

# Der Einsatz der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) in der Beratung und Betreuung von Sportlern

Edburg Edlinger

Die bioelektrische Impedanzanalyse ist heute im klinischen Bereich eine anerkannte, praxistaugliche und nicht invasive Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Mit der BIA ist es möglich, die Muskelmasse, den Wasserhaushalt und indirekt den Körperfettanteil zu bestimmen. Im Leistungssport liefern Testreihen Informationen über Ernährungszustand, Trainingszustand sowie die Regenerationsgeschwindigkeit. Durch Erkenntnisse aus den BIA-Befunden kann das Trainings- und Ernährungsprogramm optimiert und das Leistungspotenzial von Sportlern gesteigert werden (► Abb. 1).

## Warum ist der Einsatz von BIA bei Sportlern vorteilhaft?

- Hobby- und Leistungssportler orientieren sich gerne an messbaren Größen und Erfolgen
- Ernährungsberatung wird interessanter und kompetenter
- Die Beurteilung des Ernährungsstatus allein durch den BMI ist unzulässig! Beispiel: Kraftsportler können einen erhöhten BMI aufweisen, z. B. 26 oder 27, allerdings bedingt durch hohe Muskelmasse. Parallel ist der Fettanteil i. d. R. ideal.
- Trainer können durch Aufschlüsselung der Körperzusammensetzung von unrealistischen Gewichtszielen überzeugt bzw. abgebracht werden. Dies ist insbesondere bei Sportarten ein Problem, wo ein niedrigeres Gewicht (Achtung: nicht niedrigere Muskelmasse!) ein Vorteil ist wie Klettern, Turnen, Skispringen, ...



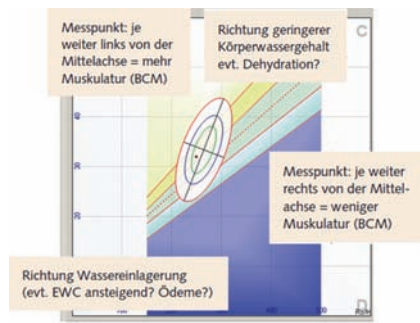
► **Abb. 1** Nicht nur bei Mangelernährung und Übergewicht: Mit BIA können auch Training und Leistung von Sportlern und Athleten optimiert werden. © MediCal Health Care

## Welches BIA-Messgerät ist empfehlenswert?

Empfehlenswerte Geräte sollten als erste Voraussetzung eine medizintechnische Prüfung vorweisen können. Alleine ein CE-Zeichen beweist noch keine medizintechnische Zulassung; nur wenn sich am CE-Zeichen eine kleine vierstellige Prüfnummer der Prüfstelle befindet, ist dies der Beweis für ein zugelassenes Medizingerät. Die meisten klinisch eingesetzten Geräte messen phasensensitiv bei 50 kHz. Für die 50 kHz Messfrequenz gibt es die meisten Studien und sehr viel Erfahrung. Ein BIA-Messgerät sollte also mindestens bei 50 kHz zuverlässig den Phasenwinkel messen können.

In den letzten Jahren hat sich zusätzlich zur phasensensitiven Messung die segmentale Messtechnik etabliert. Bei

segmentalen Messgeräten erhält man die BIA-Messdaten nochmals getrennt für Beine und Arme. Ich persönlich bevorzuge und arbeite mit dem BIACORPUS RX 4000 von MediCal Health Care GmbH ([www.medi-cal.de](http://www.medi-cal.de)), weil es sowohl phasensensitiv als auch segmental ohne ein zusätzliches, externes Schaltgerät messen kann. Auf allen 4 Kanälen misst das Gerät bei 50 kHz Wechselstromfrequenz den resistiven Widerstand  $R_z$ , den kapazitiven Widerstand  $X_c$  und den Phasenwinkel  $PA$  mit hoher Präzision. Vier Kabeleingänge ermöglichen das gleichzeitige Messen von Ganzkörper, Rumpf, Armen und Beinen. Durch die voll-digitale Messtechnik gibt es zwischen den BIACORPUS RX 4000 Messgeräten nur sehr geringe Messabweichungen im Bereich von weniger als einem Ohm.



► **Abb. 2** Das Nomogramm ist die grafische Darstellung einer BIA-Messung.  
© MediCal Health Care

## Welche Informationen liefern BIA-Testreihen?

### Körperzellmasse BCM

Die Körperzellmasse beinhaltet alle stoffwechselaktiven Zellen (Organ- und Skelettmuskulatur, Zellen des Blut-, Drüsen- und Nervensystems). Mit diesem Parameter ist eine genaue Bestimmung des Grundumsatzes (Energieverbrauch in Ruhe) und eine Beurteilung des Ernährungszustandes möglich. Die Höhe der BCM wird beeinflusst durch:

- genetische Faktoren (Konstitutionstyp)
- Lebensalter
- Trainingszustand bzw. Sportart

Jugendliche mit starker körperlicher Aktivität (z.B. Leistungssportler) trainieren ihre Muskulatur in der Reifungsphase des Organismus. Häufig findet man bei diesen Personen zeitlebens einen höheren BCM-Anteil (persistierende Hypertrophie der Muskelzellen). Durch regelmäßiges Messen der BCM bekommen wir Informationen über:

- Trainingszustand und Regenerationsgeschwindigkeit
- Entwicklung der Glykogenspeicher

### Was sind Ursachen für eine Veränderung der BCM?

Die BCM steigt einerseits durch eine Zunahme an Skelettmuskelmasse (alle anderen Bestandteile der BCM wie Organmuskulatur, Zellen des Blut-, Drüsen- und Nervensystems bleiben konstant). Muskelaufbau erfolgt durch regelmäßigen Trainingsreiz – idealerweise kombiniert mit gut aufeinander abgestimmten Ernährungsreizen (Zufuhr von Kohlenhydraten, Proteinen).

Die BCM erhöht und erniedrigt sich aber auch parallel mit dem Glykogenstatus. Glykogen bewirkt eine höhere intrazelluläre Wassereinlagerung, 1 g Glykogen bindet ca. 2,7 Mal so viel Wasser. So weisen Sportler z.B. nach einer Belastung mit hohem Kohlenhydratverbrauch eine niedrigere BCM auf. Diese steigt dann je nach Trainingszustand, Regenerationsgeschwindigkeit und Carboloading wieder innerhalb von Stunden bis Tagen. Durch Sport kommt es außerdem zur Erhöhung des Kapillardrucks und der Kapillarfläche und zur Filtration von Intrazellulärwasser ins Interstitium (ECW).

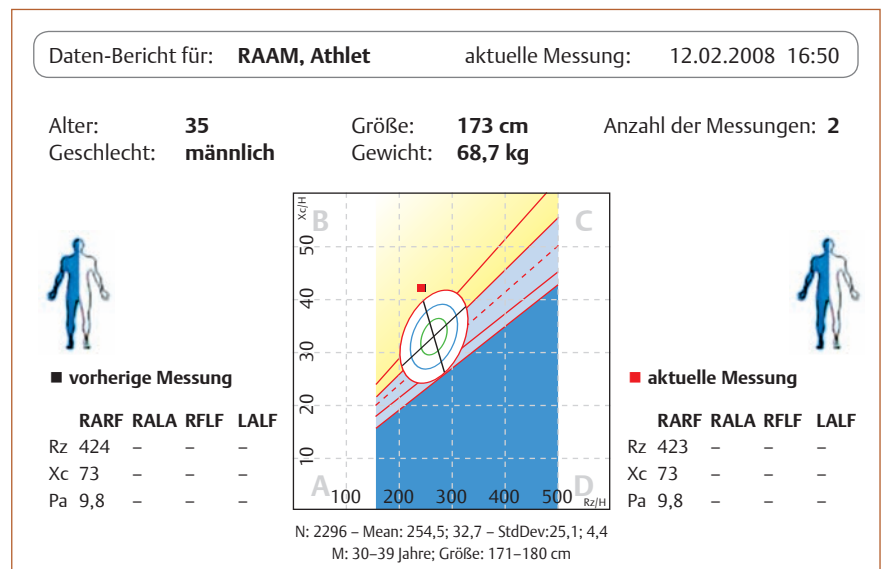
Bei der angestrebten Superkompensation kommt es zum Vergrößern der Glykogenspeicher intramuskulär und zum Anstieg der Körperzellmasse. Das Kohlenhydratloading und Erhöhen der muskulären Glykogenspeicher führt zur Gewichtszunahme, was bei Sportdisziplinen mit Einteilung in Gewichtsklassen (Kampfsport, Kraftsport) berücksichtigt werden muss. Die Glykogendepots von Untrainierten betragen ca. 300–400 g, während bei Hochleistungssportlern ohne weiteres 900 g erreicht werden können. Prinzipiell gilt: Je höher die Muskelmasse, desto mehr Glykogen kann eingelagert werden und umso größere BCM-Schwankungen können nach längeren und Kohlenhydrat raubenden Belastungen entstehen.

Nicht zuletzt beeinflussen alle Faktoren die BCM, die wiederum die Hydratation beeinflussen: Ein Flüssigkeitsverlust durch Schwitzen, Sauna, Alkohol kann bei schlechtem Hydratationsstatus auch zum intrazellulären Flüssigkeitsverlust führen.

Durch regelmäßigen Sport bekommen wir eine stärkere Definition unserer Muskulatur, ein festeres Gewebe – ein Effekt, den wir einerseits selbst am Körper sehen und spüren, aber auch am BIA-Befund ablesen können. Wir sind „aufgepumpt“, die Flüssigkeit ist verstärkt intrazellulär, am Ort des Stoffwechsels geschehen.

## Wasserhaushalt

Das Gesamtkörperwasser allein ist für die Interpretation des Wasserhaushaltes nur wenig aussagekräftig, während hingegen die Wasserverteilung sehr interessant ist. Intrazellulärwasser (ICW) ist die Flüssigkeit in der Körperzellmasse. Unter dem Extrazellulärwasser (ECW) versteht man die Flüssigkeit von Blut, Lymphen und Interstitium. Bei Sportlern ist der Anteil an ECW relativ niedrig, oft unterhalb der angegebenen Normbereiche. Grund ist, dass die BCM bei Trainierten höher ist und sich viel Flüssigkeit in den gesunden, prall gefüllten Zellen befindet. Ist das Extrazellulärwasser prozentual zu hoch, gibt es mehrere Ursachen:



► **Abb. 3** Daten eines Ultraausdauerathleten vor und nach einem 7-stündigen Training.  
© Edburg Edlinger

## Fehlerquellen

Messbedingungen müssen reproduzierbar sein!

- Patient muss mindestens 5 min oder länger in der Horizontalen liegen, um eine gleichmäßige Verteilung der Körperflüssigkeiten zu erzielen
- präzise Elektrodenpositionierung: 2 mm Versatz können Rz um ca. 2–3 Ohm verändern!
- ungültige Messergebnisse bei Fieber
- sehr kalte Hände (im Winter) können die Messergebnisse verfälschen: Hände reiben!
- Wenn der Patient nicht vollständig bekleidet ist, müssen Arme und Beine getrennt voneinander liegen oder isoliert sein.

- Nährstoffmangel (Protein und/oder Kohlenhydrate)
- Alkohol
- hormonelle Gründe wie prämenstruelles Syndrom
- Verzögerte od. noch nicht abgeschlossene Regeneration, Schlafmangel, Overtraining
- Zustand nach intensiver Belastung durch Abbau von Glykogendepots (Glykogen bindet 2,7 Mal so viel Wasser)
- Blutinfusionen (Blut ist Bestandteil des Extrazellulärwassers)
- Medikamente (Cortison, Insulin, Hormone, Psychopharmaka, ...)
- Ödeme durch andere Ursachen (Erkrankungen von Nieren, Herz, ...)
- Elektrolyt-Dysbalance: zu hohe Natriumzufuhr (Kochsalztabletten!...); erhöhte Kaliumausscheidung (Laxantien, Erbrechen, ...)

Gerade bei reisenden Sportlern muss auch berücksichtigt werden, dass es bei langen Flugreisen usw. zur Ödemneigung insbesondere in den Beinen kommen kann, was über die BIA deutlich sichtbar wird.

Bitte klären Sie insbesondere bei Erhöhung des ECWs eine ausreichende Proteinzufuhr bei Ihren Sportlern ab! Extremsportler neigen häufig auch zu

Balken-Verlauf für: **RAAM, Athlet**      aktuelle Messung: 12.02.2008 16:50

Alter: 35      Größe: 173 cm      Geschlecht: männlich      Anzahl der Messungen: 2



|              | 12.02.08 | 12.02.08 |
|--------------|----------|----------|
| Datum:       | 12.02.08 | 12.02.08 |
| Rz/Xd [Ohm]: | 424/73   | 423/73   |
| PA [*]:      | 9,8      | 9,8      |
| BMI:         | 23,1     | 23,0     |
| ICW [l]:     | 30,7     | 30,7     |

Gewicht in kg:

Minimum / Maximum  
**67,2 kg / 75,2 kg**

Zielgewicht  
**68,7 kg**



Aktive Körperzellmasse (BCM) in kg:

Normal  
**31,4 kg**

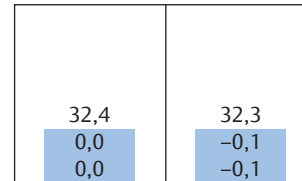
Minimum  
**22,6 kg**



Extracelluläres Wasser (ECW) in %:

Maximum  
**48,0 kg**

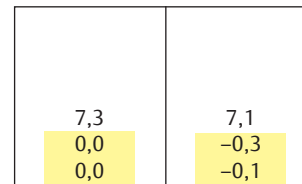
Minimum  
**39,0 kg**



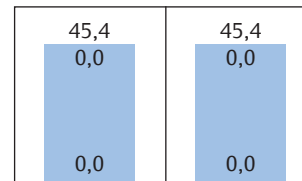
Fettmasse (FM) in kg:

Normal  
**18,0 kg**

Minimum  
**9,0 kg**



Körperwasser (TBW) in l:



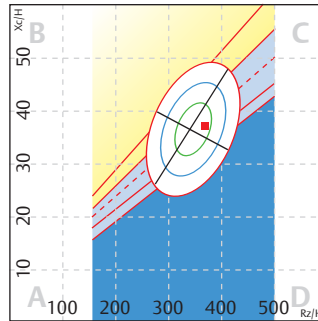
► **Abb. 4** Daten des Ultraausdauerathleten vor und nach dem 7h-Training im Balkendiagramm-Vergleich. © Edburg Edlinger

Messprotokoll für: **Sportlerin, Eiweißmangel** aktuelle Messung: 18.07.2009 08:41

■ aktuelle Messung (7): **18.07.2009 08:41**

Rz/H [Ohm/m] **363,1**  
Xc/H [Ohm/m] **37,5**

Alter: **25**  
Geschlecht: **weiblich**  
Größe: **168 cm**  
Gewicht: **55,8 kg**  
Body Mass Index (BMI): **19,8 kg/m<sup>2</sup>**  
Grundumsatz (BMR): **1385 kcal**



| Impedanzwerte: | RARF | RALA | RFLF | LALF |
|----------------|------|------|------|------|
| RZ             | 610  | 634  | 530  | 605  |
| Xc             | 63   | 61   | 65   | 70   |
| Pa             | 5,9  | 5,5  | 7,0  | 6,6  |

Drei-Kompartiment-Modell:

**Aktuelle Körperzusammensetzung**

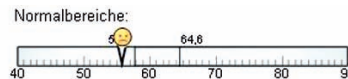


- Fettmasse: 11,8 kg (21,1%)  
Normalbereich: 11,6–16,8 kg
- Fettfreie Masse (FFM): 44,0 kg
- BCM: 22,2 kg  
Normalbereich: 18,9–26,4 kg
- ECM: 21,7 kg  
ECM/BCM-Verhältnis: 0,98

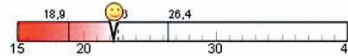


Auswertungsergebnisse:

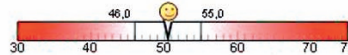
Körpergewicht: **55,8 kg**



Körperzellmasse (BCM): **22,2 kg**



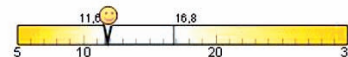
Fettfreie Masse (FFM) Zellanteil: **44,0 kg**  
**50,6%**



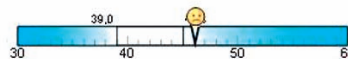
Wasser-Balance: **-17,7**



Fettmasse: **11,8 kg**



% ECW vom TBW Körperwasser (TBW): **46,2%**  
**30,7 l**



extremen Essverhaltensmustern mit einer großen Gefahr für eine Fehl- oder Mangelernährung. Dem gegenüber steht in vielen Fällen ein deutlich erhöhter Bedarf (Eiweiß und Kohlenhydrate).

**Infos auf einen Blick: das Nomogramm**

Anhand der Lokalisation des Messpunktes im grafischen Modell Nomogramm erhalten wir auf einen Blick eine Information über den Hydratationsstatus und die Höhe an Körperzellmasse. Hier werden nichts anderes als die Rohdaten Resistanz und Reaktanz dividiert durch die Körpergröße in einer bivariaten Normalverteilungsellipse dargestellt. Resultat: Messpunkt links der Achse bedeutet ausgeprägte Muskulatur. Rechts davon liegen Probanden mit niedrigerer Muskulatur. Der Messpunkt oben, in der Mitte oder unten gibt uns Aufschluss über den Hydratationsstatus: Liegt der Messpunkt weit oben, ist die Testperson dehydriert, in der Mitte finden wir den normalen Wasserhaushalt und unterhalb der horizontalen Linie sind überwässerte Probanden (► Abb. 2).

**Körperfettanteil**

Bei Sportlern ist ein niedriger Fettanteil von Vorteil. Zu viel Körperfett und damit ein zu hohes Gewicht reduziert die Ausdauerleistung bzw. die maximale Sauerstoffaufnahme. Aus der regelmäßigen Kontrolle des Fettanteils kann man auf die Energiebilanz von Sportlern schließen. Bei der BIA wird der Fettanteil aus der Differenz zwischen fettfreier Masse und Gewicht berechnet. Der Fettanteil kann im Verlauf nur dann optimal verglichen werden, wenn möglichst immer dieselben Ausgangsbedingungen herrschen, wie z.B. die gleiche Tageszeit. Unbedingt ist auf eine stets gleiche Elektrodenposition zu achten (► Info 1).

Bei einem BIA-Tagesprofil von Sportlern ist bei Wasserveränderungen mit Schwankungen bei der Körperfettbestimmung zu rechnen. Mehrmalige BIA-Messungen innerhalb eines Tages sind aber ohnedies nur sinnvoll, um die Entwicklung der BCM und des Wasserhaushaltes zu verfolgen.

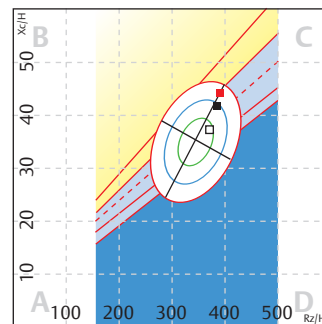
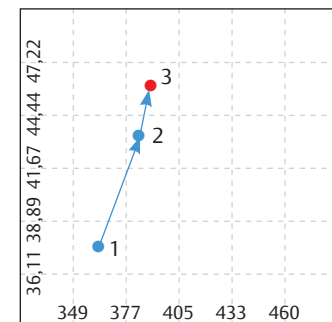
► **Abb. 5** Messprotokoll einer Hobbysportlerin mit Befund Eiweißmangel. © Edburg Edlinger

Nomogramm-Verlauf für: **Sportlerin, Eiweißmangel**

aktuelle Messung: 11.08.2009 08:05

Alter: **25** Größe: **168 cm**  
Geschlecht: **weiblich** Gewicht: **54,4 kg**Anzahl der Messungen: **3**

|          |    | RARF | RALA | RFLF | LALF |
|----------|----|------|------|------|------|
| <b>1</b> | Rz | 610  | 634  | 530  | 605  |
|          | Xc | 63   | 61   | 65   | 70   |
|          | Pa | 5,9  | 5,5  | 7,0  | 6,6  |
| <b>2</b> | Rz | 641  | 685  | 557  | 652  |
|          | Xc | 73   | 65   | 74   | 77   |
|          | Pa | 6,5  | 5,4  | 7,6  | 6,7  |
| <b>3</b> | Rz | 648  | 670  | 572  | 651  |
|          | Xc | 77   | 68   | 77   | 78   |
|          | Pa | 6,8  | 5,8  | 7,7  | 6,8  |

**Zielnomogramm**N: 3129 – Mean: 336,9; 36,6 – StdDev: 30,3; 4,7  
W: 20–29 Jahre; Größe: 160–170 cm**Persönliche Ellipse (ERDE) aus mindestens 4 Messwerten**► **Abb. 6** Verlauf des Eiweißmangels nach Beratung nach 11 und 24 Tagen. © Edburg Edlinger**Fallbeispiel 1**

In den ► **Abbildungen 3** und **4** sehen Sie einen Ultraausdauerathleten, welcher zweimal am RAAM teilgenommen hat (Race across America – Radrennen, Distanz: 4862 km und 42062 Höhenmeter in 10 Tagen). Im Nomogramm (► **Abb. 3**) sieht man, dass die Messpunkte beider Messungen praktisch übereinander liegen. Die Messpunkte liegen links außerhalb des Nomogramms und weit oben, man erkennt also sofort eine sehr hohe Muskulatur und sehr trockene Verhältnisse für diese hohe Körperzellmasse.

Auf den ersten Blick scheint es, als wäre der Proband zweimal hintereinander gemessen worden. Tatsächlich absolvierte der Sportler in der Zwischenzeit sein 7-stündiges Ausdauertraining am Ergometer. Er nahm in diesem Zeitraum zu sich: 2 Liter Elektrolytgetränk, ½ l Trinkwasser und nach 3 Stunden ein Vollkornbrötchen mit Schinken. Ergebnis: Der Sportler hatte nach dem Training exakt denselben Flüssigkeitsstatus wie morgens vor dem Training, also für die spätere Tageszeit zu dehydriert. Die völlig gleich gebliebene BCM zeigt uns, dass der Sportler absolut keine Glykogenvorräte dabei verbraucht hat und in einem für ihn sehr regenerativen aeroben Trainingsbereich war. In ► **Abb. 4** ist die Entwicklung als Balkenverlauf dargestellt.

**Fallbeispiel 2**

Im folgenden Befund (► **Abb. 5**) sehen Sie eine Hobbysportlerin (56 kg) mit Proteinmangel. Anstatt empfohlener 60–70 g Protein pro Tag (= 1–1,2 g/kg KG) erreicht sie durchschnittlich nur ca. 30–40 g täglich. Die Folgen sind in der BIA oft früher sichtbar, bevor es zu Veränderungen im Blutbild kommt: Die BCM ist niedrig und das Extrazellulärwasser ist erhöht. Trainiert die Sportlerin weiter im gewohnten Pensum von 10 h pro Woche und nimmt zu wenig Proteine zu sich, fördert sie den Abbau von Muskulatur. Die Werte würden sich weiter verschlechtern, die Leistungsfähigkeit abnehmen und das Infektrisiko steigen. Es folgt eine Ernährungsberatung.

► **Abb. 6** zeigt ihre weitere Entwicklung nach 11 und 24 Tagen. Im Nomogramm wandert die Probandin mit dem Messpunkt nach links (Muskelaufbau) und nach oben (Wasserverlust). Die Körperzellmasse steigt von 22,2 auf 23,9 kg und das Extrazellulärwasser reduziert sich von 14,2 auf 12,4 Liter. In ► **Abb. 7** sieht man den Verlauf anschaulich im Balkendiagramm. Das ECW sinkt von 46,2 auf 42,3% in den Normbereich als Ausdruck der verbesserten Eiweißversorgung.

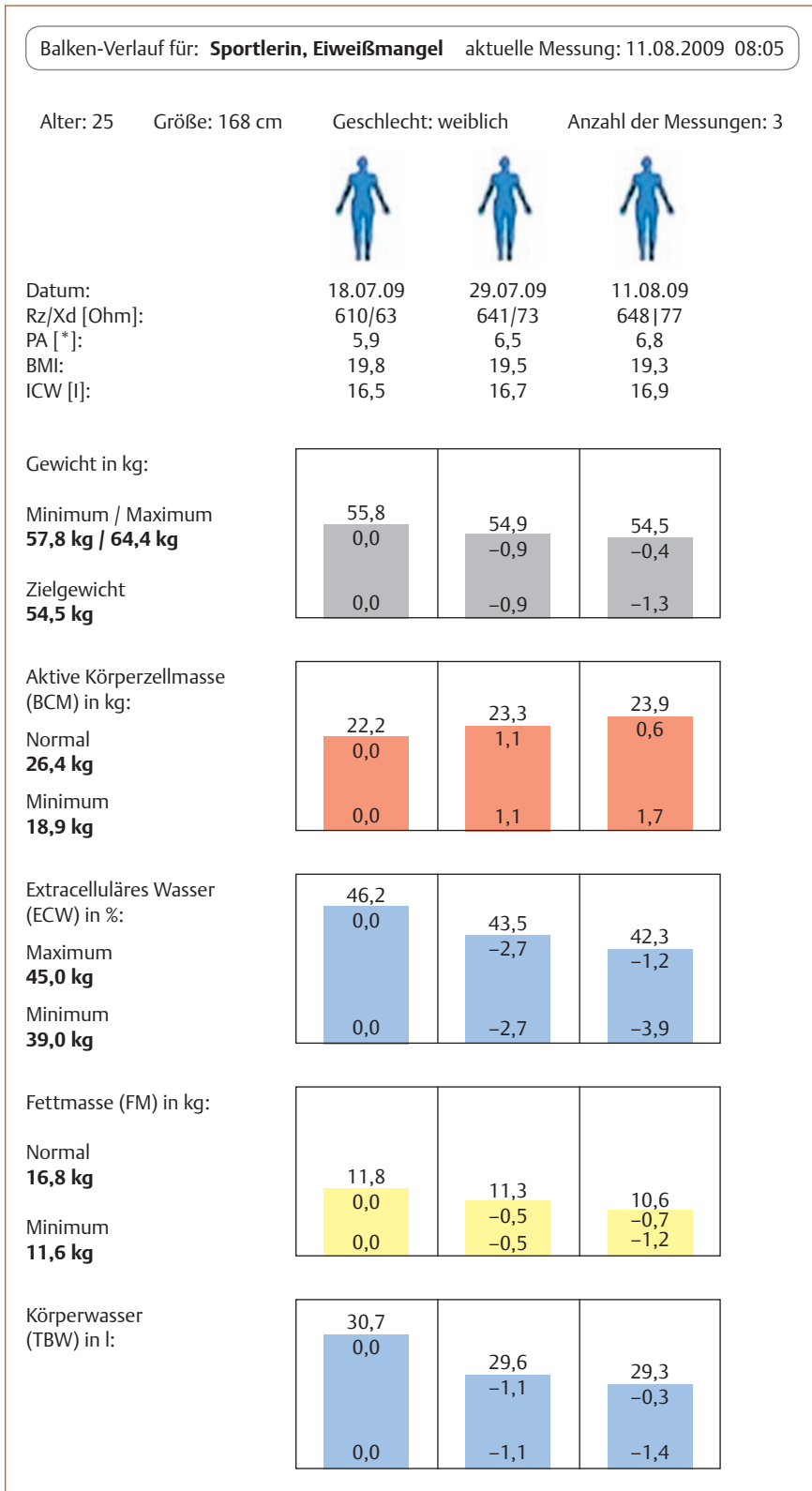
**Edburg Edlinger**  
Dietologin  
St. Gotthard-Str. 42  
A-8046 Graz

Edburg Edlinger ist selbstständige Dietologin, Referentin & BIA-Expertin seit 1999 mit Beratungspraxen in Graz, Wien und Innsbruck.  
Mehr unter [www.diaetologin.eu](http://www.diaetologin.eu)

office@diaetologin.eu

**Online**<http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-1298082>**Literatur**

- Häussinger D, Schliess F, Warskulat U, vom Dahl S. Liver cell hydration. *Cell Biol Toxicol* 1997; 13: 275–287
- Häussinger D. Regulation of cell function by level of hydration. *Naturwissenschaften* 1996; 83: 264–271
- Häussinger D. Zellhydration als wichtige Determinante des Proteinkatabolismus. *Akt Ernährungsmedizin* 1996; 21: 131–135
- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD et al. Bioelectrical impedance analysis – part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 2004; 23: 1226–1243



- 5 Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD et al. Bioelectrical impedance analysis – part II: utilization in clinical practice. Clin Nutr 2004; 23: 1430–1453
- 6 Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Bucciante G. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. Kidney Int 1994; 46: 534–539
- 7 Schliess F, Häussinger D. The cellular hydration state: a critical determinant for cell death and survival. Biol Chem 2002; 383: 577–583
- 8 Sergi G, Bussoletto M, Perini P et al. Accuracy of bioelectrical impedance analysis in estimation of extracellular space in healthy subjects and in fluid retention states. Nutr Metab 1994; 38: 158–165
- 9 Sun SS, Chumlea WC, Steven B Heymsfield SB et al. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. Am J Clin Nutr 2003; 77: 331–340
- 10 Van Loan MD. Bioelectrical impedance analysis to determine fat-free mass, total body water and body fat. Sports Medicine 1990; 10: 205–217
- 11 vom Dahl S, Schliess F, Häussinger D. Significance of cellular hydration for cellular function. Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 1999; 34: 769–773

► Abb. 7 Verlaufsdarstellung im Balkendiagramm. © Edburg Edlinger