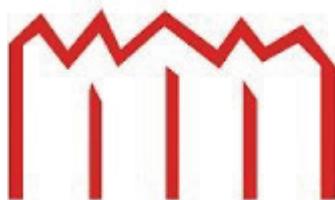


# **Vergleich gemessener Ruheenergieumsatz mit berechnetem Ruheenergieumsatz am Beispiel heimparenteral ernährter Patienten**

## **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Science im Fach Diätetik

**Hochschule Neubrandenburg**



Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften  
Studiengang Diätetik

Eingereicht von: **Julienne Thieme**

1. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Luzia Valentini  
2. Gutachter: Dr. med. Dipl. oec. med. Jens-Peter Keil

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2016 – 0083 - 6

Neubrandenburg, den 17. August 2016

# INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis .....	ii
Darstellungsverzeichnis .....	iv
Abkürzungsverzeichnis .....	vi
Abstrakt (deutsch) .....	vii
Abstract (englisch) .....	viii
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
2.1 Historischer Abriss des Energiestoffwechsels .....	3
2.2 Energiehaushalt .....	4
2.2.1 Energie und Nährstoffe .....	4
2.2.2 Brennwert der Makronährstoffe .....	5
2.2.3 Komponenten des Energiebedarfs .....	6
2.3 Methoden zur Bestimmung des Gesamtenergiebedarfs .....	8
2.3.1 Kalorimetrie .....	8
2.3.2 Formeln zur Berechnung des Grundumsatzes .....	10
2.3.3 Bedeutung der Bestimmung des Energiebedarfs .....	11
2.4 Künstliche Ernährung .....	12
2.4.1 Geschichte der künstlichen Ernährung .....	12
2.4.2 Formen der künstlichen Ernährung .....	13
2.4.3 Bedeutung der künstlichen Ernährung bei Tumorpatienten .....	14
<b>3 Methoden .....</b>	<b>16</b>
3.1 Beschreibung der Stichprobe .....	16
3.2 Vorbereitung der indirekten Kalorimetrie .....	17
3.3 Messung über Indirekte Kalorimetrie .....	17
3.4 Untersuchungsablauf .....	19
3.5 Datenanalyse .....	21

<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>22</b>
4.1 Die Fallbeispiele .....	22
4.2 Gebündelte Fallserie .....	49
<b>5 Diskussion .....</b>	<b>54</b>
<b>6 Schlussfolgerung .....</b>	<b>57</b>
Literatur- und Quellenverzeichnis .....	58
Anhang .....	61

# DARSTELLUNGSVERZEICHNIS

<u>Darstellung 1:</u> .....	5
Energiegehalt der einzelnen Energiesubstrate.	
<u>Darstellung 2:</u> .....	61
BMR-Faktoren zur Erhebung des Grundumsatzes für Frauen in kcal/kg KG/Tag.	
<u>Darstellung 3:</u> .....	61
BMR-Faktoren zur Erhebung des Grundumsatzes für Männer in kcal/kg KG/Tag.	
<u>Darstellung 4:</u> .....	18
Canopy-Haube.	
<u>Darstellung 5:</u> .....	62
Gerätewagen mit der Quark RMR Einheit, Monitor und Patient mit Canopy-Haube.	
<u>Darstellung 6:</u> .....	44
Patientencharakteristik.	
<u>Darstellung 7:</u> .....	44
Grundumsatz in kcal/d der ausgewählten 17 Patienten.	
<u>Darstellung 8:</u> .....	46
Vergleich zwischen berechneten RMR-Werten und Messwert.	
<u>Darstellung 9:</u> .....	46
Gemessene Werte für den Ruheenergieumsatz in kcal/kg Körpergewicht/Tag.	
<u>Darstellung 10:</u> .....	47
BMI aller Fälle in kg/m <sup>2</sup> .	
<u>Darstellung 11:</u> .....	47
Bland-Altman-Plot.	
<u>Darstellung 12:</u> .....	48
Bland-Altman-Plot.	
<u>Darstellung 13:</u> .....	48
Vergleich zwischen gemessenen und mit BMR-Faktoren berechneten Ruheenergieumsatz.	
<u>Darstellung 14:</u> .....	49
Bland-Altman-Plot.	

<u>Darstellung 15:</u> .....	49
Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR nach der Harris-Benedict-Formel mit und ohne Korrekturfaktor bei 3 Patienten mit extrem niedrigem BMI.	
<u>Darstellung 16:</u> .....	50
Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR mit BMR-Faktoren mit und ohne Korrekturfaktor bei 3 Patienten mit extrem niedrigem BMI.	
<u>Darstellung 17:</u> .....	50
Abweichung der errechneten Werte nach der Harris-Benedict-Formel (korrigiert) und der errechneten Werte mit BMR-Faktoren (korrigiert) zu den mittels IC gemessenen Werten des RMR bei 3 Patienten mit extrem niedrigem BMI.	
<u>Darstellung 18:</u> .....	51
Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR nach der Harris-Benedict-Formel mit und ohne Korrekturfaktor bei 12 Patienten mit einem BMI im oberen Untergewichtsbereich bis zum Übergewichtsbereich.	
<u>Darstellung 19:</u> .....	51
Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR mit BMR-Faktoren mit und ohne Korrekturfaktor bei 12 Patienten mit einem BMI im oberen Untergewichtsbereich bis zum Übergewichtsbereich.	
<u>Darstellung 20:</u> .....	52
Abweichung der errechneten Werte nach der Harris-Benedict-Formel (korrigiert) und der errechneten Werte mit BMR-Faktoren (korrigiert) zu den mittels IC gemessenen Werten des RMR bei 12 Patienten mit einem BMI im oberen Untergewichtsbereich bis zum Übergewichtsbereich.	
<u>Darstellung 21:</u> .....	52
Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR nach der Harris-Benedict-Formel mit und ohne Korrekturfaktor bei 2 Patienten mit einem $BMI > 30 \text{ kg/m}^2$ .	
<u>Darstellung 22:</u> .....	53
Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR mit BMR-Faktoren mit und ohne Korrekturfaktor bei 2 Patienten mit einem $BMI > 30 \text{ kg/m}^2$ .	
<u>Darstellung 23:</u> .....	53
Abweichung der errechneten Werte nach der Harris-Benedict-Formel (korrigiert) und der errechneten Werte mit BMR-Faktoren (korrigiert) zu den mittels IC gemessenen Werten des RMR bei 2 Patienten mit einem $BMI > 30 \text{ kg/m}^2$ .	

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

KJ	Kilojoule
J	Joule
MJ	Megajoule
kcal	Kilokalorie
TEE	Gesamtenergiebedarf (engl.: <u>total energy expenditure</u> )
BMR	Grundumsatz (engl.: <u>basal metabolic rate</u> )
GU/RMR	Grundumsatz (engl.: <u>resting metabolic rate</u> )
REE	Ruheenergieumsatz (engl.: <u>resting energy expenditure</u> )
LU	Leistungsumsatz
NIT	Nahrungsinduzierte Thermogenese
RQ	Respiratorischer Quotient
VO <sub>2</sub>	Sauerstoffaufnahme
VCO <sub>2</sub>	Kohlendioxidabgabe
PAL	Aktivitätsfaktor (engl.: <u>physical activity level</u> )
IC	Indirekte Kalorimetrie
AKE	Arbeitsgemeinschaft für klinische Ernährung
EE	Enterale Ernährung
PE	Parenterale Ernährung
TPE	totale parenterale Ernährung
HEE	Heimenterale Ernährung
HPE	Heimparenterale Ernährung
BMI	Body-Mass-Index

# ABSTRAKT (DEUTSCH)

## Hintergrund:

Für stationäre Patienten stellt die Mangelernährung einen unabhängigen Risikofaktor für eine schlechtere Therapietoleranz, verminderte Lebensqualität sowie eine schlechtere Prognose dar. Aus diesem Grund ist eine frühzeitige und konsequente Ernährungstherapie besonders bei Patienten mit onkologischen Erkrankungen von großer Wichtigkeit. Dabei ist die genaue Ermittlung des Grundumsatzes bedeutend.

## Ziel:

Das Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit war es, einen Vergleich von berechneten und gemessenen Ruheenergieumsatzwerten bei einer Gruppe heimparenteral ernährter Patienten durchzuführen.

## Methoden:

Es wurde bei 21 Patienten zur Vorbereitung für die heimparenterale Ernährung eine Messung des Ruheenergieumsatzes routinemäßig mittels indirekter Kalorimetrie (Cosmed Quark RMR, Rom, Italien) durchgeführt. Um einen Vergleichswert zu erhalten, wurde der Ruheenergieumsatz mit der Harris-Benedict-Formel und nach BMR-Faktoren berechnet. Anschließend folgte eine statistische Datenanalyse der Ruheenergieumsatzwerte.

## Resultate:

In die Studie eingeschlossen waren 17 vorwiegend onkologische Patienten im Alter zwischen 32 und 87 Jahren. Der gemessene Ruheenergieumsatz lag bei  $1688 \pm 386$  kcal pro Tag. Der nach Harris und Benedict berechnete Ruheenergieumsatz betrug  $1324 \pm 260$  kcal pro Tag. Unter Anwendung der BMR-Faktoren lag der berechnete Ruheenergieumsatz bei  $1256 \pm 266$  kcal pro Tag. Es konnte ein statistisch signifikanter Unterschied beim Vergleich der Messmethoden festgestellt werden. Ein systematischer Zusammenhang konnte nicht bestimmt werden. Die Differenzen zwischen Messung und den über Schätzformeln berechneten Werten variierten zwischen + 645 und - 817 kcal pro Tag.

## Zusammenfassung:

Aufgrund der großen Abweichungen bei der Berechnung des Grundumsatzes scheint bei Patienten, welche eine heimparentale Ernährung erhalten, die Anwendung von Schätzformeln ungeeignet. Die Messung des Grundumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie ist für diese Patienten zu empfehlen.

## ABSTRACT (ENGLISCH)

### Background:

Results indicate that patients with malnutrition have a reduced tolerance for therapy as well as a decreased quality of life. Early and consistent nutritional therapy is important, especially for patients with oncological illness. Besides, the exact determination of the basal metabolism is important.

### Aim:

The aim of this bachelor thesis was to measure, predict and compare the amount of resting energy expenditure (REE) in a group of patients requiring home parenteral nutrition.

### Methods:

An indirect calorimetry (Cosmed Quark RMR, Rom, Italien) to measure the amount of resting energy expended, was carried out in 21 patients requiring home parenteral nutrition. Baseline resting energy expenditure was predicted using the Harris' Benedict equations and BMR-factors. A statistical data analysis was then completed, comparing the predicted resting energy expenditure vs actual resting energy expenditure from the patients being evaluated.

### Results:

The study consisted of 17 oncological patients between the ages of 32 and 87 years. Predictions using the Harris and Benedict resting energy expenditure calculations lay with  $1324 \pm 260$  kcal per day and after applying BMR factors, the predicted resting energy expenditure lay with  $1256 \pm 266$  kcal per day. The patient's actual resting energy expenditure lay with  $1688 \pm 386$  kcal per day.

The differences between the predicted and actual resting energy expenditure values vary + 645 to - 817 kcal per day. A significant difference was determined when comparing the two methods; however no systematic relationship could be determined.

### Summary:

Due to the large deviations between the predicted and actual resting energy expenditure in patients requiring home parenteral nutrition, measuring the resting energy expenditure by indirect calorimetry is recommended.

# 1 EINLEITUNG

*„Lasst Nahrung eure Medizin sein  
und Medizin eure Nahrung“*

(Hippokrates, 460 v.Chr.)

Ernährung ist für den menschlichen Organismus essentiell. Ziel jeder Ernährung ist die Versorgung des Körpers mit Nährstoffen zur Aufrechterhaltung von Gesundheit und Wohlbefinden. In Form von Nahrungssubstraten wird dem Organismus eine individuelle Energiemenge zugeführt, welche direkt oder indirekt sämtliche physiologischen und biochemischen Prozesse bedingt.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Messung des Ruheenergieumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie bei Patienten, welche durch eine partielle heimparenterale Ernährung versorgt werden. Die Relevanz ergibt sich aus der Erkenntnis, dass es bei dieser Patientengruppe zu Veränderungen des Ruheenergieumsatzes kommen kann. Das Ausmaß dieser Veränderungen kann jedoch individuell unterschiedliche sein. Der aktuelle Ruheenergieumsatz kann je nach Krankheitsphase erhöht oder aber auch erniedrigt sein. Somit ist der individuell bestimmte Ruheenergieumsatz ein Parameter zur Verlaufskontrolle des Ernährungsstatus.

Der Bestimmung des Ruheenergieumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie wurde bei dieser Patientengruppe bisher wenig Aufmerksamkeit gewidmet, obwohl der aktuelle Energieumsatz von Patienten eine wichtige Größe für die Zielmenge der partiellen heimparenteralen Ernährung darstellt.

Im ersten Teil der Arbeit werden der Energiestoffwechsel des Menschen sowie verschiedene Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch beschrieben. Weiterhin werden Methoden zur Energiebedarfsermittlung vorgestellt. Dann folgen im zweiten Teil ein kurzer historischer Abriss der Entwicklung der künstlichen Ernährung und die Abbildung der verschiedenen Stufen der künstlichen Ernährung. Abschließend wird die Bedeutung der künstlichen Ernährung für Tumorpatienten betrachtet.

Um einen Vergleichsparameter zu den berechneten Ruheenergieumsatzwerten zu erhalten, wurde die Methode der indirekten Kalorimetrie mit Canopy-Dilution gewählt. Im Mittelpunkt des 3. Kapitels dieser Arbeit steht die Beschreibung der verwendeten Methode. Die Rekrutierung

der Probanden sowie der detaillierte Untersuchungsablauf werden ebenso beschrieben. Unter Anwendung verschiedener statistischer Analysemethoden erfolgt abschließend ein Vergleich der Ruheenergieumsatzwerte.

Das grundlegende Ziel der Arbeit war es, zu eruieren, ob sich bei heimparenteral ernährten überwiegend onkologischen Patienten der, durch Schätzformeln berechnete Ruheenergieumsatz, von dem durch Indirekte Kalorimetrie gemessenen Ruheenergieumsatz signifikant und systematisch unterscheidet.

Aufgrund der Ergebnisse kann dargelegt werden, ob in diesem Patientenkollektiv die standardisierte Schätzung des Ruheenergiebedarfes möglich ist oder ob die individuelle Messung des Ruhenergieumsatzes über Indirekte Kalorimetrie notwendig ist.

## 2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Nachstehend erfolgt ein kurzer historischer Abriss zur Entwicklung des Energiestoffwechsels. Es schließt sich dessen Beschreibung im menschlichen Körper sowie die Darstellung von ausgewählten Methoden zur Bestimmung des Energiebedarfs einer Person an. Der zweite Teil dieses Kapitels stellt die künstliche Ernährung vor und beschreibt die Bedeutung dieser Ernährungsform für Tumorpatienten.

### 2.1 Historischer Abriss des Energiestoffwechsels

Die Anfänge der Ernährungsphysiologie beziehungsweise der Ernährungsmedizin liegen annähernd 3000 Jahre zurück [1]. Bereits im 8. Jahrhundert v. Chr. wurde die Gesunderhaltung mit dem Ernährungsverhalten der Menschen in Zusammenhang gebracht. Eine ausgewogene Ernährung gehörte schon für den altgriechischen Philosophen und Arzt *Hippokrates* (460 bis 377 v. Chr.) zu einer ganzheitlichen gesundheitsbewahrenden Lebensführung. Außerdem erkannte er die Möglichkeit, Ernährung auch speziell als Krankheitstherapie einzusetzen [2].

Weitere 2000 Jahre später propagierte der Arzt und Naturforscher *Paracelsus* (1493 bis 1541) ein zurückhaltendes Ernährungsverhalten. Er beschäftigte sich erstmals mit der Verwertung der aufgenommenen Nahrung [1,3]. Erste Stoffwechselstudien führte einige Jahre später *Santorio* (1561 bis 1636), ein italienischer Arzt, durch. Die Befunde der Experimente waren die ersten Ergebnisse einer Langzeitstudie des menschlichen Stoffwechsels [3].

Im 18. Jahrhundert wurden erstmals qualitative Untersuchungen über die Verbrennung (Oxidation) von Nährstoffen durch den französischen Chemiker *Lavoisier* (1734 bis 1794) beschrieben. Er formulierte, wie mit Hilfe des respiratorischen Quotienten Verbrennungsvorgänge im Organismus beurteilt werden können [1]. In dieser Zeit begann auch die Erforschung der biochemischen Grundlagen der Ernährung. Die Einteilung der Nährstoffe in Proteine, Fette und Kohlenhydrate sowie die Aufklärung der Harnstoffsynthese beruhen auf Arbeiten des deutschen Chemikers *Justus von Liebig* (1803 bis 1873) und seines Schülers dem bayerischen Chemiker und Hygieniker *Max von Pettenkofer* (1818 bis 1901). Letzterer konstruierte zusammen mit dem deutschen Physiologen und Ernährungswissenschaftler *Carl von Voit* (1831 bis 1908) die erste Respirationskammer zur direkten Messung des Energieumsatzes beim Menschen [1,3].

Aufbauend auf den Arbeiten von *Pettenkofer* und *Voit* wies der deutsche Mediziner, Physiologe und Hygieniker *Max Rubner* (1854 bis 1932) nach, dass die Gültigkeit des

Gesetzes von der Erhaltung der Energie auch für lebende Organismen gilt [1]. Durch Untersuchungen am Respirationskalorimeter formulierte er das Gesetz der isodynamischen Wirkung von Nährstoffen im Energiestoffwechsel. Er übte damit einen großen Einfluss auf die Ernährungslehre aus und kann als Begründer der modernen Ernährungswissenschaft gesehen werden [1].

## 2.2 Energiehaushalt

Der Stoffwechsel oder auch Metabolismus, kennzeichnet die Gesamtheit der biochemischen Prozesse, welche im pflanzlichen, tierischen und menschlichem Organismus oder in dessen einzelnen Teilen ablaufen [4]. Im menschlichen Organismus ist der gesamte Stoffwechsel in verschiedene, auf komplexe Weise zusammenhängende Stoffwechselwege gegliedert. Allgemein kann man den Stoffwechsel nach der Zielrichtung in einen Anabolismus und einen Katabolismus unterteilen. Dabei findet im Anabolismus ein Aufbau chemischer Verbindungen und im Katabolismus ein Abbau zur Energieerzeugung oder Gewinnung von Bausteinen für andere chemische Verbindungen statt. Alle Vorgänge dienen dem Aufbau, Umbau und der Erhaltung der Körpersubstanz sowie der Aufrechterhaltung der Körperfunktionen [5,6].

Bestimmte Hormone und Stoffwechselprodukte steuern durch ihre Aktivität diese Vorgänge. Daraus definieren sich typische Stoffwechsellagen [7]. Eine typische Stoffwechsellage ist die Resorptionsphase direkt nach der Nahrungsaufnahme bei körperlicher Ruhe. Während dieser Phase aktiviert in erster Linie Insulin die Systeme, die zur Energiespeicherung nötig sind. Die Stoffwechsellage in der Postresorptionsphase bei körperlicher Ruhe nutzt die Energie aus den Energiespeichern. Dabei werden die Systeme durch Glukagon und Katecholamine geregelt. Außerdem wird auch für körperliche Aktivität die Energie aus den Energiespeichern gedeckt [7].

Anabole und katabole Stoffumwandlungen sind fest mit der Aufnahme oder Abgabe von Energie verbunden [7].

### 2.2.1 Energie und Nährstoffe

Da der menschliche Organismus energetisch gesehen ein labiles System darstellt, ist er auf eine regelmäßige Energiezufuhr angewiesen. Über die Nahrung werden in Form von Nahrungsmitteln die Makronährstoffe Kohlenhydrate, Fette und Proteine aufgenommen [8]. Dabei spielen die Verfügbarkeit essenzieller Nahrungskomponenten sowie die Verdaulichkeit und Resorbierbarkeit der Nahrung eine wichtige Rolle [5]. Die meisten Bestandteile der Makronährstoffe sind nicht-essenziell [5]. Dagegen sind einige Aminosäuren und Fettsäuren essenziell und müssen mit der Nahrung zugeführt werden [5]. Abgesehen von den

Makronährstoffen müssen für den reibungslosen Ablauf unseres Stoffwechsels auch genügend Vitamine und Spurenelemente über die Nahrung aufgenommen werden [5].

## 2.2.2 Brennwert der Makronährstoffe

Der physiologische Brennwert (Energiegehalt) bezeichnet den Betrag an chemischer Bindungsenergie, der beim Stoffwechsel im Körper beim vollständigen oxidativen Abbau der Nährstoffe gewonnen wird [7]. Der physikalische Brennwert hingegen wird durch die Verbrennung im Kalorimeter ermittelt [8].

### Darstellung 1:

*Energiegehalt der einzelnen Energiesubstrate.*

Nährstoff	physikalischer Brennwert	physiologischer Brennwert
	kcal/g	kcal/g
Kohlenhydrate	4,1	4,1
Fette	9,3	9,3
Proteine	5,4	4,1

Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Mittelwerte [8].

Im menschlichen Stoffwechsel ist die nutzbare Energie der physiologische Brennwert, der bei der Kohlenhydrat- und Fettverbrennung entsteht gleich dem physikalischen Brennwert (siehe Darstellung 1).

Das trifft jedoch nicht für Proteine zu, denn bei ihrer physiologischen Umsetzung wird für die Ausscheidung des Stickstoffanteils Energie für die Harnstoffsynthese benötigt. Außerdem werden einige Proteinbausteine direkt über den Harn ausgeschieden. Das hat zur Folge, dass der physiologische Brennwert der Proteine geringer ist als der physikalische Brennwert [5].

Nach Einführung der SI-Einheiten ist die Maßeinheit für Energie das Kilojoule (kJ) [9].

- Ein Joule (J) entspricht der Energie, die aufgewendet werden muss, um 1 Kilogramm mit der Kraft von 1 Newton 1 Meter zu bewegen.
- Ein KJ sind  $10^3$  J, ein Megajoule (MJ) sind  $10^6$  J oder  $10^8$  KJ.

Die Maßeinheit Kilojoule hat die ältere Einheit der Energie die Kilokalorie (kcal) ersetzt.

- 1 kcal entspricht der Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 kg Wasser um  $1^\circ$  C zu erwärmen.

Im Alltag erfolgt meist die Angabe der Energie in kcal. Dabei besteht folgende Beziehung zwischen KJ und kcal:

- 1 kcal entspricht 4,184 KJ oder
- 1 KJ entspricht 0,239 kcal [9].

Die Speicherung der auf dem Weg der physiologischen Verbrennung gewonnenen Energie erfolgt in Form energiereicher Phosphate zum Beispiel Adenosintriphosphat (ATP) [10].

### **2.2.3 Komponenten des Energiebedarfes**

Die Umwandlung der Energie aus den Nahrungsstoffen in körpereigene Energieformen dient der Synthese von Körpersubstanz. Sie wird zur Verrichtung mechanischer Arbeit sowie zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur [11] benötigt. Alle energieverbrauchenden und energieerzeugenden Reaktionen ergeben in der Summe, angegeben als Wärmeeinheit (Kilokalorie, kcal), den Gesamtenergiebedarf einer Person.

Der Gesamtenergiebedarf GEB (engl.: total energy expenditure = TEE) bezeichnet die innerhalb von 24 Stunden insgesamt umgesetzte Energie eines Organismus [12]. Der Gesamtenergiebedarf setzt sich im Wesentlichen aus drei Komponenten zusammen:

- Grundumsatz GU (engl.: basal metabolic rate = BMR)
- Leistungsumsatz LU (engl.: requirement for physical activity, E)
- Nahrungsinduzierte Thermogenese NIT (engl.: dietary induced thermogeneses = DIT)

#### Grundumsatz

Der GU ist die erforderliche Energiemenge für die Aufrechterhaltung aller lebensnotwendigen Körperfunktionen. Diese Energiemenge entspricht etwa 50 bis 75 Prozent der mit der Nahrung aufgenommenen Energie [13].

Der Grundumsatz ist nicht bei jedem Menschen gleich. Wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Grundumsatzes haben die nachfolgend genannten Faktoren:

- *Körperzusammensetzung:*

Der menschliche Körper setzt sich aus verschiedenen Gewebearten und Organen zusammen. Es besteht ein organspezifischer Grundumsatz. Dabei weisen Herz, Nieren, Gehirn und Leber mit ihrem biologisch aktiven Gewebe einen hohen (60%) Anteil am Grundumsatz auf. Fettgewebe und Muskelgewebe verbrauchen deutlich weniger Energie [14]. Der GU steht in enger Verbindung mit der fettfreien Körpermasse. Sie beträgt bei einem normalen Body-Mass-Index (BMI) bei Frauen ca. 75% und bei Männern 80% des Körbergewichts [15].

- *Geschlecht:*

Männer haben einen ca. 5% [15] höheren Grundumsatz als Frauen. Männer weisen einen ca. 10% höheren Muskelanteil und einen geringeren Fettgewebeanteil als Frauen auf. Grundumsatzschwankungen treten bei Frauen während dem Zyklus auf. Ein deutlicher Anstieg des Grundumsatzes ist während einer Schwangerschaft zu beobachten. Im zweiten und dritten Trimenon der Schwangerschaft werden täglich 300 kcal zusätzlich benötigt [16].

- *Alter:*

Mit zunehmendem Alter nimmt der Grundumsatz ab, weil die Stoffwechselvorgänge verlangsamt ablaufen und die Muskelkraft nachlässt [8]. Bis zum jungen Erwachsenenalter (23 Jahre) nimmt die Muskelmasse zu und erreicht ihr Maximum. Bis zum 55. Lebensjahr nimmt die Muskelmasse kontinuierlich wieder ab, danach sogar im beschleunigten Maße. Nach dem 75. Lebensjahr kann der Gesamtverlust an Muskelmasse 25 – 35% betragen [15].

- *Körpergröße und Körpergewicht:*

Größe und Gewicht beeinflussen die Höhe des Grundumsatzes, weil mehr Masse und mehr stoffwechselaktives Gewebe vorhanden ist. Des Weiteren nimmt mit Größe und Gewicht die Körperoberfläche zu, was einen energetischen Mehraufwand für die Regulierung der Körpertemperatur bedeutet [8].

- *Erkrankungen:*

Zum Beispiel entstehen durch Fehlfunktionen der Schilddrüse Veränderungen im Hormonhaushalt und daraus resultieren Veränderungen im Grundumsatz. Bei der Überaktivität der Schilddrüse ist der Grundumsatz gesteigert, bei ihrer Unteraktivität sinkt der Grundumsatz [8]. Bei körperlichen Stresssituationen wie Verletzungen, Infektionen oder Fieber kommt es zur Erhöhung des Katecholaminspiegels.

Durch die stärkere Wärmeproduktion bei Fieber, erhöht sich der Energieumsatz. Bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um 1°C steigt dieser um etwa 13% [14].

Die meisten Erkrankungen bedingen einen höheren Grundumsatz aufgrund der vermehrten Bildung von Cytokinen und deren Einfluss auf das Immunsystem und den Intermediärstoffwechsel [11].

Der GU wird unter ganz genau definierten Bedingungen kalorimetrisch gemessen [7]:

- Morgens vor dem Aufstehen, im Liegen bei völliger körperlicher Ruhe und entspannter Muskulatur.
- Im postabsorptiven Stadium, das heißt 12 bis 24 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme.
- In einer thermoneutralen Umgebung bei einer Indifferenztemperatur von 20° C.

Aufgrund dieser schwer einzuhaltenden Bedingungen wird in der Praxis oft der Ruheenergieumsatz (engl.: resting energy expenditure = REE oder engl.: resting metabolic rate = RMR) bestimmt. Er liegt maximal 10 Prozent über dem Grundumsatz [8].

### Leistungsumsatz

Der Leistungsumsatz (LU) ist die Energie, die der Organismus für körperliche Aktivität sowie für besondere physiologische Leistungen, z.B. während des Wachstums im Kindes- und Jugendalter zusätzlich aufbringen muss. In Abhängigkeit von Dauer, Intensität und Art der körperlichen Aktivität ist der Leistungsumsatz individuell verschieden und kann zwischen 15 und 40 Prozent des Energiebedarfs ausmachen [8,14]. Angegeben wird der Leistungsumsatz als Aktivitätsfaktor (engl.: Physical Activity Level = PAL). Der PAL-Wert beträgt für die Durchschnittsbevölkerung mit eher geringerer körperlicher Aktivität 1,4 – 1,5 [14]. Bei bettlägerigen Patienten beträgt der PAL-Wert 1,2 [14].

### Nahrungsinduzierte Thermogenese

Weitere 5 bis 10 Prozent des Energiebedarfs stehen für die nahrungsinduzierte Thermogenese (NIT) bereit [8]. Sie wird durch die mit der Nahrung zugeführten Makronährstoffe bestimmt. Bei eiweißreicher Ernährung erreicht die NIT höhere Werte (20%) als bei kohlenhydratreicher (7-10%) oder fettreicher (3%) Ernährung [10].

## **2.3 Methoden zur Bestimmung des Gesamtenergiebedarfs**

Der Energiebedarf eines Menschen kann entweder mit speziellen Apparaturen und Messgeräten gemessen oder mit Hilfe verschiedener Berechnungsformeln (Schätzungsformeln) mathematisch berechnet werden.

### **2.3.1 Kalorimetrie**

Die Kalorimetrie bezeichnet die Messung von Wärmemengen, die an biologische, chemische oder physikalische Vorgänge gekoppelt sind. Für die Bestimmung wird ein Messgerät oder eine spezielle Apparatur verwendet, das Kalorimeter. Je nach Messprinzip unterscheidet man zwischen direkter und indirekter Kalorimetrie. Mittels Kalorimetrie erfolgt die Bestimmung des Energiegehalts und/oder des Brennwertes einer Substanz und/oder eines Nahrungsmittel oder des Energieumsatzes von Personen [16].

#### Direkte Kalorimetrie

Eine direkte Kalorimetrie ist die Messung der Wärmeabgabe von Zellen, Geweben oder Gesamtkörpern in einem Kalorimeter.

Allgemein kann der Substratstoffwechsel des menschlichen Organismus mit folgender Gleichung dargestellt werden:



Bei der direkten Kalorimetrie nimmt man an, dass die gesamte Energie, die bei metabolischen Prozessen im Körper entsteht, am Ende als Wärme an die Umwelt abgegeben wird. Damit kann die metabolische Arbeit der gemessenen Wärmeabgabe gleich gestellt werden.

Für Untersuchungen am Menschen stehen sogenannte Stoffwechselkammern zur Verfügung. Sie sind meist mit einem Ess-, Schlaf-, und Arbeitsbereich sowie einem Ergometer ausgestattet. Mit Hilfe von elektronischen Temperatursonden können so die abgegebenen Wärmemengen bei verschiedenen Aktivitäten erfasst werden. Aufgrund der Größe der Vorrichtung sowie der hohen Anschaffungskosten sind Raumkalorimeter sehr selten und bleiben damit fast ausschließlich Forschungseinrichtungen vorbehalten [17].

### Indirekte Kalorimetrie

Die Indirekte Kalorimetrie (IC) bestimmt den aktuellen Energieumsatz einer Person, durch die Messung der Sauerstoffaufnahme und die Messung der Kohlendioxidabgabe [10]. Dafür müssen während der Messung bestimmte standardisierte Messbedingungen eingehalten werden [10]. Eine Nahrungskarenz von 12 Stunden, bei künstlicher Ernährung von 5 Stunden ist einzuhalten. Die Messung erfolgt bei einer Raumtemperatur von 20-25°C in liegender Körperposition.

Bei der indirekten Kalorimetrie wird der Energieumsatz aus der Messung der Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) und der Kohlendioxidabgabe ( $\text{VCO}_2$ ) errechnet. Die Berechnung folgt den Erkenntnissen von Weir (1948).

Formel nach Weir [18]:

$$\text{Energieumsatz (kcal/d)} = [ 3,941 \times \text{VO}_2 \text{ (ml/min)} + 1,106 \times \text{VCO}_2 \text{ (ml/min)} ] \times 1,44$$

Die Oxidation unterschiedlicher Nährstoffe verbraucht verschiedene Mengen an Sauerstoff und produziert unterschiedliche Mengen Kohlenstoffdioxid. Somit lässt der Quotient dieser

Werte (Respiratorischer Quotient, RQ), unter bestimmten Umständen Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Ausgangssubstrate zu.

Der Berechnung des RQ liegt folgende Formel zugrunde:

$$RQ = VCO_2 \text{ (ml/min)} / VO_2 \text{ (ml/min)}$$

Die Geräte zur indirekten Kalorimetrie Messung erfassen kontinuierlich und nicht invasiv den respiratorischen Gasaustausch. Dies kann über ein Mundstück, eine Atemmaske oder über eine Atemhaube erfolgen. Heute stellt die Dilutionsmethode unter Anwendung einer Atemhaube den Goldstandard bei der Messung des GU dar.

### **2.3.2 Formeln zur Berechnung des Grundumsatzes**

Es existieren zahlreiche Formeln für die Energiebedarfsberechnung des menschlichen Körpers.

Dabei fließen Variablen, wie Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht und Körperoberfläche in die Berechnungen ein. Die Berechnungsformeln können aufgrund verschiedenster Einflussfaktoren nur eine Näherung darstellen.

#### Harris-Benedict-Formel

Die Formel von Harris und Benedict aus dem Jahr 1919 berücksichtigt folgende Einflussfaktoren: Geschlecht, Alter, Körpergröße und Körpergewicht [10].

*Grundumsatz bei Frauen (kcal/Tag):*

- $655,1 + (9,6 \times \text{Körpergewicht [kg]}) + (1,85 \times \text{Körpergröße [cm]}) - (4,68 \times \text{Alter [Jahre]})$

*Grundumsatz bei Männern (kcal/Tag):*

- $66,47 + (13,75 \times \text{Körpergewicht [kg]}) + (5 \times \text{Körpergröße [cm]}) - (6,76 \times \text{Alter [Jahre]})$  [10].

Auch wenn methodisch einige Schwächen auffallen (kleine Grundpopulation, überwiegend junge Probanden, normalgewichtige Grundpopulation, systematische Überschätzung bei Frauen von ca. 5%), ist die Formel validiert für Menschen bis zu einem Alter von 90 Jahren. Jedoch sollte man bedenken, dass die Untersuchungsergebnisse aus dem Jahr 1919 stammen. Die Konstitution der Bevölkerung war damals eine andere als in der heutigen Zeit [12].

### Bestimmung Grundumsatz nach Grundumsatzfaktoren (BMR-Faktoren)

Unter Berücksichtigung des Geschlechts, des Alters sowie des Body-Mass-Index (BMI) eines Menschen ergeben sich BMR-Faktoren (Darstellung 2 und 3 im Anhang) [14]. Der Grundumsatz wird durch die Multiplikation des aktuellen Körpergewichts mit dem jeweiligen BMR-Faktor errechnet. Die Grundumsatzfaktoren (BMR-Faktoren) sind von der Österreichischen Gesellschaft für klinische Ernährung (AKE) tabellarisch in den „*AKE Empfehlungen für die enterale und parenterale Ernährungstherapie des Erwachsenen*“ veröffentlicht worden [19].

### Berechnung des Standardenergieumsatzes

Die vorher beschriebenen Formeln sind meist für den Praxisalltag zu komplex, deshalb erfolgt in der Praxis häufig eine Energiebedarfsschätzung über Faustregeln.

Als grobe Richtwerte für den Ruheenergieumsatz [12] gelten:

- 20 bis 30 Jahre: 25 kcal/kg KG/d
- 30 bis 70 Jahre: 22,5 kcal/kg KG/d
- über 70 Jahre: 20 kcal/kg KG/d [12].

Der Gesamtenergiebedarf einer Person setzt sich aus dem Grundumsatz und dem Leistungsumsatz zusammen.

Zur Berechnung des Gesamtenergiebedarfes wird auch die durch körperliche Aktivität zusätzlich benötigte Energie einbezogen. Dieser Aktivitätsfaktor (engl.: physical activity level, PAL) richtet sich nach der Schwere und Dauer der jeweiligen körperlichen Belastung. Für Menschen mit einer Erkrankung wird zur Berechnung des Gesamtenergiebedarfs der Grundumsatz mit einem Faktor entsprechend der Krankheitsphase multipliziert [20].

### **2.3.3 Bedeutung der Bestimmung des Energiebedarfs**

Die Ermittlung des aktuellen Energiebedarfes ist erforderlich, um die individuell notwendige Kalorienmenge zu bestimmen. Unter normalen Lebensbedingungen kommt es weder zu einer Zu- oder Abnahme körpereigener Ressourcen. Durch bestimmte Erkrankungen oder komplizierte Krankheitsverläufe können diese normalen Bedingungen jedoch gestört werden und es kommt zu Veränderungen des Ernährungsstatus [11].

Eine nicht bedarfsgerechte Ernährung hat unweigerlich Auswirkungen auf Mortalität und Morbidität. Bei Patienten mit künstlicher Ernährung kommt somit der Bestimmung des Kalorienbedarfes eine besondere Bedeutung zu [17].

## 2.4 Künstliche Ernährung

Die künstliche Ernährung stellt unter Einsatz medizinischer Hilfsmittel die Versorgung von Patienten mit Nährstoffen dar, die ihren notwendigen Energiebedarf durch orale Ernährung nicht, oder nicht ausreichend decken können [16].

### 2.4.1 Geschichte der künstlichen Ernährung

Der römische Enzyklopädist *Aulus Cornelius Celsus* (25 v.Chr. bis 50 n.Chr.) empfahl in seinem Buch „*De medicinia*“ bereits 30 n.Chr. erste Anwendungshinweise, Indikationen und Kontraindikationen von Klistieren. So sollte in Fällen von Kachexie die rektale Applikation von Gerstenschleim, Milch, geschmolzenem Fett, Butter, Olivenöl, Rosenöl, Knochenmark, Leinsamen, Eiweiß und Eigelb mittels eines Nährklistiers erfolgen [3].

Den Schriften des byzantinischen Arztes *Oribasius von Pergamon* (325 bis 403) ist zu entnehmen, dass einige Individuen eine Aversion gegen bestimmte Nahrungsmittel hätten und deshalb Gefahr liefern, zu entkräften. Aus diesem Grund sollte ihnen ein nährendes Klistier, welches sich aus abgekochten passierten Gerstengraupen, Weizen, Mehlabrei oder ähnlichen Substanzen zusammensetzte, verabreicht werden. Damit die Spülung möglichst weit den Darm hinauf gelangen konnte, sollte sie besonders kraftvoll sein und die Kanüle extra lang [3].

Der muslimische Physiker, Arzt und Gelehrte *Avenzoar* (1126 bis 1162) gilt als Vater der experimentellen Chirurgie. Er beschäftigte sich außerdem mit der Frage der Resorption der Nahrungsbestandteile und war der Meinung, dass mit Gewalt eingeführte Nahrung niemals in den Magen aufsteigen würde. Er applizierte deshalb Milch und Haferschleim über eine in den Rachenraum eingeführte silberne Nadel [3].

Den Grundstein für die ersten Entwicklungen zur parenteralen Ernährung legte der englische Arzt und Anatom *William Harvey* im Jahr 1628 mit der Entdeckung des Blutkreislaufes. Er eröffnete damit erstmals die Möglichkeit, dem Körper Stoffe über das Blut zuzuführen [1].

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts eröffnete die Verwendung von Polyethylen-Kathetern die Möglichkeit zur längerfristigen Infusionstherapie. [21]. Zunächst wurden die Katheter in eine periphere Vene gelegt, damit war der Prototyp aller heute verfügbaren Venenverweilkanülen geschaffen [22].

Im Jahr 1952 entwickelte der Schwede *Sven Ivar Seldinger* (1921-1998) die heutige Standartmethode, das Vorschieben eines zentralen Venenkatheters über einen Seldingerdraht [22].

Der Arzt *John W. Broviac* entwickelte 1973 einen Siliconkatheter. Der Pädiater und Nephrologe *Robert O. Hickman* entwickelte 1979 durch die Erweiterung des Innendurchmessers und die Entwicklung zweilumiger - Versionen das Design des Katheters weiter [22]. Damit waren die Voraussetzungen für eine langfristige parenterale Ernährung geschaffen. Diese Katheter zeichnen sich durch eine lange Liegedauer und eine geringe Infektionsrate aus.

Im Jahr 1982 publizierten *Niederhuber* et. al. [23] über einen vollständig implantierbaren Katheter mit einer Injektionskammer, welcher heute als Port-Katheter-System benutzt wird. Die parenterale Ernährungstherapie stellt heute einen unabdingbaren Bestandteil bei der Behandlung von vielen schweren Erkrankungen dar. Sie ist Teil eines Gesamtbehandlungskonzeptes für die Patienten [21].

#### **2.4.2 Formen der künstlichen Ernährung**

Die künstliche Ernährung ist eine medizinisch indizierte Maßnahme, welche unter Einsatz medizinischer Hilfsmittel zur Wiederherstellung beziehungsweise zur Aufrechterhaltung der Gesundheit und Lebensqualität der Betroffenen dient [16]. Die Nährstoffzufuhr kann enteral über eine Sonde erfolgen oder direkt in die Blutbahn infundiert werden [11].

Dabei gilt es zu beachten, dass erst wenn es durch Einsatz diätetischer Möglichkeiten nicht gelingt, den täglichen Bedarf eines Patienten an Flüssigkeit und Nährstoffen ausreichend zu decken, die künstliche Ernährung angezeigt ist [24].

Um die individuelle Kalorienzufuhr eines Patienten zu ermöglichen, kann die künstliche Ernährung ergänzend zur oralen Kost, in Form einer gezielten Supplementierung von Energie oder einzelnen Nährstoffen erfolgen [25]. Die orale Supplementierung erfolgt zum Beispiel durch angereicherte Lebensmittel, durch den Einsatz von Trinknahrung oder Zusatznahrung.

Bei der Stufe der enteralen Ernährung (EE) erfolgt die Zufuhr der Nährstoffe über eine Magen-, Duodenal- oder Jejunalsonde (gastral, duodenal, jejunal) und nutzt die Verdauungsfähigkeit des Darms. Der oralen oder enteralen Nahrungszufuhr sollte, wann immer möglich, der Vorrang gegeben werden [11].

Ist es jedoch nicht möglich auf diese Weise den Bedarf des Patienten zu decken, ist eine zusätzliche parenterale Gabe indiziert. Bei der parenteralen Ernährung (PE) erfolgt die Zufuhr von allen benötigten Energieträgern sowie für den Stoffwechsel notwendigen Substraten über einen intravenösen Katheter (peripher-, zentralvenös) direkt in den Blutkreislauf [25].

Dabei unterscheidet man die nachstehend genannten verschiedenen Formen:

- *totale parenterale Ernährungstherapie (TPE):*

Ist die vollständige intravenöse Zufuhr aller Komponenten der täglichen Ernährung ohne zusätzliche orale Nahrungs- oder Flüssigkeitsaufnahme.

- *partielle parenterale Ernährung:*

Ist die ergänzende parenterale Zufuhr von Nährstoffen, bei nicht bedarfsdeckender oraler, beziehungsweise EE.

Die krankheitsadaptierte parenterale Ernährung ist eine Ernährungsform, die Stoffwechselstörungen berücksichtigt und den durch Krankheit geänderten Bedarf einzelner Komponenten der Ernährung zu korrigieren versucht [26].

Eine Sonderform der künstlichen Ernährung stellen die heimenterale (HEE) sowie die heimparenterale Ernährung (HPE) dar. Jene Patienten, welche einen schlechten Ernährungszustand aufweisen, einen erhöhten Katabolismus haben oder die, die tägliche Zufuhr der notwendigen Energie oral nicht decken können, profitieren von einer künstlichen Ernährung im häuslichen Milieu [16].

#### **2.4.3 Bedeutung der künstlichen Ernährung bei Tumorpatienten**

Diverse Untersuchungen [27] haben gezeigt, dass bei mehr als der Hälfte der Patienten mit einer malignen Erkrankung, schon vor der Diagnosestellung ein Gewichtsverlust festzustellen war.

Einige Patienten mit einer Krebserkrankung erleiden aufgrund der Belastung durch die Erkrankung selbst sowie durch therapieassoziierte Belastungen eine Mangelernährung. Mangelernährung ist ein unabhängiger Risikofaktor für einen ungünstigen Krankheitsverlauf und ist mit einem verlängerten Aufenthalt im Krankenhaus assoziiert [28]. Das mindert die Lebensqualität der Patienten erheblich [28]. Eingeschlossen ist dabei auch die Beeinträchtigung der Therapietoleranz [28].

Für Krebspatienten, die aufgrund ihrer Erkrankung nicht oder nicht ausreichend essen können, stellt die künstliche Ernährung eine Hilfe für die ausreichende Zufuhr von Nährstoffen und Flüssigkeit dar und dient damit der Behandlung einer drohenden oder vorhandenen Mangelernährung.

Zur Erkennung und gegebenenfalls multimodalen Behandlung von Ernährungs- und Stoffwechselstörungen bei Tumorpatienten publizierte die DGEM im Herbst 2014 die neue „Leitlinie zur klinischen Ernährung in der Onkologie“ [29]. Darin ist beschrieben, dass sich der Einsatz von validierten Screening Verfahren zur frühzeitigen Erfassung eines Mangelernährungsrisikos eignet und damit die Einleitung eines Ernährungsassessment folgen lässt.

Eine frühzeitige individuelle Ernährungstherapie ist notwendig, um die Behandlung der Tumorerkrankung und die Lebensqualität des Patienten zu verbessern. Für die individuelle Ernährungstherapie ist der aktuelle Energieumsatz des Patienten eine entscheidende Bezugsgröße [12]. Grundsätzlich soll die Ernährungstherapie eine ausreichende Energie- und Eiweißzufuhr sicherstellen [29]. Durch eine individuelle Ernährunganamnese wird die entsprechende Ernährungstherapie stufenweise festgelegt.

Folgende Stufen der Ernährungstherapie stehen zur Verfügung:

- supplementierte orale Ernährung,
- enterale Ernährung,
- peripher- oder zentralvenöse parenterale Ernährung
- und bei speziellem Mangel intravenöse Ernährungsergänzung.

Für Tumorpatienten wird häufig die heimparenterale Ernährung eingesetzt. Die Indikation dazu wird im Krankenhaus gestellt. Die HPE stellt eine Herausforderung für alle Beteiligten, insbesondere für die Patienten dar. Die Koordinierung erfolgt durch stationäre und ambulante Professionen.

In einer aktuellen Publikation [30] wird die enorme Bedeutung der frühzeitigen Ernährungsintervention insbesondere bei Tumorpatienten auch im fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung verdeutlicht. Unter Berücksichtigung der funktionellen Störung des Gastrointestinaltraktes ist es wesentlich frühzeitig zu erkennen, welche Ernährungsunterstützung notwendig ist. Dabei besteht das Ziel darin, einen ungewollten Gewichtsverlust durch Malnutrition zu verhindern. Diese Patientengruppe verfügt meist über ein Portsysteem, welches die Entscheidung zur parenteralen Ernährung erleichtert [30].

## 3 METHODEN

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, durch eine Querschnittsuntersuchung einen Vergleich zwischen dem mit verschiedenen Formeln berechneten Ruheenergieumsatz und dem durch Indirekte Kalorimetrie gemessenen Ruheenergieumsatz, empirisch zu untersuchen.

Die Berechnung des Ruheenergieumsatzes erfolgte mit der Formel nach Harris und Benedict [31] sowie nach den BMR-Faktoren [14]. Beide Berechnungsformeln wurden gesondert mit einem Korrekturfaktor angewendet. Außerdem wurde der Ruheenergieumsatz nach den Richtwerten für den Standardenergieumsatz nach DGEM 2007 berechnet.

Die Messung des Ruheenergieumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie erfolgte unter Einsatz der Canopy-Dilution.

### 3.1 Beschreibung der Stichprobe

Die geeignete Stichprobe ergab sich aus stationären Patienten. Im Zeitraum von Januar bis September 2015 wurden 21 Probanden im Alter zwischen 32 und 87 Jahren ( $63 \pm 17$  Jahre, 15 Frauen und 6 Männer) auf freiwilliger Basis und als Teil der Routinemaßnahmen untersucht.

Bei allen Probanden bestand bei Aufnahme in das Klinikum ein hohes Risiko auf Mangelernährung (NRS 2002  $\geq 3$  Punkte). Dieser Score [32] wird bei einem BMI der unter  $18,5 \text{ kg/m}^2$  liegt, bei schlechtem Allgemeinzustand, oder bei einem Gewichtsverlust von über 5% in einem Monat oder über 15% in 3 Monaten erreicht.

Alle Patienten erhielten während des stationären Aufenthaltes entsprechend ihres Ernährungstherapieplanes eine partielle parenterale Ernährung. Alle in der Studie untersuchten Patienten sollten die künstliche Ernährungstherapie in Form einer heimparenteralen Ernährung nach Entlassung aus dem Klinikum fortführen.

Bei 19 Probanden lag eine diagnostizierte maligne Erkrankung vor. Bei einem Teilnehmer bestand ein Kurzdarmsyndrom. Ein weiterer Patient hatte eine manifestierte koronare Herzerkrankung.

## 3.2 Vorbereitung der indirekten Kalorimetrie

Im *ersten Schritt* wurden bei allen stationär behandelten Patienten das aktuelle Körpergewicht sowie das frühere Normalgewicht (stabiles Gewicht vor der Erkrankung), die Körpergröße und der Body-Mass-Index (BMI) ermittelt. Außerdem wurden die Gewichtsveränderung, der Schweregrad der Erkrankung, die Therapie und das Alter erfasst. Die Ermittlung der Werte sowie die Dokumentation in der elektronischen Patientenakte erfolgten durch das Pflegepersonal.

Im *zweiten Schritt* wurde durch das Ernährungsteam der Klinik mit dem Programm gnpDAT®-Klinik Version 2.0.2 der entsprechende Ernährungstherapieplan erstellt.

Zur Vorbereitung der Messung des Grundumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie erfolgte am Vortag eine Terminabsprache auf der jeweiligen Station und mit dem Patienten selbst. Das Pflegepersonal wurde über die Einhaltung einer vierstündigen Nahrungskarenz vor der Messung informiert und dies in der Patientenakte dokumentiert. Zur Erhebung der Daten der einzelnen Patienten wurde die elektronische Patientenakte genutzt. Die Messungen fanden alle morgens zwischen 07:00 und 10:00 Uhr statt. Das Messgerät für die Indirekte Kalorimetrie stand in einem separaten Raum, wobei die Raumtemperatur bei allen Messungen zwischen 22° und 25° C lag.

## 3.3 Messung über Indirekte Kalorimetrie

Die Bestimmung des Grundumsatzes erfolgte mit dem Quark RMR® Messsystem der Firma COSMED® (Rom, Italien). Dabei handelt es sich um ein Breath-by-Breath-System zur Analyse der Atemgase.

Das System Quark RMR besteht aus:

- Quark RMR Einheit
- Volumensensor
- externe Sensoren und Zubehör.

Die Messung erfolgte unter Einsatz der Canopy-Haube. Die Canopy-Haube (siehe Darstellung 4) ist eine durchsichtige, großvolumige Haube, welche über den Kopf und den Hals des Patienten gelegt wird. Mittels Schleier wird diese an den Seiten gegen Lufteintritt abgedichtet. Da sich der Patient mit dem Gesicht unter der Haube befindet, funktioniert die Canopy-Haube ähnlich einer Mischkammer, in der sich die Atemgase des Patienten ansammeln.

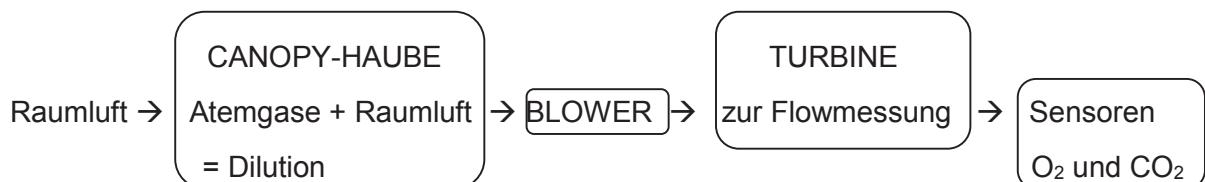
Darstellung 4:

Canopy-Haube.



Die Haube verfügt über zwei Öffnungen. Die obere Öffnung (1) ist ein reines Einlassventil. Durch diese Öffnung kann keine Luft nach außen gelangen. An der unteren Öffnung (2) wird der Schlauch befestigt, welcher das Gasgemisch in das Quark RMR saugt.

Unter der Canopy-Haube atmet der Patient ein Luftgemisch ein, welches aus ausgeatmeter Luft und Umgebungsluft besteht (= Dilution). Ein bestimmtes Volumen dieses Luftgemisches wird über einen Blower in die Turbine abgesaugt. In der Turbine werden mittels Sensoren, Sauerstoffaufnahme ( $O_2$ ) und Kohlendioxidabgabe ( $CO_2$ ) untersucht und somit der Energieverbrauch ermittelt.



Der Quark RMR® ist auf einem Gerätewagen platziert (siehe Darstellung 5 im Anhang), der mit einem PC einschließlich Software und einem Monitor, einem Drucker sowie der Canopy-Haube verbunden ist.

## 3.4 Untersuchungsablauf

Am Tag der Messung wurden von der Autorin folgende Arbeitsschritte ausgeführt:

*1. Versuchsanlage starten:*

PC & Gerät wurden eingeschaltet und ca. 10 bis 15 Minuten Vorlaufzeit gewährt; nach dem Hochfahren wurde vom Desktop Software „Kalorimetrie“ (Quark RMR) gestartet.

*2. Gaskalibration:*

Die Gasflasche wurde auf der Rückseite des Gerätewagens geöffnet bis am Druckminderer fünf bis sechs bar angezeigt wurden. Danach wurde die Absaugstrecke vorn am Adapter des Quark RMR® eingesteckt. In der Software wurde über Test → Kalibration → Gas → RMR ausgewählt. Die Konzentration des Kalibriergases wurde mit → „OK“ bestätigt. Anschließend startete die Gaskalibration. Der Wechsel zwischen Umgebungsluft und Kalibriergas erfolgte automatisch.

*3. Volumenkalibration:*

Es wurde die Turbine (Flowmeter) vorn auf die Drei-Liter-Kalibrationspumpe aufgesteckt und in der Software → Test → Kalibration → Turbine ausgewählt. Nach der Aufforderung am Bildschirm wurde die Kalibrationspumpe stets vollständig bis zum Anschlag hin- und her bewegt. Nach erfolgreicher Kalibration wurde die Absaugstrecke wieder in die Turbine gesteckt und an der Rückseite des Gerätes am Anschluss mit der Beschriftung „RMR Flowmeter“ eingesteckt.

*4. Messung:*

Es wurde auf der Rückseite des Gerätes der Canopy Blower eingeschaltet, um die Canopy-Haube mit Luft zu versorgen. Entsprechend den Vorgaben des Herstellers wurde das Messgerät vor jeder Messung kalibriert [33].

*5. Patientendokumentation:*

Als nächster Schritt erfolgte die Erfassung der Daten des Patienten über → Datei → Patienten „Neu“. Name, Vorname, Geburtsdatum und Geschlecht wurden erhoben und mit „OK“ bestätigt.

Die Abholung des Patienten von der jeweiligen Station erfolgte durch einen Mitarbeiter des Patiententransportdiensts oder durch die Verfasserin dieser Arbeit selbst.

*6. Lagerung des Patienten und Platzierung der Canopy-Haube:*

Zu Untersuchungsbeginn wurde der Patient auf der Untersuchungsliege platziert und bekam die Canopy-Haube aufgesetzt. Dabei war darauf zu achten, dass die Gummimembran des Schleiers richtig an der Haube befestigt wurde, weil sich im Gummischlauch ein Spalt befindet.

Die Raumtemperatur lag entsprechend den Vorgaben zwischen 21° und 24° Celsius. Falls ein Patient über subjektiv empfundene Kälte klagte, lag zu jeder Messung auch eine Decke bereit.

#### *7. Starten des Tests:*

In der Software wurde Test → Start ausgewählt. Es folgte die Eingabe von Größe und Gewicht des Patienten. Weiter wurde „RMR mit Canopy“ ausgewählt → Protokoll: „RMR“ wurde ausgewählt → Workspace: „RMR“ ausgewählt und mit „OK“ bestätigt.

Das System schlug nun auf Basis des Körpergewichtes einen geeigneten Flow (Vt) für die Messung vor. Auch hier wurde mit „OK“ bestätigt.

Nun startete die Vormessung: Es wurden alle Parameter angezeigt, die eigentliche Messung war jedoch noch nicht gestartet. Zunächst erfolgte manuell mit dem Drehregler des Systems die Einstellung des geeigneten Flow. Dabei war der wichtigste Kontrollparameter die Kohlendioxid-Konzentration  $\text{FeCO}_2$ . Diese sollte sich während der Messung um den Wert 1,00 einpendeln.

#### *8. Start der Messung:*

Mit dem Drücken der Taste „F2“ oder mit dem Start-Button erfolgte der Start der Messung. Die Messung wurde nun automatisch durchgeführt und über jeweils 15 Minuten aufgezeichnet.

#### *9. Ende der Messung:*

Dem Patienten wurde die Canopy-Haube abgenommen und es erfolgte der Rücktransport auf die entsprechende Station.

#### *10. Ergebnisprotokoll der Messung:*

In der Software wurde über Ansicht → Bericht der „aktuelle Patient“ ausgewählt und das Ergebnisprotokoll erstellt. Dabei wurde aus der Messdauer ein Steady-State von 4 Minuten ausgesucht. Während dieses Zeitraumes wurde eine bestimmte Messvarianz eingehalten. Die Messvarianz war für  $\text{VO}_2 < 10\%$ ,  $\text{VCO}_2 < 10\%$  und den  $\text{RQ} < 5\%$  festgelegt. Dieser Variationskoeffizient ist eine spezifische statistische Größe und ein relatives Maß für die Streuung von Daten. Er wird in Prozent angegeben. Weiterhin wurde aus dem gemessenen RMR in kcal/Tag für jeden einzelnen Patienten die kcal/kg Körpergewicht/Tag errechnet.

### **3.5 Datenanalyse**

Die Analyse der Daten erfolgte mit dem Statistikprogram IBM SPSS Statistics, Version 22. Um die Patientencharakteristik zu präsentieren, wurde zuerst die deskriptive Statistik durchgeführt. Dabei sind die Werte angegeben als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung (SD). Ein p-Wert  $\leq 0,05$  wurde als statistisch signifikant definiert. Die Berechnung der statistischen Signifikanzen erfolgte mit Microsoft® Excel. Da die Zielsetzung dieser Arbeit ein Vergleich von Messmethoden war, bietet sich die Bland-Altman-Methode zur Beurteilung der Übereinstimmung an. Bei dieser Analyse erfolgt die Berechnung der Bias (Mittelwert der individuellen Messwertdifferenzen) und die Grenzen der Vereinbarung ( $\pm 1,96$  SD vom Mittelwert Bias).

## **4 ERGEBNISSE**

Insgesamt wurde bei 21 Patienten im Alter von 32 bis 87 Jahren vor Entlassung aus dem Krankenhaus eine Indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Dilution durchgeführt: es folgt eine detaillierte Einzeldarstellung der Probanden mit den errechneten bzw. den gemessenen RMR-Werten.

### **4.1 Die Fallbeispiele**

## PROBAND 1

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 32 Jahre  
Körpergröße: 168 cm  
Körpergewicht: 33 kg  
BMI: 11,7 kg/m<sup>2</sup> (Untergewicht)

Diagnosen:

- Morbus Crohn
- ausgeprägtes Kurzdarmsyndrom

Messung Grundumsatz:

• Messgerät:	Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
• Testdauer:	15:05 Minuten
• Zeitraum Berechnung:	06:00 Minuten
• Messvarianz VO <sub>2</sub> :	3,5 %
• Messvarianz VCO <sub>2</sub> :	3,3 %
• Messvarianz RQ:	1,1 %
• <b>Messergebnis:</b>	<b>RMR 1559 kcal <math>\pm</math> 47 kcal/kg KG</b>

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1132 kcal	- 427 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1358 kcal	- 200 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 993 kcal	- 566 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1192 kcal	- 367 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 743 kcal	- 817 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 892 kcal	- 668 kcal

## PROBAND 2

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 43 Jahre  
Körpergröße: 176 cm  
Körpergewicht: 103 kg  
BMI: 33,3 kg/m<sup>2</sup> (Adipositas)

Diagnosen:

- Onkologische Grunderkrankung

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:04 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 08:00 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 3 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 3,9 %
- Messvarianz RQ: 2,4 %
- **Messergebnis:** **RMR 2137 kcal  $\pm$  21 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1765 kcal - 372 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 2118 kcal - 19 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1648 kcal - 489 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1978 kcal - 159 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 2318 kcal + 181 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 2782 kcal + 645 kcal

## PROBAND 3

---

Persönliche Daten:	Geschlecht:	weiblich
	Alter:	43 Jahre
	Körpergröße:	160 cm
	Körpergewicht:	46 kg
	BMI:	18,0 kg/m <sup>2</sup> (Untergewicht)

Diagnosen:

- Magenkarzinom mit Peritonealkarzinose
- Gastrektomie
- Adenokarzinom

Messung Grundumsatz:

• Messgerät:	Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
• Testdauer:	14:10 Minuten
• Zeitraum Berechnung:	05:05 Minuten
• Messvarianz VO <sub>2</sub> :	0,9 %
• Messvarianz VCO <sub>2</sub> :	1,4 %
• Messvarianz RQ:	0,8 %
• <b>Messergebnis:</b>	<b>RMR 1385 kcal <math>\pm</math> 30 kcal/kg KG</b>

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1190 kcal - 195 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1428 kcal + 43 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1118 kcal - 267 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1342 kcal - 43 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1035 kcal - 350 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1242 kcal - 143 kcal

## PROBAND 4

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 46 Jahre  
Körpergröße: 174 cm  
Körpergewicht: 76 kg  
BMI: 25,1 kg/m<sup>2</sup> (Übergewicht)

Diagnosen:

- lokal fortgeschrittenes Harnblasenkarzinom
- radikale Zystektomie

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:41 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 05:25 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 4,2 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 5,2 %
- Messvarianz RQ: 1,5 %
- **Messergebnis:** **RMR 1828 kcal  $\pm$  24 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1489 kcal	- 339 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1787 kcal	- 41 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1421 kcal	- 407 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1705 kcal	- 123 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1710 kcal	- 118 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 2052 kcal	+ 224 kcal

## PROBAND 5

---

Persönliche Daten:	Geschlecht:	weiblich
	Alter:	46 Jahre
	Körpergröße:	158 cm
	Körpergewicht:	74 kg
	BMI:	29,6 kg/m <sup>2</sup> (Übergewicht)

Diagnosen:

- Ileus bei v.a. Ovarialkarzinom
- Peritonealkarzinose
- Sigmakarzinom

Messung Grundumsatz:

• Messgerät:	Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
• Testdauer:	15:55 Minuten
• Zeitraum Berechnung:	07:55 Minuten
• Messvarianz VO <sub>2</sub> :	3,3 %
• Messvarianz VCO <sub>2</sub> :	3,4 %
• Messvarianz RQ:	1,5 %
• <b>Messergebnis:</b>	<b>RMR 2087 kcal <math>\pm</math> 28 kcal/kg KG</b>

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1440 kcal	- 647 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1728 kcal	- 359 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1383 kcal	- 704 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1660 kcal	- 427 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1665 kcal	- 422 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1998 kcal	- 89 kcal

## PROBAND 6

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 48 Jahre  
Körpergröße: 173 cm  
Körpergewicht: 112 kg  
BMI: 37,4 kg/m<sup>2</sup> (Adipositas Grad II)

Diagnosen:

- Tracheobronchiales Kollapssyndrom

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 11:05 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 06:20 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 1,5 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 3,1 %
- Messvarianz RQ: 2,5 %
- **Messergebnis:** **RMR 2499 kcal  $\pm$  22 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1822 kcal	- 677 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 2186 kcal	- 313 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1580 kcal	- 919 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1896 kcal	- 603 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 2520 kcal	+ 21 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 3024 kcal	+ 525 kcal

## PROBAND 7

---

Persönliche Daten: Geschlecht: männlich  
Alter: 52 Jahre  
Körpergröße: 178 cm  
Körpergewicht: 70 kg  
BMI: 22,1 kg/m<sup>2</sup> (Normalgewicht)

Diagnosen:

- Kolonkarzinom, 2 m Restdünndarm
- exokrine Pankreasinsuffizienz

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:05 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 04:10 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 3,8 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 4,8 %
- Messvarianz RQ: 2,2 %
- **Messergebnis:** **RMR 2016 kcal  $\Delta$  29 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1568 kcal	- 448 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1882 kcal	- 134 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1533 kcal	- 483 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1840 kcal	- 176 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1575 kcal	- 441 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1890 kcal	- 126 kcal

## PROBAND 8

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 53 Jahre  
Körpergröße: 179 cm  
Körpergewicht: 74 kg  
BMI: 23,1 kg/m<sup>2</sup> (Normalgewicht)

Diagnosen:

- Krebs mit unbekanntem Primärtumor Lymphknoten-, Knochen-, Gehirnmetastasen

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:30 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 04:10 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 1,8 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 2,2 %
- Messvarianz RQ: 1,3 %
- **Messergebnis:** **RMR 2255 kcal  $\pm$  31 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1446 kcal	- 809 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1735 kcal	- 490 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1465 kcal	- 790 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1758 kcal	- 470 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1665 kcal	- 590 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1998 kcal	- 257 kcal

## PROBAND 9

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 56 Jahre  
Körpergröße: 170 cm  
Körpergewicht: 57 kg  
BMI: 19,7 kg/m<sup>2</sup> (Normalgewicht)

Diagnosen:

- Mammakarzinom
- Ovarialkarzinom
- Aszites
- Peritonealkarzinose

Messung Grundumsatz:

• Messgerät:	Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
• Testdauer:	15:01 Minuten
• Zeitraum Berechnung:	05:05 Minuten
• Messvarianz VO <sub>2</sub> :	2,5 %
• Messvarianz VCO <sub>2</sub> :	3,0 %
• Messvarianz RQ:	1,2 %
• <b>Messergebnis:</b>	<b>RMR 1582 kcal <math>\pm</math> 28 kcal/kg KG</b>

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1253 kcal	- 329 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1504 kcal	- 78 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1242 kcal	- 340 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1490 kcal	- 92 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1283 kcal	- 299 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1540 kcal	- 42 kcal

## PROBAND 10

---

Persönliche Daten: Geschlecht: männlich  
Alter: 57 Jahre  
Körpergröße: 178 cm  
Körpergewicht: 56 kg  
BMI: 17,7 kg/m<sup>2</sup> (Untergewicht)

Diagnosen:

- Plattenepithelkarzinom der Lunge

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:00 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 05:05 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 3,4 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 3,4 %
- Messvarianz RQ: 1,1 %
- **Messergebnis:** **RMR 1478 kcal  $\pm$  26 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1342 kcal	- 136 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1610 kcal	+ 132 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1366 kcal	- 112 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1639 kcal	+ 161 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1478 kcal	$\pm$ 0 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1774 kcal	+ 296 kcal

## PROBAND 11

---

Persönliche Daten: Geschlecht: männlich  
Alter: 66 Jahre  
Körpergröße: 176 cm  
Körpergewicht: 55 kg  
BMI: 17,8 kg/m<sup>2</sup> (Untergewicht)

Diagnosen:

- Pankreaskarzinom
- Leber und Gallenkarzinom
- Ileus
- akutes Abdomen

Messung Grundumsatz:

---

• Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube  
• Testdauer: 03:15 Minuten  
• Zeitraum Berechnung: 03:15 Minuten  
• Messvarianz VO<sub>2</sub>: 31,4 %  
• Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 31,6 %  
• Messvarianz RQ: 3,1 %

Aufgrund der Messvarianz von über 10 % bei VO<sub>2</sub> und VCO<sub>2</sub>, sowie der Testdauer von nur 03:15 Minuten erfolgt der Ausschluss dieses Probanden aus der weiteren Analyse. Der Patient konnte auf Grund von Platzangst nicht unter der Haube liegen.

## PROBAND 12

---

Persönliche Daten: Geschlecht: männlich  
Alter: 70 Jahre  
Körpergröße: 184 cm  
Körpergewicht: 81,5 kg  
BMI: 24,1 kg/m<sup>2</sup> (Normalgewicht)

Diagnosen:

- Pneumonie

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:00 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 04:00 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 5 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 6,9 %
- Messvarianz RQ: 2,4 %

Auch wenn die Messvarianz von 10 % bei VO<sub>2</sub> und VCO<sub>2</sub>, sowie die Messvarianz beim RQ < 5% lagen, erfolgt der Ausschluss dieses Probanden aus der weiteren Analyse. Der Proband war während der Messung sehr unruhig und musste während der gesamten Messung husten.

## PROBAND 13

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 74 Jahre  
Körpergröße: 165 cm  
Körpergewicht: 79 kg  
BMI: 29,0 kg/m<sup>2</sup> (Übergewicht)

Diagnosen:

- Pankreaskopfkarzinom
- akutes Nierenversagen

Messung Grundumsatz:

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:01 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 08:01 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 2,5 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 2,3 %
- Messvarianz RQ: 0,7 %
- **Messergebnis:** **RMR 1557 kcal  $\pm$  20 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1370 kcal	- 187 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1644 kcal	+ 87 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1359 kcal	- 198 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1631 kcal	+ 74 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1580 kcal	+ 23 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1896 kcal	+ 339 kcal

## PROBAND 14

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 66 Jahre  
Körpergröße: 160 cm  
Körpergewicht: 47,6 kg  
BMI: 18,6 kg/m<sup>2</sup> (Normalgewicht)

Diagnosen:

- Mammakarzinom
- Ovarialkarzinom
- Lebermetastasen
- Peritonealkarzinose

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:55 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 04:05 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 4,1 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 4,1 %
- Messvarianz RQ: 1,5 %
- **Messergebnis:** **RMR 1632 kcal  $\pm$  34 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung		Differenz zur IC
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1098 kcal	- 534 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1318 kcal	- 314 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1024 kcal	- 608 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1229 kcal	- 403 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1071 kcal	- 561 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1285 kcal	- 347 kcal

## PROBAND 15

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 73 Jahre  
Körpergröße: 154 cm  
Körpergewicht: 27 kg  
BMI: 11,4 kg/m<sup>2</sup> (Untergewicht)

Diagnosen:

- Magenkarzinom
- Gastrektomie
- Lungen- und Lebermetastasen

Messung Grundumsatz:

• Messgerät:	Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
• Testdauer:	15:51 Minuten
• Zeitraum Berechnung:	04:10 Minuten
• Messvarianz VO <sub>2</sub> :	7,9 %
• Messvarianz VCO <sub>2</sub> :	6,5 %
• Messvarianz RQ:	4,9 %
• <b>Messergebnis:</b>	<b>RMR 1148 kcal <math>\pm</math> 43 kcal/kg KG</b>

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 857 kcal	- 291 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1028 kcal	- 120 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 680 kcal	- 468 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 817 kcal	- 331 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 540 kcal	- 608 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 648 kcal	- 500 kcal

## PROBAND 16

---

Persönliche Daten:	Geschlecht:	männlich
	Alter:	85 Jahre
	Körpergröße:	165 cm
	Körpergewicht:	69 kg
	BMI:	25,3 kg/m <sup>2</sup> (Übergewicht)

Diagnosen:

- Diabetes mellitus Typ II
- Chronische Nierenkrankheit
- koronare Herzerkrankung

Messung Grundumsatz:

---

• Messgerät:	Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
• Testdauer:	15:01 Minuten
• Zeitraum Berechnung:	05:10 Minuten
• Messvarianz VO <sub>2</sub> :	8,3 %
• Messvarianz VCO <sub>2</sub> :	11,5 %
• Messvarianz RQ:	5,4 %

Aufgrund der Messvarianz von über 10% bei VCO<sub>2</sub>, sowie einer Messvarianz über 5% beim RQ, erfolgt der Ausschluss dieses Probanden aus der weiteren Analyse.

## PROBAND 17

---

Persönliche Daten: Geschlecht: männlich  
Alter: 87 Jahre  
Körpergröße: 173 cm  
Körpergewicht: 77 kg  
BMI: 25,7 kg/m<sup>2</sup> (Übergewicht)

Diagnosen:

- Colonkarzinom
- Lebermetastasen

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:26 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 05:15 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 3,4 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 3,1 %
- Messvarianz RQ: 1,2 %
- **Messergebnis:** **RMR 1379 kcal ±18 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1403 kcal + 24 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1684 kcal + 305 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1409 kcal + 30 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1691 kcal + 312 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1540 kcal + 161 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1848 kcal + 469 kcal

## PROBAND 18

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 87 Jahre  
Körpergröße: 155 cm  
Körpergewicht: 78 kg  
BMI: 32,5 kg/m<sup>2</sup> (Adipositas Grad II)

Diagnosen:

- Endometriumkarzinom
- Gastritis
- Ösophagitis
- chronische Nierenkrankheit St. 2

Bestimmung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:55 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 15:55 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 13,9 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 16,9 %
- Messvarianz RQ: 5,4 %

Aufgrund der Messvarianz von über 10% bei VO<sub>2</sub> und VCO<sub>2</sub>, sowie eine Messvarianz von über 5% beim RQ, erfolgt der Ausschluss dieses Probanden aus der weiteren Analyse.

## PROBAND 19

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 77 Jahre  
Körpergröße: 175 cm  
Körpergewicht: 35 kg  
BMI: 11,4 kg/m<sup>2</sup> (Untergewicht)

Diagnosen:

- Peritonealkarzinose

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:36 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 04:06 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 4,8 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 5,4 %
- Messvarianz RQ: 1,4 %
- **Messergebnis:** **RMR 1229 kcal  $\pm$  35 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 953 kcal	- 276 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1144 kcal	- 85 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 882 kcal	- 347 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1058 kcal	- 171 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 700 kcal	- 529 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 840 kcal	- 389 kcal

## PROBAND 20

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 76 Jahre  
Körpergröße: 164 cm  
Körpergewicht: 55 kg  
BMI: 20,4 kg/m<sup>2</sup> (Normalgewicht)

Diagnosen:

- Aszites
- Peritonealkarzinose

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:36 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 05:16 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 1,4 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 1,8 %
- Messvarianz RQ: 0,9 %
- **Messergebnis:** **RMR 1328 kcal  $\pm$  24 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1129 kcal	- 199 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1355 kcal	+ 27 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1034 kcal	- 294 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1241 kcal	- 87 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1100 kcal	- 228 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1320 kcal	- 8 kcal

## PROBAND 21

---

Persönliche Daten: Geschlecht: weiblich  
Alter: 85 Jahre  
Körpergröße: 160 cm  
Körpergewicht: 72 kg  
BMI: 28,1 kg/m<sup>2</sup> (Übergewicht)

Diagnosen:

- Ösophaguskarzinom
- Dysphagie

Messung Grundumsatz:

---

- Messgerät: Quark RMR – indirekte Kalorimetrie mit Canopy-Haube
- Testdauer: 15:30 Minuten
- Zeitraum Berechnung: 04:20 Minuten
- Messvarianz VO<sub>2</sub>: 3,4 %
- Messvarianz VCO<sub>2</sub>: 2,5 %
- Messvarianz RQ: 2,1 %
- **Messergebnis:** **RMR 1598 kcal  $\pm$  22 kcal/kg KG**

Verschiedene Berechnungsformeln im Vergleich zur Messung	Differenz zur IC	
Grundumsatz Harris Benedict (Testprotokoll):	RMR 1242 kcal	- 356 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1490 kcal	- 108 kcal
Grundumsatz BMR-Faktoren (AKE 2005/06):	RMR 1210 kcal	- 388 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1452 kcal	- 146 kcal
Grundumsatz pro kg Körpergewicht (DGEM 2007):	RMR 1440 kcal	- 158 kcal
Korrigiert mit Stressfaktor 1,2	RMR 1728 kcal	- 130 kcal

Bei den Probanden 11, 12, 16 und 18 konnte die festgelegte Messvarianz nicht eingehalten werden, weshalb sie von der weiteren Analyse ausgeschlossen wurden. Somit ergibt sich für die weitere Datenanalyse eine Fallzahl von 17 Patienten. Die Charakteristik der Patienten ist in Darstellung 6 zusammengefasst.

Darstellung 6:

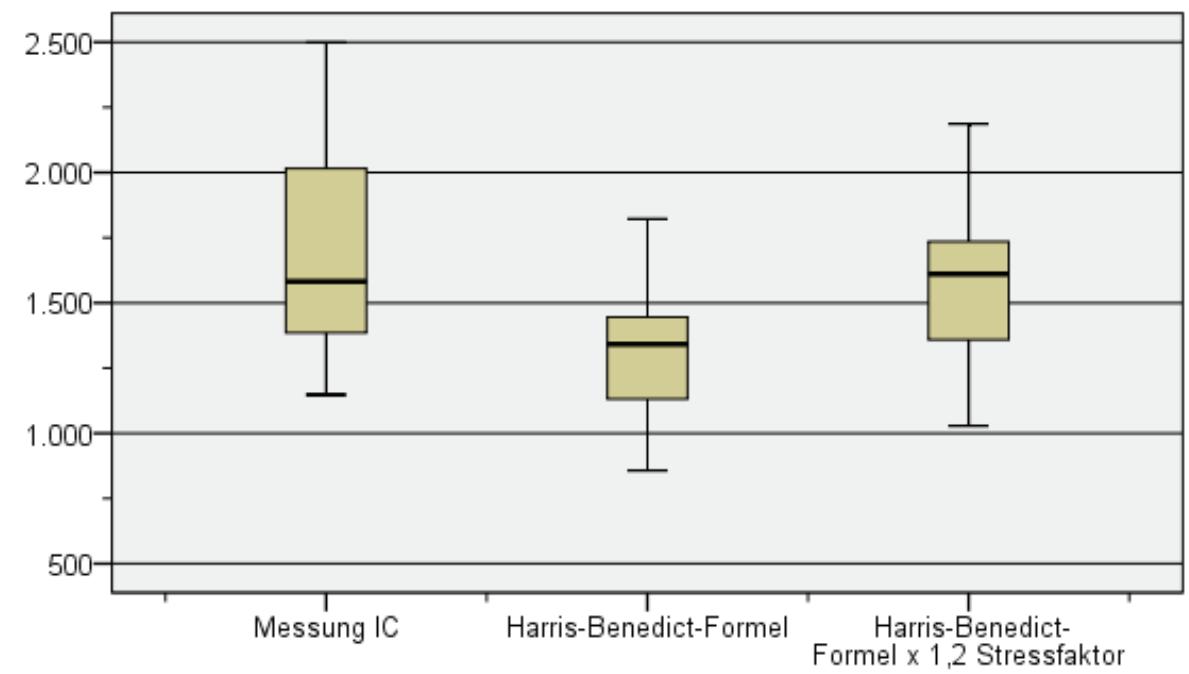
*Patientencharakteristik.*

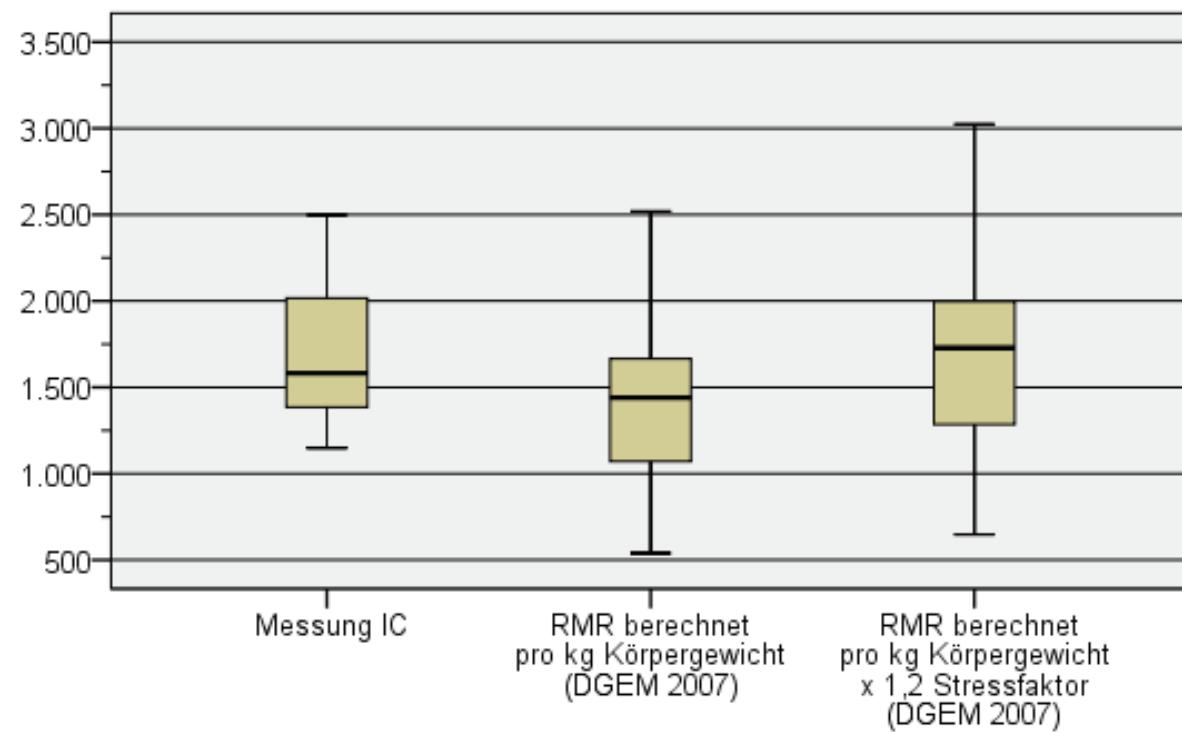
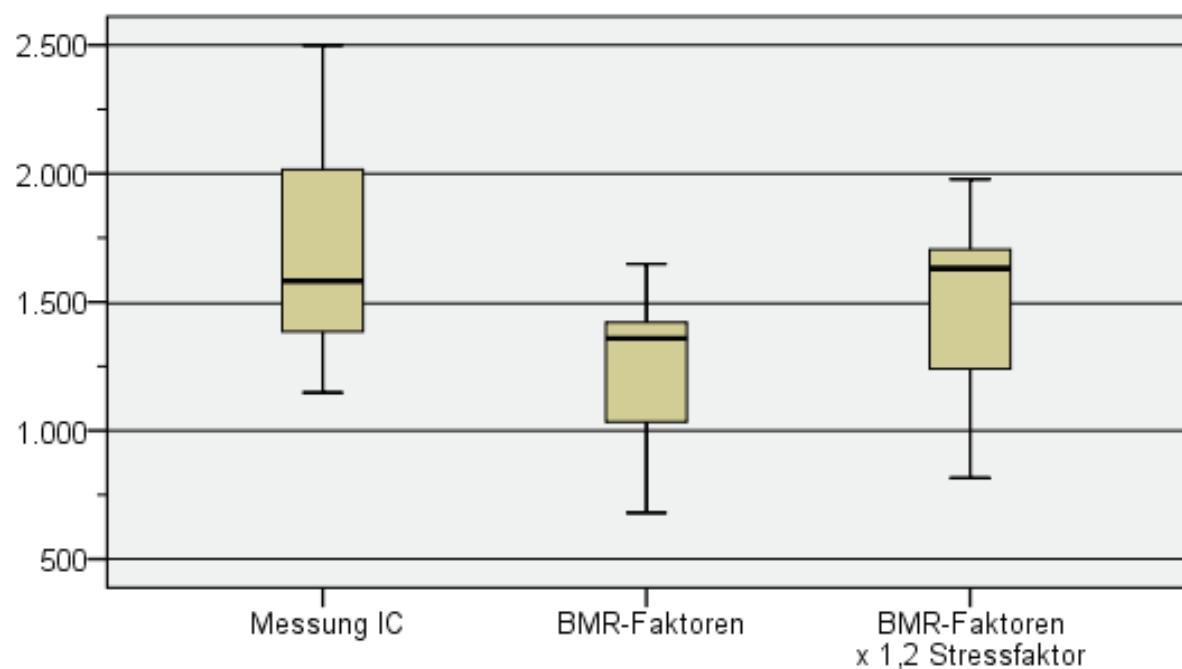
	Männer (18%)	Frauen (82%)	Insgesamt
	n= 3	n= 14	n= 17
Alter (Jahre)	$65,3 \pm 18,9$	$58,4 \pm 16,4$	$59,7 \pm 16,5$
Gewicht (kg)	$67,8 \pm 10,7$	$63,6 \pm 25,3$	$64,3 \pm 23,2$
Größe (cm)	$176 \pm 2,9$	$167 \pm 7,8$	$168,5 \pm 8,0$
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	$21,8 \pm 4,0$	$22,6 \pm 8,2$	$22,5 \pm 7,6$

Im Folgenden wird in Darstellung 7 der Grundumsatz in kcal/d der ausgewählten Patienten nach den verschiedenen Berechnungsformeln abgebildet.

Darstellung 7:

*Grundumsatz in kcal/d der ausgewählten 17 Patienten.*





Anschließend werden in der Darstellung 8 die mittlere Ruheenergieumsatz der verschiedenen Berechnungsformeln sowie die Differenzen der Mittelwerte zur IC dargestellt.

Darstellung 8:

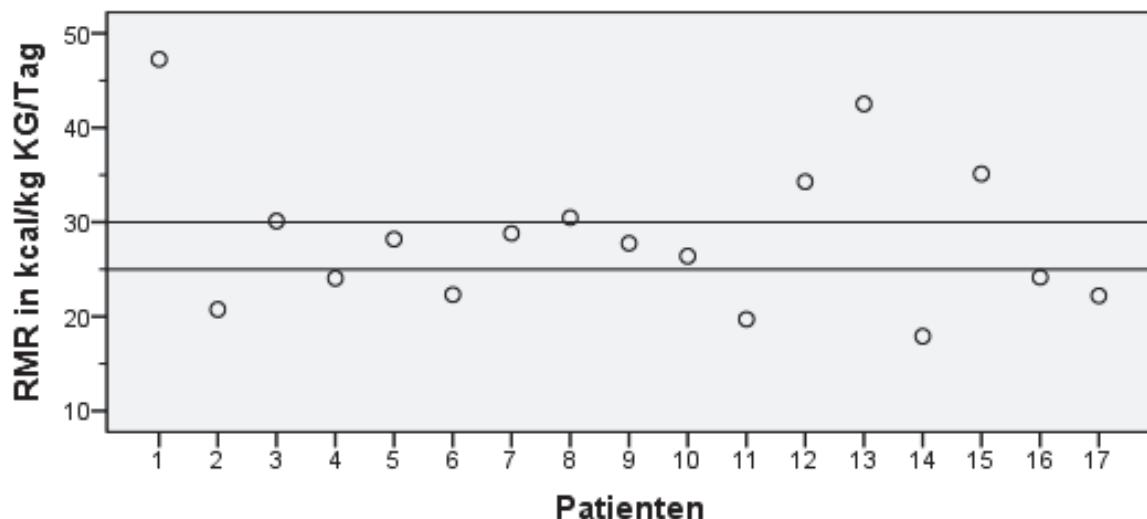
*Vergleich zwischen berechneten RMR-Werten und Messwert.*

	n	Mittlerer Ruheenergie- umsatz in kcal/d	Differenz der Mittelwerte ± SD kcal/d	Signifikanz p-Wert
RMR berechnet (Harris u. Benedict)	17	1324 (± 260)	-365 (± 212)	p = < 0,001
RMR berechnet (BMR-Faktoren)	17	1256 (± 266)	-432 (± 241)	p = < 0,001
RMR berechnet (DGEM 2007) (20-30 Jahre: 25 kcal/kg KG/d 30-70 Jahre: 22,5 kcal/kg KG/d >70 Jahre: 20 kcal/kg KG/d)	17	1397 (± 527)	-291 (± 287)	p = < 0,001

Die Streuung der gemessenen Ruheenergieumsatzwerte in kcal/kg Körpergewicht pro Tag jedes einzelnen Patienten ist in Darstellung 9 aufgezeigt.

Darstellung 9:

*Gemessene Werte für den Ruheenergieumsatz in kcal/kg Körpergewicht/Tag.*

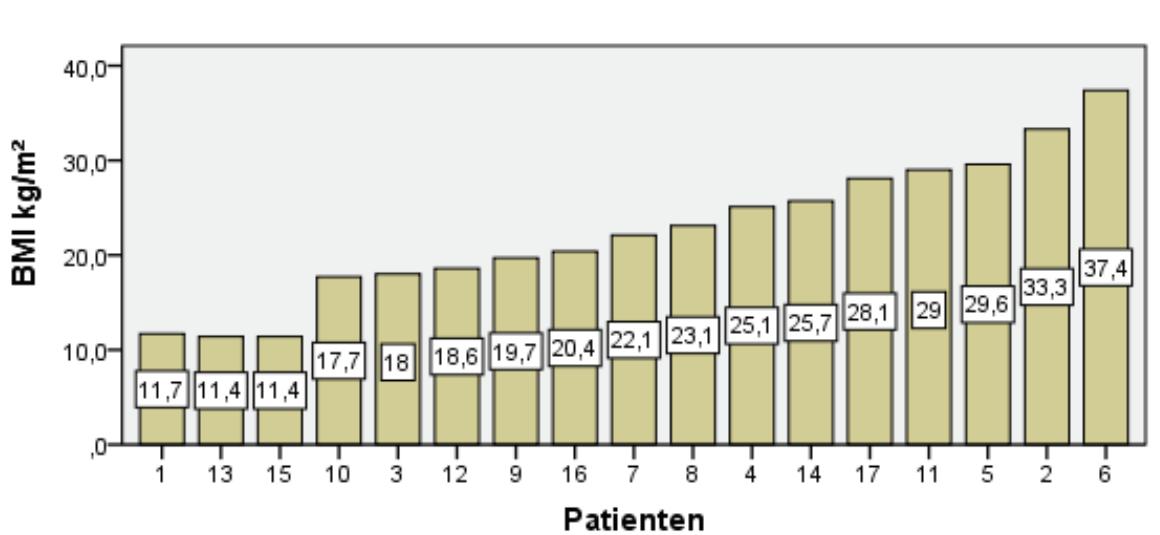


Nach den Empfehlungen der DGEM [29] beträgt die angemessene Tagesenergiezufuhr 25-30 kcal/kg Körpergewicht.

Der BMI jedes einzelnen Patienten ist in der Darstellung 10 aufgezeigt.

Darstellung 10:

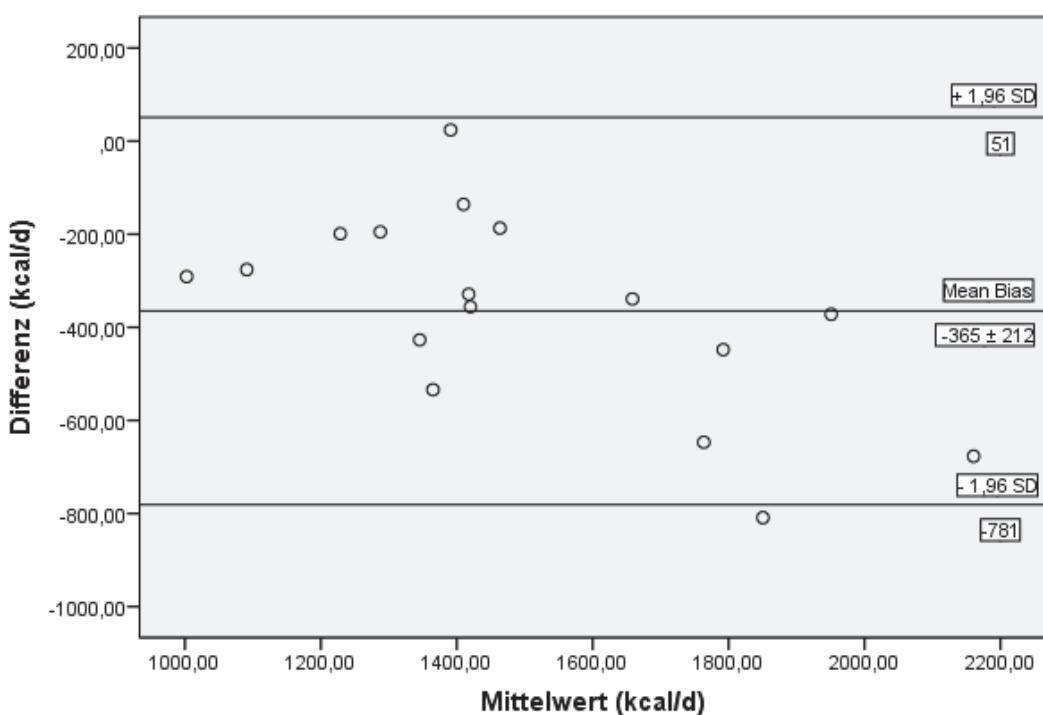
BMI aller Fälle in  $\text{kg}/\text{m}^2$ .



In Darstellung 11 ist mit einem Bland-Altman-Plot der Vergleich der Übereinstimmung zwischen gemessenen und mit der Harris-Benedict-Formel berechneten Ruheenergieumsatz graphisch dargestellt ( $n = 17$ ).

Darstellung 11:

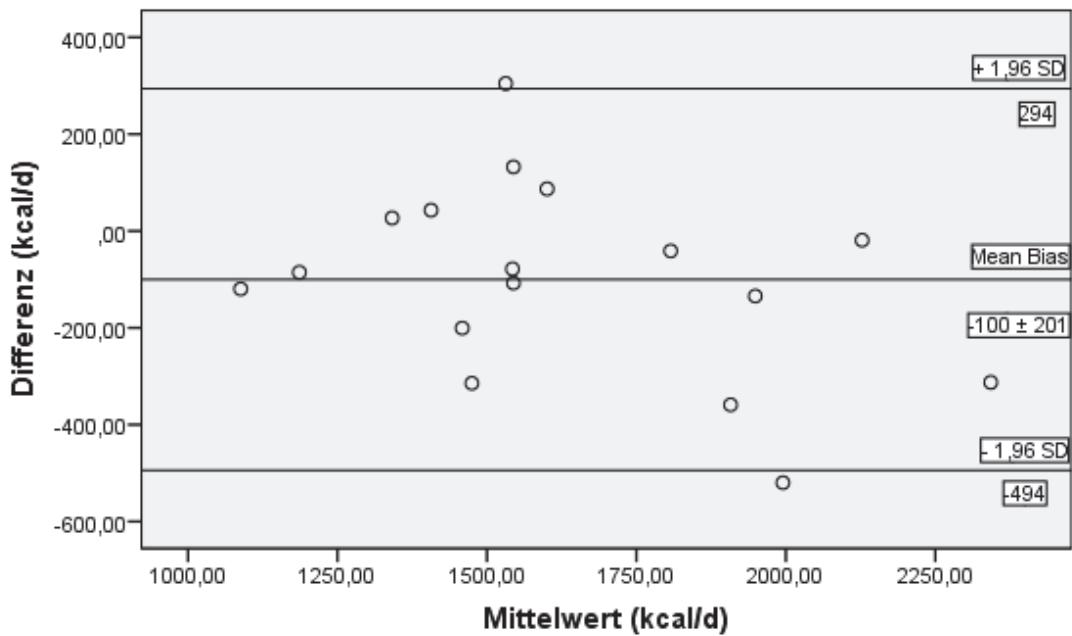
Bland-Altman-Plot.



Darstellung 12 zeigt im Bland-Altman-Plot den Vergleich der Übereinstimmung zwischen gemessenen und mit Harris-Benedict-Formel  $\times 1,2$  Stressfaktor berechneten Ruheenergieumsatz ( $n = 17$ ).

Darstellung 12:

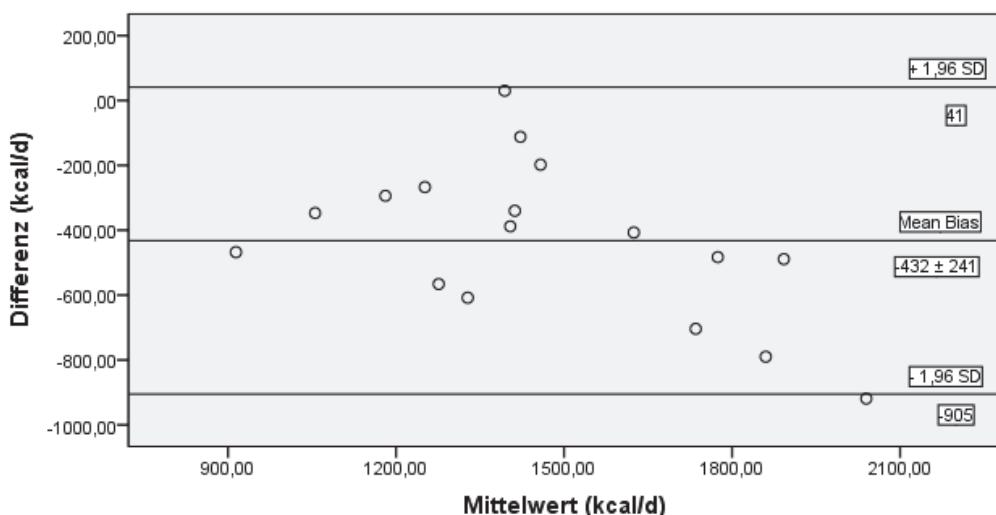
Bland-Altman-Plot.



In Darstellung 13 und 14 ist mittels Bland-Altman-Plot der Vergleich der Übereinstimmung zwischen gemessenen und mit BMR-Faktoren (Darstellung 13) sowie mit BMR-Faktoren mit Stressfaktor (Darstellung 14) berechneten Ruheenergieumsatz abgebildet ( $n = 17$ ).

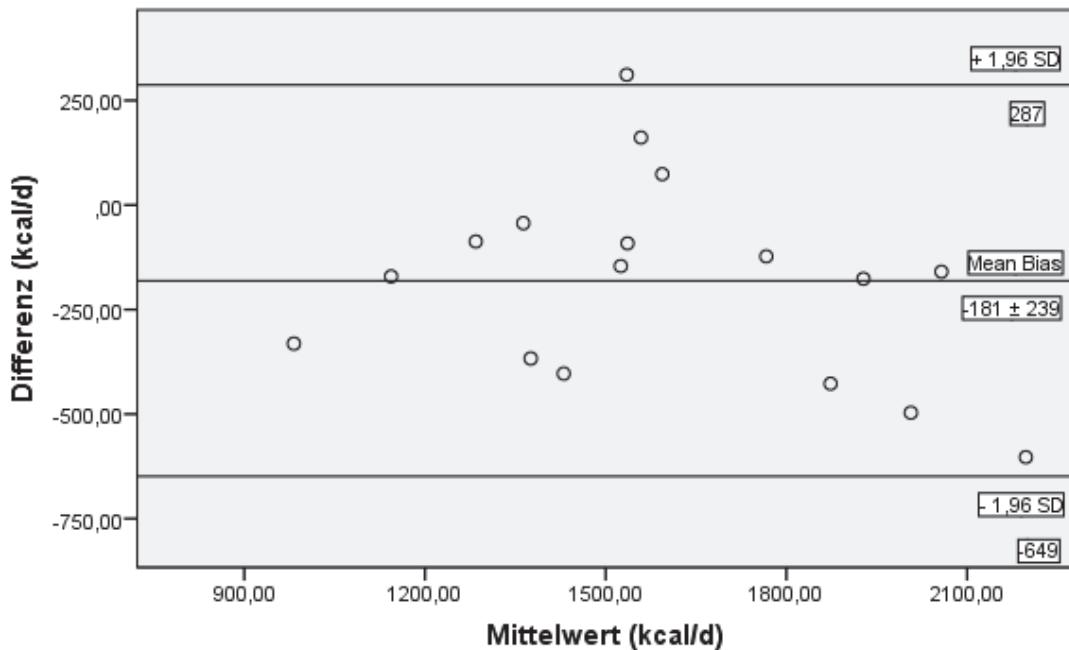
Darstellung 13:

Vergleich zwischen gemessenen und mit BMR-Faktoren berechneten Ruheenergieumsatz.



#### Darstellung 14:

Bland-Altman-Plot.

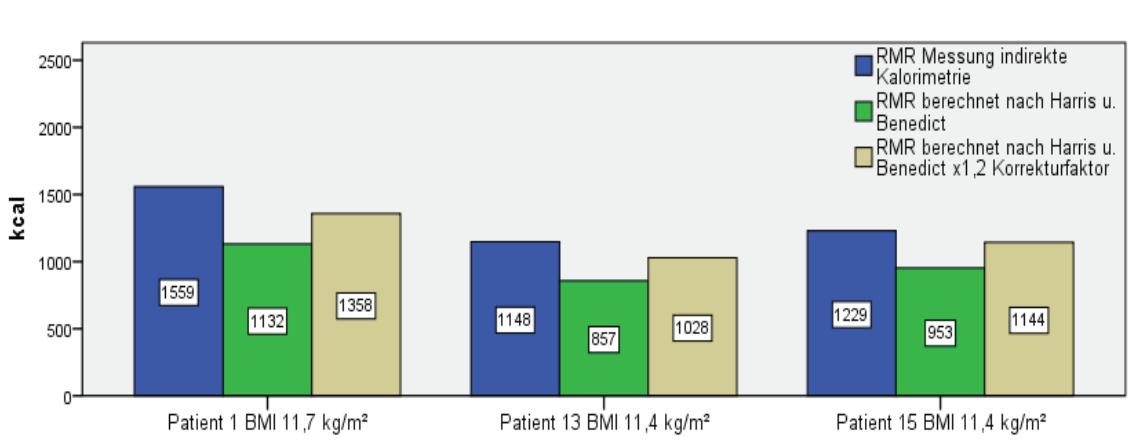


## 4.2 Gebündelte Fallserie

Nachfolgend wird aus diesen Patienten eine gebündelte Fallserie gebildet. Die Bündelung erfolgt nach Höhe der BMI-Werte der Patienten. In den Darstellungen 15, 16 und 17 werden 3 Patienten mit extrem niedrigen BMI von  $11,4 \text{ kg/m}^2$  bis  $11,7 \text{ kg/m}^2$  gezeigt. Die Darstellungen 18, 19 und 20 zeigen 12 Patienten mit einem BMI von  $17,7 \text{ kg/m}^2$  bis  $29,6 \text{ kg/m}^2$ . Zwei Patienten mit einem BMI über  $30 \text{ kg/m}^2$  sind in Darstellung 21, 22 und 23 abgebildet.

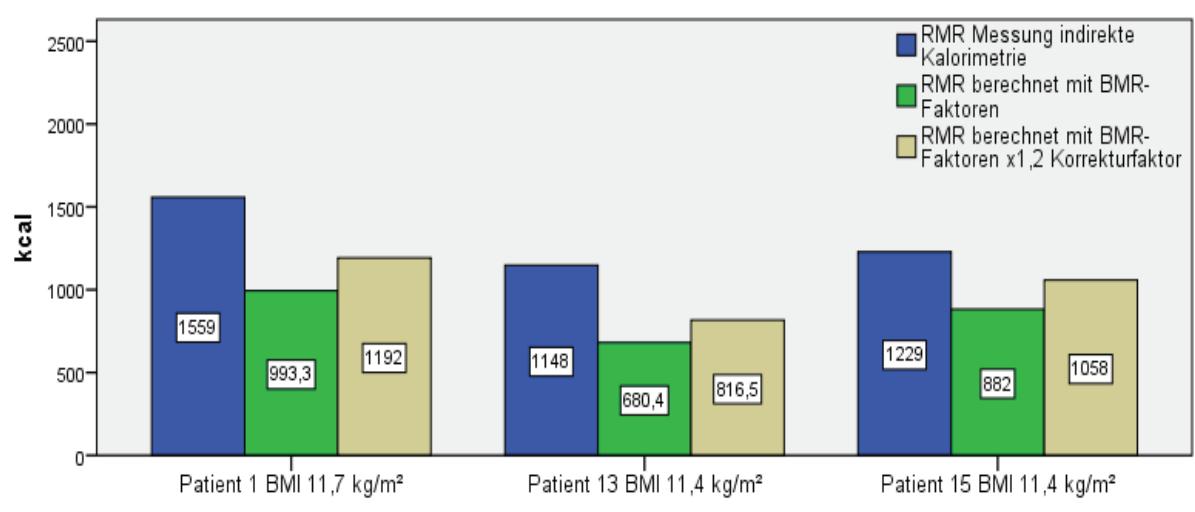
#### Darstellung 15:

Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR nach der Harris-Benedict-Formel mit und ohne Korrekturfaktor bei 3 Patienten mit extrem niedrigem BMI.



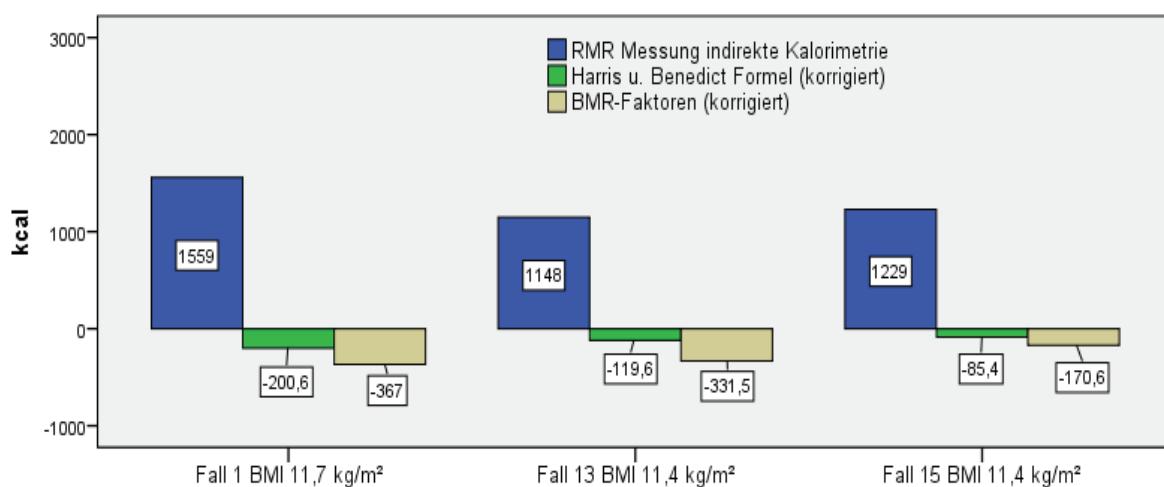
Darstellung 16:

Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR mit BMR- Faktoren mit und ohne Korrekturfaktor bei 3 Patienten mit extrem niedrigem BMI.



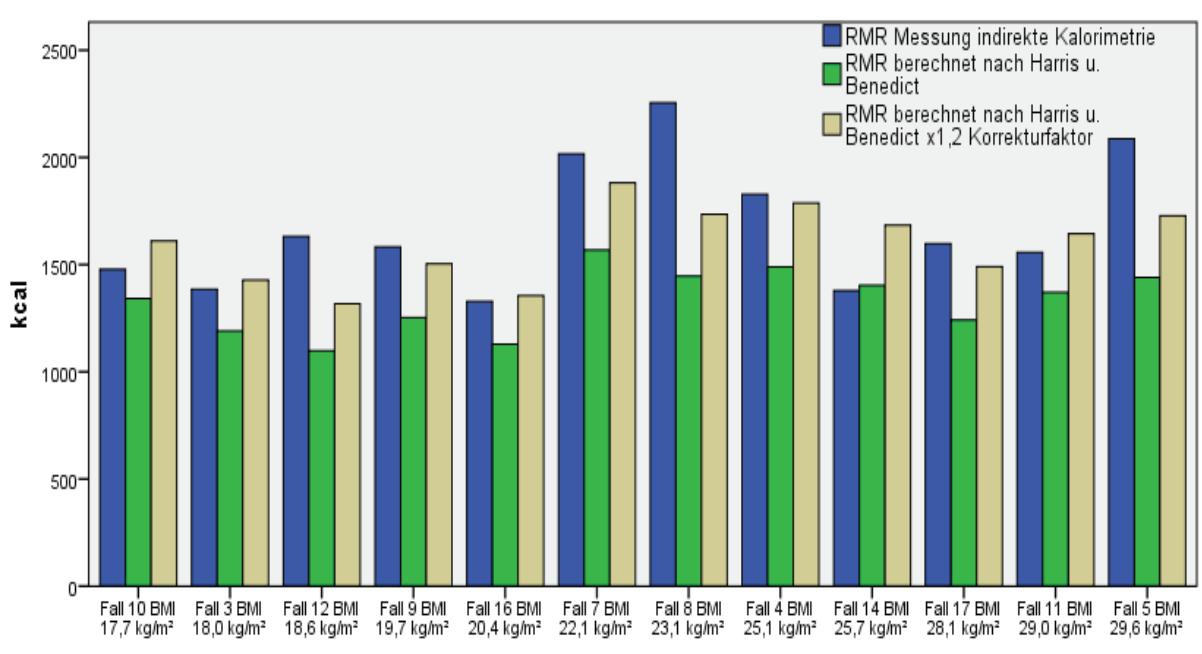
Darstellung 17:

Abweichung der errechneten Werte nach der Harris-Benedict-Formel (korrigiert) und der errechneten Werte mit BMR-Faktoren (korrigiert) zu den mittels IC gemessenen Werten des RMR bei 3 Patienten mit extrem niedrigem BMI.



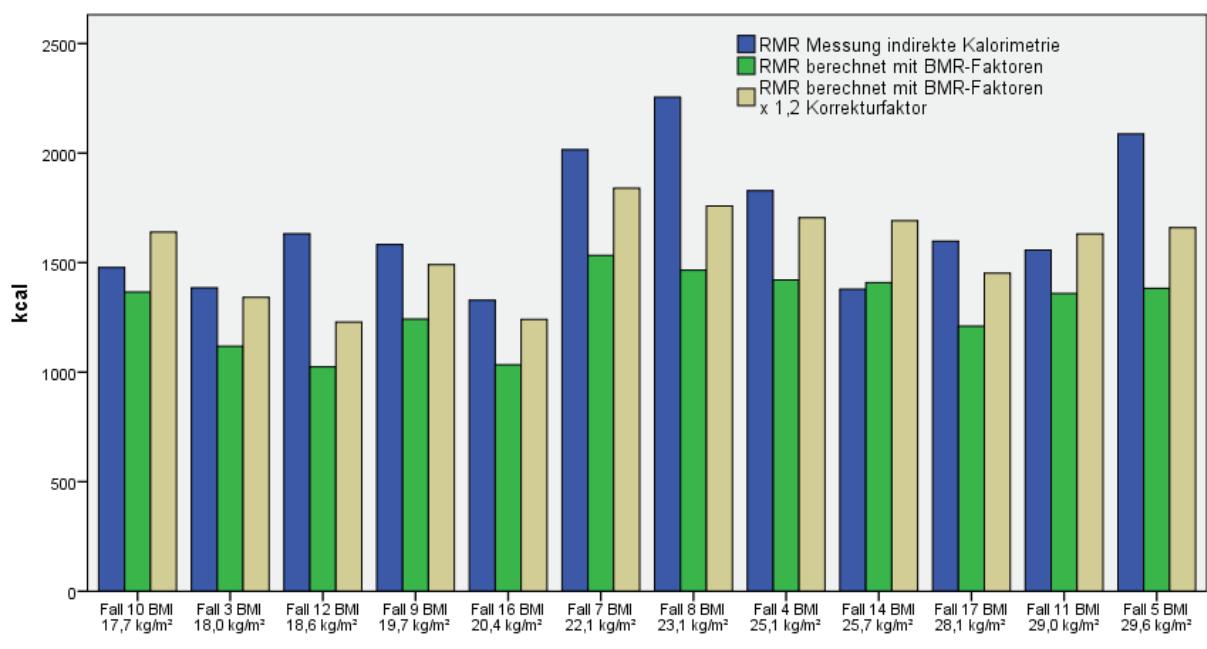
### Darstellung 18:

Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR nach der Harris-Benedict-Formel mit und ohne Korrekturfaktor bei 12 Patienten mit einem BMI im oberen Untergewichtsbereich bis zum Übergewichtsbereich.



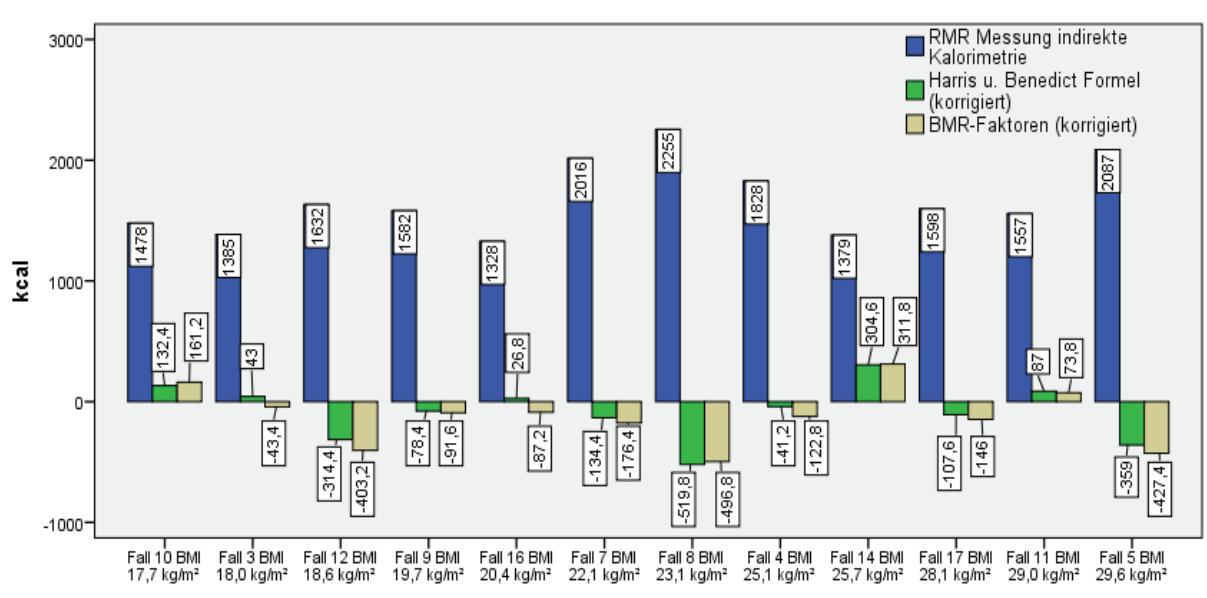
### Darstellung 19:

Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR mit BMR- Faktoren mit und ohne Korrekturfaktor bei 12 Patienten mit einem BMI im oberen Untergewichtsbereich bis zum Übergewichtsbereich.



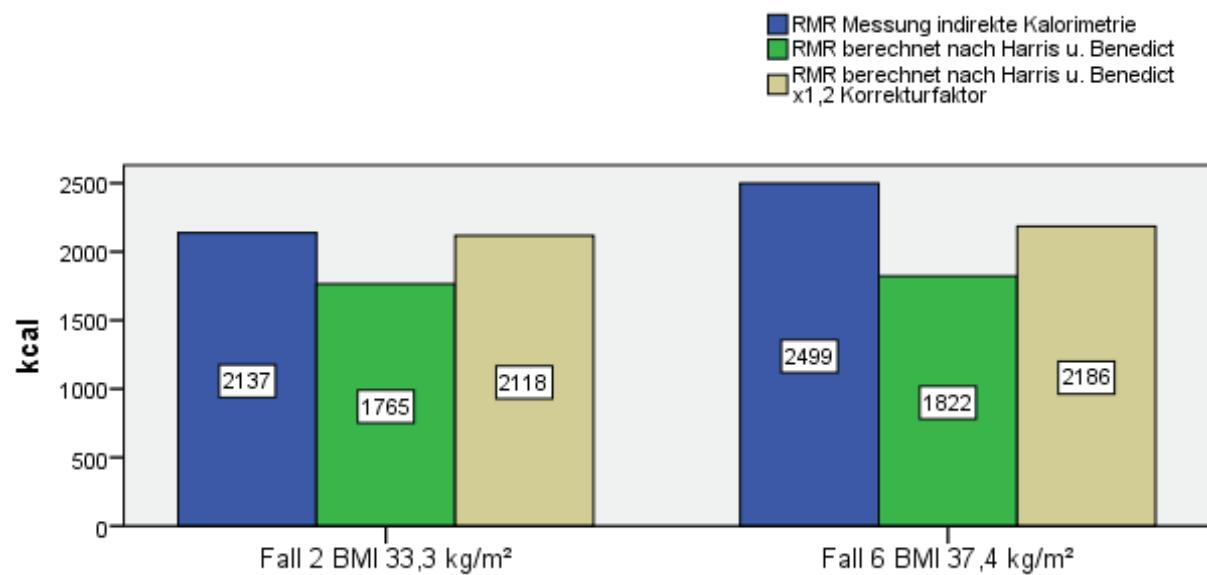
### Darstellung 20:

Abweichung der errechneten Werte nach der Harris-Benedict-Formel (korrigiert) und der errechneten Werte mit BMR-Faktoren (korrigiert) zu den mittels IC gemessenen Werten des RMR bei 12 Patienten mit einem BMI im oberen Untergewichtsbereich bis zum Übergewichtsbereich.



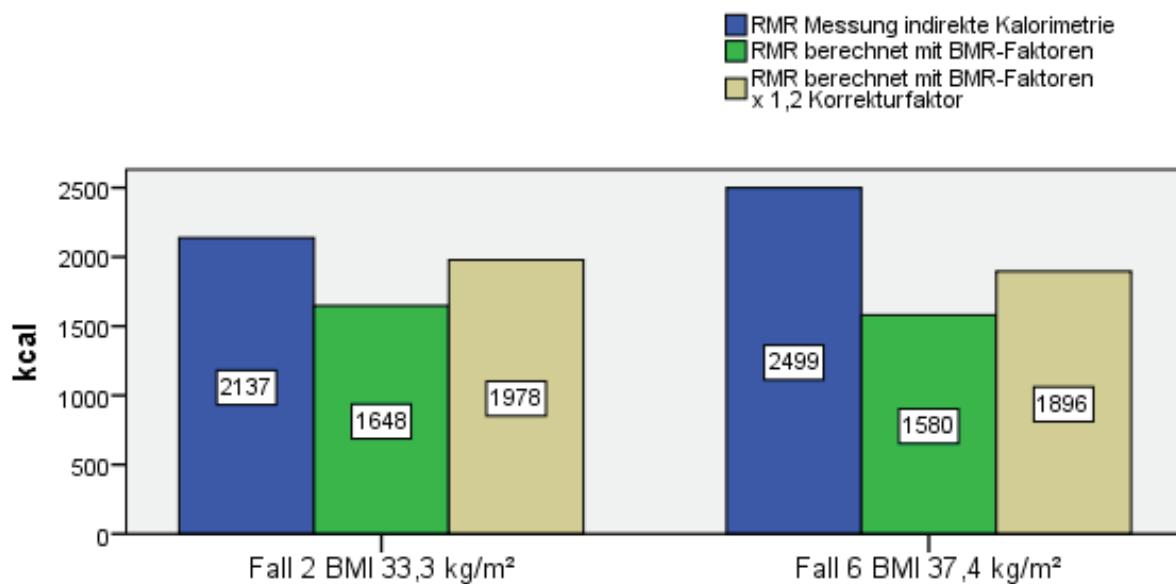
### Darstellung 21:

Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR nach der Harris-Benedict-Formel mit und ohne Korrekturfaktor bei 2 Patienten mit einem BMI > 30 kg/m<sup>2</sup>.



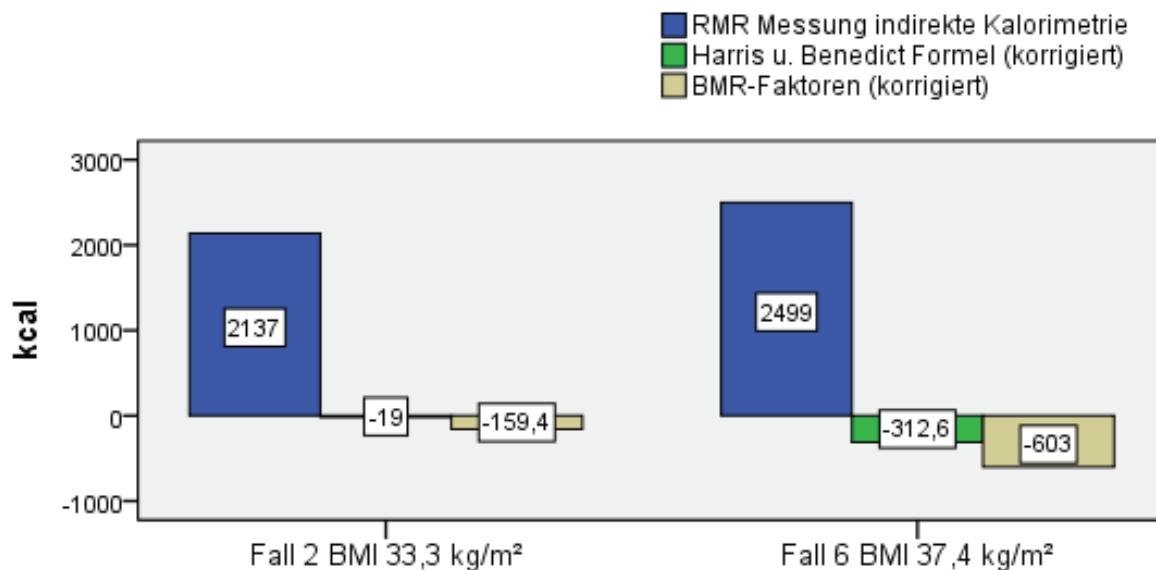
### Darstellung 22:

Darstellung des gemessenen RMR mittels IC und des berechneten RMR mit BMR- Faktoren mit und ohne Korrekturfaktor bei 2 Patienten mit einem BMI > 30 kg/m<sup>2</sup>.



### Darstellung 23:

Abweichung der errechneten Werte nach der Harris-Benedict-Formel (korrigiert) und der errechneten Werte mit BMR-Faktoren (korrigiert) zu den mittels IC gemessenen Werten des RMR bei 2 Patienten mit einem BMI > 30 kg/m<sup>2</sup>.



## 5 DISKUSSION

Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass sich bei der vorliegenden Patientengruppe, die berechneten stark von den gemessenen Ruheenergieumsätzen unterschieden. Dabei traten sowohl Unterschätzungen als auch Überschätzungen auf. In der vorliegenden Untersuchung wurde bei allen Patienten ein Faktor zur Korrektur krankheitsbedingter Abweichungen vom prognostizierten Grundumsatz von 1,2 angewendet, da die überwiegende Anzahl der Patienten eine Tumorerkrankung im Gastrointestinaltrakt aufwies. Anhand der Auswertung der Ergebnisse lässt sich feststellen, dass in dem untersuchten heterogenen Patientenkollektiv von 17 heimparenteral ernährten Patienten in jedem Fall eine Messung mittels Indirekter Kalorimetrie zu empfehlen ist.

Wird der Ruheenergieumsatz nach den Empfehlungen der DGEM mit 25-30 kcal/kg Körpergewicht berechnet, ergäbe sich mit der Tagesenergiezufuhr von 25 kcal/kg Körpergewicht für 7 Probanden eine Überernährung. Sechs Probanden wären bei einer Tagesenergiezufuhr von 30 kcal/kg Körpergewicht unversorgt, lediglich für 4 der untersuchten 17 Probanden bestünde eine Übereinstimmung mit der Leitlinienempfehlung (vgl. Darstellung 10).

Der Vergleich der Messmethoden und deren Übereinstimmung zeigten in der Darstellung nach Bland-Altman einen großen Bereich zwischen den Übereinstimmungsgrenzen (vgl. Darstellung 12-15). Dabei ergaben sich Übereinstimmungsgrenzen von -781 bis 51 kcal pro Tag bei dem Vergleich der Harris-Benedict-Formel mit der Indirekten Kalorimetrie. Wurde die Harris-Benedict-Formel mit einem Stressfaktor von 1,2 korrigiert ergaben sich Übereinstimmungsgrenzen von -494 bis 294 kcal pro Tag. Beim Vergleich der Berechnung mit BMR-Faktoren mit der indirekten Kalorimetrie wurde ebenfalls ein großer Bereich (-905 bis 41 kcal/d) zwischen den Übereinstimmungsgrenzen deutlich. Wurde die Berechnung mit BMR-Faktoren mit einem Stressfaktor von 1,2 korrigiert und mit der indirekten Kalorimetrie verglichen, zeigten sich Übereinstimmungsgrenzen von -649 bis 287 kcal pro Tag. Anhand dieser Ergebnisse wird deutlich, dass der individuelle Ruheenergieumsatz berechnet durch Schätzformeln sich im Bereich zwischen 832 und 936 kcal pro Tag von dem durch Indirekte Kalorimetrie gemessenen Ruheenergieumsatz deutlich unterscheidet. Daraus ergibt sich eine beträchtliche klinische Relevanz. In einer Studie [34] mit ebenfalls kleiner Patientenzahl stellten die Autoren beim Vergleich der Harris-Benedict-Formel mit der Indirekten Kalorimetrie ebenfalls große Grenzen der Übereinstimmung fest. In dieser Untersuchung wurde bei 8 Patienten mit Pankreaskarzinom die Harris-Benedict-Formel sogar mit einem Stressfaktor von 1,3 korrigiert. Gleiche Beobachtungen machten sie auch beim Vergleich weiterer Schätzformeln mit der Indirekten Kalorimetrie.

Aufgrund der Heterogenität der hier untersuchten Probanden wurde aus dem Patientenkollektiv eine gebündelte Fallserie gebildet. Die Bündelung erfolgte nach der Höhe des BMI der Patienten (vgl. Darstellung 11).

In der ersten Gruppe der Patienten mit extrem niedrigem BMI ( $n = 3$ ) zeigten die nach der Harris-Benedict-Formel berechneten Ruheenergieumsatzwerte eine Unterschätzung im Durchschnitt von 300 kcal im Vergleich zu den gemessenen Ruheenergieumsatzwerten. Auch nach der Anwendung des Korrekturfaktors von 1,2 wurde eine Unterschätzung der berechneten RMR-Werte im Vergleich zu den gemessenen RMR-Werten deutlich. In dieser Gruppe fiel auch bei der Anwendung der BMR-Faktoren eine Unterschätzung im Durchschnitt von 411 kcal zu den gemessenen Werten auf. Wurde bei der Berechnung mit BMR-Faktoren ein Stressfaktor von 1,2 angewendet, zeigte sich ebenfalls eine Unterschätzung beim Vergleich der berechneten zu den gemessenen Ruheenergieumsatzwerten. Die Abschätzung des Ruheenergieumsatzes anhand der kcal pro Kilogramm Körpergewicht bezogen auf einen Tag zeigte sich bei den Patienten mit sehr niedrigem Körpergewicht als weit unterschätzt. In dieser Patientengruppe mit extrem niedrigen BMI konnte der berechnete Ruheenergieumsatzwert, nach der Harris-Benedict-Formel mit einem Korrekturfaktor von 1,2, die größte Annäherung an den gemessenen Ruheenergieumsatzwert erreichen.

In der nächsten Patientengruppe mit BMI Werten im oberen Untergewichtsbereich bis hin zum Übergewichtsbereich ( $n = 12$ ) ergaben sich bei der Berechnung der RMR-Werte sowohl Überschätzungen als auch Unterschätzungen, im Vergleich zu den gemessenen Ruheenergieumsätzen. Diese Ergebnisse wurden festgestellt für die berechneten RMR-Werte nach der Harris-Benedict-Formel, mit und ohne Stressfaktor. Ebenso ergaben sich Über- und Unterschätzungen der RMR-Werte bei der Berechnung mit BMR-Faktoren, mit und ohne Stressfaktor. Es lässt sich aus den vorliegenden Daten in der Gruppe der Patienten mit BMI Werten im oberen Untergewichtsbereich bis hin zum Übergewichtsbereich kein systematischer Zusammenhang der Ruheenergieumsatzwerte mit der Höhe des BMI herstellen.

In der dritten Gruppe der Patienten mit einem extrem hohen BMI ( $n = 2$ ) konnten in der vorliegenden Untersuchung bei der Berechnung des Ruheenergieumsatzes nach der Harris-Benedict-Formel mit und ohne Stressfaktor Ruheenergieumsatzwerte, die unter den Messwerten lagen nachgewiesen werden. In der von Kross et al. [35] durchgeföhrten Studie wurde bei kritisch kranken Patienten der berechnete Ruheenergieumsatz nach Schätzformeln unter anderem durch die Harris-Benedict-Formel mit dem mittels Indirekter Kalorimetrie gemessenen Ruheenergieumsatz verglichen. Auch in dieser Untersuchung zeigte sich bei der Harris-Benedict-Formel in allen BMI-Kategorien eine Unterschätzung. Besonders groß war die Unterschätzung in der Gruppe der übergewichtigen und adipösen Patienten [35]. Bei der Berechnung der RMR-Werte mit BMR-Faktoren mit und ohne Stressfaktor zeigte sich in der

vorliegenden Untersuchung bei Patienten mit extrem hohem BMI eine Unterschätzung im Vergleich zu den gemessenen RMR-Werten.

Anhand der Ergebnisse aus den drei gebildeten BMI Gruppen wird deutlich, dass starke Schwankungen auch unabhängig von der Schätzmethode zwischen den RMR-Werten auftreten und somit keine Generalisierung möglich ist. Aufgrund dieser Tatsache ergibt sich der Schluss, dass für die individuelle Abschätzung des Ruheenergiebedarfes der hier untersuchten Patienten die indirekte Kalorimetrie erforderlich scheint. Gleiche Beobachtungen wurden auch in der Arbeit von Lawinski et al. [36] aufgezeigt. In einer weiteren Studie von Amirkalali et al. [37] wurde der Ruheenergieumsatz von 60 Krankenhauspatienten mit verschiedenen Diagnosen unter anderem Tumorerkrankungen mittels Indirekter Kalorimetrie gemessen. Die Berechnung der Ruheenergieumsätze erfolgte nach der Harris-Benedict-Formel und der Mifflin-St Jeor-Formel. Obwohl sich beim Vergleich der gemessenen und berechneten Werte kein statistisch signifikanter Unterschied ergab, konnte jedoch im gesamten Kollektiv aufgrund der ermittelten Unter- und Überschätzungen eine klinische Relevanz festgestellt werden. Die Autoren kommen ebenfalls zu dem Schluss, dass für die individuelle Abschätzung des Ruheenergiebedarfes eine Indirekte Kalorimetrie zu empfehlen ist.

### Stärken und Limitationen

Empirische Untersuchungen sind grundsätzlich mit Limitationen verbunden. Die Methode der Indirekten Kalorimetrie eignet sich zur Bestimmung des momentan vorherrschenden Substratstoffwechsels und des aktuellen Energieumsatzes. Sie ist weder invasiv noch belastend für die Patienten. Bei der Interpretation der Messergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass individuelle physiologische Faktoren Veränderungen des Gasaustausches während der Messung bedingen können.

Die aktuelle Untersuchung wurde bei einem besonderen Patientenkollektiv durchgeführt. Diese Patienten waren zum Teil schwer krank und wenig belastbar oder in ihrer Mobilität eingeschränkt. Dennoch waren sie hochmotiviert und an der Messung interessiert, weil sie damit die Hoffnung auf eine Verbesserung ihrer Ernährungs- und Allgemeinsituation verbanden. Aufgrund der kleinen Fallzahl von 21 Patienten ist die vorliegende Untersuchung nicht repräsentativ für alle heimparenteral ernährten Patienten. Es ergaben sich überdies Schwierigkeiten bei der Einhaltung der standardisierten Messbedingungen da die Transportwege für die Patienten zum Untersuchungsort teilweise beschwerlich und lang waren.

## 6 SCHLUSSFOLGERUNG

Als Fazit der vorliegenden Untersuchung zeigt sich, dass Schätzformeln nicht dafür geeignet sind, den individuellen Energiebedarf eines Patienten mit chronisch progredientem Krankheitsverlauf zu ermitteln. Insbesondere die sich ständig ändernden Krankheitsphasen und somit die Veränderung des Allgemeinzustandes des Patienten beeinflussen den Grundumsatz. Auch die Anwendung eines Korrekturfaktors entsprechend der Krankheitsphase verbessert die Annäherung an den tatsächlichen Energiebedarf nur unzureichend. Daraus ergibt sich, dass der individuelle Energiebedarf der in der Studie untersuchten heimparenteral ernährten Patienten durch die Messung mittels Indirekter Kalorimetrie ermittelt werden sollte.

Ausgehend von den hier vorgestellten Ergebnissen wäre zu fragen, ob eine Neuaufstellung von Korrekturfaktoren für Schätzformeln zur Ermittlung des individuellen Energiebedarfs, welche nicht nur die Krankheitsphase sondern weitere persönliche Faktoren berücksichtigen, erforderlich ist. Dazu wären allerdings umfangreiche und aufwendige Erhebungen nötig.

Es ist zu beobachten, dass Patienten mit onkologischen Erkrankungen immer häufiger mit parenteraler Ernährung in der Häuslichkeit versorgt werden. Aus der Progredienz dieser Erkrankungen resultieren dynamische Veränderungen des Ruheenergieumsatzes der Patienten, infolgedessen können sich Veränderungen im Ernährungsstatus ergeben. Die wiederholte Messung des Ruheenergieumsatzes durch Indirekte Kalorimetrie, eignet sich zur Feststellung möglicher Veränderungen des Ruheenergieumsatzes. Es wäre in diesem Zusammenhang wünschenswert, dass für diese Patienten ein leichterer Zugang zur Indirekten Kalorimetrie möglich wird.

Zusammenfassend kann somit hervorgehoben werden, dass der Indirekten Kalorimetrie zur Verlaufskontrolle des Ernährungsstatus der Patienten mit parenteraler Ernährungstherapie eine besondere Bedeutung zukommt.

## LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

- [1] Kluthe R (Hrsg.). Ernährungsmedizin in der Praxis. Band 4. Balingen: Spitta Verlag; 1998.
- [2] Albrecht B, Albrecht G (Hrsg.). Der Eid des Hippokrates Ärzteinnerungen aus vier Jahrhunderten. Berlin: Buchverlag Der Morgen; 1979.
- [3] Dietrich CF (Hrsg.). Medizin im Vortrag Ernährung. Balingen: Spitta-Verlag; 2008.
- [4] Der Brock Haus in Fünf Bänden. 9. Neu bearbeitete Auflage. Leipzig: Brockhaus; 2000:4456-4457.
- [5] Klingenspor M. Regulation des Energiehaushalts. In: Haller D et al. (Hrsg.). Biofunktionalität der Lebensmittelinhaltstoffe. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2013:110-111.
- [6] Christen P, Jaussi R, Benoit R. Grundsätzliches zum Stoffwechsel. In: Christen P, Jaussi R, Benoit R (Hrsg.). Biochemie und Molekularbiologie. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016:153-160.
- [7] Grunicke H. Biochemie der Ernährung. In: Ledochowski M (Hrsg.). Klinische Ernährungsmedizin. Wien: Springer-Verlag; 2010:3-20.
- [8] Farhadi J, de Groot H, Kranefeld B. Ernährungswissenschaft. Ernährungslehre. 4. Auflage. Haan-Gruiten. Verlag Europa-Lehrmittel; 2001.
- [9] Suter PM: Checkliste Ernährung. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2005.
- [10] Müller MJ, Westenhöfer J, Bosy-Westphal A, Löser C, Selberg O. Ernährungsmedizinische Untersuchungen. In: Müller MJ (Hrsg.). Ernährungsmedizinische Praxis, Methoden – Prävention – Behandlung. 2. vollständig neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2007:79-91.
- [11] Daniel H, Wenzel U: Energiebilanz und Ernährungszustand. In: Löffler H, Petrides P, Heinrich P (Hrsg.). Biochemie und Pathobiochemie. 8. völlig neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Verlag; 2006:631-652.
- [12] Kreymann G, Adolph M, Müller MJ: Energieumsatz und Energiezufuhr. Aktuel Ernaehr Med 2007;32, Suppl 1:8-12.
- [13] Koula-Jenik H, Kraft M, Miko M, Schulz RJ (Hrsg.): Leitfaden Ernährungsmedizin. 1. Auflage. München: Urban & Fischer Verlag; 2006.

[14] Ohlrich S, Valentini L. Energie-und Nährstoffbedarf von Gesunden und Kranken. In: Weimann A, Schütz T, Fedders M, Grünewald G, Ohlrich S (Hrsg.). Ernährungsmedizin, Ernährungsmanagement, Ernährungstherapie. Interdisziplinärer Praxisleitfaden für die klinische Ernährung. Heidelberg: Ecomed Medizin; 2013:28-37.

[15] Mathias D. Ernährung und Bewegung Aktuelles medizinisches Wissen zur Gesundheit Fit von 1 bis Hundert. 3. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2015:11-16 und 90-91.

[16] Biesalski HK, Fürst P, Kasper H, Kluthe R, Pölert W, Pchstein C, Stähelin HB (Hrsg.): Ernährungsmedizin Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer. 3. erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2004.

[17] Ockenga J, Sanson E. Kalorienbedarf. In: Rümelin A, Mayer K (Hrsg.). Ernährung des Intensivpatienten. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2013:35-45.

[18] Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol.* 1949;109:1-9.

[19] Druml W, Jadrna K (Hrsg.): In: Empfehlungen für die enterale und parenterale Ernährungstherapie des Erwachsenen, 1. Taschenbuchausgabe, Wien 2005/2006, 113-115.

[20] Müller MJ. Ernährungsmedizinische Praxis, Methoden – Prävention – Behandlung. 2. vollständig neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2007.

[21] Duffy BJ. The Clinical Use Of Polyethylene Tubing. *Annals of Surgery.* 1949;11:929-936.

[22] Lelli A. Parenterale Ernährungstherapie[Internet].[zitiert am 13.05.2016]. URL: [http://www.vdd.de/fileadmin/downloads/Kongress\\_2012/Abstracts/Lelli\\_Antonio\\_-\\_Parenterale\\_Ern%C3%A4hrung\\_-\\_Auf\\_die\\_Technik\\_kommt\\_es\\_an.pdf](http://www.vdd.de/fileadmin/downloads/Kongress_2012/Abstracts/Lelli_Antonio_-_Parenterale_Ern%C3%A4hrung_-_Auf_die_Technik_kommt_es_an.pdf).

[23] Niederhuber JE, Ensminger W, Gyves JW, Liepman M, Doan K, Cozzi E. Totally implanted venous and arterial access system to replace external catheters in cancer treatment. *Surgery.* 1982;92:706–12.

[24] Schneider A, Momma M, Manns MP. Indikation zur künstlichen Ernährung Enterale und parenterale Ernährung. *Der Internist.* 2007;10:1066-1075.

[25] Andrä J, Weimann A. Heimparenterale Ernährung Auch bei schweren Erkrankungen zu Hause gut ernährt. *Heilberufe.* 2012;64(12):30-33.

[26] Fresenius M, Heck M. Repetitorium Intensivmedizin. 4. Auflage. Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg; 2011.

[27] Bischoff S, DGEM e.v. (Hrsg.). Supportive Ernährungskonzepte in der Onkologie Neue Leitlinien der DGEM [Internet].Newsletter 2/2014. URL:<http://www.dgem.de> (Zugriff: 27.03.2016).

[28] Pirlich M, Schütz T, Norman K, Gastell S, Josef Lübke H, Bischoff S: The German Hospital Malnutrition Study. *Clinical Nutrition*. 2006/08;4(25):563-572.

[29] Arends J, Bertz H, Bischoff SC, Fietkau R, Herrmann HJ, Holm E et.al.:S-3-Leitlinie der DGEM Klinische Ernährung in der Onkologie. *Aktuel Ernährungsmed*. 2015;40:e1-e74.

[30] Simanek R. Die Rolle früher parenteraler Ernährung bei Tumorpatienten. *Aktuel Ernährungsmed*. 2016;41:36–39.

[31] Harris JA, Benedict FG. A Biometric Study of Basal Metabolism in Man. Washington, DC, USA: Carnegie Institution of Washington, 1919.

[32] Kondrup J, Rasmussen HH, Hamberg O, Stanga Z: Nutritional risk screening (NRS 2002) a new method based on an analysis of controlled studies. *Clinical Nutrition*. 2003; 22:415-421.

[33] COSMED®. Quark RMR Benutzerhandbuch, VI Ausgabe 06/2013.

[34] Bauer J, Reeves MM, Capra S. The Agreement between Measured and Predicted Resting Energy Expenditure in Patients with Pancreatic Cancer: A Pilot Study. *J Pancreas*. 2004/01; 5(1):32-40.

[35] Kross EK, Sena M, Schmidt K, Stapleton RD. Comparison of Predictive Equations of Energy Expenditure and Measured Energy Expenditure in Critically Ill Patients. *J Crit Care*. 2012/06; 27(3):321.e5–321.e12.

[36] Ławiński M, Singer P, Gradowski Ł, Gradowska A, Bzikowska A, Majewska K. Predicted versus measured resting energy expenditure in patients requiring home parenteral nutrition. *Nutrition*. 2016/01; 32(1):151-152.

[37] Amirkalali B, Hosseini S, Heshmat R, Larijani B. Comparison of harris benedict and Mifflin-ST Jeor equations with indirect calorimetry in evaluating resting energy expenditure. *Indian J Med Sci*. 2008/07; 62(7):83-90.

## ANHANG

### Darstellung 2:

BMR-Faktoren zur Erhebung des Grundumsatzes für Frauen in kcal/kg KG/Tag.

BMI (kg/m <sup>2</sup> ) →	<14	14-	16,5-	18,5-	20-	25	30-	>
Alter (Jahre) ↓		16,4	18,4	19,9	24,9	29,9	34,9	35,0
<b>18-29</b>	31,4	28,3	26,2	23,7	22,6	20,2	16,4	14,3
<b>30-39</b>	30,1	27,2	25,2	23,6	21,8	19,2	16,0	14,3
<b>40-49</b>	28,9	26,1	24,3	22,9	21,2	18,7	16,0	14,1
<b>50-59</b>	27,7	25,1	23,3	21,8	19,8	18,4	15,5	13,3
<b>60-69</b>	26,4	24,1	22,4	21,5	19,2	17,8	14,8	13,2
<b>70-79</b>	25,2	23,1	21,6	20,8	18,8	17,2	14,5	13,3
<b>80-100</b>	24,0	22,6	20,5	20,1	18,2	16,8	14,5	12,4

### Darstellung 3:

BMR-Faktoren zur Erhebung des Grundumsatzes für Männer in kcal/kg KG/Tag.

BMI (kg/m <sup>2</sup> ) →	<14	14-	16,5-	18,5-	20-	25	30-	>
Alter (Jahre) ↓		16,4	18,4	19,9	24,9	29,9	34,9	35,0
<b>18-29</b>	30,6	30,0	28,4	27,1	25,4	22,8	19,6	17,7
<b>30-39</b>	29,0	28,4	27,0	25,5	23,6	22,5	18,9	17,1
<b>40-49</b>	28,7	27,0	25,7	24,6	23,1	21,3	17,8	16,6
<b>50-59</b>	26,9	25,6	24,4	23,2	21,9	20,5	17,7	15,9
<b>60-69</b>	25,6	24,4	23,2	22,8	21,1	19,8	16,6	14,6
<b>70-79</b>	24,6	23,4	22,2	21,2	19,9	18,9	16,1	14,9
<b>80-100</b>	22,6	21,6	20,2	19,6	19,0	18,3	15,2	14,0

Darstellung 5:

Gerätewagen mit der Quark RMR Einheit, Monitor und Patient mit Canopy-Haube.



## **DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Bachelorarbeit beigetragen haben. Diese Bachelorarbeit ist im Rahmen des Abschlusses meines Diätetik Studiums an der Hochschule Neubrandenburg entstanden.

Weiterhin danke ich dem gesamten Dozententeam des Studiengangs Diätetik für die Unterstützung während des Studiums. Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin für die Geduld, Motivation und zeitnahen zahlreichen Hinweise bei der Erstellung meiner Bachelorarbeit.

Ebenso gilt mein Dank meiner Familie für die Hilfe während der verschiedenen Phasen der Erstellung meiner Arbeit, insbesondere meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt haben.

## EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

„Ich, Julienne Thieme versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Bachelorarbeit mit dem Thema: *Vergleich gemessener Ruheenergieumsatz mit berechnetem Ruheenergieumsatz am Beispiel heimparenteral ernährter Patienten* selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

---

Datum, Unterschrift