

Körperanalysen: Die bioelektrische Impedanzanalyse BIA

Ein Beitrag von
Jörg Tomczak
 EgoFit GmbH
 BIA-Körperanalysen

Körperanalysen werden bislang weder in der deutschen sportwissenschaftlichen noch in der medizinischen Forschung adäquate Bedeutung eingeräumt. In der Praxis zeigt sich dennoch ein großes Interesse an den durch derartige Analysen erhobenen Daten, wie etwa dem Körperfettgehalt oder der Muskelmasse. Die wissenschaftliche Genauigkeit, als Ausdruck der Validität und der Reliabilität dieser Methoden ist den Trainern und Medizinern weitgehend unbekannt. Fundierte Informationen über die Referenzverfahren Hydrometrie, Kalium 40 und Deuteriumoxid und die Praxisverfahren Calipometrie, Infrarot und insbesondere die Bioelektrische Impedanz Analyse, BIA soll dieser Artikel vermitteln. Viele Methoden der Körperzusammensetzung müssen leider unerwähnt bleiben.

Unter Körperanalysen verstehen wir die Messung großer Körperkompartimente, wie etwa dem Körperwasser, dem Körperfett, der Muskelmasse, der Körperzellmasse, um nur einige dieser großen Anteile der Körperzusammensetzung zu benennen. Zunächst möchte ich den Begriff „Body Composition“ einführen, weil die deutsche Übersetzung Körperkomposition noch erstaunlicher Nachfragen bedingen würde, als wir mit Körperzusammensetzung, einer eher unzulänglichen Begrifflichkeit ohnehin schon bewirken. Die komponierte Musik ist mehr als eine Zusammensetzung von Noten und Takten, was sich ohne weiteres noch viel differenzierter über die Genese eines menschlichen Körpers aussagen lässt. Wie wurde er ernährt, wie wurde er beansprucht, wie konnte er regenerieren, wie wurde er gepflegt ... komponiert? In den USA oder auch in England jemanden nach seiner Body Composition zu fragen, wäre (nicht nur nach Knigge) zwar erst ratsam, wenn man sich besser kennt, doch häufig bekäme man Antwort über die fat free mass (FFM, fettfreie Körpermasse) oder sein body fat (BF bzw. FM (fat mass)). Die medizinischen Forschungen haben sich in Deutschland im internationalen Vergleich nur rudimentär mit diesem Schwerpunkt beschäftigt. Im europäischen Ausland, wie in Übersee gibt es viele Gruppen die über diverse Themen der Body Composition arbeiten.

Hierzulande haben kommerzielle Massenprodukte schnellere Marktpräsenz gezeigt, als Analysegeräte bei den medizinischen Fachleuten. Fettwaagen und Handmessgeräte haben zwar dazu beigetragen die Begrifflichkeit einzuführen, doch erkennt selbst der Anwender nach kurzer Zeit, dass es sich um oft ungläubwürdiges Instrumentarium handelt, spätestens dann, wenn körperliche Veränderungsprozesse zu dokumentieren sind. Eine Messmethode bleibt, wie schon seit langer Zeit im ständigen Einsatz: die Personenwaage.

Der Waage wird neben der Bestimmung der Körpermasse eine Aussagekraft über die Wertigkeit dieser Masse impliziert. Das ist falsch! Es gibt weder ein Untergewicht, logischerweise auch kein

Übergewicht und schon gar kein Optimalgewicht. Das Körpergewicht (hier und im weiteren Artikel synonym mit Körpermasse verwendet) zeigt eine Korrelation mit qualitativen Aussageparametern, wie etwa dem Körperfettanteil von 0,5, was bedeutet, dass nur in 25% aller Fälle die Aussage zutreffend ist, dass ein „Übergewichtiger“ auch einen hohen Fettanteil hat. Allein die Bezeichnung Übergewicht ist irreführend, denn welches Gewicht ist „über“ bzw. „unter“ oder auch „normal“? Ein typisches Argument folgt zumeist und soll die „Gewichtskörperanalyse“ untermauern. Man sagt dann, dass man ein Übergewicht in Form von einem zu hohen Fettanteil sehen könne. Zu dieser „visuellen Analyse“ sei gesagt, dass die Verteilung der Fettgewebe im menschlichen Körper sehr differenziert analysiert werden muss. Es kann durchaus sein, dass die Summe der Fettgewebe noch im „Normalbereich“ liegt, obwohl das Unterhautfettgewebe durch Sichtbefund als zu hoch bewertet wird. Das ist dann der Fall, wenn die internen Fettdepots sehr gering ausfallen, was umgekehrt dazu führen kann, dass ausgeprägte interne, zumeist viscerale Fettdepots (Bauchfett) einen Risikofaktor darstellen, auch wenn das Erscheinungsbild eher „mager“ ist. So gibt es eine Vielzahl von Menschen, die Normalgewicht haben oder sogar idealgewichtig sind, die jedoch unter körperanalytischen Gesichtspunkten ein hohes Risikopotential aufweisen. Die Verhältnisse zwischen aktiven und passiven Körperkompartimenten sind dann desolat, was heißt, dass der Fettanteil zu hoch ist und die Körperzellmasse oder deren integraler Bestandteil, die Muskelmasse zu gering ausgebildet ist. Fatalerweise ist ein führendes Schönheitsideal der letzten Jahre dieser Körperstruktur zuzuordnen. Wir nennen ihn trefflich den „Lätta-Typus“: schlank, annähernd kachektisch und quasi muskelfrei – absolut ungesund! Umgekehrt werden gerade Sportler durch die Waage schlecht bewertet, da die Muskelmasse spezifisch schwerer ist als das Fettgewebe. Warum sollten die Menschen gleicher Größe übergewichtig sein, die einen höheren Muskelanteil haben? Wenn unter diesen Bedingungen Gewichtsreduktionen stattfinden, wird wertvolle

Substanz in Form von Körperzellmasse abgebaut. Wenn durch „Diäten“ Gewichtsverluste bewirkt werden sollen, dann muss sich dies unbedingt auf die Fettmasse beziehen!

Referenzmethoden

Weltweit existieren nur wenige Datenquellen über menschliche Ganzkörperanalysen. Dennoch gelten diese wenigen ca. 30 Leichenanalysen als Fundus für vielerlei Ausgangsdaten. Dass sich alle weiteren Körperanalysen auch auf diese Referenzdaten beziehen, impliziert eine Fehlerquelle, die davon abhängige Aussagequalitäten auf diese potentielle Varianz hin reduzieren.

Densitometrie

Was dies bedeutet, kann man am Beispiel der Hydrodensitometrie beschreiben. Diese Dichtebestimmung im Wasser basiert auf Erkenntnissen von Archimedes. Archimedes entdeckte, dass Gold, Silber und weitere Metalllegierungen unterschiedliches Volumen bei gleichem Gewicht zeigen. So verdrängte die „goldene“ Krone, die er für seinen König untersuchen sollte nicht die Menge Wasser, die reines Gold verdrängt hätte. Oder als Gewichtsmessung durchgeführt war eine Krone von gleichem Volumen, wenn man sie ins Wasser hielt nicht so schwer, wie sie hätte sein sollen, womit er seinem König zeigen konnte, dass der Goldschmied nicht die Materialien verwendete, die der König ihm für diesen Zweck gegeben hatte. Die Bestandteile, die in unserem Körper für die Densitometrie berechnet werden können sind die Fettmasse (FM) und die fettfreie Masse (FFM). Aus der Dichtemessung eines Körpers kann nur dann ein plausibles Ergebnis berechnet werden, wenn die Einzeldichten bekannt sind. Aus empirischen Analysen weiß man, dass das Fettgewebe von Säugetieren ein spezifisches Gewicht von $0,9 \text{ g/cm}^3$ hat.

Die Varianz ist so gering, dass sie vernachlässigbar ist. Die fettfreie Masse ist ein chemisch-analytisches Konstrukt. So löst man aus einem Körper mit einem Fettlösungsmittel (z.B. Ether) alles Fett heraus. Übrig bleibt eine fettfreie Phase aus Wasser, Salzen und sonstigen festen Bestandteilen (Eiweiß etc.). Interessanterweise zeigt diese FFM eine Dichte von $1,1 \text{ g/cm}^3$, wobei hier, von vielerlei Faktoren abhängig (Alter, Trainingszustand), höhere Schwankungsbreiten toleriert werden müssen. Dennoch sei bei diesen Zahlen eine Musterrechnung erlaubt: wenn von einem Körper eine Dichte von 1 g/cm^3 gemessen wird, entspricht das einer Body Composition von 50% FM und 50% FFM? Nein, das Restluftvolumen der Lunge und je nach Gasphase im Intertestinaltrakt beeinflussen das Ergebnis sehr stark, sodass während der Densitometrie eine spirometrische Untersuchung des Lungenvolumens stattfinden muss. Das macht diese Methode kompliziert, denn sonst hätte man in Schwimmbädern durchaus eine kostengünstige Körperanalyse installieren können.

Unter methodenkritischer Betrachtung liegt in der Hydrodensitometrie eine Fehlerspanne, da die reale Dichte der FFM nicht bekannt ist, die mit 1,5 bis 2 kg FFM angegeben wird. Dennoch gilt diese Methode als „golden Standard“ für die FFM und Fettbestimmung.

Kalium 40

Die Messung des nativen Kaliums ist eine sehr interessante Analyse für uns Sportler, denn Kalium ist als Resultat eines energetisch sehr aufwendigen Prozesses, der Natrium-Kalium-Pumpen, ein zu 98% intrazelluläres Ion. Die osmotisch bedingten Flüssigkeitsverteilungsmuster lassen damit eine direkte Aussage über die Körperzellmasse zu. Aus den Bestandteilen der Körperzellmasse kann die Muskelmasse berechnet werden. Die Messung wird in Räumen durchgeführt, die durch dicke Bleiwände von weiterer Strahlung abgeschirmt sind. Kalium 40 ist ein Isotop des Kaliums, welches nach präzise vorhersagbaren physikalischen Gesetzmäßigkeiten zerfällt, wobei eine körpereigene radioaktive Strahlung frei wird, die von dafür sensiblen Detektoren abgemessen werden kann. Die Summe der Strahlung entspricht einem genau zu berechnendem Kaliumgehalt, der wiederum einer bestimmten Zellmasse entspricht. Je mehr Kalium gemessen wird, desto höher ist die Muskelmasse. Die Ganzkörperradioaktivitätsmesskammern befinden sich in einigen nuklearmedizinischen Einrichtungen der Universitätskliniken. Die Messungen sind leider sehr aufwendig und die Messapparatur ist sehr aufwendig. Der Messfehler hängt sehr stark von der Erfahrung des Labors ab. Die lange Messphase bzw. Verweildauer im Whole Body Counter hilft den Berechnungsfehler zu reduzieren.

Deuteriumoxid D_2O

Schweres Wasser ist ein Massenisotop des Wassers und verhält sich physiologisch im Körper wie Wasser, was die Verteilung durch Diffusion betrifft. Deuterium ist nicht radioaktiv, sondern kann mittels eines Massenspektrometers von normalem H_2O differenziert werden. Mittels D_2O wird der Ganzkörperwasseranteil gemessen: Eine definierte Menge D_2O wird dem Körper zugeführt. Nach ca. 3 Stunden kann davon ausgegangen werden, dass sich Wasser und damit auch D_2O in allen möglichen Verteilungsräumen gleichmäßig verteilt hat. Egal aus welchem Bereich eine Körperwasserprobe genommen wird, kann aus dem Verhältnis bzw. der Konzentration von D_2O in H_2O das Gesamtkörperwasser berechnet werden. Diese Methode hat den geringsten Fehler, da die quantitative Analyse mittels Massenspektrometer sehr genau ist.

Methoden für die (Sport-) Praxis

Alle bislang dargestellten Verfahren gelten als Referenzmethoden. Bezeichnend für diese Metho-

den ist die hohe Aussagequalität (Validität) und die relativ geringen Abweichungen die in einer hohen Reproduzierbarkeit (Reliabilität) zum Ausdruck kommen. Die Qualität dieser Referenz-Körperanalysen kann u.a. damit erklärt werden dass es Pro-Toto-Methoden sind. Die Aussagequalität ist umso höher je größer die Kompartimente sind, die gemessen werden. Im Gegensatz hierzu stehen Pars-Pro-Toto Methoden, die nur einen Teil des Ganzen (Körpers) messen. Die Aussagen müssen dann verallgemeinert werden und sind dann auf Abschätzungsfaktoren angewiesen. Ein übersichtlicher Methodenvergleich ist von Lukaski publiziert worden.

METHODENVERGLEICH

Methodik	Becken	Technische Schwierigkeit bei Anwendung	Genauigkeit bei 10% BF	Genauigkeit bei 20% BF
Becken				
• Densitometrie	1	1	1	1
• Hydrodensitometrie	1	1	1	1
• Ultraschall	1	1	1	1
• Röntgen	1	1	1	1
• CT	1	1	1	1
• MRT	1	1	1	1
Subscapular				
• Anthropometrie	1	1	1	1
• Hydrodensitometrie	1	1	1	1
• Ultraschall	1	1	1	1
• Densitometrie	1	1	1	1
• Röntgen	1	1	1	1
• CT	1	1	1	1
• MRT	1	1	1	1
Biceps				
• Anthropometrie	1	1	1	1
• Hydrodensitometrie	1	1	1	1
• Ultraschall	1	1	1	1
• Densitometrie	1	1	1	1
• Röntgen	1	1	1	1
• CT	1	1	1	1
• MRT	1	1	1	1
Trizeps				
• Anthropometrie	1	1	1	1
• Hydrodensitometrie	1	1	1	1
• Ultraschall	1	1	1	1
• Densitometrie	1	1	1	1
• Röntgen	1	1	1	1
• CT	1	1	1	1
• MRT	1	1	1	1

Lukaski 1998, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025

Abb. 1:
Methodenvergleich

Calipermessungen

An definierten Hautfalten wird mit nach einer genau einzuhaltenden Prozedur dreimal hintereinander die Schichtendicke des Unterhautfettgewebes abgemessen. Leider wird den Rahmenbedingungen nur selten genüge geleistet. Z.B. muss der Untersucher eine Prüfung seines Könnens bei einem wiederum zertifizierten Mitglieds des Weltverbandes der Anthropometriker ablegen. So kann man leider mangels Vergleichbarkeit von erhobenen Messungen verschiedener Untersucher keine Aussage treffen. Auch an die Caliper (Tastzirkel bzw. Messzangen) wurden nach einem Konsenskongress 1963 genau definierte Anforderungen gestellt, denen kaum ein Caliper, der sich heute im Einsatz befindet genügt. So ist eine Voraussetzung, dass der Anpressdruck über die gesamte Öffnungsbreite konstant ist. Auch die Größe der Auflagefläche ist genau definiert. Denn nicht nur wer Hautfalten gemessen hat, kann sich vorstel-

len, dass es zu unterschiedlichen Ergebnissen kommt, wenn der Caliper leicht die Hautfalte andrückt oder richtig in die Haut kneift. Auch durchaus an wissenschaftlichen Einrichtungen, die Caliper-Fettanalysen publiziert haben, wurden diese notwendigen, standardisierten Rahmenbedingungen nicht eingehalten. Daher verwundert es nicht, dass identische Hautfaltenmessungen in verschiedene Formeln eingetragen zu Ergebnisdifferenzen in der Berechnung der Fettmasse zwischen 10% und 22% Körperfettanteil führen. Ein methodenkritischer Nachteil ist darin zu sehen, dass das Unterhautfettgewebe nicht in hohem Maße mit dem Ganzkörperfettanteil korreliert. Da das Unterhautfettgewebe ein sehr stoffwechsellaktives Fettgewebe ist, sind auch Verlaufsuntersuchungen nur limitiert mittels Calipometrie zu begleiten. Veränderungen, wie etwa bei Gewichtsreduktionen oder durch intensive Training sind nur sehr phasenverschoben erkennbar. Dennoch werden Aussagen über die Calipometrie gemacht, weil sehr viel Datenmaterial vorhanden ist. Statistisch scheint es so zu sein, dass jeweils die Athleten mit sehr geringen Hautfaldendicken sehr gute Ergebnisse bei den Olympischen Spielen erreichen können. Die dennoch starke Verbreitung ist eher auf traditionelle Gründe, als auf hohe Aussagequalitäten zurückzuführen, da bis vor etwa 15 Jahren noch keine alternative Methode zur Verfügung stand. Viele der heutigen Tabellenwerke, auch von Sportlern diverser Sportartengruppen, wurden mittels Calipometrie ermittelt. Hunderte von Studien sind gemacht worden und vielerlei Formeln zur Berechnung des Fettanteils über die Summe bestimmter Hautfalten sind publiziert. Bis heute ist nicht geklärt, welche Hautfalten mit einer besonderen Sicherheit eine Aussage über den Fettanteil geben können. Die Hautfalten, die von der WHO für epidemiologische Studien ausgewählt wurden, scheinen darum eher aus Praktikabilitätsgründen ausgewählt worden zu sein (Bizeps, Trizeps, Subscapular).

Auch die Leichenanalysen brachten hier keine neuen Erkenntnisse, da sich die Kompressibilität des Unterhautfettgewebes mangels Durchblutung änderte. Auch während östrogenen, stark wasserbindenden Phasen (zyklusabhängig) kommt es zu unterschiedlichem Verhalten der Hautfalten.

Infrarotmessungen

sind zwar messtechnisch komplett anders als Hautfaltenmessungen, doch bezieht sich die Kern-Aussage der Infrarotmessung auch unter dem Namen Futrex bekannt, auf eine ähnliche Annahme, wie die Calipometrie und verwendet ebenso die dort bevorzugte Messstelle (Mitte Bizeps). Ebenfalls wird die Schichtendicke des Fettgewebes gemessen, jedoch bei dieser near-infrared-interactance – Messung mittels eines Infrarotlichtimpulses der von verschiedenen Gewebetypen unterschiedlich stark reflektiert bzw. resorbiert wird. Der reflektierte Lichtimpuls wird gemessen und ausgewertet. Diese Methode hat den Vorteil,

gegenüber der Calipermessung, dass sie praktischer im Handling ist. Die wissenschaftliche Akzeptanz ist nicht gegeben. Die bislang publizierten Studien widersprechen sich und große Validitätsstudien, die zur Klärung führen könnten, fehlen. In jedem Fall gilt hier im Extrem die Aussage über Pars-Pro-Toto-Methoden. Es soll über eine Messstelle (Bizeps), sowohl die Fettmasse, als auch die FFM „analysiert“ werden, was immer ein extrem hohes Fehlerpotential bedingt.

Anthropometrische Messungen

Wie etwa Umfangmessungen an Rumpf und Gliedmassen und Breitenmessungen von Gelenken oder sonstigen markanten Körpermerkmalen haben nur wenig Verbreitung gefunden. Angelehnte Verfahren, wie etwa die Messung der Körperfläche vor einem Rasterhintergrund als Bezugsgröße konnten sich in der Praxis nicht etablieren.

BIA

Die bioelektrische Impedanzanalyse basiert auf dem Prinzip der Messung von spezifischen Leitfähigkeiten unterschiedlicher Gewebetypen. Das Fettgewebe isoliert nicht nur gegen Temperaturdifferenzen, sondern stellt gegenüber elektrischen Signalen einen hohen Widerstand dar. Die FFM ist ein guter Leiter.

Insbesondere die physiologischen Flüssigkeiten sowohl als intrazelluläre, wie auch als extrazelluläre Volumen sind gute elektrische Leiter. Die monofrequenten BIA messen mit einem 50 kHz Wechselstromsignal. Bei dieser Frequenz gibt es in menschlichen Körpern ein Maximum in der Phasenverschiebung zwischen dem ohm'schen Widerstandsanteil auch Resistanz (R) genannt und dem kapazitivem Anteil der auch als Reaktanz (X_c), oder Scheinwiderstand bezeichnet wird. Erinnerung man sich an die physikalischen Gesetze aus der Schulzeit, so entspricht die Resistanz einem elektrischen Leiter für Gleichstrom und die Reaktanz stellt die Kapazität für den bei Wechselstrom typischen Kondensatoreffekt dar. Damit ist das Phänomen gemeint, dass bei hohen Frequenzen an sehr dünnen Isolationsgrenzflächen, in diesem Fall den Zellmembranwänden, entsteht. Diese doppelwandigen Membranen sind typische biologische Kondensatoren aus leitenden Eiweißschichten und isolierenden Lipidschichten (Abb. 2). Bildlich gesprochen wird auf der einen Membranseite eine Spannung aufgebaut, deren elektrisches Feld auf die andere Membranseite wirkt und sich dort fortsetzt.

Diese kurzzeitige Verschiebung des Stromes gegenüber der Spannung kann in Form einer Phasenverschiebung messtechnisch erfasst werden, wobei diese Messzyklen in Bruchteilen einer Sekunde ablaufen. Ein stark vereinfachtes Schaltbild des Prinzips der BIA ist in Abb. 3 dargestellt. Der menschliche Körper stellt für die BIA eine Summe von seriellen und parallelen Widerständen dar.

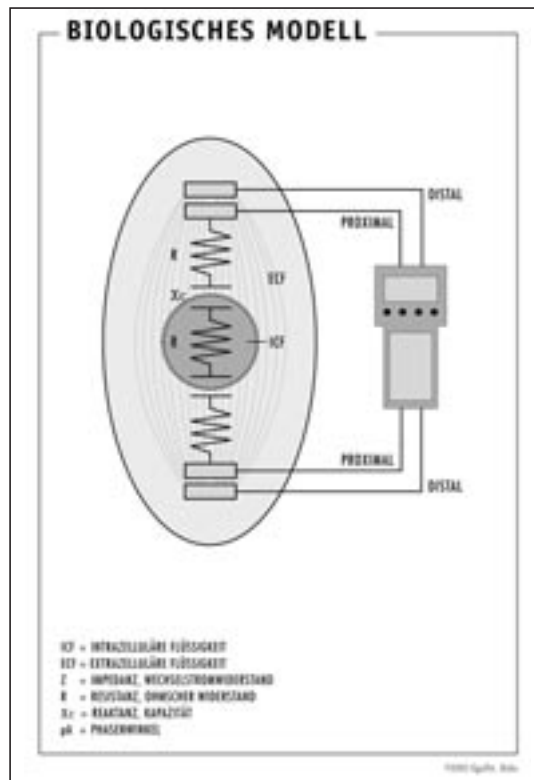


Abb. 2: Biologisches Modell

Die Resistanz zeigt für eine nicht invasive Methode außergewöhnlich hohe Korrelationen mit den Referenzmethoden der Körperwasserbestimmungen. Diese liegen in vielfach reproduzierten Validitätsstudien bei weit über 0.95 mit sehr geringen Standardabweichungen. Praxisbezogene Untersuchungen wurden an der Sporthochschule und in Kooperation mit der DLR und der NASA durch-

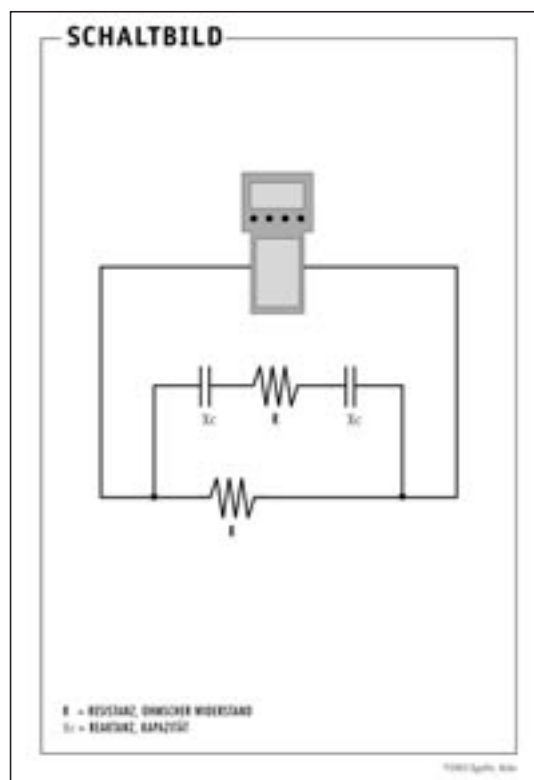


Abb. 3: Schaltbild

geführt. Die Flüssigkeitsveränderungen unter schwerelosen Bedingungen sind eine maßgebliche Wirkung, die zu Stoffwechselveränderungen und katabolen Prozessen während längeren Aufenthalten im Weltall führen. Auch Flüssigkeitsverluste durch extreme sportliche Beanspruchungen können mittels BIA abgemessen werden. Der Einsatz in der kostengünstigen Nachweisvariante von Anabolikaeinnahmen, die ja bekanntermaßen zu starken, jedoch unphysiologischen Wassereinsparungen führen, ist ein interessanter Nebenaspekt. Die regelmäßige BIA-Messung bei Sportarten, die in Gewichtsklassen stattfinden ist sehr bedeutsam für die rechtzeitige Wasserauslagerung um kurz vor den Wettkämpfen nicht unnötig hohe Strapazen einzugehen, die zumeist dazu führen, dass neben den Wasserverlusten auch wichtige Substanz abgebaut wird, was zu einem energetischen Nachteil der Sportler führt und wettkampfentscheidend sein kann (siehe Boxkampf Darius Michalczewski-Derrick Harmon). Im medizinischen Einsatz ist der Körperwasserverlust bei diversen Erkrankungen zu beobachten, insbesondere bei Durchfallerkrankungen (Diarrhöe bei Kindern), ebenso wie die Wasserzunahme, bzw. Ödembildung bei verschiedenen, z.T. schwerwiegenden Erkrankungen, wie Gefäßschäden oder auch Herzinsuffizienzen oder Nierenschädigungen. Die Betreuung von Nierenpatienten ist daher bereits ein Einsatzgebiet der BIA. Die Reaktanz hat den Forscherdrang der letzten Jahre sehr stark beflügelt. Natürlich ist es von sehr großem Interesse, wenn eine nicht-invasive, leicht handelbare Methode Erkenntnisse über die Körperzellmasse (BCM) aufzeigt. Physiologisch ist sie das interessanteste Körperkompartiment,

denn die Body Cell Mass ist definiert als stoffwechselaktives, sauerstoffverbrauchendes, energieumsetzendes Gewebe. Biologisch ausgedrückt ist die BCM der Ort der Lebensprozesse, wobei die Systeme der extrazellulären Volumen (ECM) primär logistische und Versorgungsfunktionen wahrnehmen. Es ist ein Phänomen, dass sich alle Einflüsse auf Lebensprozesse, wie Ernährung, aber auch Energieverbrauch, Medikation, Stress und beliebige Umweltveränderungen bis auf das zelluläre Niveau hin auswirken. Bildlich ist es vielleicht einfacher vorstellbar, wenn man eine junge, besser definiert als biologisch junge Körperzelle mit einer alten Zelle vergleicht, dann erkennt man, dass ältere Zellen Störstellen in den Membranen aufweisen. Diese Membranveränderungen sind für die biologische Kapazität einer Zelle störend. Nur eine optimal von der ECM differenzierte Zelle kann ihre Funktionen optimal ausführen. Störstellen in den Zellmembranen führen messtechnisch zu geringeren Reaktanzen. Im Extremfall, also beim Zelltod gehen die Kapazitäten der BIA-Messung gegen 0. Interessant für uns sind natürlich alle Zwischenstufen. Sowohl unter dem klinischen Aspekt der medizinischen Therapie als auch unter dem trainingssteuerndem Aspekt im Sport kann die Erhaltung bzw. der Anabolismus der BCM als ein dominantes, übergeordnetes Ziel herausgestellt werden. Das kann nicht immer gelingen. Als Beispiel aus der Sportpraxis: ein Fußballteam hat in der Saison als Champions League Gewinner während der Saison einen Verlust der BCM hinnehmen müssen, was identisch ist mit einem geringeren Leistungspotential. Natürlich kann das nicht als einzige Entscheidungskriterium des Trainers gelten, der die Mannschaft daraufhin nur noch schont, doch kommt hier sehr deutlich zum Vorschein, was als ein Defizit im Leistungssport allgemein bekannt ist: ausreichende(!) Regenerationsphasen werden nicht genügend eingehalten.

In der Abb. 4 sind in einem Kreis zwei Dreiecke abgebildet. Die Hypotenuse stellt den Messwert der Impedanz (Z) dar. Die kürzere Seite des Dreiecks ist die Reaktanz (Xc), die längere Seite die Resistanz (R). Das Verhältnis zwischen Resistanz zu Reaktanz definiert den Phasenwinkel (φ) trigonometrisch über den Arcustangens (\arctan). Je größer der φ , desto größer ist der Anteil der BCM an der Körpermasse. Phänomenologisch haben junge, gut ernährte, gesunde Menschen einen hohen φ und kranke, ältere, mangel- oder Fehlernährte einen kleinen φ . So wird es eine spannende Zukunftsperspektive sein, die φ von verschiedenen Personengruppen aber vor allem von verschiedensten Verläufen und Entwicklungen zu dokumentieren. In medizinischen Arbeiten wurde der φ bei schweren Erkrankungen, wie etwa AIDS verfolgt und er weist eindeutig parallelen Verlauf mit dem sonstigen katabolen Geschehen im Patienten auf. Nach dem Zelltod geht der φ gegen Null, weil sich die Zellmembranen auflösen. Wir haben in Grundlagenforschungen das Phänomen der φ genauer betrachtet und konnten feststellen, dass mechanische, destruktive Einwir-

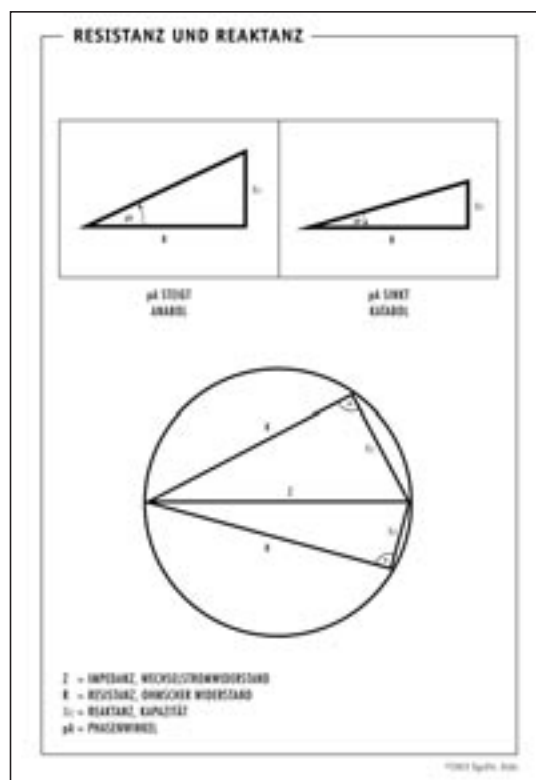


Abb. 4:
Resistenz und
Reaktanz

kung auf Zellen identische Ergebnisse zeigten. So wurde Fleisch mechanisch immer feiner zerkleinert und zeigte mit dem Grad der Zerkleinerung einen immer geringeren pA. An Zelllösungen mit definierter Erythrozytenzahl kann der pA quasi vorhergesagt werden. Eine Konzentrationserhöhung als eine Erhöhung der Erythrozytenanzahl führte zu einem pA-Anstieg, wie auch Veränderungen der osmotischen Eigenschaften der Lösung sofortige, messbare Wirkungen zeigten. Extrem hypotone Lösungen führen zum Platzen der Zellmembranen, wobei sich der pA gegen Null entwickelt. Auch bei BIA-Messungen an Pflanzen, wie etwa Kartoffeln können wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Ist der pA bei einer rohen Kartoffel noch sehr hoch kann die Kartoffel nach dem Kochen mit keinen intakten Zellmembranen mehr dienen und der Phasenwinkel ist entsprechend Null.

Neben den wichtigen Arbeiten der Grundlagenforschung sind für die BIA-Analyse in der Praxis viel einfachere Gesichtspunkte durchaus wesentlich. So führt die fehlerhafte Platzierung der 4 Klebelektroden zu den größten Messabweichungen. Die markanten Stellen der proximalen (inneren, schwarzen) Elektroden ist millimetergenau einzuhalten, was jedoch bereits nach kurzer Einarbeitungsphase möglich ist (Abb. 5). Auch die Konfiguration während der Messung ist genau einzuhalten. So müssen die Körper waagrecht liegend mit leicht abgewinkelten Gliedmassen auf nichtleitender Unterlage ca. 3 Minuten nach Platzierung gemessen werden. Es gibt eine Reihe von Messgeräten, womit diese notwendigen Voraussetzungen nicht einzuhalten sind. Das bekannteste Endkundengerät der Leitfähigkeitsmessung ist eine Waage mit integrierten Metallelektroden. Diese Messung findet von Fuß zu Fuß statt und misst den Widerstand der Beine. Auf die genaue Platzierung der Füße wird keinerlei Wert gelegt. Alleine diese mangelnde Einschränkung zeigt, dass die Widerstandsmessung bei der Analysenauswertung eine untergeordnete Rolle spielen muss, denn sonst hätte die Messperson beim erneuten Wiegen und einer leicht veränderten Fußstellung bereits andere Analysendaten. Das ist nicht der Fall. Mathematisch bedeutet dies, dass der sich im Gerät befindliche Berechnungs-Algorithmus für den Fettanteil sich auf andere Parameter bezieht. Dem ist wohl so, denn allein eine Änderung der Größe und des Gewichtes verändern die Fettanalyse. Das macht das Fettergebnis für den Normalanwender auch plausibel, weil man sich in der Selbsteinschätzung seines Fettanteils primär auf sein Gewicht als Kenngröße bezieht. Das hat nur wenig mit einer Körperfettanalyse zu tun. Ähnlich sind Messgeräte die von Hand-zu-Hand-Messungen anbieten einzuschätzen, wobei hierbei neben dem Fehler durch die unterschiedliche Handhaltung der Fehler für die unterschiedliche Messkonfiguration größer einzuschätzen ist. Alleine eine Messung mit angespannter und entspannter Armmuskulatur müsste zu einem unterschiedlichen Erge-

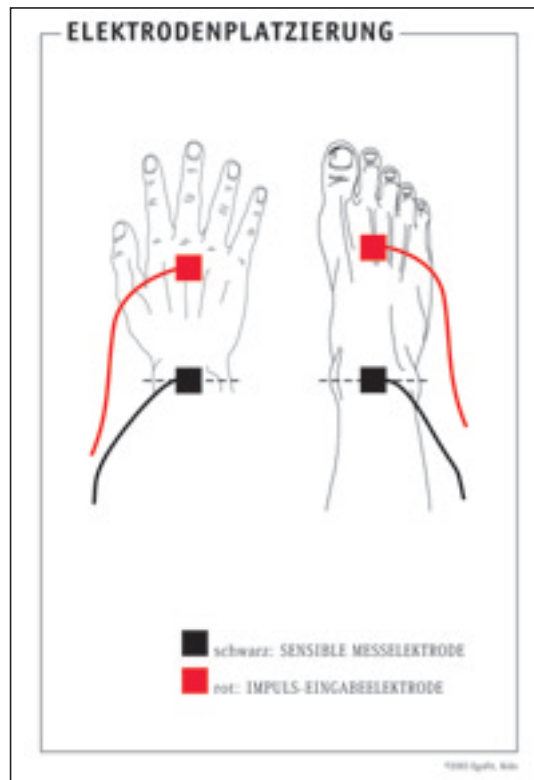


Abb. 5:
Elektrodenplatzierung

bnis führen. Auch dies wäre für ein Endkundengerät zu erklärungsbedürftig und somit sind auch hier die dominanten Parameter der multiplen Regressionsgleichungen in den integrierten Kleincomputern das Gewicht und die Größe. Einige Hersteller versuchen über die Eingabe eines Wertes zum Aktivitätsniveau die statistische Wahrscheinlichkeit zu inkludieren, die darin zu sehen

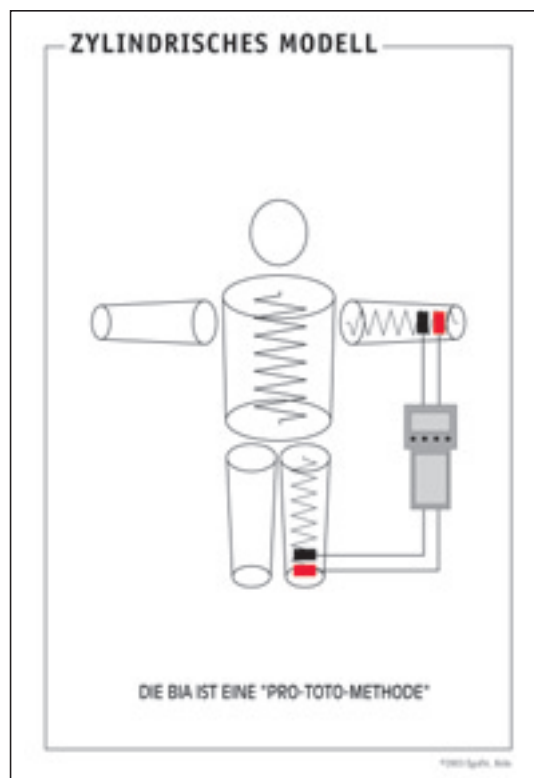


Abb. 6:
Zylindrisches Modell

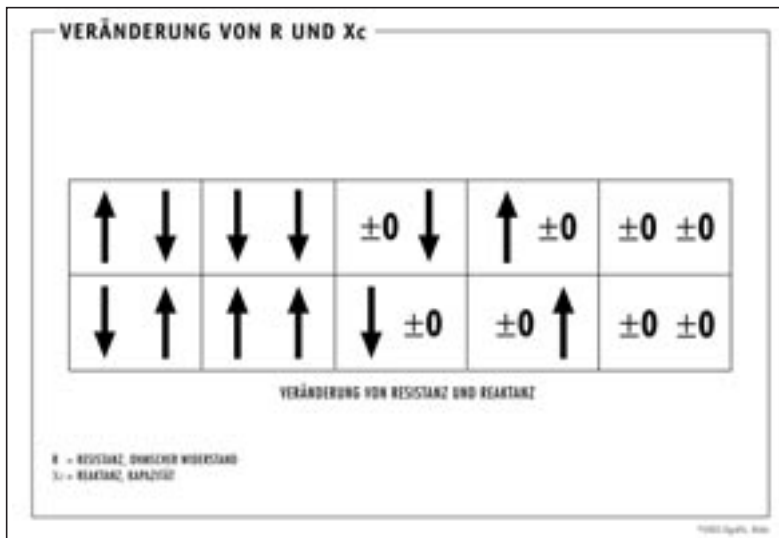


Abb. 7:
Veränderung von
R und Xc

ist, dass ein stark aktiver Mensch einen niedrigeren Fettanteil aufweisen würde – doch was hat das mit einer Messanalyse zu tun?

Bioelektrische Impedanzanalyse ist wie auch die Futrex-Messung im Vergleich zur Calipermessung eine moderne Methode. Der Unterschied zu diesen beiden Methoden ist jedoch der, dass die BIA eine Pro-Toto-Methode ist (Abb. 6).

Die ersten Publikationen über Leitfähigkeitsmessungen zu analytischen Zwecken liegen zwar schon Jahrzehnte zurück, doch die hohe Korrelation zum Gesamtkörperwassergehalt wurde zuerst in den 70er Jahren gefunden. Die ersten Impedanz-Analyse-Geräte wurden erst in den 80er Jahren entwickelt und die Deutsche Sporthochschule gehörte zu den ersten wissenschaftlichen Einrichtungen, die das System austesten konnten. Da die hohe Korrelation zur Bestimmung des Wassergehaltes mittels einer Leitfähigkeitsmessung nachvollziehbar und bereits mehrfach publiziert worden war, wurden zunächst vergleichende Messungen zwischen BIA und Caliper durchgeführt, womit jedoch die Aussagequalität nicht

nachzuweisen war, sondern nur erkannt wurde, dass mit dieser physikalischen Methode eine sehr hohe Reproduzierbarkeit zu erreichen ist. Die vielen vergleichenden Arbeiten zwischen Caliper und BIA erfüllen auch nur den Zweck der Ergebnisabgleichung, denn keines der Verfahren ist als Referenzverfahren anzusehen. Validierungen sind nur mit Referenzverfahren möglich. Die erste Validierungsstudie der BIA, die in Europa durchgeführt wurde, war der Vergleich mit Kalium 40.

Dieses Projekt wurde gemeinsam an der Sporthochschule und der Nuklearmedizin der Uni Köln durchgeführt. Die positiven Ergebnisse gaben Anlass zu weiteren Forschungsaktivitäten. So wurden weitere Validierungen der BIA mit der Hydrodensitometrie unternommen, immer mit vergleichenden Calipermessungen.

Mittlerweile sind über 1000 wissenschaftliche Publikationen über die BIA in den Datenbanken zu finden. Die vielfältigen Studien über verschiedenste Anwendungen können hier nicht zusammengefasst werden. Wohl aber kann resümiert werden, dass sich die Bioelektrische Impedanzanalyse sowohl im klinischen und medizinischen Einsatz weltweit mehr und mehr etabliert sowie dass die BIA im Sport und in der Gesundheitsberatung immer häufiger eingesetzt wird. Aktuell werden trainingsbegleitend BIA-Messungen beim Kader der Kunstturnerinnen durchgeführt. Besonderes Interesse gilt dem Verlauf der Widerstände, vereint dargestellt im pA (Abb. 7). Schwankungen des pA nach unten würden als katabole Entwicklungen interpretiert und in dieser Vorbereitung auf die WM möglichst umgehend kompensiert. Die Erfahrung für die konkrete Empfehlung adäquater Maßnahmen ist noch defizitär.

Doch werden weitere Studien realisiert werden, in denen BIA-Messungen während noch längerer Phasen bei verschiedenen Sportarten erfolgen. Ob sich die BIA neben den bereits etablierten Anwendungen auch zum stetigen Einsatz und in der Trainingssteuerung eignet, wird sich zeigen. Die bisherigen Ergebnisse sind vielversprechend.

Jörg Tomczak, geb. 1958 in Schalke, Studium der Sportwissenschaften an der Deutschen Sporthochschule Köln und der Chemie an der Universität zu Köln. Promotionsstudien und Forschungsprojekte in Physiologie, Biochemie und Sportmedizin an verschiedenen Universitäten. Spezialgebiete: Sporternährung und Körperstrukturanalysen. Trainer und Dozent seit 1988.

info@egofit.de

