

Energiehaushalt und Temperaturregulation

A. Körperzusammensetzung und Energiehaushalt

H.E.Koralewski

1. Anthropometrie

Das Erscheinungsbild eines Individuums wird durch die Bestimmung seiner biometrischen Maße objektiviert. Anhand einfach zu erhebender Messgrößen kann z.B. der **Phänotyp** eines Menschen eindeutig beschrieben werden (1). Andererseits ist aus der **Körperform** auch auf den **Ernährungszustand** zu schließen.

Unter **BIOMETRIE** versteht man ganz allgemein die Wissenschaft von der Theorie und Anwendung mathematischer Methoden (so auch Messmethoden) in Biologie und Medizin. Wenn man sich auf die Vermessung und Typisierung des Menschen beschränkt, so spricht man von **ANTHROPOMETRIE**.

Anthropometrische Messungen finden heute zunehmende Bedeutung in der **Ernährungsphysiologie**. Das Ernährungsverhalten eines Menschen und der damit verbundene Ernährungszustand manifestiert sich in seiner Körpergestalt. Weitere, die Körperform mitbestimmende Faktoren sind Alter und Geschlecht sowie der Trainingszustand eines Menschen. Hinzu kommen genetische Faktoren, die u.a. den Körperbautyp vorgeben und/oder den Energiehaushalt beeinflussen.

Durch die ästhetischen Normvorgaben der Gesellschaft wird die „ideale Körperform“ vorgegeben. Sie ist durch Werbung und Medien geprägt. Individuelle Abweichungen von dieser „Norm“ können das Selbstwertgefühl des Einzelnen beeinträchtigen und so zu Fehlernährung und Ernährungsstörungen (Bulimie, Anorexie) führen.

Durch Körpergröße, Gewicht und einige Umfangmaße lässt sich die Gestalt eines Menschen gut beschreiben. Alter und Geschlecht geben weitere Hinweise. Im einfachsten Fall benötigt man dazu eine Körperwaage und ein Maßband. Damit lassen sich der Körperbautyp sowie einige Indices wie der Körpermassenindex (BMI) und das Taillen/Hüftumfangsverhältnis (W/H-Ratio) bestimmen. Mit einem Messzirkel kann aus den Maßen von Brustbreite und Brusttiefe der Metrik-Index errechnet werden, der in Verbindung mit Körperhöhe, Alter und Geschlecht eine objektive Typisierung des Individuums erlaubt (s.unten). Hier gibt es z.B. große ethnische Unterschiede.

1.1 Körpergewicht (KGW)

Die Bestimmung des Körpergewichts (KGW), (engl. body weight (W)), wird korrekter Weise morgens, unbedeutet, nüchtern und nach dem Wasserlassen bestimmt. So gemessen, erhält man das sogenannte **Realgewicht**. Es ist die Bezugsgröße für viele physiologische Messwerte, z.B. werden Blutvolumen oder Sauerstoffaufnahme des Menschen in ml/kg KGW angegeben. Die Dosierung von Medikamenten wird in Menge/kg KGW vorgenommen (Kinder, Erwachsene). Angaben über die Energieaufnahme und den Verbrauch orientieren sich am Realgewicht der Person. (Genauer: man normiert auf die Körperoberfläche, die aber über Realgewicht und Körpergröße berechnet wird).

Neben dem Realgewicht kann man Begriffe wie Normalgewicht, Idealgewicht, Unter- und Übergewicht verwenden. Hierbei handelt es sich um kriterienorientierte Gewichtsangaben.

Normalgewicht:

Das durchschnittliche Gewicht, ermittelt an zahlreichen Personen (N=10000) einer bestimmten Bevölkerungsgruppe standardisiert nach Alter, Geschlecht und Konstitution.

Als Normalgewicht kann auch das Gewicht eines Individuums angesehen werden, das dieses über Jahre oder Jahrzehnte beibehält und dabei gesund und leistungsfähig ist (operative Definition). Eine einfache Formel zur Bestimmung des Normalgewichts wurde bereits vor über 100 Jahren von Broca vorgeschlagen. Dabei errechnet sich das Normalgewicht in kg aus der Körperhöhe in cm minus 100.

Idealgewicht:

Körpergewicht mit der längsten Lebenserwartung (also wünschenswertes bzw. günstiges KGW). Es liegt 10% (m) bzw. 15% (f) unter dem Normalgewicht. Dieser Begriff wird in der Medizin heute nicht mehr verwendet!

1. (Der Personalausweis, der die Identität einer Person bescheinigen soll enthält neben Angaben über Name, Geschlecht, Alter und Augenfarbe auch die Körpergröße. Weitere biometrische Daten wie z.B. der Fingerabdruck sind aktuell im Gespräch.)

Untergewicht:

Ein im Vergleich zur Normalbevölkerung zu geringes Gewicht (unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Konstitution).

Übergewicht:

Ein im Vergleich zur Normalbevölkerung zu hohes Gewicht (unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Konstitution).

1.2 Body Mass Index (BMI)

Der Vergleich von Personen bezüglich ihrer Körpermasse bei unterschiedlicher Körpergröße erfordert die Anwendung von Verhältnisgleichungen. Als allgemeiner Standard hat sich der Body-Mass-Index (BMI) durchgesetzt, der 1870 von Quetelet definiert wurde. Es ist der Quotient aus der Körpermasse in Kilogramm (W) (auch KGW) und dem Quadrat der Körperhöhe (Ht) in Meter.

$$\text{BMI} = (W / \text{Ht}^2) \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Dieser Quotient ist einfach zu bestimmen und ermöglicht innerhalb einer bestimmten Bevölkerungsgruppe eine Risikoabschätzung der Erkrankung und Sterblichkeit bei Abweichungen Einzelner vom Bevölkerungsdurchschnitt. Bei den Mitteleuropäern liegt dieser Wert für Männer und Frauen im mittleren Alter zwischen 20 und 25 (Idealwert). Werte bis 30 deuten auf mehr oder weniger **Übergewicht** hin, das in Verbindung mit Herz-Kreislauf Erkrankungen, Diabetes oder Gelenkerkrankungen ein erhöhtes Risiko darstellt. Oberhalb der angegebenen Spannen spricht man von Fettsucht (Adipositas). BMI-Werte unter 18 bedeuten Untergewicht.

Eine Normierung des Körpergewichts oder der BMI-Wert allein sagen letztendlich aber nichts darüber aus, ob z.B. gesundheitsgefährdend ein übermäßiger Fettanteil vorliegt. Ein guter Trainingszustand verbunden mit vergrößerter Muskelmasse ergeben einen hohen BMI, was aber nicht zwingend Übergewichtigkeit und Gesundheitsrisiko bedeutet.

Unterschiede im menschlichen Körperbau (z.B. auch ethnisch bedingt), sind ebenfalls mit zu berücksichtigen.

1.3 Waist to Hip – Ratio (WHR)

Unabhängig von der Fettmenge kann die Fettverteilung ein Risikofaktor sein. Beim Mann bedeutet ein „Speckgürtel“, verbunden mit einem starken Oberbauch ein erhöhtes Herz-Kreislauf Risiko. Die Messung von Bauch- und Taillenumfang mit einem schlichten Schneidermaßband gibt Auskunft über „gesunde“ Proportionen. Grenze für einen „normalen“ Taillenumfang sind bei Frauen 85 cm, beim Mann 100 cm. Das Verhältnis von Taillenumfang / Hüftumfang, das **Waist-to-Hip-Ratio** sollte beim Mann unter 1 und bei der Frau unter 0,85 liegen.

1.4 Typisierung des Körperbaus (Metrik-Index)

Die Beurteilung des Körperbaus wird allgemein in 5 Kategorien vorgenommen.

Entlang einer Skala werden die Individuen wie folgt typisiert:

Typ 1: stark leptomorph, Typ 2: leptomorph, Typ 3: mesomorph, Typ 4: pyknomorph, Typ 5: stark pyknomorph.

Dazu wird der Metrik-Index bestimmt, der Körperhöhe, Brustbreite und Brusttiefe miteinander verknüpft in der Form:

Männer: $\text{METRIX} = - 0,365 - (0,04 * \text{Ht}) + (0,125 * \text{BBr}) + (0,154 * \text{BT})$

Frauen : $\text{METRIX} = - 2,654 - (0,035 * \text{Ht}) + (0,164 * \text{BBr}) + (0,18 * \text{BT})$

mit Ht = Körperhöhe [cm] , BBr = Brustbreite [cm] und BT = Brusttiefe [cm].

Aus den Tabellen (im Anhang) „Skalierung des Metrik-Index zur Erfassung der körperlichen Wuchstendenz“ kann dann der **Körperbau-Typ** abgelesen werden. (Diese Tabellenangaben basieren auf empirischen Messungen und gelten für Mitteleuropäer). Die Brustbreite und die Brusttiefe werden mit einem anthropometrischen Messzirkel bestimmt.

2 Beurteilung der Körperzusammensetzung und des Ernährungszustandes

Die Beschreibung der Körperzusammensetzung eines Organismus kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten vorgenommen werden. Versteht man den menschlichen Körper als Summe seiner chemischen Elemente, so besteht seine Körpermasse zu ca. 99% aus den 6 Elementen Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Kalzium und Phosphor. Wasserstoff und Sauerstoff zusammen haben dabei einen Anteil von gut 70%. Betrachtet man die Körpermasse andererseits nach funktionalen Aspekten, so kann die Körperzusammensetzung durch 4 Kompartimente (Fett, Muskeln, Knochen und übriges Gewebe) beschrieben werden:

Körperzusammensetzung				
	Mann		Frau	
Alter	20-24 Jahre		20-24 Jahre	
Grösse	174 cm		164 cm	
Gewicht	70,0 kg		56,9 kg	
Fett	10,5 kg	15,0 %	15,3 kg	26,9 %
Muskel	31,3 kg	44,7 %	20,4 kg	35,9 %
Knochen	10,4 kg	14,9 %	6,8 kg	12,0 %
Übriges Gewebe	17,8 kg	25,4 %	14,4 kg	25,2 %

Bei dieser Einteilung sind geschlechtsspezifische Unterschiede zu berücksichtigen. Die prozentualen Angaben unterliegen darüber hinaus auch individuellen Schwankungen, denn Faktoren wie Alter, Ernährungs- und Trainingszustand verändern insbesondere die Anteile von **Fett-** und **Muskelmasse**; Wo hingegen die Masse der Knochen und der übrigen Gewebe davon relativ unbeeinflusst bleiben.

Die Körperzusammensetzung (**BODY COMPOSITION**) lebender Organismen kann nicht direkt gemessen werden. In der Vergangenheit wurden jedoch recht verlässliche, indirekte Messmethoden entwickelt, die eine Bestimmung von Teilkompartimenten des Körpers ermöglicht.

Das heute hierfür verwendete BASIS – MODELL unterteilt die Körpermasse in zwei Kompartimente. In einem Kompartiment werden Muskeln, Knochen und übriges Gewebe unter dem Begriff **fettfreie Körpermasse (FFM)** (Free Fat Mass) subsumiert. Das zweite Kompartiment ist das **Körperfett (BF)** (Body Fat). Zusammen ergeben sie die Gesamtkörpermasse, also das mit einer Waage messbare **Körpergewicht (KGW)**. Das zeigt das nachstehend skizzierte **Zweikompartiment Modell**:

$$\text{KGW [kg]} = \boxed{\text{Körperfett BF [kg]}} + \boxed{\text{Fettfreie Masse FFM [kg]}}$$

Die **fettfreie Körpermasse (FFM)** auch als Magermasse bzw. **Lean body mass (LBM)** bezeichnet, errechnet sich aus dem **Körperwasser (TBW)** (Total Body Water). Dabei wird davon ausgegangen, dass sich der grösste Teil des Körperwassers (TBW) in der fettfreien Körpermasse (FFM) befindet (Fett kann nur wenig Wasser speichern) und hier bei normaler Hydratation einen Anteil von ca. 73% ausmacht.

$$\text{Fettfreie Masse FFM} = \text{TBW [kg]} / 0,73$$

Die **fettfreie Körpermasse (FFM)** kann weiter unterteilt werden in einen Anteil **Extrazellulärmasse (ECM)** und einen Anteil **Körperzellmasse (BCM)**. Das führt dann zu dem sogenannten

Dreikompartiment Modell:



Die Flüssigkeitsräume des **extrazellulären Wassers** und des **intrazellulären Wassers** sind im Körper klar abgegrenzt. Das grösste Kompartiment, mit einem Anteil von 30-40% am Körpergewicht ist

das Flüssigkeitsvolumen, das sich im Innern aller Körperzellen befindet. Es wird durch die Plasmamembranen der Zellen vom Extrazellulärraum getrennt.

Das **Extrazellulärvolumen** teilt sich wiederum auf in den **interstitiellen Raum** (ca. 25% der Körpermasse), das **Plasmavolumen** (ca. 5% der Körpermasse) und den sogenannten **Transzellulärraum** mit einem Anteil von ca. 2% an der Körpermasse. Interstitium und Plasma sind durch Endothelzellschichten gegeneinander abgegrenzt. Der Transzellulärraum wird von Interstitium durch Epithelzellschichten getrennt und subsummiert die Bereiche Pleura-, Peritoneal- und Paukenhöhle, Augenhöhlen, Liquorraum, Drüsen und Lumina des Urogenital- und Gastrointestinaltraktes. Die Elektrolytzusammensetzung der Intrazellulären- und Extrazellulären-Flüssigkeiten weisen charakteristische Unterschiede auf. So dominiert extrazellulär Na^+ und Cl^- , während im Zellinnern vorwiegend Kalium, anionische Proteine und Phosphatverbindungen zu finden sind. (S. Tabelle im Anhang.)

Die Verteilung von intra- und extrazellulärem Wasser wird deutlich beeinflusst von Faktoren wie Lebensalter und Geschlecht. Das soll die folgende Abbildung 1 verdeutlichen:

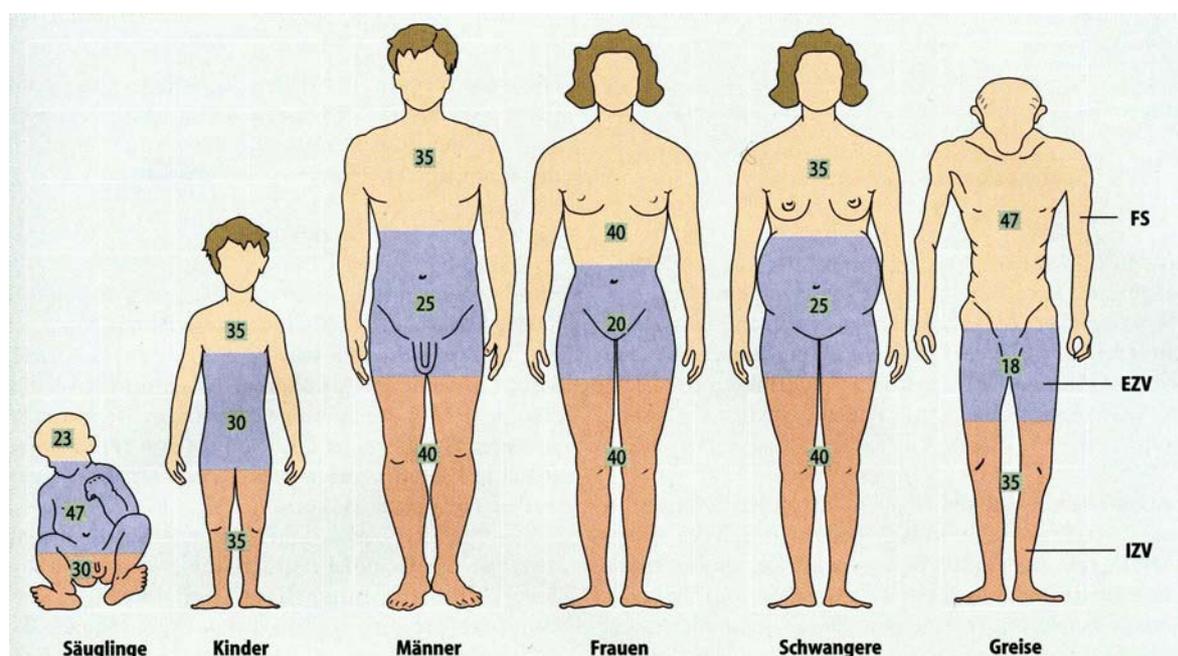


Abb. 1 Anteil von intra- und extrazellulärem Wasser am Körpergewicht. EZV = Extrazellulärvolumen, IZV = Intrazellulärvolumen, FS = feste Substanzen wie Knochen, Fett etc. (von F.Lang aus Physiologie des Menschen 28.Auflage 2000)

Bekanntes Messverfahren, die nach dieser Einteilung Teilkomponenten der Körperzusammensetzung bestimmen können sind z.B. Dilutionsmethoden mit radioaktiven bzw. stabilen Isotopen (Körperwasser), bioelektrische Impedanzanalyse (Körperwasser, Körperzellmasse), densitometrische Messungen, also Volumenbestimmung durch Wasserverdrängung (Körperdichte), Hautfaltendickemessungen mit dem Kaliper (Körperfett) oder Kaliumbestimmungen im Ganzkörpercomputertomograph (Körperzellmasse).

In den zurückliegenden 20 Jahren hat die bioelektrische Impedanzanalyse (**B I A**) eine zunehmende Bedeutung erlangt. Es handelt sich hierbei um ein **nichtinvasives**, unkompliziertes, den Patienten wenig belastendes, kostengünstiges und hinreichend genaues Verfahren, mit dem ausreichend zuverlässige Aussagen über die Körperzusammensetzung getroffen werden können.

2.1 Messverfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

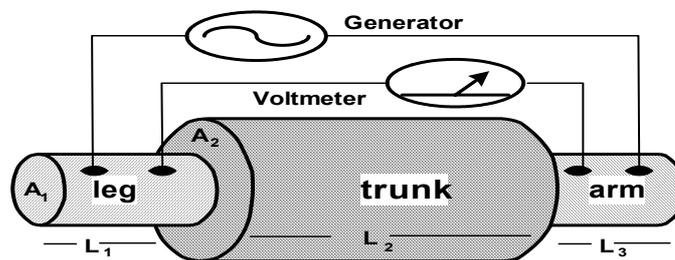
2.1.1 Bioelektrische Impedanz Analyse B I A

Die bioelektrische Impedanzanalyse ist die elektrische Widerstandsmessung eines organischen Körpers.

Über zwei Hautklebelektroden an Hand und Fuss wird bei konstanter Stromstärke ein homogenes, hochfrequentes elektrisches Feld im Körper der Meßperson erzeugt. Als Standard gilt heute ein konstanter **Messstrom** von **800 µA** bei einer **Frequenz** von **50 KHz** (1).

Mit zwei weiteren Messelektroden wird der Wechselstromwiderstand Z (Impedanz) des Körpers gemessen.

Bei dieser Anordnung der Messelektroden kann der menschliche Körper -elektrisch gesehen- als Reihenschaltung von drei zylindrischen Widerständen betrachtet werden :



Untersuchungen haben gezeigt, dass mit einem vereinfachten **1- Zylinder-Modell** bereits ähnlich genaue Aussagen gemacht werden können, wie mit einem 3- Zylindermodell.

So gehen die nachfolgenden Betrachtungen davon aus, dass der menschlichen Körper sich wie **ein homogener zylindrischer Widerstand** verhält!

Der elektrische **Wechselstromwiderstand**, also die Impedanz (Z [Ω]), hat einen ohmschen Anteil R und einen kapazitiven Anteil X_c der Form :

$$Z^2 = R^2 + X_c^2. \quad (\text{Impedanz})$$

Bei einem zylinderförmigen Körper ist dieser Wechselstromwiderstand (Z) eine Funktion des spezifischen elektrischen Widerstands (ρ [Ω]) des Zylindermaterials, seiner Querschnittsfläche (A [cm^2]) und seiner Länge (L [cm]).

Für sein Volumen gilt dann: $V = \rho * L^2 / Z$.

Mit der Annahme, dass der spezifische Widerstand ρ (Rho) des Körpergewebes konstant ist, ist sein Volumen somit direkt proportional dem Quotienten aus L^2 und dem gemessenen komplexen Widerstand Z :

$$V \sim L^2 / Z.$$

Die elektrische Leitfähigkeit des menschlichen Körpers wird hauptsächlich durch die in den entsprechenden Geweben eingelagerte Flüssigkeit vorgegeben. Fettgewebe hat nur einen geringem Wasseranteil und ist somit ein sehr schlechter elektrischer Leiter. Dagegen zeigt **fettfreies Gewebe** (FFM) -bedingt durch seinen grossen Wasseranteil- einen hohen elektrischen Leitwert. Das Volumen dieses Gewebes (und sein Hydrationszustand) bestimmt damit die Grösse des elektrischen Körperwiderstands. Bei normaler Hydratation beträgt der Wasseranteil des fettfreien Gewebes im Mittel ca. 73%. Näherungsweise gilt dann für die

Magermasse (FFM bzw. LBM) : **FFM = TBW / 0,73.**

1. Verwendet werden aber auch Messverfahren mit zwei bzw drei unterschiedlichen Frequenzen, wobei hier neben der Frequenz von 50 kHz auch 1 kHz und 100 kHz eingesetzt werden. Mit 1 kHz wird dabei gesondert auf den Extrazellulärraum geschlossen.

In der Literatur spricht man von sehr guten Korrelationen ($r = 0,7-0,9$) zwischen dem elektrischen Widerstand R und dem Körperwasser TBW (Total Body Water) in der Form :

$$TBW = a1 * Ht^2 / R + b1. \quad (\text{Körperwasser})$$

Ht steht für die Körpergrösse, sie repräsentiert die Länge des Stromleiters. $a1$ berücksichtigt als empirische Grösse ethnische und physische Faktoren, $b1$ ist eine systemische Konstante.

Die Gleichung kann durch weitere Terme, mit denen Körpergewicht und Lebensalter Berücksichtigung finden, noch besser an unterschiedliche Bevölkerungsgruppen angepaßt werden.

Körperkalium, Zellmasse

Der kapazitive Anteil Xc des Körperwiderstands ermöglicht eine Aussage über die Grösse der Körperzellmasse (**BCM**). Die Zellmembran verhält sich –elektrisch gesehen– wie ein Kondensator. Für Gleichstrom ist die Zellmembran eine Barriere. Ein Wechselstrom kann jedoch durch die wechselnde Umladung der Membran auch im Intrazellulärraum fließen und so bei der Körperwiderstandsmessung die intrazellulären Flüssigkeitsanteile mit erfassen. Dabei bewirkt die Membrankapazität eine Phasenverschiebung des Messstroms. Im Zellinnern dominiert Kalium als Elektrolyt und bestimmt damit den Widerstandsanteil des Intrazellulärraums.

Mit Gleichungen wie:

$$TBK = a2 * Ht^2 / Xcp + b2$$

(TBK = Ganzkörperkalium, Ht = Körpergrösse, Xcp = Reaktanz)

kann so über das Kalium (98% intrazellulär) auf die Körperzellmasse (**BCM**) geschlossen werden.

Körperfett

In der Ernährungsphysiologie interessiert besonders der prozentuale Fettanteil bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung. Man verwendet dazu meistens das **Zweikompartiment Modell**, wobei die Masse des Organismus (KGW) in einen **Fettanteil (FM)** und einen Anteil fettfreie Masse (FFM), auch als Magermasse oder Lean Body Mass (LBM) bezeichnet, unterteilt wird. Ist das Körpergewicht (KGW) bekannt und liegen Informationen über die fettfreie Masse (FFM) vor, kann auch das Körperfett (FM) bestimmt werden.

$FM = KGW - FFM$ und

$$FM\% = (FFM / KGW) * 100$$

Phasenwinkel

Aus dem Verhältnis von ohmschen und kapazitiven Anteil der Körperimpedanz errechnet sich der Phasenwinkel. Diese Grösse erlaubt Aussagen über den Ernährungs- und Trainingszustand der untersuchten Person. Eine Änderung des Winkels in positive Richtung bedeutet eine Verbesserung, eine Abnahme eine Verschlechterung der Leistungsfähigkeit.

Der Phasenwinkel liegt bei Männern zwischen $7,9^\circ$ und $2,5^\circ$ und bei Frauen zwischen $7,5^\circ$ und 2° . Tägliche physiologische Schwankungen des Phasenwinkels spiegeln den wechselnden Hydrationszustand (also den Wassergehalt des Körpers) wider. Die Schwankungsbreite liegt bei $\pm 0,2^\circ$.

Vektordiagramm

Das Vektornomogramm von Piccoli (Xc über R aufgetragen, normiert auf die Körpergrösse) gibt eine sehr informative visuelle Auskunft erstens über den Ernährungs- und Trainingszustand (Body Cell Mass (BCM)) und zweitens über den Hydrationszustand (Körperwasser) der Person.

ECM / BCM – Index

Das Verhältnis von extrazellulärer Körpermasse (ECM) und Body Cell Mass (BCM) ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Ernährungszustandes. Es sollte kleiner 1 sein. $0,7-0,8$ gilt als sehr gut, $1,1$ wird als noch ausreichend bewertet, erfordert aber eine Ernährungsberatung.

BIA-Mess-Methode (Praxis)

Bei der Impedanzmessung ist zu beachten, dass der menschliche Körper kein idealer Zylinder ist, aus dessen Abmessungen heraus sich eine einfache elektrische Feldverteilung ableiten läßt.

Gerade bei der Bestimmung des Körperfetts ist zu berücksichtigen, dass ein grosser Teil am Rumpf (der den grösseren Teil der Gesamtkörpermasse ausmacht) zu finden ist, hier der Anteil am Gesamtwiderstand aber lediglich ca. 15% beträgt. Der Anteil am Gesamtkörperwiderstand für den Unterarm beträgt bereits ca. 28% und für den Unterschenkel ca. 33%. An der fettfreien Masse des Körpers haben die Extremitäten aber lediglich einen Anteil von 10-20 %.

Konsequenz wäre eine Kompartimentierung des Körperwiderstands in unterschiedliche Bereiche für die Gliedmaßen und den Rumpf. Der damit verbundene erhöhte messtechnische Aufwand führte jedoch bisher zu keiner wesentlichen Verbesserung der Berechnungsergebnisse. Bei den empirischen Formeln verwendet man deshalb bevorzugt das 1- Zylinder-Modell. Das macht aber deutlich, dass sehr konsequent eine genaue Absprache getroffen und befolgt werden muss, wo und wie die Messelektroden am Körper zu platzieren sind. Elektrische Kurzschlüsse zwischen den einzelnen Körperteilen sind durch eine entsprechende Körperlage zu vermeiden.

(Die Extremitäten sollen den Rumpf nicht berühren.) Bekleidung und Metallteile (Ringe, Ketten) beeinträchtigen ebenfalls die Messergebnisse und sollten deshalb abgelegt werden.

Das zur Analyse der Körperzusammensetzung verwendete Formelwerk stützt sich auf viele Tausend vergleichende Untersuchungen und bezieht sich dabei immer nur auf bestimmte ethnische Bevölkerungsgruppen.

Die Bestimmung der Körperzusammensetzung wird mit dem Bioimpedance Analyzer Typ STA der Firma Akern durchgeführt. Die Berechnung der Werte für die aktive Körperzellmasse (BCM), der Fettmasse (FM) und des Körperwassers (TBW) bzw. ECW und ICW erfolgt mit dem praxisorientierten Analyseprogramm der Firma MEDICAL, das die langjährigen Arbeiten auf dem Gebiet der Bioimpedanz Messmethoden von Piccoli implementiert.

2.2 Weitere Messverfahren

Die Methoden der Hautfaltendickemessung, der Densitometrie und der Dilution basieren ebenfalls auf dem Zweikompartiment Modell (s. Seite 3).

2.2.1 Densitometrie

Die Bestimmung der Körperdichte erfolgt durch hydrostatisches Wiegen (Volumenbestimmung durch Wasserverdrängung). Unter Berücksichtigung der Dichteunterschiede von Fett (0,9g/ccm) und fettfreier Masse (1,1g/ccm) können die Massen beider Kompartimente berechnet werden. Diese als „**Goldstandard**“ bezeichnete Methode ist relativ aufwendig und bei älteren oder kranken Patienten nur eingeschränkt anwendbar.

2.2.2 Isotopen Dilution

Das **Körperwasser** wird mit einem Isotop markiert (Tritium, Deuterium). Aus dem Verteilungsraum der Isotope kann das Körperwasser bestimmt werden und unter der Annahme eines konstanten Hydrierungsgrades wird auf das Körperfett und die Magermasse geschlossen. Als negatives Kriterium ist hier die Strahlenbelastung zu erwähnen.

Die Bestimmung der **Körperzellmasse** (BCM) ist über die Messung des Ganzkörperkaliums möglich. 98% des Körperkaliums befindet sich intrazellulär und das natürlich vorkommende Isotop K40 hat in der Natur ein sehr konstantes Vorkommen von 0,012% . Im Ganzkörperzähler wird K40 ermittelt, auf das Ganzkörperkalium hochgerechnet und daraus die Körperzellmasse ermittelt.

2.2.3 Kalipermessung zur Bestimmung des Ganzkörperfetts

An ausgewählten prädiktiven Stellen des Körpers werden die Hautfaltendicken mit einem Kaliper (Messzange) gemessen und daraus das **Gesamtkörperfett** berechnet. Die fettfreie Masse berechnet sich dann aus der Differenz zum Körpergewicht. Der Nachteil dieser Methode liegt in einer weiten individuellen Beurteilung der Hautfaltendicke (je nach dem, wie fest zugegriffen wird). Außerdem spielt der Hydrierungsgrad der Haut eine Rolle. Diese Methode soll im Praktikum beispielhaft vorgeführt werden. Ein einfacher „Kneiftest“, wobei seitlich am Körper in Bauchnabelhöhe mit Daumen und Zeigefinger die Haut und das Fett zu einer Falte gezogen wird, geben eine erste Information über den Körperfettanteil. Ist die Falte breiter als 2 bis 3 cm, ist die Grenze überschritten. Körpertraining und Zurückhaltung bei der Ernährung sind geboten. In gleicher Weise kann auch an der Innenseite des Oberarms das Körperfett kontrolliert werden. Hier liegt die Grenze der Faltendicke bei gut 1 cm.(1)

Mit Daumen und Zeigefinger werden an 6 Körperstellen Hautfalten gezogen, und deren Dicke mit dem Kaliper-Messzange gemessen. Diese Werte werden mit der nachfolgend angegebenen Regressionsgleichung zu einem Wert verrechnet, der eine Abschätzung des Gesamtkörperfettes (GKF) in % der Körpermasse angibt.

Für **Frauen** gilt:

$$\text{GKF}\% = - 18,04 + 1,8 \cdot \ln \text{Ki} + 1,84 \cdot \ln \text{Br} + 2,94 \cdot \ln \text{Rü} + 0,72 \cdot \ln \text{Hü} + 1,62 \cdot \ln \text{Ba} + 8,02 \cdot \ln \text{Fe} .$$

Für **Männer** gilt:

$$\text{GKF}\% = - 11,36 + 2,1 \cdot \ln \text{Ki} + 2,24 \cdot \ln \text{Br} + 2,84 \cdot \ln \text{Bi} - 2,11 \cdot \ln \text{Hü} + 3,62 \cdot \ln \text{Ba} + 5,25 \cdot \ln \text{Fe} .$$

Mit: Ki = Kinn, Bi = Bizeps, Rü = Rücken, Br = Brust, Hü = Hüfte, Ba = Bauch, Fe = Oberschenkel

1. (Siehe dazu auch den Abschnitt Haut in „Temperaturregulation“).

3. Energiehaushalt

3.1 Energiegewinnung

Leben ist nur durch eine ausreichende Zufuhr und Bereitstellung von Energie möglich. Dazu werden von den Lebewesen Nährstoffe aus der Umwelt aufgenommen und mittels Stoffwechselprozessen in energieärmere Verbindungen umgewandelt. Die dabei freiwerdende Energie wird von den Zellen für den Strukturaufbau, die Strukturhaltung und zur Leistung von Arbeit verwendet. Bei all diesen – zumeist oxydativen- Prozessen wird Wärme freigesetzt. Diese wird zu einem Teil für die chemischen Reaktionsprozesse benötigt, sonst aber als Abwärme an die Umwelt abgegeben.

Der Organismus kann zur Energiegewinnung aus der Nahrung hauptsächlich drei Stoffgruppen (1) verwerten: **Kohlehydrate** (Stärke, Glucose, Glycerin), **Fette** (Lipide) und Fettsäuren (Triglycerid, Stearinsäure, Essigsäure) und **Eiweiß** (Protein).

3.2 Energiegehalt / Brennwert

Der Energiegehalt der Nahrung wird mit dem Kalorimeter bestimmt. Dazu wird der jeweilige Stoff unter Standardbedingungen (Druck, Temperatur) in einer reinen Sauerstoffatmosphäre verbrannt. Die dabei frei werdende Wärmemenge wird gemessen und als Brennwert angegeben.

Masseinheit für **Energie** ist das **Joule**, $J = \text{kg m}^2 / \text{s}^2 = (\text{Nm})$, ($N = \text{Newton (kg m / s}^2)$).

Masseinheit für die **Wärmemenge** die **Kalorie**, $\text{cal} = \text{kg m}^2 / \text{s}^2$.

Die **Arbeit** (= Kraft * Weg), die damit geleistet werden kann ist die **Wattsekunde** (Ws).

$$1 \text{ cal} = 4,187\text{J}, \mathbf{1\text{J} = 1\text{Ws}} = 0,239\text{cal}, 1\text{KWh} = 3600 \text{ KJ} .$$

Entsprechend gilt für die **Leistung** (Wärmestrom, Energieumsatz):

$$1\text{W} = 0,86 \text{ kcal / h} = 3,6 \text{ kJ / h} = 20,6 \text{ kcal/d} = 86,4 \text{ KJ/d} .$$

Organische Substanzen wie Kohlenhydrate und Fette werden in reiner Sauerstoffatmosphäre vollständig zu CO_2 und H_2O verbrannt. Bei Proteinen entstehen zusätzlich Stickstoff und Salpeter.

Die dabei mit dem Kalorimeter gemessene Wärmemenge wird als **Physikalischer Brennwert** der Substanz bezeichnet.

Die Energiemenge dieser Substanzen, die beim Abbau im Organismus frei wird, entspricht dem **Physiologischen Brennwert**.

Fette und Kohlenhydrate werden im Organismus vollständig bis zu CO_2 und H_2O abgebaut, der physiologische Brennwert entspricht also dem Physikalischen Brennwert. Eiweiß bzw. Protein wird vom Organismus nicht bis auf die energieärmste Stufe abgebaut. Als Stoffwechselprodukte entstehen Kreatinin, Harnstoff und Harnsäure. Damit ist für Eiweiß der physiologische Brennwert entsprechend niedriger als sein physikalische Brennwert.

	Physikalischer Brennwert	Physiologischer Brennwert
Eiweiß	5,3 - 5,74 kcal / g 22,19 – 24,03 kJ / g	4,1 kcal / g 17,17 kJ / g
Fett	9,46 - 9,52 kcal / g 39,59 – 39,85 kJ / g	9,3 kcal / g 38,94 kJ / g
Kohlenhydrate	3,75 – 4,21 kcal / g 15,7 – 17,62 kJ / g	4,1 kcal / g 17,17 kJ / g

(Angaben für die mittleren physiologischen Brennwerte nach RUBNER, 1902)

(1) Der allgemeine Alkoholkonsum im Rahmen der täglichen Ernährung spielt eine zunehmende Rolle bei der Energiebilanz. Lt. Stat. Bundesamt werden beim Durchschnittsdeutschen ca. 8% des täglichen Energiebedarfs durch Alkohol gedeckt.

3.3 Energiespeicher und Energietransport

Nur ein Teil der Energie, die bei der Verstoffwechslung von Nahrung erzeugt wird, kann vom Organismus in Form von Phosphatverbindungen gespeichert werden. Adenosintriphosphat (ATP) ist der universelle Energielieferant des Organismus. Bei der ATP-Synthese aus Glucose liegt der Wirkungsgrad nur bei 38%. Der Rest wird als Wärme abgegeben. ATP ist „vor Ort“ nur in geringen Mengen vorhanden. Es wird kurzfristig aus dort gespeichertem Kreatininphosphat- Depots regeneriert. Energie entsteht etwas langsamer (aber in ausreichenden Mengen bei normaler Arbeit) aerob beim oxydativen Glucoseabbau zu CO₂ und H₂O. Bei hohem Energiebedarf und Sauerstoffmangel wird zusätzlich (mit geringem Wirkungsgrad) über anaerobe Reaktionsstufen Glucose auch zu Laktat verstoffwechselt. Ausserdem wird Energie freigesetzt bei der Oxidation von Triglyceriden aus lokalen Speichern. (Beispiel Skelettmuskel)

Die größeren Energiespeicher (z.B. für Fett) sind nicht gleichmäßig im Körper verteilt. Bei dem Transport von Energie zu den Speichern und von dort zu Organen und Gewebe spielt die **Leber** eine wichtige Rolle. Sie kann Aminosäuren, Fettsäuren und Glucose ineinander umwandeln. Da einige Gewebe fast ausschließlich ihre Energie aus Glucose gewinnen, wie z.B. das Gehirn und die Erythrozyten im Blut, verteilt die Leber Energie in Form von Glucose an die Verbraucher. Glucose gehört wie Stärke und Glycerin zur Gruppe der Kohlehydrate und diese sind die wichtigsten Bestandteile der Nahrung.

3.4 Energiebedarf, Grundumsatz, Gesamtumsatz

3.4.1 Grundumsatz

Der Organismus benötigt auch in absoluter Ruhe Energie, um seine Grundfunktionen bei gleichbleibender Körperkerntemperatur aufrecht zu erhalten. Dieser basale Energieumsatz (P) wird als Grundumsatz bezeichnet.

Dabei sind die einzelnen Organsysteme unterschiedlich am Energiebedarf beteiligt. Leber und ruhende Muskulatur verbrauchen mit jeweils ca. 26% schon gut die Hälfte des Grundumsatzes des Menschen. Deshalb kann im Schlaf oder bei Narkose, aber auch beim Fasten, der Energieumsatz unter den normalen Grundumsatz sinken. Im ersteren Fall sinkt der Muskeltonus, im zweiten Fall ist der Leberumsatz reduziert. Das Gehirn ist mit 18%, das Herz mit 9%, die Nieren mit 7% und der Rest mit 14% am Grundumsatz beteiligt.

Der Grundumsatz unter thermoneutralen Bedingungen bei körperlicher Ruhe und unter der Voraussetzung ähnlicher Körpergeometrie ist eine Funktion der Körpermasse. Für landlebende Säugetiere (von der Etruskerspitzmaus als kleinstem Säugetier (1,5-2g) bis zum Elefanten (5-6t)) gilt im Mittel:

$$P \sim 3 * M^{0.7} \quad \text{bzw. normiert: } P / M \sim 3M^{-0.3} \quad \text{mit } M = \text{Masse in kg}, P = \text{Energieumsatz in Watt}$$

Diese allometrische Gleichung besagt: eine 10-fach größere Masse bedingt einen ca. 5-fach höheren Energieumsatz. (Die Etruskerspitzmaus hat danach einen ca. 80-fach höheren spezifischen Energieumsatz (Energieumsatz pro kg Körpergewicht) als der Elefant).

Begründet wird das damit, dass die Wärmeabgabe an die Umwelt (also der Wärmeverlust) proportional der Körperoberfläche (A) ist und diese wiederum mit von der Körpermasse (M) und der geometrischen Form des Körpers abhängt.

$$\text{Bei ähnlicher Körpergeometrie ist} \quad A \sim M^{0.66}$$

(Eine differenziertere Formel für den Grundumsatz wird auf der folgenden Seite angegeben!)

Hinzu kommt, dass bei kleinen Säugetieren die Isolationseigenschaften schlechter sind und damit die Wärmedurchgangszahl größer ist. Bei kleinen Tieren ist auch die Stoffwechselaktivität sehr viel höher. Allgemein gilt, daß für den Stoffwechselprozess in den Zellen Energie benötigt und dabei Sauerstoff verbraucht wird. Es werden jedoch stets einige Sauerstoffmoleküle nicht verbrannt und diese können trotz vorhandener Schutzmechanismen als Sauerstoffradikale die Zelle schädigen oder zerstören.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die während des Lebens pro kg Körpermasse umgesetzte Energie für alle Säugetierarten etwa gleich ist (für Primaten ca. 2 Mio kW/kg).

(Damit, und mit der Erkenntnis, dass kleine Tiere einen höheren spezifischen Energieumsatz haben läßt sich ableiten, dass die maximale Lebenserwartung mit steigender Körpermasse zu nimmt (Lebenserwartung Elefant ~ 60 Jahre, Etruskerspitzmaus ~ 1 Jahr). Gleiches gilt bei Senkung des spezifischen Grundumsatzes. (Daraus könnte man schließen: Bei Senkung der Körperkerntemperatur reduziert sich auch die Stoffwechselaktivität und damit verlängert sich die Lebenserwartung.)

3.4.2 Gesamtenergieumsatz

Der Gesamtenergieumsatz eines Individuums kann recht variabel sein.

Er setzt sich zusammen aus dem **Grundumsatz und Zuschlägen**, diese sind individuell unterschiedlich und situativ und konstitutiv bedingt. Körperliche und geistige Aktivität, Stress und Substanzaufbau (Wachstum, Schwangerschaft), aber auch Alter, Geschlecht und Körperbau und – form bestimmen den täglichen Energiebedarf (Abb.2). Hinzu kommt ein Anteil von ca. 6% des Gesamtumsatzes, der als Wärme bei der Nahrungsaufbereitung (Verdauung) entsteht.

Will man den Grundumsatz bestimmen, müssen folgende Standardbedingungen erfüllt sein: Der Proband muß völlig entspannt und ruhig liegen und darf vorher keine größere körperliche Arbeit verrichtet haben. Er muß nüchtern sein, darf also einige Stunden keine Nahrung aufgenommen haben. Er muß eine normale Körpertemperatur haben und die Messung muß in einer thermoneutralen Umgebung (Behaglichkeitstemperatur) stattfinden.

Trotzdem werden hier größere individuelle Schwankungen beobachtet. Viele biologische Messgrößen variieren mit der Körpergestalt. Für den Energiebedarf finden sich die besten Korrelationen, wenn man den Umsatz auf die Körperoberfläche normiert (W/m^2). Faktoren, die Unterschiede des Grundumsatzes bedingen, sind z.B. Alter und Geschlecht.

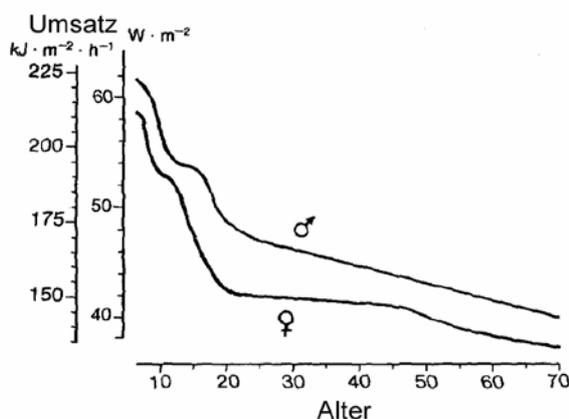


Abb.2: Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Grundumsatzes (nach Boothby Am.J.Physiol 116 (1936))

Ein Vergleich der Grundumsätze, bezogen auf die Körperoberflächen, liefert bei Säugetieren Werte ~ um $50 W/m^2$. (Hund 50, Schwein 52, Maus 57).

Als Richtwert für Erwachsene gilt: Männer $45 - 51 W/m^2$, Frauen $37 - 47 W/m^2$.

3.4.3 Körperoberfläche

Für die Bestimmung der Körperoberfläche aus der Körpergröße und dem Körpergewicht werden empirisch ermittelte Näherungsformeln angegeben. Weit verbreitet ist die nachstehende Formel von Dubois :

$$\text{Körperoberfläche (m}^2\text{)} = 0,007184 \times \text{Körpergewicht (kg)}^{0,425} \times \text{Körpergröße (cm)}^{0,725}$$

Danach ergibt sich für eine normal proportionierte, erwachsene Person mit einem Gewicht von 77 kg und einer Größe von 1,72 m eine Körperoberfläche von $1,7 m^2$. Bei mageren Individuen kann man eine Abschätzung der Körperoberfläche vornehmen mit : $\text{Oberfläche} = 0,1 \times \text{Körpergewicht kg}^{0,67}$.

Diese Formeln gelten für die Gesamtkörperoberfläche.

Für die Bestimmung der **Oberflächen einzelner Körperteile** kann man die 9er-Regel (nach Wallace) anwenden:

Es sind je Arm 9%, je Bein 18%, Rumpf 36%, Kopf und Hals 9% der Gesamtkörperoberfläche anzusetzen.

3.4.4 Berechnung des Grundumsatz

Von Harris, Benedict (1870-1957) werden für den Grundumsatz folgende Näherungsformeln angegeben:

$$\text{Mann (kcal/Tag)} = 66,5 + (13,8 \times \text{Körpergewicht in kg}) + (5 \times \text{Körpergröße in cm}) - (6,7 \times \text{Alter})$$

$$\text{Frau (kcal/Tag)} = 655,1 + (9,6 \times \text{Körpergewicht in kg}) + (1,9 \times \text{Körpergröße in cm}) - (4,7 \times \text{Alter}).$$

3.4.5 Täglicher Energiebedarf (Gesamtumsatz)

Als Beispiel sei hier der tägliche Energiebedarf eines Mannes (172 cm groß, 77 kg Gewicht, 57 Jahre) bei mittelschwerer Arbeit angegeben:

Grundumsatz	6700 kJ	1600 kcal
Arbeit	3800 kJ	910 kcal
Bewegung in der Freizeit	1600 kJ	380 kcal
unvollständige Resorption (6%)	800 kJ	190 kcal
Energieumsatz Zunahme (6%) (postprandial nach Nahrungsaufnahme)	800 kJ	190 kcal
Summe	13700 kJ	3270 kcal

Energiebedarf des Menschen bei unterschiedlichen Aktivitäten (Schauf, Moffett Medizinische Physiologie 1993)

Schlaf	300 kJ /Std.
ruhiges Sitzen	420 kJ /Std.
Stehen	460 kJ /Std.
Büroarbeit	630 kJ /Std.
Spazierengehen	840 kJ /Std.
Radfahren (9 km/Std.)	800 kJ /Std.
Gehen mit 15 kg Gepäck	1220 kJ/Std.
Marathonlauf	4150 kJ/Std.
Treppensteigen	4600 kJ/Std.

3.5 Kalorimetrie (Messung des Energieumsatzes)

Mit der Bestimmung der Wärmeproduktion des Organismus erhält man seinen Energieumsatz. Da das technisch nicht so einfach zu realisieren ist, mißt man den Sauerstoffbedarf (indirekte Kalorimetrie). Die Menge des chemischen Energieumsatzes im Organismus ist gekoppelt an einen entsprechenden Sauerstoffverbrauch. So wird z.B. bei der vollständigen Oxydation von 1 mol Glucose (180g), eine Energie frei von 2780 kJ, wobei 134 l Sauerstoff verbraucht werden. D.h. pro l Sauerstoff werden 20,7 kJ umgesetzt. Dieser Wert wird als **kalorisches Sauerstoffäquivalent** bezeichnet.

Für Kohlehydrate gilt ein Wert von 21,1 kJ/l O₂, entsprechend 5,05 kcal/l O₂.

Für Fette liegt dieser Wert bei 19,6 kJ/l O₂ (4,69 kcal/l O₂) und

für Proteine bei 19,3 kJ/l O₂ (4,42 kcal/l O₂). **Bei normaler Mischkost geht man von einem Durchschnittswert von 20 kJ / l O₂ (4,78 kcal / l O₂) aus, entsprechend 448kJ/mol O₂.**

Für einen Erwachsenen liegt die **Bedarfsdeckung an Sauerstoff in Ruhe (Sitzen) bei ~0,35 l / Min.** Je nach Substanz wird bei seiner Verbrennung eine entsprechende Menge CO₂ produziert.

Sauerstoffverbrauch und CO₂-Produktion stehen also (pro Zeitintervall) in einem typischen Verhältnis zueinander. Das wird als **respiratorischer Quotient (RQ)** bezeichnet. Er wird in Ruhe gemessen.

$$RQ = V_{CO_2} - \text{Abgabe} / V_{O_2} - \text{Aufnahme}$$

Unter bestimmten Bedingungen, im Fließgleichgewicht von Sauerstoffangebot und Verbrauch, entspricht das Verhältnis von Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxydabgabe in der **Atemluft** dem Stoffwechsel- RQ. Damit kann man mittels RQ abschätzen, welche energieliefernden Substanzen gerade oxydiert werden.

Für Kohlenhydrat ist RQ = 1 und für Fett ist RQ = 0,71.

Bei europäischer Mischkost beträgt der RQ durchschnittlich **~ 0,82**.

3.5.1 Physikalischer Wirkungsgrad

Ein wichtiger Faktor, die Leistungsfähigkeit eines Probanden abzuschätzen, ist die Bestimmung des physikalischen Wirkungsgrads. Er beschreibt, wie hoch der metabolische Aufwand ist, um eine bestimmte Leistung zu erbringen. Üblicher weise wird der Wirkungsgrad auf einem Fahrradergometer bei unterschiedlichen Leistungsstufen ermittelt. Die Werte werden im steady state einer jeden Leistungsstufe bestimmt. Dieser Zustand wird bei nicht zu hohen Stufen spätestens nach 2 Minuten erreicht wird.

Physikalischer Wirkungsgrad : $\eta = 100 \cdot \frac{\text{erhaltene Energie}}{\text{aufgewandte Energie}}$

Dabei entspricht die erhaltene Energie der Ergometer – Leistungsstufe und die aufgewandte Energie der erbrachten metabolischen Leistung. Der Wirkungsgrad ist bei den verschiedenen Leistungsstufen unterschiedlich. Er ist zusätzlich abhängig von der muskulären Koordination, d.h. von der „Reibung“ in den Bewegungen. Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen haben einen herabgesetzten Wirkungsgrad und eine dadurch verminderte Leistungsfähigkeit.

In Ruhe werden in der Atemluft die Konzentrationen von Sauerstoff und Kohlendioxyd bei Inspiration und Expiration bestimmt und aus den Differenzen die Mittelwerte von O_2 – Verbrauch und CO_2

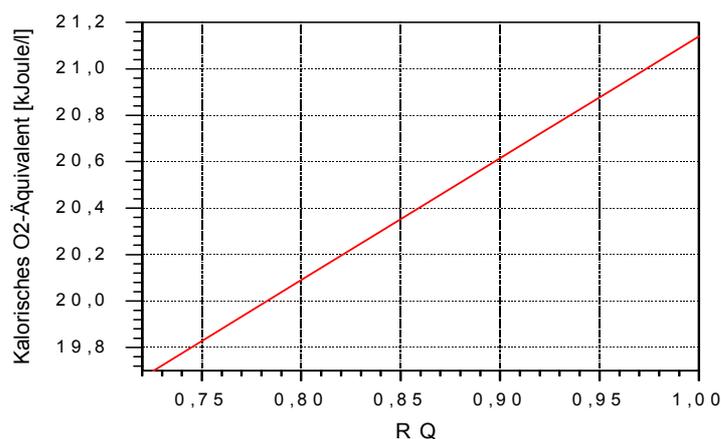
Produktion berechnet. Aus dem Verhältnis von $\dot{V}_{CO_2} / \dot{V}_{O_2}$ läßt sich der Respiratorische Quotient (RQ) abschätzen und so das kalorische O_2 -Äquivalent aus dem folgenden Diagramm ablesen. Mit dem Wert des Sauerstoffverbrauchs während der entsprechenden Leistungsstufe errechnet sich der physikalische Wirkungsgrad als:

$$\eta_{\text{Leistungsstufe}} = 100 \cdot \frac{\text{Ergometer-Leistung}}{\text{Kalorisches Äquivalent}} / \dot{V}_{O_2}$$

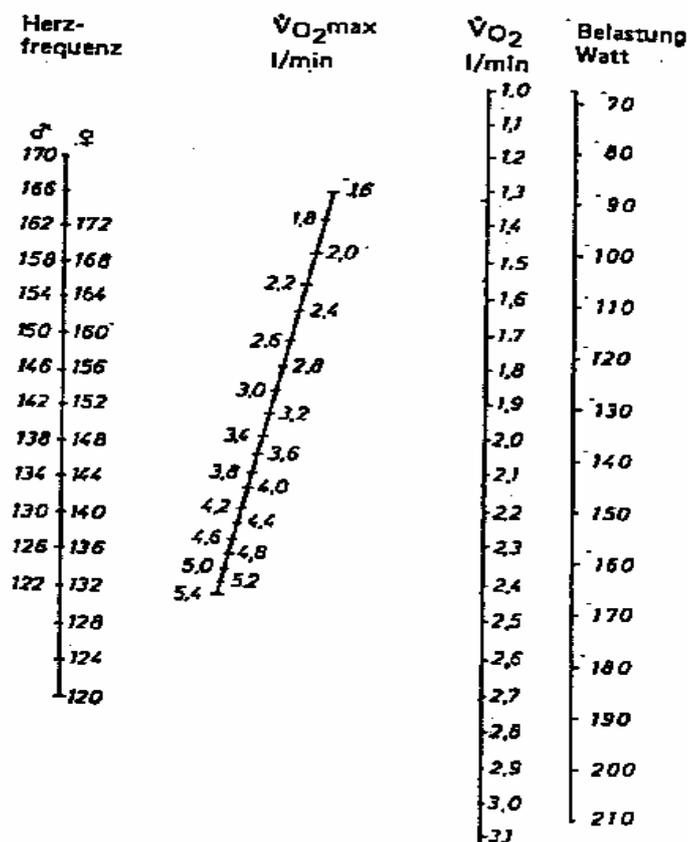
Letztendlich läßt sich über die oben angegebene Gleichung des Wirkungsgrads die metabolische

Leistung berechnen: **Metabolische Leistung = Kalorisches Äquivalent * \dot{V}_{O_2}** .

(1W = 0,06 KJ / min.)



Bestimmung des kalorischen O_2 -Äquivalents aus dem respiratorischen Quotienten (RQ).



Die maximale Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_{2max}$ als Maß für die maximale Sauerstofftransportkapazität von Atmung und Herz-Kreislauf-System ist das beste Kriterium für die aerobe körperliche Leistungsfähigkeit. Mit Hilfe des Nomogramms nach P.A. Astrand kann mit allgemein gültiger Genauigkeit bei Erwachsenen aus der bei submaximaler Belastung gemessenen Herzfrequenz die maximale Sauerstoffkapazität bzw. die bei der entsprechenden Ergometerleistung benötigten Sauerstoffmenge bestimmt werden.

3.6 Ernährung

Voraussetzung für Aufbau und Funktion des Organismus ist eine adäquate Ernährung. Dabei ist auf eine qualitative und quantitative Anpassung der Nahrungsaufnahme an den Bedarf zu achten. Mangel oder Überdosierung bedeuteten Fehlernährung und führen letztendlich zu Funktionsstörungen und Erkrankungen.

Für die qualitative und quantitative **Zusammensetzung der Nahrung** wurden „Richtwerte“ erarbeitet. Wie oben bereits angeführt, sind die wichtigsten Substanzen, die vom Organismus zur Energiegewinnung herangezogen werden Kohlenhydrate, Fett und Eiweiß.

Eine „ausgewogene“ Nahrung sollte **ca. 10- 15% Eiweiß** (~ 0,8g / kg Körpergewicht und Tag) enthalten. Dabei ist zu beachten, daß die biologische Wertigkeit (Wirkungsgrad beim Umbau zu Körpereiwweiß) für tierisches Eiweiß bei 0,8 bis 1 und für pflanzliches Eiweiß bei 0,6 bis 0,7 liegt.

Einen erhöhten Bedarf haben Alte und Kinder (~ 1,7g/Tag) bzw. Schwerkranke oder Schwangere (in der Stillzeit) (~ 2g/Tag) und Schwerarbeiter. Bei Eiweißmangel kommt es zu Apathie, Infektanfälligkeit, zu Muskelatrophie, Ödem und Stoffwechselstörungen. Bei Kindern beobachtet man geistige und körperliche (irreversible) Entwicklungsstörungen.

Der **Fettanteil** in der Nahrung sollte bei ~ **25- 30%** liegen. Hier ist zu beachten, daß sich in der Nahrung „verborgenes Fett“ in Form von essentiellen Fettsäuren findet. Die Fettaufnahme sollte etwa zu gleichen Anteilen aus Speisefett und diesen verborgenen Fettsäuren bestehen. Zu Störungen s. den Abschnitt 3.8.

Kohlenhydrate sollten **50- 60%** und mehr in der Nahrung ausmachen (mindestens 140g / Tag). Ein erhöhter Bedarf entsteht bei körperlicher Arbeit. Bei Kohlenhydratmangel kommt es zu verminderter Leistungsfähigkeit, Stoffwechselstörungen, Untergewicht und Hypoglykämie.

Neben diesen, hauptsächlich für die Energieversorgung des Organismus notwendigen Grundstoffen, müssen mit der Nahrung lebensnotwendige organische Substanzen aufgenommen werden, die vom Körper selbst nicht, oder nur ungenügend synthetisiert werden können.

Das sind z.B. die **Vitamine**. Es wird unterschieden zwischen wasserlöslichen Stoffen wie Folsäure und Vitamin B und C, sowie fettlöslichen Vitaminen vom Typ A, E, K und D (entsteht in der Haut, angeregt durch UV-Licht).

Vitaminmangel:

- A Nachtblindheit , Wachstumsstörungen
- D Rachitis, Knochenwachstumsstörungen
- E Störungen des Muskelstoffwechsels und der Gefäßpermeabilität
- K Verzögerte Blutgerinnung, Spontanblutungen
- B Muskelatrophie, Ödeme, Herzinsuffizienz, Hauterkrankungen
- C Skorbut, Zahnfleischbluten, erhöhte Infektanfälligkeit.

Weitere wichtige Nahrungsbestandteile sind **Elektrolyte** wie Kalzium (Ca^{2+} , tägliche Menge 0,8-1g), Phosphat (P, tägliche Menge 1,2-1,6g), Magnesium (Mg^{2+} , tägliche Menge ~0,3g), Natrium (Na^+ , tägliche Menge ~0,55g) und Chlorid (Cl^- , tägliche Menge ~0,8g). Die beiden Letzteren werden in Form von Kochsalz (Natriumchlorid (NaCl)) bei uns leicht in viel zu großen Mengen aufgenommen. Das kann einen erhöhten Blutdruck fördern. Die Dosis sollte so nicht weit über 10g/Tag liegen!

Notwendig sind **Ballaststoffe** (Stoffe, die nicht verdaut werden können, aber die Peristaltik anregen). Auch benötigt der Organismus in geringen Mengen **Spurenelemente** wie z.B. Eisen, Jod und Fluor. Nicht zu vergessen sind **Gewürze**, die u.a. den Genuß steigern und den Appetit anregen.

Der Körper verliert unter normalen Umweltbedingungen ca. **2,5 l Wasser pro Tag** (s. dazu auch Teil B Temperaturregulation). Die Wiederaufnahme erfolgt einmal über die Nahrung (ca. 1 l), über Getränke (ca. 1,25 l) und etwa 0,25 l entstehen im Körper bei der Nahrungsverbrennung als Oxydationswasser.

3.6.1 Regulation der Nahrungsaufnahme

Für die Homöostase von Anabolismus (Substanzaufbau) und Katabolismus (Substanzabbau) ist eine Regulation der Nahrungsaufnahme notwendig.

Der Zellstoffwechsel steht kontinuierlich unter dem Einfluß hormoneller und zentralnervöser Regulation und ist so von der Funktion endokriner Drüsen bzw. des vegetativen Nervensystems abhängig. Die Hormone des Nebennierenmarks (Noradrenalin und Adrenalin) und der Schilddrüse (Thyroxin) beeinflussen Energieproduktion und Stoffwechselumsatz.

Die nervalen „Zentren“ für die Nahrungsregulation (Hunger) liegen gemeinsam mit den Zentren für die Temperaturregulation und für die Regulation des Salz- und Wasserhaushalts (Durst) im vorderen Bereich des Hypothalamus. Dieser Bereich ist auch maßgeblich an der trophotropen, parasymphathischen Funktionseinstellung des Organismus beteiligt. Enge Verbindungen zu übergeordneten Strukturen, dem limbischen System (u.a. Entstehungsort der Emotionen), vermittelt bewußten Antrieb (Lust) beim Essen und beeinflusst die Nahrungsaufnahme durch Geruch und Geschmack der Speisen (Qualität). Verbindungen zu nervalen Strukturen wie Pons und Medulla oblongata (Zentren für Nahrungsaufnahme, Verdauung, Kauen, Niesen, Husten, sowie der Atmung- und Herz- Kreislaufregulation) schließen diesen komplexen Regulationsmechanismus.

3.6.2 Fehlernährung

In der westlichen Welt gibt es heute selten Mangelernährung oder Unterernährung. Viel häufiger findet man Symptome der übermäßigen und unausgewogenen (s.3.6) Nahrungszufuhr, mit der Folge von **Adipositas** (Fettsucht). Bei einem BMI > 27 spricht man von Übergewicht, ein BMI > 30 wird Adipositas angenommen.

Allerdings bedeutet **Übergewicht nicht immer gleich Fettsucht**. Ursachen von Übergewicht können auch vermehrter Wassergehalt (Ödeme), vermehrte Muskelmasse oder breiter Körperbau sein. (s.a. Kapitel 1 und 2.)

Durch die Adipositas entwickeln sich zwei charakteristische Körperformen, die vereinfachend als Apfelform (**androide Adipositas**) oder als Birnenform (**gynoid Adipositas**) bezeichnet werden.

Die gynoid Form, die häufiger bei Frauen anzutreffen ist, wird als nicht so gesundheitsgefährdend angesehen. Die androide Form der Fettsucht birgt dagegen ein hohes Gesundheitsrisiko. Es kommt z.B. zur Entwicklung von Gicht, Hypervitaminosen, Wasser- und Elektrolytintoxikationen. Es entstehen Hyperlipoproteinämie, Gefäßerkrankungen, Hypertonie, Arteriosklerose, **Diabetes Typ II**.

Diese Erkrankungen, die einzeln oder in Kombination auftreten, werden unter dem Begriff „**metabolisches Syndrom**“ zusammengefaßt.