weltproblem Obesitas: *Akt. Ern.*, 5 (26), 2001, 176.
- [4]: Rubiano, F., Nuñez, C., Heymsfield: A Comparison of Body Composition Techniques: *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 904, 2000, 335-338.
- [5]: Levenhagen, D. K., Borel, M. J., Welch, D. C., Piasecki, J. H., Piasecki, D. P., Chen, K. Y., Flakoll, P. J.: A Comparison of Air Displacement Plethysmography with Three Other Techniques to Determine Body Fat in Healthy Adults: *J. Parenter. Enteral. Nutr.*, 23 (5), Sep.-Oct. 1999, 293-299.
- [6]: Ellis, K. J.: Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies: *J. Nutr.*, 131, 2001, 1589S-1595S.
- [7]: Wagner, D. R., Heyward, V. H.: Techniques of body composition assessment: a review of laboratory and field methods: *Res. Q. Exerc. Sport*, 70 (2), 1999, 135-149.
- [8]: Svendsen, O. L., Haarbo, J., Heitmann, B. L., Gotfredsen, A., Christiansen C.: Measurement of body fat in elderly subjects by dual-energy x-ray absorptiometry, bioelectrical impedance, and anthropometry: *Am. J. Clin. Nutr.*, 53, 1991, 1117-1123.
- [9]: Ogle, G. D., Allen, J. R., Humphries, I. R., Lu, P. W., Briody, J. N., Morley, K., Howman-Giles, R., Cowell, C. T.: Body-composition assessment by dual-energy x-ray absorptiometry in subjects aged 4-26y: *Am. J. Clin. Nutr.*, 61, 1995, 746-753.
- [10]: Goran, M. I., Driscoll, P., Johnson, R., Nagy, T. R., Hunter, G.: Cross-calibration of body-composition techniques against dual-energy X-ray absorptiometry in young children: *Am. J. Clin. Nutr.*, 63, 1996, 299-305.
- [11]: Gutin, B., Litaker, M., Islam, S., Manos, T., Smith, C., Treiber, F.: Body-composition measurement in 9-11-y-old children by dual-energy X-ray absorptiometry, skinfold-thickness measurements, and bioimpedance analysis: *Am. J. Clin. Nutr.*, 63, 1996, 287-292.
- [12]: Ellis, K. J., Shypailo, R. J., Pratt, J. A., Pond, W. G.: Accuracy of dual-energy x-ray absorptiometry for body-composition measurements in children: *Am. J. Clin. Nutr.*, 60, 1994, 660-665.
- [13]: Treuth, M. S., Hunter, G. R., Kekes-Szabo, T.: Estimating intraabdominal adipose tissue in women by dual-energy X-ray absorptiometry: *Am. J. Clin. Nutr.*, 62, 1995, 527-532.

- [14]: Wells, J. C. K., Fuller, N. J., Dewit, O., Fewtrell, M. S., Elia, M., Cole, T. J.: Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models: *Am. J. Clin. Nutr.*, 69, 1999, 904-912.
- [15]: Buskirk, E. R.: Underwater weighing and body density: In: *Techniques for Measuring Body Composition*, Brožek, J., Henschel, A. (Hg.), Washington, D. C., 1961, 90-106.
- [16]: van der Ploeg, G. E., Gunn, S. M., Withers, R. T., Modra, A. C., Crockett, A. J.: Comparison of two hydrostatic methods for estimating percent body fat: *J. Appl. Physiol.*, 88 (4), 2000, 1175-1180.
- [17]: Lockner, D. W., Heyward, V. H., Baumgartner, R. N., Jenkins, K. A.: Comparison of Air-Displacement Plethysmography, Hydrodensitometry, and Dual X-ray Absorptiometry for Assessing Body Composition of Children 10 to 18 Years of Age: *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 904, May 2000, 72-78.
- [18]: Mc Ardle, W. D., Katch, F. I., Katch, V. L.: *Exercise Physiology, Energy, Nutrition, and Human Performance*: Lea & Febiger, Philadelphia, London, 1991, 3. Auflage.
- [19]: Ellis, K. J., Abrams, S. A., Wong, W. W.: Body composition of a young, multiethnic female population: *Am. J. Clin. Nutr.*, 65, 1997, 724-731.
- [20]: Lohman, T. G., Harris, M., Teixeira, P. J.: Assessing Body Composition and Changes in Body Composition: Another Look at Dual-Energy X-ray Absorptiometry: *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 904, 2000, 45-54.
- [21]: Siri, W. E.: The gross composition of the body: *Advances in Biological and Medical Physics*, 4, Academic Press, Inc., New York, 1956, 239-280.
- [22]: Brožek, J., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A.: Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions: *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110, 1963, 113-140.
- [23]: Dewit, O., Fuller, N. J., Fewtrell, M. S., Elia, M., Wells, J. C. K.: Whole body air displacement plethysmography compared with hydrodensitometry for body composition analysis: *Arch. Dis. Child.*, 82 (2), Febr. 2000, 159-164.
- [24]: Wells, J. C. K., Douros, I., Fuller, N. J., Elia, M., Dekker, L.: Assessment of Body Volume Using Three-Dimensional Photonic Scanning: *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 904, May 2000, 247-254.
- [25]: Iwaoka, H., Yokoyama, T., Nakayama, T., Matsumura, Y., Yoshitake, Y., Fuchi, T., Yoshike, N., Tanaka, H.: Determination of Percent Body Fat by the Newly Developed Sulfur Hexafluoride Dilution Method and Air Displacement Plethysmography: *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 44, 1998, 561-568.

- [26]: Wedgwood, R. J., Breckenridge, J. R., Newman, R. W.: Measurement of body volume by air displacement: *Fed. Proc.*, 12, March 1953, 151.
- [27]: Nuñez, C., Kovera, A. J., Pietrobelli, A., Heshka, S., Horlick, M., Kehayias, J. J., Wang, Z., Heymsfield, S. B.: Body composition in children and adults by air displacement plethysmography: *Eur. J. Clin. Nutr.*, 53, 1999, 382-387.
- [28]: Mc Crory, M. A., Gomez, T. D., Bernauer, E. M., Molé, P. A.: Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition: *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27 (12), Dec. 1995, 1686-1691.
- [29]: Dempster, P., Aitkens, S.: A new air displacement method for the determination of human body composition: *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27 (12), Dec. 1995, 1692-1697.
- [30]: Mazess, R. B., Barden, H. S., Bisek, J. P., Hanson, J.: Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition: *Am. J. Clin. Nutr.*, 51, 1990, 1106-1112.
- [31]: Deurenberg, P., Pieters, J. J. L., Hautvast, J. G. A.: The assessment of the body fat percentage by skinfold thickness measurements in childhood and young adolescence: *Br. J. Nutr.*, 63, 1990, 293-303.
- [32]: Kußmaul, B., Döring, A., Filipiak, B.: Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) in einer epidemiologischen Studie: *Ernährungs-Umschau*, 43, 1996, 46-48.
- [33]: Lohman, T. G.: Applicability of Body Composition Techniques and Constants for Children and Youths: In: *Exerc. Sport. Sci. Rev.*, Pandolph, K. B. (Hg.), 14, New York, 1986, 325-357.
- [34]: Houtkooper, L. B., Lohman, T. G., Going, S. B., Hall, M. C.: Validity of bioelectric impedance for body composition assessment in children: *J. Appl. Physiol.*, 66 (2), 1989, 814-821.
- [35]: Schaefer, F., Georgi, M., Zieger, A., Schärer, K.: Usefulness of Bioelectric Impedance and Skinfold Measurements in Predicting Fat-Free Mass Derived from Total Body Potassium in Children: *Ped. Res.*, 35, 1994, 617-624.
- [36]: Siri, W. E.: Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods: In: *Techniques for Measuring Body Composition*, Brožek, J., Henschel, A. (Hg.), Washington, D. C., 1961, 223-224.
- [37]: Durnin, J. V. G. A., Womersley, J.: 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, 1974, 77-97.

- [38]: Kushner, R. F., Schoeller, D. A., Fjeld, C. R., Danford, L.: Is the impedance index (ht^2/R) significant in predicting total body water? *Am. J. Clin. Nutr.*, 56, 1992, 835-839.
- [39]: Mast, M., Sönnichsen, A., Langnäse, K., Labitzke, K., Bruse, U., Preuß, U., Müller, M. J.: Inconsistencies in bioelectrical impedance and anthropometric measurements of fat mass in a field study of prepubertal children: *Br. J. Nutr.*, 87, 2002, 163-175.
- [40]: Wabitsch, M., Braun, U., Heinze, E., Muche, R., Mayer, H., Teller, W., Fusch, C.: Body composition in 5-18-y-old obese children and adolescents before and after weight reduction as assessed by deuterium dilution and bioelectrical impedance analysis: *Am. J. Clin. Nutr.*, 64, 1996, 1-6.
- [41]: Tanner, J. M.: *Growth at Adolescence*: Scientific Publications, II. Edition, Oxford, U.K., 1962.
- [42]: Müller, M. J.: *Ernährungsmedizinische Praxis*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1998.
- [43]: Durnin, J. V. G. A., Rahaman, N. M.: Assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thicknesses: *Br. J. Nutr.*, 21, 1967, 681-689.
- [44]: Data Input GmbH (Hg.): *Nutri 4[®]: Multifrequenz - Software zur Bestimmung von Wasserhaushalt, Körperzusammensetzung und Ernährungszustand*: Frankfurt am Main, 18-24.
- [45]: Roos, A. N.: *Tetrapolar body impedance reflects clinical important alternations in total body water*, Proefschrift in the Department of General Central Medicine, University Hospital Leiden, Den Haag, 1993.
- [46]: Segal, K. R., Burastero, S., Chun, A., Coronel, P., Pierson, R. N., Wang, J.: Estimation of extracellular and total body water by multiple-frequency bioelectrical-impedance measurement: *Am. J. Clin. Nutr.*, 45, 1991, 26-29.
- [47]: Fischer, H., Lembecke, B.: Die Anwendung der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) zur Beurteilung der Körperzusammensetzung und des Ernährungszustandes: *Innere Medizin*, 18, 1991, 13-17.
- [48]: Gray, S. D., Bray, G. A., Gemayel, N., Kaplan, K.: Effect of obesity on bioelectrical impedance: *Am. J. Clin. Nutr.*, 50, 1989, 255-260.
- [49]: Bolonchuk, W. W.: Assessment of Fat-Free Mass Using Bioelectrical Impedance Measurements of the Human Body: *Am. J. Clin. Nutr.*, 41, 1985, 810-817.
- [50]: Hannan, W. J., Cowen, S. J., Plester, C. E., Fearon, C. H., de Beau, A.: Comparison of bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients: *Clinical Science*, 1995, 651-658.

- [51]: van Lichtenbelt, Westerterp, Wouters, Luijendijk: Validation of bioelectrical-impedance measurements as a method to estimate body-water compartments: *Am. J. Clin. Nutr.*, 60, 1994, 159-166.
- [52]: Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W.: Estimation of Body Fluid Volumes Using Tetrapolar Bioelectrical Impedance Measurements: *Aviation Space, and Environmental Medicine*, Dec. 1998, 1163-1169.
- [53]: Kuhn, C., Leweling, H., Staedt, U., Barth, H., Saeger, H.-D., Holm, E.: Erfassung des Ernährungszustandes mit modernen Methoden: *Beitr. Infusionsther.*, Basel, 1989, 29-56.
- [54]: Siervogel, R. M., Woynarowska, B., Chumlea, W. M. C., Guo, S., Roche, A. F.: Bioelectric Impedance Measures of Body Composition: Their Relationship with Level of Blood Pressure in Young Adults: *Hum. Biol.*, 59, 1987, 245-255.
- [55]: Life Measurement, Inc. (Hg.): *BOD POD[®] Body Composition System: Operator's Manual: Version 1.69*, Concord, USA.
- [56]: Fields, D. A., Goran, M. I., Mc Crory, M. A.: Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review: *Am. J. Clin. Nutr.*, 75 (3), 2002, 453-467.
- [57]: Vogel, H.: *Gerthsen Physik*: 19. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1997.
- [58]: Higgins, P. B., Fields, D. A., Hunter, G. R., Gower, B. A.: Effect of Scalp and Facial Hair on Air Displacement Plethysmography Estimates of Percentage of Body Fat: *Obes. Res.*, 9, 2001, 326-330.
- [59]: Elia, M., Ward, L. C.: Joint Symposium with the British Dietetic Association on 'Implementing dietary change: theory and practice' Session 1: Nutritional assessment: New techniques in nutritional assessment: body composition methods: *Proc. Nutr. Soc.*, 58, 1999, 33-38.
- [60]: Mc Crory, M. A., Molé, P. A., Gomez, T. D., Dewey, K. G., Bernauer E. M.: Body composition by air-displacement plethysmography by using predicted and measured thoracic gas volumes: *Amer. Physiol. Soc.*, 84 (4), 1998, 1475-1479.
- [61]: Demerath, E. W., Guo, S. S., Chumlea, W. C., Towne, B., Roche, A. F., Siervogel, R. M.: Comparison of percent body fat estimates using air displacement plethysmography and hydrodensitometry in adults and children: *Int. J. Obes.*, 26, 2002, 389-397.
- [62]: Crapo, R. O., Morris, A. H., Clayton, P. D., Nixon, C. R.: Lung volumes in healthy nonsmoking adults: *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.*, 18 (3), 1982, 419-425.

- [63]: Manzke, H., Stadlober, E., Schellauf, H.-P.: Combined body plethysmographic, spirometric and flow volume reference values for male and female children aged 6 to 16 years obtained from „hospital normals“: *Eur. J. Pediatr.*, 160, 2001, 300-306.
- [64]: Fields, D. A., Hunter, G. R., Goran, M. I.: Validation of the BOD POD with hydrostatic weighing: Influence of body clothing: *Int. J. Obes.*, 24, 2000, 200-205.
- [65]: Selinger, A.: *The body as a three-component system*, Ph. D. dissertation, University of Illinois, Urbana, IL, 1977.
- [66]: Wells, J. C. K., Fuller, N. J.: Precision of measurement and body size in whole-body air-displacement plethysmography: *Int. J. Obes.*, 25, 2001, 1161-1167.
- [67]: Kromeyer-Hauschild, K., Wabitsch, M., Kunze, D., Geller, F., Geiß, H. C., Hesse, V., von Hippel, A., Jaeger, U., Johnsen, D., Menner, K., Müller, G., Müller, J. M., Niemann-Pilatus, A., Remer, T., Schaefer, F., Wittchen, H.-U., Zabransky, S., Zellner, K., Ziegler, A., Hebebrand, J.: Perzentile für den Body-mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben: *Monatsschr. Kinderheilkd.*, 149, 2001, 807-818.
- [68]: Schneider, R., Eberhardt, W., Hesecker, H., Moch, K. J.: *Die VERA-Stichprobe im Vergleich mit Volkszählung, Mikrozensus und anderen nationalen Untersuchungen*: VERA-Schriftenreihe, Band II, Wissenschaftlicher Fachverlag, 1992.
- [69]: Adolf, T., Schneider, R., Eberhardt, W., Hartmann, S., Herwig, A., Hesecker, H., Hünchen, K., Kübler, W., Matiaske, B., Moch, K. J., Rosenbauer, J.: *Ergebnisse der Nationalen Verzehrsstudie (1985-1988) über die Lebensmittel- und Nährstoffaufnahme in der Bundesrepublik Deutschland*: VERA-Schriftenreihe, Band XI, Wissenschaftlicher Fachverlag, 1995.
- [70]: Hebebrand, J., Hesecker, H., Himmelmann, W., Schäfer, H., Remschmidt, H.: Altersperzentilen für den Body-Mass-Index aus Daten der Nationalen Verzehrsstudie einschließlich einer Übersicht zu relevanten Einflußfaktoren: *Akt. Ern. Med.*, 19, 1994, 259-265.
- [71]: Schneider, R.: *Vom Umgang mit Zahlen und Daten: Eine praxisnahe Einführung in die Statistik und Ernährungsepidemiologie*: Umschau Zeitschriftenverlag, 1997.
- [72]: Kähler, W. M.: *SPPS für Windows: Eine Einführung in die Datenanalyse für die aktuelle Version*: Vieweg Lehrbuch, 4. Auflage, 1998.
- [73]: Sachs, L.: *Angewandte Statistik, Anwendung statistischer Methoden*: Springer-Verlag, 8. Auflage, 1997.

- [74]: Clauß, G., Finze, I. R., Partzsch: *Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner*: Grundlagen Verlag, Band 1.
- [75]: Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen/Universität Hannover und Fachrichtung Psychologie der Universität des Saarlandes, Saarbrücken (Hg.): *SPSS, Durchführung fortgeschrittener statistischer Verfahren*: 1. Auflage, Mai 2000.
- [76]: Grande, F.: Nutrition and energy balance in body composition studies: In: *Techniques for Measuring Body Composition*, Brožek, J., Henschel, A. (Hg.), Washington, D. C., 1961, 168-188.
- [77]: Lohman, T. G.: Skinfolts and Body Density and Their Relation to Body Fatness: A Review: *Hum. Biol.*, 53 (2), May 1981, 181-225.
- [78]: Biaggi, R. R., Vollman, M. W., Nies, M. A., Brenner, C. E., Flakoll, P. J., Levenhagen, D. K., Sun, M., Karabulut, Z., Chen, K. Y.: Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectric impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults: *Am. J. Clin. Nutr.*, 69, 1999, 898-903.
- [79]: Fields, D. A., Goran, M. I.: Body composition techniques and the four-compartment model in children: *J. Appl. Physiol.*, 89, 2000, 613-620.
- [80]: Vescovi, J. D., Zimmerman, S. L., Miller, W. C., Hildebrandt, L., Hammer, R. L., Fernhall, B.: Evaluation of the BOD POD for estimating percentage body fat in a heterogenous group of adult humans: *Eur. J. Appl. Physiol.*, 85 (3-4), 2001, 326-332.
- [81]: Nicholson, J. C., Mc Duffie, J. R., Bonat, S. H., Russell, D. L., Boyce, K. A., Mc Cann, S., Michael, M., Sebring, N. G., Reynolds, J. C., Yanovski, J. A.: Estimation of Body Fatness by Air Displacement Plethysmography in African American and White Children: *Ped. Res.*, 50, 2001, 467-473.
- [82]: Yee, A. J., Fuerst, T., Salamone, L., Visser, M., Dockrell, M., Van Loan, M., Kern, M.: Calibration and validation of an air-displacement plethysmography method for estimating percentage body fat in an elderly population: a comparison among compartmental models: *Am. J. Clin. Nutr.*, 74 (5), 2001, 637-642.
- [83]: Wagner, D. R., Heyward, V. H., Gibson, A. L.: Validation of air displacement plethysmography for assessing body composition: *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32 (7), July 2000, 1339-1344.
- [84]: Collins, M. A., Millard-Stafford, M. L., Sparling, P. B., Snow, T. K., Rosskopf, L. B., Webb, S. A., Omer, J.: Evaluation of the BOD POD[®] for assessing body fat in collegiate football players: *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31 (9), 1999, 1350-1356.

- [85]: Millard-Stafford, M. L., Collins, M. A., Evans, E. M., Snow, T. K., Cureton, K. J., Roskopf, L. B.: Use of air displacement plethysmography for estimating body fat in a four-component model: *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33, 2001, 1311-1317.
- [86]: Sardinha, L. B., Lohman, T. G., Teixeira, P. T., Guedes, D. P., Going, S. B.: 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, 1999, 786-793.
- [87]: Miyatake, N., Nonaka, K., Fujii, M.: A new air displacement plethysmograph for the determination of Japanese body composition: *Diabetes Obes. Meta.*, 1 (6), Nov. 1999, 347-351.
- [88]: Rosenthal, M., Cramer, D., Bain, S. H., Denison, D., Bush, A., Warner, J. O.: Lung function in white children aged 4 to 19 years: Single breath analysis and plethysmography: *Thorax*, 48, 1993, 803-808.
- [89]: Zapletal, A., Paul, T., Šamánek: Normální hodnoty statických plicních objemů a ventilace u dětí a mladistvých: *Čs. Pediat.*, 31, 1976, 532-539.
- [90]: Weststrate, J. A., Deurenberg, P.: Body composition in children: proposal for a method for calculating body fat percentage from total body density or skinfold-thickness measurements: *Am. J. Clin. Nutr.*, 50, 1989, 1104-1115.
- [91]: Lohman, T. G.: Assessment of body composition in children: *Pediatr. Exerc. Sci.*, 1, 1989, 19-30.
- [92]: Slaughter, M. H., Lohman, T. G., Boileau, R. A.: Skinfold equations for estimating of body fatness in children and youth: *Hum. Biol.*, 60, 1988, 709-723.
- [93]: Johnston, J. L., Leong, M. S., Checkland, E. G., Zuberbuhler, P. C., Conger, P. R., Quinney, H. A.: Body fat assessed from body density and estimated from skinfold thickness in normal children and children with cystic fibrosis: *Am. J. Clin. Nutr.*, 48, 1988, 1362-1366.
- [94]: Brook, C. G.: Determination of body composition of children from skinfold measurements: *Arch. Dis. Child.*, 46 (246), 1971, 182-184.
- [95]: Deurenberg, P., van der Kooy, K., Paling, A., Withagen, P.: Assessment of body composition in 8-11 year old children by bioelectrical impedance: *Eur. J. Clin. Nutr.*, 43, 1989, 623-629.
- [96]: Davies, P. S. W., Preece, M. A., Hicks, C. J., Halliday, D.: The prediction of total body water using bioelectrical impedance in children and adolescents: *Ann. Hum. Biol.*, 15, 1988, 237-240.

- [97]: Danford, L. C., Schoeller, D. A., Kushner, R. F.: Comparison of two bioelectrical impedance analysis models for total body water measurement in children: *Ann. Hum. Biol.*, 19, 1992, 603-607.
- [98]: de Cossio, T. G., Diaz, E., Delgado, H. L., Mendoza, R., Gramajo, L.: Accuracy and Precision of Bioelectrical Impedance and Anthropometry for Estimating Body Composition: In: *In Vivo Body Composition Studies*, The Institute Of Physical Sciences In Medicine (Hg.), New York, 1986, 195-200.
- [99]: Malina, R. M., Bouchard, C.: *Growth, Maturation and Physical Activity*: Champaign, IL: Human Kinetics Books.
- [100]: Hewitt, M. J., Going, S. B., Williams, D. P., Lohman, T. G.: Hydration of the fat free body mass in children and adults: implications for body composition assessment: *Amer. Physio. Soc.*, 1993, E88-E95.
- [101]: Boileau, R. A., Wilmore, J. H., Lohman, T. G., Slaughter, M. H., Riner, W. F.: Estimation of Body Density from Skinfold Thicknesses, Body Circumferences and Skeletal Widths in Boys Aged 8 to 11 years: Comparison of Two Samples: *Hum. Biol.*, 53 (4), Dec. 1981, 575-592.

Anhangsverzeichnis

- I. Genehmigungsschreiben der Ethik-Kommission
- II. Aushänge zur Probandensuche
 - Kinder und Jugendliche
 - Erwachsene
- III. Einwilligungserklärung
 - Kinder und Jugendliche
 - Erwachsene
- IV. Erfassungsbogen (Kinder, Jugendliche und Erwachsene)
- V. Tabellen:

Tab. A1: Absolute fettfreie Masse nach *Air Displacement Plethysmography* und Kieler Algorithmus: Kinder und Jugendliche

Tab. A2: Absolute Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Kieler Algorithmus: Kinder und Jugendliche

Tab. A3: Absolute fettfreie Masse nach *Air Displacement Plethysmography* und Kieler Algorithmus: Erwachsene

Tab. A4: Absolute Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Kieler Algorithmus: Erwachsene

Tab. A5: Design der Studien, in denen Algorithmen zur Bestimmung der Körperfettmasse bzw. fettfreien Körpermasse, basierend auf Anthropometrie und Bioelektrischer Impedanzanalyse, formuliert wurden: Kinder und Jugendliche

Tab. A6: Design der Studien, in denen Algorithmen zur Bestimmung der Körperdichte bzw. -fettmasse und Ganzkörperwasser, basierend auf Anthropometrie und Bioelektrischer Impedanzanalyse, formuliert wurden: Erwachsene

MEDIZINISCHE FAKULTÄT
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL

ETHIK-KOMMISSION



Universitäts-Kinderklinik · Schwanenweg 20 · 24105 Kiel

Herrn
Prof. Dr. med. M. J. Müller
Institut für Humanernährung
und Lebensmittelkunde
Düsternbrooker Weg 17

24105 Kiel

Schwanenweg 20
D-24105 Kiel
Telefon 04 31 / 597-18 09
Telefax 04 31 / 597-18 31

Datum:

23.5.2001

AZ: A 112/01

Studienplan: **Messungen mit Air Displacement Plethysmography (ADP)**
(Studienprotokoll, Probandeninformation und Einverständniserklärung,
Anzeigentext)

Antragsteller: **Prof. Dr. Müller, Institut für Humanernährung
und Lebensmittelkunde der CAU zu Kiel**

Datum

des Erstantrages: 5.4.2001

Datum des

überarb. Antrages: 22.5.2001

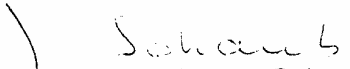
Bestätigung

Die Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel hat die zu dem oben bezeichneten Versuchsplan eingereichten Unterlagen auf mögliche berufsethische und berufsrechtliche Bedenken hin überprüft.

Die Kommission stimmt darin überein, daß gegen die Durchführung der Studie nunmehr keine Bedenken bestehen.

Es wird darauf hingewiesen, daß künftig eventuell für zweckmäßig und notwendig erachtete Änderungen und Erweiterungen des Versuchsplanes der Ethik-Kommission anzuzeigen sind und gegebenenfalls eine erneute Beratung erforderlich machen.

Nach Abschluß der Studie erbittet die Kommission einen kurzen Bericht mit einem Hinweis, ob im Laufe der Studie ethische oder juristische Probleme aufgetreten sind.


Prof. Dr. med. Jürgen Schaub
Vorsitzender der Ethik- Kommission
der Medizinischen Fakultät der CAU zu Kiel

II. Aushang der Probandensuche, Kinder und Jugendliche

Institut für Humanernährung u. Lebensmittelkunde
der CAU Kiel, Düsternbrooker Weg 17-19

Hallo Kinder aufgepaßt, 
jetzt gibt es den Riesenspaß ...


Körpervolumenmessung in einer „Raumkapsel“


Körpergröße, -gewicht



Körperumfänge



Ellenbogenbreite



**Bioelektrische Impedanzanalyse mit abgespacten
Aufklebern**



... und 10,- Euro gibt´s noch dazu

Interesse ? Ruft an !



**Dr. M. Mast,
Dipl. oec. troph. C. Becker
Tel.: 8805677**

II. Aushang der Probandensuche, Erwachsene

Probanden gesucht

für die Studie zur

Erfassung der Körperzusammensetzung am

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde
der CAU Kiel

Düsternbrooker Weg 17 - 19, Zi. 48, Tel. 8805677

Folgende Methoden werden angewandt:

- ☺ **Hautfalten- und Umfangsmessungen** ⇨ dient der Bestimmung des Unterhautfettgewebes und ermöglicht Rückschluß auf die Fettmasse des Körpers.
- ☺ **Bestimmung der Ellenbogenbreite** ⇨ ermöglicht die Erfassung des Konstitutionstypen.
- ☺ **Ermittlung von Körpergewicht, -größe**
- ☺ **Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)** ⇨ beruht auf Widerstandsmessung, gibt Informationen über Fett-, fettfreie Masse und Körperwasser eines Menschen.
- ☺ **Air Displacement Plethysmography (gibt's nur 2 Mal in Deutschland !)** ⇨ dient der Bestimmung der Körperdichte. Ist diese bekannt, erfolgt die Berechnung der Fettmasse des Körpers.

Weitere Informationen und Termine erhalten Sie bei
Dr. M. Mast, Dipl. oec. troph. C. Becker unter Tel. 8805677.

III. Einwilligungserklärung, Kinder und Jugendliche

Am Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel wird eine Studie durchgeführt, die der Erfassung der Körperzusammensetzung der Kieler Bevölkerung und damit verbunden der Prävention von Adipositas dient.

Hiermit erkläre ich mich mit der Durchführung der Untersuchungen unserer Tochter / unseres Sohnes _____ (Name, Vorname des Kindes) im Rahmen der obengenannten Studie einverstanden.

Das Institut verpflichtet sich, die Daten vertraulich zu behandeln. Zudem sind die Vorschriften des Landesschutzgesetzes zu beachten. Der Landesbeauftragte ist berechtigt, die Einhaltung zu kontrollieren.

Hiermit erlauben ich dem obengenannten Institut, die erfaßten Daten für wissenschaftliche Zwecke zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt als Vergleichswerte zu verwenden.

Diese Einwilligung ist freiwillig und kann von mir jederzeit, ohne Angaben von Gründen und ohne persönliche Nachteile, widerrufen werden.

Anschrift:

Straße, Hausnummer

Wohnort, Postleitzahl

Ort,

Datum

Unterschrift (des/der Erziehungsberechtigten)

Vielen Dank für Ihre Teilnahme !

Daten, die im Rahmen dieser Studie erfaßt werden:

Im folgenden werden die Daten aufgelistet, die im Rahmen der obengenannten Studie erhoben werden. Es ist dem Institut nicht gestattet, weitere Daten, die hier nicht aufgelistet werden, zu erheben.

- Name, Vorname
- Alter
- Geschlecht
- Nationalität
- Körpergewicht
- Körpergröße
- Arm-, Bein-, Rumpflänge
- Körperumfänge (Ober-, Unterarm, Ober-, Unterschenkel, Taille, Hüfte, Kopf, Hals)
- Kopfhöhe, -länge, Halslänge
- Meßparameter der Bioelektrischen Impedanzanalyse und Air Displacement Plethysmography
- Hautfaltendicken (Trizeps, Bizeps, Abdominal, Suprailiacal, Subscapular, Bein)
- Ellenbogen-, Schulter-, Kopf-, Halsbreite

Diese Daten dienen ausschließlich der Bestimmung der Fett- und fettfreien Masse des Körpers und werden im Rahmen des Datenschutzgesetzes namenlos und vertraulich behandelt.

III. Einwilligungserklärung, Erwachsene

Am Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel wird eine Studie durchgeführt, die der Erfassung der Körperzusammensetzung der Kieler Bevölkerung und damit verbunden der Prävention von Adipositas dient.

Hiermit erkläre ich,

_____, (Name, Vorname)
mich mit der Durchführung der Untersuchungen im Rahmen der obengenannten Studie einverstanden.

Das Institut verpflichtet sich, die Daten vertraulich zu behandeln. Zudem sind die Vorschriften des Landeschutzgesetzes zu beachten. Der Landesbeauftragte ist berechtigt, die Einhaltung zu kontrollieren.

Hiermit erlaube ich dem obengenannten Institut, die erfaßten Daten für wissenschaftliche Zwecke zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt als Vergleichswerte zu verwenden.

Diese Einwilligung ist freiwillig und kann von mir jederzeit widerrufen werden.

Anschrift:

Straße, Hausnummer

Wohnort, Postleitzahl

Ort

,

Datum

Unterschrift

Vielen Dank für Ihre Teilnahme !

Daten, die im Rahmen dieser Studie erfaßt werden:

Im folgenden werden die Daten aufgelistet, die im Rahmen der obengenannten Studie erhoben werden. Es ist dem Institut nicht gestattet, weitere Daten, die hier nicht aufgelistet werden, zu erheben.

- Name, Vorname
- Alter
- Geschlecht
- Nationalität
- Körpergewicht
- Körpergröße
- Körperumfänge (Oberarm, Taille, Hüfte)
- Meßparameter der bioelektrischen Impedanzanalyse und Air Displacement Plethysmography
- Hautfaldendicken (Trizeps, Bizeps, Abdominal, Suprailiacal, Subscapular)
- Ellenbogenbreite

Diese Daten dienen ausschließlich der Bestimmung der Fett- und fettfreien Masse des Körpers und werden im Rahmen des Datenschutzgesetzes namenlos und vertraulich behandelt.

IV. Erfassungsbogen

Name, Vorname:

Geschlecht: weiblich männlich

Geburtsdatum / Alter:

Körpergröße cm Körpergewicht kg

Tanita: %FM Körpergewicht kg

Arm: cm Taille: cm Hüfte: cm

TSF: mm

BSF: mm

ASF: mm

SIF: mm

SSF: mm

Ellenbogenbreite: cm

Dichte: g / cm³ FM (nach Siri): %

Körpervolumen L Lungenvolumen L

Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA):

| | 1 kHz | 5 kHz | 50 kHz | 100 kHz |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| R : | R : | R : | R : | R : |
| X _c : | X _c : | X _c : | X _c : | X _c : |
| α : | α : | α : | α : | α : |
| R _{ges} : | R _{ges} : | R _{ges} : | R _{ges} : | R _{ges} : |
| R ↑: | R ↑: | R ↑: | R ↑: | R ↑: |
| R ↓: | R ↓: | R ↓: | R ↓: | R ↓: |

V. Tabellen

Tab. A1: Absolute fettfreie Masse nach *Air Displacement Plethysmography* und Kieler Algorithmus: Kinder und Jugendliche

| | kgFFM (ADP) | kgFFM (K) | bias [kg] | bias [%] | r |
|---|-------------|-------------|------------|------------|---------|
| Gesamtgruppe | | | | | |
| Jungen + Mädchen (n=101) | 28,9 ± 10,5 | 28,9 ± 10,3 | 0,0 ± 2,1 | 0,0 ± 4,5 | 0,98*** |
| Jungen (n=45) | 26,9 ± 11,0 | 27,2 ± 11,1 | 0,3 ± 1,9 | 0,6 ± 4,6 | 0,99*** |
| Mädchen (n=56) | 30,5 ± 10,0 | 30,3 ± 9,6 | 0,2 ± 2,2 | 0,5 ± 4,5 | 0,98*** |
| Kinder, vor der Pubertät | | | | | |
| Jungen + Mädchen (n=58) | 21,4 ± 3,4 | 21,5 ± 3,8 | -0,2 ± 1,2 | -0,3 ± 4,1 | 0,95*** |
| Jungen (n=32) | 21,2 ± 3,9 | 21,5 ± 4,4 | -0,3 ± 1,2 | -0,8 ± 4,4 | 0,97*** |
| Mädchen (n=26) | 21,6 ± 2,6 | 21,5 ± 2,8 | 0,1 ± 1,2 | 0,2 ± 3,9 | 0,90*** |
| Kinder, in und nach der Pubertät | | | | | |
| Jungen + Mädchen (n=43) | 39,0 ± 8,2 | 38,9 ± 7,6 | 0,1 ± 2,8 | 0,9 ± 5,1 | 0,94*** |
| Jungen (n=13) | 40,9 ± 10,3 | 41,3 ± 10,0 | -0,4 ± 3,2 | -0,6 ± 5,3 | 0,95*** |
| Mädchen (n=30) | 38,2 ± 7,1 | 37,8 ± 6,3 | 0,4 ± 2,7 | 0,5 ± 5,1 | 0,93*** |

kgFFM: fettfreie Masse in kg; ADP: Berechnungen nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); K: Berechnungen nach Kieler Algorithmus; r: Korrelation zwischen fettfreier Masse nach ADP und Kieler Algorithmus, ***: Signifikanzniveau: P<0,001

Tab. A2: Absolute Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Kieler Algorithmus: Kinder und Jugendliche

| | kgFM (ADP) | kgFM (K) | bias [kg] | bias [%] | r |
|--|------------|------------|------------|------------|---------|
| Gesamtgruppe | | | | | |
| Jungen + Mädchen (n=101) | 11,5 ± 7,5 | 11,5 ± 7,2 | 0,0 ± 2,1 | 0,0 ± 4,5 | 0,96*** |
| Jungen (n=45) | 9,2 ± 6,8 | 8,9 ± 5,9 | -0,3 ± 1,9 | -0,6 ± 4,6 | 0,97*** |
| Mädchen (n=56) | 13,3 ± 7,5 | 13,5 ± 7,5 | -0,2 ± 2,2 | -0,5 ± 4,5 | 0,96*** |
| Kinder vor der Pubertät | | | | | |
| Jungen + Mädchen (n=58) | 8,8 ± 4,8 | 8,6 ± 4,5 | 0,2 ± 1,2 | 0,3 ± 4,1 | 0,97*** |
| Jungen (n=32) | 7,2 ± 4,0 | 6,9 ± 3,5 | 0,3 ± 1,2 | 0,8 ± 4,4 | 0,96*** |
| Mädchen (n=26) | 10,6 ± 5,0 | 10,7 ± 4,9 | -0,1 ± 1,2 | -0,2 ± 3,9 | 0,97*** |
| Kinder in und nach der Pubertät | | | | | |
| Jungen + Mädchen (n=43) | 15,1 ± 8,8 | 15,3 ± 8,3 | -0,1 ± 2,8 | -0,9 ± 5,1 | 0,95*** |
| Jungen (n=13) | 14,0 ± 9,7 | 13,6 ± 7,9 | 0,4 ± 3,2 | 0,6 ± 5,3 | 0,96*** |
| Mädchen (n=30) | 15,6 ± 8,6 | 16,0 ± 8,5 | -0,4 ± 2,7 | -0,5 ± 5,1 | 0,95*** |

kgFM: Körperfettmasse in kg; ADP: Berechnungen nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); K: Berechnungen nach Kieler Algorithmus; r: Korrelation zwischen Körperfettmasse nach ADP und Kieler Algorithmus, ***: Signifikanzniveau: P<0,001

Tab. A3: Absolute fettfreie Masse nach *Air Displacement Plethysmography* und Kieler Algorithmus: Erwachsene

| | kgFFM (ADP) | kgFFM (K) | bias [kg] | bias [%] | r |
|---------------------------------|-------------|-------------|------------|------------|---------|
| Gesamtgruppe | | | | | |
| Männer + Frauen (n=183) | 50,6 ± 10,6 | 50,5 ± 10,1 | 0,1 ± 3,3 | 0,1 ± 4,6 | 0,95*** |
| Männer (n=58) | 63,1 ± 8,7 | 63,0 ± 6,8 | 0,1 ± 4,2 | 0,0 ± 5,3 | 0,88*** |
| Frauen (n=125) | 44,8 ± 4,9 | 44,8 ± 4,6 | 0,1 ± 2,7 | 0,1 ± 4,3 | 0,84*** |
| Erwachsene < 60 Jahre | | | | | |
| Männer + Frauen (n=149) | 51,3 ± 10,5 | 51,2 ± 9,9 | 0,1 ± 3,2 | 0,2 ± 4,6 | 0,95*** |
| Männer (n=45) | 64,9 ± 7,0 | 64,5 ± 5,4 | 0,4 ± 4,2 | 0,5 ± 5,4 | 0,80*** |
| Frauen (n=104) | 45,5 ± 4,7 | 45,4 ± 4,3 | 0,0 ± 2,7 | 0,1 ± 4,3 | 0,83*** |
| Erwachsene ≥ 60 Jahre | | | | | |
| Männer + Frauen (n=34) | 47,4 ± 10,7 | 47,6 ± 10,3 | -0,2 ± 3,6 | -0,3 ± 4,7 | 0,94*** |
| Männer (n=13) | 56,9 ± 11,1 | 57,8 ± 8,7 | -0,9 ± 4,4 | -1,6 ± 5,0 | 0,93*** |
| Frauen (n=21) | 41,6 ± 4,8 | 41,3 ± 4,7 | 0,3 ± 3,0 | 0,1 ± 4,3 | 0,79*** |

kgFFM: fettfreie Masse in kg; ADP: Berechnungen nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); K: Berechnungen nach Kieler Algorithmus; r: Korrelation zwischen fettfreier Masse nach ADP und Kieler Algorithmus, ***: Signifikanzniveau: $P \leq 0,001$

Tab. A4: Absolute Körperfettmasse nach *Air Displacement Plethysmography* und Kieler Algorithmus: Erwachsene

| | kgFM (ADP) | kgFM (K) | bias [kg] | bias [%] | r |
|---------------------------------|-------------|-------------|------------|------------|---------|
| Gesamtgruppe | | | | | |
| Männer + Frauen (n=183) | 20,6 ± 10,6 | 20,7 ± 10,1 | -0,1 ± 3,3 | -0,1 ± 4,6 | 0,95*** |
| Männer (n=58) | 17,0 ± 10,1 | 17,2 ± 9,4 | -0,1 ± 4,2 | -0,1 ± 5,3 | 0,91*** |
| Frauen (n=125) | 22,3 ± 10,5 | 22,4 ± 10,0 | -0,1 ± 2,7 | -0,1 ± 4,3 | 0,97*** |
| Erwachsene < 60 Jahre | | | | | |
| Männer + Frauen (n=149) | 19,3 ± 10,6 | 19,4 ± 10,0 | -0,1 ± 3,2 | -0,2 ± 4,6 | 0,95*** |
| Männer (n=45) | 15,4 ± 9,9 | 15,8 ± 9,1 | -0,4 ± 4,2 | -0,5 ± 5,4 | 0,91*** |
| Frauen (n=104) | 20,9 ± 10,5 | 21,0 ± 10,0 | 0,0 ± 2,7 | -0,1 ± 4,3 | 0,97*** |
| Erwachsene ≥ 60 Jahre | | | | | |
| Männer + Frauen (n=34) | 26,7 ± 8,1 | 26,5 ± 8,3 | 0,2 ± 3,6 | 0,3 ± 4,7 | 0,90*** |
| Männer (n=13) | 22,7 ± 8,6 | 21,8 ± 9,4 | 0,9 ± 4,4 | 1,6 ± 5,0 | 0,89*** |
| Frauen (n=21) | 29,2 ± 6,9 | 29,4 ± 6,1 | -0,3 ± 3,1 | -0,1 ± 4,3 | 0,90*** |

kgFM: Körperfettmasse in kg; ADP: Berechnungen nach *Air Displacement Plethysmography*, nach Siri *et al.* (1956); K: Berechnungen nach Kieler Algorithmus; r: Korrelation zwischen Körperfettmasse nach ADP und Kieler Algorithmus, ***: Signifikanzniveau: $P \leq 0,001$

Tab. A5: Design der Studien, in denen Algorithmen zur Bestimmung der Körperfettmasse bzw. fettfreien Körpermasse, basierend auf Anthropometrie und Bioelektrischer Impedanzanalyse, formuliert wurden: Kinder und Jugendliche

| | Hautfaltendickenmessung | | Bioelektrische Impedanzanalyse | | |
|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|----------------------------------|---------------------------------|
| | Lohman <i>et al.</i> (1986) | Deurenberg <i>et al.</i> (1990) | Houtkooper <i>et al.</i> (1989) | Schaefer <i>et al.</i> (1994) | Goran <i>et al.</i> (1996) |
| Land | USA | Niederlande | USA | Deutschland | USA |
| n | 317 | 378 | 94 | 112 | 98 |
| Alter (Jahre) | 12,4 (8,8-25,3) | 13,8 (7,0-20,0) | 12,3 (10,2-14,8) | 11,8 (3,9-19,3) | 6,6 (4,0-9,9) |
| Gewicht [kg] | 51,4 (27,1-88,1) | 51,2 (27,0-74,6) | 48,9 (27,2-99,4) | 42,8 (17,8-80,0) | 24,1 (16,2-51,0) |
| Referenzmethode | HD | HD | HD, D ₂ O | TBK | DEXA |
| Kompartiment | FM | FM | FM | FFM | FM |
| BIA-Gerät | - | - | 101 RJL-Systems, Detroit, USA, 0,8mA, 50 kHz | Holtain Ltd. | 101 A RJL-Systems, Detroit, USA |
| r | 0,88 | 0,63 | 0,94 | 0,99 | 0,95 |

HD: Hydrodensitometrie; D₂O: Deuteriumverdünnung; TBK: Ganzkörperkaliummessung (K⁴⁰); DEXA: *Dual-energy X-ray absorptiometry*; FM: Körperfettmasse; FFM: fettfreie Masse; r: Korrelation gegenüber Referenzmethode

Tab. A6: Design der Studien, in denen Algorithmen zur Bestimmung der Körperdichte bzw. -fettmasse und Ganzkörperwasser, basierend auf Hautfaltendickenmessung und Bioelektrischer Impedanzanalyse, formuliert wurden: Erwachsene

| | Hautfaltendickenmessung | Bioelektrische Impedanzanalyse |
|------------------------|-------------------------|--|
| | | Durnin, Womersley <i>et al.</i> (1974) |
| Land | Schottland | USA |
| n | 481 | 175 |
| Alter (Jahre) | 16-72 | 0,02-67 |
| Gewicht [kg] | 69,3 (42,3-121,5) | 39,4 (0,8-200,0) |
| Referenzmethode | HD | D ₂ O, ¹⁸ O |
| Kompartiment | D, FM | TBW |
| BIA-Gerät | - | 101 RJL-Systems, Detroit, USA |
| r | 0,80 | ≥ 0,98 |

BIA: Bioelektrische Impedanzanalyse; HD: Hydrodensitometrie; D₂O: Deuteriumverdünnung; ¹⁸O: markiertes Wasser; D: Körperdichte, FM: Körperfettmasse, TBW: *Total Body Water* (Ganzkörperwasser); r: Korrelation gegenüber Referenzmethode

Danksagung

Herrn Professor Dr. med. M. J. Müller bin ich für die interessante und herausfordernde Themenstellung, die Möglichkeit der Studiendurchführung und die Betreuung zu Dank verpflichtet.

Herrn Professor Dr. med. vet. H. F. Erbersdobler danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Für die langjährige Zusammenarbeit, das „immer offene Ohr“ und die vielen, vielen tröstenden und motivierenden Worte bedanke ich mich ganz herzlich bei Frau Dr. Mareike Czerwinski-Mast.

Frau Dr. Anja Bosy-Westphal danke ich, daß sie sich, trotz ihres akuten Zeitmangels, immer Zeit genommen und mir bei Fragen hilfsbereit weitergeholfen hat.

Frau Dr. Silke Thiele und Frau Dr. Amke Caliebe danke ich für ihre Hilfsbereitschaft bei den statistischen Auswertungen.

Ein herzliches Dankeschön gilt all den Probanden, die an dieser Studie teilgenommen und damit die Realisierung dieser Arbeit überhaupt erst ermöglicht haben.

Aus meinem Freundskreis danke ich besonders ...

Andreas Petersen für die immer währende Hilfsbereitschaft, die Geduld, Ruhe, das Verständnis und dafür, daß ich immer auf ihn zählen kann.

Holger Pabst für die (z.T. unfreiwillige) Teilnahme an den Höhen und Tiefen meiner Promotionszeit.

Urmel und Timo für das bereitwillige Korrekturlesen und Ausdrucken der Arbeit.

Ein ganz herzliches und dickes Dankeschön geht an meine Familie, die mich immer mit Rat, Tat und warmen Worten unterstützt und gefördert hat.

Lebenslauf

Name: Christine Becker
Geburtsdatum: 03. März 1976
Geburtsort: Bremervörde
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig

Schulbildung:

1982 bis 1986 Grundschule Engeo, Bremervörde
1986 bis 1988 Orientierungsstufe, Bremervörde
1988 bis 1992 Findorff-Realschule, Bremervörde
1992 bis 1995 Fachgymnasium Ernährung und Hauswirtschaft an der
Berufsbildenden Schule Bremervörde
Abschluß: Allgemeine Hochschulreife

Hochschulbildung:

1995 bis 2000 Studium der Oecotrophologie an der Agrar- und
Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-
Universität zu Kiel
Fachrichtung: Ernährungswissenschaften
Abschluß: Diplom
10.2000 bis 02.2003 Doktorandin am Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bei Herrn Prof. M.J. Müller

Kiel, im März 2003