

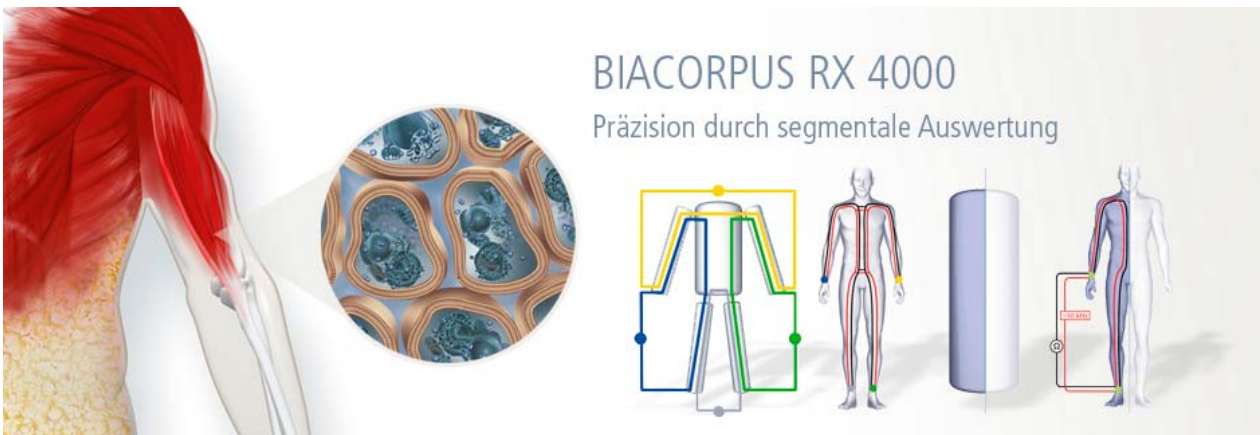
3 Analyse der Körperzusammensetzung

3.1 Körperkompartiment-Modelle

Die bioelektrische Impedanzmessung wurde schon vor mehr als 50 Jahren z.B. von Thomasset in Frankreich eingesetzt, um Körperflüssigkeitsvolumina zu messen. Damals wurde noch mit 2 anstelle von 4 Elektroden und mit einer Messfrequenz von 1 kHz gemessen.

Seither sind eine Vielzahl von Validierungsstudien mit tetrapolaren Messgeräten und Messungen bei verschiedenen Messfrequenzen (meist 50 kHz) durchgeführt worden, die mit Hilfe der Impedanzmessung die Bestimmung folgender Kompartimente ermöglichen:

- Gesamtkörperwasser
- Extrazellulärwasser
- Fettfreie Masse
- Fettmasse
- Muskelmasse



Schon in frühen klinischen Tests (um ca. 1930) wurde deutlich, dass die Widerstände des Körpers stark mit der Körperhydratation korrelieren. Deshalb wurde die BIA-Messung zunächst für die Bestimmung des Gesamtkörperwassers (Total Body Water, TBW) eingesetzt. Nyboer et al. haben hierfür in den 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts ein Modell erarbeitet das folgende Annahmen voraussetzt:

- a.) Der Körper wird als gleichmäßiger Zylinder betrachtet.
- b.) Der Anteil der Reaktanz am Gesamtwiderstand ist für die Gesamtkörperwasserbestimmung zu vernachlässigen.

Mathematisch lässt sich unter diesen Bedingungen folgender Zusammenhang ableiten:

- Z = Gesamtwiderstand
- ρ = Konstante
- L = Länge des Leiters (=Körpergröße)
- A = Querschnittsfläche des Leiter (Körperdurchmesser)

$$Z = \rho \cdot L / A$$

multipliziert man beide Seiten mit der Körpergröße (L) erhält man eine Formel die das Volumen V enthält:

$$Z = \rho \cdot L^2 / V$$

bzw. nach Umformung:

$$V = \rho \cdot L^2 / Z$$

und unter der Annahme, dass der Anteil X_c von Z zu vernachlässigen ist ($Z^2 = R^2 + X_c^2$):

- V = Gesamtkörperwasser [l]
- R = Resistanz [Ω]
- L = Körpergröße [cm]
- ρ = Konstante

$$V = \rho \cdot L^2 / R$$

Der sogenannte Impedanzquotient L^2/R findet sich in nahezu allen Formeln zur Berechnung des Körperwassers und der fettfreien Masse.

3.2 Das Zwei-Kompartiment-Modell

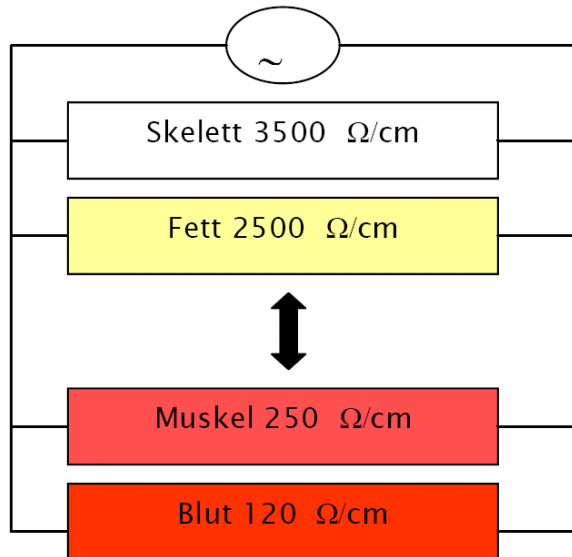
Die Bestimmung des Gesamtkörperwassers ist bis heute die am besten und häufigsten belegte Methode der BIA-Messung. Der Durchbruch gelang der Impedanzmessung jedoch in den 80er Jahren als sogenannte Körperfettmessung. Die Grundlage für die „Körperfettmessung“ mittels BIA bildet die Tatsache, dass der Messstrom bei 50 kHz das Fettgewebe aufgrund dessen hohem spez. Widerstand nicht durchfließt.

Der menschliche Körper als System elektrischer Leiter:

Der Strom durchfließt bei 50 kHz nur das gut durchblutete Gewebe.

Das Körperfett wirkt wie ein Isolator und beeinflusst die Impedanzmessung nur in sehr geringem Umfang.

Das Skelett wird ebensowenig von der Impedanzmessung erfasst und wird pro cm Körpergröße konstant in die fettfreie Masse mit eingerechnet.



Die Bestimmung des Körperfettanteiles ist insbesondere im Bereich der Ernährungsmedizin interessant, denn mit Hilfe der BIA kann die Entwicklung eines Körpers im Rahmen einer Ernährungstherapie nicht mehr nur anhand des relativ unspezifischen Gewichtes, sondern anhand der Einzelbetrachtung in Bezug auf Körperwasser, Fett und Fettfreie Masse erfolgen.

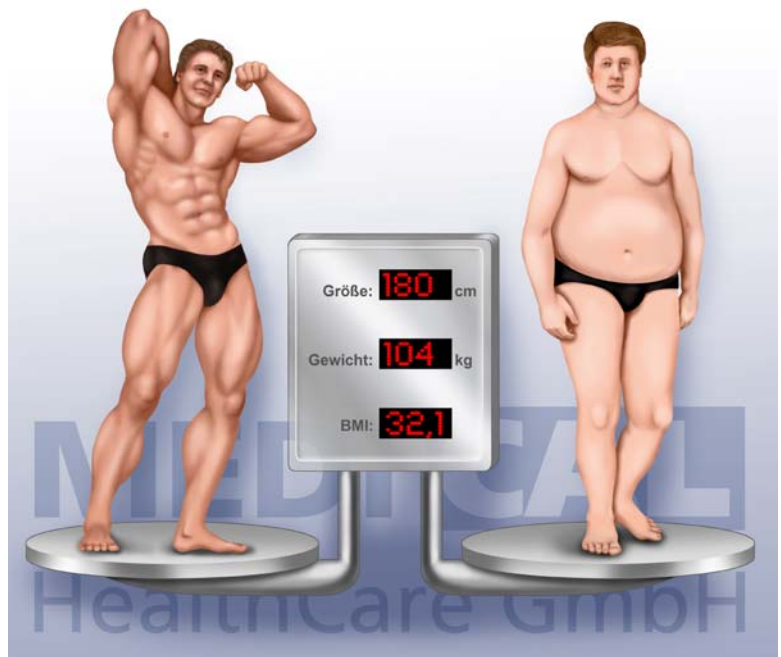
Zwei Körper mit dem selben Gewicht können völlig unterschiedlich aufgebaut sein:

Alleine die Kenntnis einer Veränderung des Gewichtes (oder auch des BMI) ermöglicht keine Aussage über die Ursache der Veränderung.

Ist die Gewichtsänderung Folge einer:

- Körperwasseränderung?
- Körperfettänderung?
- Muskulaturveränderung?

Mit Hilfe der Impedanzmessung kann man diese Fragen schnell und häufig klären. Dies macht die BIA als wichtiges Instrument zur Kontrolle in der Ernährungsmedizin unabdingbar.

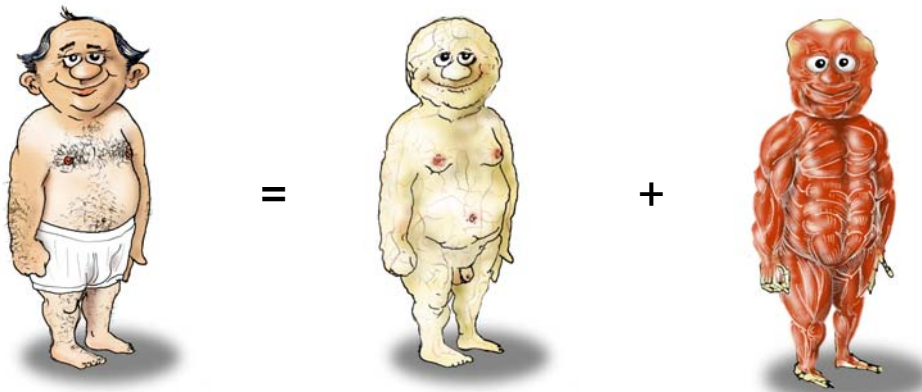
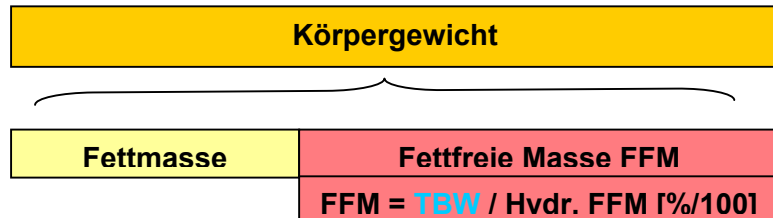


3.3 Die Berechnung der Fettfreien Masse:

Entscheidend für die Auswertung der fettfreien Masse nach dem Nyboer Modell ist die Einhaltung einer konstanten Körperhydratation. Das Modell setzt voraus, dass die Hydratation der fettfreien Masse bei konstant 73,2 % liegt. Zudem wird davon ausgegangen, dass der Wassergehalt der Fettmasse zu vernachlässigen ist:

Setzt man diese Bedingungen voraus erhält man über einen Dreisatz folgende Gleichungen als Grundlage des sogenannten Zwei-Kompartiment-Modelles:

Abb. 6:
Das Zwei-Kompartiment Modell



Gesamtgewicht [kg]

Fettmasse [kg]

Fettfreie Masse [kg]

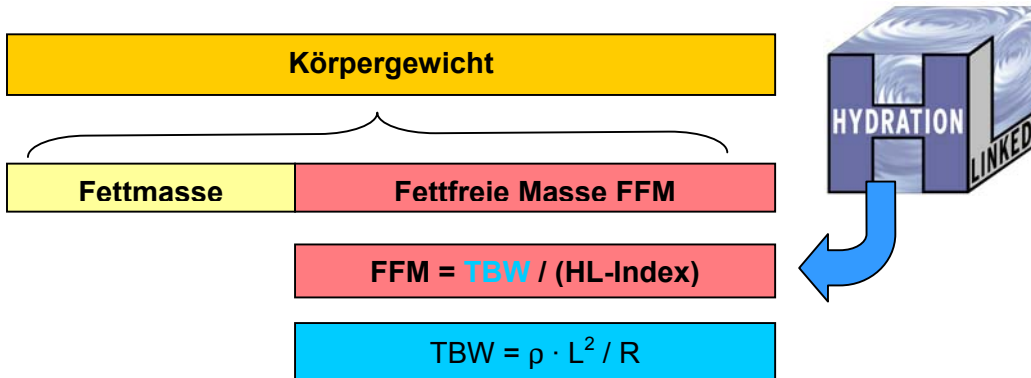
Viele bioelektrischen Messgeräte zur Körperfettbestimmung berechnen die FFM anhand der durchschnittlichen Hydratation der FFM von 73,2%. Dieses Modell hat folgende Anwendungseinschränkungen:

- 1.) In allen Fällen einer **Dehydratation** (z.B. nach dem Training, Laxantiengebrauch, geringer Trinkmenge) ist die Voraussetzung einer konstanten Hydratation von 73,2 % nicht mehr gegeben. Die Ergebnisse werden in Richtung einer zu hohen Fettmasse verschoben.
- 2.) Bei Personen mit krankheitsbedingter **Überwässerung** (wie z.B. Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Ödembildung/Tumore, Mangelernährung, Hormonschwankungen) ist eine Hydratation von 73,2 % in der FFM ebenso wenig gegeben, weshalb obige Gleichungen zu einer Überschätzung der Fettfreien Masse und zur Unterschätzung der Fettmasse führen.

Wichtig: Die Software BodyComp V 8.5 von MEDI CAL nutzt für die Bestimmung der Fettfreien Masse (FFM) ein statistisches Auswertungsmodell, das die Hydratation der Fettfreien Masse durch Korrelation mit einem 4-Kompartiment-Referenzmodell berechnet und darauf basierend die Berechnungen der Fettfreien Masse (FFM) und Fettmasse (FM) durchführt.

BodyComp V 8.5: automatische Berücksichtigung von Wasserschwankungen!!!!

3.4 Das MEDI CAL Hydration-Linked Zwei-Kompartiment-Modell



Die Berechnung bei MEDI CAL folgt im Prinzip dem Nyboer-Modell, das Hydration Linked System (HL) nutzt jedoch die international validierte und unabhängige Berechnung von TBW und FFM über ein 4-Kompartiment-Modell zur Berechnung des aktuellen Hydratationsgrades.

Hierdurch wird die Bestimmung der Fettmasse und der Fettfreien Masse auch bei Personen mit abweichender Hydratation zuverlässiger. Die Auswirkungen der hydrationsgebundenen (Hydration linked) Bestimmung der Fettfreien Masse und der Fettmasse auf das differenziertere Drei-Kompartiment Modell werden nachfolgend erläutert.

3.3 Das Drei-Kompartiment-Modell

3.3.1 Körperzellmasse (BCM) und Extrazellulärmasse (ECM):

Die Körperzellmasse und die Extrazellulärmasse bilden zusammen mit den Knochen die fettfreie Masse.

Die Körperzellmasse (BCM) umfasst alle von einer Membran umhüllten stoffwechselaktiven Zellen des Körpers und stellt energetisch betrachtet das „Kraftwerk“ des Körpers dar. Die **Körperzellmasse** umfasst sowohl die Skelettmuskulatur als auch die Zellen der Organe (Nicht-Muskel-BCM). Das Verhältnis von Skelettmuskulatur zu Nicht-Muskel-BCM beträgt beim Gesunden 3,5 : 1 bis 4:1.

Die Körperzellmasse besteht zu großen Teilen aus Wasser und schwankt mit der Körperhydratation.

Die Extrazellulärmasse (ECM): umfasst den nicht zellulär gebundenen Anteil der Fettfreien Masse und besteht hauptsächlich aus extrazellulärer Flüssigkeit (Plasma, interstitielle Flüssigkeit), den Knochen und aus Bindegewebe. Kurzfristige Veränderungen der Extrazellulären Masse sind in der Regel auf Schwankungen der **Extrazellulären Flüssigkeiten** (ECW) zurückzuführen.

In der Fettfreien Masse läuft der Großteil aller physiologisch wichtigen Prozesse ab, während die Fettmasse dem Körper hauptsächlich als Energiespeicher dient. Aus diesem Grund ist eine Analyse der fettfreien Masse besonders bei kranken Personen von Interesse.

Insbesondere die Hydratationsverteilung in der Fettfreien Masse auf die Intra- bzw. Extrazellulärbereiche (ECW) ermöglicht interessante Schlüsse über den aktuellen Ernährungszustand. Es existiert eine Vielzahl von wissenschaftlichen Studien, die sich auf die Hydratationsverhältnisse im Körper beziehen.

Beispielhaft können folgende Forschungsbereiche für das 3-Kompartiment-Modell angeführt werden:

- 1.) Ernährungstherapie: Kontrolle d. Extrazellulärwassereinlagerungen bei Mangelernährung, Überwachung des Ernährungszustandes
- 2.) Kardiologie: Überwässerung / Ödembildung bei Herzinsuffizienz
- 3.) Nephrologie: Trockengewichtsbestimmung in der Dialyse
- 4.) Geriatrie: Überprüfung von Liegeödemen und Ernährungszustand

Das 3-Kompartiment-Modell unterteilt die Fettfreie Masse in die Unterbereiche Körperzellmasse (BodyCellMass) und in die Extrazelluläre Masse.

Abb.7: Das Drei-Kompartiment-Modell

Fettmasse FM	Fettfreie Masse FFM (FFM = TBW / HL-INDEX)	
Kompartiment 1	Kompartiment 2	Kompartiment 3
	ECM: Extrazelluläre Masse - Extracelluläres Wasser - Knochen, Bindegewebe	ICM = Körperzellmasse Körperzellmasse = BCM
	ECM = FFM - BCM	BCM = FFM · k · PA

Die korrekte Bestimmung der BCM ist für das Drei-Kompartiment-Modell entscheidend, denn die ECM wird durch die Differenzbildung zur Fettfreien Masse errechnet. :

$$ECM = FFM - BCM$$

Abb. 7: Kreisdiagramm des 3-Kompartiment-Modelles:

