

Aus dem Institut für Physiologie
Zentrum für Weltraummedizin Berlin
der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Physiologische Langzeitveränderungen bei Überwinterern in der Antarktis unter besonderer Berücksichtigung von Aktivitätsparametern

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Mathias Steinach
aus Berlin

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. Dipl. geol. H.-Chr. Gunga
 2. Prof. Dr. med. L. Röcker
 3. Prof. Dr. med. W. Schobersberger

Datum der Promotion: 01. Februar 2013

Inhaltsverzeichnis

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abkürzungsverzeichnis..... | vii |
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Antarktis – geologischer, klimatischer und historischer Hintergrund | 1 |
| Geologie und Klima..... | 1 |
| Entdeckung der Antarktis | 3 |
| Besiedlung der Antarktis | 4 |
| 1.2 Arten der Aufenthalte in polaren Regionen | 4 |
| 1.3 Deutsche Antarktisstationen..... | 5 |
| Georg-von-Neumayer-Stationen | 5 |
| Kohnen-Station | 6 |
| 1.4 Aufenthalte in extremen Umwelten wie der Antarktis als Weltraumanalog | 7 |
| 1.5 Thematik und Fragestellung | 10 |
| Thematik und Fragestellung der Untersuchung von Veränderungen physiologischer Parameter der Überwinterer in der Antarktis 2008-2011 | 10 |
| Thematik und Fragestellung der Validierungsuntersuchungen des SenseWear-Gerätes..... | 11 |
| 2. Methodik..... | 12 |
| 2.1 Georg-von-Neumayer-Stationen in der Antarktis | 12 |
| Namensgeber | 12 |
| Geographische Lage der Stationen..... | 12 |
| Beschreibung der Georg-von-Neumayer-Station II | 13 |
| Beschreibung der Georg-von-Neumayer-Station III..... | 14 |
| 2.2 Untersuchungskollektive der Überwinterungen in der Antarktis | 16 |
| Auswahl und Zusammensetzung der Überwinterungsteams | 16 |
| Ablauf einer Überwinterungskampagne..... | 17 |
| Ausrüstung, Versorgung und Ernährung..... | 19 |
| 2.3 Teilnahme der Überwinterer an den Messungen..... | 19 |
| 2.4 Messzeitpunkte der Bestimmung der Messparameter in der Antarktis | 20 |
| 2.5 Bestimmung der Körperzusammensetzung..... | 21 |
| Modelle und Normwerte der Körperzusammensetzung..... | 21 |
| Messtechniken zur Bestimmung der Körperzusammensetzung | 22 |
| Bestimmung der Körperzusammensetzung mittels Bioelektrischer Impedanzanalyse..... | 23 |
| Bestimmung des Körpergewichts und der Körperzusammensetzung der Überwinterer..... | 26 |
| 2.6 Bestimmung des Energieumsatzes | 27 |
| Modelle und Normwerte des Energieumsatzes..... | 27 |
| Messtechniken zur Bestimmung des Energieumsatzes | 29 |
| 2.7 Bestimmung von Parametern des circadianen Rhythmus und Schlafes | 30 |
| Modelle und Normwerte des circadianen Rhythmus und Schlafes | 30 |
| Messtechniken zur Bestimmung von Parametern des circadianen Rhythmus und Schlafes..... | 34 |
| 2.8 Actimetrie – eine Methode zur Bestimmung von Parametern des Energieumsatzes, der Aktivität und des Schlafes | 34 |
| Messprinzip der Actimetrie | 34 |
| Bestimmung des Energieumsatzes mit Actimetern..... | 35 |
| Bestimmung von Schlafparametern mit Actimetern..... | 35 |
| Actimeter „SenseWear“ | 36 |
| Bestimmung der Schlaf- und Aktivitätsparameter der Überwinterer..... | 37 |

| | | |
|------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.9 | Hormon- und Stoffwechselfparameter | 37 |
| | 25-OH-Vitamin D | 37 |
| | Thyreoidea Stimulierendes Hormon | 39 |
| | Leptin..... | 40 |
| | Adiponektin | 42 |
| | Erythropoietin | 43 |
| | Ferritin..... | 45 |
| | Serum Transferrin Rezeptor | 46 |
| | Bestimmung der Hormon- und Stoffwechselfparameter der Überwinterer | 46 |
| 2.10 | Statistische Auswertung der Messwerte aus den Überwinterungen..... | 47 |
| | Statistische Tests und graphische Darstellungen | 47 |
| 2.11 | Validierung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Schlafparameter mittels | |
| | Polysomnographie..... | 49 |
| | Polysomnographie..... | 49 |
| | Probandenhintergrund..... | 50 |
| | Bestimmung der Messparameter..... | 51 |
| | Statistische Auswertung..... | 52 |
| 2.12 | Untersuchung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen | |
| | Parameter durch den Vergleich dreier SenseWear-Geräte an drei Trageorten..... | 52 |
| | Probandenhintergrund..... | 52 |
| | Bestimmung der Messparameter..... | 52 |
| | Statistische Auswertung..... | 54 |
| 2.13 | Untersuchung verschiedener vom SenseWear-Gerät erhobener Parameter | |
| | nach Beeinflussung durch vorherigen Wasserduschgang..... | 55 |
| | Probandenhintergrund..... | 55 |
| | Bestimmung der Messparameter..... | 55 |
| | Statistische Auswertung..... | 56 |
| 3. | Ergebnisse..... | 57 |
| 3.1 | Anthropometrische Daten der Überwinterer..... | 57 |
| 3.2 | Untersuchung von Veränderungen während der Überwinterungen | |
| | nach Staffeln getrennt | 59 |
| | Untersuchung der Veränderungen der Körperzusammensetzung..... | 59 |
| | Untersuchung der Veränderungen von Schlaf- und Aktivitätsparametern | 71 |
| | Untersuchung der Veränderungen von Hormon- und Stoffwechselfparametern..... | 85 |
| 3.3 | Untersuchung von Veränderungen während der Überwinterungen | |
| | durch Kombination aller Staffeln..... | 98 |
| | Untersuchung der Veränderungen der Körperzusammensetzung..... | 98 |
| | Untersuchung der Veränderungen von Schlaf- und Aktivitätsparametern | 103 |
| | Untersuchung der Veränderungen von Hormon- und Stoffwechselfparametern | 109 |
| 3.4 | Untersuchung von Veränderungen während der Überwinterungen | |
| | durch graphische Darstellung der untersuchten Parameter | |
| | als Mittelwerte pro Staffel..... | 116 |
| | Untersuchung der Veränderungen der Körperzusammensetzung..... | 116 |
| | Untersuchung der Veränderungen von Schlaf- und Aktivitätsparametern | 118 |
| | Untersuchung der Veränderungen von Hormon- und Stoffwechselfparametern..... | 120 |
| 3.5 | Korrelationen von Einzelparametern der Überwinterer | 122 |
| | Korrelationen verschiedener Parameter der Körperzusammensetzung | |
| | und Hormon- und Stoffwechselfparameter untereinander..... | 122 |

| | | |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.6 | Validierung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Schlafparameter mittels Polysomnographie..... | 125 |
| | Anthropometrische Daten der Teilnehmer der Validierungsuntersuchung..... | 125 |
| | Statistischer Vergleich der Methoden SenseWear und Polysomnographie..... | 125 |
| 3.7 | Untersuchung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter durch den Vergleich dreier SenseWear-Geräte an drei Trageorten..... | 131 |
| | Anthropometrische Daten des Teilnehmers der Validierungsuntersuchung..... | 131 |
| | Statistischer Vergleich der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter in Abhängigkeit von unterschiedlichen Testgeräten und Trageorten..... | 131 |
| | Statistische Prüfung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter in Abhängigkeit von unterschiedlichen Testgeräten und Trageorten..... | 134 |
| 3.8 | Untersuchung verschiedener vom SenseWear-Gerät erhobener Parameter nach Beeinflussung durch vorherigen Wasserduschgang..... | 141 |
| | Anthropometrische Daten des Teilnehmers der Validierungsuntersuchung..... | 141 |
| | Statistische Prüfung des Einflusses eines vorherigen Wasserduschgangs auf vom SenseWear-Gerät erhobene Parameter..... | 141 |
| 4. | Diskussion..... | 152 |
| 4.1 | Veränderungen des Körpergewichts und der Körperzusammensetzung der Überwinterer..... | 152 |
| | Körpergewicht..... | 152 |
| | Fettfreie Masse, Körperzellmasse und Gesamtkörperwasser..... | 152 |
| | Verfahren der BIA-Messung..... | 153 |
| 4.2 | Veränderungen der Schlaf- und Aktivitätsparameter der Überwinterer..... | 154 |
| | Schlafparameter..... | 154 |
| | Aktivitätsparameter..... | 154 |
| 4.3 | Veränderungen der Hormon- und Stoffwechselfparameter der Überwinterer..... | 157 |
| | 25-OH-Vitamin D..... | 157 |
| | Thyreoidea Stimulierendes Hormon..... | 158 |
| | Leptin und Adiponektin..... | 160 |
| | Hormone der Erythropoese (EPO, Ferritin, sTfR)..... | 160 |
| | Zusammenhang zwischen Stoffwechselhormonen, evolutionärem Einfluss und circadianem Rhythmus..... | 162 |
| | Korrelationen verschiedener Parameter der Körperzusammensetzung und verschiedener Hormon- und Stoffwechselfparameter..... | 164 |
| 4.4 | Validierung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Schlafparameter mittels Polysomnographie..... | 165 |
| 4.5 | Untersuchung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter durch den Vergleich dreier SenseWear-Geräte an drei Trageorten..... | 166 |
| 4.6 | Untersuchung verschiedener vom SenseWear-Gerät erhobener Parameter nach Beeinflussung durch vorherigen Wasserduschgang..... | 168 |
| 4.7 | Einschränkungen..... | 170 |
| | Einschränkungen der Untersuchung der Veränderungen physiologischer Parameter der Überwinterer in der Antarktis 2008-2011..... | 170 |
| | Einschränkungen der Validierungsuntersuchungen des SenseWear-Gerätes..... | 170 |
| 5. | Zusammenfassung..... | 171 |
| 5.1 | Veränderungen physiologischer Parameter bei Überwinterern der Georg-von-Neumayer-Stationen II und III 2008-2011..... | 171 |
| 5.2 | Untersuchungen zur Validierung des in der Antarktis eingesetzten Actimeters „SenseWear“..... | 172 |

| | |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 5.3 Ausblick für künftige Untersuchungen..... | 173 |
| 5.4 Gesamtbetrachtung und abschließende Bemerkungen..... | 174 |
| Literaturverzeichnis | 175 |
| Abbildungsverzeichnis | 193 |
| Danksagung | 200 |
| Lebenslauf | 201 |
| Kontaktdaten | 201 |
| Publikationsliste..... | 201 |
| Selbständigkeitserklärung..... | 202 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------|---------------------------------------------------------------|
| AMP | Adenosinmonophosphat |
| AWI | Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung |
| BCM | Body Cell Mass, Körperzellmasse |
| BIA | Bioelektrische Impedanzanalyse |
| BMI | Body Mass Index |
| CI | Confidence Interval, Konfidenzintervall |
| DEXA | Dual X-Ray Absorptiometrie |
| ECM | Extra Cellular Mass, Extrazellulärmasse |
| ECW | Extra Cellular Water, Extrazellulärwasser |
| EEG | Elektroenzephalographie, Elektroenzephalogramm |
| EPICA | European Project for Ice Coring in Antarctica |
| EPO | Erythropoietin |
| ESA | European Space Agency |
| FFM | fettfreie Masse |
| FM | Fettmasse |
| GABA | γ -Aminobuttersäure |
| GKW | Gesamtkörperwasser |
| GU | Grundumsatz |
| ISS | International Space Station |
| KG | Körpergewicht |
| LOA | Limits of Agreement |
| Max | Maximum, maximaler Wert |
| Min | Minimum, minimaler Wert |
| n/a | nicht verfügbar |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NHN | Normalhöhennull (Meereshöhe) |
| NREM | Non Rapid Eye Movement |
| NST | Non Shivering Thermogenesis, zitterfreie Wärmeerzeugung |
| PA | Phase Angle, Phasenwinkel |
| PSG | Polysomnographie |
| REE | Resting Energy Expenditure, Ruheenergieumsatz |
| REU, RU | Ruheenergieumsatz |
| REM | Rapid Eye Movement |
| Rz | Resistanz |
| SCN | Nucleus suprachiasmaticus |
| SD | Standard Deviation, Standardabweichung |
| sTfR | soluble Transferrin Receptor, bzw. Serum Transferrin Rezeptor |
| SW | SenseWear-Gerät |
| T3 | Triiodthyronin |
| T4 | Tetraiodthyronin, Thyroxin |
| TBP | Total Body Potassium, Gesamtkörperkalium |
| TBW | Total Body Water, Gesamtkörperwasser |
| TSH | Thyreoidea Stimulierendes Hormon |
| ÜWI | Überwinterer |
| Xc | Reaktanz |
| Z | Impedanz |
| ZWMB | Zentrum für Weltraummedizin Berlin |

1. Einleitung

1.1 Antarktis – geologischer, klimatischer und historischer Hintergrund

Geologie und Klima

Vor nahezu 200 Millionen Jahren gehörten die Landmassen der heutigen Antarktis zum Urkontinent Gondwana. Infolge der Kontinentaldrifts gelangte die Antarktis nach Süden und in eine Umgebung, die klimatisch die Voraussetzung für das heutige Erscheinungsbild war (1;2).

Es war Alfred Wegener – Namensgeber des Alfred-Wegener-Institutes, welches die Forschungsstation in der Antarktis unterhält – der 1911, weit vor der Wissenschaftsgemeinde seiner Zeit, die Zusammenhänge der Kontinentaldrift erkannte (3). Abbildung 1 illustriert die damaligen Erkenntnisse Alfred Wegeners zur Kontinentaldrift.

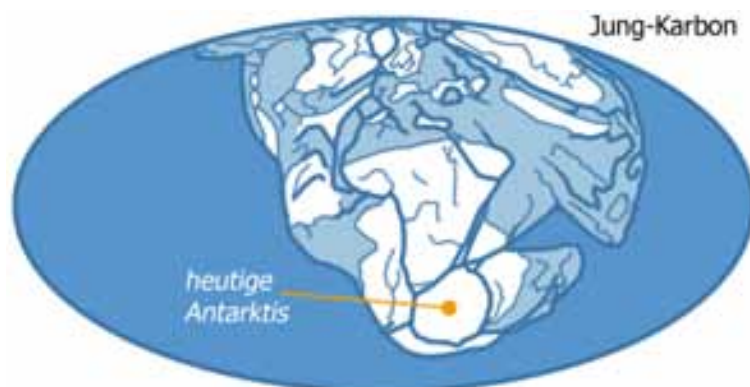


Abb. 1 Formationen des Urkontinents Gondwana, nach Alfred Wegener (3) neu erstellt

Die Antarktis beinhaltet die Land-, Eis- und Meeresgebiete um den Südpol, erstreckt sich bis zum südlichen Polarkreis ($66^{\circ} 33' S$) und umfasst geographisch betrachtet eine Fläche von 13.6 Millionen km^2 incl. Schelfeis und Inseln (4). Abbildung 2 zeigt die geographischen Gegebenheiten der Antarktis.

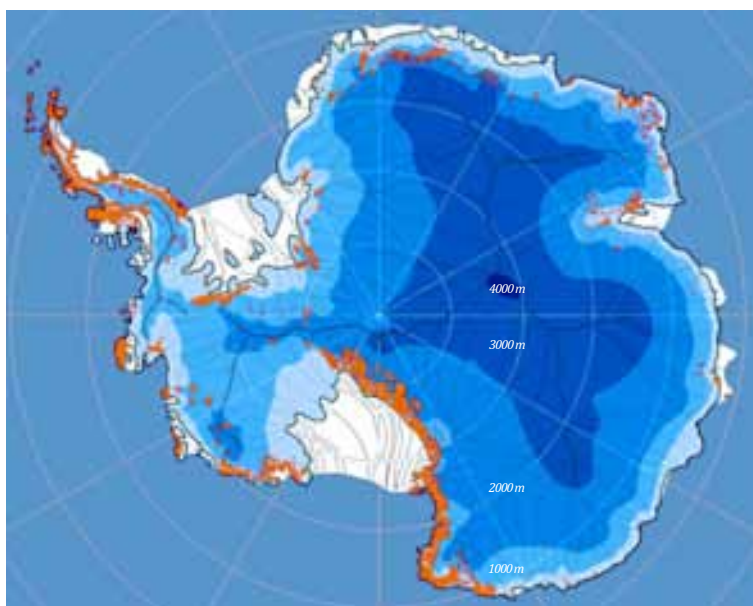


Abb. 2 Antarktis – Kontinentalgrenzen, kontinentale Eisflächen zunehmender Schichtdicke (hellblau bis dunkelblau in Schritten von 1000 m), eisfreie Zonen (orange), Schelfeis (weiß), nach (5;6) modifiziert

Die Antarktis wird seit ca. 5 Mio. Jahren von einem Eisschild bedeckt, der eine mittlere Dicke von 2100 m aufweist, wie Abbildung 2 illustriert. Mit einem Volumen von rund 30 Mio. km³ stellt das antarktische Eis ca. 65 % der weltweiten Süßwasserressourcen dar (6). Diese Eisbedeckung führt zur weitgehenden Reflektion der auftreffenden Strahlung zurück in den Weltraum (sog. Albedo); durch die dort vorherrschende dünne Troposphäre, wird dieser Effekt noch verstärkt (7). Das Klima in der Antarktis wird zusätzlich durch den saisonalen Wechsel der Sonneneinstrahlung geprägt. Während des antarktischen Winters resultieren – je nach geographischer Breite – monatelange Phasen der Dunkelheit. Grund ist die Neigung der Erdachse gegenüber der Bahnkeiptik um die Sonne, was zu saisonal bedingten Phasen der Dauerbestrahlung bzw. Dauerdunkelheit in den polaren Regionen führt (8).

Abbildung 3 gibt (als bislang unveröffentlichte Darstellung) die Dauern der Sonneneinstrahlung am Ort der deutschen Forschungsstationen Georg-von-Neumayer I bzw. II über den Jahresverlauf wieder (Zeitraum 1982 bis 2004). Es wird dabei zwischen der extraterrestrischen Sonneneinstrahlung und der effektiv am Boden eintreffenden Strahlung (bedingt durch die atmosphärische Absorption) unterschieden. Es zeigt sich somit, dass im Bereich der deutschen Neumayer-Station in der Antarktis bis zu 80 Tage (40 Tage vor und 40 Tage nach Mittwinter am 21. Juni) effektiver Dunkelheit vorherrschen.

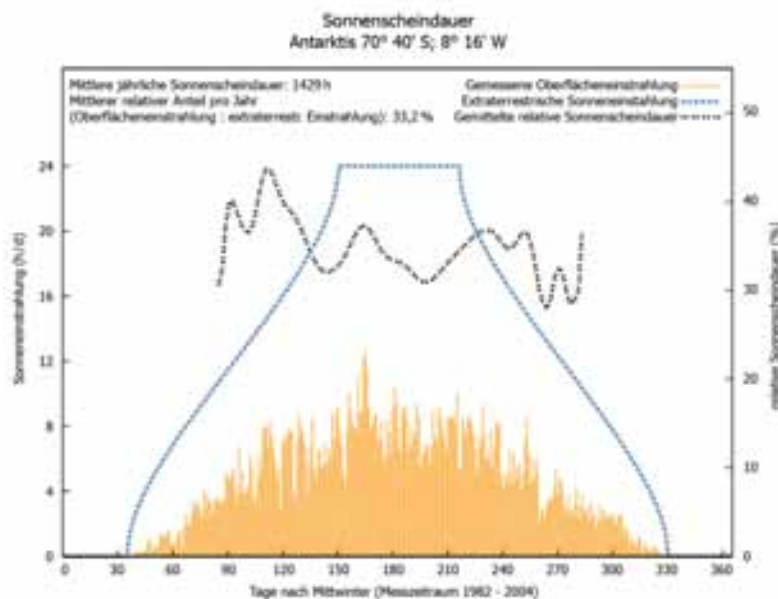


Abb. 3 Jährliche Sonneneinstrahlung (absolut und relativ) im Bereich der Georg-von-Neumayer-Station (I bzw. II, von 1982-2004), nach (9) modifiziert

Aus diesen Gegebenheiten resultieren z. T. extrem niedrige Umgebungstemperaturen in der Antarktis. Die von den Meteorologen der Georg-von-Neumayer-Station II bzw. III von 2008-2011 (dem Untersuchungszeitraum der vorgelegten Arbeit) erhobenen Ergebnisse der durchgeführten Temperaturmessungen sind in Abbildung 4 dargestellt. Wie daraus hervorgeht, schwanken die mittleren Temperaturen während der Sommermonate (Dez-Jan) zwischen kaum über 0°C und rund -15°C. Die mittleren Temperaturen während der Dunkelphase im antarktischen Winter schwanken zwischen -5°C und -50°C. In die graphische Darstellung (Boxplots) eingegangen sind dabei alle Messwerte eines jeden Tages der dargestellten Monate von 2008-2011 über 24 Stunden (3-stündiger Messabstand). Die mittleren Werte der Temperaturen jeweils um 12 Uhr mittags (Kreise und graue Kurve) zeigen, dass auch zu dieser Tageszeit z. T. sehr geringe Außentemperaturen vorherrschen können.

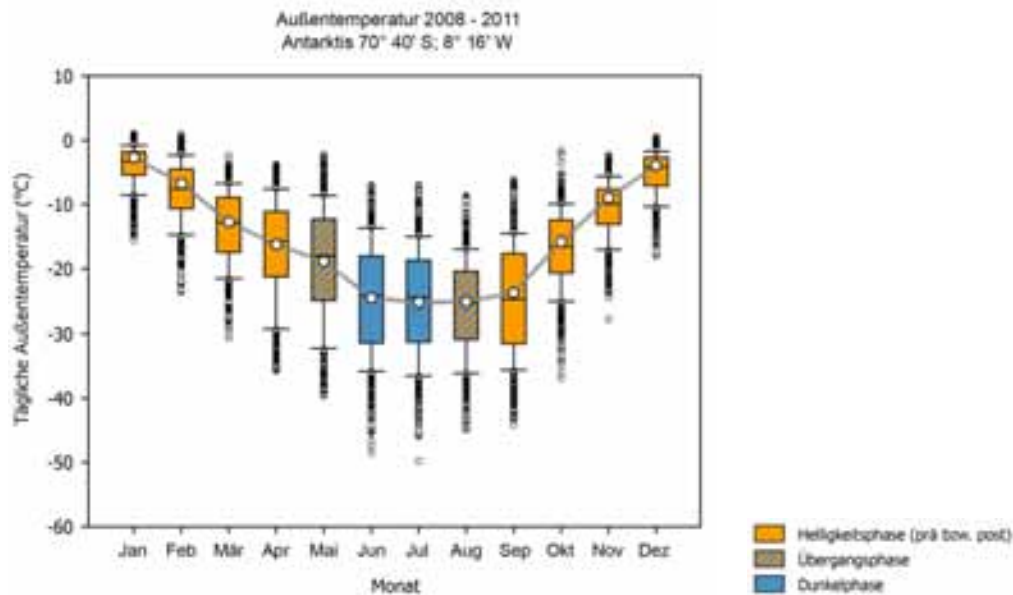


Abb. 4 Jährliche Außentemperaturen im Bereich der Georg-Neumayer-Station II bzw. III (Boxplots: alle Außentemperaturen 3-stündlich gemessen an allen Tagen/Monat, 2008-2011; Kreise und Kurve: Mittelwerte Außentemperaturen um 12 Uhr mittags gemessen an allen Tagen/Monat, 2008-2011), nach Wetterdaten des AWI (5) neu erstellt

Entdeckung der Antarktis

Als erster überquerte James Cook 1773 den südlichen Polarkreis, konnte jedoch aufgrund des auftretenden Packeises keine Sichtung der Antarktis vornehmen. Wem die eigentliche Entdeckung der Antarktis im Jahre 1820 zuzuordnen ist, kann nicht genau bestimmt werden; es existieren Berichte, dass sowohl Kapitän Fabian von Bellinghausen (Deutschbaltikum), Kapitän Edward Bransfield (Irland) sowie der Robbenjäger Nathaniel Palmer (USA) innerhalb weniger Wochen im selben Jahr die Antarktis gesichtet haben sollen. Ein Jahr später, am 7. Februar 1821, betrat der amerikanische Robbenjäger John Davis (USA) als erster den antarktischen Kontinent, obwohl zwischen Historikern diese Fakten weiterhin diskutiert werden (10).

Im Jahr 1895 verabschiedete der 6. Internationale Geographische Kongress in London eine Note, welche die Wissenschaftler damaliger Zeit ermutigen sollte, Expeditionen zur Antarktis zu planen: „*that this congress record its opinion that the exploration of the Antarctic regions is the greatest piece of geographical exploration still to be undertaken*“ (11). Entsprechend startete der historisch bekannte Wettlauf um das erste Erreichen des Südpols. Insbesondere lieferten sich der Norweger Roald Amundsen und sein britischer Kontrahent Robert Falcon Scott einen Kampf um die Eroberung dieses noch „weißen Flecks“ auf der Landkarte. Am 14. Dezember 1911 erreichte Amundsen als Erster einen Monat vor Scott den Südpol. Scott und seine verbliebene Mannschaft kamen auf dem Rückweg in einem Schneesturm – nur 18 Kilometer vom nächsten Depot entfernt – ums Leben (12).

Ernest Shackletons Imperial-Trans-Antarctic-Expedition (1914-1917) – dem Versuch der ersten Landquerung der Antarktis –, war ebenfalls nicht erfolgreich. Sein Schiff, die Endurance, wurde im Packeis nach neunmonatiger Drift zerstört. Auf treibendem Eis erreichte die Mannschaft Elephant-Island, von wo aus Shackleton sich mit fünf Mann Besatzung in einem Rettungsboot zum 1200 km entfernten Süd-Georgien aufmachte, um Hilfe für die verbliebenen 22 Männer zu holen. 21 Monate nach Expeditionsbeginn gelang es Shackleton, die gesamte Mannschaft aus den Gefahren der antarktischen Kälte, dem Nahrungsmangel und der Isolation zu retten (11;13).

Spätere Expeditionen führten 1929 den Briten Richard E. Byrd in die Antarktis, der als erster auch den Südpol überflog und Daten zur Kartierung lieferte (14;15). Dem Briten Vivian Fuchs gelang in der Britisch-Commonwealth-Transantarctic-Expedition vom 24. November 1957 bis 02. Mai 1958 die Durchquerung der Antarktis und er legte 3440 km in 99 Tagen zurück (16).

Vom Juli 1989 bis März 1990 durchquerten Jean-Louis Etienne (Frankreich) und Will Steger (USA) in der Transarctica mit einer internationalen Crew die Antarktis über eine Strecke von 6300 km von Seal Nunataks bis nach Mirny. Diese Expedition gilt als längste mit Hundeschlitten unternommene Antarktis-Überquerung (17). Zur selben Zeit durchquerten Reinhold Messner (Italien) und Arved Fuchs (Deutschland) den antarktischen Kontinent zu Fuß. Damit wurde Arved Fuchs zum ersten Menschen, der beide Pole innerhalb eines Jahres betrat (18).

Besiedlung der Antarktis

Während des Internationalen Geophysikalischen Jahres vom 1. Juli 1957 bis 31. Dezember 1958 unter der Leitung des Council of Scientific Unions (ICSU), wurde die Nutzung der Antarktis zur Forschung auf Gebieten wie der Seismologie, Glaziologie, Meteorologie, Ozeanographie, Astronomie und des Geomagnetismus festgelegt, was auch dazu beitrug, die Landnahme in der Antarktis zu entspannen (19;20). Innerhalb dieses Forschungsjahres wurde die Amundsen-Scott-Südpolarstation errichtet, benannt nach den beiden Polentdeckern. (21). Gegenwärtig existieren 82 Forschungsstationen in der Antarktis, von denen rund die Hälfte auch ganzjährig betrieben wird. Die überwiegende Anzahl liegt in unmittelbarer Nähe zum Meer, was die Versorgung logistisch einfacher gestaltet (21).

1.2 Arten der Aufenthalte in polaren Regionen

Aufenthalte in polaren Regionen können in drei Kategorien eingeteilt werden (22):

- Polar Trek: hier ist eine meist sehr kleine Gruppe in polaren Regionen unterwegs, oft unter Nutzung traditioneller Fortbewegung, wie Skiern und Schlitten und über teilweise sehr große Distanzen. Diese, die historischen Gegebenheiten nachempfindenden Treks, sind äußerst anspruchsvoll, so sind die Teilnehmer der Umwelt stark ausgesetzt, es existiert kaum zivilisatorischer Komfort und die physische Belastung ist sehr hoch.
- Sommercamp: während einiger Wochen bis Monate halten sich Wissenschaftler und Arbeiter in polaren Forschungsstationen auf, um dort zeitlich begrenzte Forschungsprojekte durchzuführen. Die Sommermonate eignen sich wegen der günstigeren Umweltverhältnisse (Sonnenlicht, Temperaturen) für diese Projekte und führen oft zur vollständigen personellen Auslastung der Forschungsstationen und die Einwohnerzahl der Antarktis steigt entsprechend auf bis zu 2000 Personen (23).
- Überwinterung: in den Wintermonaten (März-September) verbleiben nur bis zu 250 Personen, verteilt auf 47 permanente Stationen von 20 Nationen in der Antarktis (22). Die Bewohner führen meist durchgängig fortgeführte Messungen durch, so z. B. in den Bereichen Meteorologie, Geologie, Glaziologie, Astronomie und Physik.

Teilnehmer von Polar Treks, Sommercamps und Überwinterungen in Forschungsstationen sind – in unterschiedlichem Umfang – mit Phasen physischer Anstrengung, Erschöpfung (24) sowie den widrigen Umweltbedingungen, wie großer Kälte (25), trockener Luft und einem veränderten Tag-Nacht-Wechsel konfrontiert (26). Des Weiteren besteht auch stets die erhöhte Gefahr für Verletzungen bedingt durch Eisstürme, rutschigem Untergrund, Einbruchgefahr in

Eisspalten und ähnlichem (27). Die antarktischen Umweltbedingungen können zu entsprechenden Veränderungen bei den Teilnehmern führen: Änderung des circadianen Rhythmus (28), Hypothermie (29;30), Beeinflussung des Immunsystems (31;32) und hormoneller Veränderungen (33-35). Neben den genannten Aufenthalten wird diskutiert, dass die Anzahl der Aufenthalte in polaren Regionen zunehmen wird, was sich z. B. in der vermehrten Aktivität bei der Erschließung von Bodenschätzen, wie Erdöl, in polaren Regionen zeigt (36).

1.3 Deutsche Antarktisstationen

Deutschland betreibt derzeit eine ganzjährig besetzte Südpolarstation, die Georg-von-Neumayer-Station III sowie die Kohnen-Station, die nur während des antarktischen Sommers genutzt wird. Des Weiteren werden die Dallmann-Labore auf der antarktischen Halbinsel im Bereich der argentinischen Station Carlini während der Sommermonate genutzt (5).

Georg-von-Neumayer-Stationen

Mit der Entscheidung im Jahr 1977, bereits existierende Forschungsprojekte in der Antarktis durch eine kontinuierliche Forschung innerhalb einer ganzjährig besetzten Station in der Antarktis fortzuführen und infrastrukturell zu verbessern, begann die Entstehung einer eigenen kontinuierlichen Präsenz Deutschlands in der Antarktis. Die Planung wurde in den 1980-er Jahren am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung vorgenommen (5). 1980/81 wurde die erste deutsche Südpolarstation auf dem Ekström-Schelfeis in der Atka-Bucht errichtet und am 24. Februar 1981 als „Georg-von-Neumayer-Station“ offiziell ihrer Bestimmung übergeben (37). Sie diente als wissenschaftliches Observatorium sowie als logistische Basis für Sommerexpeditionen (5). Benannt wurde die Station nach Georg von Neumayer (1826-1909), einem deutschen Geologen (38).

Im Jahr 1992 wurde die erste Station durch die Georg-von-Neumayer-Station II ersetzt, da durch den Schneezutrag die Stabilität der ersten Station nicht mehr gewährleistet werden konnte. Diese zweite deutsche Südpolarstation, errichtet unter der Schirmherrschaft des Alfred-Wegener-Instituts, befand sich in der Atka-Bucht $70^{\circ} 39' S$, $08^{\circ} 15' W$ im Ekström-Schelfeis, des nordöstlichen Weddell-Meeres und führte die Aufgaben der ersten Station fort. Die Forschungsstation Neumayer II wurde nach 17 Jahren der Nutzung im Februar 2009 durch die überirdische Nachfolgestation Neumayer III ($70^{\circ} 40' S$, $08^{\circ} 16' W$) ersetzt, da auch bei der zweiten Station die Eismassen die Konstruktion in ihrer Stabilität beeinträchtigt hatten, nachdem diese 14 Meter tief ins Eis versunken war (5). Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die beiden aktuell genutzten Stationen Georg-von-Neumayer III und Kohnen in der Antarktis.



Abb. 5 Forschungsstationen Georg-von-Neumayer III und in Abb. 6 Kohnen-Station. Die Station Georg-von-Neumayer III ist seit Februar 2009 in Betrieb; die Kohnen-Station ist die für Eisbohrungen genutzte Sommerstation und liegt auf 2892 m über NHN (5)

Die Besetzung in der ganzjährig betriebenen Station Georg-von-Neumayer III im antarktischen Winter besteht aus ca. neun Mitarbeitern verschiedener Fachrichtungen, während in den Sommermonaten Platz für bis zu fünfzig Personen (Gastwissenschaftler) ist. Unter der Schirmherrschaft des Alfred-Wegener-Institutes dient die Station vor allem luftchemischen, geophysikalischen und meteorologischen Untersuchungen. Auch Ozonmessungen, seismographische und biologische Themenschwerpunkte werden auf Neumayer III bearbeitet. Die Station beinhaltet Schlafräume, Küchenräume, eine Messehalle, die als Aufenthalts- und Gemeinschaftsraum dient, eine Krankenstation mit Operationseinheit und zahnmedizinischen Einrichtungen, Werkstätten sowie weitere Einheiten, für die technische und logistische Verwaltung der Station. Neu auf Neumayer III ist eine auf dem Dach befindliche Einheit zum Start von Wetterballons, was die Logistik zur Durchführung dieser Messung verbessert (5).

Durch die schwierigen Wetterbedingungen während der Dunkelphase ist das Landen von Flugzeugen oder das Erreichen mit Schneefahrzeugen nahezu unmöglich. Daher sind die Wissenschaftler und Techniker, welche sich während einer Überwinterungskampagne für ca. 14 Monate auf der Station befinden, innerhalb der Wintersaison für bis zu neun Monate isoliert. Lediglich über eine Internetverbindung und ein Satellitentelefon ist der Kontakt zur Außenwelt möglich. Eine Rettung in Notsituationen ist im Winter praktisch unmöglich und kann auch in den Sommermonaten unter Umständen Tage bis Wochen dauern. Die Versorgung der Station erfolgt in der Regel einmal jährlich durch das Forschungsschiff „Polarstern“.

Aufbau und Nutzung der Georg-von-Neumayer-Station II (Überwinterung 2008) und III (Überwinterungen 2009-2011) sind in größerem Detail im Abschnitt Methodik dargestellt.

Kohnen-Station

Im Rahmen des European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) errichtete das AWI die Kohnen-Station im Jahr 2001 als Basis für Eisbohrungen zur Nutzung während des antarktischen Sommers. Dieses Tiefeisbohrprojekt soll Aufschlüsse über das Klima zurückliegender Jahrtausende liefern. Namensgeber der Station war Heinz Kohnen, ein langjähriger Logistik-Mitarbeiter des AWI (5).

Die Kohnen-Station besteht aus 11 Containern, die auf einer 32 Meter langen und acht Meter breiten Plattform angeordnet sind und beinhaltet eine Funkstation, eine Messe mit Küche, zwei Schlafräume, eine Schneeschmelze zur Wassergewinnung, einen Lagerraum, eine Werkstatt und die Stromversorgung. Die Station bietet Platz für bis zu 20 Personen (5). Die Versorgung der Kohnen-Station erfolgt größtenteils auf dem Landweg, obwohl auch die Möglichkeit der Versorgung aus der Luft besteht. Es werden Kettenfahrzeuge (Pistenbullys) eingesetzt, von denen jeder ein Gewicht von bis zu 20 Tonnen, verteilt auf drei Schlitten, ziehen kann. Es gehört auch zu den Aufgaben der Besetzung der Neumayer-Station, Wartungsarbeiten auf Kohnen durchzuführen und sich dafür auf Traversen (Eisquerungen) nach Kohnen zu begeben. Die Entfernung zwischen der Station Neumayer III und der Kohnen-Station beträgt 757 km. Abhängig von den Umgebungsbedingungen dauert eine Überfahrt bis zu 14 Tage (5). Unvorhersehbare Zwischenfälle und die harschen Wetterbedingungen während der Traverse stellen große Anforderungen an die physische und psychische Leistungsfähigkeit der Teilnehmer (39).

1.4 Aufenthalte in extremen Umwelten wie der Antarktis als Weltraumanalog

Es ist das erklärte Ziel der Raumfahrtagenturen European Space Agency (ESA) und National Aeronautics and Space Agency (NASA) innerhalb der nächsten Dekaden einen bemannten Raumflug zum Mars durchzuführen (40;41).

Der Aufenthalt im Weltraum stellt den Menschen vor erhebliche physiologische und psychosoziale Herausforderungen mit Auswirkungen auf verschiedenste Körperfunktionen, was eine entsprechend fundierte Vorbereitung erfordert, um Gesundheit und Wohlbefinden der Astronauten zu gewährleisten und den Erfolg eines solchen Vorhabens sicherzustellen (42).

Eine bemannte Marsmission könnte, je nach Ablauf und Missionszielen, bis zu 1000 Tage andauern (43;44). Die bisherigen Erfahrungen mit realen Weltraummissionen beschränken sich jedoch vorwiegend auf Kurzzeitmissionen mit Flugdauern unter 21 Tagen, wohingegen nur wenige Langzeitaufenthalte im All stattgefunden haben, wie die Abbildung 7 illustriert.

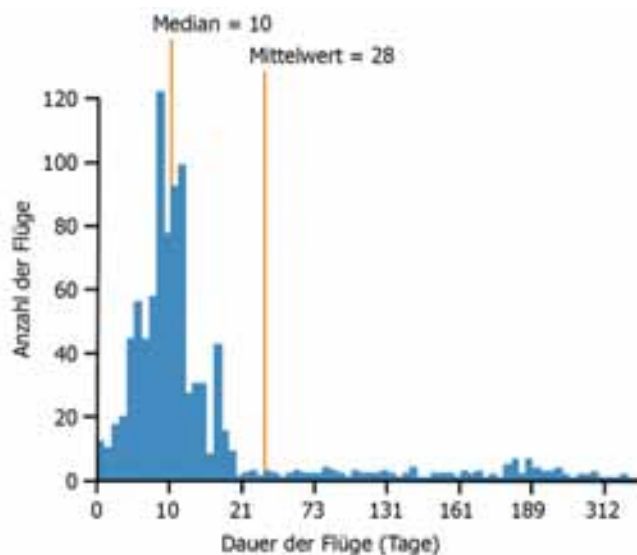


Abb. 7 Weltraumflüge und deren Flugdauern, nach (45) modifiziert

Aufgrund dieses relativ geringen Erfahrungshorizontes ergibt sich die Notwendigkeit für terrestrische Simulationsstudien, die sich auf unterschiedlichen Ebenen den veränderten Lebensbedingungen im Weltraum nähern – wie bei Bed Rest- und Immersionsstudien, während Parabelflügen und bei Untersuchungen am Menschen in isolierter und beengter Umgebung. Aus diesen Untersuchungen resultieren darüber hinaus klinisch relevante Ergebnisse für Felder wie der Höhen-, Klima-, Sport- und Arbeitsmedizin sowie Erkenntnisgewinne für das Verständnis von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, der Osteoporose bis hin zu psychologisch/psychiatrischen Anwendungsfeldern (45;46).

Im Hinblick auf die im Weltraum vorliegenden Lebensbedingungen der Isolation und des Beengtseins (Confinement) können diese Verhältnisse nur bedingt in Laboratorien unserer Breiten simuliert werden, da ein großer Teil der Einflussfaktoren (Aufenthalt in extremer und lebensfeindlicher Umgebung, hochgradige räumliche Isolation, unvorhergesehene Ereignisse, saisonale Veränderungen, faktisch nicht vorhandene Evakuierungsmöglichkeit) nur unter vergleichbaren Umgebungsbedingungen – wie einem Langzeitaufenthalt in einer Umgebung wie der Antarktis – mit ausreichender Wirklichkeitsnähe untersucht werden kann (20;47-50).

Der Aufenthalt im Weltraum wird dabei als „The Final Frontier“ aufgefasst, einer letzten Grenze, die den unerforschten Regionen der Erde während der Entdeckungsfahrten und Expeditionen der zurückliegenden Jahrhunderte entspricht (51). Dabei teilt der Weltraum als extremste und lebensfeindlichste Umgebung verschiedene Charakteristika mit anderen extremen Umwelten, in die sich der Mensch bisher begeben hat, wie Tabelle 1 darstellt. Darin sind die Umwelten nach natürlichen und durch den Menschen künstlich geschaffenen Umwelten unterteilt markiert.

| Parameter | Extreme Umwelt | natürlich | künstlich |
|------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| Erhöhte Temperatur | Tropen | ● | |
| Geringe Temperatur | Arktis/Antarktis | ● | |
| Extrem geringe Temperatur | Weltraum | ● | |
| Erhöhter Druck | Tauchen | | ● |
| Geringer Druck | Größe Höhe, Flug, Weltraumflug | ● | ● |
| Extrem geringer Druck | Weltraum | ● | |
| Erhöhte Schwerkraft | Flug, Weltraum (Flugphasen) | | ● |
| Extrem geringe Schwerkraft | Weltraum | ● | |
| Hypoxie | Große Höhe, Flug, Weltraumflug | ● | ● |
| Hyperoxie | Tauchen | | ● |
| Wasser- und Nahrungsmangel | Wüsten | ● | |
| Erhöhte Strahlendosis | Große Höhe, Flug | ● | ● |
| Extrem erhöhte Strahlendosis | Weltraum | ● | |
| Isolation und Beengtsein | Arktis/Antarktis, Weltraumflug | ● | ● |

Tabelle 1 Übersicht verschiedener Charakteristika extremer Umwelten, nach (51) und (52)

Leben und Arbeit des Menschen können in diesen extremen Umwelten durch folgende gemeinsame Parameter charakterisiert werden:

- Hohe technische Abhängigkeit der Teilnehmer (Lebenserhaltung, Wasser, Klima),
- Physische und psychosoziale Isolation vom gewohnten Umfeld und Personenkreis,
- Beengte Umgebung mit einem meist kleinen Kreis von Personen,
- Anspruchsvolle physische, psychosoziale und kognitive Tätigkeit,
- Risiko für einen Fehlschlag mit hohem ökonomischen und individuellem Verlust,
- Rettungs-/Evakuierungsmöglichkeit praktisch unmöglich,
- Notwendigkeit zur Kommunikation und Kooperation innerhalb der Gruppe und nach außen (Mission Control) mit Zurückstellung persönlicher Interessen (20;47).

Aufenthalte in extremen Umwelten, wie der Antarktis, bieten aufgrund dieser Analogien somit die Möglichkeit, einige der Verhältnisse, wie sie während einer Langzeitmission im All gegeben sind, zu untersuchen (20;53;54). Sowohl die NASA, als auch die russische Raumfahrtagentur Roskosmos legen gesteigerten Wert auf die Untersuchung unterschiedlicher Fragestellungen in diesem Kontext und die Entwicklung von Gegenmaßnahmen (20;50;53;55) sowie den Aufbau geeigneter Infrastruktur für Aufenthalte außerhalb der Erde (56-58). Es ist des Weiteren der Langzeitaufenthalt über ein Jahr, der polare Überwinterungen (im Gegensatz zu kurzzeitigen Isolationsstudien) zu einem geeigneten Analog für langdauernde Raummissionen werden lässt..

Die Nutzung der Antarktis als Analog für Langzeitaufenthalte kann auch auf Missionssimulationen auf dem Mars erweitert werden. Die McMurdo Dry Valleys im südlichen Victoria Land der Antarktis (160° bis 164° E und 76° 30' bis 78° 30' S) sind eisfreie Zonen und zeigen vielfältige Übereinstimmungen mit Umweltbedingungen, wie sie auf dem Mars zu erwarten sein werden (59;60). Trotz der offensichtlichen Unterschiede (1 g Erde vs. 0.38 g Mars;

1 bar Atmosphärendruck¹ Erde vs. 0.006 bar Mars), sind es insbesondere die Oberflächeneigenschaften des felsigen Permafrostbodens sowie verschiedene Klimateigenschaften (mittlere Sonneneinstrahlung um 150 W/m^2 , Windgeschwindigkeit um 10 m/s), die diese Umgebung ideal für Trainingsmaßnahmen künftiger Marsmissionen werden lassen.

Die Gründe für die Erforschung des Mars sind vielfältig und gehen über den allgemeinen menschlichen Forschungsdrang insofern hinaus, als dass klare wissenschaftliche Fragestellungen auch in Bezug zur Erde bestehen, z. B. könnte eine Erforschung des Marsklimas wiederum Erkenntnisse über das irdische Klima und dessen Wandel liefern; des Weiteren könnte die Erforschung der Evolution des Mars das Wissen über die Evolution des gesamten Sonnensystems erweitern (44). Eine Reise zum Mars wird nach dem Aufbau der Internationalen Raumstation (ISS) als nächster Schritt auf der Suche nach Leben außerhalb der Erde angesehen (44;62). Die Weltraumagenturen ESA und NASA haben diesem Vorhaben in ihren Programmen entsprechende Prioritäten zugewiesen (63;64), ein Beispiel ist die ESA Exo-Mars Mission (41;65).

Eine bemannte Mission zum Mars hätte den Vorteil, dass neben der unmittelbaren Erfahrung durch den Menschen auch missionsrelevante Entscheidungen und Beeinflussungen vor Ort vorgenommen werden könnten, wie z.B. Analysetätigkeiten, Kontrollfunktionen über Missionsabläufe, Durchführung von Bohrmaßnahmen, falls wasserhaltige Zonen unter der Oberfläche entdeckt werden sowie die Reparatur von defekten Geräten – was außerhalb der Erde bereits erfolgreich durchgeführt werden konnte, wie die Reparatur des Hubble-Weltraumteleskops bei einem Außenbordeinsatz (Extravehicular Activity EVA) gezeigt hat. Bei einer bemannten Mission zum Mars muss dabei auch die Frage des Schutzes der Marsoberfläche im Hinblick auf hinterlassenen technischen Müll und das Einbringen von mikrobiologischen Kontaminationen – wie sie bei menschlicher Präsenz fast unvermeidlich wäre – bedacht und diskutiert werden (44).

Die involvierten Astronauten wären bei einer Reise zum Mars und dem dortigen Aufenthalt großen Belastungen ausgesetzt: Strahlenexposition (Sonnenpartikel), lange Einwirkung von Mikrogravitation während des Raumfluges, anschließend plötzliche Hypergravitation (bis zu 6 g beim Marsanflug), de facto keine Möglichkeit zum Missionsabbruch oder zur Evakuierung, psychosoziale Belastungen durch isoliertes und beengtes Leben, vollständige Abhängigkeit von Technik in einer extrem lebensfeindlichen Umgebung (42;44;50).

Die Frage, warum Menschen überhaupt den unsicheren Schritt in verschiedenste lebensfeindliche Umgebungen unternehmen beantwortet der norwegische Forscher und Friedensnobelpreisträger Fridtjof Nansen (1861-1930). „*What is the point in fiddling in the ice up there? There is nothing but ice, of no importance for mankind.*“, Nansens Antwort darauf: „*In order to say that, we already have to know these areas, which we don't.*“ und weiter: „*A larger scientific gain can only be had by long term studies on the ground.*“ (51), also durch den Menschen selbst. In diesem Kontext wird auch argumentiert, dass künftige Langzeitmissionen, wie zum Mars, den Charakter historischer Entdeckungsfahrten aufweisen werden (wie die Reisen von Columbus, Cook, Nansen, Shackleton u. a.), bei denen dem menschlichen Entdeckungsdrang, der Anpassungsfähigkeit und dem Crewzusammenhalt hohe Bedeutung zukommen werden (49).

¹ Angemerkt werden soll, dass sich, bedingt durch die Erdrotation, ein Teil der globalen Luftmassen von den Polen hin zum Äquator verlagern, weswegen der barometrische Druck in den polaren Gebieten bis zu 12 % geringer ist, als in Gebieten gleicher Höhe über NHN in gemäßigeren Breiten (61).

Der Mensch hat wiederholt gezeigt, dass er in der Lage ist, sich unterschiedlichen extremen Umwelten anzupassen und bis dato für unmöglich gehaltene Leistungen zu vollbringen – so z. B. die Besteigung des Mt. Everest durch Reinhold Messner und Peter Habeler ohne zusätzlichen Sauerstoff im Jahr 1978 (51) oder bei Tiefenrekorden im Apnoetauchen – derzeit (Stand Juni 2012) bei einer Wassertiefe von 214 m durch Herbert Nitsch am 14. Juni 2007 (66).

Auch sind es menschliche Eigenschaften, wie Flexibilität und Improvisationsvermögen, die zu neuen und unerwarteten Erkenntnissen beitragen können. Das Zusammenleben und die Arbeit von Menschen in extremen Umwelten hat gezeigt, dass dies selbst unter schwierigen Bedingungen möglich ist und dass die dabei gemachten Erfahrungen sowohl für künftige Weltraummissionen wie auch für die Anwendung auf der Erde – sowohl im praktischen wie auch politisch-symbolischen Sinne – wertvoll sind (46;51;67;68).

1.5 Thematik und Fragestellung

Thematik und Fragestellung der Untersuchung von Veränderungen physiologischer Parameter der Überwinterer in der Antarktis 2008-2011

Wie beschrieben existieren weitreichende Parallelen zwischen den Aufenthalten des Menschen in der Antarktis und im Weltraum und ermöglichen so die Untersuchung der Veränderung verschiedener Parameter in der Antarktis mit potentieller Anwendung der Forschungsergebnisse für Aufenthalte des Menschen im All. Wie eingangs dargestellt, sind es insbesondere die technische Abhängigkeit, die lebensfeindliche Umgebung, die monatelange Dunkelheit, die praktisch nicht gegebene Evakuierungsmöglichkeit und der kleine Personenkreis, der unter diesen isolierten Bedingungen über längerem Zeitraum zusammen leben und arbeiten muss, die die Analogie zu Langzeitmissionen im All aufzeigen.

Verschiedene Studien – wie z. B. der NASA und ESA und anderen Raumfahrtagenturen mit ihren Forschungskampagnen HYDREMSI-89 (50), ISEMSI-90 (69;70), EXEMSI-92 (71;72), Biosphere-2 (62;73;74), Hubes-94 (75-77), SFINCSS-99 (78-80), BIOS-3 (58;81;82) und die aktuell abgeschlossene MARS500-Studie (83-85) – hatten zum Ziel, die Auswirkungen künftiger Langzeitaufenthalte in Weltraumstationen, wie der Internationalen Raumstation (ISS) und während eines Marsfluges, besser nachzuvollziehen und für verbesserte Auswahl- und Trainingsverfahren sowie entsprechend verbesserte Gegenmaßnahmen im All zu sorgen, um die Gesundheit der Astronauten und das Erreichen der Missionsziele zu gewährleisten.

Auch dienen die Studien in der Antarktis zur unmittelbaren Verbesserung der Umstände dieser Aufenthalte für die Überwinterer und konnten bereits Beiträge auch für den klinischen Alltag in unseren gemäßigten Breiten in verschiedenen klinischen Feldern liefern (46).

Die vorgelegte Dissertation wurde durchgeführt, um – in Ergänzung zu den genannten Untersuchungen – speziell die mit dem Langzeitaufenthalt in der Antarktis assoziierten physiologischen Veränderungen

- des Körpergewichts und der Körperzusammensetzung,
- von Schlaf- und Aktivitätsparametern sowie
- verschiedener Hormon- und Stoffwechselfparameter

beim Menschen zu untersuchen.

Hierzu wurden entsprechende Parameter an Überwinterern auf der deutschen Antarktisstation Neumayer II der Überwinterung 2008 und auf der neuen Station Neumayer III der Überwinterungen 2009, 2010 und 2011 untersucht. Bei diesen Überwinterungen wurden die räumlichen, zeitlichen und operationellen Bedingungen, denen die Teilnehmer während der Überwinterungen ausgesetzt waren, als vergleichbar angesehen.

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass durch die saisonalen Veränderungen der Hell- bzw. Dunkelphasen, der klimatischen Bedingungen und bedingt durch die Isolation und das Beengtsein, Veränderungen des Körpergewichts, der Körperzusammensetzung, des Schlafes, des Energieumsatzes sowie verschiedener Hormon- und Stoffwechselfparameter der Überwinterer resultieren werden.

Thematik und Fragestellung der Validierungsuntersuchungen des SenseWear-Gerätes

Zur Erhebung von Schlaf- und Aktivitätsparametern in der oben genannten Fragestellung wurde das Actimeter „SenseWear“ in der Antarktis eingesetzt. Zum Zeitpunkt der Konzeption der vorgelegten Arbeit existierten keine Untersuchungen zur Validierung des SenseWear-Gerätes im Hinblick auf die erhobenen Schlafindizes. Inzwischen ist eine Studie hierzu veröffentlicht worden (86).

Auch existierten keine Informationen hinsichtlich der Auswirkungen unterschiedlicher Trageorte des SenseWear-Gerätes auf die verschiedenen erhobenen Daten sowie keine Untersuchungen, die darstellen, welche Konsequenzen das eventuelle Tragen des SenseWear-Gerätes während des Duschens bzw. direkt nach dem Duschgang auf danach erhobene Messwerte durch das Gerät hat. Des Weiteren existierten keine Untersuchungen darüber, in wie weit die Daten baugleicher SenseWear-Geräte im Vergleich miteinander übereinstimmen oder divergieren.

Hintergrund ist, dass trotz der im vom Hersteller genannten Erklärungen und Anweisungen (87) Probanden das Gerät entgegen der Anweisung an anderen Trageorten verwenden können und – insbesondere bei der Verwendung des Gerätes über einen langen Zeitraum (eine einzelne Messung ist über mehr als eine Woche lang ununterbrochen möglich) – das Gerät direkt nach dem Duschen (ohne adäquate Trocknung) wieder anlegen bzw. während des Duschens am Trageort behalten und die Messung während dessen fortsetzen (persönliche Gespräche).

Es erschien daher sinnvoll, diese Punkte, in Ergänzung zu den mit dem SenseWear-Gerät gewonnenen Daten in der Antarktis, zu untersuchen.

Es wurden die Hypothesen aufgestellt, dass

- hinsichtlich der vom SenseWear-Gerät erhobenen Schlafparameter Unterschiede zur Vergleichsmessung Polysomnographie feststellbar sind,
- die vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter zum Schlaf und Energieumsatz eine Abhängigkeit vom Trageort (rechter Oberarm oben vs. rechter Oberarm unten vs. linker Oberarm) sowie eine Abhängigkeit von unterschiedlichen baugleichen Geräten zeigen,
- die vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter zum Energieumsatz eine Abhängigkeit von einem zuvor am Trageort vorgenommenen Duschgang zeigen und der gemessene Energieumsatz durch diese Intervention im Betrag größer ausfällt als ohne Intervention.

2. Methodik

2.1 Georg-von-Neumayer-Stationen in der Antarktis

Namensgeber

Georg von Neumayer lebte von 1826 bis 1909 und führte als Geophysiker und Hydrograph Seereisen nach Australien und Südamerika durch. In Australien gründete er 1857 ein Observatorium für Geophysik und Magnetismus. 1865 kehrte er nach Deutschland zurück und war von 1876 bis 1903 Direktor der Deutschen Seewarte in Hamburg. Er fertigte meereskundliche und geophysikalische Arbeiten an. Ab 1879 bekleidete er den Vorsitz der Internationalen Polarkommission und war maßgeblich am Zustandekommen des Internationalen Polarjahres 1882 bis 1883 und dem Antarktischen Jahr 1901 beteiligt (38).

Geographische Lage der Stationen

Die deutschen Antarktisstationen Georg-von-Neumayer II und Georg-von-Neumayer III, des Alfred-Wegener-Institutes, bildeten den Stand- und Studienort, auf dem die Teilnehmer der vorgelegten Arbeit die Überwinterungen durchführten (2008 Neumayer II und 2009-2011 Neumayer III). Die Station II befand bzw. Station III befindet sich in der Atka-Bucht $70^{\circ} 40' S$, $8^{\circ} 16' W$ im Ekström-Schelfeis, des nordöstlichen Weddell-Meeress der Antarktis. (5). Die Lage von Neumayer III im globalen Maßstab ist in Abbildung 8 dargestellt, auf der auch der Standort der Kohnen-Station abgebildet ist.



Abb. 8 Lage der deutschen Antarktisstationen Georg-von-Neumayer III und Kohnen im globalen Maßstab, nach (5) neu erstellt

Die Stationen befanden bzw. befinden sich auf 200 m dickem, praktisch ebenem Schelfeis, welches vollständig mit Schnee bedeckt ist. Die Station Neumayer II wurde ursprünglich an der Oberfläche errichtet und befand sich am Ende der Nutzungsperiode in 14 m Tiefe, da der jährliche Schneezutrag die Station sukzessive überdeckte. Dies führte dazu, dass durch die Bewegungen des Schelfeises die Konstruktion zerstört wurde und durch die Station Neumayer III ersetzt werden musste (5). Die Wirkung des Schelfeises mit seiner quasi fließenden Bewegung zeigt sich auch an den Drift-Bewegungen, die die Stationen mit dem Eis durchführen, wie Abbildung 9 darstellt.



Abb. 9 Lage und Driftbewegungen der Stationen Georg-von-Neumayer II und III im Ekström-Schelfeis, nach (5) neu erstellt

Beschreibung der Georg-von-Neumayer-Station II



Abb. 10 Georg-von-Neumayer-Station II im Jahr 1999, in dem sich die Station bereits unterirdisch befindet, in Abb. 11 ist der Zugang für die Fahrzeuge dargestellt (5)

Die Station Georg-von-Neumayer II, dargestellt in den Abbildungen 10 und 11, bestand aus einer Röhrenkonstruktion mit zwei parallel verlaufenden Stahlröhren (Ost- und Weströhre) mit jeweils rund 90 m Länge und etwa 6 m Durchmesser, die durch einen Gang miteinander verbunden waren. Über zwei Treppentürme war der Aufstieg nach außen möglich. Schiffscontainer dienten als Raumflächen im Inneren der Röhren. Die Hauptröhren waren abschnittsweise klimatisiert und enthielten die Container für die Schlafräume, die Laboratorien, die Küche, den Aufenthaltsraum, die Werkstatt, die Krankenstation, den Operationsaal sowie für den Funkraum und die Schneeschmelze. In einer dritten Röhre waren Kühllager, Müllentsorgung und -lagerung sowie die Fahrzeughalle untergebracht (5).

Die Versorgung mit Wasser erfolgte über eine Schneeschmelze, die regelmäßig von den Bewohnern gefüllt und betrieben werden musste. Die Temperaturregulation und Stromversorgung in den Wohnbereichen und Arbeitsräumen wurde durch die Isolationswirkung

des Eises und durch ein Kraft-Wärme-Kopplungssystem gewährleistet. Insgesamt waren drei Dieselgeneratoren in getrennten Räumen installiert (5). Eine biologische Kläranlage entsorgte das Abwasser aus der Station, entsprechend den Vertragsvorgaben der Antarktis (88). Abbildung 12 zeigt den Aufbau der Neumayer II Station schematisch.

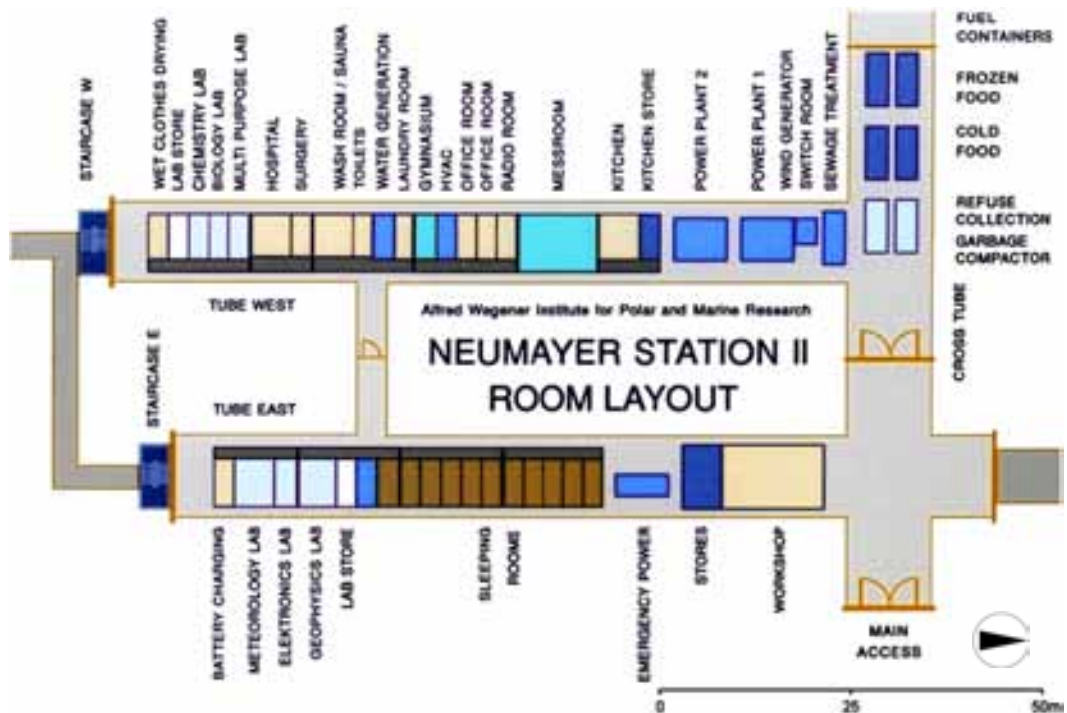


Abb. 12 Aufbau der Georg-von-Neumayer-Station II, nach (5) modifiziert

Beschreibung der Georg-von-Neumayer-Station III

Seit Februar 2009 ist die neue Georg-von-Neumayer-Station III des Alfred-Wegener-Institutes in Betrieb. Dies ist die erste Antarktisstation, die Forschung und Aufenthalt auf einer Plattform oberhalb der Schneeoberfläche mit einer in den Schnee gebauten Garage verbindet (5). Abbildung 13 zeigt den Aufbau der Station schematisch.



Abb. 13 Schematische Ansicht der Georg-von-Neumayer-Station III (5)

Innerhalb der Plattform sind insgesamt 100 Container für die Wohn- und Aufenthaltsräume, die Küche, die Messe, die Krankenstation mit Operationsaal sowie für die Labore, den Funkraum,

die Energieversorgung und die Schneeschmelze untergebracht. Das Gebäude ist dabei zweigeschossig, 24 m breit und 68 m lang; die Plattformhöhe liegt 6 m über der Schneeoberfläche. In der unterirdisch gelegenen Garage (Tiefe ca. 8.2 m) befinden sich Container für die Vorrats- und Abfalllagerung, den Treibstoff und für Werkstätten sowie für die Fahrzeuge (Pistenbullys und Motorschlitten). Vom Boden der Garage bis zum höchsten Punkt der Dachkonstruktion (Ballonfüllhalle) misst die Station 29.2 m (5).

Insgesamt bietet die Station über 4400 m² Nutzfläche, von der rund 1850 m² in Form von klimatisierten Nutzflächen in Laboren und anderen Räumen zur Verfügung stehen. Ein Treppenhaus mit Aufzug verbindet die vier Stockwerke von der Garage bis zur Ballonfüllhalle auf dem Dach (5).

Die Energieversorgung erfolgt über ein Blockheizkraftwerk mit vier Dieselgeneratoren von je 150 kW Leistung, deren Abwärme für die Heizung und die Schneeschmelze sowie zur Stromerzeugung genutzt wird; ein Generator steht als Notstromaggregat zur Verfügung. Des Weiteren steht eine 30 kW-Windkraftanlage zur Verfügung und trägt so zur umweltfreundlichen Energieversorgung der Station bei. Der Anteil an Windenergie soll in den kommenden Jahren durch Zubau weiterer Windkraftanlagen erhöht werden. Bei Planung und Errichtung der Station wurden die Auflagen des Umweltprotokolls des Antarktisvertrages berücksichtigt, zum Beispiel durch die Verwendung umweltneutraler Baumaterialien, durch die Verwendung von Katalysatoren für die Dieselgeneratoren und durch Auffangeinrichtungen für die Öltanks. Abfälle werden gesammelt und einmal pro Jahr nach Deutschland rückgeführt. Die Schelfeiskante, über die die Versorgung auf dem Seeweg erfolgt, liegt ca. 16 km entfernt (5).

Um die Lebenszeit und Nutzdauer der Station zu erhöhen, wurde sie mit einer innovativen Konstruktion versehen: die Plattform ist auf 16 hydraulischen Hebevorrichtungen gegründet und kann dadurch aus dem Schneesutrag emporgehoben werden. In zeitlichen Abständen werden die einzelnen Plattformen wieder eingefahren und der Freiraum darunter mit Schnee und Eis aufgefüllt, so dass das Emporheben theoretisch unbegrenzt möglich ist und die Georg-von-Neumayer-Station III dem Versinken im Schelfeis langfristig entgehen kann (5). Die Hydraulikeinrichtungen sind in Abbildung 14 dargestellt.



Abb. 14 Hydraulikfundamente der Georg-von-Neumayer-Station III (5)

Die einzelnen Ebenen und die Raumaufteilung der Georg-von-Neumayer-Station III sind in Abbildung 15 dargestellt.

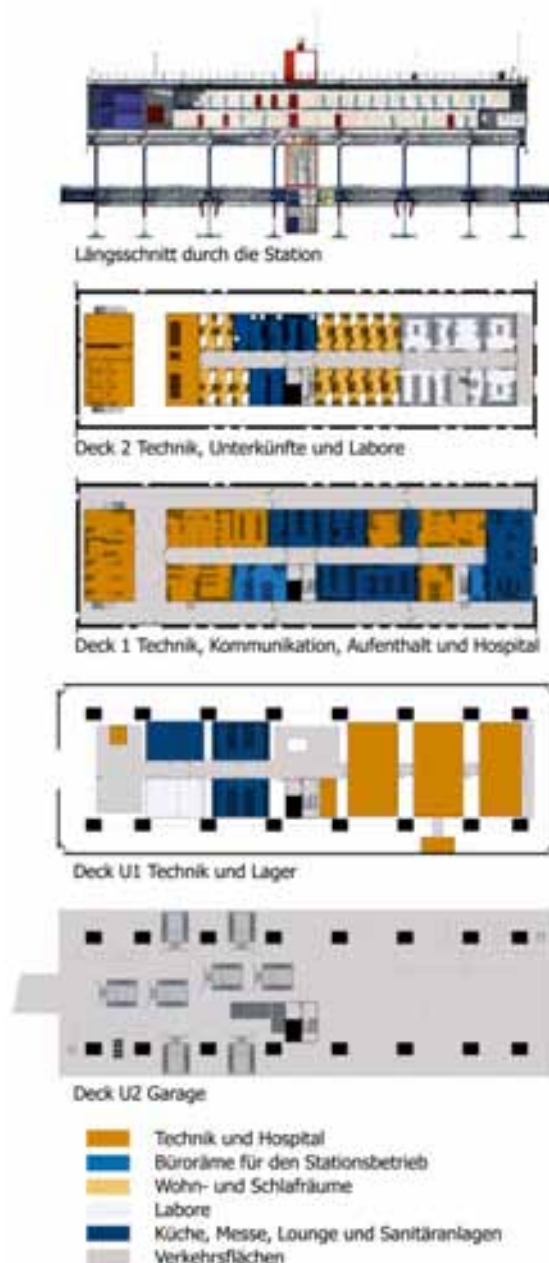


Abb. 15 Schnitt und Einzelflächen der Georg-von-Neumayer-Station III, nach (5) modifiziert

2.2 Untersuchungskollektive der Überwinterungen in der Antarktis

Auswahl und Zusammensetzung der Überwinterungsteams

Unter Schirmherrschaft des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven fanden die Überwinterungskampagnen in der Neumayer-Station II für den Beobachtungszeitraum 2008 und in der Neumayer-Station III für die Beobachtungszeiträume 2009 bis 2011 statt. Für jeweils vierzehn bis fünfzehn Monate befanden sich die aufeinander folgend betrachteten Gruppen auf der Station und überwinterten dort mit den jeweiligen Arbeitsaufträgen und Forschungsarbeiten.

Die Rekrutierung der Überwinterungsteams erfolgte nach einer Stellenausschreibung des AWI, welche etwa zwei Jahre im Voraus veröffentlicht wurde und für künftige Kampagnen kontinuierlich fortgeführt wird. Das AWI stellte die Teams zusammen – es wurden dabei keine besonderen leistungsphysiologischen Anforderungen verlangt, vordergründig war die

Motivation für eine Überwinterung maßgebend. Zur Vorbereitung auf die ungewohnte Umgebung wurde ein zweiwöchiger Bergsteiger- und Katastrophenkurs in den Alpen absolviert, bei dem verschiedene Rettungstechniken am Seil aus Stürzen in Gletscherspalten trainiert sowie die Belastbarkeit in Kälte und das Verhalten im Team auf engem Raum beurteilt wurden. Nach diesem Training und einem persönlichen Gespräch zur Selbst- und Team-Einschätzung, wurden jeweils die endgültigen Gruppen für die Überwinterung festgelegt.

Ein Team von Überwinterern setzt sich aus neun Teilnehmern zusammen. 2008 nahmen sieben Männer und zwei Frauen teil, ebenso wie 2009 und 2010. 2011 nahmen sechs Männer und drei Frauen teil. Jedem Überwinterungsteam steht ein Stationsleiter vor, der durch den Arzt besetzt wird. Dieser muss eine Facharztausbildung für Chirurgie sowie eine Weiterbildung für Innere Medizin und die Notversorgung zahnmedizinischer Eingriffe besitzen. Neben der ärztlichen Tätigkeit ist er auch für die logistische und personelle Organisation der Stationsleitung zuständig.

Der jeweils verantwortliche Arzt war naturgemäß am intensivsten in die Untersuchungen der vorgelegten Arbeit eingebunden, da die Durchführung der Messungen vor Ort, die Blutentnahmen, die Bearbeitung und Übermittlung der Bioimpedanz- und SenseWear-Daten von ihm vorgenommen wurden. Eine Einweisung und Schulung zur Handhabung der verwendeten Messgeräte wurde mit dem jeweiligen Stationsarzt vor der Überwinterung durchgeführt. Die weiteren Teilnehmer bestehen aus einem Techniker, einem Elektriker und einem Elektroniker, die für die Instandhaltung der technischen Ausrüstung auf der Station zuständig sind. Ein Koch sorgt für die Versorgung der Überwinterer sowie der Gastwissenschaftler während der Sommermonate. Zu den wissenschaftlichen Mitarbeitern zählen ein Luftchemiker, ein Meteorologe sowie zwei Geophysiker. Jedem Überwinterer werden auf der Station spezielle Aufgaben zugewiesen, welche vor den Kampagnen festgelegt und durch Übergabe der jeweiligen Vorgänger (Alt-Überwinterer) eingewiesen werden. Zusätzlich bearbeitet jeder Wissenschaftler seine persönlichen Forschungsvorhaben während des Aufenthaltes auf der Station. Daneben beteiligt sich jedes Teammitglied an den unmittelbaren alltäglichen Aufgaben, um die reibungslose Funktion der Station aufrecht zu erhalten.

Ähnlich zu Missionen im All ist es auch bei den Überwinterungscrews üblich, für ihre jeweilige Überwinterungskampagne ein Logo zu erstellen. Abbildung 16 zeigt die Logos der Überwinterungen 2008 bis 2011.



Abb. 16 Logos der untersuchten Überwinterungskampagnen 2008-2011 (5)

Ablauf einer Überwinterungskampagne

Die Abläufe der einzelnen Überwinterungskampagnen gestalteten sich wie folgend beschrieben. Die Überführung der Überwinterer in die Antarktis, zwischen Mitte November und Dezember, erfolgte mit einem Linienflug von Deutschland nach Kapstadt, Südafrika und von dort mit einem weiteren Flug zur Air Base der russischen Station Novolazarevskaja (Novo). Dort war ein von

der Wetterlage abhängiger Zwischenstopp von wenigen Tagen in einem Zeltlager erforderlich, bis es mit einem kleineren Flugzeug zur drei Flugstunden entfernt liegenden Neumayer-Station ging. Traditionell wurde jedes neue Team von den Alt-Überwinterern willkommen geheißen und innerhalb von zwei Monaten in ihre Aufgaben auf der Station eingewiesen. Ab Februar war dann jedes Überwinterungsteam auf sich allein gestellt und die eigentliche Isolation begann. Erst ab November waren Besuche von Gastwissenschaftlern und erste Mitglieder des neuen Teams zu erwarten. In der Zeit der Isolation stellten Internet und Satellitentelefon die einzigen Verbindungsmöglichkeiten zur Außenwelt dar. Mit dem Eintreffen der neuen Überwinterungsteilnehmer endete die Isolationsperiode und es begann erneut das Prozedere der Stationsübergabe und die Organisation der Heimreise der Überwinterungscrew.

Der Tagesablauf eines jeden Teilnehmers war in individuelle Aufgabenbereiche und gemeinsame Gruppentätigkeiten gegliedert. Die individuellen Tätigkeiten bedeuteten für die Geophysiker das Arbeiten an seismologischen Messungen, Erheben kontinuierlicher Magnetik- und GPS-Daten sowie das Unterhalten eines Ultraschall-Netzwerks, welches zur Detektion von Atomwaffentests diente. Dieses Programm gehört zum weltumspannenden Netz der CTBTO (Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization) in Wien zur Detektion von Atomwaffentests. Die Meteorologen führten Wetterbeobachtungen und Auswertungen von Satellitenbildern aus, um daraus eine Wettervorhersage für den deutschen Wetterdienst zu formulieren; weiterhin führten sie täglich Ballonaufstiege zur Luftdichtemessung und alle drei Stunden zwischen 06.00 Uhr und 24.00 Uhr synoptische Wetterbeobachtungen durch. Der Luftchemiker hatte täglich 1.5 km von der Station entfernt luftchemische Messungen durchzuführen. Die Techniker waren für den reibungslosen Ablauf auf der Station zuständig und der Koch versorgte die Crew und katalogisierte fehlende, abgelaufene und überzählige Lebensmittel. Der Stationsarzt war, wie beschrieben, sowohl medizinisch als auch organisatorisch-logistisch beschäftigt. Für unerwartete Aufgaben und Unterbrechungen (z. B. Beseitigung von Schneeverwehungen) mussten die Überwinterer im Team außerhalb der individuellen Aufgabengebiete zusammenarbeiten. 100 km von der Station entfernt liegen Seismometer, welche einer regelmäßigen Wartung und ggf. Reparatur bedurften, was eine mindestens fünftägige Traversefahrt dorthin notwendig machte. (39).

An gemeinsamen Aktivitäten gab es in jeder Crew feste Zeiten zur gemeinsamen Nahrungsaufnahme: Frühstück zwischen 07.00 und 08.00 Uhr, Mittag zwischen 12.00 und 13.00 Uhr, Abendessen gegen 18.00 bis 19.00 Uhr. Kleine Zwischenpausen am Vor- und Nachmittag wurden ebenfalls arrangiert und z. T. zusammen eingenommen. Einige Teams variierten das Wochenende, welches sich vom Arbeitspensum nicht von der Wochenrhythmik unterschied durch einen Brunch oder den Verzicht auf ein Mittagessen und der Besonderheit eines großen Abendessens (39). Weitere gemeinsame Aktivitäten waren der sogenannte „Schmelzdienst“, welcher das Füllen der Schneeschmelze zur Wassergewinnung, die Reinigung der Waschräume, Toiletten und Messe, das Müllpressen und die Unterstützung in der Küche umfasste. Im antarktischen Sommer wurden täglich vier Teilnehmer dafür eingesetzt, während der Dunkelphase nur zwei Teilnehmer, welche alle drei bis vier Tage diesen Dienst absolvierten. Zur Freizeitgestaltung konnten ein Fitness-Raum, eine Sauna, eine Bibliothek, die Werkstätten, ein Fernsehgerät sowie ein Internetanschluss auf der Station genutzt werden. Des Weiteren gehörten auch regelmäßige Sicherheitsübungen sowie Freizeitbeschäftigungen, wie Musizieren, Jogging, Tanzkurse und Fotografieren zu den gemeinsamen Aktivitäten. Außerdem wurde die Monatszeitschrift „Atka-Express“ herausgegeben und die Öffentlichkeitsarbeit via Internet von den Teilnehmern betreut (5;39).

Ausrüstung, Versorgung und Ernährung

Der überwiegende Teil der Überwinterung, insbesondere während der Dunkelphase spielte sich in der Station ab. Außenaufenthalte während des antarktischen Winters erhöhten die Gefahr des Orientierungsverlustes und damit von Verletzungen durch Stürze und Erfrierungen. Entsprechend wurden die Teilnehmer mit Kälteschutzkleidung und persönlicher Notfallausrüstung ausgestattet. Zu den Ausrüstungsgegenständen und Kleidungsstücken gehörten unter anderem: zwei Polaranzüge (Typ Tempex), Daunenjacken, Thermounterwäsche, Woll- und Fleecekleidung, Lederstiefel, Gummistiefel, Polarbrillen, Arbeitshandschuhe, Kompass, Taschenmesser und ein Sicherheitspaket (bestehend aus: Schlafsack, Isomatte, Biwakzelt, Kocher, Handschuhen und Notraketen). Jedem Überwinterer wurden vor der Abfahrt sechs Transportboxen der Maße 60 x 80 x 60 cm zur Bestückung mit privaten Gegenständen, wie persönlicher Kleidung, Büchern, Freizeitelektronik u. Ä. zur Verfügung gestellt (5).

Die Versorgung mit Nahrungsmitteln auf der Neumayer-Station II bzw. III erfolgte nach den Erfordernissen eines gesteigerten Energieverbrauchs sowie monatelanger Unerreichbarkeit. Die Nahrung bestand dabei vorrangig aus Tiefkühlprodukten, deren Lagerung in der Antarktis unproblematisch möglich war. Nur unmittelbar nach Belieferung durch das Forschungsschiff „Polarstern“ waren auch frisches Obst und Gemüse verfügbar. Diese Lieferung findet jedoch nur einmal pro Jahr statt, so dass diese Produkte zwischen Juni und November nicht bereit gestellt werden konnten (5). Die Zusammensetzung der Nahrungsmittel bestand aus Mischkost: Gemüse, Fleisch, Fisch, Sättigungsbelagen, Obst. Diese Versorgung ist mit der von Weltraummissionen nicht vergleichbar, da dort eine rationierte, für die Schwerelosigkeit optimierte Nahrungsvorsorgung erfolgt. In der Antarktis wurde diese Rationierung nicht durchgeführt, sodass ein Überangebot an Nahrung vorhanden war. Zudem gab es keine Regelung der Kalorienzufuhr.

2.3 Teilnahme der Überwinterer an den Messungen

Die Überwinterer der jeweiligen Überwinterungskampagnen konnten freiwillig an den Messungen zur Erhebung der Daten der vorgelegten Arbeit teilnehmen und auch jederzeit ihre weitere Teilnahme ablehnen, ohne dass ihnen daraus Nachteile entstanden wären. Davon machten einige Teilnehmer auch Gebrauch und lehnten die gesamte Teilnahme oder Teile davon ab. Von den 36 Teilnehmern der vier Beobachtungszeiträume 2008 bis 2011 nahmen insgesamt 31 als Probanden an den Messungen teil (= 86.1 %). Die Teilnahme an den einzelnen Messungen wird im Abschnitt zu den Messzeitpunkten näher dargestellt.

Die Überwinterer wurden mündlich und schriftlich über die Messungen und den Hintergrund der Studie aufgeklärt und gaben nach ausreichender Bedenkzeit ihr schriftliches Einverständnis.

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Charité genehmigt.

Hinsichtlich der Teilnehmer existierten keine gesondert formulierten Ausschlusskriterien, da der Auswahlprozess des AWI bereits für eine Teilnehmerschaft gesunder Erwachsener sorgte; die Einschlusskriterien (erwachsen und in der Lage, Umfang und Tragweite der Studie in der Antarktis zu überblicken und auf dieser Basis der Teilnahme aus freien Stücken zustimmen zu können) wurden ebenfalls durch die Teilnahme der Überwinterung unter der Schirmherrschaft des AWI als gewährleistet angesehen.

Die Teilnehmer waren gesund und nahmen keine Dauermedikation ein (abgesehen von oralen Kontrazeptiva durch die weiblichen Teilnehmer).

2.4 Messzeitpunkte der Bestimmung der Messparameter in der Antarktis

Je nach Überwinterungssaison ergaben sich unterschiedliche Messzeitpunkte zu denen die jeweiligen Parameter erhoben, bzw. zu denen die Blutentnahmen durchgeführt wurden.

Die Teilnehmer waren angehalten, in 14-tägigem Abstand die Werte für die Körperzusammensetzung (Körpergewichts- und BIA-Messung) sowie der Schlaf- und Aktivitätsparameter (SenseWear-Messung) zu erheben sowie in ca. achtwöchigem Abstand die Blutentnahmen für die spätere Bestimmung der Hormon- und Stoffwechselfparameter durchzuführen.

Unterschiedliche zeitlich-operationale Erfordernisse sowie interindividuell verschiedene Anforderungen und Belastungen bedingten eine Anpassung der Profile der Messzeitpunkte. Abbildung 17 stellt die Messzeitpunkte für die ausgewerteten Überwinterungen 2008-2011 für alle teilnehmenden Probanden dar, getrennt für die drei Interessenblöcke:

- Körpergewicht und Körperzusammensetzung 2008-2011,
- Schlaf- und Aktivitätsparameter 2008-2011,
- Hormon- und Stoffwechselfparameter 2008-2010².

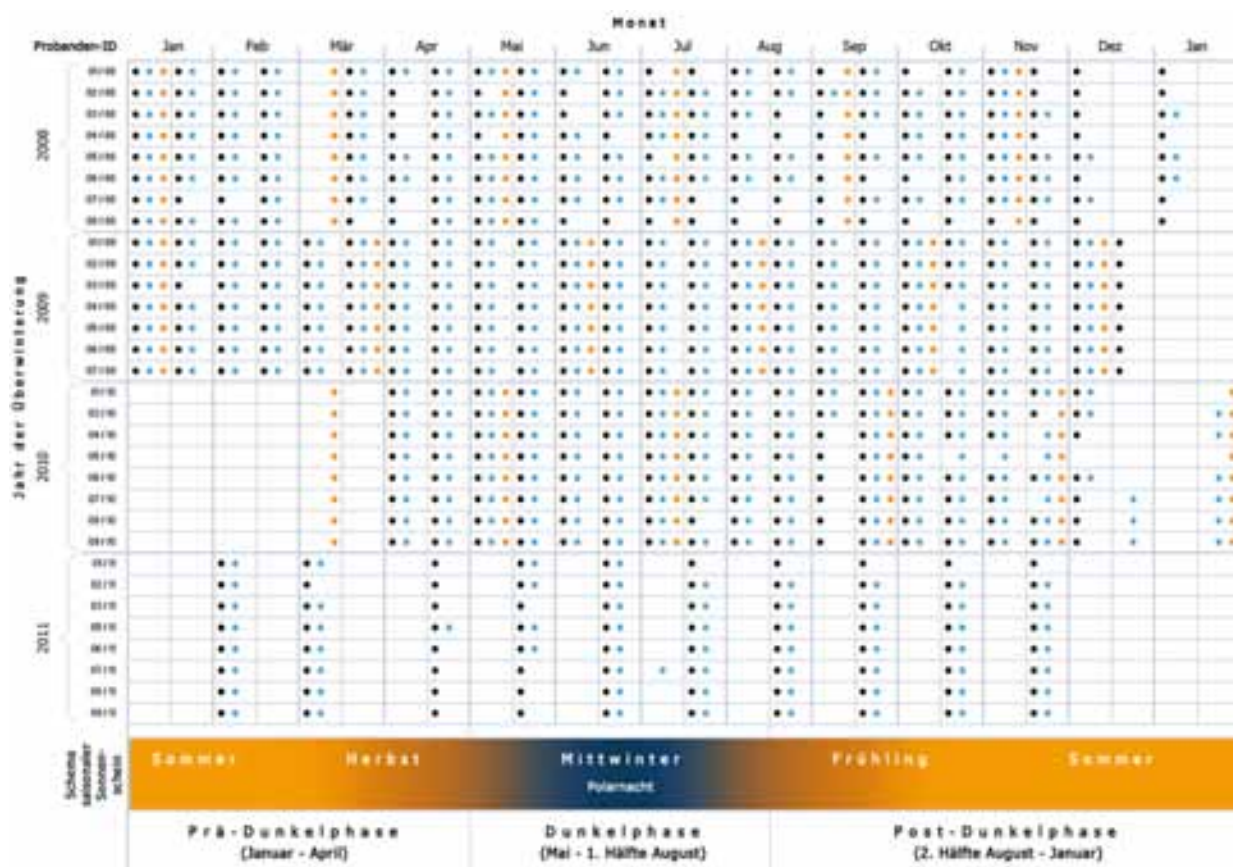


Abb. 17 Messzeitpunkte für alle Teilnehmer aller untersuchten Überwinterungen 2008-2011 im Überwinterungsverlauf sowie die saisonale Änderung der Sonnenscheindauer

- schwarz: Messung des Körpergewichts und der Körperzusammensetzung (BIA)
- blau: Messung der Schlaf- und Aktivitätsparameter (SenseWear-Gerät)
- orange: Blutentnahme für die Messung der Hormon- und Stoffwechselfparameter

² Für 2011 lagen keine Blutproben vor, da witterungsbedingt ein sicherer Abtransport der Proben nicht möglich war.

2.5 Bestimmung der Körperzusammensetzung

Modelle und Normwerte der Körperzusammensetzung

Wie von anderen Autoren zusammenfassend dargestellt wurde (89-92), werden zur Erfassung und Beurteilung der Körperzusammensetzung verschiedene Modelle verwendet, um die einzelnen Kompartimente gegeneinander abzugrenzen. Die Körperfettmasse umfasst die Masse der Triglyceride im Körper; die fettfreie Masse die sog. funktionelle Körpermasse, berechnet als Körpermasse minus Fettmasse. Die Körperzellmasse (Body Cell Mass BCM) umfasst die Gesamtheit aller stoffwechselaktiven Zellen incl. des intrazellulären Wassers und wurde 1963 als eigenes Kompartiment vorgeschlagen (93), welches Änderungen durch Ernährung, körperliche Aktivität (Training) und Krankheiten abbilden könne (94;95).

Entsprechend dieser Definitionen lassen sich unterschiedliche Kompartimente in verschiedenen Modellen voneinander abgrenzen, wie die Abbildung 18 schematisch wiedergibt.

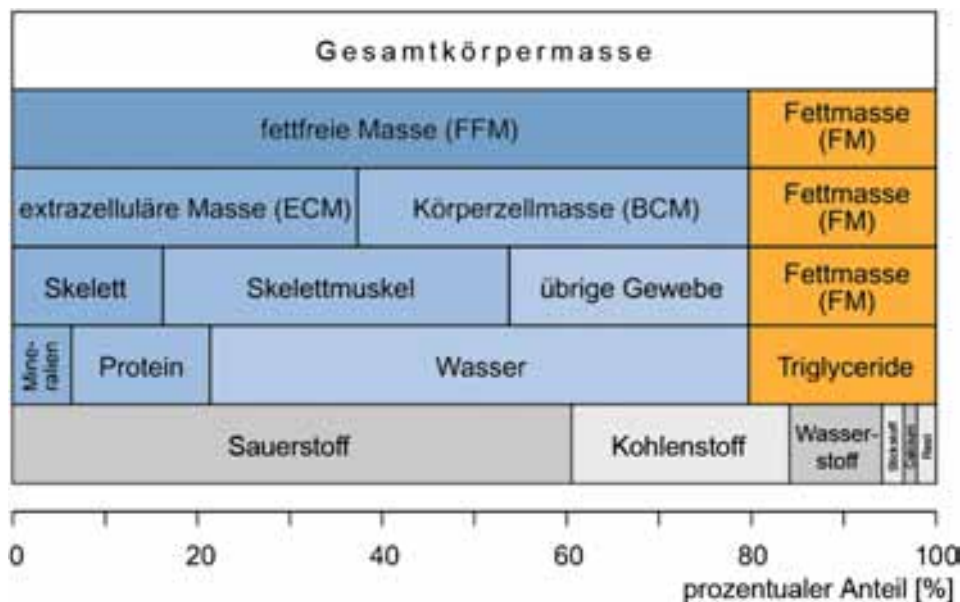


Abb. 18 Körperzusammensetzung des Menschen nach unterschiedlichen Kompartimentmodellen, nach (89;90) neu erstellt

Das 2-Kompartimentmodell ist die einfachste Einteilung nach Fettmasse (FM) und fettfreier Masse (FFM). Bei normalgewichtigen jungen Erwachsenen beträgt die Fettmasse bei Männern ca. 10-25 % und bei Frauen ca. 15-30 %. Die FFM besteht anatomisch aus der Skelettmuskulatur, den Organen und den bindegewebigen Bestandteilen.

Der Anteil des Gesamtkörperwassers (Total Body Water TBW) ist eng an die fettfreie Masse geknüpft und auch Berechnungsgrundlage für die fettfreie Masse. Der zugrunde gelegte Hydratisierungsgrad der FFM beträgt 73 % beim jungen gesunden Erwachsenen. Folglich gilt nach Umstellung des Zusammenhangs und Bildung des Kehrwertes: $FFM = TBW \cdot 1.37$ (96).

Im 3-Kompartimentmodell wird die FFM in die stoffwechselaktive Körperzellmasse (Body Cell Mass BCM) und der extrazellulären Masse (Extracellular Mass ECM) unterteilt. Entsprechend berechnet sich die Körpermasse nach diesem Modell aus der $BCM + ECM + FM$. Die BCM für Männer beträgt ca. 53-60 % und für Frauen ca. 50-58 %. Durch Erhöhung des BCM-Anteils kann der tägliche Energieumsatz nachhaltig gesteigert werden. Entsprechend kommt es zu gesundheitsgefährdenden Zuständen bei Verlusten der BCM z. B. bei der Kachexie (90;97).

Weitere Modelle unterscheiden verschiedene Gewebsstrukturen voneinander bzw. stellen Unterscheidungen auf molekularer Ebene (Körpermasse = Proteine + Fette + Kohlenhydrate + Wasser + Mineralien) oder auch auf atomarer Ebene an (Körpermasse = Sauerstoff + Kohlenstoff + Wasserstoff + Stickstoff + Calcium + Phosphor + Schwefel + Natrium + Chlor + Kalium + Eisen + Magnesium + Jod + (weitere Mineralien und Spurenelemente).

Abbildung 19 stellt die Zusammenhänge der unterschiedlichen Kompartimente zueinander (Wasserkompartimente, fettfreie Masse, Körperzellmasse etc.) in einer weiteren Übersicht dar.

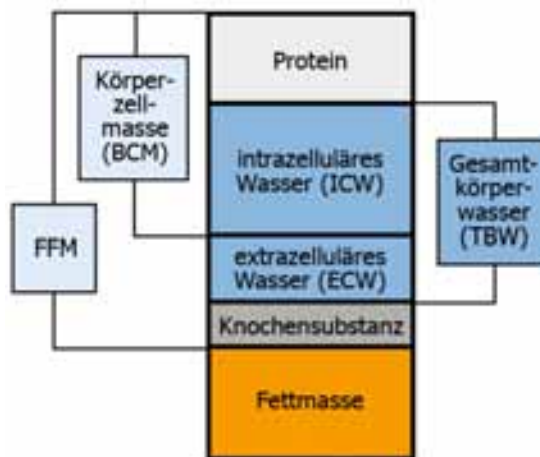


Abb. 19 Körperzusammensetzung des Menschen und deren jeweilige Beziehung zueinander, nach (90;96) neu erstellt; die Knochensubstanz umfasst hier nur die mineralischen Bestandteile

Messtechniken zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

Neben der in der Antarktis eingesetzten und daher im anschließenden Abschnitt in größerem Detail beschriebenen Methode der Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) existieren weitere verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung, wie dazu zusammenfassend dargestellt wurde (89;90).

So beruhen anthropometrische Messungen wie z. B. der Hautfaltendicke auf der Zunahme des subkutanen Fettgewebes bei steigendem Körperfettanteil. Dieses Verfahren der Bestimmung mittels Kalipern ist einfach anzuwenden, jedoch sehr vom Untersucher abhängig. Ein weiterer Ansatz erfolgt über die Messung der Körperdichte mittels Unterwasserwägung oder Ganzkörperplethysmographie. Eine weitere Möglichkeit sind bildgebende Verfahren wie die Dual X-ray Absorptiometrie, die Computertomographie und die Magnetresonanztomographie.

Auf einzelne Kompartimente z. B. zur Bestimmung des Proteingehaltes kann mittels Neutronenaktivierung zur Berechnung des Stickstoffgehaltes eines Organismus geschlossen werden. Ein weiterer Ansatz zur Bestimmung der Körperzellmasse besteht in der Abschätzung des Gesamtkörperkaliums über die Messung des ^{40}K -Isotops (98). Dieses ursprünglich eingeführte Modell über den grundsätzlichen Zusammenhang aus Gesamtkörperkalium und Körperzellmasse, aufgrund der Überlegung, dass der überwiegende Teil des Gesamtkörperkaliums (Total Body Potassium TBP) intrazellulär vorhanden ist, wurde weiter überarbeitet (99) und führte zu einem Modell, nach dem die Körperzellmasse über die Formel: $\text{BCM (kg)} = 1 / 109 * \text{TBP (mmol)}$ abgeschätzt werden kann (100). Das Gesamtkörperkalium kann entweder über die Messung des ^{40}K -Isotops direkt bestimmt (98) oder über Berechnungsformeln approximiert werden (101).

Anhand der unterschiedlichen Ansätze, des technischen Aufwandes und der Genauigkeit der einzelnen Verfahren erschließt sich, dass sich die Anwendungsgebiete jeweils unterscheiden. Während die anthropometrischen Verfahren, wie auch die BIA, mobile und kostengünstige Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung darstellen, sind Verfahren mittels Dichtebestimmung oder Bildgebung kostenintensiver und werden eher im Forschungsbereich angewendet. Die Verfahren der Stickstoffbestimmung oder der ^{40}K -Isotopenmessung sind von sehr spezieller und aufwändiger Natur und werden meist nur als Validierungsverfahren für andere Bestimmungsmethoden, wie für die in dieser Untersuchung genutzte BIA, herangezogen.

Bestimmung der Körperzusammensetzung mittels Bioelektrischer Impedanzanalyse

Hintergrund der BIA

Mit den elektrischen Leitungseigenschaften verschiedener Gewebe haben sich Forscher seit dem Ende des 19. Jahrhunderts beschäftigt (102). Dies führte zu den ersten Versuchen, das Gesamtkörperwasser eines Organismus durch die Messung verschiedener Widerstände zu bestimmen (103).

Seit dem Ende der 1979-er Jahre existiert die Technik der Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA), die seit dem verändert und erweitert wurde; so unterscheidet man Single Frequency BIA Geräte (SF-BIA), die mit einer festen Messfrequenz arbeiten von der Multi Frequency BIA Technik (MF-BIA), die verschiedene Frequenzen nutzt. Weitere abgewandelte Methoden existieren, wie die BIA-Spektroskopie oder auch die Segmentale BIA, bei der verschiedene Bereiche des Körpers einzeln vermessen werden. Die BIA hat sich als ein einfaches, schnelles, verlässliches und vergleichsweise kostengünstiges Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung erwiesen (96).

Messprinzipien der BIA

Der BIA zugrunde liegt der Zusammenhang, dass der elektrische Widerstand (R) eines leitenden Materials proportional zu dessen Länge (l) und umgekehrt proportional zu dessen Querschnittsfläche (A) ist; Abbildung 20 zeigt diesen Zusammenhang schematisch.

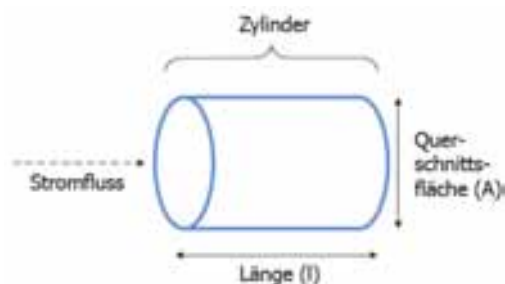


Abb. 20 Der BIA zugrundeliegender Zusammenhang (Leitereigenschaften), nach (96) neu erstellt

Obwohl der menschliche Körper kein Zylinder ist, wurde ein Modell approximiert, bei dem der Widerstand $R = \rho \cdot l / A$ beträgt (ρ = spezifischer Widerstand) und nach Umformung $R = \rho \cdot l^2 / V$ (V = Volumen des Körpers). In Vereinfachung wird für l die Körpergröße h des Probanden eingesetzt (104;105). Dieses Modell wurden weiter angepasst, da der menschliche Körper komplizierter geformt ist, als geometrische Zylinder (106). Abbildung 21 stellt das Messprinzip der Einprägung und Abgreifung des Stromflusses zur Messung der genannten Widerstände beim Menschen schematisch dar, dabei werden zwei Elektroden am Fuß und zwei Elektroden an der Hand der ipsilateralen Seite angebracht.

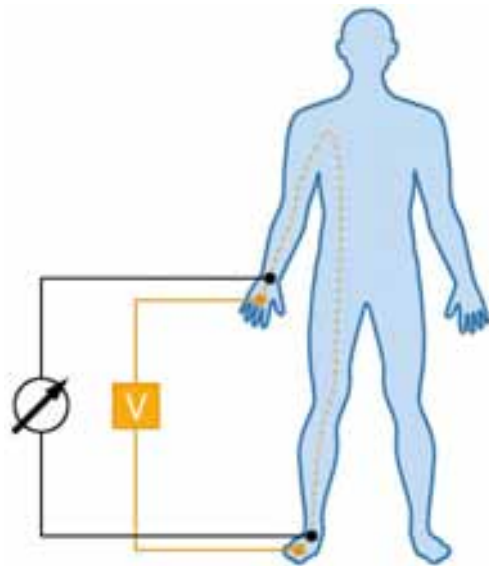


Abb. 21 Messprinzip der BIA beim Menschen, Elektrodenplatzierung am Ort der Einprägung (orange) und Abgreifung (schwarz) des Stromflusses; gestrichelte orange Linie: modellhafter Verlauf des Stromflusses im Körper, nach (96) neu erstellt

Das Messprinzip verkompliziert sich, da sich zwei verschiedene Widerstände im menschlichen Körper aufbauen: ein ohmscher Widerstand (Resistenz R) und ein kapazitiver Widerstand (Reaktanz X_c) (101). Die Resistanz wird hauptsächlich durch mit Flüssigkeit und Ionen gefüllte fettfreie Masse bestimmt. Die Hydratisierung der FFM beträgt bei gesunden Erwachsenen relativ konstant 73 % (90). Der kapazitive Widerstand entsteht durch die Wirkung der Zellmembranen, wie ein Kondensator (C_M) zu reagieren. Der Gesamtwiderstand der Impedanz (Z) entsteht durch Kombination aus R und X_c . Abbildung 22 zeigt den schematischen Verlauf der Stromflüsse und das Zustandekommen beider Widerstände.

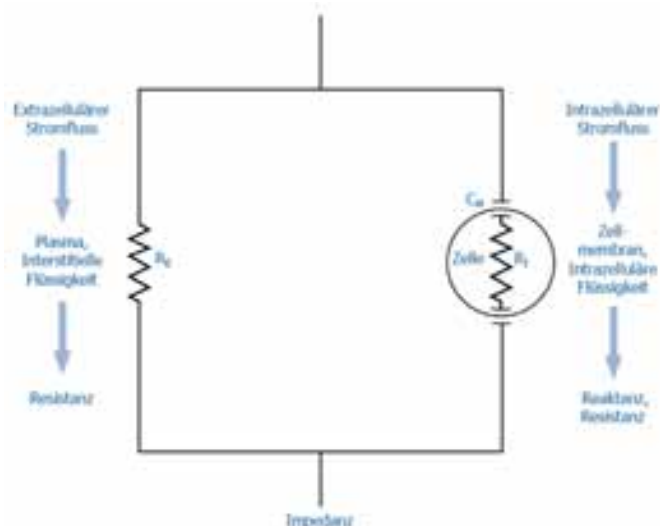


Abb. 22 Schema des extra- und intrazellulären Stromflusses bei der BIA, nach (107) neu erstellt

Je nach Messfrequenz ändert sich die Erfassung einzelner Kompartimente. Bei einer Frequenz von Null kann der Messstrom die isolierenden Zellmembranen nicht durchdringen und es wird nur das Extrazellulärvolumen erfasst. Bei unendlich (bzw. sehr) hoher Messfrequenz wirken die Zellmembranen wie ein Kondensator, so dass der Stromfluss auch den Intrazellulärraum erfasst und so Bestimmungen des Gesamtkörperwassers möglich sind. Abbildung 23 stellt diese Zusammenhänge modellhaft dar.

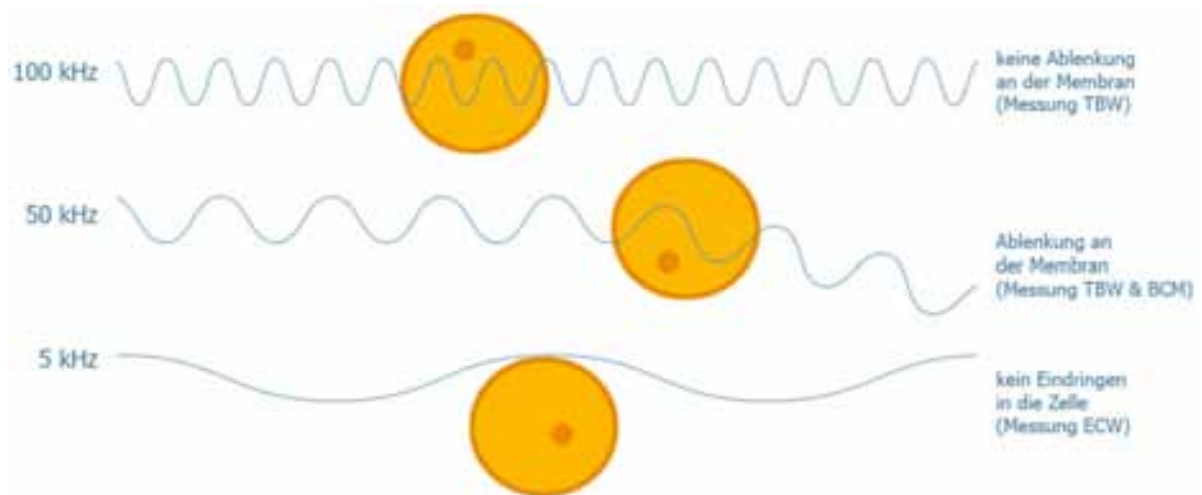


Abb. 23 Erfassung unterschiedlicher Kompartimente (intrazellulär, extrazellulär) mit der BIA in Abhängigkeit von der Messfrequenz, nach (107) neu erstellt

Weitere Anpassungen des Modells beruhen auf der Argumentation, dass der Stromfluss im Körper nicht notwendigerweise seriell, sondern parallel abläuft, was in der Berechnung eine Umrechnung der seriellen Widerstände in parallele notwendig macht (108).

Durch praktische Einschränkungen ist eine Messung mittels der idealen Resistenzen (Null bzw. unendlich) nicht möglich, weshalb diese Werte über den Cole-Cole-Plot approximiert werden, der in Abbildung 24 dargestellt ist.



Abb. 24 Zusammenhänge der durch die BIA erfassten Widerstände und dem Phasenwinkel, nach (96;109) neu erstellt

Diese Darstellung zeigt auch graphisch den mathematischen Zusammenhang: $Z^2 = R^2 + X_c^2$ am rechtwinkligen Dreieck. Der resultierende Phasenwinkel φ ändert sich dabei je nach Beschaffenheit der die Reaktanz X_c bestimmenden Körperzellmasse; ein im Betrag hoher Phasenwinkel, als Ausdruck einer hohen Körperzellmasse wird dabei als prognostisch günstig angesehen (110-112). Die Abbildungen 25 und 26 zeigen modellhaft den Einfluss des Zustandes der Körperzellmasse auf den resultierenden Phasenwinkel bei der BIA-Messung.

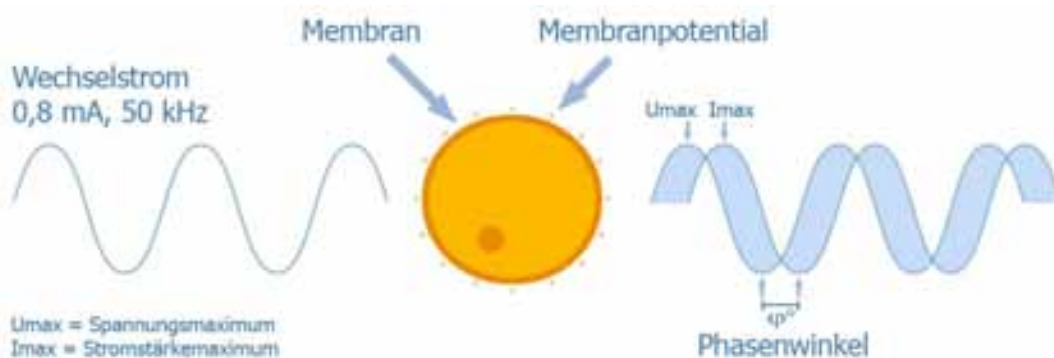


Abb. 25 Einfluss der Beschaffenheit der Körperzellmasse auf den Phasenwinkel – großer Phasenwinkel bei intakter bzw. hoher Körperzellmasse, nach (107) neu erstellt

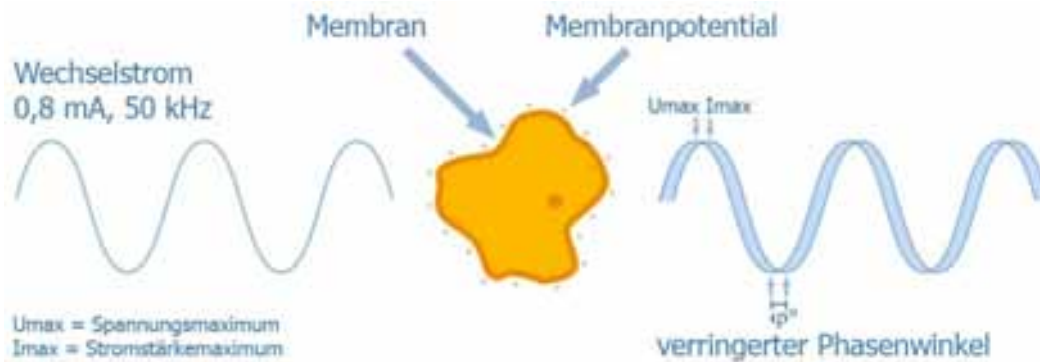


Abb. 26 Einfluss der Beschaffenheit der Körperzellmasse auf den Phasenwinkel – kleiner Phasenwinkel bei beschädigter bzw. geringer Körperzellmasse, nach (107) neu erstellt

BIA Geräte, die auf der Single-Frequency-Technik beruhen, nutzen meist eine festgelegte Frequenz von 50 kHz, die ausreicht, um beide Kompartimente zu erfassen, siehe Abbildung 23. Streng genommen wird zwar zum größten Teil der Extrazellulärraum erfasst (Verhältnis ca. 3:1), jedoch ist das Verhältnis bei gesunden Erwachsenen zwischen beiden Kompartimenten relativ stabil, so dass unter Anwendung von Korrekturfaktoren das intrazelluläre Wasser und somit das Gesamtkörperwasser verlässlich bestimmt werden kann (113). Dies gilt jedoch nicht, wenn Patienten mit erheblich veränderten Hydratisierungsverhältnissen mit der SF-BIA gemessen werden. Entsprechend sind auch Änderungen der Hydratisierung im Intrazellulärkompartiment mit der SF-BIA in solchen Fällen nicht verlässlich feststellbar.

Zusammenfassend lässt sich die Bioelektrische Impedanzanalyse als ein sicheres, einfach zu handhabendes, schnelles, kostengünstiges und verlässliches Verfahren zur Bestimmung der fettfreien Masse und des Gesamtkörperwassers beim Menschen ansehen, solange bei den gemessenen Personen keine Elektrolytstörungen oder Flüssigkeitsverschiebungen vorhanden sind, sich der Körperfettanteil in einer normalen Spanne befindet und die zur gemessenen Population passende BIA-Gleichung zur Bestimmung der Parameter genutzt wird (96;101;114).

Bestimmung des Körpergewichts und der Körperzusammensetzung der Überwinterer

Die Widerstandswerte der Überwinterer in der Antarktis wurden mit einem Single-Frequency (50 kHz) BIA-Gerät Akern BIA 101 der Firma Akern Bioresearch, Florenz, Italien gemessen. Die Apparatur operiert über einen resistiven Widerstand von 0 bis 1000 Ω sowie über einen reaktiven Widerstand von 200 Ω . Es wurden zwei selbstklebende Einwegelektroden (Classic Tabs Ag/AgCl, MediCal, HealthCare GmbH) je auf der rechten Streckerseite des distalen Handgelenks und der Mittelhand sowie an der rechten Streckerseite des Sprunggelenks und des Mittelfußes angebracht und entsprechend mit den Kabeln des Gerätes verbunden. Nach Einschalten des Gerätes startete die Messung automatisch und gab die Widerstandswerte aus.

Das Körpergewicht wurde mittels einer mechanischen Säulenwaage mit Laufgewichtsbalken der Firma Seca am unbedeckten Probanden bestimmt. Die Berechnung des BMI erfolgte nach der Formel: $BMI [kg/m^2] = \text{Körpergewicht [kg]} / (\text{Körpergröße [m]})^2$

Die BIA-Messungen erfolgten durch die Überwinterer selbständig und je nach ÜWI-Staffel an z. T. unterschiedlichen Zeitpunkten. Die Zeitpunkte der Messungen sind im Abschnitt Messzeitpunkte in Abbildung 17 dargestellt. Die erhobenen Messdaten der Körpergewichte und Widerstandswerte wurden per Internet zur Weiterverarbeitung und Auswertung übermittelt.

Berechnung der Parameter der Körperzusammensetzung

Die Berechnung der einzelnen Komponenten der Körperzusammensetzung beruht auf den theoretischen Grundlagen, wie sie im Abschnitt zuvor dargestellt wurden. Das Gesamtkörperwasser und die fettfreie Masse wurden nach den Formeln von Sun et al. berechnet (115):

$$\begin{aligned} \text{TBW (männlich)} &= 1.20 + 0.45 \text{ Größe}^2/\text{Resistanz} + 0.18 \text{ Gewicht}, \\ \text{TBW (weiblich)} &= 3.75 + 0.45 \text{ Größe}^2/\text{Resistanz} + 0.11 \text{ Gewicht}, \\ \text{FFM (männlich)} &= 10.68 + 0.65 \text{ Größe}^2/\text{Resistanz} + 0.26 \text{ Gewicht} + 0.02 \text{ Resistanz}, \\ \text{FFM (weiblich)} &= 9.53 + 0.69 \text{ Größe}^2/\text{Resistanz} + 0.17 \text{ Gewicht} + 0.02 \text{ Resistanz}. \end{aligned}$$

Aus den Werten der fettfreien Masse und der Körpermasse wurde nach:

$$\text{Fettmasse [kg]} = \text{Körpermasse [kg]} - \text{fettfreie Masse [kg]}$$

die Fettmasse berechnet.

Die Körperzellmasse wurde nach den Gleichungen von Kotler et al. berechnet (101) – zunächst über die Berechnung des Gesamtkaliumbestands (TBP) in mmol (erste Formel für männliche, zweite Formel für weibliche Probanden):

$$0.76 \left[\frac{Ht^{1.60}}{X_{cp}^{0.50}} (59.06) \right] + 18.52Wt - 386.66 \quad 0.96 \left[\frac{Ht^{2.07}}{X_{cp}^{0.9}} (1.30) \right] + 5.79Wt - 230.51 \quad \begin{array}{l} \text{(Ht: Größe [cm],} \\ \text{Wt: Gewicht [kg])} \end{array}$$

Dabei nutzt die Berechnungsformel von Kotler et al. den parallelen Reaktanzwiderstand (X_{cp}), der über: $X_{c_{parallel}} = X_{c_{gemessen}} + R_{gemessen}^2 / X_{c_{gemessen}}$ berechnet wurde (101).

Ausgehend vom berechneten Gesamtkörperkalium wurde über die Formel von Cohn et al. (99;100) auf die Körperzellmasse geschlossen:

$$\begin{aligned} \text{BCM [kg]} &= 1/109 * \text{TBP [mmol]} \quad \text{und dies entspricht:} \\ \text{BCM [kg]} &= 0.0092 * \text{TBP [mmol]}. \end{aligned}$$

Ausgehend von diesen Berechnungen wurden die jeweils prozentualen Anteile der Massen dieser Kompartimente in Bezug zum jeweils gemessenen Körpergewicht berechnet und alle erhobenen bzw. berechneten Werte der weiteren Analyse zugeführt.

Im weiteren Verlauf wurden alle genannten Daten mit Hilfe von Microsoft Excel Version 2007 (12.0.4518), Systat SigmaPlot Version 12 (12.2.0.45) und MedCalc Software Version 12 (12.2.1.0) statistisch ausgewertet.

2.6 Bestimmung des Energieumsatzes

Modelle und Normwerte des Energieumsatzes

Wie von anderen Autoren dargestellt wurde (116;117), umfasst der Stoffwechsel eines Organismus alle biochemischen Vorgänge anaboler und kataboler Natur. Der dafür täglich insgesamt aufzuwendende Energiebetrag wird als täglicher Energieumsatz bezeichnet. Dieser setzt sich zusammen aus dem Grundumsatz, dem Leistungsumsatz und dem Verdauungsumsatz.

Der Grundumsatz (GU) beschreibt die Energiemenge, die nötig ist, um die Vitalfunktionen von der einzelnen Zelle bis zum Gesamtorganismus aufrecht zu erhalten. Die Messung erfordert, dass der Proband die zurückliegenden 12 Stunden nüchtern war, mindestens zwei Stunden lang

keine körperliche Aktivität ausgeübt hat und während der Messung wach, liegend in Ruhe, bei Indifferenztemperatur und frei ist von sonstigen Stressoren. Oft wird neben dem Grundumsatz auch der Begriff Ruheenergieumsatz (RU bzw. REU oder Resting Energy Expenditure REE) verwendet, für den in der Bestimmung weniger strenge Bedingungen gelten; häufig werden beide Begriffe jedoch synonym verwendet.

Der Grundumsatz ist eng korreliert mit der Körpermasse sowie insbesondere der fettfreien Masse; der Anteil der FFM erklärt bis zu 85 % der Varianz des GU (118). Somit wird deutlich, warum der GU für Männer um durchschnittlich 5 bis 10 % höher liegt, als für Frauen mit gleicher Körpermasse, da Frauen einen größeren Fettgewebsanteil aufweisen, welcher vergleichsweise hypometabol ist (die FFM ist Schätzungen zufolge bis siebenmal metabolisch aktiver als die Fettmasse (119)). Der Grundumsatz erfährt somit durch die Erhöhung der fettfreien Masse eine Steigerung. Im Mittel steigt mit jedem Kilogramm FFM der Grundumsatz um rund 70 kJ/d. Ein weiterer Einflussfaktor ist das Lebensalter, so ist der GU von Kindern und Heranwachsenden höher, während er mit dem Alter sukzessive sinkt, was mit den erhöhten Stoffwechselfvorgängen des Wachstums im Kindes- und Jugendalter erklärt wird. Der Grundumsatz ist bei geringer täglicher Aktivität zu ca. 60-75 % am Gesamtumsatz beteiligt.

Verkompliziert wird der Zusammenhang durch die unterschiedliche metabolische Aktivität der einzelnen Komponenten der fettfreien Masse. So wird zwischen einem unter Ruhebedingungen metabolisch sehr aktiven Teil (Herz, Gehirn, Leber, Nieren) und einem metabolisch wenig aktiven Teil (Skelettmuskulatur [in Ruhe], Knochen und Bindegewebe) unterschieden (120;121). Dabei entfallen, wie Tabelle 2 darstellt, auf die genannten aktiven Organe, die zusammen nur rund 5 % der Körpermasse darstellen, 65 % des Ruheenergieumsatzes (122).

| | ≈ Organmasse (kg) | ≈ % Körpermasse | ≈ VO ₂ (ml/min) | ≈ % REE |
|---------------|-------------------|-----------------|----------------------------|---------|
| Herz | 0.3 | 0.5 | 30 | 10 |
| Gehirn | 1.4 | 2 | 45 | 20 |
| Leber | 1.5 | 2 | 65 | 25 |
| Nieren | 0.3 | 0.5 | 25 | 10 |
| Skelettmuskel | 30 | 40 | 65 | 25 |

Tabelle 2 Massen, VO₂ und Anteil am Ruheenergieumsatz verschiedener Organe (gerundete Werte), nach (119;120)

In diesem Zusammenhang ist es notwendig anzumerken, dass die Skelettmuskulatur nur unter Ruhebedingungen als relativ hypometabolisch anzusehen ist (jedoch stoffwechselaktiver als die Fettmasse). Unter Leistungsbedingungen können VO₂-Werte von bis zu 500 ml O₂/kg aktiver Muskelmasse pro Minute erreicht werden – mit entsprechenden Auswirkungen eines gesteigerten Gesamtenergieumsatzes (123-125); dies entspricht einer VO₂-Zunahme pro kg Muskelmasse (und damit des lokalen Energieumsatzes) um das 100- bis 250-fache. Nach einer körperlichen Anstrengung ist der Gesamtenergieumsatz auch in Ruhe noch für längere Zeit gesteigert, bedingt durch eine gesteigerte Homöostaseleistung der Muskulatur (gesteigerte N⁺-K⁺-ATPase Aktivität durch Membranschäden) sowie durch eine gesteigerte Proteinbiosynthese und Synthesevorgängen im Energiestoffwechsel (126).

Der Leistungsumsatz umfasst alle energiebedürftigen Vorgänge eines Organismus, die über den Grundumsatz hinausgehen. Insbesondere körperliche Aktivität ist in der Lage, den täglichen Energieumsatz erheblich zu steigern (siehe VO₂-Zunahme der Skelettmuskulatur). Dabei sind Intensität und Dauer der körperlichen Aktivität ausschlaggebend. Je nach Trainingsgrad sind Intensitätssteigerungen bis zum 10-fachen des GU bei untrainierten Erwachsenen möglich. Diese

Werte können bis auf das 20-fache bei Ausdauerathleten (Marathonläufer, Skilangläufer etc.) ansteigen, was bedeutet, dass diese Athleten pro Zeiteinheit entsprechend mehr Energie für die Bewegungsleistung freisetzen können (116). Der Leistungsumsatz ist für nur mäßig aktive Menschen zu ca. 15-30 % am Gesamtumsatz beteiligt, kann aber bei entsprechenden Athleten z. B. während der Trainings- und Wettkampfphase eines Triathleten, Anteile von über 70 % am täglichen Energieumsatz betragen.

Der Verdauungsumsatz beinhaltet die Energiebeträge, die aufgewendet werden müssen, um an die Energie zu gelangen, die die Nährstoffe in sich tragen, wie z. B. für Verdauungs-, Absorptions- und Transportvorgänge. Der Verdauungsumsatz macht ca. 10 % des Gesamtumsatzes aus. Weitere Einflüsse haben die klimatischen Bedingungen, so bewirken sowohl Zu-, als auch Abnahmen der Umgebungstemperatur ausgehend von der Indifferenztemperatur eine Erhöhung des Energieumsatzes des menschlichen Organismus (127).

Wie andere Autoren zusammenfassend darlegten (116;117), wurde aufgrund des direkten Zusammenhangs zwischen Sauerstoffverbrauch (also verstoffwechseltem Volumen Sauerstoff pro Zeiteinheit) und der dabei freiwerdenden Energiemenge, das Metabolic Equivalent (MET) als Einheit eingeführt. Das MET steht für den Ruhesauerstoffverbrauch von 3.5 ml O₂/kg KG/min. Entsprechend der Definition des MET lassen sich Steigerungen der Stoffwechselrate oberhalb des GU als Vielfaches des Ruhesauerstoffverbrauchs bzw. in gleichem Umfang als Vielfaches von 1 MET angeben.

Messtechniken zur Bestimmung des Energieumsatzes

Es existieren verschiedene gängige Verfahren zur Bestimmung des Energieumsatzes des Menschen. Die in diesem Zusammenhang in der Antarktis eingesetzte Methode der Actimetrie wird in einem eigenen Abschnitt näher betrachtet.

Indirekte Kalorimetrie

Alle im Organismus ablaufenden energiefreisetzenden Prozesse hängen letztlich von der Verstoffwechslung der Nährstoffe mit Sauerstoff ab (117;128). Im Gegensatz zur direkten Energieumsatzmessung (über die abgegebene Wärmemenge) ermöglicht die indirekte Kalorimetrie eine einfache und dennoch verlässliche Möglichkeit der Erhebung des Energieumsatzes. Bei einer gemischten Nahrungsmittelzufuhr werden pro Liter Sauerstoff in der Verbrennungsreaktion rund 4.82 kcal bzw. rund 20 kJ frei – dieser Wert wird daher als kalorisches Äquivalent bezeichnet. Durch Messung der verstoffwechselten Sauerstoffmenge pro Zeiteinheit ist somit die Berechnung des Energieumsatzes in Ruhe und während unterschiedlicher Leistungszustände (bis zur VO₂max) möglich.

Ein weiterer Ansatz im Rahmen der indirekten Kalorimetrie geht zurück auf einen der Pioniere der Physiologie: Nathan Zuntz. Er erkannte Ende des 19. Jahrhunderts die zugrundeliegenden chemischen Gesetzmäßigkeiten mit für Kohlenhydrate, Fette und Proteinen festen Verhältnissen hinsichtlich der freiwerdenden CO₂-Mengen im Bezug auf die benötigten O₂-Mengen. Dieses Verhältnis wird auch als Respiratorischer Quotient (RQ) angegeben und beträgt für Kohlenhydrate 1.0, für Proteine rund 0.82 und für Fette zwischen 0.69 und 0.73, je nach Länge der utilisierten Fettsäuren (128). Nathan Zuntz erstellte umfangreiche Tabellen zum Verhältnis verstoffwechselter Nährstoffe, dem aus dem Metabolismus resultierenden RQ und der entsprechend frei werdenden Energie pro Liter Sauerstoff bzw. dem pro Gramm Nährstoff resultierenden Brennwert (129). Durch diese Erkenntnisse wurde es möglich, den Energieinhalt,

der pro verstoffwechselten Volumen Sauerstoff frei wird, exakt zu bestimmen, wodurch die indirekte Kalorimetrie in ihrer Genauigkeit erheblich verbessert wurde.

Doubly Labelled Water Methode

Die Doubly Labelled Water Methode ermöglicht die Messung des Energieumsatzes ohne die Einschränkungen von technischem Gerät, das, wie z. B. bei der indirekten Kalorimetrie, am Körper durch den Probanden getragen werden muss. Jedoch ist dieses Verfahren vergleichsweise kostenintensiv und daher auf wenige Anwendungsgebiete, wie z. B. der Validierung anderer Verfahren beschränkt.

In der Durchführung nimmt die Testperson eine bestimmte Menge Wasser mit einer bekannten Konzentration von $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ zu sich. Die Isotope verlassen den Körper wieder in Form von C^{18}O_2 , H_2^{18}O und $^2\text{H}_2\text{O}$ in der Ausatemluft, dem Schweiß und Urin. Die Messung der jeweiligen Mengen mittels eines Massenspektrometers ermöglicht es, auf die Stoffwechselfvorgänge (CO_2 -Produktion) zurückzuschließen und so den Energieumsatz zu bestimmen; dabei ist eine Gesamtmessung meist über den Zeitraum von Wochen angelegt, um die Konzentrationsabnahmen der zugeführten Isotope bestimmen zu können (128).

Bei der vorgelegten Arbeit wurden zur Messung des Energieumsatzes Actimeter eingesetzt, für die die indirekte Kalorimetrie und die Doubly Labelled Water Methode unter anderem als Vergleichsmessungen herangezogen wurden. Die Actimetrie und das in der Antarktis verwendete Actimeter „SenseWear“ werden in späteren Abschnitten näher dargestellt.

2.7 Bestimmung von Parametern des circadianen Rhythmus und Schlafes

Modelle und Normwerte des circadianen Rhythmus und Schlafes

Wie an anderer Stelle dargestellt (130), ist der circadiane Rhythmus – also die Veränderung verschiedener Körperfunktionen über den zeitlichen Verlauf des Tages hinweg – ein ubiquitär vorkommendes Phänomen. Ein Parameter wie die Körperkerntemperatur, die bereits früh Gegenstand von entsprechenden Untersuchungen war und eng mit der Regulation der circadianen Rhythmik verknüpft ist, wie auch die Plasmakonzentrationen verschiedener Botenstoffe, zeigen eine circadiane Rhythmik. Aus den ersten Untersuchungen, die zeigten, dass der Rhythmus auch unter Isolation von äußeren Einflüssen wie dem Hell-Dunkel-Wechsel beibehalten wird, schloss man, dass dieser endogenen Ursprungs sein müsse. Spätere Studien zeigten, dass der Hypothalamus und insbesondere das Kerngebiet des Nucleus suprachiasmaticus (SCN) eine Schlüsselstellung in der Regulation des circadianen Rhythmus (der sog. „inneren Uhr“) einnehmen. Hierüber werden die internen Regulationsvorgänge mit den äußeren Zeitgebern synchronisiert. Dabei wirkt der SCN auf die Körperkerntemperatur, verschiedene Hormonkonzentrationen und das Verhalten und beeinflusst somit alle weiteren Körperzellen im Sinne einer Synchronisierung. Als Neurotransmitter sind dabei Vasopressin mit Efferenzen an die Epiphyse (Corpus pineale) sowie im ventrolateralen Bereich des SCN das vasoaktive intestinale Peptid (VIP) und Neuropeptid Y aktiv (131). Die räumliche Nähe des SCN zu Kerngebieten der Nahrungs- und Energieregulation im Hypothalamus sowie die gleichzeitige Bedeutung von VIP und Neuropeptid Y in der Appetitregulation zeigen die Verknüpfung der Schlaffunktion mit der des Energiehaushaltes und der Körperzusammensetzung (132;133).

Die molekularen Uhren der circadianen Regulation bestehen molekularbiologisch aus einer Transkriptions-Translations-Schleife zwischen sogenannten „clock-related-genes“ (z. B.: Per1-2, Cry1-2) und einem Protein-Dimer (BMAL1-CLOCK – „Brain and Muscle ARNT-Like protein

1“ und „Circadian Locomotor Output Cycles Kaput“), auf welche mittels Hormonen und Cytokinen Einfluss genommen wird. Regulationskomponenten des circadianen Rhythmus sind in Abbildung 27 schematisch dargestellt.

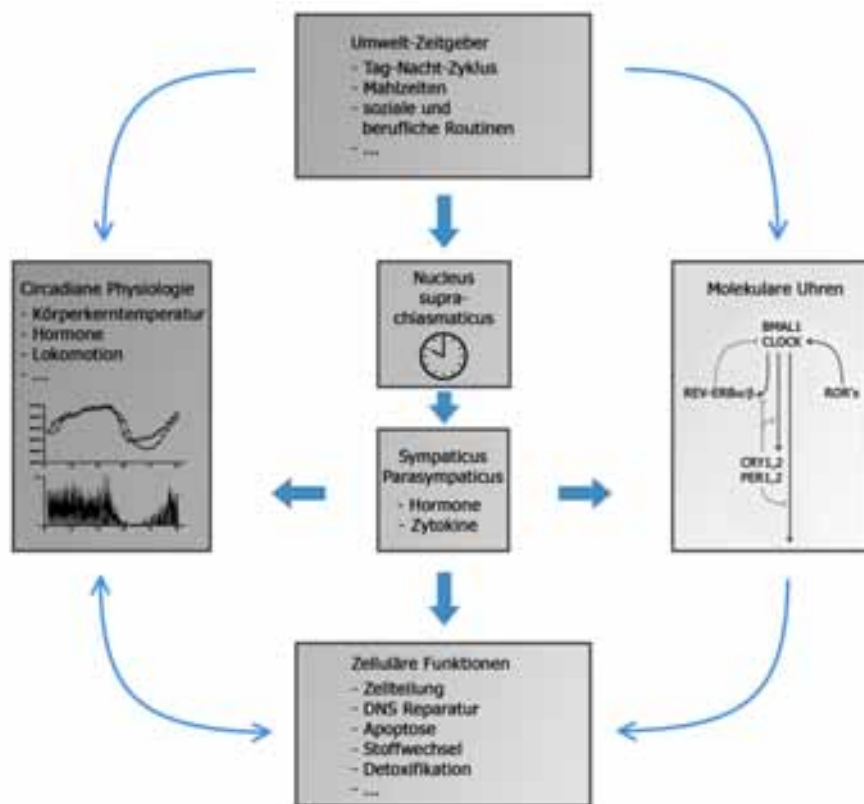


Abb. 27 Übersicht der Regulationskomponenten des circadianen Rhythmus, nach (130) modifiziert

Ein gängiges Modell des zentralen Schrittmachers besteht aus einem im SCN befindlichen Oszillator, der den 24-Stunden-Rhythmus generiert und sich über Eingangssignale mit externen Stimuli synchronisiert, wie dem natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus. Dieser Synchronisationsprozess wird auch als Entrainment bezeichnet. Licht, das auf die Netzhaut fällt wird als entsprechende Information über einen direkten Zugang an die Regulationszentren des circadianen Systems weitergeleitet.

Neben den bekannten Photorezeptoren Zapfen und Stäbchen, wurden weitere Melanopsin enthaltende Typen retinaler Ganglionzellen entdeckt, die als hauptsächliche Photorezeptoren für den circadianen Rhythmus gelten. Diese Rezeptoren haben ihre höchste Empfindlichkeit für Licht der Wellenlänge um 460 nm, dem Blauanteil des Lichts, der die größte Fähigkeit zeigt, die Melatoninsekretion zu supprimieren und den circadianen Rhythmus zu beeinflussen. Melatonin, ein Tryptophanmetabolit, wird von der Glandula pinealis (Zirbeldrüse) sezerniert, welche afferente Eingänge und efferente Ausgänge zu anderen Teilen des circadianen Systems besitzt. Die Glandula pinealis erhält Informationen über das Ganglion cervicale superius des Sympathicus, welcher seinerseits Afferenzen aus dem SCN erhält. Melatonin der Glandula pinealis wiederum beeinflusst den SCN und somit die circadiane Rhythmik, indem es über eine Hemmung der Neurone des SCN einen schlaffördernden Zustand herbeiführt. Abbildung 28 stellt die Regulationszentren und deren Verbindung untereinander schematisch dar.

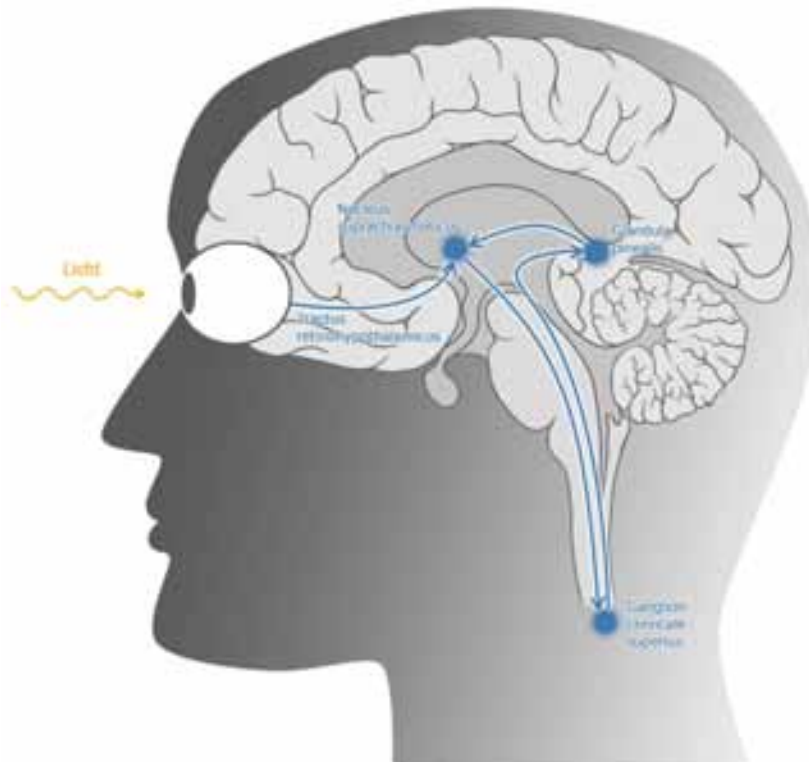


Abb. 28 Regulationszentren und Leitungsbahnen des circadianen Rhythmus, nach (130) modifiziert

Ein funktionelles Modell der circadianen Rhythmik besteht aus einem endogenen circadianen Prozess (Prozess C) und einem homöostatischen Prozess (Prozess S) sowie Einflussgrößen aus der Umwelt. Der endogene Prozess C fördert das Wachsein während des Tages und die Initiierung und Konsolidierung des Schlafes während der Nacht zusammen mit der Synchronisierung mit den äußeren Bedingungen. Darüber hinaus akkumuliert sich der homöostatische Prozess S als Funktion des vorherigen Wachseins, so dass die Schlafneigung (Müdigkeit) stetig ansteigt, bis dieser Antrieb wieder durch Schlaf verringert wird. Diese Zusammenhänge sind in der Abbildung 29 modellhaft dargestellt.

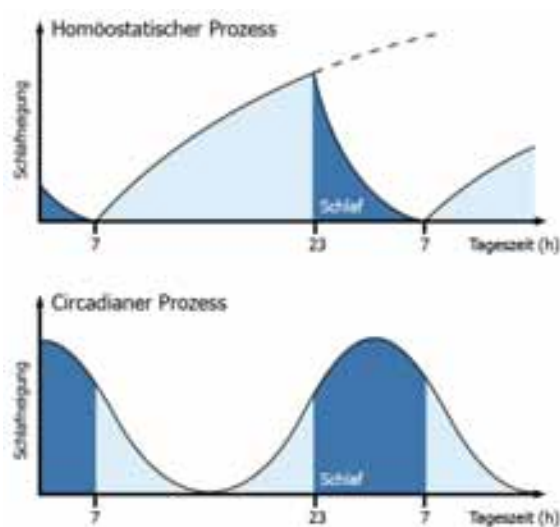


Abb. 29 Homöostatischer und circadianer Prozess der Schlafneigung, nach (134) modifiziert

Der Wachzustand und der Wechsel zum Schlaf wird durch eine Vielzahl von Transmittern aus unterschiedlichen Kerngebieten beeinflusst (Dopamin – tuberomamillärer Kern; Serotonin – Raphekerne; Adrenalin – Locus coeruleus; Acetylcholin – laterodorsales Tegmentum und

pontine Kerne) (131). Der Wachzustand wird vorwiegend durch glutamaterge und cholinerge Neurone des ARAS (Aszendierendes Retikuläres Aktivierendes System) aufrechterhalten. Schlaf wird durch eine GABA-erge Senkung der ARAS-Aktivität induziert. GABA, als wichtigster inhibitorischer Transmitter des ZNS, bewirkt nach Bindung an GABA-Rezeptoren sedierende, anxiolytische und muskelrelaxierende Effekte, die insgesamt schlafanstoßend wirken (131).

Beim Menschen können fünf verschiedene Schlafstadien (incl. Wachzustand) dargestellt werden, wie andere Autoren zusammenfassend darlegten (131). Weiterhin machen die Schlafstadien N1 und N2 (Übergangsschlaf und stabiler Schlaf) beim gesunden jungen Erwachsenen 55-60 % der Schlafzeit aus; 20 % entfallen auf das Stadium N3 (Tiefschlaf) und weitere 20 % auf den paradoxen REM-Schlaf (Rapid Eye Movement). Ein Wachanteil macht dabei weniger als 5 % nach Schlafbeginn aus. Jeder Schlafzyklus dieser Stadien hat eine Dauer von ca. 90 Minuten und wird je nach Schlafdauer 3-7 mal pro Nacht durchlaufen, was anhand eines Hypnogramms, erhoben mittels der Polysomnographie, beurteilt werden kann. Abbildung 30 illustriert die Verteilung der Schlafphasen über den normalen Schlafverlauf.

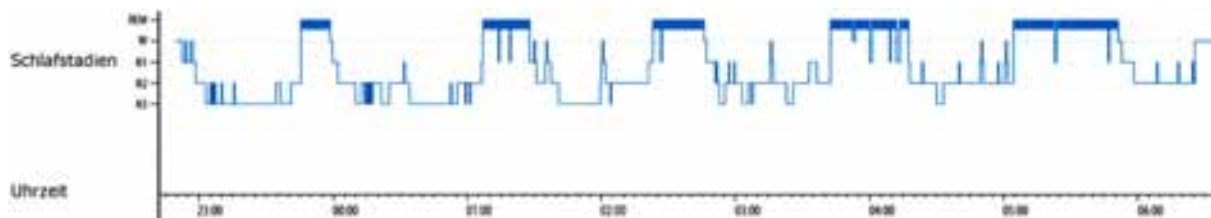


Abb. 30 Schlafstadien über den Verlauf eines normalen Nachtschlafes, nach (131) modifiziert

Die ersten beiden Schlafphasen scheinen dabei von besonderer Bedeutung für die Erholungsfunktion zu sein und werden deshalb als Kernschlaf bezeichnet. Der Entzug des Kernschlafes führt schnell zu einer erheblichen Leistungsminderung bis zur Gesundheitsgefährdung, während ein Entzug der späteren Phasen auch über einen längeren Zeitraum kompensiert werden kann.

Der Schlaf ist als ein Funktionszustand mit reduzierter motorischer Aktivität und geringer Reaktionsbereitschaft auf endogene und exogene Stimuli gekennzeichnet. Jedoch zeigen Untersuchungen, dass diesem äußerlich reduziert wirkenden Zustand ein hohes Maß neuronaler Aktivität zu Grunde liegt, wie die Abfolge von Non-REM- und REM-Phasen und die Modulation vieler Körperfunktionen nahe legt. Schlaf findet sich bei allen Säugetieren und Vögeln sowie vielen Reptilien, Amphibien und Fischen. Die verminderte Schutzfunktion, die mit dem Schlaf einhergeht zeigt, dass die Vorteile, die die Schlaffunktion für den Organismus mit sich bringt, diesen Nachteil zu überwiegen scheinen.

Charakteristisch für das Durchlaufen der Schlafstadien ist eine Abnahme des Muskeltonus und der EEG-Aktivität vom Alpha-Rhythmus (10 Hz) für das Wachstadium über den Theta-Rhythmus (5 Hz) für N1 und N2 bis hin zur Deltaaktivität (um 1 Hz) im Tiefschlafstadium N3. Der REM-Schlaf (R-Stadium) ist wieder durch eine erhöhte EEG-Aktivität (Theta- und auch langsame Alphawellen) – also gesteigerter kortikaler Aktivität – sowie durch rasche Augenbewegungen und Muskelzuckungen gekennzeichnet. Obwohl auch in anderen Schlafphasen Traumerlebnisse möglich sind, scheint die REM-Phase besonders mit dem Träumen assoziiert zu sein.

Mit diesen Veränderungen wechseln auch andere physiologische Funktionen ihren Zustand, so kommt es zur Abnahme von Respiration, des Herzminutenvolumens und des zerebralen Blutflusses, diese Werte sind während der REM-Phase jedoch variabel und können dort auch

ansteigen. Obwohl die Funktionen des Schlafes z. T. noch unbekannt sind, so hat der Schlaf eine grundlegende Erholungsfunktion für eine Vielzahl physiologischer Funktionen. Mit dem Non-REM-Schlaf werden anabole und energiekonservierende Vorgänge assoziiert, während dem Schlaf in der REM-Phase eine Funktion bei der Gedächtniskonsolidierung und der Lernfunktion durch Wachstum und Aktivitätsmodulation von Synapsen zugeordnet wird.

Messtechniken zur Bestimmung von Parametern des circadianen Rhythmus und Schlafes

Die Parameter des Schlafes und des circadianen Rhythmus werden mit einer umfassenden Untersuchung im Schlaflabor (Polysomnographie) erhoben. Bei verschiedenen Fragestellungen können auch Schlafprotokolle und ambulant nutzbare Actimeter zur Erhebung der Daten hilfreich sein. Die Polysomnographie wird im späteren Abschnitt zur Methodik der Validierung des in der Antarktis eingesetzten SenseWear-Gerätes und die Actimetrie im anschließenden Abschnitt näher dargestellt.

2.8 Actimetrie – eine Methode zur Bestimmung von Parametern des Energieumsatzes, der Aktivität und des Schlafes

Messprinzip der Actimetrie

Actimeter sind Geräte, die nicht-invasiv in der Lage sind, Bewegungsdaten zu messen und es so ermöglichen, nach entsprechender Auswertung, Aussagen zur Aktivität, dem Energieumsatz sowie zu verschiedenen Parametern des Schlafes zu treffen (135;136).

Meist handelt es sich um in der Bauweise vergleichsweise kleine und leichte Geräte, die von Probanden und Patienten am Handgelenk oder anderen Trageorten an der oberen Extremität getragen werden und dort über den Zeitverlauf die entsprechenden Daten messen und speichern. Für die Datenanalyse werden die Rohdaten vom mobilen Speicher meist auf einen Rechner übertragen und dort mit Hilfe einer Auswertungs-Software analysiert, bzw. für weitere Anwendungen exportiert.

Die klassische Grundlage der Actimetrie basiert auf der Messung von Beschleunigungsdaten durch das Actimeter (Akzelerometrie). Dabei wird in einer oder mehreren räumlichen Achsen eine Masse innerhalb des Messgerätes durch die Bewegungen der Trägerin bzw. des Trägers ausgelenkt. In Abhängigkeit der Beschleunigung, die die Masse dabei erfährt, erfolgt entsprechend deren Auslenkung. Eine mit der Masse assoziierte Messeinrichtung ändert ihre elektrische Leitfähigkeit bzw. den elektrischen Widerstand, je nach Ausmaß der Auslenkung der bewegten Masse, wodurch die zugrundeliegende Beschleunigung in mess- und speicherbare Werte sich ändernder elektrischer Widerstände umgewandelt werden (137). Dieses grundsätzliche Messprinzip der Actimetrie ist in Abbildung 31 schematisch dargestellt.

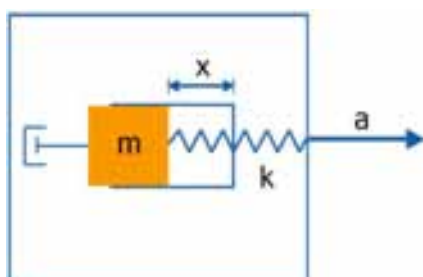


Abb. 31 Messprinzip der Actimetrie (m: ausgelenkte Masse, k: konstanter Widerstand der Feder, x: Weg der Masseauslenkung, a: Beschleunigung), nach (137) neu erstellt

Bestimmung des Energieumsatzes mit Actimetern

Zur Beurteilung des Energieumsatzes des Menschen existiert, neben den im vorherigen Abschnitt genannten etablierten Methoden (indirekte Kalorimetrie und Doubly Labelled Water Methode), eine Reihe von Actimetern unterschiedlicher Hersteller. Die Anzahl verschiedener Geräte sowie die in unterschiedlichen Validierungsuntersuchungen angewendeten Studienprotokolle und Vergleichsmethoden machen eine Beurteilung der einzelnen Actimeter kompliziert, wie in einer Studie zur Beurteilung des Energieumsatzes mittels Actimeter bei älteren Erwachsenen gezeigt werden konnte (136). Insgesamt werden – auch aufgrund der Vorteile wie ambulante Einsatzmöglichkeit, geringer Aufwand und geringe Kosten sowie vergleichsweise hohe Akzeptanz und Compliance seitens der Probanden – Actimeter zur Beurteilung des Energieumsatzes und der Aktivität im Rahmen verschiedener Fragestellungen eingesetzt (138-141).

Je nach Studie zeigen sich dabei gute Übereinstimmungen der untersuchten Parameter mit Bezug zur Vergleichsmessung (142) aber auch teilweise nur geringe Übereinstimmungen (143) bzw. die eingesetzten Auswertungsmethoden werden als verbesserungswürdig angesehen (144), wie auch die Methoden des Vergleichs unterschiedlicher Geräte in unterschiedlichen Fragestellungen (136).

Mit Bezug auf das in der Antarktis auf der Georg-von-Neumayer-Station II bzw. III eingesetzten Actimeters „SenseWear“ wird dieses in einem späteren Abschnitt näher dargestellt.

Bestimmung von Schlafparametern mit Actimetern

Seit den 1980-er Jahren werden Actimeter zur Aufzeichnung von Aktivitätsparametern auch zur Beurteilung des Schlafes beim Menschen verwendet (145). Die ursprünglich verwendeten Geräte waren zunächst meist nur reine Bewegungsmesser, die in einer, zwei oder auch drei räumlichen Achsen Beschleunigungsdaten registrierten und speicherten. Studien zum Vergleich von Actimetrie und der Polysomnographie (PSG) zur Validierung der von den Actimetern erhobenen Schlafdaten zeigten, dass bei jungen gesunden Probanden Übereinstimmungen von 91-93 % darstellbar sind. Diese Validierungsstudien beziehen sich meist auf Korrelationen zwischen der Actimetrie und der PSG in Bezug auf Parameter wie der Gesamtschlafzeit oder der Schlaffeizienz (145).

Vorteile der Actimetrie liegen in der Möglichkeit auch ambulant, z. B. im gewohnten Wohnumfeld von Probanden bzw. Patienten Messungen zum Schlafverhalten zu erstellen, mit dem Resultat hoher Akzeptanz und Compliance diese Messungen auch über mehrere Tage hindurch durchzuführen; des Weiteren ist der Einsatz von Actimetern relativ preiswert und von vergleichsweise geringerem Aufwand (146), da der Goldstandard – die Messung mittels Polysomnographie – aufwändig und kostenintensiv ist (147).

Mit der Actimetrie ist nach entsprechender Auswertung der Actimeterdaten eine Unterscheidung von Schlaf- und Wachphasen voneinander möglich (148) und es lassen sich zusätzlich hinreichend verlässliche Aussagen hinsichtlich der Schlafgewohnheiten, Schlafstörungen und eventueller Tagschlafepisoden untersuchter Probanden bzw. Patienten treffen. In einer Studie mit 22 gesunden Probanden konnte auch gezeigt werden, dass ebenfalls eine Unterscheidung hinsichtlich der Schlafstadien möglich ist, so zeigten 95 % der Probanden im Wachzustand die höchste Bewegungsdichte, 86 % in NREM-Stufe 1 eine höhere Bewegungsdichte als in allen anderen Schlafstadien und 82 % der Probanden die niedrigste im Tiefschlaf, insgesamt waren die interindividuellen Unterschiede in der Bewegungsdichte jedoch

sehr hoch, was eine individuelle Vorhersage des Schlafstadiums nicht ermöglichte (147). Die Autoren schlussfolgerten, dass das in der Studie genutzte Actimeter (Typ Actigraph) keine Alternative zur Polysomnographie in der individuellen Schlafanalyse (Schlafstruktur und Qualität) darstellen könne; bei einfacheren Fragestellungen zur Schlaf- und Wachabschätzung könnten Actimeter jedoch eine kostengünstige Alternative darstellen.

Den Vorteilen und der Nutzung von Actimetern stehen auch Nachteile gegenüber, wie die geringere Präzision stattgehabter Messungen und, je nach Hersteller bzw. Gerätemodell, auch die Abhängigkeit von der Probandencompliance (149). Meist wird im Rahmen schlafmedizinischer Untersuchungen die Actimetrie mit der Aufzeichnung von Schlafprotokollen kombiniert, um die Aussagekraft der Messungen zu erhöhen (145).

Actimeter „SenseWear“

Das Actimeter „SenseWear“ (Version Pro3) ist ein Gerät der Firma BodyMedia, Pittsburgh, PA, USA. Es wird an der Rückseite des rechten Oberarms getragen und erfasst laut Herstellerangaben (87) physiologische Daten einschließlich der Bewegung durch Messung der Beschleunigung in zwei Raumachsen (± 2.0 g) sowie zusätzlich des Wärmeflusses (0.0 W/m² bis 300.0 W/m²), der Hauttemperatur, der körpernahen Temperatur (je 20.0 °C bis 40.0 °C) und der Hautleitfähigkeit (Galvanic Skin Response GSR; 50.0 nSiemens bis 17.0 μ Siemens).

Die Standzeit mittels einer AAA-Batterie beträgt ca. 14 Tage bei ununterbrochener Tragezeit. In der Standardeinstellung lassen sich Daten von bis zu 10 Tagen speichern. Dabei werden die erhobenen Messdaten gemittelt mit einer Speicherfrequenz von 1/min aufgezeichnet. Für spezielle Fragestellungen können auch hochfrequente Datenaufzeichnungen durchgeführt werden, dabei werden die Daten mit der Messfrequenz von 32 Hz im Datenspeicher abgelegt – entsprechend verringern sich Speicherkapazität und Aufzeichnungsdauer. Die Daten werden nach Abschluss der Messung über ein USB-Interface auf einen Rechner übertragen und können mittels einer Software des Herstellers bearbeitet, exportiert und ausgewertet werden (87).

Das SenseWear-Gerät besteht in den Teilen, die mit der Haut des Probanden in Kontakt stehen aus Urethan, Co-Polyester und hypoallergenem rostfreien Stahl sowie aus einem elastischen Gurt der Materialien Nylon, Polyester, Polyisopren (latexfrei), mit dem das Gerät am Oberarm befestigt wird. Die Abmessungen des Gerätes betragen (ohne Gurt) rund 89 x 57 x 22 mm mit einem Gewicht (incl. Gurt und Batterie) von rund 82 g. Das Gerät ist vor Spritzwasser geschützt (87). Wie gezeigt werden konnte, trifft das Gerät auf hohe Akzeptanz in Bezug auf Tragekomfort und Hautverträglichkeit (150). Abbildung 32 zeigt die Vorder- und Rückseite des Gerätes.



Abb. 32 Vorder- und Rückseite des SenseWear-Gerätes (Pro3) mit Darstellung der jeweiligen Sensoren und den jeweils erhobenen Messparametern, nach (87) modifiziert

Bestimmung der Schlaf- und Aktivitätsparameter der Überwinterer

Die 24-stündigen SenseWear-Messungen erfolgten durch die Überwinterer selbständig und je nach Überwinterungssaison an z. T. unterschiedlichen Zeitpunkten. Die jeweiligen Zeitpunkte der Messungen sind im Abschnitt Messzeitpunkte in Abbildung 17 dargestellt. Die Teilnehmer übernahmen vor Ort den Transfer der Daten vom SenseWear-Gerät auf einen separaten Rechner und von dort die Übermittlung der Daten zur weiteren Auswertung.

Mit Hilfe der Auswertungssoftware SenseWear-Professional Version 7.0 (7.0.0.2378 deutsch) wurden die Parameter:

- Liegedauer,
- Schlafdauer,
- Schlafeffizienz,
- Schlaffragmentierung,
- Schlafenergieumsatz,
- täglicher Energieumsatz

in der Auswertung aus den vor Ort gewonnenen Datensätzen der Teilnehmer bestimmt.

Die Liege- und Schlafdauern wurden dabei von der Auswertungssoftware durch einen proprietären Algorithmus bestimmt und ausgegeben. Die Schlafeffizienz wurde aus der Ratio Schlafdauer zu Liegedauer berechnet. Die Schlaffragmentierung wurde manuell bestimmt und umfasst alle während einer Schlafperiode gezählten Wachepisoden. Der Schlaf- und tägliche Energieumsatz wurden von der Auswertungssoftware durch einen proprietären Algorithmus bestimmt und ausgegeben.

Im weiteren Verlauf wurden diese Daten mit Hilfe von Microsoft Excel Version 2007 (12.0.4518), Systat SigmaPlot Version 12 (12.2.0.45) und MedCalc Software Version 12 (12.2.1.0) statistisch ausgewertet.

2.9 Hormon- und Stoffwechselfparameter

25-OH-Vitamin D

Unter dem Sammelbegriff „Vitamin D“ (Calciferol) werden die Substanzen Vitamin D3 (Cholecalciferol) und Vitamin D2 (Ergocalciferol) zusammengefasst, die nach Umwandlung im Stoffwechsel hormonell wirksam werden. Die Bildung über die Haut deckt beim Menschen – je nach Sonnenexposition bedingt durch geographischen Ort, Höhenlage, Bekleidung, Beruf etc. – mit bis zu 95 % den überwiegenden Teil des Vitamin D-Bedarfs (151).

Eine photochemische Umwandlung des Provitamin D3 (7-Dihydrocholesterol 7-DHC) durch UVB-Licht der Wellenlängen 280-320 nm bewirkt die Bildung von Prävitamin D3 und schließlich von Vitamin D3 (Cholecalciferol). Die Wellenlänge von 298 nm bewirkt die maximale Bildungsrate (152). Ex vivo sind für die Konversion mindestens 18 mJ/cm^2 (Hauttyp 2) notwendig, um die Reaktion zu katalysieren. Höhere Wellenlängen und zu hohe Energien können zu einer irreversiblen Umwandlung des Prävitamin D3 in Toxysterol führen, was die Vitamin D3-Bildung vermindert (153). Das entstandene Vitamin D3 wird, gebunden an Transportproteine (Vitamin D-Binding Protein DBP und Albumin), zur Leber transportiert. Ein geringer Teil wird im Fettgewebe und der Skelettmuskulatur gespeichert, von wo aus es bei Mangelzuständen freigesetzt werden kann, die Halbwertszeit beträgt dabei ca. zwei Monate (151).

In der Leber werden Vitamin D₃ und D₂ in 25-Hydroxy-Vitamin D konvertiert. Von dort gelangt dieser Zwischenmetabolit über den Blutkreislauf, gebunden an DBP, in die Nieren, wo der zweite Aktivierungsschritt zu 1,25-Dihydroxy-Vitamin D (Calcitriol) katalysiert wird. Der Reaktionsschritt wird durch das Parathormon stimuliert und durch das entstehende Produkt gehemmt. Vom Produktionsort gelangt Calcitriol, gebunden an DBP, über das Blut zu seinen Zielorganen wie Darm, Knochen, Nieren, Nebenschilddrüse usw. (151). Neben diesem Hauptbildungsort können auch andere Gewebe den zweiten Aktivierungsschritt durchführen (Keratinozyten, Makrophagen), jedoch ist die extrarenale Bildung sehr gering (154). Abbildung 33 veranschaulicht die Bildung von Calcitriol beim Menschen im Überblick.

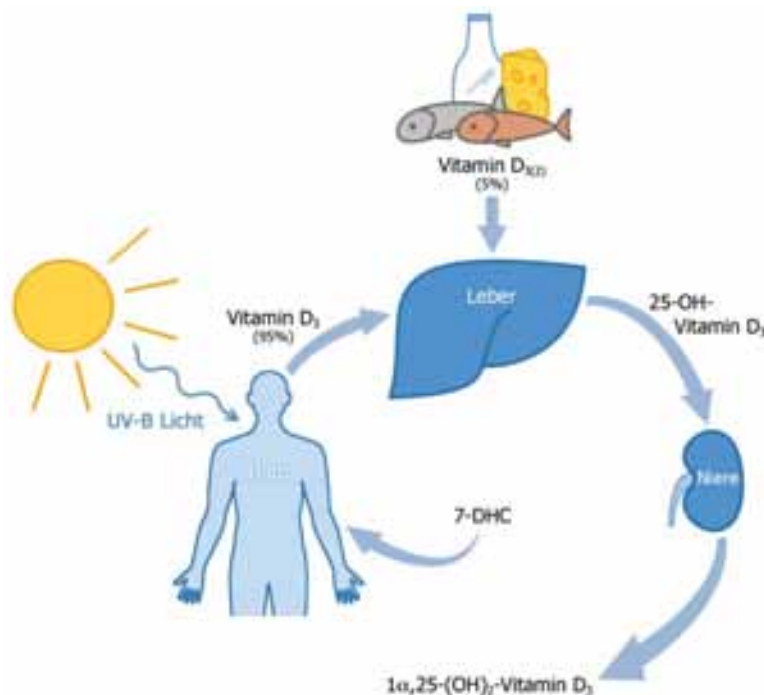


Abb. 33 Bildung von Calcitriol im menschlichen Körper, nach (151) neu erstellt

Das im Blut vorliegende 1,25-Dihydroxy-Vitamin D ist zu hohem Anteil an DBP und Albumin gebunden, nur 0,4 % liegen frei vor (155). Diese Bindung zusammen mit der Speicherfähigkeit des Organismus führt dazu, dass Mangelerscheinungen erst nach Wochen oder Monaten in Konzentrationsänderungen von Calcitriol darstellbar sind. Die Wirkungen von Calcitriol werden in kalzämische und nicht-kalzämische Effekte unterschieden. Zu den kalzämischen zählt die Aufrechterhaltung der Calcium- und Phosphathomöostase. Die nicht-kalzämischen dienen der:

- Regulation von Zellwachstum und Differenzierung,
- Modulation der Immunantwort (Monozyten/Makrophagen, B- und T-Lymphozyten),
- Stimulation der mikrobiellen Abwehr,
- Kontrolle des Renin-Angiotensin-Systems,
- Beeinflussung der muskulären Funktion und Gehirnentwicklung (151).

Die Hauptwirkung auf den Calcium- und Knochenstoffwechsel besteht in einer erhöhten intestinalen Calciumresorption über eine verstärkte Bildung des calciumbindenden Proteins Calbindin und über die Aufrechterhaltung der Länge intestinaler Villi. In den Nieren bewirkt Calcitriol eine gesteigerte Rückresorption von Calcium und im Knochengewebe die Calcifizierung der Knochenmatrix; zusätzlich erfolgt eine Hemmung des Parathormons, so dass es in der Summe zu einem Knochenaufbau kommt. In sehr hohen Dosen wirkt Calcitriol jedoch auch auf die Osteoklasten und kann einen Knochenabbau bewirken (156;157).

Des Weiteren besteht eine Assoziation zu funktionellen Abläufen des Immunsystems: Hemmung der spezifischen und Regulation bzw. Stimulation der unspezifischen Abwehr, Bildung antimikrobieller Substanzen und Steuerung von Chemotaxis und Gefäßpermeabilität (158). Weitere positive Einflüsse von Vitamin D wurden auf die Funktion des Nervensystems, auf den Verlauf des Metabolischen Syndroms, von Lungenerkrankungen (COPD, Asthma) und Krebserkrankungen dargestellt (159;160).

Bereits in mitteleuropäischen Breiten geht man aufgrund der geringen Sonneneinstrahlung in den Wintermonaten von einer Mangelversorgung aus (161) – bis zu zwei Drittel der Bevölkerung weisen Werte von unter 20 ng/ml auf (Angabe für 25-OH-Vitamin D). Zur optimalen Versorgung werden aktuell Werte zwischen 40 und 60 ng/ml als optimale Werte und 30 ng/ml als zeitweilige unterste akzeptable Grenze angesehen (162) – dies wäre jedoch mit einer normalen Mischkost in den entsprechenden Wintermonaten kaum zu erreichen, da bis zu 2000 I.E. Vitamin D3 pro Tag einzunehmen wären. Das entspräche 1 kg Makrelen, 1,5 kg Avocado, 10 kg Schweinefleisch oder 50 l Vollmilch. Selbst die tägliche Zufuhr von 200 I.E., wie sie für Erwachsene empfohlen wird, ist nur selten erreichbar, da nennenswerte Vitamin D-Gehalte nur in Meeresfischen aufzufinden sind (so in Dorschleber-Öl: 10000 I.E./100g). Kritiker merken zum Vitamin D-Mangel an, dass eine Anreicherung von verarbeiteten Lebensmitteln mit Vitamin D und entsprechender Kennzeichnung – wie in anderen Nationen bereits üblich – zu einer erheblichen Verbesserung der Versorgungssituation beitragen kann (162). In skandinavischen Ländern finden sich z. B. Dorschleber-Öle im Einzelhandel, mit einem Vitamin D-Gehalt von ca. 10 µg = 400 I.E./5 ml („Möllers Tran“, Norwegen; „Þorskalýsi“, Island) als Nahrungsergänzungsmittel, um einem Vitamin D-Mangel vorzubeugen (persönlicher Erfahrungsbericht, (163;164)).

In diesem Zusammenhang zeigt sich angesichts des zu 95 % aus der endogenen Bildung stammenden Calcitriols, dass die Sonnenbestrahlung der Haut den Hauptfaktor der Calcitriolbildung darstellt, so entspricht eine Exposition des gesamten Körpers bis zu einer minimalen Erythembildung einer Vitamin D-Produktion, wie sie einer oralen Zufuhr von 10000 I.E. Vitamin D entsprechen würde (165). Im allgemeinen reicht für eine Person mit Hauttyp 2 somit bereits eine tägliche Exposition über 15 Minuten von Gesicht, oberer und unterer Extremität aus, um eine Produktion von ca. 3000-5000 I.E. Vitamin D zu bewirken (166).

Von Interesse sind diese Zusammenhänge insbesondere für Personen wie Astronauten oder den in analoger Weise lebenden Überwinterern in der Antarktis aufgrund der prolongierten Dunkelphasen und der entsprechenden Verminderung der endogenen Vitamin D-Synthese.

Thyreoidea Stimulierendes Hormon

Die follikulären Zellen der Schilddrüse sezernieren hauptsächlich Thyroxin (T4) (ca. 80 %), die gering aktive Vorstufe für das höher aktive Triiodthyronin (T3), welches nur zu einem geringeren Teil aus der Schilddrüse direkt freigesetzt wird (ca. 20 %); ein Großteil der aktiven Form T3 wird erst in der Peripherie nach Deiodierung aus T4 gebildet (167).

Synthese und Sekretion in der Schilddrüse unterliegen dabei der Kontrolle durch das Thyreoidea Stimulierende Hormon (TSH) aus der Adenohypophyse, welches eine gesteigerte Produktion und Freisetzung der Schilddrüsenhormone bewirkt und seinerseits durch das aus dem Hypothalamus stammende Thyreotropine Releasing Hormone (TRH) kontrolliert wird. Neben diesen Kontrollmechanismen wirken auch die Schilddrüsenhormone selbst über

rückkoppelnde Feedbackschleifen auf die Freisetzung von TRH und TSH und auch auf die Schilddrüse im Sinne eines negativen Feedbacks (167).

Die Schilddrüsenhormone erfüllen wichtige regulative Funktionen für das Wachstum (168;169) sowie für die Entwicklung des Gehirns vor und nach der Geburt (170). Ein congenitaler Mangel der Schilddrüsenhormone kann zu geistiger Retardierung mit verminderter geistiger Leistungsfähigkeit führen (170;171). Wie auch in der Peripherie, wie z. B. der Skelettmuskulatur, bedarf es zur zentralen Wirkung der Schilddrüsenhormone der Konversion in die aktive Form T3 (172). Deiodinase-Enzyme (Isoformen D2 und D3) konnten in verschiedenen Gliazellen des Gehirns nachgewiesen werden (173). In einer Untersuchung konnte bei D2-Knockout-Ratten eine verminderte T3-Konzentrationen im Gehirn nachgewiesen werden, bei gleichzeitig normaler T3-Konzentration im Serum und erhöhten systemischen TSH- und T4-Konzentrationen (174).

Auch beim Menschen wurden entsprechende Untersuchungen durchgeführt. So zeigte eine Studie an humanen post-mortem Präparaten, dass sich für die Isoform D3-Deiodinase eine besonders hohe Konzentration im Bereich des Hippocampus und des Temporallappens darstellen lässt, in Gebieten, die im allgemeinen mit Gedächtnisleistungen assoziiert sind (175). Zur Überwindung der Blut-Hirn-Schranke benötigen die Schilddrüsenhormone einen Transportmechanismus. OATP1C1 ist ein Transporter, der in diesem Zusammenhang, insbesondere für T4 und rT3 dargestellt werden konnte (176). Für einen weiteren Transporter, MCT8, konnte gezeigt werden, dass ein Funktionsverlust dieses Transportsystems durch eine Mutation zu psychomotorischer Retardierung führen kann (177). Somit sind mehrere Faktoren an der Aufrechterhaltung der T3-Konzentration in Gehirn beteiligt, wie die Konzentrationen von T3 und T4 im Blut, die Transporteraktivitäten für die Einschleusung in die Zellen und die Deiodinaseaktivitäten.

Die Schilddrüsenhormone spielen des Weiteren bei der Thermoregulation und Kälteadaptation eine wichtige Rolle. So sind ausreichend hohe Konzentrationen von Triiodthyronin (T3) notwendig, um bei braunen Fettzellen die Upregulation von UCP1 (Uncoupling Protein 1 des braunen Fettgewebes) zu ermöglichen. Auch beim Menschen konnte unlängst die Existenz von braunem Fettgewebe beim Erwachsenen dargestellt werden (178;179). T3 führt, nach seiner Bindung an den TR β -Rezeptor – zu einer verstärkten Genexpression des UCP1 (180). Wie gezeigt werden konnte, enthält braunes Fettgewebe hohe Mengen von Typ II 5'Iodothyronin-Deiodinase – ein Enzym, das Tetraiodthyronin (T4) in die funktionelle Form T3 umwandelt (181;182) – ca. 80 % des T3 entstehen beim Menschen durch Deiodination aus T4 und nur 20 % aus der direkten Freisetzung durch die Schilddrüse (183). Dabei führt sympathische Aktivierung zu einer gesteigerten Konversionsrate dieses Enzyms, was wiederum eine gesteigerte Gewebskonzentration von T3 bewirkt (181). Der Zusammenhang zwischen Kälteexposition und T3-Produktion im braunen Fettgewebe wurde zunächst nur diskutiert (184) und konnte über die genannten Mechanismen (Kälteeinwirkung – Sympathicusaktivierung – vermehrte Deiodinaseaktivität – resultierende höhere T3-Bildung) dargestellt werden (182;185). Zusätzlich scheint TSH selbst einen eigenen direkten Einfluss auf die Typ II-Deiodinase und das UCP1 zu haben (186).

Leptin

Leptin ist ein den Lipidstoffwechsel und Energiehaushalt regulierendes Peptidhormon und wird hauptsächlich im Fettgewebe produziert (187;188). Die Produktionsrate und Plasmakonzentration korreliert dabei mit der Körperfettmasse, so dass Leptin die Größe des

Fettspeichers widerspiegelt (189;190). Leptinrezeptoren konnten im Hypothalamus, weiteren Gehirnbereichen sowie unter anderem auch in Leber, Skelettmuskel, Pankreas, Fettgewebe und der Nebenniere dargestellt werden (187). Unterschiedliche Studien konnten die regulierende Funktion von Leptin auf den Fettstoffwechsel aufzeigen, so insbesondere Untersuchungen an Mäusen, bei denen der Wildtyp mit Leptin-Bildungs-Knockout und Leptin-Rezeptor-Knockout verglichen wurde. Dabei zeigte sich in den veränderten Formen ein extremes Übergewicht mit vermindertem Stoffwechsel (Hypometabolismus), mit verstärktem Appetit (Hyperphagie), ausgeprägtem Fettspeicher und einer meist gleichzeitig vorhandenen Insulinresistenz (187).

Aus diesen Beobachtungen wurde auch die appetitregulierende Funktion des Leptins herausgestellt. So konnte in weiteren Untersuchungen gezeigt werden, dass Leptin die Expression des appetitfördernden Neuropeptids Y im Hypothalamus vermindert (133;191). Durch die Funktion vom Neuropeptid Y in der Regulation des Schlafes zeigt sich hier auch eine Verknüpfung der Schlaf-Wach-Funktion mit der Regulation des Energiestoffwechsels und der Körperzusammensetzung. Leptin wirkt ebenfalls direkt auf den Energieumsatz – so konnte bei gleichartig zugefütterten Mäusen gezeigt werden, dass die mit Leptin behandelte Gruppe einen signifikanten Verlust von Fettmasse zu verzeichnen hatte (192). Dabei konnte dargestellt werden, dass Leptin eine Verminderung des Energieumsatzes während des Schlafes verhindert, so dass der Energieumsatz insgesamt ansteigt (193;194). Des Weiteren wirkt Leptin auf die Freisetzung von TRH und somit auf die stoffwechselsteigernde Wirkung der Schilddrüsenhormone (195); auch wird dabei die Beeinflussung der circadianen TSH-Sekretion über die Leptinfreisetzung diskutiert.

Leptin bewirkt in dem Zusammenhang eine verstärkte Fettmetabolisierung, wie anhand einer Verminderung des Respiratorischen Quotienten bei mit Leptin behandelten Mäusen gezeigt werden konnte (196). Leptin scheint dabei die Substratutilisierung freier Fettsäuren im Stoffwechsel zu erhöhen, so konnte in vitro bei mit Leptin behandelten Adipozyten dargestellt werden, dass diese ein höheres Verhältnis von Glycerol zu freien Fettsäuren in ihrer Abgabe nach extrazellulär aufwiesen, was als verstärkte Nutzung freier Fettsäuren in der Fettzelle interpretiert wurde (197). Leptin bewirkt diese Veränderung wahrscheinlich über eine Einflussnahme auf die Expression und Funktion von Schlüsselenzymen; so zeigte eine Langzeit-Behandlung mit Leptin bei Mäusen eine verstärkte Expression der hormonsensitiven Lipase als lipolytisches Enzym und eine verminderte Expression der Fettsäure-Synthase (198). Zusätzlich bewirkt Leptin eine gesteigerte Protonen-Leckage in den Mitochondrien über eine verstärkte Expression des Uncoupling Proteins 1 (UCP1) (182;199). Dabei wirkt Leptin wahrscheinlich neben der genannten Beeinflussung der Schilddrüsenhormone auch direkt über das sympathische Nervensystem (200). Diskutiert wird auch, dass Leptin über die Induktion von Apoptose eine direkte Verminderung der Fettmasse bewirken kann (201).

In Bezug auf die Funktion von Insulin auf Adipozyten konnte gezeigt werden, dass Leptin sowohl die lipogene Funktion als auch die glycogene Funktion von Insulin vermindert (202) – also einem weiteren Aufbau von Energiespeichern entgegenwirkt – was gleichzeitig mit Bezug auf die Blutzuckerregulation als ein Faktor einer Insulinresistenz angesehen werden kann. Dieser Zusammenhang gibt somit eine mögliche Erklärung für die Verknüpfung von Adipositas und Insulinresistenz. Die Produktion von Leptin in den Adipozyten unterliegt einem negativen Feedback-Mechanismus autokriner bzw. parakriner Natur (203). Verschiedene andere Hormone haben eine fördernde (Glucocorticoide, Insulin, $TNF\alpha$) bzw. hemmende Wirkung (Growth Hormone, T3, Katecholamine) auf die Bildung von Leptin (187).

In der Ausschüttung von Leptin wurden sowohl circadiane als auch circannulare Rhythmen beobachtet (204;205). So zeigen insbesondere winterschlafende Tiere eine ausgeprägte Variabilität, die sich sowohl in Bildung von Leptin, als auch in der Sensitivität gegenüber Leptin ausdrückt. Während bzw. gegen Ende des Sommers kommt es bei einer Vielzahl von Hibernatoren³ und anderen Tieren zu einer Abnahme der Leptinbildung (187) bzw. einer Ausbildung einer saisonalen Leptinresistenz (207) mit einer Abnahme des Energieumsatzes und des Aufbaus von Fettspeichern für die Nutzung der gespeicherten Energie während der folgenden Wintermonate.

Adiponektin

Adiponektin ist ein Peptidhormon (244 Aminosäuren) und wird im Fettgewebe gebildet (208); dabei stehen Fettmasse und Bildungsrate von Adiponektin miteinander in umgekehrt proportionalem Zusammenhang, das heißt bei adipösen Menschen oder äquivalent bei Tieren wird Adiponektin in geringerer Menge gebildet, als bei schlanken (209;210).

Für Adiponektin konnten in mehreren Studien Insulin-sensitisierende (210), anti-inflammatorische (211) und in der Folge anti-atherogene (212;213) Eigenschaften dargestellt werden. Adiponektin ist damit ein wichtiges Cytokin mit Auswirkungen auf die Ausbildung von Insulinresistenz und Diabetes mellitus Typ 2 und Artherosklerose, wobei Adiponektin protektive Eigenschaften besitzt und ein geringer Adiponektinspiegel als Prädiktor für kardiovaskuläre Erkrankungen und Diabetes mellitus Typ 2 gilt (214;215). So konnte für Patienten mit koronarer Herzkrankheit gezeigt werden, dass diese geringere Adiponektinkonzentrationen im Blut aufwiesen, als bei Nichterkrankten mit identischem Body Mass Index (212;216). Insbesondere eine Zunahme des viszeralen Fettgewebes (auch als zentrale Adipositas bezeichnet) führt zu einer Abnahme der Adiponektinkonzentrationen und gilt daher als prognostisch ungünstig (217;218). Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 34 modellhaft dargestellt.

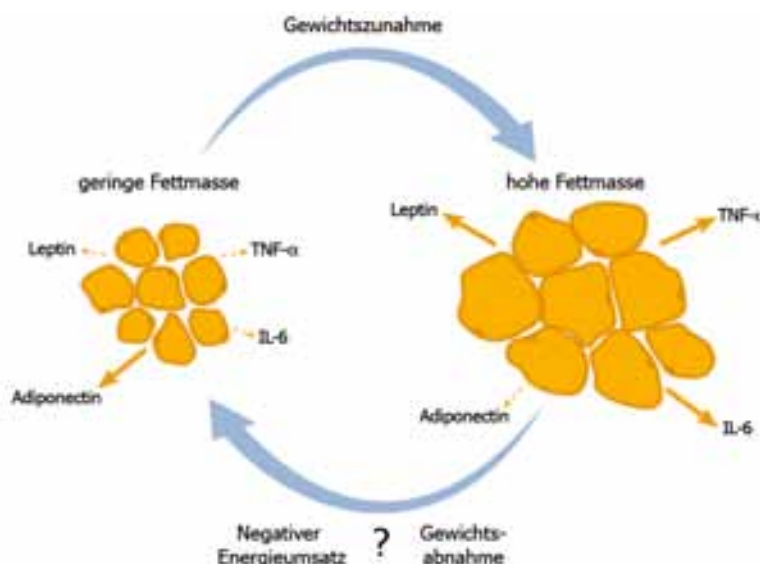


Abb. 34 Sekretion von Adiponektin und anderer Cytokine in Abhängigkeit von Fettmasse und Energieumsatz (große orange Pfeile: hohe Sekretion, kleine orange Pfeile: geringe Sekretion), nach (219) neu erstellt

³ Hibernator - lat. „den Winter bestehen“, obwohl Hibernation oft auch synonym für verschiedene andere Ruhephasen wie Estivation („Sommerschlaf“) und semilethargische Schlafformen verwendet wird (206).

Als Wirkmechanismus für Adiponektin wird eine verstärkte Aktivität der AMP-aktivierten Protein Kinase (AMPK) (213;220), eine vermehrte Glucosetransporter-Expression (GLUT4) und Translokation an die Zelloberfläche (221) von Skelettmuskelzellen diskutiert.

Aufgrund der großen Masse ($\approx 40\%$ des Körpergewichts) kommt der Skelettmuskulatur als Wirkort von Adiponektin eine große Bedeutung zu. Dabei haben dem diskutierten Modell zufolge Adiponektin wie auch körperliche Aktivität vergleichbare Wirkungen zur Insulin-unabhängigen Blutzuckersenkung bzw. die Wirkung einer Insulin verstärkenden Funktion (222-224) über die AMP-aktivierte Protein Kinase, zusammenfassend dargestellt in Abbildung 35.

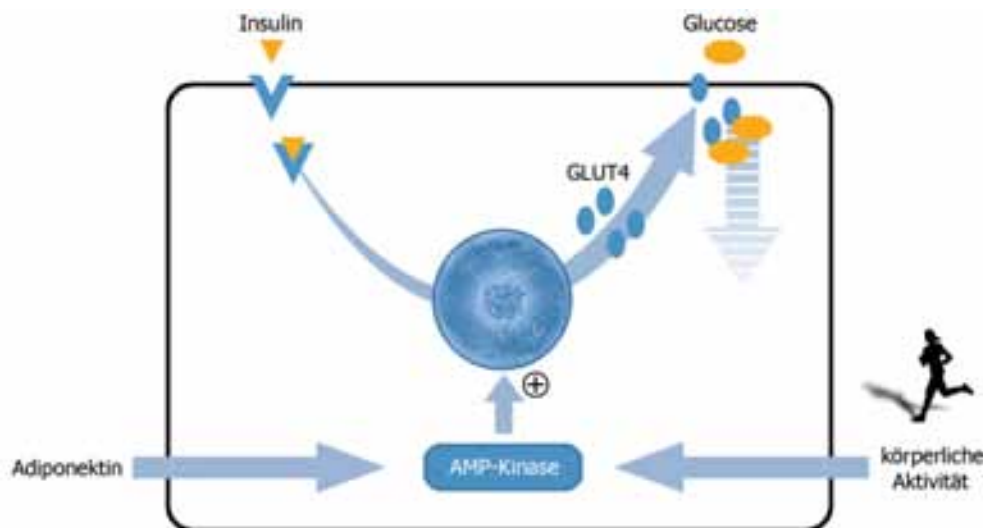


Abb. 35 Aktivierung der AMP-Kinase durch Adiponektin und körperliche Aktivität mit anschließend verbesserter Glucoseaufnahme bzw. gesteigerter Insulinsensitivität, nach (222-225) neu erstellt

Regelmäßige körperliche Aktivität führt zusätzlich zu erhöhten Adiponektin-Konzentrationen im Blut, wie Studien an übergewichtigen Probanden zeigen konnten (226;227). Dabei scheint eine Upregulation der Adiponektin-Rezeptoren (AdipoR1 und AdipoR2) auf der Oberfläche der Skelettmuskelzellen im Zusammenhang mit längerdauernder und intensiverer körperlicher Aktivität zu stehen (223). Ausdauersport führte in einer anderen Untersuchung über die Bildung von Typ-I-Muskulaturfasern zu einem größeren Effekt auf die Ganzkörper-Glucoseaufnahme und dem Glucosetransport in die Muskulatur (228). In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass sowohl die aerobe Kapazität als auch die Insulinsensitivität nach einem 12-wöchigen Ausdauertraining signifikant gesteigert waren (229). Neben den synergistischen Effekten von Adiponektin und körperlicher Aktivität wirkt Adiponektin auch auf das Pankreas mit einer verbesserten Funktion der insulinsezernierenden β -Zellen (230).

Übereinstimmend damit konnten Studien zeigen, dass die Adiponektinkonzentration eine inverse Korrelation mit der Triglyzerid- und Insulinkonzentration im Blut sowie der Insulinresistenz aufweist (231;232). Darüber hinaus wurde eine positive Korrelation mit dem protektiv wirkenden HDL-Cholesterin aufgezeigt (233).

Zusammenfassend ausgedrückt ist die Adiponektinkonzentration im Blut eine Determinante der Insulinsensitivität (234) und des antiarteriellen Zustandes des jeweiligen Organismus (210).

Erythropoietin

Erythropoietin ist ein Glycoprotein, das beim erwachsenen Menschen den Hauptstimulus für die Produktion neuer Erythrozyten darstellt; dabei bewirkt es die Proliferation und Differenzierung

der erythroiden Vorläuferzellen des Knochenmarks (235;236). Bildungsort von Erythropoietin, oder kurz Epo, ist die Niere, genauer vermutet man endotheliale, peritubuläre oder interstitielle Zellen des renalen Cortex als Bildungsort.

Die Produktion und Freisetzung von Epo sind genau reguliert, um die notwendige Masse an Sauerstofftransportkapazität zu gewährleisten, während pro Minute ca. 120 Millionen gealterte Erythrozyten durch Organe wie der Milz entfernt werden (237). Als Epo-regulierender Parameter wurde der Hypoxia-Inducible Factor (HIF) identifiziert, der in den Zellen der Erythropoietinbildung als O₂-Sensor fungiert und – während dieser unter normalen Bedingungen über das Proteasom abgebaut wird – unter Hypoxie als Transkriptionsfaktor die Bildung von Epo induziert (238-240). Dieser Regulationsmechanismus wird auch als Indiz dafür angesehen, dass der menschliche Organismus sehr gut an eine Umwelt mit einem geringeren Sauerstoffpartialdruck angepasst ist und dass diese Anpassung während der Millionen Jahre andauernden Evolution, die unter den schwierigen Umweltbedingungen des Rift Valley Gebiets Ostafrikas (heutiges Äthiopien, Kenia, Somalia, Tansania und Malawi; Plateauhöhen von 2000-4000 m) und unter zunehmend höheren, kälteren und trockeneren Bedingungen stattgefunden hat, in der Ausdauerfähigkeiten einen Selektionsvorteil darstellte (241;242).

Über die Regulation des Erythrozytenvolumens nimmt Epo auch eine wichtige Stellung bei der Ausdauerleistungsfähigkeit (maximale Sauerstoffaufnahme VO₂max) ein, die hauptsächlich durch die Fähigkeit zum Sauerstofftransport (maximale arterio-venöse-Sauerstoffdifferenz avDO₂max) und die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit (maximales Herzminutenvolumen HMVmax) bestimmt wird und in der Umstellung der Formel des Fick'schen Prinzips zur Bestimmung des Herzminutenvolumens deutlich wird: $VO_2max = HMVmax * avDO_2max$ (243;244). So bewirkt ein adäquates Ausdauertraining über diesen Mechanismus, neben einem höheren HMVmax (bzw. höherem HMV je Leistungsstufe im Vergleich zum Untrainierten), auch eine Anpassung des gesamten Erythrozytenvolumens. Des Weiteren fand man bei gesunden, nicht-trainierten, jungen Männern ein Erythrozytenvolumen von im Mittel 30 ml/kg FFM und bei Ausdauertrainierten von 40 ml/kg FFM, bei gleichzeitig gesteigertem Plasmavolumen (245), was einem erhöhten Angebot von Sauerstofftransportern zur Erbringung der Ausdauerleistung entspricht. Eine Messung der Plasmakonzentration von Erythropoietin bei Ausdauertrainierten nach einem Marathonlauf zeigte zunächst Reaktionen bedingt durch Hämokonzentration und Hämodilution über Plasmaverschiebungen. Jedoch konnte ein Langzeiteffekt mit Anstieg der Epo-Konzentration dargestellt werden, der als Ursache für die Zunahme des Erythrozytenvolumens bei Ausdauertrainierten (Trainingseffekt) angesehen wird (246;247).

Es gibt Hinweise darauf, dass nicht nur Aufenthalt oder Training in großen und mittleren Höhen zu einer gesteigerten Epo-Freisetzung führt (248;249), sondern es auch durch die Zerstörung der Erythrozyten durch oxidativen, mechanischen und osmotischen Stress während des Trainings in Meereshöhe zu einer reaktiven Freisetzung von Epo kommen kann (250). Epo scheint des Weiteren gewebsschützende Eigenschaften zu besitzen. So konnte gezeigt werden, dass Epo über einen nicht-hämatopoetischen Rezeptor eine schützende Funktion für das eine Verletzung umgebende Gewebe (Herzmuskel, Nervengewebe) ausüben kann (251). Dies könnte zu neuen Einsatzmöglichkeiten z. B. nach einem Herzinfarkt oder Schlaganfall führen.

Seit den ersten bemannten Raumflügen ist bekannt, dass es zu einer mit dem Aufenthalt im All assoziierten Verminderung des Erythrozytenvolumens und auch des Plasmavolumens bei Astronauten kommt. Ein Zusammenhang mit der Blutvolumenregulation über das zentrale Blutvolumen als Regelgröße sowie die Auswirkung dessen auf die Freisetzung von

Erythropoietin und auf den selektiven Abbau junger Erythrozyten (Neocytolyse) als Ursache der Anämie wird diskutiert (252).

Ferritin

Ferritin ist ein in den meisten Geweben nachweisbares, zytosolisches Protein und spielt eine wichtige Rolle bei der Speicherung von Eisen (253). Seit den 70-er Jahren des 20. Jahrhunderts kann die Ferritinkonzentration des Menschen durch immunradiometrische Nachweise dargestellt werden (254). Dabei steigt die Ferritinkonzentration bei Patienten mit einer Eisenüberladung und es kommt zu einer Abnahme bei Patienten mit einem Eisenmangel (254). Für Ferritin konnten des Weiteren zwei Subtypen „H“ und „L“ dargestellt werden. Der H-Typ findet sich in größerem Maße bei dem aus der Herzmuskulatur stammenden Ferritin; wohingegen der L-Typ bei Ferritin darstellbar ist, das aus der Leber isoliert wurde (255). Auch für Serum-Ferritin überwiegt der L-Subtyp (256), jedoch sind die Sekretionsmechanismen in weiten Teilen noch unklar. Serum-Ferritin enthält vergleichsweise wenig Eisen (257), jedoch hat auch Serum-Ferritin ein hohes Eisenbindungspotential: bis 4500 Eisenatome können von einem Ferritin-Molekül gebunden werden, im Vergleich kann ein Transferrin-Molekül nur zwei Eisenatome binden und transportieren (255). Dies zeigt, dass auch Ferritin eine Rolle beim Eisen-Transport spielen kann, wie für von Macrophagen sezerniertes Ferritin mit Wirkung als Eisenquelle für erythroide Vorläuferzellen gezeigt werden konnte (258). Für die Eisenaufnahme in Gehirnzellen scheint Ferritin möglicherweise eine wichtige Rolle zu spielen, da für Zellen der weißen Substanz bislang keine Transferrin-Rezeptoren nachgewiesen werden konnten (259) und Oligodendrozyten eine große Menge von Eisen für die Myelinproduktion benötigen.

Neben seiner Rolle als Eisenspeicher und, wie sich andeutet, auch als Eisentransporter spielt Ferritin auch eine Rolle in der Immunologie indem es als pro-inflammatorisches Signalmolekül fungieren könnte. Für mit Ferritin behandelte Zellen konnte eine Aktivierung des NFκB-Weges mit anschließender Expression des pro-inflammatorischen Interleukin 1 dargestellt werden; dabei hatte der Eisengehalt des Ferritins keine Auswirkung auf diese Wirkung (260). Für verschiedene Erkrankungen mit Veränderungen im immunologischen System wie M. Hodgkin oder akuten Leukämien sind erhöhte Plasmakonzentrationen von Ferritin darstellbar (261). Serum-Ferritin gilt in diesem Zusammenhang als Akute-Phase-Protein, es finden sich unspezifisch erhöhte Plasmakonzentrationen bei einer Vielzahl von akuten und chronischen Entzündungen wie rheumatoider Arthritis und anderen Autoimmunerkrankungen (262). Dabei ist das in dem Ferritin gebundene Eisen jedoch interessanterweise für die Erythropoese nicht nutzbar, was mit dem Phänomen der Entzündungsanämie einhergeht (263). Es wird diskutiert, dass dieser funktionelle Eisenmangel während einer Entzündung und maligner Erkrankungen ein Schutzmechanismus sein könnte, um die Eisenzufuhr für Pathogene sowie maligne Zellen zu unterbinden (264). Umgekehrt existieren Hinweise die zeigen, dass ein erhöhter Eisenbestand des Organismus karzinogene Wirkung haben könnte (265), was durch eine erhöhte Bildung reaktiver Sauerstoffspezies (Radikale) in Anwesenheit freien Eisens diskutiert wird.

Ferritin ist aufgrund der genannten Interaktionen und Veränderungen der Plasmakonzentration zu einem wichtigen klinischen Indikator für die Beurteilung einer Eisenmangelanämie, einer Eisenüberladung (z. B. bei Hämochromatose oder chronischen Transfusionen) und bei verschiedenen Entzündungszuständen geworden. Neben den gut untersuchten Funktionen von Ferritin als Eisenspeicher und im Rahmen von Entzündungsreaktionen sind mehrere Vorgänge, wie der der Sekretion, der Eisenabgabe und der Immunmodulation jedoch noch weitgehend unbekannt (255).

Serum Transferrin Rezeptor

Für die Aufnahme von Transferrin und die anschließende Abgabe von Eisen vom Eisen-Transferrin-Komplex wird auf der Zelloberfläche der Transferrin-Rezeptor (TfR) benötigt (266). Eine extrazelluläre Form des TfR liegt proportional zu seiner zellulären Expression im menschlichen Serum vor – wo er als löslicher (soluble) bzw. als Serum Transferrin Rezeptor (sTfR) bezeichnet wird – und einer Untersuchung zugänglich ist (267).

Der TfR findet sich in großer Zahl auf den Vorläuferzellen der Erythropoese-Zelllinie und reflektiert in seiner Expression den Eisenbedarf der Zelle (268), je nach der Aktivität der Erythropoese (269). Ein hoher sTfR-Spiegel steht dabei auch für einen funktionellen Eisenmangel (270). Über die Messung der Konzentrationen des Eisenspeicherproteins Ferritin und des sTfR ist so eine aussagekräftige Beurteilung des Eisenstatus möglich (271), auch im Zustand erhöhter Ferritin-Werte bei einer chronischen Entzündung (272). Sofern ein Eisenmangel ausgeschlossen werden kann, stellt die Konzentration des sTfR eine Quantifizierung der gesamten Erythropoeseleistung eines Organismus dar (270).

Des Weiteren konnte für den TfR auch eine mögliche Funktion in Abläufen des Immunsystems dargestellt werden, da für TfR auf Lymphozyten eine Expression nach antigener Stimulation zusammen mit einem vorhandenen IL-2-Signal gezeigt werden konnte – dabei wurde diskutiert, dass eine Aktivierung des Immunsystems auch zu einer Zunahme der sTfR-Konzentration im Blut führen könne (273).

Bestimmung der Hormon- und Stoffwechselfparameter der Überwinterer

Blutentnahme

Die Blutentnahmen erfolgten auf der Neumayer-Station II bzw. III durch den jeweiligen Stationsarzt im Rahmen routinemäßiger Gesundheitskontrollen. Vormittags nach dem Frühstück wurde jedem Probanden eine Blutprobe von 10 ml venösen Blutes (Cubitalvene) mittels Serum-Monovette (Firma Sarstedt) entnommen. Aufgrund der individuell unterschiedlichen Tagesabläufe war eine Nüchternabnahme nicht möglich. Die Blutentnahmen erfolgten je nach Überwinterungssaison an z. T. unterschiedlichen Zeitpunkten. Die jeweiligen Zeitpunkte der Blutentnahmen sind im Abschnitt Messzeitpunkte in Abbildung 17 dargestellt.

Probenaufbereitung, Lagerung und Transport

Das Blut wurde 15 Minuten bei 2500 U/min zentrifugiert (Zentrifuge Universal 2S der Firma Hettich). Anschließend wurde das Serum mit einer 250 µl-Pipette (Firma Eppendorf AG) zu elf Aliquots in Mikroröhrchen (Firma Sarstedt) pipettiert. Zehn dieser Proben wurden in einem Folienbeutel eingeschweißt bei -20 °C gelagert. Unter Beachtung der Kühlkette wurden die Proben gegen Ende einer jeden Überwinterung per Schiff („Polarstern“) nach Deutschland transportiert. Nach dem Auftauen wurden die Proben der Analyse zugeführt.

Probenanalyse

Die Analyse beinhaltete die Untersuchung der Parameter: 25-OH-Vitamin D, TSH, Leptin, Adiponektin, Erythropoietin, Ferritin und sTfR, mittels eines ELISA-Verfahrens. Dazu wurden entsprechende Testkits der Hersteller IBL, Hamburg; IDS, Frankfurt/Main und R&D Quantikine, Wiesbaden verwendet. Die Analyse der einzelnen Parameter erfolgte entsprechend der Durchführungsanleitungen. Die Proben wurden dabei mit der gleichen Testkitcharge durch die gleiche Operatorin analysiert.

Die Analysen basieren auf der Bildung von Antikörper-Substrat-Komplexen und einer photometrischen Messung einer, je nach Test, unterschiedlichen Färbung bzw. Extinktionsveränderung der Probe, welche photometrisch gemessen wird.

Die Kennwerte der eingesetzten Testkits sind in Tabelle 3 dargestellt.

| Hormon- bzw. Stoffwechselfparameter | Testkit Hersteller | Referenznummer | Normwerte Männer | Normwerte Frauen |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| 25-OH-Vitamin D | IDS, Frankfurt | AC57F1 | 47.7-144 nmol/l † | 47.7-144 nmol/l † |
| TSH | IBL, Hamburg | RE55221 | 2.32 ±0.07 mIU/ml | 2.32 ±0.07 mIU/ml |
| Leptin | IBL, Hamburg | REF53151 | 3.48 ±1.79 ng/ml | 7.36 ±3.73 ng/ml |
| Adiponektin | IBL, Hamburg | BV51001 | 10.9 ±4.0 µg/ml | 13.6 ±5.4 µg/ml |
| Erythropoietin | IBL, Hamburg | REF56011 | 4-36 mIU/ml † | 4-36 mIU/ml † |
| Ferritin | IBL, Hamburg | RE59111 | 32-501 ng/ml † | 3.5-224 ng/ml † |
| sTfR | R&D, Wiesbaden | DTFR1 | 8.7-18.1 nmol/l † | 8.7-18.1 nmol/l † |

Tabelle 3 Kennwerte der verwendeten Testkits der Hormon- und Stoffwechselfparameter; † die Normwerte der Tests werden als Spannweite zwischen 5. und 95. Perzentile angegeben, alle anderen Angaben als Median ± SD

Die so erhobenen Messwerte wurden im weiteren Verlauf mit Hilfe von Microsoft Excel Version 2007 (12.0.4518), Systat SigmaPlot Version 12 (12.2.0.45) und MedCalc Software Version 12 (12.2.1.0) statistisch ausgewertet.

2.10 Statistische Auswertung der Messwerte aus den Überwinterungen

Statistische Tests und graphische Darstellungen

Zunächst erfolgte eine tabellarische Zusammenstellung der anthropometrischen Daten der Teilnehmer, mit den Mittelwerten, Medianen, Minima, Maxima und Standardabweichungen der Daten und eine Überprüfung auf Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests. Die Altersverteilung getrennt nach Geschlecht wurde in einem Histogramm graphisch dargestellt.

Zur Analyse der Daten wurden des Weiteren jeweils die Ausgangswerte der ersten Messung tabellarisch mit den Mittelwerten, Medianen und Standardabweichungen dargestellt und hinsichtlich statistisch signifikanter Unterschiede zwischen den Geschlechtern mittels des T-Tests, bzw. des Welch-Tests für unabhängige Stichproben (in Abhängigkeit vergleichbarer oder nicht vergleichbarer Varianzen) analysiert.

Es wurden die folgenden erhobenen Parameter hinsichtlich der Körperzusammensetzung zur Auswertung gebracht:

- Körpergewicht,
- fettfreie Masse,
- Fettmasse,
- Körperzellmasse,
- Gesamtkörperwasser,

sowie zu den Schlaf- und Aktivitätsparametern:

- Liegedauer,
- Schlafdauer,
- Schlaffeffizienz,
- Schlaffragmentierung,

- Schlafenergieumsatz,
- täglicher Energieumsatz

und zu den Hormon- und Stoffwechselfparametern die Serum-Konzentrationen von:

- 25-OH-Vitamin D,
- TSH,
- Leptin,
- Adiponektin,
- Erythropoietin,
- Ferritin,
- sTfR.

Diese Parameter wurden nach verschiedenen Kriterien getrennt untersucht bzw. dargestellt. Es erfolgte eine statistische Analyse und Darstellung der genannten Parameter:

- nach Überwinterungsstaffeln 2008 bis 2011 getrennt mit Darstellung der individuellen Veränderungen (Δ Delta) jedes einzelnen Teilnehmers über den Überwinterungsverlauf bezogen auf den Ausgangswert der ersten Messung und der statistischen Analyse der Veränderungen aller verfügbaren Messwerte der Teilnehmer jeder einzelnen Überwinterungsstaffel mittels Varianzanalyse (RM ANOVA bzw. Friedman RM ANOVA on Ranks); dem Farbschema der vorgelegten Arbeit folgend wurden die Werte der weiblichen Teilnehmer in Schattierungen von orange und die der männlichen Teilnehmer in Schattierungen von blau mittels Splinecurves dargestellt,
- nach Kombination aller Staffeln und Mittelwertbildung der erhobenen Werte für drei Überwinterungsphasen (prä-Dunkelheit – Dunkelphase – post-Dunkelheit) mit Darstellung der Veränderungen als Boxplots der drei Phasen (Box: 75 % und 25 % Perzentile, Whisker: 1.5 x Interquartilabstand, Medianlinie in der Box und ggf. Ausreißern als Kreise) und statistischer Analyse der Veränderungen aller Teilnehmer aller Staffeln kombiniert über den Verlauf der drei Phasen mittels Varianzanalyse (RM ANOVA bzw. Friedman RM ANOVA on Ranks); sowie nach dem gleichen Prozedere getrennt für die beiden Geschlechter und einer statistischen Analyse zwischen sowie innerhalb der Geschlechter über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen,
- nach Mittelwertbildung für jeden verfügbaren Messzeitpunkt innerhalb jeweils einer Überwinterungsstaffel und der Darstellung mittels Splinecurves der so gewonnenen Verläufe für alle vier beobachteten Staffeln zueinander⁴ sowie dem Hinzufügen von Regressionslinien für die Verläufe der einzelnen Staffeln und aller Staffeln kombiniert⁵ mit Angabe der Regressionsgleichung, der 95 %-igen Konfidenz- und Voraussageintervalle; zusätzlich zu den o.g. Parametern wurden hier für die Parameter der Körperzusammensetzung auch die relativen Parameter in Bezug zum jeweiligen Körpergewicht mit einbezogen (% FFM, % FM, % BCM und % GW vom Körpergewicht),

⁴ Für 2011 lagen keine Blutproben vor, da witterungsbedingt ein sicherer Abtransport der Blutproben nicht möglich war. Folglich konnten für die Hormon- und Stoffwechselfparameter nach dem dargestellten Auswertungsmodus nur die drei Überwinterungsstaffeln 2008-2010 untersucht werden.

⁵ Die Regressionslinien mit Konfidenz- und Voraussageintervallen wurden nur für die Parameter der Körperzusammensetzung und der Schlaf- und Aktivitätsparameter dargestellt; für die Mittelwertkurven der Hormon- und Schlafparameter wurden Regressionskurven berechnet und dargestellt, dabei wurde der Übersichtlichkeit wegen auf die Darstellung von Konfidenz- und Voraussageintervallen verzichtet.

- durch Analyse vorhandener Korrelationen zwischen ausgewählten Parametern der Körperzusammensetzung und ausgewählter Hormon- und Stoffwechselfparameter (Körpergewicht, Fettmasse, Leptin, Adiponektin) zueinander mittels des Korrelationskoeffizienten nach Pearson für alle Teilnehmer aller Staffeln sowie für die Geschlechter getrennt; sowie durch graphische Darstellung mittels Scatterplots der Beziehung von Körpergewicht und Fettmasse sowie Fettmasse und Adiponektin, jeweils mit unterschiedlicher Darstellung für die Werte je nach Geschlecht.

Statistische Signifikanz wurde angenommen unterhalb eines Signifikanzniveaus von 0.05. Der jeweils zur Anwendung gebrachte statistische Test (parametrisch bzw. nicht-parametrisch) in Abhängigkeit von vorhandener bzw. nicht vorhandener Normalverteilung ist jeweils im Abschnitt der Ergebnisse mit angegeben.

2.11 Validierung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Schlafparameter mittels Polysomnographie

Polysomnographie

Wie von anderen Autoren zusammenfassend dargestellt wurde (145), ist die Polysomnographie (PSG) ein Kernelement bei der Diagnostik von Schlafstörungen; zugrunde liegen die Kriterien der American Academy of Sleep Medicine (AASM) entsprechend der Arbeiten von Rechtschaffen und Kales aus dem Jahre 1968. Die Auswertung erfolgt epochenweise in 30-Sekunden Zeitblöcken. Die Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) entwickelt kontinuierlich Qualitätskriterien für die Durchführung der PSG. Die Biosignale der PSG beinhalten nach diesen Kriterien für die Beurteilung des Schlafes drei Ableitungen der EEG (Elektroenzephalographie) nach dem ten-twenty-System in den Ableitungen F4-A1, C4-A1 und O2-A1. Die Anordnung der EEG-Elektroden illustriert Abbildung 36.

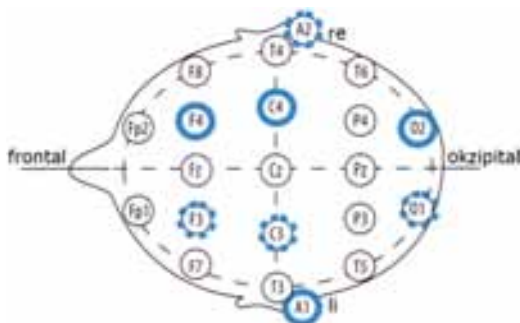


Abb. 36 Anordnung der EEG-Elektroden in der Polysomnographie, nach (145) modifiziert

Weiterhin werden ein Elektrokulogramm (EOG) zur Erfassung der Augenbewegungen und ein Elektromyogramm (Mm. mentalis und submentalis) zur Erkennung muskulärer Atonie abgeleitet. Ebenfalls zählen ein (zumindest einkanaliges) Elektrokardiogramm (EKG) sowie Messungen des Atemflusses an Mund und Nase, Erfassung der thorakalen und abdominalen Atemexkursionen und der arteriellen HbO₂-Sättigung (Pulsoximetrie) sowie die Erfassung der Körperlage zur PSG-Messung. Weitere Messungen, wie über ein Schnarchmikrofon, die Messung von Atemanstrengungen über den Ösophagusdruck und von Bewegungsstörungen mittels weiterer Elektromyogramme am M. tibialis anterior komplettieren die Polysomnographie im Rahmen entsprechender Fragestellungen. Abbildung 37 zeigt die von der PSG erhobenen Parameter während des REM-Schlafes.

Entsprechend der PSG-Messung werden verschiedene Kennwerte zur Beschreibung des Schlafes dargestellt: Liegedauer (Time In Bed), Schlafperiodendauer (Sleep Period Time – die Zeitspanne vom Einschlafen bis zum morgentlichen Erwachen), Schlafdauer (Total Sleep Time – während der Schlafperiodendauer schlafend verbrachte Zeit), Schlaffeﬃzienz (Sleep Efficiency Index – Schlafdauer/Liegedauer x 100, als Kennwert für das Schlafvermögen) sowie weitere Werte wie der Einschlaf latenz (Zeit vom Beginn der Liegedauer bis zum Auftreten der ersten Schlafepoche) und der REM-Latenz (Zeit bis zum Auftreten der REM-Phasen). Auch ist der Wachanteil während der Schlafperiode insbesondere bei insomnischen Störungen von Interesse. Weckreaktionen (Arousals) sind ein weiteres Kriterium zur Beurteilung des Schlafes. Je höher die Fragmentierung, ausgedrückt über den Arousal-Index (Anzahl der Weckreaktionen pro Stunde), desto weniger gut erhalten ist der Schlafzyklus. Gründe für ein vermehrtes Auftreten von Arousals können dabei exterozeptiv (akustisch, optisch, taktil, chemosensitiv) oder enterozeptiv (Traumerlebnisse, Blutgasveränderungen, Schmerzen, neuronale Störungen) bedingt sein.

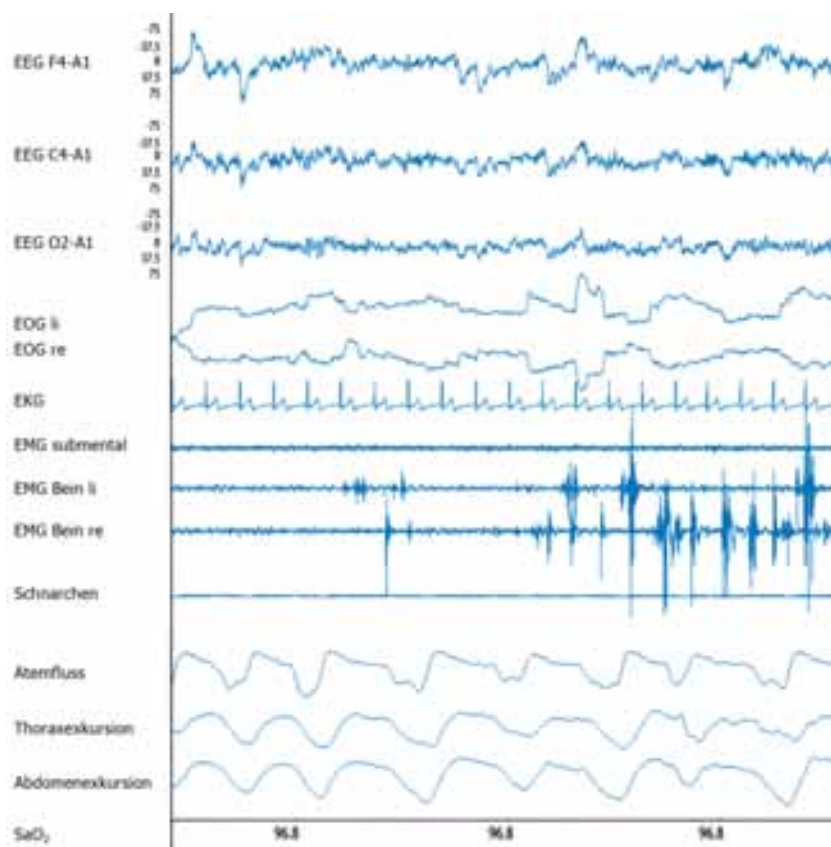


Abb. 37 Parameter der Polysomnographie während einer REM-Phase, nach (131) modifiziert

Probandenhintergrund

Die teilnehmenden Probanden rekrutierten sich aus Patienten, die im Rahmen von schlafmedizinischen Untersuchungen mit der Polysomnographie diagnostiziert werden sollten.

Die Verdachtsdiagnosen der Patienten waren im Einzelnen:

- Schlafbezogene Atemstörung (n=8),
- Insomnie (n=5),
- Obstruktives Schlafapnoesyndrom (n=5),
- Hypersomnie (n=1),
- Parasomnie (n=1),
- nächtliche Epilepsie (n=1).

Die Daten je eines Patienten mit schlafbezogener Atemstörung, Hypersomnie und Insomnie wurden nicht ausgewertet, da diese Messungen fehlerhaft verliefen. Hingegen wurde bei einem Patienten mit obstruktivem Schlafapnoesyndrom an zwei Nächten mit PSG und SenseWear gemessen, womit für diesen Patienten zwei (separate) Datensätze in die Auswertung gelangten.

Die Einschluss- und Ausschlusskriterien waren wie folgt formuliert:

Einschlusskriterien:

- Freiwillige im Alter 18-65 Jahre,
- Vorhandensein einer chronischen primären oder psychophysiologischen Schlafstörung,
- Proband/in ist in der Lage, Umfang und Tragweite der Studie zu verstehen,
- Proband/in ist in der Lage, sein/ihr schriftliches Einverständnis geben zu können;

Ausschlusskriterien:

- Teilnahme an einer anderen Studie im Zeitraum < 4 Wochen vor Beginn der Studie,
- Vorhandensein einer jeweils zusätzlichen Schlafstörung,
- Einnahme von Medikamenten mit Einfluss auf den Schlaf-Wach-Rhythmus,
- Vorhandensein von psychiatrisch-neurologischen Erkrankungen,
- instabile Herz-Kreislaferkrankungen,
- Drogenabusus.

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Charité genehmigt. Alle Teilnehmer wurden vor Beginn der Untersuchungen mittels schriftlicher und mündlicher Informationen aufgeklärt und gaben hierzu ihre schriftliche Einwilligung, auf freiwilliger Basis an der Studie teilzunehmen.

Bestimmung der Messparameter

Versuchsdesign und Ablauf

Zusätzlich zum Verfahren der Polysomnographie im Rahmen der klinischen Diagnostik bzw. Diagnosesicherung erfolgte bei den Teilnehmern die Messung mittels SenseWear im Rahmen der Validierungsuntersuchung.

Vor der Messung wurden bei den Teilnehmern Körpergewicht, Größe und BMI bestimmt (Größenmesser Marke unbekannt, Waage Marke Seca). Die Teilnehmer unterzogen sich den nächtlichen Schlaflaboruntersuchungen mittels Polysomnographie der Hersteller Embla (PSG-System N7000), Heinen & Löwenstein (PSG-Systeme Alice 4 und Alice 5) und Weinmann (PSG-System SomnoLab).

Das SenseWear-Gerät wurde für jede Messung mit den jeweiligen Patientendaten konfiguriert und zeitlich mit dem System der Polysomnographie synchronisiert. Vor Beginn der Polysomnographie wurde das SenseWear-Gerät den Teilnehmern den Herstellerangaben entsprechend am rechten Oberarm platziert und nach Ende der Messung wieder entfernt. Anschließend wurden die Messdaten auf einen separaten Rechner per USB-Verbindung übertragen und mit dem Programm SenseWear-Professional Version 7.0 (7.0.0.2378 deutsch) ausgewertet.

Die schlafmedizinischen Messungen wurden nach den derzeit gängigen Methoden in der Schlafmedizin ausgewertet (274), so dass die Werte der Parameter Liegedauer (min), Schlafdauer (min) und Schlafeffizienz (%) der PSG ausgegeben werden konnten. Werte der gleichen Parameter wurden vom SenseWear-Auswertungsprogramm ausgegeben. Dabei wurden

die Liege- und Schlafdauern von der Auswertungssoftware durch einen proprietären Algorithmus bestimmt und ausgegeben. Die Schlafeffizienz wurde aus der Ratio Schlafdauer zu Liegedauer berechnet.

Im weiteren Verlauf wurden diese Daten mit Hilfe von Microsoft Excel Version 2007 (12.0.4518), Systat SigmaPlot Version 12 (12.2.0.45) und MedCalc Software Version 12 (12.2.1.0) statistisch ausgewertet.

Statistische Auswertung

Statistische Tests

Zur Analyse wurden für die Werte der genannten Parameter beider Messungen der Korrelationskoeffizient nach Pearson sowie zur Untersuchung der Übereinstimmung der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (Intraclass Correlation Coefficient ICC) bezogen auf Einzel- und Durchschnittsmessungen berechnet (bezogen auf die absolute Übereinstimmung der Werte) (275). Des Weiteren wurde mittels des rankbasierten Wilcoxon Tests für die Parameter überprüft, ob sich zwischen beiden Messverfahren statistisch signifikante Unterschiede darstellen lassen. Statistisch signifikante Ergebnisse wurden unterhalb eines Signifikanzniveaus von 0.05 angenommen.

Statistische Abbildungen

Zur Visualisierung der Ergebnisse wurden für die erhobenen Daten der jeweiligen Parameter Scatterplots (mit 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen) und Boxplots (Box: 75 % und 25 % Perzentile, Whisker: 1.5 x Interquartilabstand, Medianlinie in der Box und ggf. Ausreißern als Kreise) für beide Messverfahren erstellt.

Des Weiteren wurden nach dem Verfahren von Bland und Altman (276) entsprechende Darstellungen für die Parameter Liegedauer, Schlafdauer und Schlafeffizienz erstellt. Dabei wurden auf der x-Achse die Werte der mittels Polysomnographie erhobenen Werte dargestellt und auf der y-Achse die jeweiligen Differenzen zwischen der PSG und den mittels SenseWear erhobenen Werten. Die Darstellungen enthalten die Limits of Agreement (als Intervalle des 1.96-fachen der Standardabweichung) sowie die mittlere Abweichung (Mean Bias), für welche zusätzlich die 95 %-igen Konfidenzintervalle mit abgebildet sind.

2.12 Untersuchung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter durch den Vergleich dreier SenseWear-Geräte an drei Trageorten

Probandenhintergrund

Diesen ergänzenden Untersuchungen zum SenseWear-Gerät liegen Untersuchungen im Selbstversuch zugrunde. Der Proband nahm keine Medikamente zum Zeitpunkt der Messungen ein, es waren keine Erkrankungen bekannt.

Bestimmung der Messparameter

Versuchsdesign und Ablauf

Zur Ermittlung einer möglichen Abhängigkeit der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter vom Trageort (Unterschiede zwischen den Trageorten) sowie vom Gerät (Unterschiede zwischen den Geräten) wurden an 21 jeweils 24 Stunden dauernden Messphasen die Parameter:

- Liegedauer,
- Schlafdauer,
- Schlafeffizienz,
- Schlaffragmentierung,
- Schlafenergieumsatz,
- täglicher Energieumsatz

erhoben. Dabei rotierten die drei SenseWear-Geräte nach jeder Messphase nach dem in Abbildung 38 dargestellten Schema. Die drei baugleichen SenseWear-Geräte wurden dabei zufällig den Gerätenummern 1, 2 und 3 zugeordnet. Ein zufällig ausgewähltes SenseWear-Gerät aus diesem Pool von dreien wurde dabei als „Referenzgerät“ (Gerät 1) designiert; der vom Hersteller ausgewiesene Trageort am rechten Oberarm oben wurde als „Referenztrageort“ designiert.

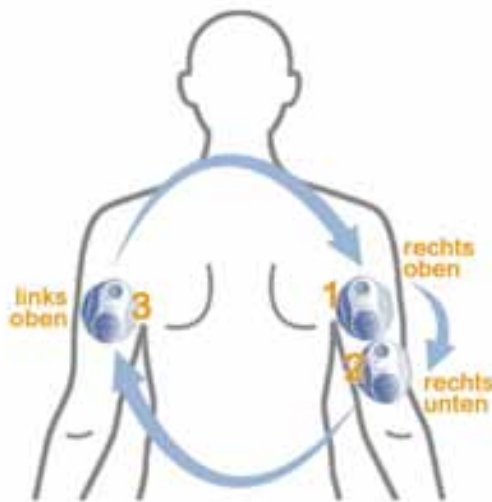


Abb. 38 Schema des Wechsels der drei SenseWear-Geräte zwischen den drei Trageorten (Rückenansicht)

Nach Beendigung der gesamten Untersuchung lagen somit für die genannten Parameter jeweils 21 Einzelmessungen, erhoben durch jedes Messgerät (1, 2, 3) sowie an jedem Messort (rechts oben, rechts unten, links oben) vor. Diese Rotation ermöglicht es die Daten der drei SenseWear-Geräte unabhängig von den Trageorten sowie die Daten der drei Trageorte unabhängig von den SenseWear-Geräten zu untersuchen.

Zwischen den einzelnen 24-stündigen Messphasen lagen kurze Perioden (zwischen ein bis zwei Stunden für die Körperpflege der Trageorte) bevor die nächste Messphase absolviert wurde. Während der Messperioden übte der Proband alltägliche Verrichtungen aus (Liegen, Sitzen, Gehen) sowie auch sportliche Aktivitäten wie Laufen (Jogging).

Vor der Messung wurden bei dem Teilnehmer Körpergewicht, Größe und BMI bestimmt (Größemesser und Waage Marke Seca).

Die SenseWear-Geräte wurden mit den Probandendaten konfiguriert und zueinander synchronisiert. Vor Beginn wurden die SenseWear-Geräte am rechten Oberarm (oben und unten entsprechend der Abbildung 38) und linken Oberarm (oben, entsprechend der Abbildung 38) platziert und nach Ende der Messung wieder entfernt. Dabei lagen am rechten Oberarm die beiden Geräte zwischen 0 und 1 cm von einander entfernt. Anschließend wurden die Messdaten auf einen separaten Rechner per USB-Verbindung übertragen und mit dem Programm SenseWear-Professional Version 7.0 (7.0.0.2378 deutsch) ausgewertet.

Die Liege- und Schlafdauern wurden von der Auswertungssoftware durch einen proprietären Algorithmus bestimmt und ausgegeben. Die Schlafeffizienz wurde aus der Ratio Schlafdauer zu Liegedauer berechnet. Die Schlafragmentierung wurde manuell bestimmt und umfasst alle während einer Schlafperiode gezählten Wachepisoden. Der Schlaf- und tägl. Energieumsatz wurden von der Auswertungssoftware durch einen proprietären Algorithmus bestimmt und ausgegeben.

Im weiteren Verlauf wurden diese Daten mit Hilfe von Microsoft Excel Version 2007 (12.0.4518), Systat SigmaPlot Version 12 (12.2.0.45) und MedCalc Software Version 12 (12.2.1.0) statistisch ausgewertet.

Statistische Auswertung

Statistische Tests

Zur Analyse wurden für die Werte der genannten Parameter (bezogen auf den jeweiligen Trageort bzw. das jeweilige SenseWear-Gerät) in Abhängigkeit von vorhandener bzw. nicht vorhandener Normalverteilung Varianzanalysen (Repeated Measures ANOVA bzw. Friedmans Repeated Measures ANOVA on Ranks) zur Untersuchung der jeweiligen Messwerte hinsichtlich statistisch signifikanter Unterschiede vorgenommen. Statistisch signifikante Ergebnisse wurden unterhalb eines Signifikanzniveaus von 0.05 angenommen. Des Weiteren wurden zur Untersuchung der Übereinstimmung der Methoden der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC), bezogen auf Einzel- und Durchschnittsmessungen berechnet (jeweils bezogen auf die absolute Übereinstimmung und der Konsistenz der Werte) (275) sowie Cronbach's Alpha Wert bestimmt (277).

Statistische Abbildungen

Zur Visualisierung der Ergebnisse wurden für die erhobenen Daten der jeweiligen Parameter Boxplots (Box: 75 % und 25 % Perzentile, Whisker: 1.5 x Interquartilabstand, Medianlinie in der Box und ggf. Ausreißern als Kreise) für die in der Varianzanalyse statistisch signifikant unterschiedlichen Parameter erstellt (die Werte eines weiteren Parameters, der nur unweit von einem statistisch signifikanten Unterschied entfernt lag wurden auf die selbe Weise visualisiert).

Des Weiteren wurden nach dem Verfahren von Bland und Altman (276) entsprechende Darstellungen für alle Parameter erstellt. Dabei wurden auf der x-Achse die Werte des am Referenztrageort (rechts oben) bzw. mit dem Referenzgerät (SenseWear-Gerät 1) erhobenen Werte dargestellt und auf der y-Achse die jeweiligen Differenzen zwischen Referenztrageort und den beiden weiteren Trageorten bzw. zwischen Referenzgerät und den beiden weiteren Geräten dargestellt. Dabei enthalten die Darstellungen aus Effizienzgründen jeweils zwei Bland-Altman-Diagramme in Kombination.

Die Darstellungen enthalten die Limits of Agreement (als Intervalle des 1.96-fachen der Standardabweichung) sowie die mittlere Abweichung (Mean Bias), für welche zusätzlich die 95 %-igen Konfidenzintervalle mit abgebildet sind.

Zum besseren Vergleich wurden die Skalen intentionell für die betrachteten Parameter zwischen den Darstellungen zum Trageort sowie zum Gerät, identisch gehalten.

2.13 Untersuchung verschiedener vom SenseWear-Gerät erhobener Parameter nach Beeinflussung durch vorherigen Wasserduschgang

Probandenhintergrund

Diesen ergänzenden Untersuchungen zum SenseWear-Gerät liegen Untersuchungen im Selbstversuch zugrunde. Der Proband nahm keine Medikamente zum Zeitpunkt der Messungen ein, es waren keine Erkrankungen bekannt.

Bestimmung der Messparameter

Versuchsdesign und Ablauf

Vor der Messung wurden bei dem Teilnehmer Körpergewicht, Größe und BMI bestimmt (Größemesser und Waage Marke Seca).

Zur Ermittlung einer möglichen Abhängigkeit der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter von einem vorherigen Wasserduschgang wurden jeweils 200-minütige Messungen mit zwei baugleichen SenseWear-Geräten durchgeführt. Die SenseWear-Geräte wurden mit den Probandendaten konfiguriert und zeitlich zueinander synchronisiert. Ein Gerät wurde am linken Oberarm, der als Kontrolle fungierte, getragen und ein weiteres Gerät am rechten Oberarm, an dem die Intervention stattfand. Vor Anlegen der SenseWear-Geräte und vor der Intervention wurde die evaporative Wasserabgabe (Transepidermal Waterloss TEWL) an den Trageorten mit einem Vapometer (Delfin Technologies, Finnland) bestimmt.

Es erfolgte die Intervention am rechten Oberarm mittels eines Warmwasserduschgangs. Dabei wurde das SenseWear-Gerät bereits am Trageort am Interventionsarm getragen. Zur Simulation eines alltäglichen Duschgangs im Rahmen der Körperpflege wurde eine handelsübliche Duschbrause mit haushaltsüblichem Wasserfluss intermittierend für 2 bis 3 Minuten Dauer am Interventionsarm angewendet. Die Wassertemperatur lag zwischen 34 und 36 °C; es wurden keine Pflege- oder Hautreinigungsmittel angewendet.

Nach der Intervention wurde erneut die evaporative Wasserabgabe bestimmt und es begann für die beiden SenseWear-Geräte (Kontrolle und Intervention) eine Messperiode von 200 Minuten. Während der Messperiode übte der Proband Alltagsverrichtungen aus (Sitzen, Stehen, Gehen) jedoch keine sportlichen Aktivitäten; es wurde darauf geachtet, beide Arme gleichmäßig zu bewegen bzw. zu belasten.

Zwischen den einzelnen Messperioden lagen mindestens 12 Stunden. Es wurden 15 Messungen durchgeführt, von denen 3 Messungen aufgrund von Messfehlern bzw. Nichtmessungen nicht in die Auswertung gelangen konnten, so dass 12 Messungen in die Auswertung eingingen.

Zur Auswertung gelangten neben den Werten der Evaporation folgende Parameter:

- Hautleitwert,
- Hauttemperatur,
- Akzeleration (transversal, mittlere absolute Differenz),
- Akzeleration (longitudinal, mittlere absolute Differenz),
- Wärmefluss,
- Energieumsatz.

Anschließend wurden die Messdaten auf einen separaten Rechner per USB-Verbindung übertragen und mit dem Programm SenseWear-Professional Version 7.0 (7.0.0.2378 deutsch) ausgewertet.

Die genannten Werte wurden vom SenseWear-Auswertungsprogramm nach Berechnung durch einen proprietären Algorithmus ausgegeben. Im weiteren Verlauf wurden diese Daten mit Hilfe von Microsoft Excel Version 2007 (12.0.4518), Systat SigmaPlot Version 12 (12.2.0.45) und Systat TableCurve 2D Version 5 (5.01.02) statistisch ausgewertet.

Statistische Auswertung

Statistische Tests

Zur Analyse wurden für die genannten Parameter jeweils Mittelwerte aus den Messwerten der zwölf 200-minütigen Messdauern berechnet. Diese Mittelwerte wurden in Abhängigkeit von vorhandener bzw. nicht vorhandener Normalverteilung mittels eines T-Tests bzw. eines rankbasierten Testverfahrens (Mann-Whitney Ranksummentest) einer Untersuchung hinsichtlich statistisch signifikanter Unterschiede zwischen Kontrolle und Intervention je Parameter unterzogen. Statistisch signifikante Ergebnisse wurden unterhalb eines Signifikanzniveaus von 0.05 angenommen.

Statistische Abbildungen

Zur Visualisierung der Ergebnisse wurden für die erhobenen Mittelwerte der zwölf Messungen für die jeweiligen Parameter Boxplots (Box: 75 % und 25 % Perzentile, Whisker: 1.5 x Interquartilabstand, Medianlinie in der Box und ggf. Ausreißern als Kreise) erstellt.

Des Weiteren wurden für die genannten Parameter für jede Messminute jeder erfolgten Messung Differenzen zwischen den Interventionswerten minus den Kontrollwerten berechnet, so dass als Ergebnis für jeden Parameter für die 12 erfolgten Messungen jeweils 200 Differenzwerte vorlagen. Anhand einer exemplarischen Messung (Messung Nr. 5) wurden diese Differenzwerte für jeden Parameter im zeitlichen Verlauf der 200-minütigen Messung visualisiert; dabei wurden die Originalwerte und die geglätteten Werte zusammen in unterschiedlichen Farben dargestellt. Die Glättung der Originalwerte erfolgte mit dem Programm TableCurve 2d Version 5.0 mit dem Algorithmus Loess 40 %.

Zuletzt wurden alle derart geglätteten Differenzwerte eines jeden Parameters über die 200-minütige Messdauer in jeweils einer Abbildung dargestellt. Die so erhaltenen Abbildungen stellen für jeden Parameter die Mittelwerte und die 25. und 75. Perzentile der geglätteten Differenzwerte der jeweiligen Messminute aller 12 Messungen dar.

3. Ergebnisse

3.1 Anthropometrische Daten der Überwinterer

Anthropometrische Daten aller Teilnehmer der Überwinterungen 2008-2011

| Staffel | Anzahl | Alter (Jahre) | | Größe (cm) | | Gewicht (kg) | | BMI (kg/m ²) | |
|---------|------------------|---------------|------|------------|-------|--------------|-------|--------------------------|------|
| 2008 | n=8 (6 ♂, 2 ♀) | Mittel | 33.5 | Mittel | 180.9 | Mittel | 80.8 | Mittel | 24.6 |
| | | Median | 31.5 | Median | 181.0 | Median | 83.3 | Median | 24.6 |
| | | Min | 27.0 | Min | 174.0 | Min | 60.5 | Min | 20.0 |
| | | Max | 46.0 | Max | 186.0 | Max | 92.0 | Max | 26.9 |
| | | ± SD | 6.6 | ± SD | 4.4 | ± SD | 9.5 | ± SD | 2.2 |
| 2009 | n=7 (5 ♂, 2 ♀) | Mittel | 35.4 | Mittel | 172.1 | Mittel | 75.4 | Mittel | 25.4 |
| | | Median | 32.0 | Median | 170.0 | Median | 79.0 | Median | 26.4 |
| | | Min | 30.0 | Min | 162.0 | Min | 57.5 | Min | 20.8 |
| | | Max | 53.0 | Max | 186.0 | Max | 91.3 | Max | 29.4 |
| | | ± SD | 8.2 | ± SD | 9.5 | ± SD | 12.3 | ± SD | 3.2 |
| 2010 | n=8 (6 ♂, 2 ♀) | Mittel | 42.4 | Mittel | 177.0 | Mittel | 79.1 | Mittel | 25.2 |
| | | Median | 40.5 | Median | 180.0 | Median | 79.5 | Median | 25.1 |
| | | Min | 29.0 | Min | 160.0 | Min | 58.0 | Min | 20.1 |
| | | Max | 60.0 | Max | 185.0 | Max | 94.0 | Max | 30.7 |
| | | ± SD | 10.8 | ± SD | 8.2 | ± SD | 12.7 | ± SD | 3.5 |
| 2011 | n=8 (5 ♂, 3 ♀) | Mittel | 38.8 | Mittel | 177.3 | Mittel | 84.4 | Mittel | 26.8 |
| | | Median | 31.5 | Median | 176.5 | Median | 86.0 | Median | 26.6 |
| | | Min | 27.0 | Min | 165.0 | Min | 60.0 | Min | 21.8 |
| | | Max | 61.0 | Max | 196.0 | Max | 109.0 | Max | 34.2 |
| | | ± SD | 12.9 | ± SD | 11.9 | ± SD | 16.6 | ± SD | 3.9 |
| Gesamt | n=31 (22 ♂, 9 ♀) | Mittel | 37.6 | Mittel | 177.0 | Mittel | 80.1 | Mittel | 25.5 |
| | | Median | 32.0 | Median | 178.0 | Median | 82.0 | Median | 25.9 |
| | | Min | 27.0 | Min | 160.0 | Min | 57.5 | Min | 20.0 |
| | | Max | 61.0 | Max | 196.0 | Max | 109.0 | Max | 34.2 |
| | | ± SD | 10.1 | ± SD | 9.0 | ± SD | 12.8 | ± SD | 3.2 |

Tabelle 4 Übersicht der anthropometrischen Daten der Teilnehmer der Überwinterungen von 2008 bis 2011

Die Daten zeigen, dass über zwei Drittel der Teilnehmer männlich und ca. ein Drittel weiblich sind. Im Median sind die Teilnehmer 32 Jahre alt und überwiegend normalgewichtig. Die Anzahl der pro Überwinterungsstaffel teilnehmenden Probanden schwankt zwischen sieben und acht.

Normalverteilung der anthropometrischen Daten

| Staffel | Alter | Größe | Gewicht | BMI |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2008 | p=0.253 | p=0.855 | p=0.772 | p=0.492 |
| 2009 | p=0.553 | p=0.962 | p=0.764 | p=0.923 |
| 2010 | p=0.904 | p=0.548 | p=0.987 | p=0.995 |
| 2011 | p=0.306 | p=0.758 | p=0.990 | p=0.814 |
| Gesamt | p=0.072 | p=0.936 | p=0.915 | p=0.973 |

Tabelle 5 Übersicht der Ergebnisse der Testung der anthropometrischen Daten auf Normalverteilung

Wie in Tabelle 5 zusammengefasst, sind alle anthropometrischen Parameter nach entsprechender statistischer Testung (Kolmogorov-Smirnov-Test) normalverteilt. Der Parameter des Alters in der Gesamtheit aller Teilnehmer zeigt dabei ein geringes Signifikanzniveau, das nur unweit von statistischer Signifikanz entfernt liegt.

Anthropometrische Daten getrennt nach Geschlecht

| Geschlecht | Anzahl | Alter (Jahre) | | Größe (cm) | | Gewicht (kg) | | BMI (kg/m ²) | |
|------------|--------|---------------|------|------------|-------|--------------|-------|--------------------------|------|
| weiblich | n=9 | Mittel | 30.0 | Mittel | 170.8 | Mittel | 69.0 | Mittel | 23.5 |
| | | Median | 30.0 | Median | 170.0 | Median | 60.5 | Median | 22.7 |
| | | Min | 27.0 | Min | 160.0 | Min | 57.5 | Min | 20.0 |
| | | Max | 35.0 | Max | 186.0 | Max | 87.5 | Max | 27.0 |
| | | ± SD | 2.4 | ± SD | 8.7 | ± SD | 12.3 | ± SD | 2.7 |
| männlich | n=22 | Mittel | 40.7 | Mittel | 179.5 | Mittel | 84.6 | Mittel | 26.3 |
| | | Median | 38.5 | Median | 180.0 | Median | 83.5 | Median | 26.2 |
| | | Min | 28.0 | Min | 164.0 | Min | 68.0 | Min | 20.1 |
| | | Max | 61.0 | Max | 196.0 | Max | 109.0 | Max | 34.2 |
| | | ± SD | 10.4 | ± SD | 8.0 | ± SD | 10.1 | ± SD | 3.1 |

Tabelle 6 Übersicht der Ergebnisse der anthropometrischen Daten der Überwinterungsteilnehmer, unterteilt nach Geschlecht

Wie aus Tabelle 6 entnommen werden kann, sind die männlichen Probanden größer und schwerer als die weiblichen Teilnehmer. Hinsichtlich des Alters zeigt sich, dass die weiblichen Teilnehmer im Mittel rund 10 Jahre jünger sind als die männlichen Teilnehmer. Es ergibt sich ein statistisch signifikanter Unterschied der Mittelwerte beider Geschlechter ($p=0.0001$, Welch-Test für Stichproben ungleicher Varianzen). Dieser Unterschied ist graphisch als Histogramm in Abbildung 39 dargestellt.

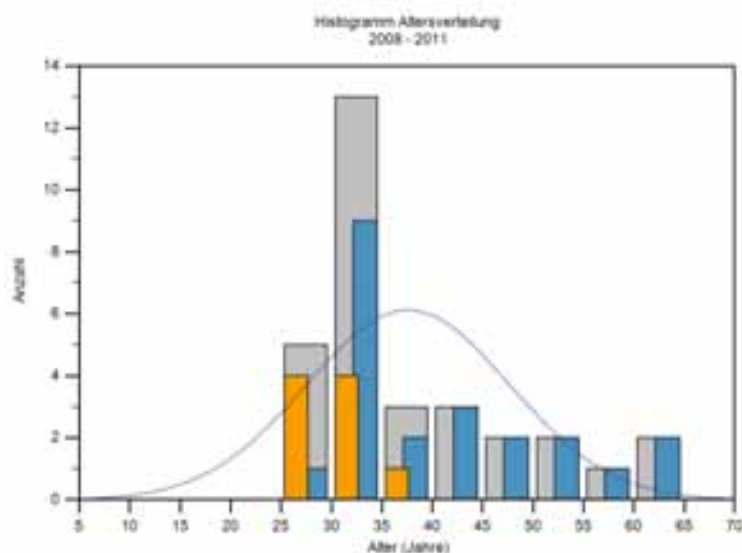


Abb. 39 Häufigkeitsverteilung der Überwinterungsteilnehmer von 2008 bis 2011 (blau: männliche Teilnehmer n=22, orange: weibliche Teilnehmer n=9, grau: Gesamt n=31, Kurve: Normalverteilung)

Aufgrund dieses Altersunterschiedes zwischen den Geschlechtern wurde in der Folge von einer Analyse der verschiedenen erhobenen Parameter nach Lebensalter abgesehen, da bei den jüngeren Probanden überproportional mehr Frauen und bei den älteren Teilnehmern entsprechend mehr Männer vertreten gewesen wären und somit nicht der Alterseinfluss, sondern der Confounder Geschlecht abgebildet worden wäre.

3.2 Untersuchung von Veränderungen während der Überwinterungen nach Staffeln getrennt

Untersuchung der Veränderungen der Körperzusammensetzung

Ausgangswerte der Körperzusammensetzung

| | | Probanden männlich und weiblich | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|---------------------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|--------|--|
| | | 2008 | | 2009 | | 2010 | | 2011 | | Gesamt | |
| Gewicht (kg) | Mittel | 80.8 | Mittel | 75.4 | Mittel | 79.1 | Mittel | 84.4 | Mittel | 80.1 | |
| | Median | 83.3 | Median | 79.0 | Median | 79.5 | Median | 86.0 | Median | 82.0 | |
| | ± SD | 9.5 | ± SD | 12.3 | ± SD | 12.7 | ± SD | 16.6 | ± SD | 12.8 | |
| FFM (kg) | Mittel | 61.1 | Mittel | 59.0 | Mittel | 66.3 | Mittel | 62.1 | Mittel | 62.0 | |
| | Median | 62.9 | Median | 61.5 | Median | 65.0 | Median | 62.1 | Median | 62.7 | |
| | ± SD | 7.0 | ± SD | 10.8 | ± SD | 15.6 | ± SD | 12.7 | ± SD | 11.4 | |
| FFM (% KG) | Mittel | 77.3 | Mittel | 78.1 | Mittel | 82.4 | Mittel | 73.8 | Mittel | 77.6 | |
| | Median | 76.4 | Median | 78.5 | Median | 80.7 | Median | 73.1 | Median | 76.5 | |
| | ± SD | 3.5 | ± SD | 3.8 | ± SD | 8.6 | ± SD | 6.8 | ± SD | 6.4 | |
| FM (kg) | Mittel | 18.0 | Mittel | 16.4 | Mittel | 13.7 | Mittel | 22.3 | Mittel | 17.9 | |
| | Median | 18.2 | Median | 17.0 | Median | 14.0 | Median | 23.4 | Median | 18.1 | |
| | ± SD | 3.8 | ± SD | 3.5 | ± SD | 6.9 | ± SD | 7.4 | ± SD | 6.2 | |
| FM (% KG) | Mittel | 22.7 | Mittel | 21.9 | Mittel | 17.6 | Mittel | 26.2 | Mittel | 22.4 | |
| | Median | 23.6 | Median | 21.5 | Median | 19.3 | Median | 26.9 | Median | 23.5 | |
| | ± SD | 3.5 | ± SD | 3.8 | ± SD | 8.6 | ± SD | 6.8 | ± SD | 6.4 | |
| BCM (kg) | Mittel | 33.7 | Mittel | 33.1 | Mittel | 35.3 | Mittel | 33.8 | Mittel | 33.9 | |
| | Median | 36.0 | Median | 36.0 | Median | 35.7 | Median | 35.7 | Median | 36.0 | |
| | ± SD | 5.1 | ± SD | 7.6 | ± SD | 10.2 | ± SD | 9.4 | ± SD | 7.9 | |
| BCM (% KG) | Mittel | 42.6 | Mittel | 43.4 | Mittel | 43.7 | Mittel | 39.8 | Mittel | 42.2 | |
| | Median | 43.6 | Median | 44.7 | Median | 42.6 | Median | 40.8 | Median | 43.1 | |
| | ± SD | 3.9 | ± SD | 3.6 | ± SD | 8.7 | ± SD | 6.1 | ± SD | 5.7 | |
| GKW (kg) | Mittel | 43.7 | Mittel | 42.8 | Mittel | 48.4 | Mittel | 44.7 | Mittel | 44.8 | |
| | Median | 44.7 | Median | 44.6 | Median | 47.0 | Median | 44.8 | Median | 45.3 | |
| | ± SD | 5.7 | ± SD | 8.3 | ± SD | 12.0 | ± SD | 9.5 | ± SD | 8.8 | |
| GKW (% KG) | Mittel | 55.2 | Mittel | 56.6 | Mittel | 60.1 | Mittel | 53.0 | Mittel | 56.0 | |
| | Median | 53.8 | Median | 56.8 | Median | 58.9 | Median | 53.5 | Median | 54.7 | |
| | ± SD | 3.3 | ± SD | 3.3 | ± SD | 7.2 | ± SD | 5.4 | ± SD | 5.3 | |

Tabelle 7 Übersicht der Ausgangswerte verschiedener Parameter der Körperzusammensetzung

Aus Tabelle 7 gehen die unterschiedlichen Parameter der Körperzusammensetzung als Ausgangswerte hervor, auf die in den folgenden Analysen Bezug genommen wird. Diese Werte entstammen den erhobenen Daten zum Zeitpunkt der jeweils ersten Messung, entsprechend der Messzeitpunkte, die in Abbildung 17 dargestellt sind.

In der folgenden Tabelle 8 sind diese Ausgangswerte zur Körperzusammensetzung nach Geschlechtern getrennt dargestellt sowie hinsichtlich dieses Unterschieds statistisch miteinander verglichen worden.

Statistischer Vergleich der Ausgangswerte der Körperzusammensetzung nach Geschlecht

| | | Probanden 2008-2011 | | | Statistischer Vergleich Signifikanzniveau |
|-----------------|--------|---------------------|--------|----------|----------------------------------------------|
| | | männlich | | weiblich | |
| Gewicht (kg) | Mittel | 84.6 | Mittel | 69.0 | p=0.001 |
| | Median | 83.5 | Median | 60.5 | |
| | ± SD | 10.1 | ± SD | 12.3 | |
| FFM (kg) | Mittel | 67.4 | Mittel | 50.6 | p<0.0001 |
| | Median | 65.8 | Median | 46.4 | |
| | ± SD | 8.6 | ± SD | 7.6 | |
| FFM (% KG) | Mittel | 79.4 | Mittel | 73.9 | p=0.03 |
| | Median | 78.4 | Median | 75.4 | |
| | ± SD | 6.3 | ± SD | 5.1 | |
| FM (kg) | Mittel | 17.7 | Mittel | 18.4 | p=0.79 |
| | Median | 18.2 | Median | 14.7 | |
| | ± SD | 6.4 | ± SD | 6.3 | |
| FM (% KG) | Mittel | 20.6 | Mittel | 26.1 | p=0.03 |
| | Median | 21.6 | Median | 24.6 | |
| | ± SD | 6.3 | ± SD | 5.1 | |
| BCM (kg) | Mittel | 38.4 | Mittel | 24.4 | p<0.0001 |
| | Median | 37.9 | Median | 23.3 | |
| | ± SD | 4.7 | ± SD | 3.0 | |
| BCM (% KG) | Mittel | 45.3 | Mittel | 35.8 | p<0.0001 |
| | Median | 44.7 | Median | 36.3 | |
| | ± SD | 3.7 | ± SD | 3.1 | |
| GKW (kg) | Mittel | 49.0 | Mittel | 35.8 | p<0.0001 |
| | Median | 47.9 | Median | 33.2 | |
| | ± SD | 6.6 | ± SD | 5.5 | |
| GKW (% KG) | Mittel | 57.7 | Mittel | 52.3 | p=0.009 |
| | Median | 56.8 | Median | 52.5 | |
| | ± SD | 5.0 | ± SD | 4.1 | |

Tabelle 8 Übersicht der Ausgangswerte verschiedener Parameter der Körperzusammensetzung getrennt nach Geschlecht und dem statistischen Vergleich hinsichtlich des Geschlechts. Der statistische Vergleich wurde mit dem T-Test für unabhängige Stichproben vergleichbarer Varianzen durchgeführt, nachdem der F-Test für alle untersuchten Parameter der Tabelle vergleichbare Varianzen dargestellt hatte (Unterschied der Varianzen nicht signifikant, $p>0.05$)

In Abhängigkeit vom Geschlecht lassen sich verschiedene Parameter der Körperzusammensetzung mit statistisch signifikantem Unterschied darstellen.

Wie aus Tabelle 8 hervorgeht, sind die Werte der Parameter Körpergewicht, fettfreie Masse (absolut und relativ), Körperzellmasse (absolut und relativ), Gesamtkörperwasser (absolut und relativ) bei den männlichen Teilnehmern statistisch signifikant größer als bei den weiblichen. Bezüglich der Fettmasse zeigt sich hinsichtlich des Absolutwertes kein Unterschied; relativ bezogen auf das Körpergewicht zeigt sich hingegen ein statistisch signifikanter Unterschied, wonach die weiblichen Teilnehmer einen höheren prozentualen Fettmasseanteil am Körpergewicht haben, als die männlichen Teilnehmer.

Veränderungen des Körpergewichts – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 27.57 |
| | | | p=0.19 |

Tabelle 9 Statistische Prüfung der Veränderung des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2008

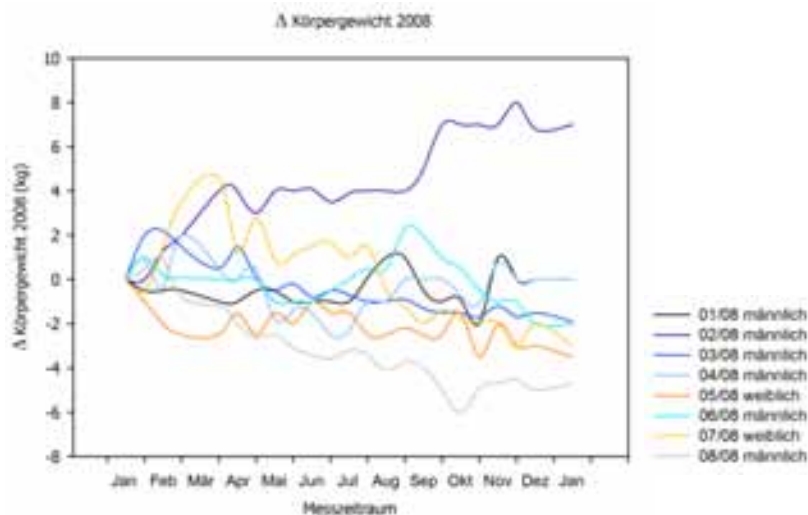


Abb. 40 Individuelle Veränderungen des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Körpergewichts der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich jedoch eine Abnahme des Körpergewichts bei der Probandenmehrheit kontinuierlich bis zum Ende des Überwinterungszeitraums.

Veränderungen des Körpergewichts – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 52.39 |
| | | | p<0.001 |

Tabelle 10 Statistische Prüfung der Veränderung des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2009

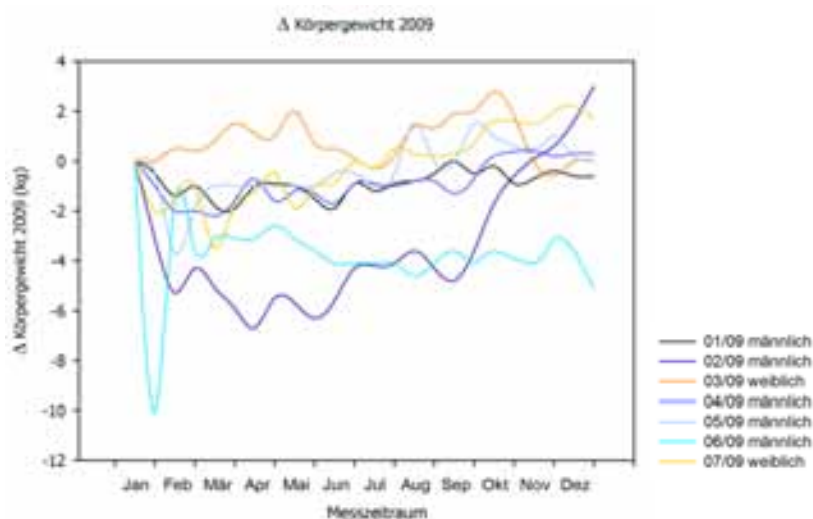


Abb. 41 Individuelle Veränderungen des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung des Körpergewichts der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine Abnahme des Körpergewichts bei der Probandenmehrheit während der Mitte des Überwinterungszeitraums mit anschließendem Wiederanstieg.

Veränderungen des Körpergewichts – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 10.65 | p=0.83 |

Tabelle 11 Statistische Prüfung der Veränderung des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2010

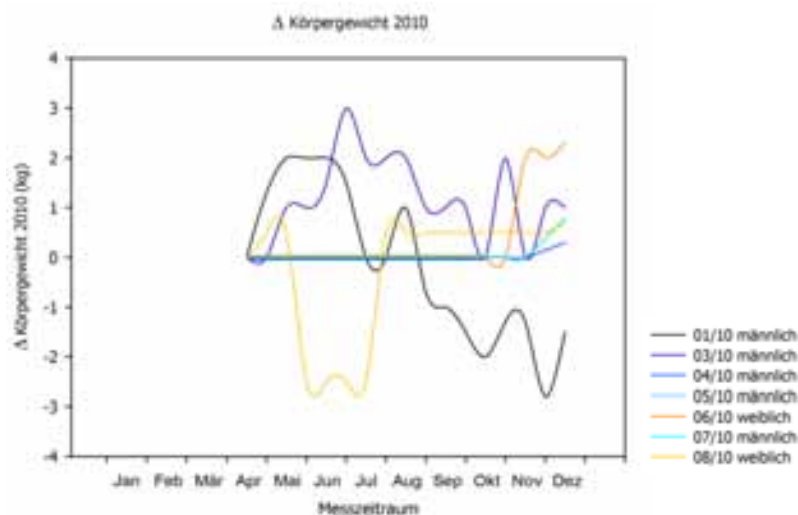


Abb. 42 Individuelle Veränderungen des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Körpergewichts der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Das Gleichbleiben der Werte einiger Teilnehmer wird in der Diskussion aufgegriffen werden.

Veränderungen des Körpergewichts – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 2.20 | p=0.03 |

Tabelle 12 Statistische Prüfung der Veränderung des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2011

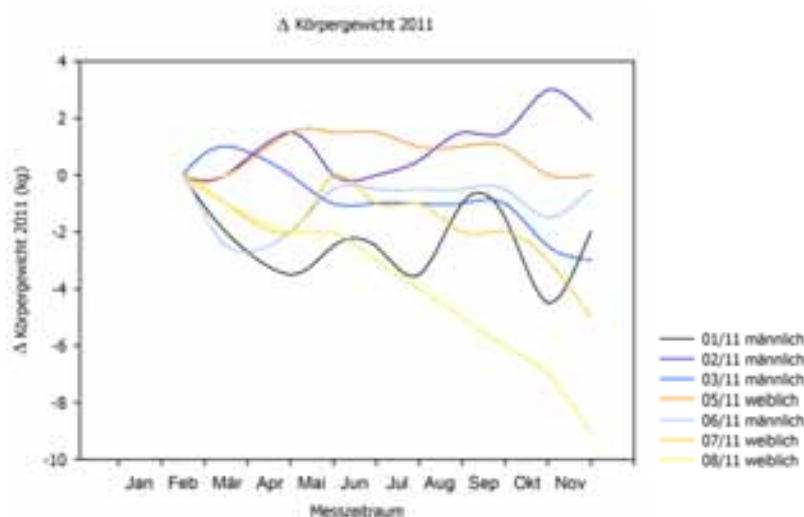


Abb. 43 Individuelle Veränderungen des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung des Körpergewichts der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine Abnahme des Körpergewichts bei der Probandenmehrheit bis zum Ende des Überwinterungszeitraums.

Veränderungen der fettfreien Masse – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 12.47 |
| | | | p=0.95 |

Tabelle 13 Statistische Prüfung der Veränderung der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2008

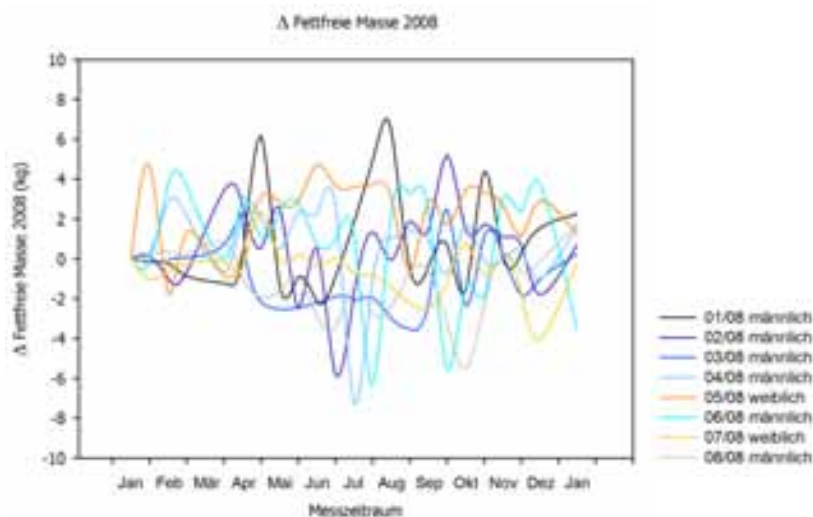


Abb. 44 Individuelle Veränderungen der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der fettfreien Masse der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine größere individuelle Streuung während der Mitte des Überwinterungszeitraumes.

Veränderungen der fettfreien Masse – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 16.86 |
| | | | p=0.77 |

Tabelle 14 Statistische Prüfung der Veränderung der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2009

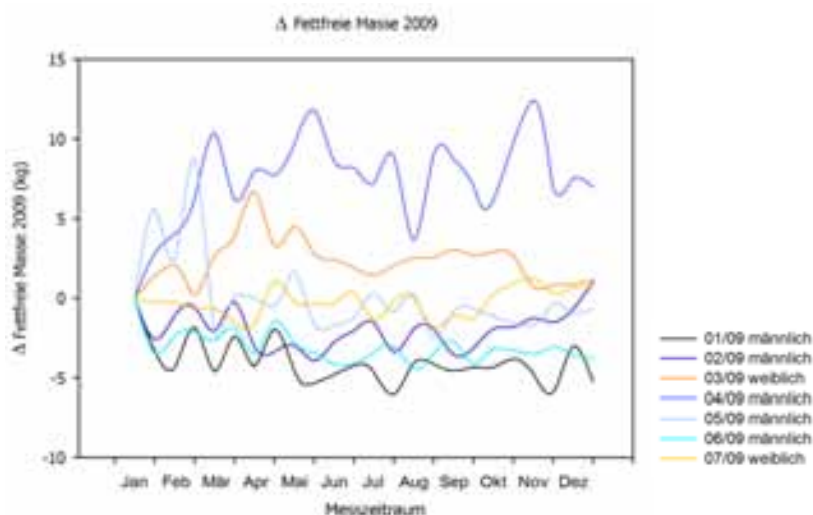


Abb. 45 Individuelle Veränderungen der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der fettfreien Masse der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich jedoch eine Abnahme der fettfreien Masse bei der Probandenmehrheit im zweiten Drittel des Überwinterungszeitraumes.

Veränderungen der fettfreien Masse – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.13 | p=0.34 |

Tabelle 15 Statistische Prüfung der Veränderung der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2010

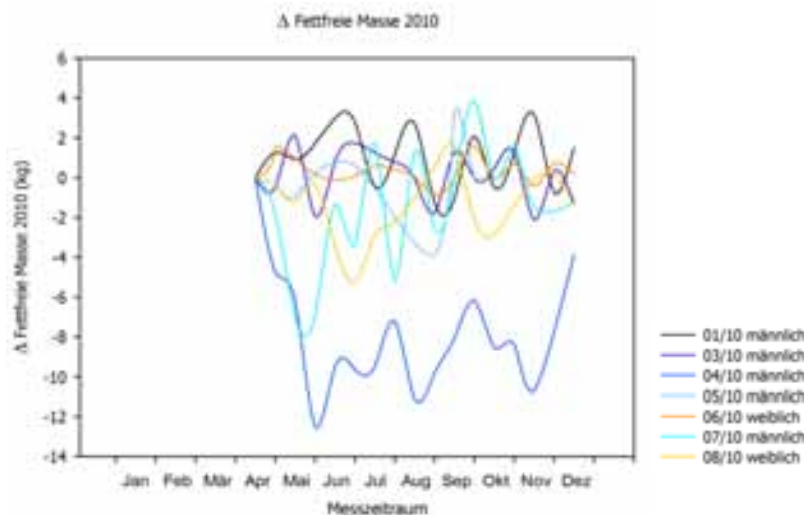


Abb. 46 Individuelle Veränderungen der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der fettfreien Masse der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich jedoch eine Abnahme in ersten Drittel des Überwinterungszeitraums.

Veränderungen der fettfreien Masse – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 0.99 | p=0.46 |

Tabelle 16 Statistische Prüfung der Veränderung der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2011

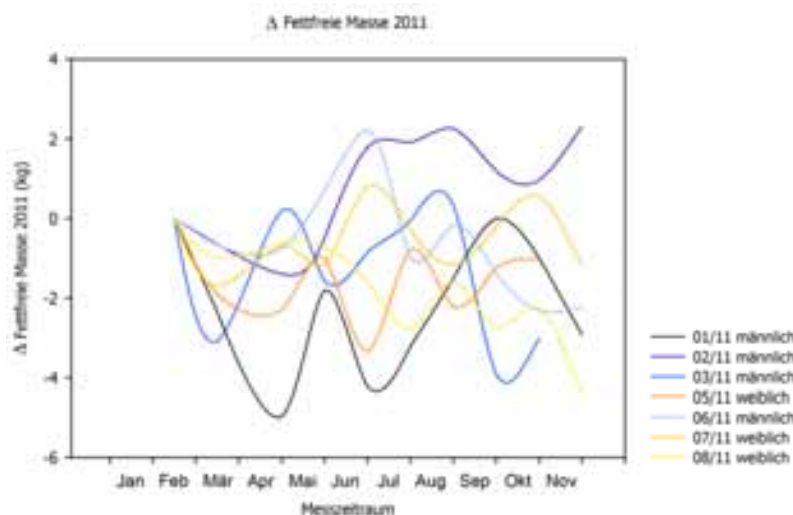


Abb. 47 Individuelle Veränderungen der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der fettfreien Masse der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich jedoch eine Abnahme der fettfreien Masse bei der Probandenmehrheit im ersten Drittel und gegen Ende des Überwinterungszeitraums.

Veränderungen der Fettmasse – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 0.58 | p=0.93 |

Tabelle 17 Statistische Prüfung der Veränderung der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2008

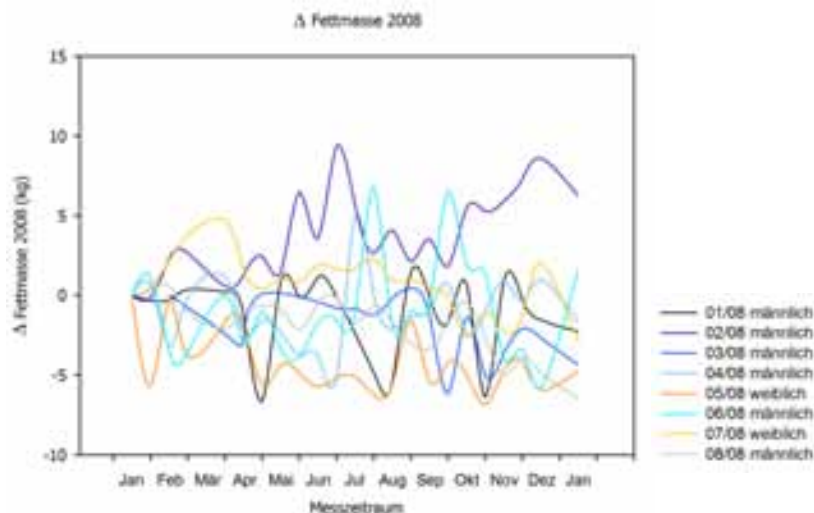


Abb. 48 Individuelle Veränderungen der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Fettmasse der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich jedoch eine Abnahme der Fettmasse der Probandenmehrheit.

Veränderungen der Fettmasse – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 35.03 | p=0.038 |

Tabelle 18 Statistische Prüfung der Veränderung der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2009

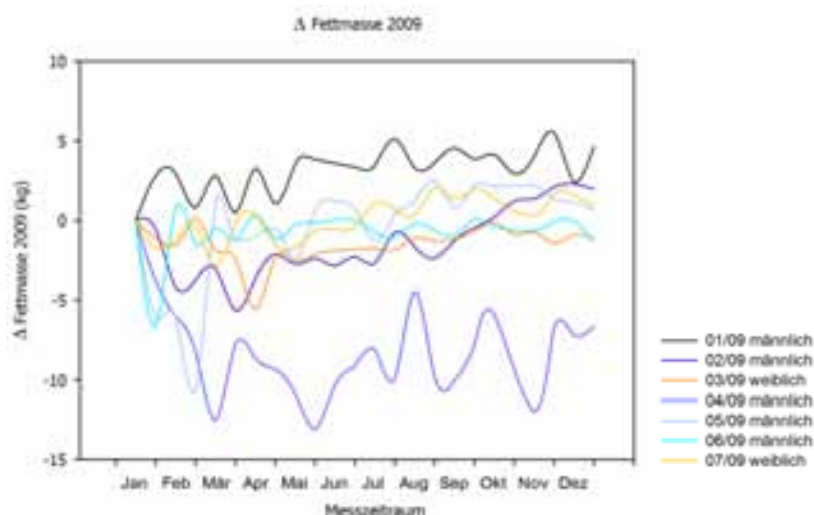


Abb. 49 Individuelle Veränderungen der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der Fettmasse der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine Abnahme während des ersten Drittels des Überwinterungszeitraums mit kontinuierlicher Steigerung auf die Ausgangswerte und darüber hinaus, bei der Probandenmehrheit.

Veränderungen der Fettmasse – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.26 | p=0.25 |

Tabelle 19 Statistische Prüfung der Veränderung der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2010

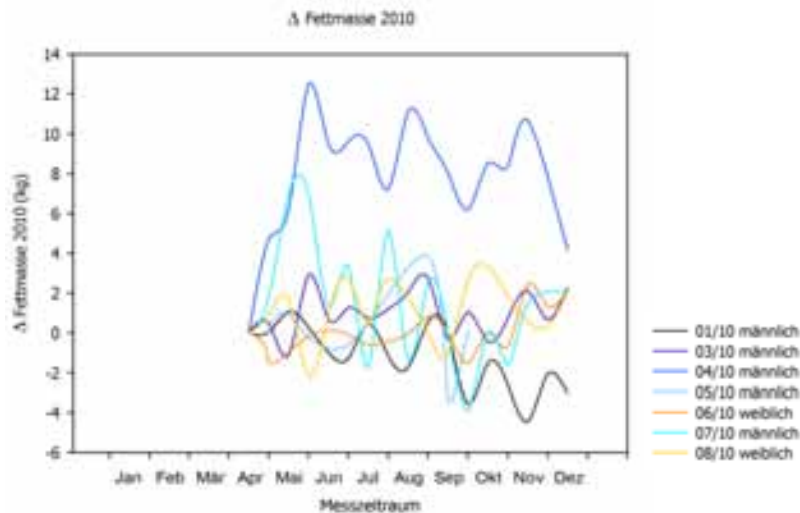


Abb. 50 Individuelle Veränderungen der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Fettmasse der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Jedoch zeigt sich bei der Probandenmehrheit eine Zunahme der Fettmasse.

Veränderungen der Fettmasse – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.09 | p=0.39 |

Tabelle 20 Statistische Prüfung der Veränderung der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2011



Abb. 51 Individuelle Veränderungen der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Fettmasse der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Die Mehrheit der Probanden zeigt keine bis minimale Veränderungen der Fettmasse, während bei drei Probanden eine Abnahme bis unterhalb des Ausgangswertes feststellbar ist.

Veränderungen der Körperzellmasse – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 19.98 |
| | | | p=0.58 |

Tabelle 21 Statistische Prüfung der Veränderung der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2008

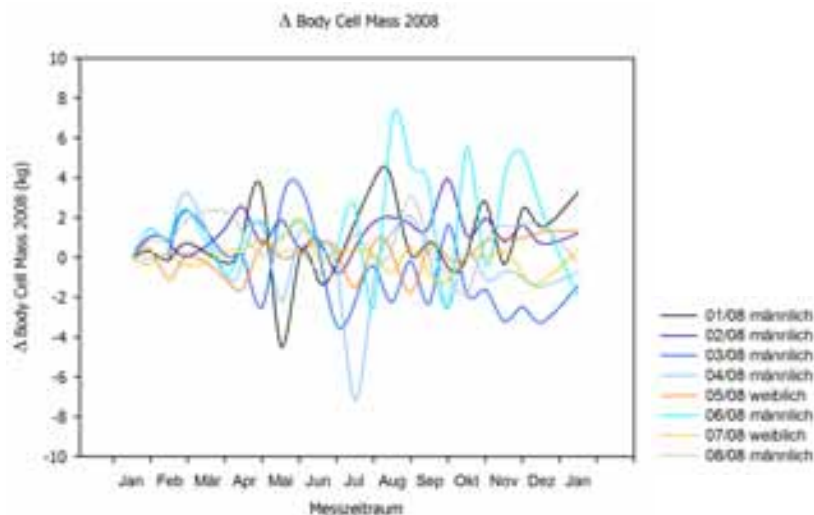


Abb. 52 Individuelle Veränderungen der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Körperzellmasse der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Jedoch ist eine zum Ende der Überwinterung hin größer werdende Streuung feststellbar.

Veränderungen der Körperzellmasse – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 31.21 |
| | | | p=0.09 |

Tabelle 22 Statistische Prüfung der Veränderung der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2009

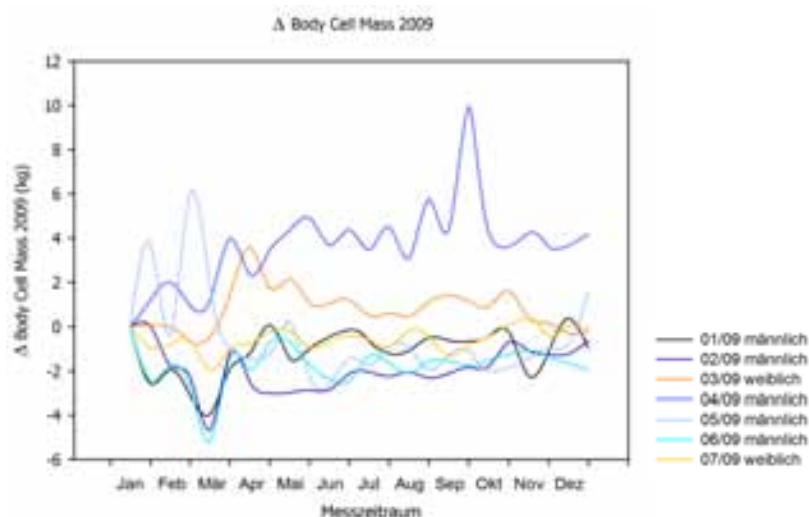


Abb. 53 Individuelle Veränderungen der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Körperzellmasse der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Jedoch zeigt die Probandenmehrheit eine Abnahme der BCM.

Veränderungen der Körperzellmasse – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 14.70 |
| | | | p=0.55 |

Tabelle 23 Statistische Prüfung der Veränderung der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2010

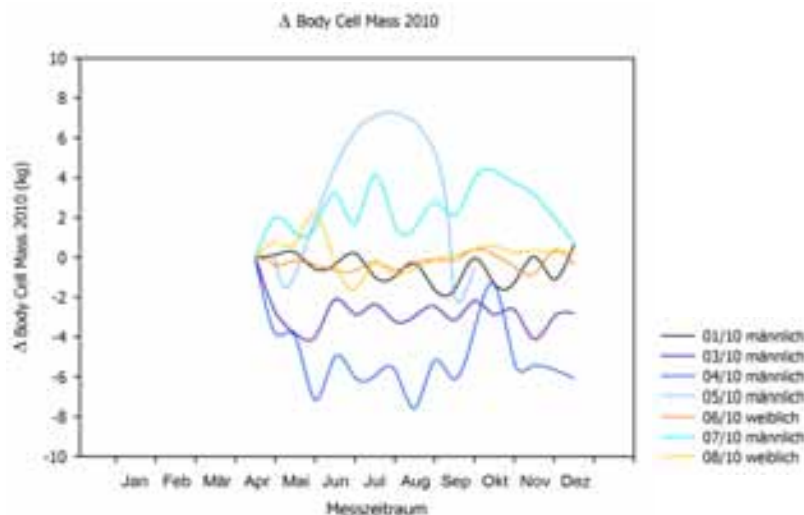


Abb. 54 Individuelle Veränderungen der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Körperzellmasse der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Jedoch lässt sich am Ende der Überwinterung eine Abnahme der BCM bei der Probandenmehrheit feststellen

Veränderungen der Körperzellmasse – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 8.30 |
| | | | p=0.50 |

Tabelle 24 Statistische Prüfung der Veränderung der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2011

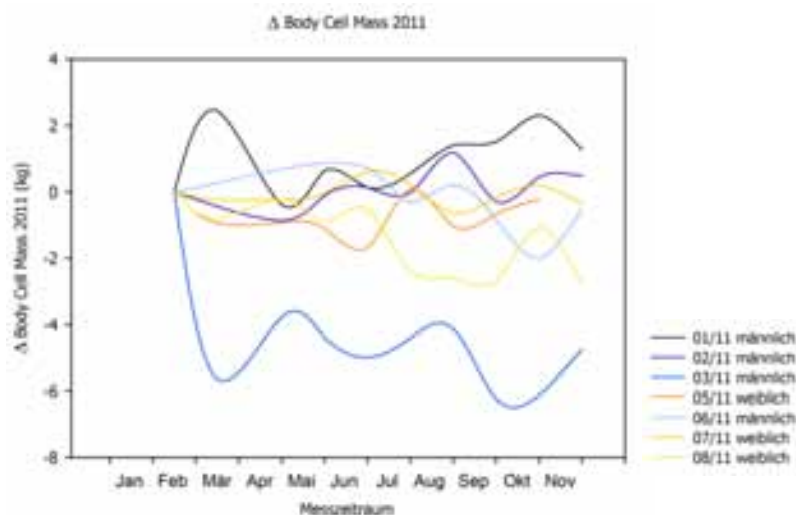


Abb. 55 Individuelle Veränderungen der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Körperzellmasse der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Jedoch lässt sich am Ende der Überwinterung eine Abnahme der BCM bei der Probandenmehrheit feststellen

Veränderungen des Gesamtkörperwassers – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 11.98 |
| | | | p=0.96 |

Tabelle 25 Statistische Prüfung der Veränderung des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2008



Abb. 56 Individuelle Veränderungen des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Gesamtkörperwassers der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine größere individuelle Streuung während der Mitte des Überwinterungszeitraumes.

Veränderungen des Gesamtkörperwassers – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 17.02 |
| | | | p=0.76 |

Tabelle 26 Statistische Prüfung der Veränderung des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2009

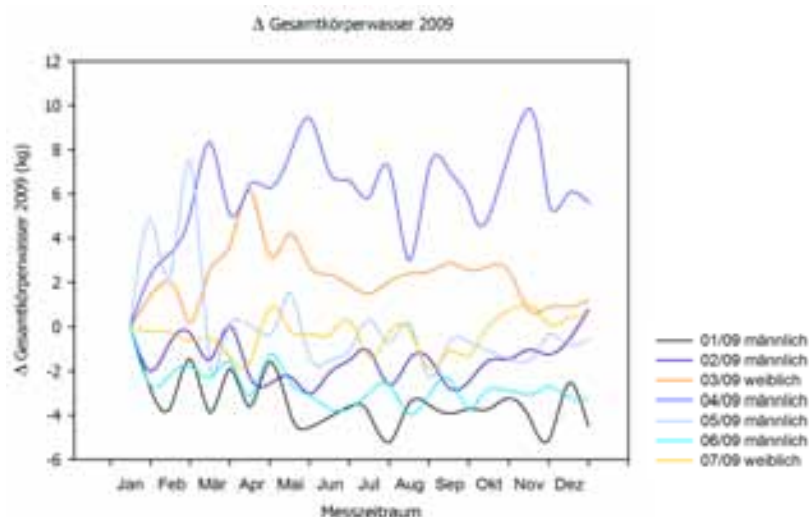


Abb. 57 Individuelle Veränderungen des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Gesamtkörperwassers der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Jedoch zeigt sich eine Abnahme bei der Probandenmehrheit im letzten Drittel des Überwinterungszeitraums.

Veränderungen des Gesamtkörperwassers – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| ja | p=0.61 | Repeated Measures ANOVA | 1.15 |
| | | | p=0.33 |

Tabelle 27 Statistische Prüfung der Veränderung des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2010

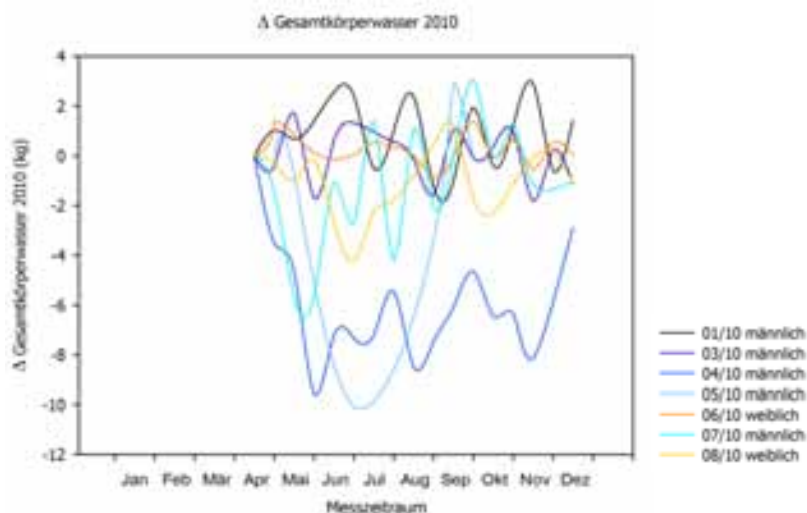


Abb. 58 Individuelle Veränderungen des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Gesamtkörperwassers der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich jedoch eine Abnahme im ersten Drittel des Überwinterungszeitraums.

Veränderungen des Gesamtkörperwassers – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| ja | p=0.26 | Repeated Measures ANOVA | 0.83 |
| | | | p=0.59 |

Tabelle 28 Statistische Prüfung der Veränderung des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2011

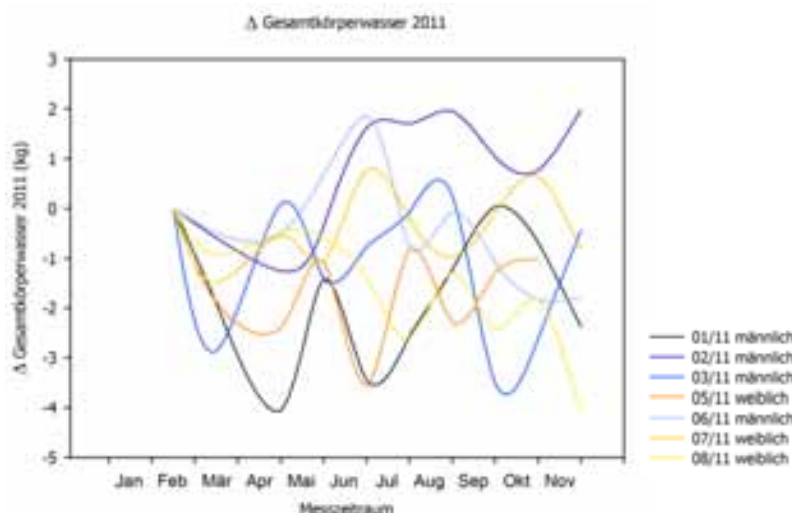


Abb. 59 Individuelle Veränderungen des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Gesamtkörperwassers der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich jedoch eine Abnahme des Gesamtkörperwassers bei der Probandenmehrheit im ersten Drittel und gegen Ende des Überwinterungszeitraums.

Untersuchung der Veränderungen von Schlaf- und Aktivitätsparametern

Ausgangswerte der Schlaf- und Aktivitätsparameter

| | Probanden männlich und weiblich | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------|---------------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | | 2008 | | 2009 | | 2010 | | 2011 | | Gesamt |
| Liegendauer (min) | Mittel | 459.6 | Mittel | 398.3 | Mittel | 414.9 | Mittel | 478.6 | Mittel | 439.1 |
| | Median | 448.0 | Median | 428.0 | Median | 406.5 | Median | 473.5 | Median | 446.0 |
| | ± SD | 62.4 | ± SD | 91.3 | ± SD | 84.9 | ± SD | 54.6 | ± SD | 77.6 |
| Schlafdauer (min) | Mittel | 390.8 | Mittel | 351.3 | Mittel | 307.6 | Mittel | 409.9 | Mittel | 365.3 |
| | Median | 387.5 | Median | 359.0 | Median | 300.0 | Median | 400.0 | Median | 377.0 |
| | ± SD | 84.3 | ± SD | 78.0 | ± SD | 78.6 | ± SD | 44.9 | ± SD | 80.1 |
| Schlafeffizienz (%) | Mittel | 84.5 | Mittel | 88.4 | Mittel | 74.2 | Mittel | 85.9 | Mittel | 83.1 |
| | Median | 85.2 | Median | 88.6 | Median | 69.8 | Median | 88.4 | Median | 87.6 |
| | ± SD | 9.5 | ± SD | 4.3 | ± SD | 12.0 | ± SD | 5.4 | ± SD | 9.8 |
| Schlaffragmentierung (Anzahl/Schlaf) | Mittel | 11.0 | Mittel | 8.3 | Mittel | 9.1 | Mittel | 11.1 | Mittel | 9.9 |
| | Median | 10.5 | Median | 9.0 | Median | 6.5 | Median | 11.5 | Median | 10.0 |
| | ± SD | 7.1 | ± SD | 4.3 | ± SD | 6.2 | ± SD | 5.8 | ± SD | 5.8 |
| Schlafenergieumsatz (MET) | Mittel | 0.966 | Mittel | 0.975 | Mittel | 0.943 | Mittel | 0.909 | Mittel | 0.947 |
| | Median | 0.986 | Median | 0.958 | Median | 0.939 | Median | 0.891 | Median | 0.958 |
| | ± SD | 0.057 | ± SD | 0.059 | ± SD | 0.090 | ± SD | 0.078 | ± SD | 0.074 |
| tägl. Energieumsatz (kJ/d) | Mittel | 13916.8 | Mittel | 13629.4 | Mittel | 13171.0 | Mittel | 12212.2 | Mittel | 13219.5 |
| | Median | 13442.2 | Median | 13146.7 | Median | 13864.9 | Median | 11404.9 | Median | 13146.7 |
| | ± SD | 2213.7 | ± SD | 4434.2 | ± SD | 2003.8 | ± SD | 3657.3 | ± SD | 3094.2 |

Tabelle 29 Übersicht der Ausgangswerte verschiedener Schlaf- und Aktivitätsparameter

Aus Tabelle 29 gehen die unterschiedlichen Schlaf- und Aktivitätsparameter als Ausgangswerte hervor, auf die in den folgenden Analysen Bezug genommen wird. Diese Werte entstammen den erhobenen Daten zum Zeitpunkt der jeweils ersten Messung, entsprechend der Abbildung 17.

In der folgenden Tabelle 30 sind diese Ausgangswerte nach Geschlechtern getrennt dargestellt sowie hinsichtlich dieses Unterschieds statistisch miteinander verglichen worden.

Statistischer Vergleich der Ausgangswerte der Schlaf- und Aktivitätsparameter nach Geschlecht

| | | Probanden 2008-2011 | | Statistischer Vergleich Signifikanzniveau |
|-----------------------------------------|--------|---------------------|----------|----------------------------------------------|
| | | männlich | weiblich | |
| Liegedauer (min) | Mittel | 428.0 | Mittel | p=0.22 |
| | Median | 448.0 | Median | |
| | ± SD | 80.7 | ± SD | |
| Schlafdauer (min) | Mittel | 358.7 | Mittel | p=0.48 |
| | Median | 368.0 | Median | |
| | ± SD | 85.0 | ± SD | |
| Schlafeffizienz (%) | Mittel | 83.5 | Mittel | p=0.70 |
| | Median | 87.4 | Median | |
| | ± SD | 9.7 | ± SD | |
| Schlaffragmentierung (Anzahl/Schlaf) | Mittel | 8.8 | Mittel | p=0.10 |
| | Median | 8.0 | Median | |
| | ± SD | 5.5 | ± SD | |
| Schlafenergieumsatz (MET) | Mittel | 0.951 | Mittel | p=0.67 |
| | Median | 0.961 | Median | |
| | ± SD | 0.068 | ± SD | |
| tägl. Energieumsatz (kJ/d) | Mittel | 14299.6 | Mittel | p=0.001 |
| | Median | 14146.4 | Median | |
| | ± SD | 2645.5 | ± SD | |

Tabelle 30 Übersicht der Ausgangswerte verschiedener Schlaf- und Aktivitätsparameter getrennt nach Geschlecht und dem statistischen Vergleich hinsichtlich des Geschlechts. Der statistische Vergleich wurde mit dem T-Test für unabhängige Stichproben vergleichbarer Varianzen durchgeführt, nachdem der F-Test für alle untersuchten Parameter der Tabelle vergleichbare Varianzen dargestellt hatte (Unterschied der Varianzen nicht signifikant, $p > 0.05$)

Hinsichtlich des unterschiedlichen Geschlechts als Einflussgröße lässt sich nur für den Parameter des täglichen Energieumsatzes ein statistisch signifikanter Unterschied darstellen. Für alle weiteren Parameter lässt sich kein signifikanter geschlechtsbezogener Unterschied der Ausgangswerte feststellen.

Veränderungen der Liegedauer – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.81 | p=0.036 |

Tabelle 31 Statistische Prüfung der Veränderung der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2008

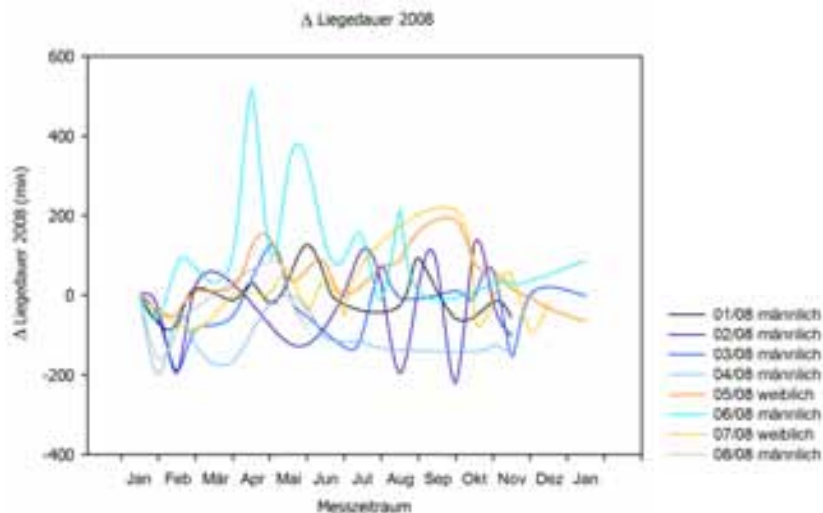


Abb. 60 Individuelle Veränderungen der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der Liegedauer der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine Zunahme der Liegedauer der Probandenmehrheit über einen Großteil des Überwinterungszeitraumes; die Werte erreichen z. T. wieder das Ausgangsniveau, insgesamt zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung.

Veränderungen der Liegedauer – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 24.24 | p=0.34 |

Tabelle 32 Statistische Prüfung der Veränderung der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2009

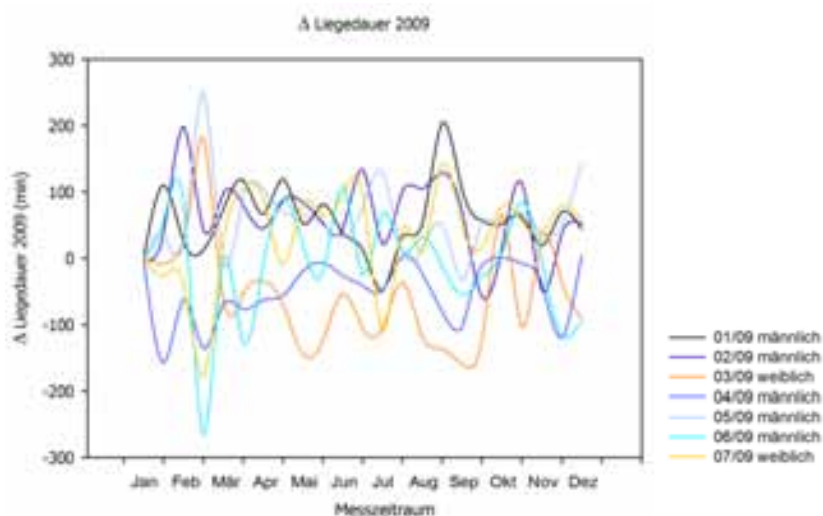


Abb. 61 Individuelle Veränderungen der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Liegedauer der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Liegedauer – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 14.65 | p=0.48 |

p<0.05

Tabelle 33 Statistische Prüfung der Veränderung der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2010

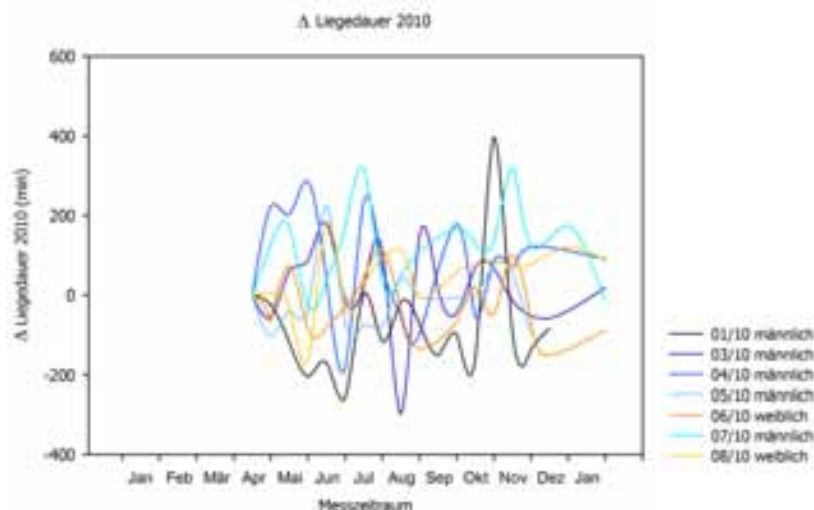


Abb. 62 Individuelle Veränderungen der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Liegedauer der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Liegedauer – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 0.81 | p=0.60 |

p=0.16

Tabelle 34 Statistische Prüfung der Veränderung der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2011



Abb. 63 Individuelle Veränderungen der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Liegedauer der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Jedoch zeigt sich eine Abnahme der Liegedauer bei der Probandenmehrheit am Ende des Überwinterungszeitraums.

Veränderungen der Schlafdauer – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.34 | p=0.19 |

Tabelle 35 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2008

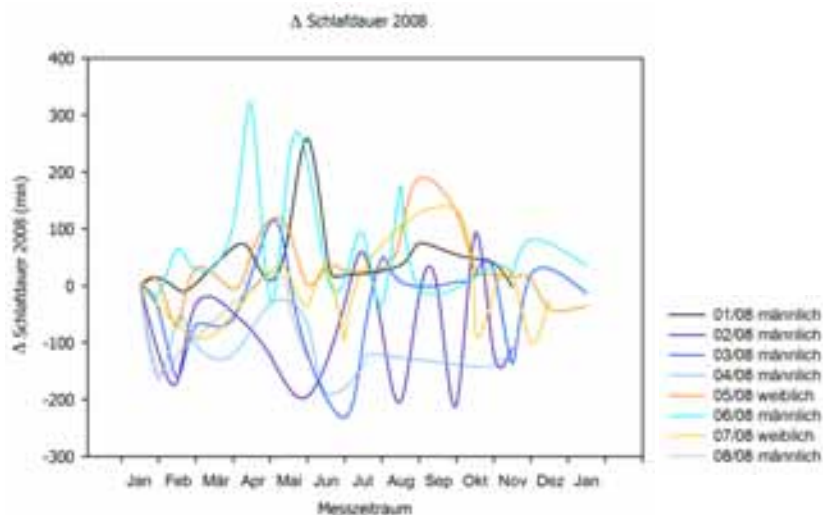


Abb. 64 Individuelle Veränderungen der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafdauer der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Schlafdauer – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 0.56 | p=0.94 |

Tabelle 36 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2009

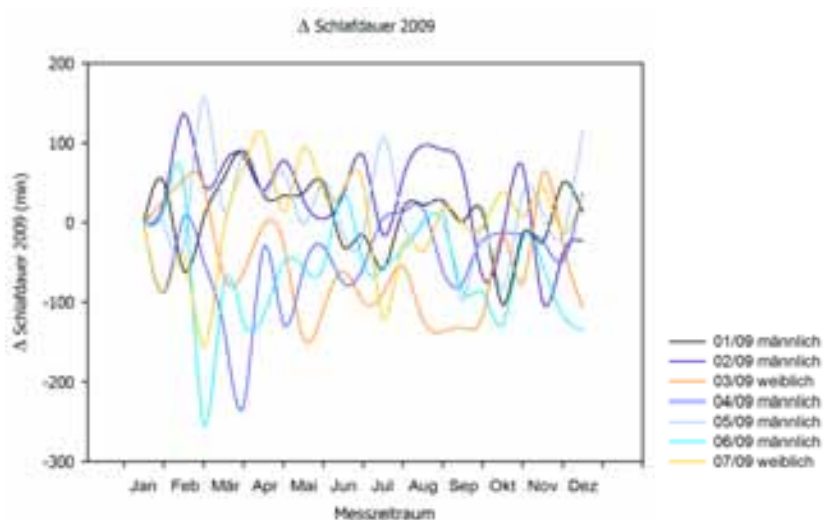


Abb. 65 Individuelle Veränderungen der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafdauer der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Schlafdauer – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 20.29 | p=0.16 |

p<0.05

Tabelle 37 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2010

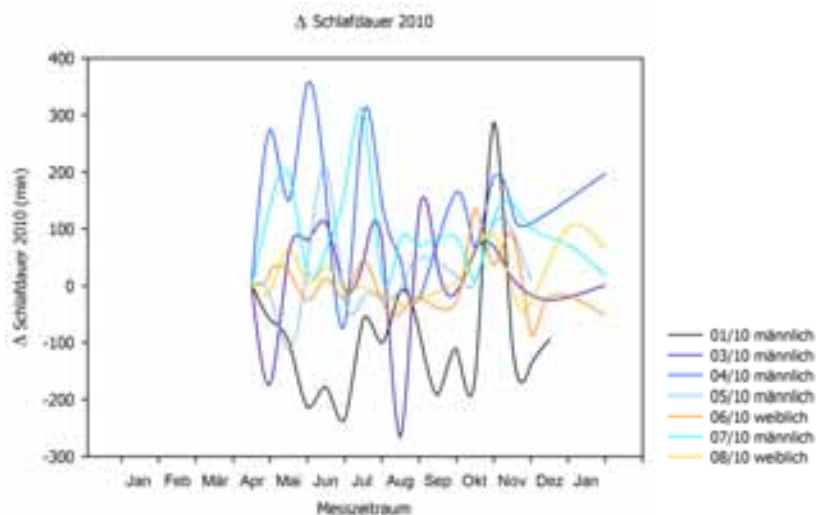


Abb. 66 Individuelle Veränderungen der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafdauer der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Schlafdauer – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.51 | p=0.18 |

p=0.58

Tabelle 38 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2011

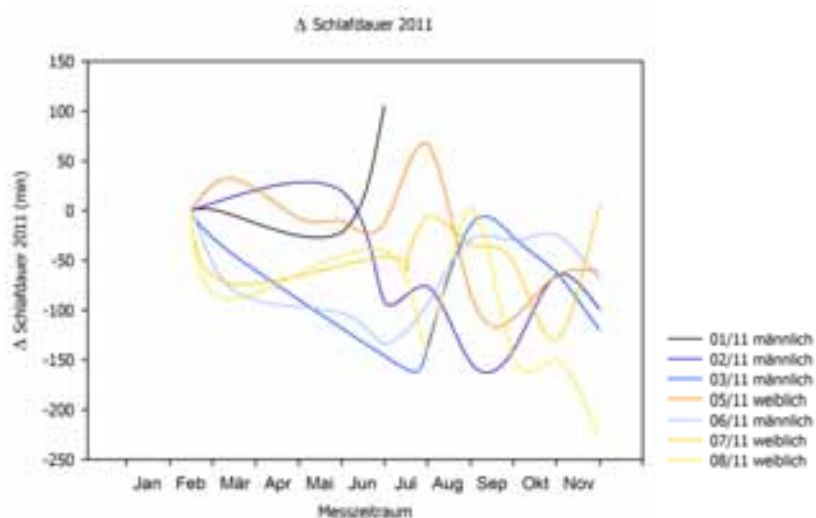


Abb. 67 Individuelle Veränderungen der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafdauer der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Jedoch zeigt sich eine Abnahme der Schlafdauer bei der Probandenmehrheit zum Ende des Überwinterungszeitraums hin.

Veränderungen der Schlafeffizienz – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.35 | p=0.18 |

Tabelle 39 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2008

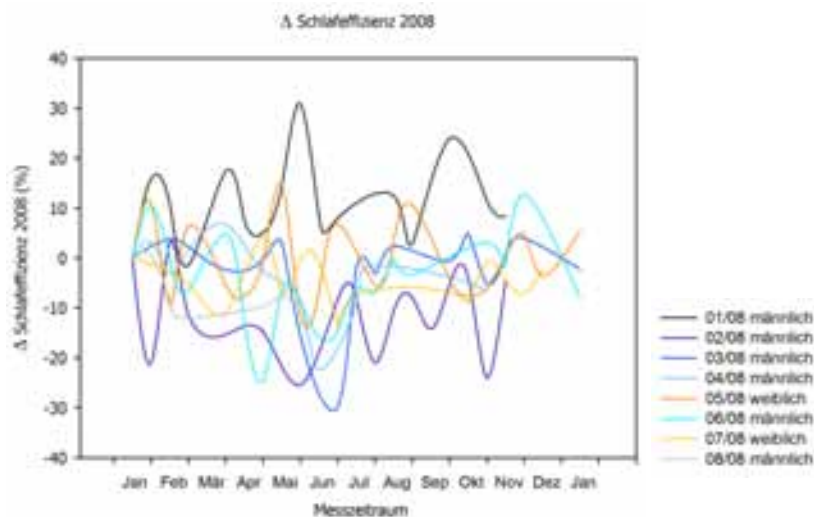


Abb. 68 Individuelle Veränderungen der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafeffizienz der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Schlafeffizienz – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 30.56 | p=0.10 |

Tabelle 40 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2009

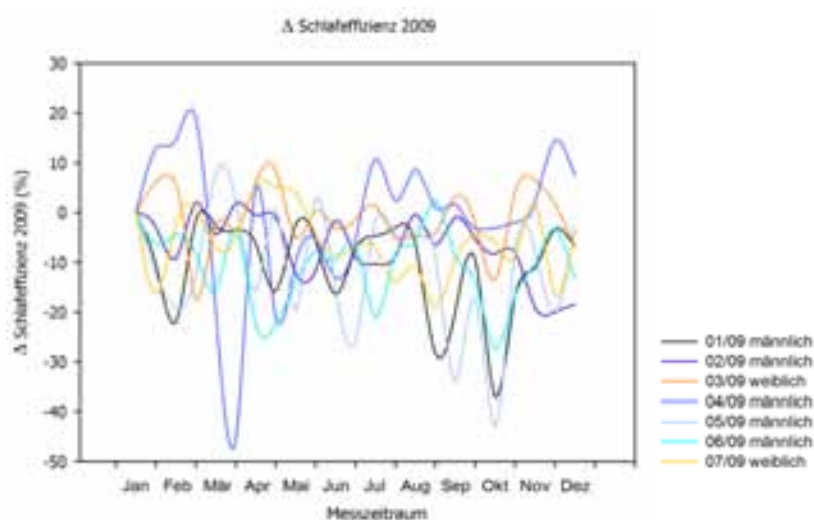


Abb. 69 Individuelle Veränderungen der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafeffizienz der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Jedoch zeigt sich eine Abnahme der Schlafeffizienz für die Probandenmehrheit zum Ende der Überwinterung hin. Es zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Schlafeffizienz – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 21.23 |
| | | | p=0.13 |

Tabelle 41 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2010

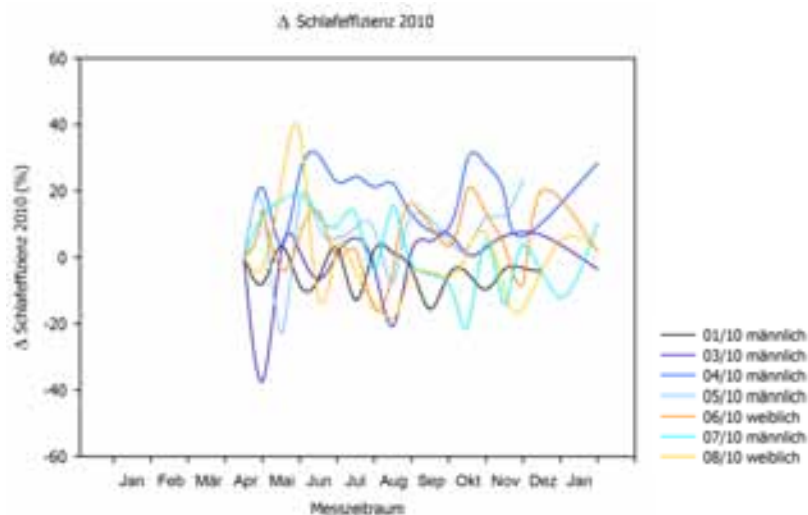


Abb. 70 Individuelle Veränderungen der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafeffizienz der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Jedoch zeigt sich eine Zunahme des Parameters gegen Ende des Überwinterungszeitraums hin.

Veränderungen der Schlafeffizienz – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| ja | p=0.40 | Repeated Measures ANOVA | 1.70 |
| | | | p=0.12 |

Tabelle 42 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2011

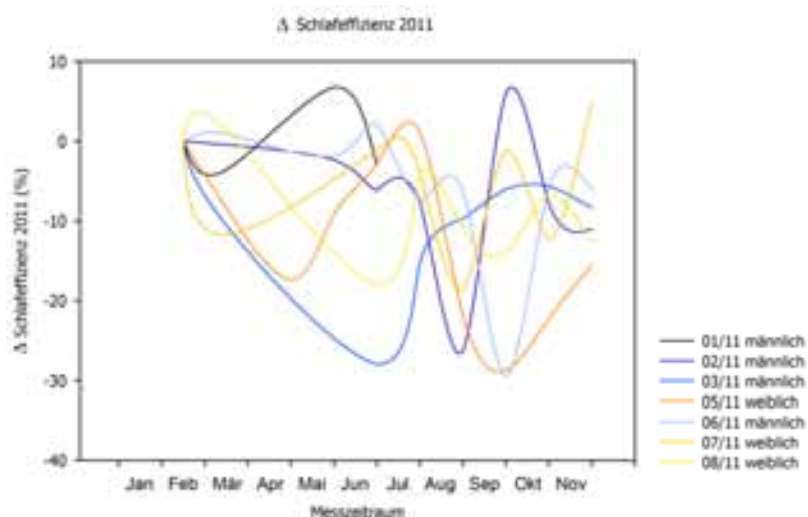


Abb. 71 Individuelle Veränderungen der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafeffizienz der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Jedoch zeigt sich eine Abnahme der Schlafeffizienz für die Probandenmehrheit zum Ende der Überwinterung hin.

Veränderungen der Schlaffragmentierung – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| nein † | Repeated Measures ANOVA | 0.64 | p=0.86 |

Tabelle 43 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlaffragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2008; † keine Normalverteilung, jedoch ist die Stichprobe zu diskontinuierlich mit Messwerten besetzt, um einen rankbasierten Test durchzuführen; die Ergebnisse sind mit Zurückhaltung zu interpretieren.



Abb. 72 Individuelle Veränderungen der Schlaffragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlaffragmentierung der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Schlaffragmentierung – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 21.68 | p=0.48 |

Tabelle 44 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlaffragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2009

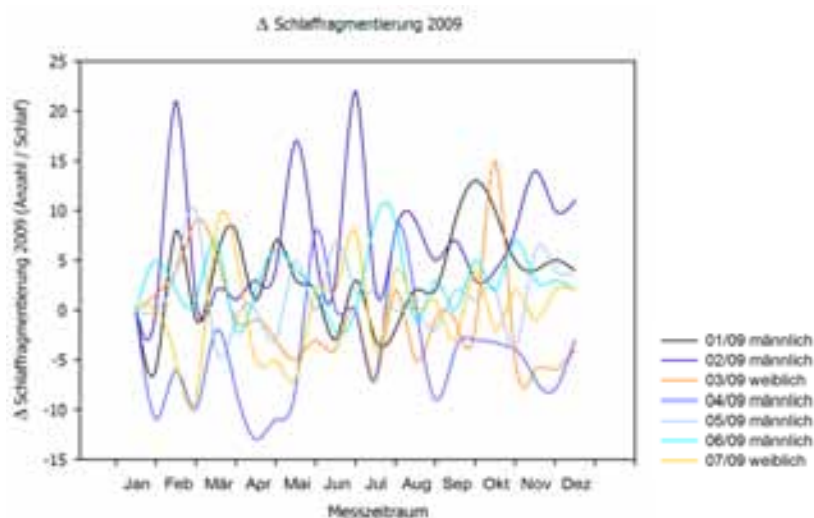


Abb. 73 Individuelle Veränderungen der Schlaffragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlaffragmentierung der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intraindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Schlaffragmentierung – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 7.59 |
| | | | p=0.94 |

Tabelle 45 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlaffragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2010

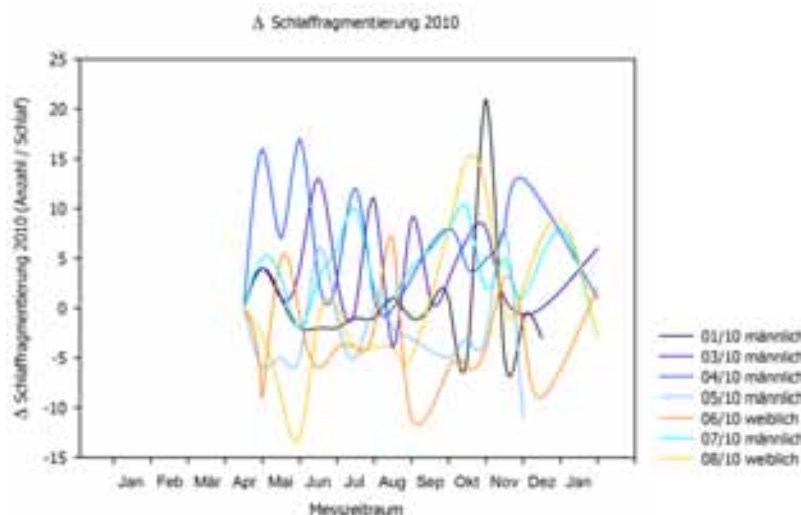


Abb. 74 Individuelle Veränderungen der Schlaffragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlaffragmentierung der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intraindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen der Schlaffragmentierung – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| ja | p=0.10 | Repeated Measures ANOVA | 1.17 |
| | | | p=0.34 |

Tabelle 46 Statistische Prüfung der Veränderung der Schlaffragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2011

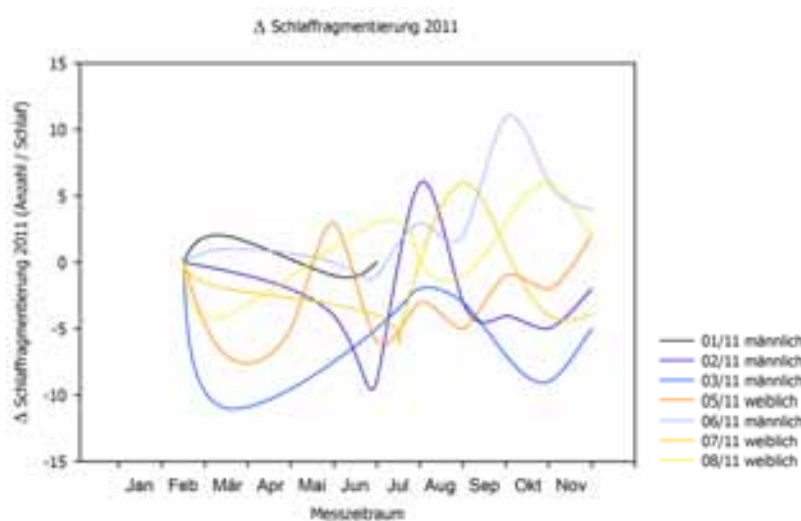


Abb. 75 Individuelle Veränderungen der Schlaffragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlaffragmentierung der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Jedoch kommt es nach anfänglicher Abnahme zu einem Anstieg des Parameters bei einem Teil der Probanden.

Veränderungen des Schlafenergieumsatzes – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|--------------------------------|--------|-------------------|
| ja | p=0.14 Repeated Measures ANOVA | 0.80 | p=0.70 |

Tabelle 47 Statistische Prüfung der Veränderung des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2008



Abb. 76 Individuelle Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Schlafenergieumsatzes der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine relativ geringe intraindividuelle Streuung.

Veränderungen des Schlafenergieumsatzes – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|--------------------------------|--------|-------------------|
| ja | p=0.12 Repeated Measures ANOVA | 0.52 | p=0.96 |

Tabelle 48 Statistische Prüfung der Veränderung des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2009

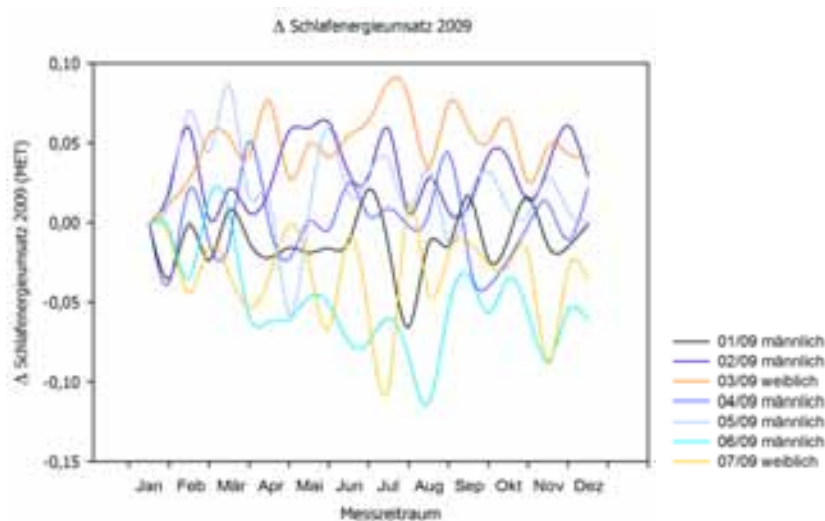


Abb. 77 Individuelle Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Schlafenergieumsatzes der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen des Schlafenergieumsatzes – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.56 | p=0.10 |

Tabelle 49 Statistische Prüfung der Veränderung des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2010

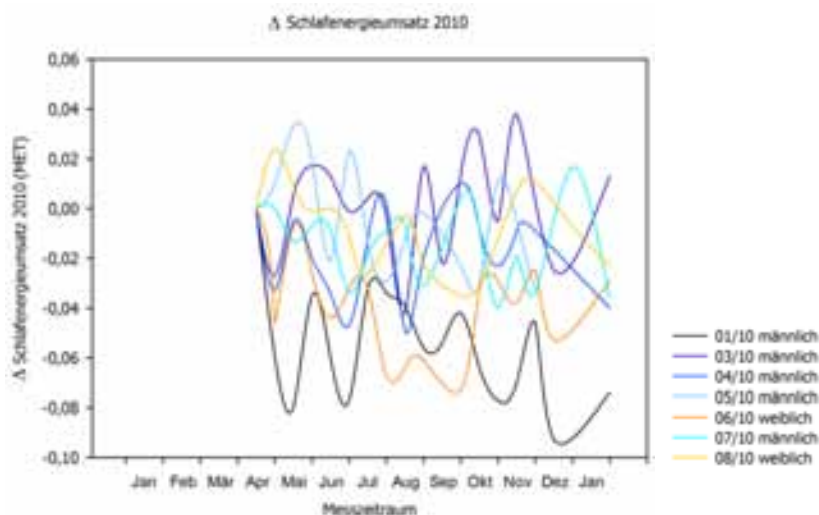


Abb. 78 Individuelle Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Schlafenergieumsatzes der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen des Schlafenergieumsatzes – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.50 | p=0.18 |

Tabelle 50 Statistische Prüfung der Veränderung des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2011



Abb. 79 Individuelle Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Schlafenergieumsatzes der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Jedoch kommt es zur Zunahme der Werte des Parameters.

Veränderungen des täglichen Energieumsatzes – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.22 | p=0.26 |

Tabelle 51 Statistische Prüfung der Veränderung des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2008

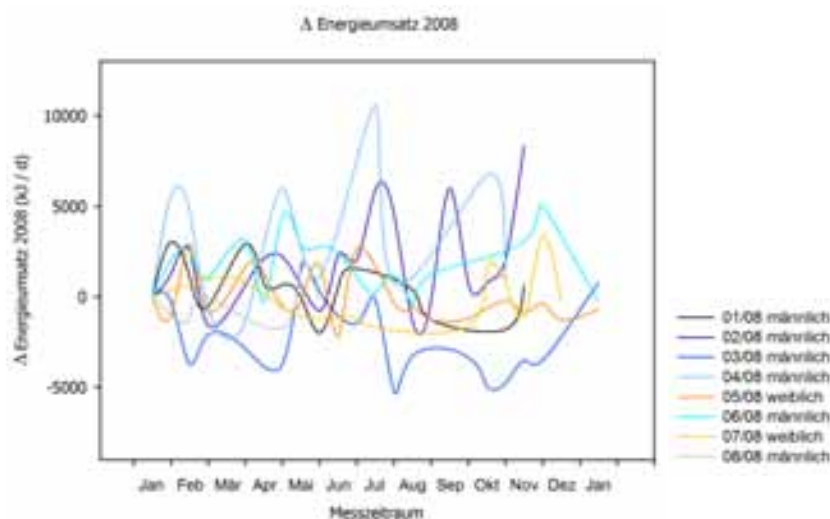


Abb. 80 Individuelle Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des täglichen Energieumsatzes der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf.

Veränderungen des täglichen Energieumsatzes – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 22.00 | p=0.46 |

Tabelle 52 Statistische Prüfung der Veränderung des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2009



Abb. 81 Individuelle Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des täglichen Energieumsatzes der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe interindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen des täglichen Energieumsatzes – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| ja | p=0.37 | Repeated Measures ANOVA | 1.48 |

Tabelle 53 Statistische Prüfung der Veränderung des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2010



Abb. 82 Individuelle Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des täglichen Energieumsatzes der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Es zeigt sich eine hohe intraindividuelle Streuung des Parameters.

Veränderungen des täglichen Energieumsatzes – Überwinterung 2011

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 8.93 |

Tabelle 54 Statistische Prüfung der Veränderung des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2011



Abb. 83 Individuelle Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2011

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des täglichen Energieumsatzes der Teilnehmer 2011 über den zeitl. Verlauf. Jedoch kommt es zur Zunahme des Parameters bei der Probandenmehrheit.

Untersuchung der Veränderungen von Hormon- und Stoffwechselfparametern

Ausgangswerte der Hormon- und Stoffwechselfparameter

| | | Probanden männlich und weiblich | | | | | | | | | |
|----------------|--------|---------------------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|--------|--|
| | | 2008 | | 2009 | | 2010 | | 2011 | | Gesamt | |
| 25-OH- | Mittel | 45.7 | Mittel | 39.2 | Mittel | 39.9 | Mittel | n/a | Mittel | 41.7 | |
| Vitamin D | Median | 43.4 | Median | 39.4 | Median | 37.1 | Median | n/a | Median | 41.1 | |
| (nmol/l) | ± SD | 14.3 | ± SD | 6.6 | ± SD | 16.0 | ± SD | n/a | ± SD | 13.0 | |
| TSH | Mittel | 1.58 | Mittel | 1.37 | Mittel | 1.80 | Mittel | n/a | Mittel | 1.59 | |
| (mIU/l) | Median | 1.50 | Median | 1.33 | Median | 1.97 | Median | n/a | Median | 1.69 | |
| | ± SD | 0.7 | ± SD | 0.4 | ± SD | 0.9 | ± SD | n/a | ± SD | 0.7 | |
| Leptin | Mittel | 8.25 | Mittel | 7.75 | Mittel | 3.45 | Mittel | n/a | Mittel | 6.43 | |
| (ng/ml) | Median | 7.82 | Median | 8.46 | Median | 2.00 | Median | n/a | Median | 5.01 | |
| | ± SD | 4.5 | ± SD | 5.0 | ± SD | 4.7 | ± SD | n/a | ± SD | 5.0 | |
| Adiponektin | Mittel | 9.24 | Mittel | 6.45 | Mittel | 8.26 | Mittel | n/a | Mittel | 8.05 | |
| (µg/ml) | Median | 8.44 | Median | 4.58 | Median | 8.76 | Median | n/a | Median | 7.65 | |
| | ± SD | 3.2 | ± SD | 3.4 | ± SD | 2.1 | ± SD | n/a | ± SD | 3.0 | |
| Erythropoietin | Mittel | 7.30 | Mittel | 9.96 | Mittel | 8.18 | Mittel | n/a | Mittel | 8.42 | |
| (mIU/ml) | Median | 6.87 | Median | 8.05 | Median | 8.61 | Median | n/a | Median | 7.66 | |
| | ± SD | 2.7 | ± SD | 5.5 | ± SD | 6.5 | ± SD | n/a | ± SD | 5.0 | |
| Ferritin | Mittel | 97.6 | Mittel | 97.3 | Mittel | 72.8 | Mittel | n/a | Mittel | 88.9 | |
| (ng/ml) | Median | 61.6 | Median | 71.4 | Median | 76.1 | Median | n/a | Median | 70.1 | |
| | ± SD | 108.9 | ± SD | 77.7 | ± SD | 40.6 | ± SD | n/a | ± SD | 78.0 | |
| sTfR | Mittel | 23.0 | Mittel | 23.0 | Mittel | 18.5 | Mittel | n/a | Mittel | 21.4 | |
| (nmol/l) | Median | 22.3 | Median | 23.8 | Median | 18.5 | Median | n/a | Median | 20.7 | |
| | ± SD | 5.4 | ± SD | 3.6 | ± SD | 3.2 | ± SD | n/a | ± SD | 4.6 | |

Tabelle 55 Übersicht der Ausgangswerte der untersuchten Hormon- und Stoffwechselfparameter

Aus Tabelle 55 gehen die unterschiedlichen Hormon- und Stoffwechselfparameter als Ausgangswerte hervor, auf die in den folgenden Analysen Bezug genommen wird. Diese Werte entstammen den erhobenen Daten zum Zeitpunkt der jeweils ersten Messung, entsprechend der Abbildung 17.

Für die Überwinterung des Jahres 2011 lagen zum Zeitpunkt der Auswertung keine verwertbaren Daten vor, so dass nur die Daten der Überwinterungen 2008 bis 2010 in diese Auswertung eingingen.

In der folgenden Tabelle 56 sind diese Ausgangswerte nach Geschlechtern getrennt dargestellt sowie hinsichtlich dieses Unterschieds statistisch miteinander verglichen worden.

Statistischer Vergleich der Ausgangswerte der Hormon- und Stoffwechselfparameter nach Geschlecht

| | | Probanden 2008-2010 | | Statistischer Vergleich |
|-----------------------------|--------|---------------------|----------|-------------------------|
| | | männlich | weiblich | Signifikanzniveau |
| 25-OH-Vitamin D (nmol/l) | Mittel | 43.4 | Mittel | p=0.30 |
| | Median | 41.1 | Median | |
| | ± SD | 13.3 | ± SD | |
| TSH (mIU/l) | Mittel | 1.51 | Mittel | p=0.40 |
| | Median | 1.33 | Median | |
| | ± SD | 0.7 | ± SD | |
| Leptin (ng/ml) | Mittel | 5.75 | Mittel | p=0.28 |
| | Median | 5.01 | Median | |
| | ± SD | 3.9 | ± SD | |
| Adiponektin (µg/ml) | Mittel | 7.21 | Mittel | p=0.44 † |
| | Median | 7.36 | Median | |
| | ± SD | 2.4 | ± SD | |
| Erythropoietin (mIU/ml) | Mittel | 8.13 | Mittel | p=0.74 † |
| | Median | 7.66 | Median | |
| | ± SD | 4.2 | ± SD | |
| Ferritin (ng/ml) | Mittel | 107.0 | Mittel | p=0.0048 † |
| | Median | 75.3 | Median | |
| | ± SD | 83.0 | ± SD | |
| sTfR (nmol/l) | Mittel | 21.3 | Mittel | p=0.87 |
| | Median | 19.7 | Median | |
| | ± SD | 4.8 | ± SD | |

Tabelle 56 Übersicht der Ausgangswerte der untersuchten Hormon- und Stoffwechselfparameter getrennt nach Geschlecht und dem statistischen Vergleich hinsichtlich des Geschlechts. Der statistische Vergleich wurde mit dem T-Test für unabhängige Stichproben vergleichbarer Varianzen durchgeführt, nachdem der F-Test für alle untersuchten Parameter der Tabelle vergleichbare Varianzen dargestellt hatte (Unterschied der Varianzen nicht signifikant, $p > 0.05$); für die mit † markierten Tests wurde der Welch-Test für unabhängige Stichproben unterschiedlicher Varianzen durchgeführt, nachdem der F-Test für diese untersuchten Parameter der Tabelle unterschiedliche Varianzen dargestellt hatte (Unterschied der Varianzen signifikant, $p < 0.05$)

Hinsichtlich des unterschiedlichen Geschlechts als Einflussgröße lässt sich allein für den Parameter Ferritin ein statistisch signifikanter Unterschied darstellen. Für alle weiteren Parameter lässt sich kein signifikanter geschlechtsbezogener Unterschied der Ausgangswerte feststellen.

Veränderungen der 25-OH-Vitamin D-Konzentrationen – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 7.71 | p<0.001 |

Tabelle 57 Statistische Prüfung der Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

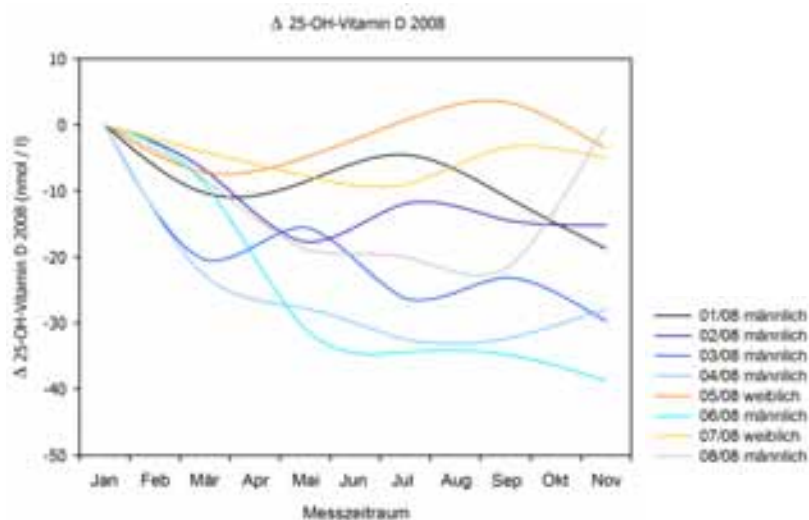


Abb. 84 Individuelle Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der 25-OH-Vitamin D-Konzentrationen der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Bei der Mehrheit der Teilnehmer kommt es auch bei den Endwerten zu keiner Zunahme der Vitamin D-Konzentrationen.

Veränderungen der 25-OH-Vitamin D-Konzentrationen – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 28.08 | p<0.001 |

Tabelle 58 Statistische Prüfung der Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

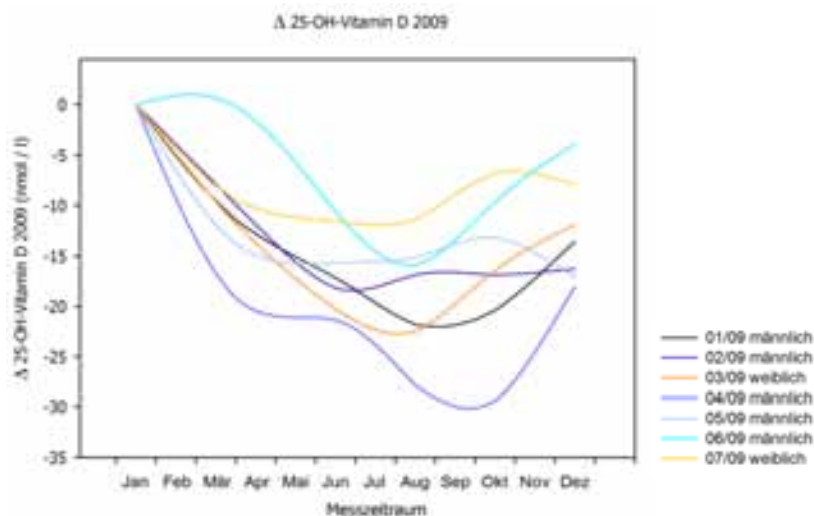


Abb. 85 Individuelle Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der 25-OH-Vitamin D-Konzentrationen der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Die Verläufe zeigen ein gleichsinniges Verhalten.

Veränderungen der 25-OH-Vitamin D-Konzentrationen – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 33.71 | p<0.001 |

Tabelle 59 Statistische Prüfung der Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

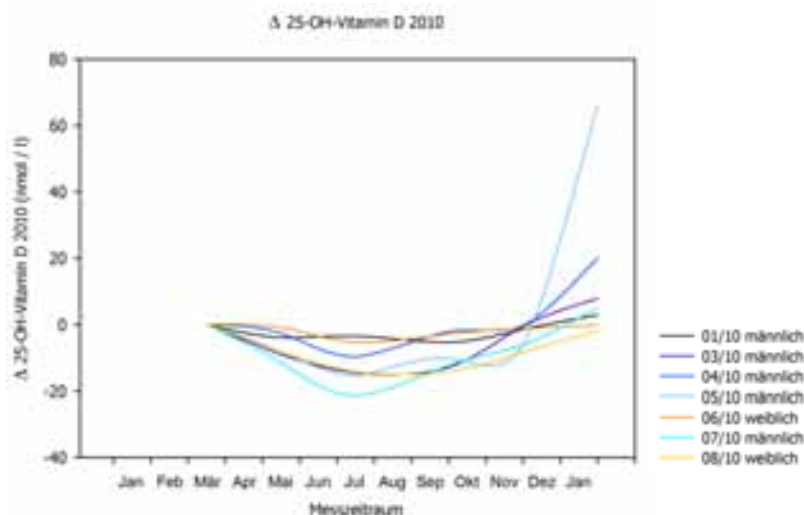


Abb. 86 Individuelle Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der 25-OH-Vitamin D-Konzentrationen der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Die Endwerte erreichen wieder das Ausgangsniveau.

Veränderungen der TSH-Konzentrationen – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 3.65 | p=0.01 |

Tabelle 60 Statistische Prüfung der Veränderungen der TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

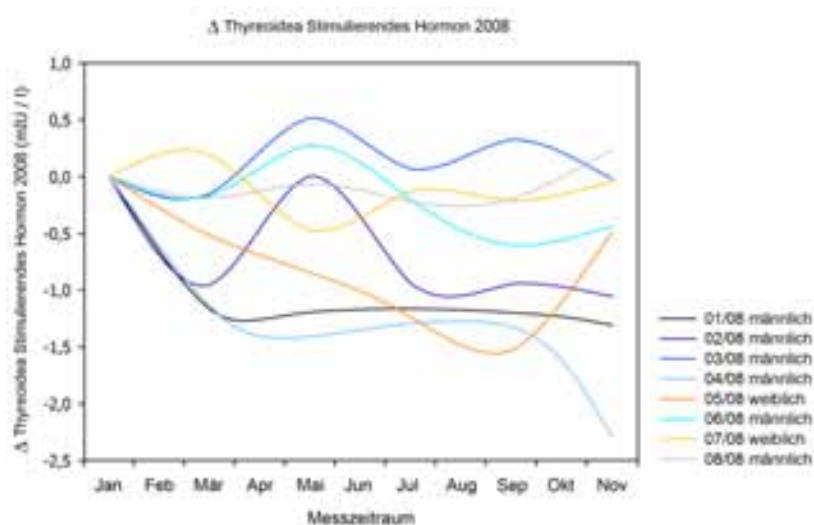


Abb. 87 Individuelle Veränderungen der TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der TSH-Konzentrationen der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Die Verläufe sind uneinheitlich; die Endwerte der Probandenmehrheit bleiben z. T. weit unter dem Ausgangsniveau.

Veränderungen der TSH-Konzentrationen – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 2.55 | p=0.049 |

Tabelle 61 Statistische Prüfung der Veränderungen TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

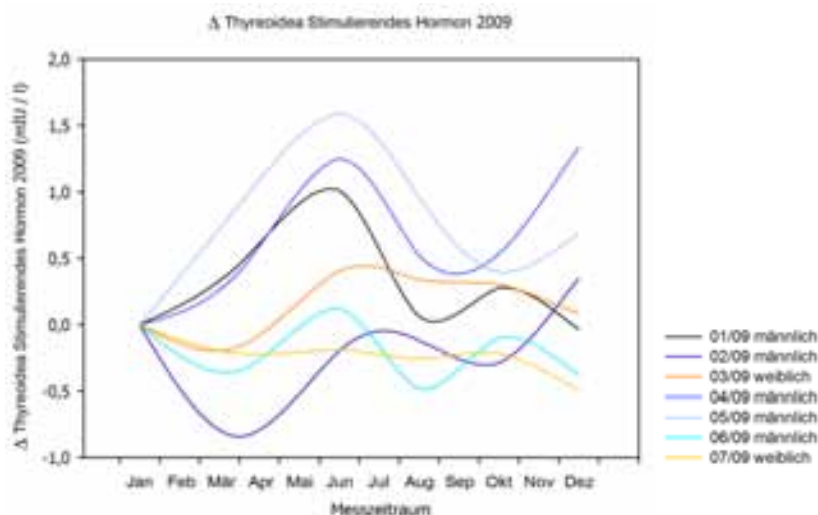


Abb. 88 Individuelle Veränderungen der TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der TSH-Konzentrationen der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es zeigen sich uneinheitliche Verläufe mit einer Zunahme der Werte der Probandenmehrheit über weite Teile des Überwinterungszeitraumes.

Veränderungen der TSH-Konzentrationen – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.52 | p=0.21 |

Tabelle 62 Statistische Prüfung der Veränderungen TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

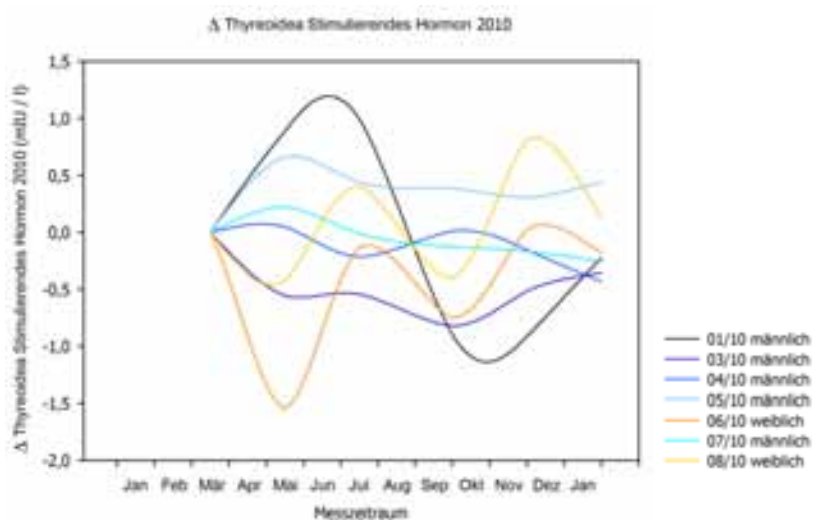


Abb. 89 Individuelle Veränderungen der TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der TSH-Konzentrationen der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Es zeigen sich uneinheitliche Verläufe des Parameters.

Veränderungen der Leptin-Konzentrationen – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 5.57 | p=0.35 |

Tabelle 63 Statistische Prüfung der Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

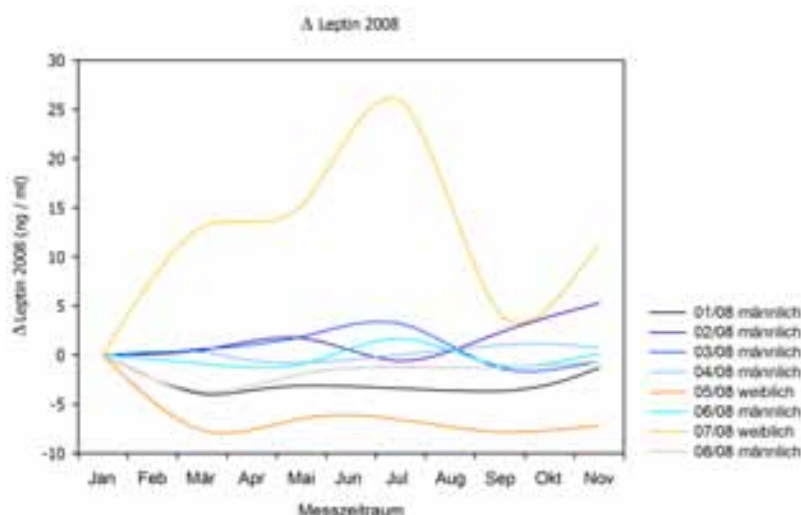


Abb. 90 Individuelle Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Leptin-Konzentrationen der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Die Probandenmehrheit, bis auf Teilnehmerin 07/08, zeigt eine Abnahme des Parameters über den Großteil des zeitlichen Verlaufs der Überwinterung.

Veränderungen der Leptin-Konzentrationen – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.19 | p=0.34 |

Tabelle 64 Statistische Prüfung der Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

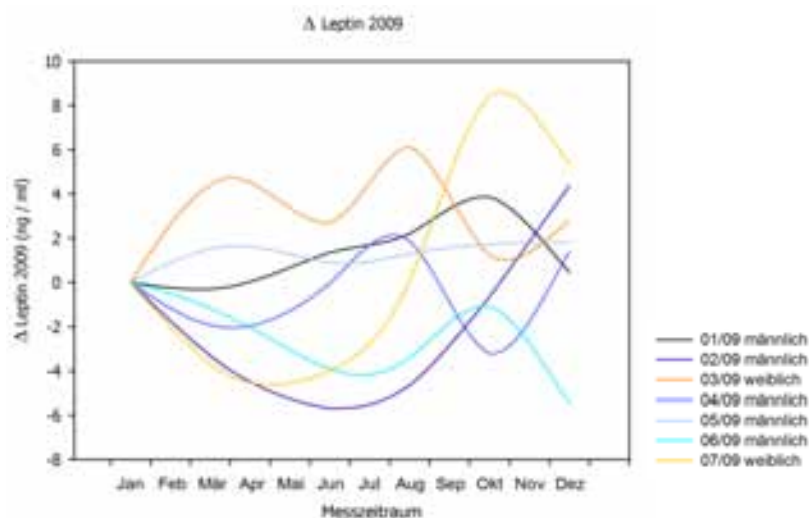


Abb. 91 Individuelle Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Leptin-Konzentrationen der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Die Mehrheit der Endwerte zeigt jedoch eine Zunahme.

Veränderungen der Leptin-Konzentrationen – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 6.14 | p=0.29 |

Tabelle 65 Statistische Prüfung der Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

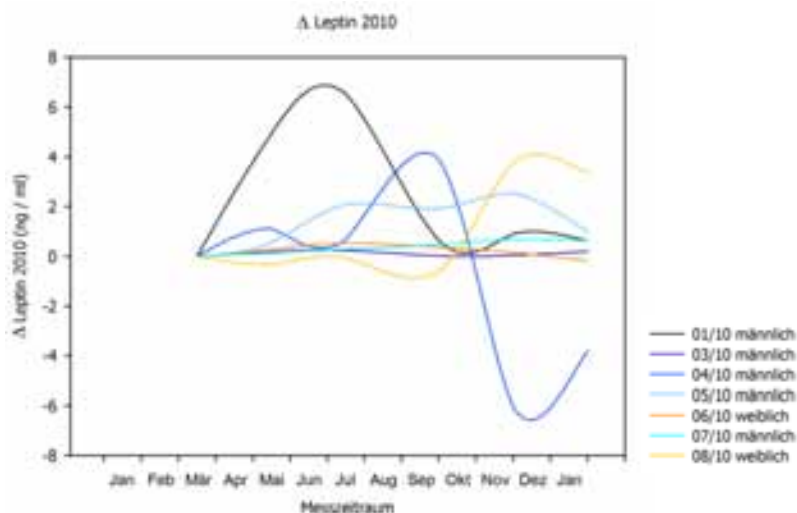


Abb. 92 Individuelle Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Leptin-Konzentrationen der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Die Mehrheit der Verläufe zeigt nur geringe Veränderungen.

Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 3.33 | p=0.65 |

Tabelle 66 Statistische Prüfung der Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

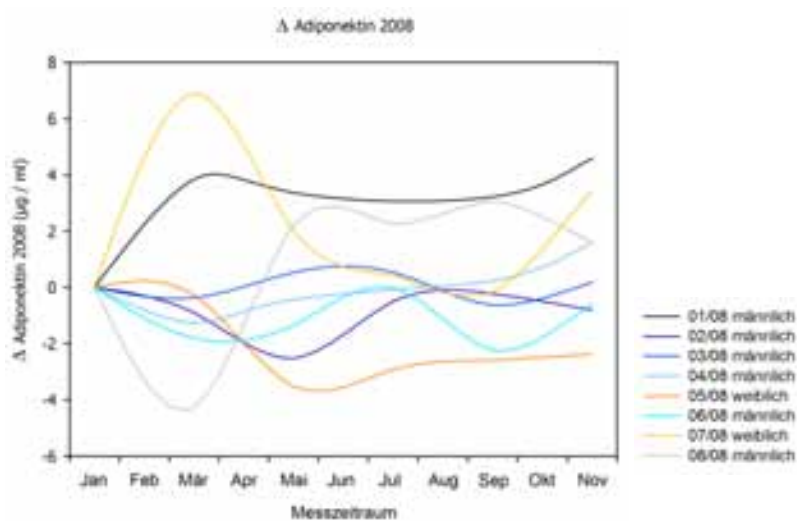


Abb. 93 Individuelle Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Adiponektin-Konzentrationen der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Die Verläufe sind uneinheitlich.

Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 11.57 | p=0.041 |

Tabelle 67 Statistische Prüfung der Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

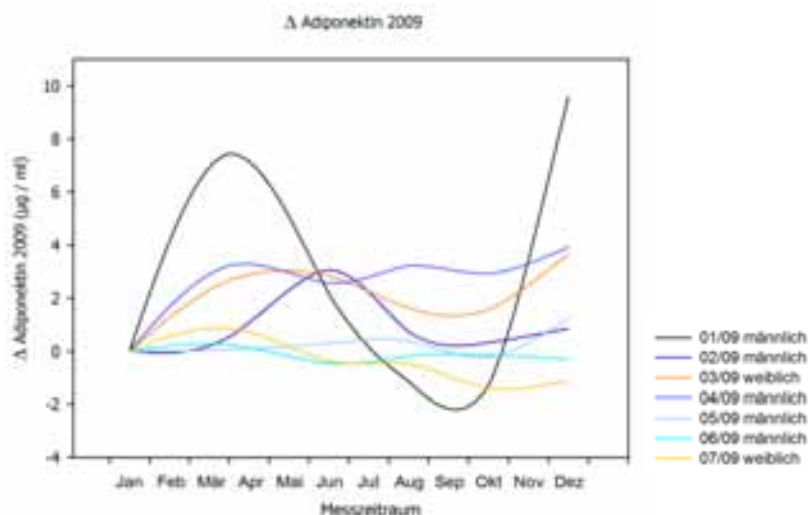


Abb. 94 Individuelle Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der Adiponektin-Konzentrationen der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Es ist eine Zunahme der Werte zu verzeichnen.

Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 1.26 | p=0.30 |

Tabelle 68 Statistische Prüfung der Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

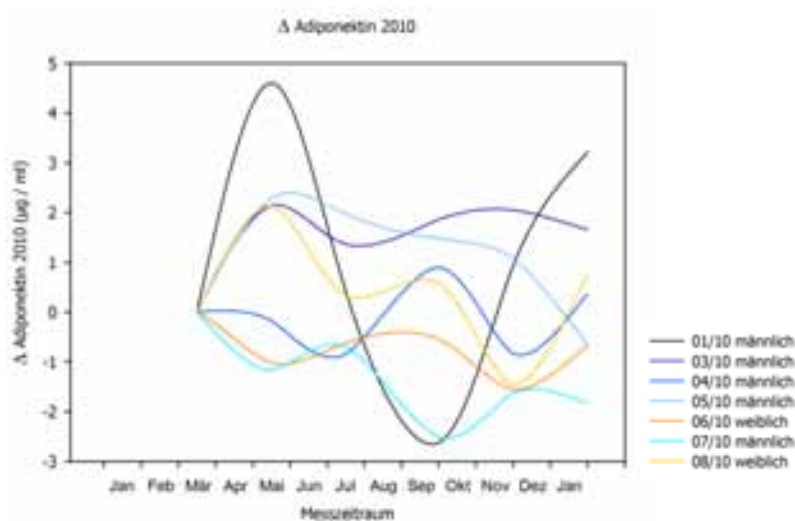


Abb. 95 Individuelle Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Adiponektin-Konzentrationen der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Die Verläufe sind uneinheitlich.

Veränderungen der Erythropoietin-Konzentrationen – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 4.93 |
| | | | p=0.42 |

Tabelle 69 Statistische Prüfung der Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

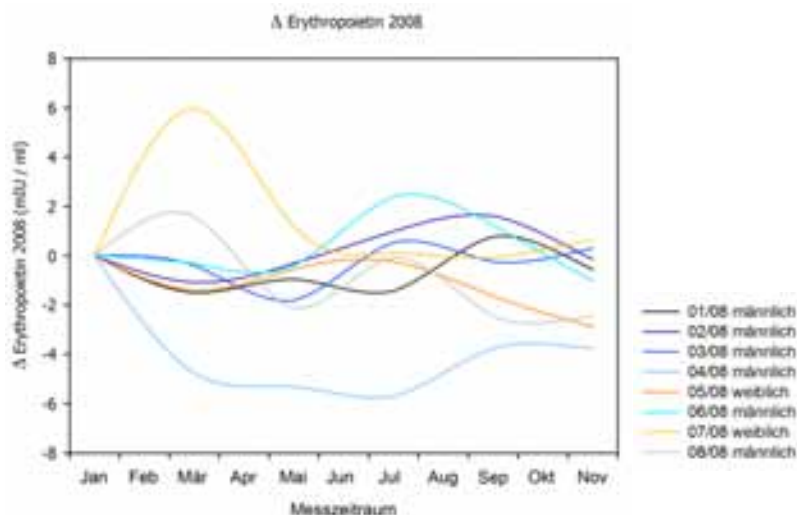


Abb. 96 Individuelle Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Erythropoietin-Konzentrationen der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Die Mehrheit zeigt ein gleichsinniges Verhalten.

Veränderungen der Erythropoietin-Konzentrationen – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| nein | p<0.05 | Friedman RM ANOVA on Ranks | 7.05 |
| | | | p=0.22 |

Tabelle 70 Statistische Prüfung der Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

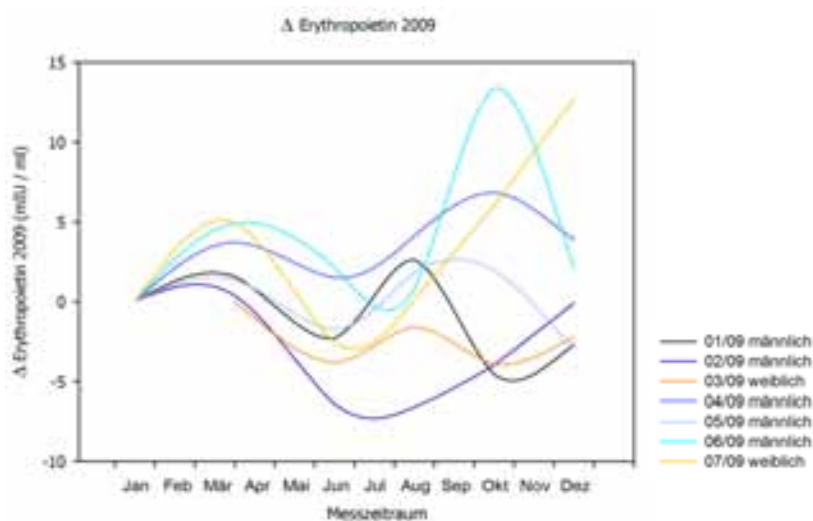


Abb. 97 Individuelle Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Erythropoietin-Konzentrationen der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Insbesondere zu Beginn zeigen die Verläufe eine gleichsinnige Entwicklung.

Veränderungen der Erythropoietin-Konzentrationen – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 0.24 | p=0.94 |

Tabelle 71 Statistische Prüfung der Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

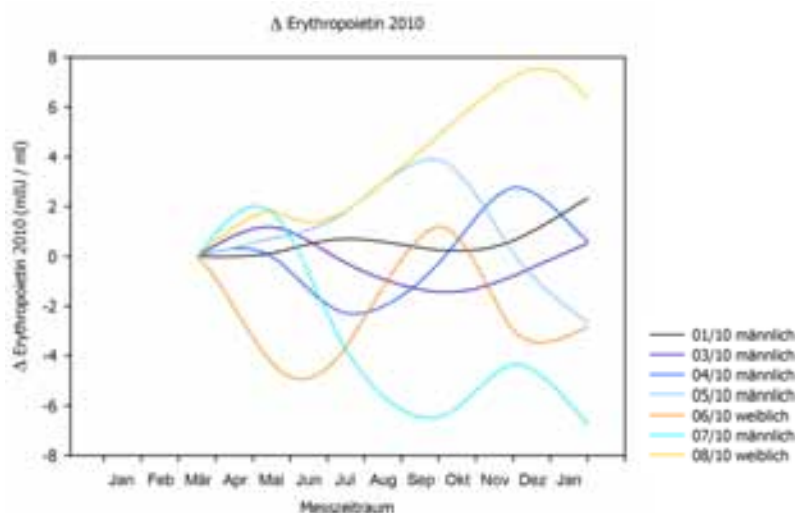


Abb. 98 Individuelle Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Erythropoietin-Konzentrationen der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Die interindividuelle Streuung steigt zum Ende hin stetig an.

Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | χ^2 -Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| nein | Friedman RM ANOVA on Ranks | 3.29 | p=0.66 |

Tabelle 72 Statistische Prüfung der Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

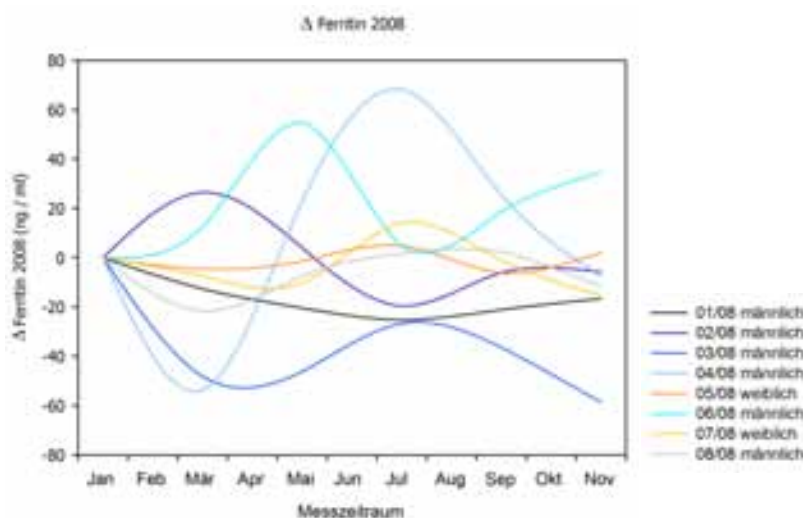


Abb. 99 Individuelle Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Ferritin-Konzentrationen der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Die Verläufe zeigen ein uneinheitliches Verhalten.

Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 2.00 | p=0.11 |

Tabelle 73 Statistische Prüfung der Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

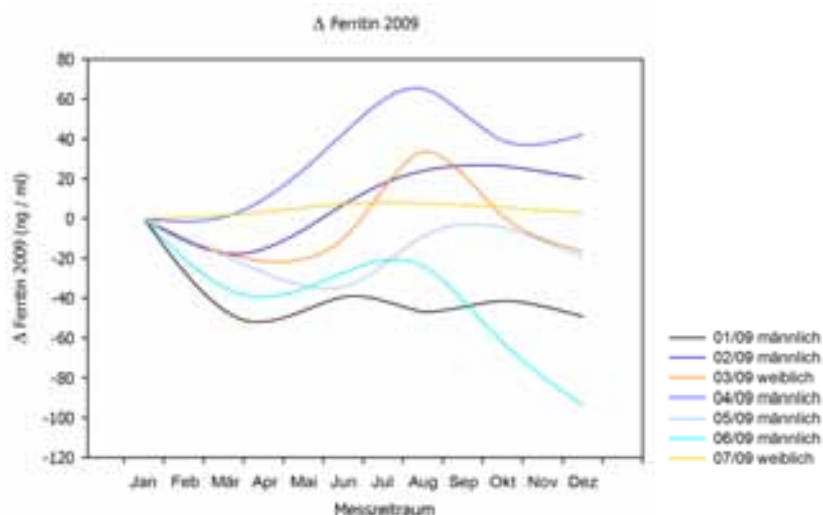


Abb. 100 Individuelle Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Ferritin-Konzentrationen der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Bis zur zeitlichen Mitte zeigen die Verläufe gleichsinniges Verhalten. Die interindividuelle Streuung steigt zum Ende hin an.

Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 0.92 | p=0.48 |

Tabelle 74 Statistische Prüfung der Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

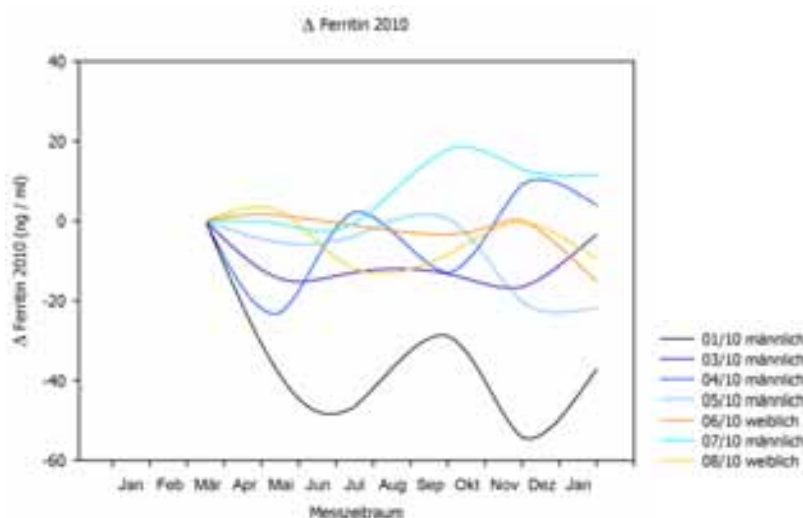


Abb. 101 Individuelle Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Ferritin-Konzentrationen der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Die interindividuelle Streuung steigt zum Ende hin an.

Veränderungen der sTfR-Konzentrationen – Überwinterung 2008

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| ja | p=0.54 | Repeated measures ANOVA | 2.66 |
| | | | p=0.039 |

Tabelle 75 Statistische Prüfung der Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

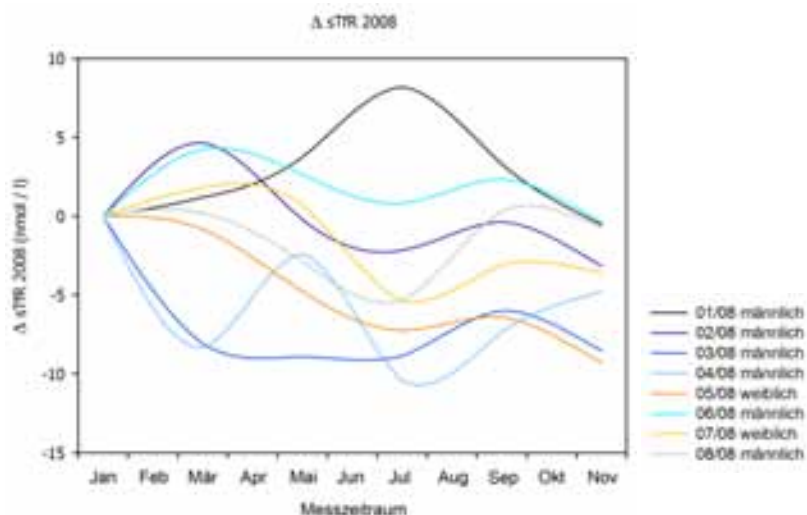


Abb. 102 Individuelle Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der sTfR-Konzentrationen der Teilnehmer 2008 über den zeitl. Verlauf. Es ist bei allen Teilnehmern eine Abnahme der Endwerte zu verzeichnen.

Veränderungen der sTfR-Konzentrationen – Überwinterung 2009

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| ja | p=0.30 | Repeated Measures ANOVA | 0.75 |
| | | | p=0.59 |

Tabelle 76 Statistische Prüfung der Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

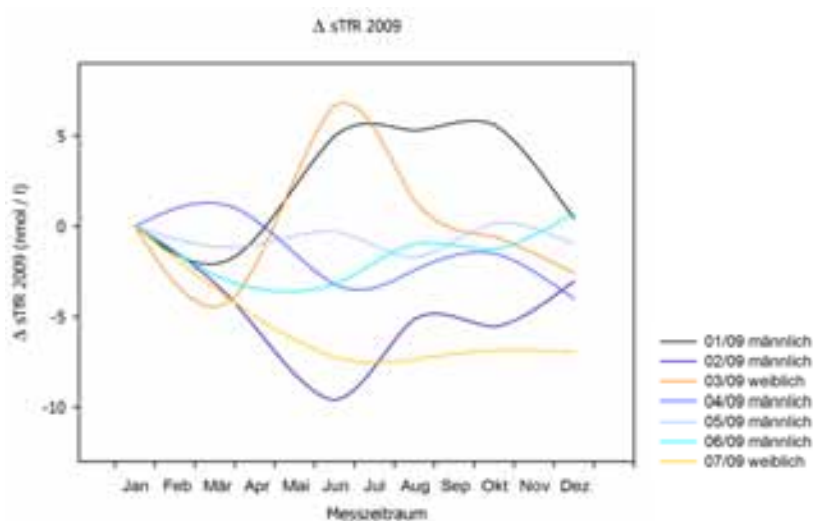


Abb. 103 Individuelle Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der sTfR-Konzentrationen der Teilnehmer 2009 über den zeitl. Verlauf. Die Verläufe sind uneinheitlich.

Veränderungen der sTfR-Konzentrationen – Überwinterung 2010

| Normalverteilung (Shapiro-Wilk) | Durchgeführter Test | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| ja | Repeated Measures ANOVA | 2.17 | p=0.08 |

Tabelle 77 Statistische Prüfung der Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

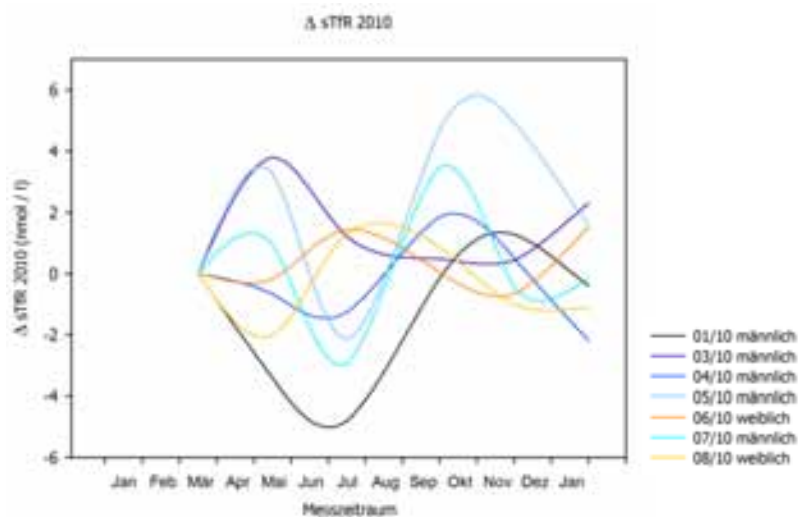


Abb. 104 Individuelle Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der sTfR-Konzentrationen der Teilnehmer 2010 über den zeitl. Verlauf. Die Verläufe sind uneinheitlich mit einer gleichsinnigen Zunahme der Werte der Probandenmehrheit um die Mitte des Überwinterungszeitraums.

3.3 Untersuchung von Veränderungen während der Überwinterungen durch Kombination aller Staffeln

Untersuchung der Veränderungen der Körperzusammensetzung

Veränderungen des Körpergewichts – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 31 | 0.30 | p=0.74 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 22 vs. 9 | 13.84 | p=0.001 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 22 | 0.30 | p=0.74 |
| | ♀ | 9 | 1.10 | p=0.36 |

Tabelle 78 Statistische Prüfung der Veränderungen des Körpergewichts über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

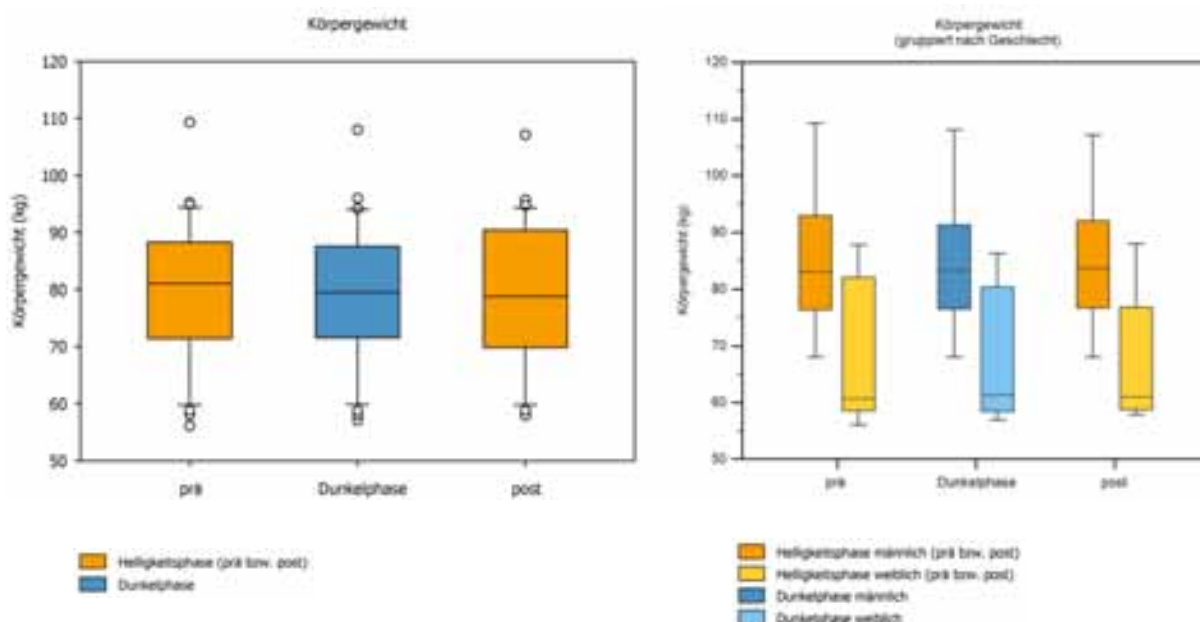


Abb. 105 Boxplots der Veränderungen des Körpergewichts über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 106 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Körpergewichts aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern, analog zu den gemessenen Ausgangswerten. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine geringe Abnahme des Parameters über den Verlauf der drei Phasen mit Zunahme der Streubreite. Es zeigt sich ein geringradiger Anstieg des Parameters bei den weiblichen Teilnehmern zur Dunkelphase hin.

Veränderungen der fettfreien Masse – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 30 | 2.77 | p=0.071 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 21 vs. 9 | 34.06 | p<0.001 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 21 | 2.48 | p=0.10 |
| | ♀ | 9 | 0.62 | p=0.55 |

Tabelle 79 Statistische Prüfung der Veränderungen der fettfreien Masse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

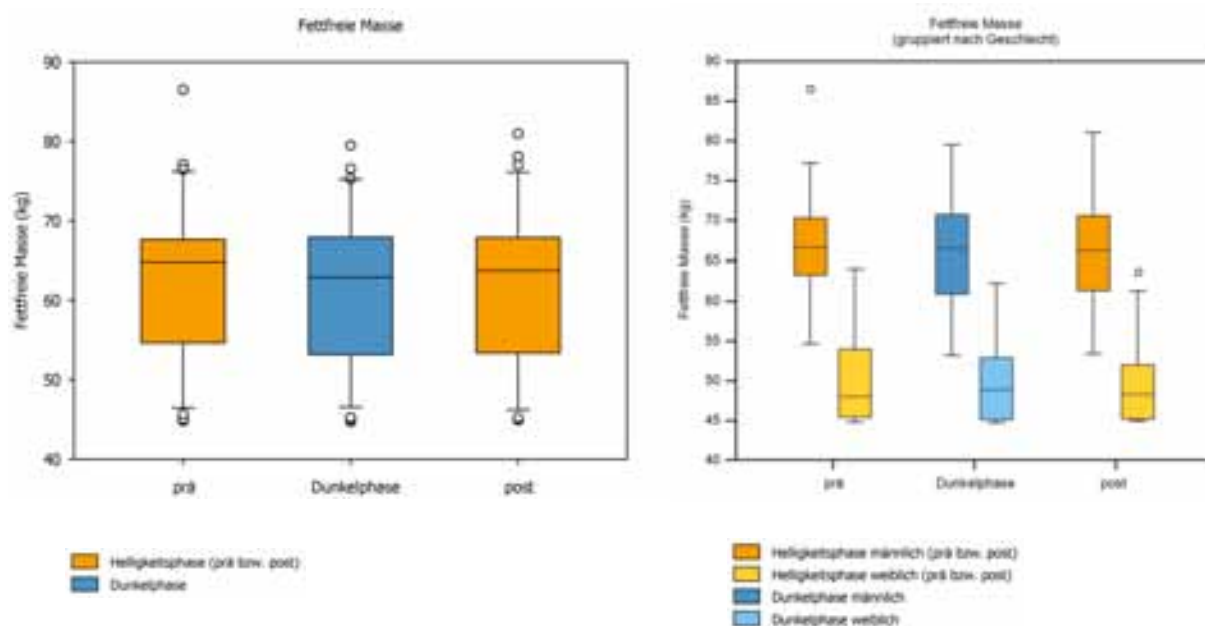


Abb. 107 Boxplots der Veränderungen der fettfreien Masse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 108 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der fettfreien Masse aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen, wobei das Signifikanzniveau nur unweit von einem statistisch signifikanten Wert entfernt liegt. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern, analog zu den gemessenen Ausgangswerten. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine geringe Abnahme des Parameters zur Dunkelphase mit einem Wiederanstieg zur anschließenden Heiligkeitsphase. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich dabei eine Zunahme des Parameters bei den Frauen zur Dunkelphase und ein Wiederabfall zur Heiligkeitsphase, während die Werte für die Männer weitgehend stabil bleiben, jedoch in der Streuung zunehmen.

Veränderungen der Fettmasse – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 30 | 0.66 | p=0.52 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 21 vs. 9 | 0.0003 | p=0.987 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 21 | 1.35 | p=0.27 |
| | ♀ | 9 | 0.49 | p=0.62 |

Tabelle 80 Statistische Prüfung der Veränderungen der Fettmasse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

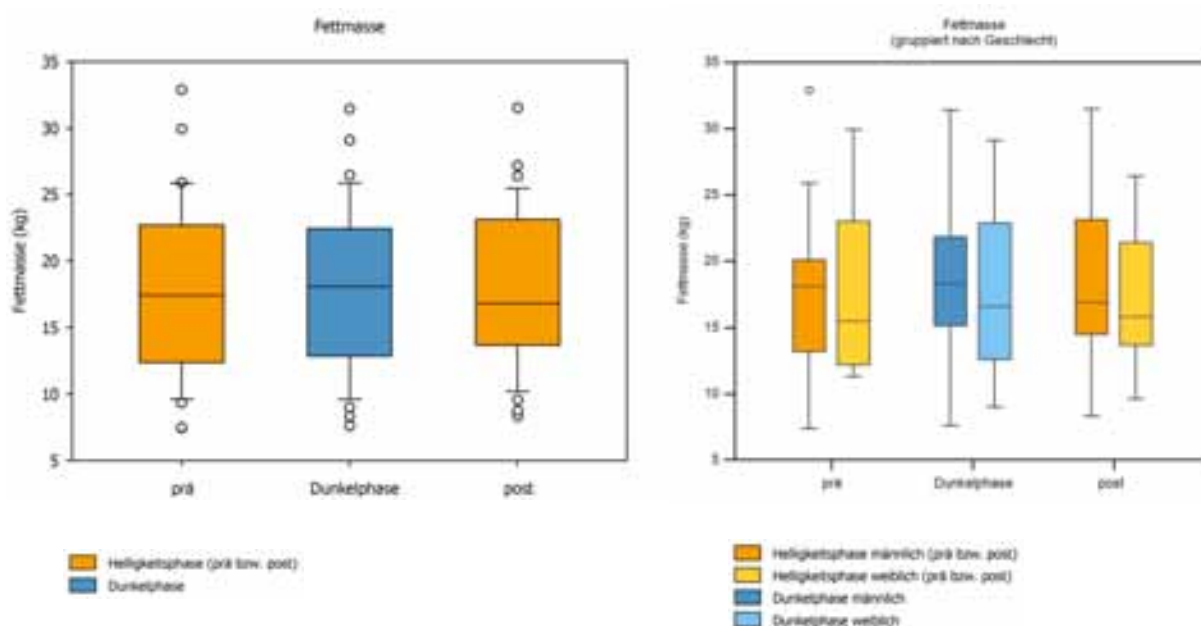


Abb. 109 Boxplots der Veränderungen der Fettmasse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 110 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Fettmasse aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine geringe Zunahme des Parameters zur Dunkelphase mit einem Wiederabfall zur anschließenden Helligkeitsphase. Innerhalb der Geschlechtergruppen zeigt sich ein geringer Anstieg zur Dunkelphase mit Wiederabfall zur Helligkeitsphase bei den Männern und ein Anstieg zur Dunkelphase mit geringerem Wiederabfall zur Helligkeitsphase bei den Frauen.

Veränderungen der Körperzellmasse – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 30 | 0.69 | p=0.50 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 21 vs. 9 | 104.05 | p<0.001 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 21 | 0.68 | p=0.51 |
| | ♀ | 9 | 0.27 | p=0.77 |

Tabelle 81 Statistische Prüfung der Veränderungen der Körperzellmasse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

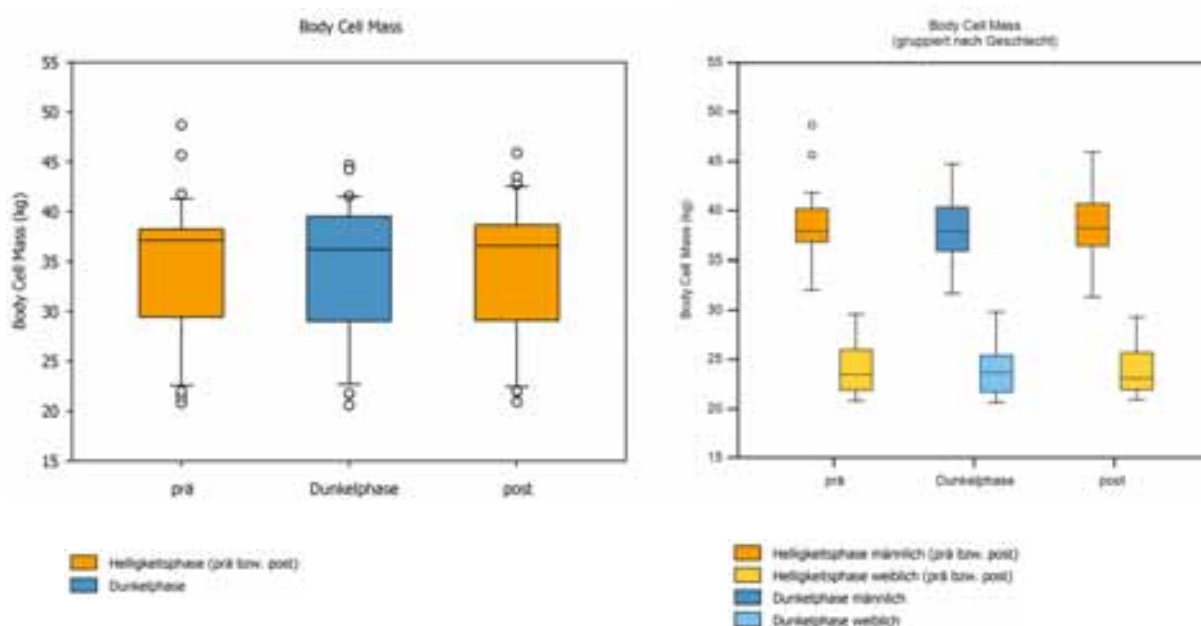


Abb. 111 Boxplots der Veränderungen der Körperzellmasse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 112 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Körperzellmasse aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern, analog zu den gemessenen Ausgangswerten. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine geringe Abnahme des Parameters zur Dunkelphase mit einem Wiederanstieg zur anschließenden Helligkeitsphase. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich eine Abnahme des Parameters bei den Männern zur Dunkelphase und Wiederanstieg zur Helligkeitsphase, während die Werte für die Frauen zur Dunkelphase zunehmen und anschließend wieder abfallen.

Veränderungen des Gesamtkörperwassers – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 30 | 2.80 | p=0.08 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 21 vs. 9 | 36.50 | p<0.001 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 21 | 2.74 | p=0.08 |
| | ♀ | 9 | 0.46 | p=0.64 |

Tabelle 82 Statistische Prüfung der Veränderungen des Gesamtkörperwassers über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

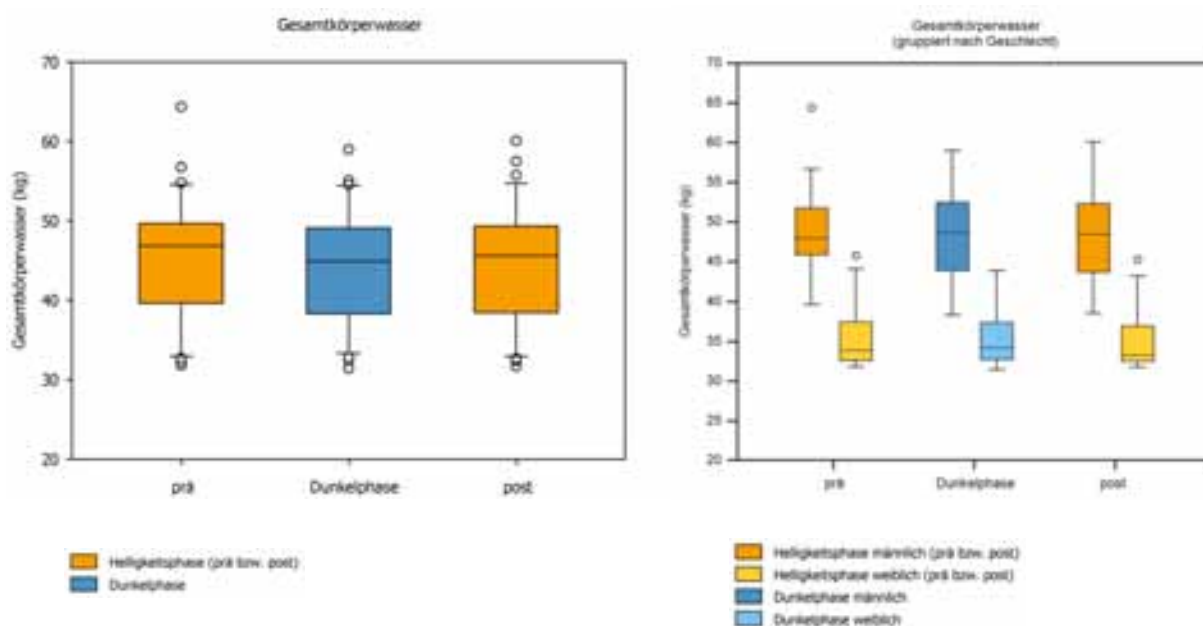


Abb. 113 Boxplots der Veränderungen des Gesamtkörperwassers über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 114 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Gesamtkörperwassers aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen, wobei das Signifikanzniveau nur unweit von einem statistisch signifikanten Wert entfernt liegt. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern, analog zu den gemessenen Ausgangswerten. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine geringe Abnahme des Parameters zur Dunkelphase mit einem Wiederanstieg zur anschließenden Heiligkeitsphase. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich eine Zunahme des Parameters bei den Frauen zur Dunkelphase und Wiederabfall zur Heiligkeitsphase, während die Werte für die Männer ansteigen und dann stabil bleiben, jedoch in der Streuung zunehmen.

Untersuchung der Veränderungen von Schlaf- und Aktivitätsparametern

Veränderungen der Liegedauer – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 29 | 0.06 | p=0.94 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 20 vs. 9 | 4.86 | p=0.036 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 20 | 0.14 | p=0.87 |
| | ♀ | 9 | 0.08 | p=0.93 |

Tabelle 83 Statistische Prüfung der Veränderungen der Liegedauer über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

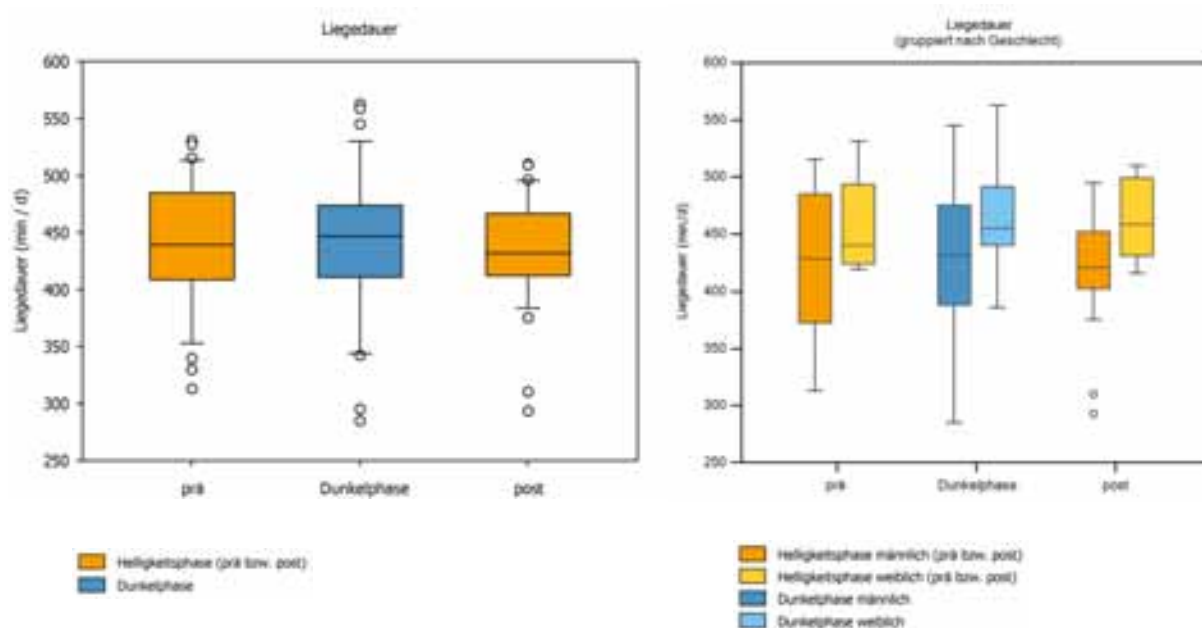


Abb. 115 Boxplots der Veränderungen der Liegedauer über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 116 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Liegedauer aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern, mit einer höheren Liegedauer für die weiblichen Teilnehmer über alle drei Überwinterungsphasen hinweg. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine Zunahme des Parameters zur Dunkelphase mit einem Wiederabfall zur anschließenden Helligkeitsphase. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme des Parameters bei den Frauen, während die Werte für die Männer zur Dunkelphase ansteigen und zur anschließenden Helligkeitsphase wieder abfallen.

Veränderungen der Schlafdauer – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 29 | 1.13 | p=0.33 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 20 vs. 9 | 2.47 | p=0.13 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 20 | 0.60 | p=0.56 |
| | ♀ | 9 | 0.71 | p=0.51 |

Tabelle 84 Statistische Prüfung der Veränderungen der Schlafdauer über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

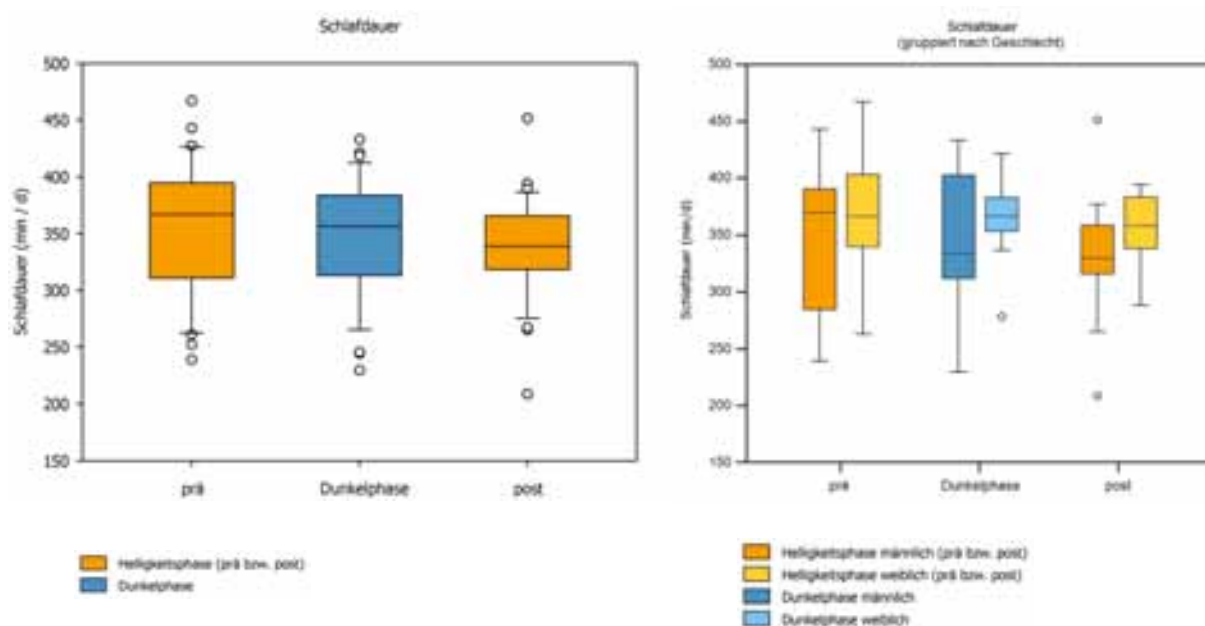


Abb. 117 Boxplots der Veränderungen der Schlafdauer über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 118 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafdauer aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine kontinuierliche Abnahme des Parameters über die drei Überwinterungsphasen. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich keine Änderung des Parameters bei den Frauen zur Dunkelphase und einem Abfall zur Helligkeitsphase, während die Werte für die Männer zur Dunkelphase abfallen und zur anschließenden Helligkeitsphase weitgehend stabil bleiben.

Veränderungen der Schlafeffizienz – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 29 | 1.17 | p=0.32 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 20 vs. 9 | 0.18 | p=0.67 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 20 | 0.38 | p=0.69 |
| | ♀ | 9 | 1.56 | p=0.24 |

Tabelle 85 Statistische Prüfung der Veränderungen der Schlafeffizienz über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

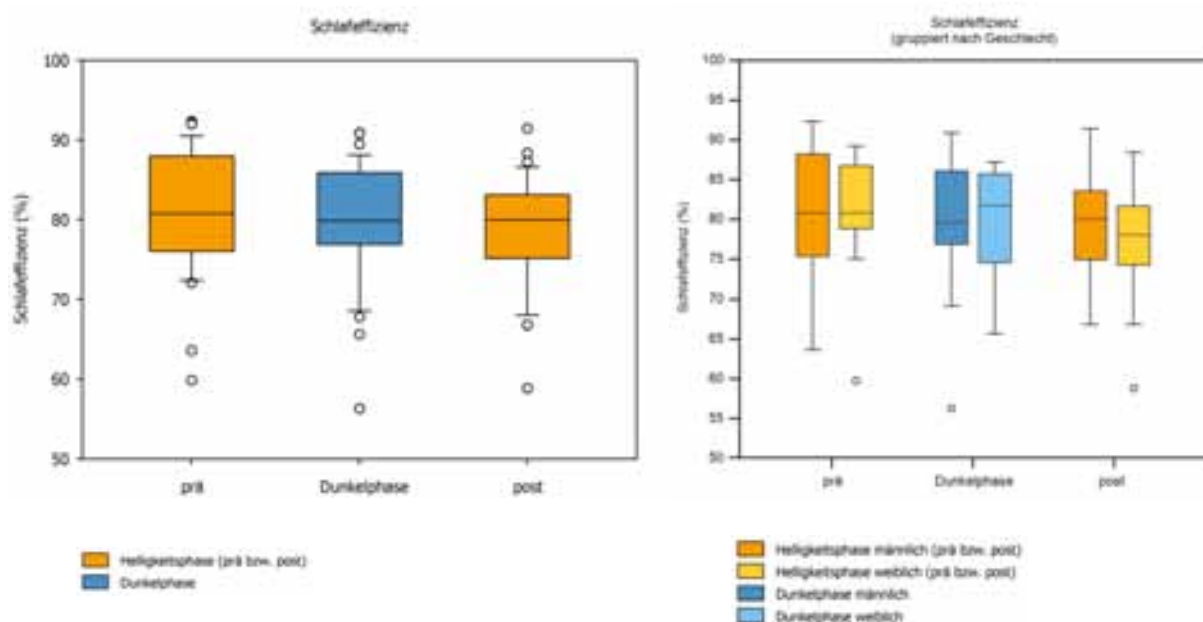


Abb. 119 Boxplots der Veränderungen der Schlafeffizienz über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 120 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafeffizienz aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine Abnahme des Parameters zur Dunkelphase mit einem weitgehend stabilen Verlauf zur anschließenden Helligkeitsphase. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich eine Zunahme des Parameters bei den Frauen zur Dunkelphase und anschließendem Abfall, während die Werte für die Männer zur Dunkelphase abfallen und zur anschließenden Helligkeitsphase wieder ansteigen. Während der Dunkelphase liegen die Werte der Frauen über denen der Männer, was sich in der zweiten Helligkeitsphase umkehrt.

Veränderungen der Schlafragmentierung – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 29 | 1.68 | p=0.20 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 20 vs. 9 | 0.60 | p=0.44 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 20 | 0.96 | p=0.39 |
| | ♀ | 9 | 1.32 | p=0.30 |

Tabelle 86 Statistische Prüfung der Veränderungen der Schlafragmentierung über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

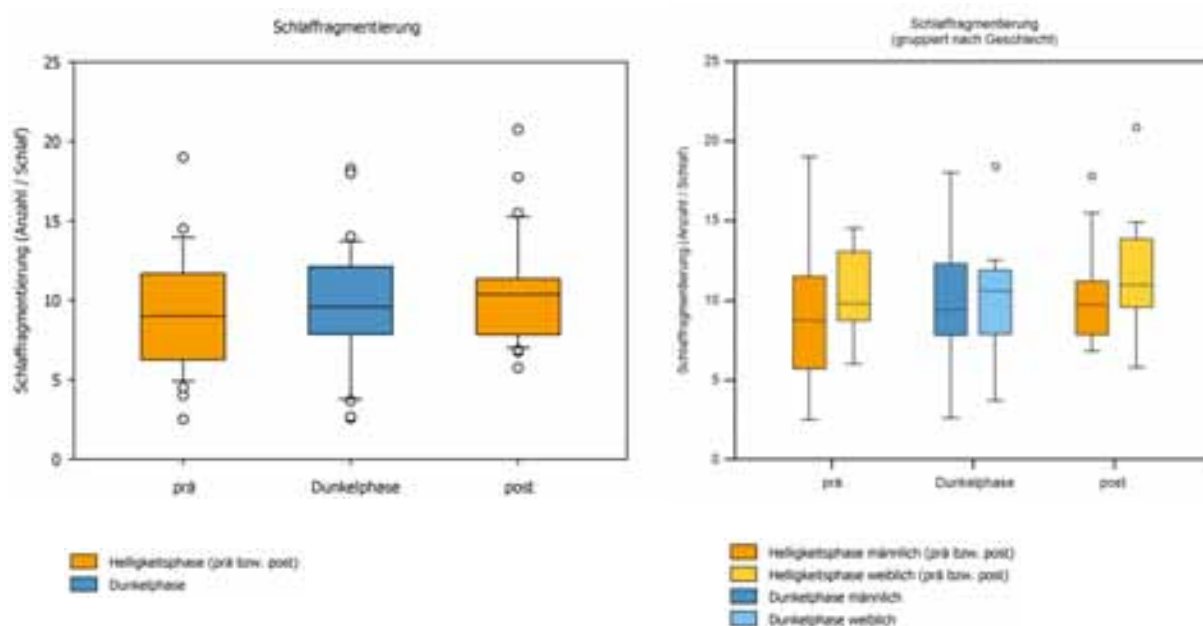


Abb. 121 Boxplots der Veränderungen der Schlafragmentierung über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 122 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlafragmentierung aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme des Parameters über die drei Überwinterungsphasen. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich bei beiden Geschlechtergruppen eine kontinuierliche Zunahme über die drei Überwinterungsphasen, wobei in allen drei Phasen die Werte der weiblichen Teilnehmer über denen der männlichen Probanden liegen.

Veränderungen des Schlafenergieumsatzes – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 29 | 0.68 | p=0.51 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 20 vs. 9 | 0.009 | p=0.93 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 20 | 2.03 | p=0.15 |
| | ♀ | 9 | 1.42 | p=0.27 |

Tabelle 87 Statistische Prüfung der Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

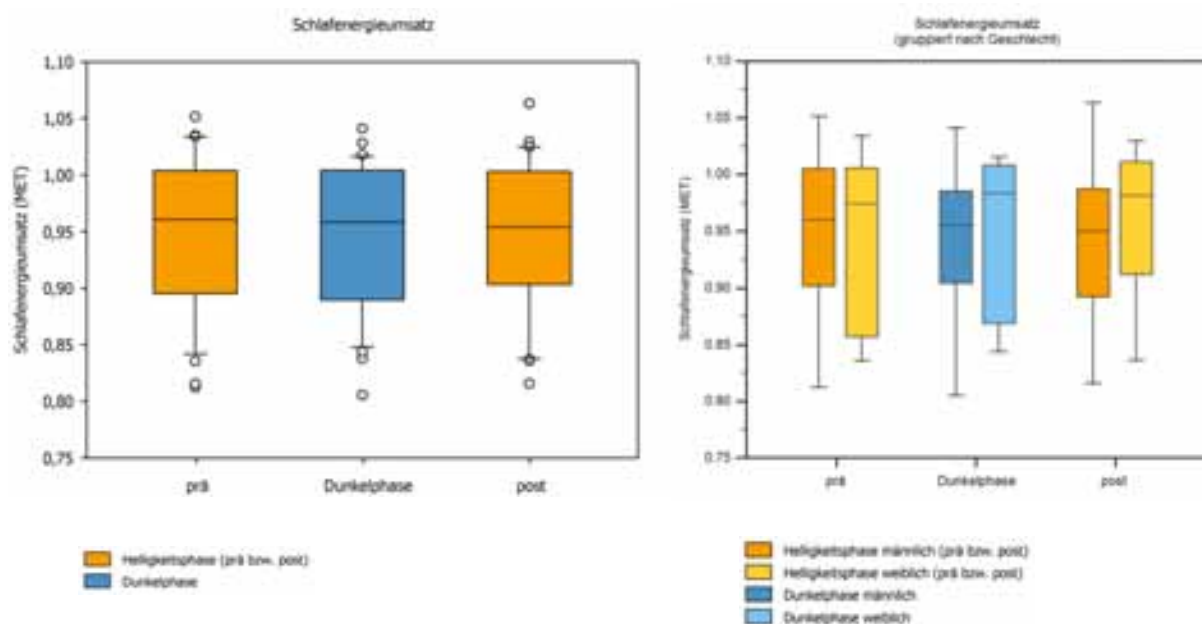


Abb. 123 Boxplots der Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 124 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung des Schlafenergieumsatzes aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Es zeigt sich ein weitgehend stabiler Verlauf über die drei Überwinterungsphasen. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme des Parameters bei den Frauen, während die Werte für die Männer einen geringradigen Abfall zeigen.

Veränderungen des täglichen Energieumsatzes – 2008-2011

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 29 | 2.91 | p=0.063 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 20 vs. 9 | 35.10 | p<0.001 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 20 | 1.43 | p=0.25 |
| | ♀ | 9 | 2.36 | p=0.13 |

Tabelle 88 Statistische Prüfung der Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 mit Einfluss des Geschlechts

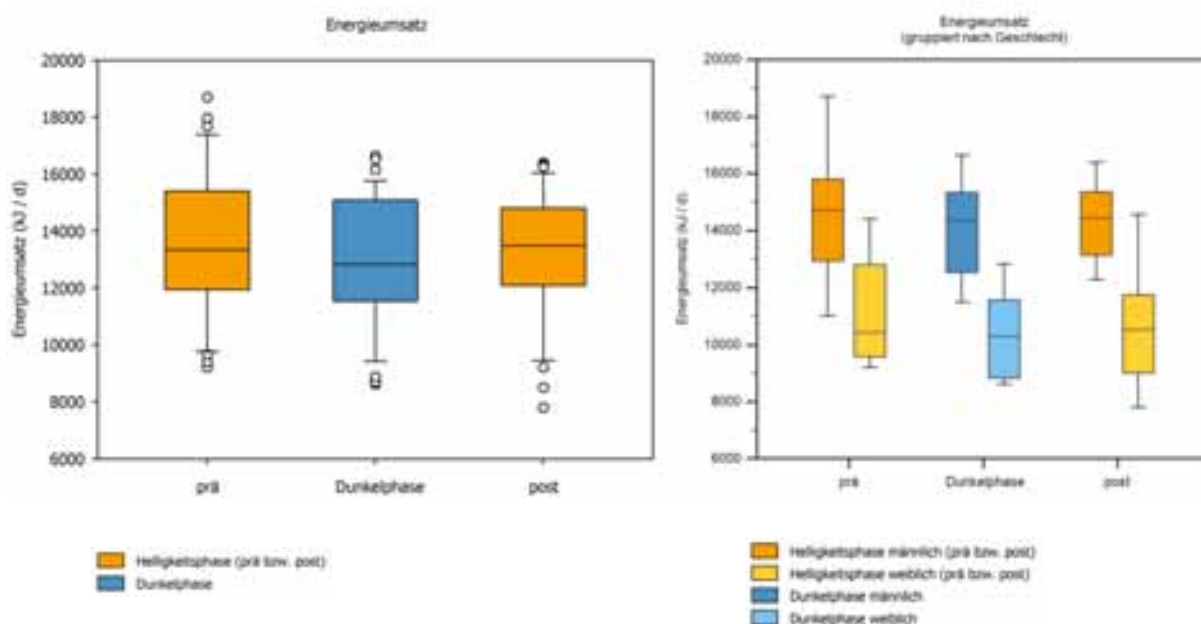


Abb. 125 Boxplots der Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 126 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Schlaffeffizienz aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen, wobei das Signifikanzniveau nur unweit von einem statistisch signifikanten Wert entfernt liegt. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine Abnahme des Parameters zur Dunkelphase mit einem Wiederanstieg zur anschließenden Helligkeitsphase. Dies zeigt sich auch innerhalb der beiden Geschlechter über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen.

Untersuchung der Veränderungen von Hormon- und Stoffwechselfparametern

Veränderungen der 25-OH-Vitamin D-Konzentrationen – 2008-2010

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 23 | 22.22 | p<0.001 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 17 vs. 6 | 0.13 | p=0.72 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 17 | 17.83 | p<0.001 |
| | ♀ | 6 | 7.12 | p=0.012 |

Tabelle 89 Statistische Prüfung der Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 mit Einfluss des Geschlechts

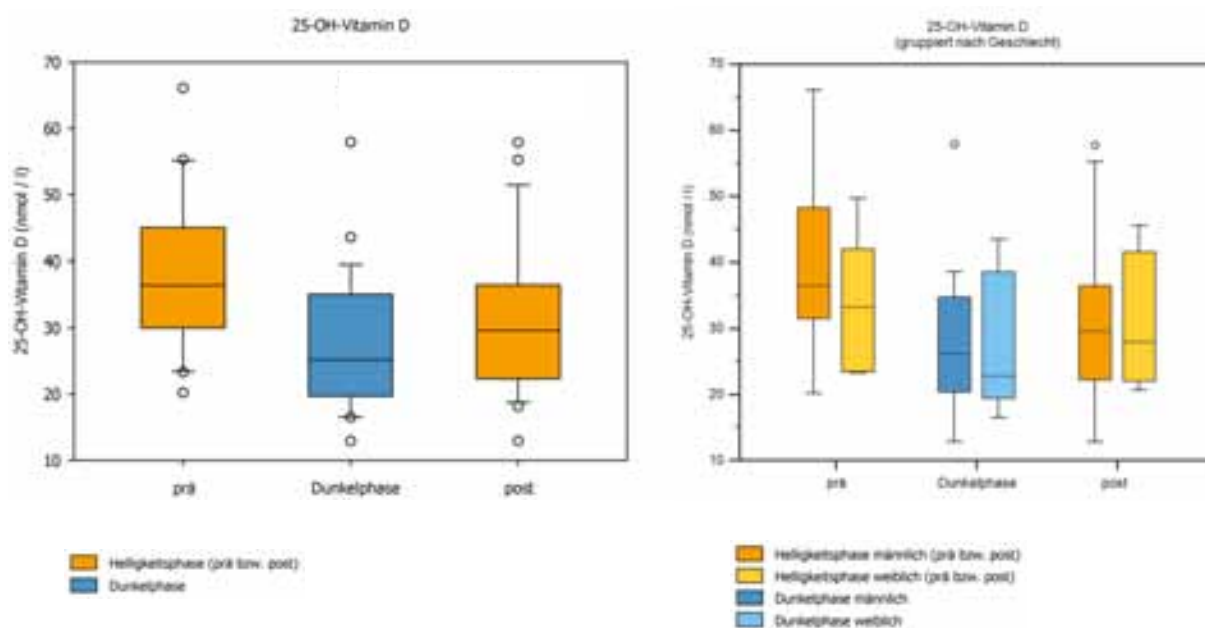


Abb. 127 Boxplots der Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 128 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt eine signifikante Veränderung der 25-OH-Vitamin D-Konzentration aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich ein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Sowohl bei allen Teilnehmern als auch innerhalb der Geschlechtergruppen zeigt sich eine Abnahme des Parameters zur Dunkelphase hin mit einem Wiederanstieg zur anschließenden Helligkeitsphase. Die Werte der weiblichen Teilnehmer liegen dabei in allen drei Überwinterungsphasen unter denen der männlichen Probanden.

Veränderungen der TSH-Konzentrationen – 2008-2010

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 23 | 3.01 | p=0.059 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 17 vs. 6 | 0.37 | p=0.55 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 17 | 4.36 | p=0.021 |
| | ♀ | 6 | 1.75 | p=0.22 |

Tabelle 90 Statistische Prüfung der Veränderungen der TSH-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 mit Einfluss des Geschlechts

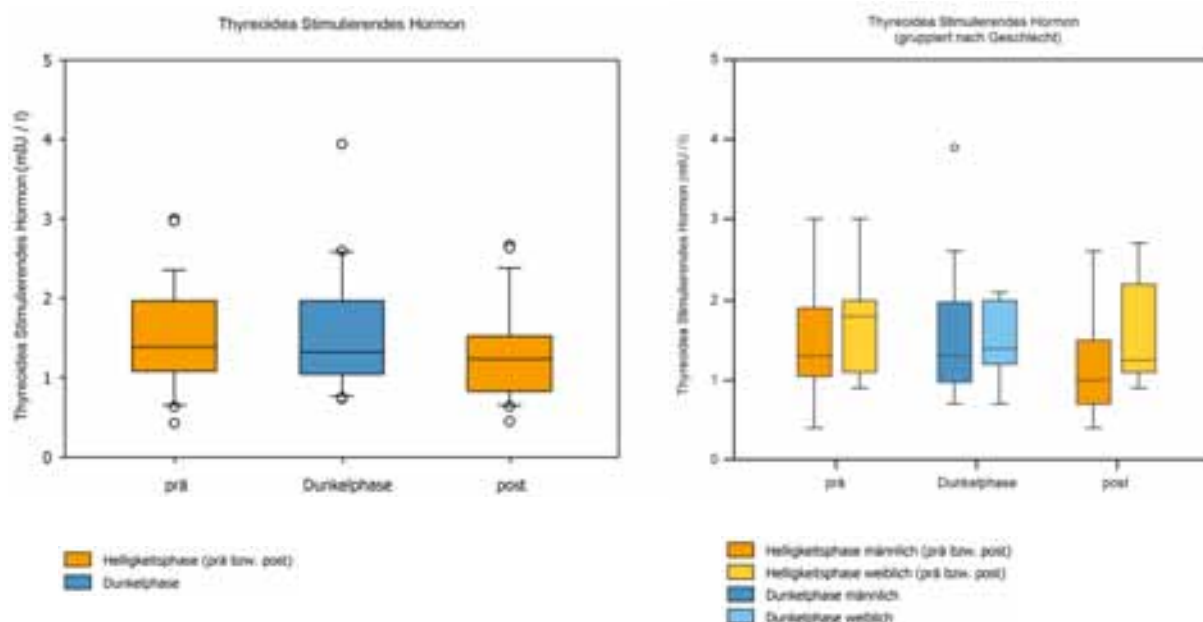


Abb. 129 Boxplots der Veränderungen der TSH-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 130 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der TSH-Konzentration aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen, wobei das Signifikanzniveau nur unweit von einem statistisch signifikanten Wert entfernt liegt. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich bei den männlichen Probanden ein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen, während die Veränderungen bei den weiblichen Teilnehmern keinen statistisch signifikanten Unterschied zeigen.

Jedoch zeigt sich bei den Werten aller Teilnehmer eine kontinuierliche Abnahme des Parameters über die drei Überwinterungsphasen. Die Werte der Frauen liegen in allen Messphasen über denen der Männer. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich bei den Frauen ein kontinuierlicher Abfall über die drei Phasen, während die Werte der Männer zur Dunkelphase zunächst weitgehend stabil bleiben und anschließend zur Helligkeitsphase abfallen.

Veränderungen der Leptin-Konzentrationen – 2008-2010

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 23 | 0.94 | p=0.40 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 17 vs. 6 | 3.19 | p=0.088 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 17 | 0.53 | p=0.59 |
| | ♀ | 6 | 0.46 | p=0.64 |

Tabelle 91 Statistische Prüfung der Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 mit Einfluss des Geschlechts

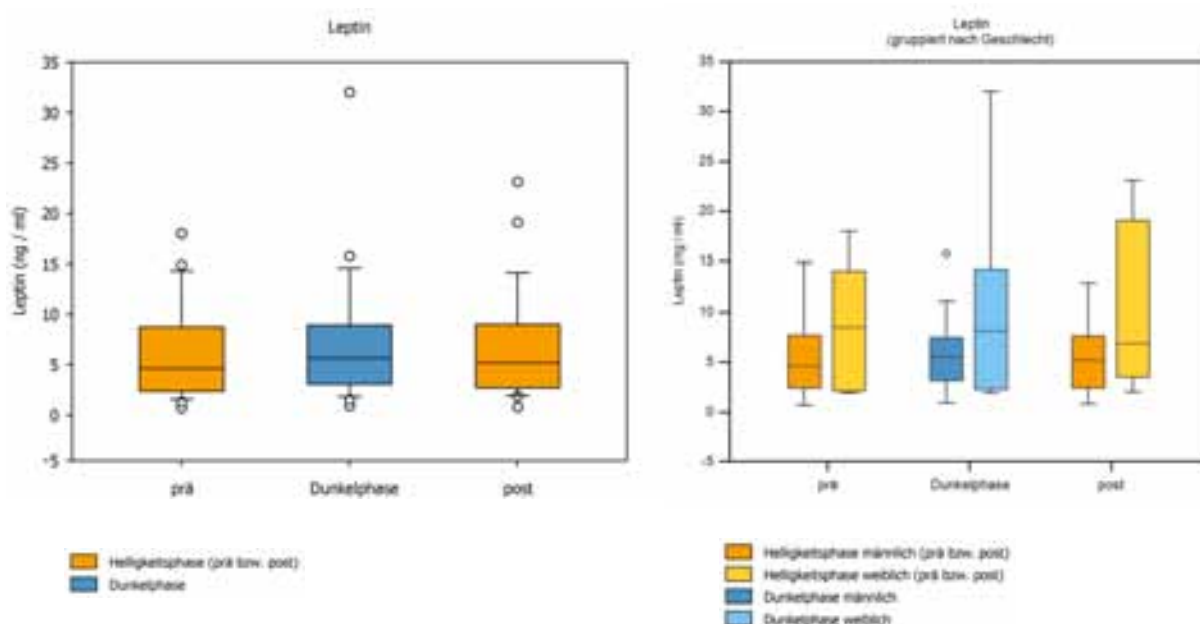


Abb. 131 Boxplots der Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 132 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Leptin-Konzentration aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine Zunahme des Parameters zur Dunkelphase mit einem Abfall zur anschließenden Helligkeitsphase hin. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich bei den Männern ein Anstieg über die drei Überwinterungsphasen, während in allen drei Phasen die Werte der weiblichen Teilnehmer abnehmen und dabei stets über denen der männlichen Probanden liegen. Die Werte der Frauen zeigen dabei in allen drei Phasen eine hohe Streubreite.

Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen – 2008-2010

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 23 | 0.27 | p=0.76 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 17 vs. 6 | 4.89 | p=0.038 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 17 | 1.70 | p=0.20 |
| | ♀ | 6 | 1.73 | p=0.23 |

Tabelle 92 Statistische Prüfung der Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 mit Einfluss des Geschlechts

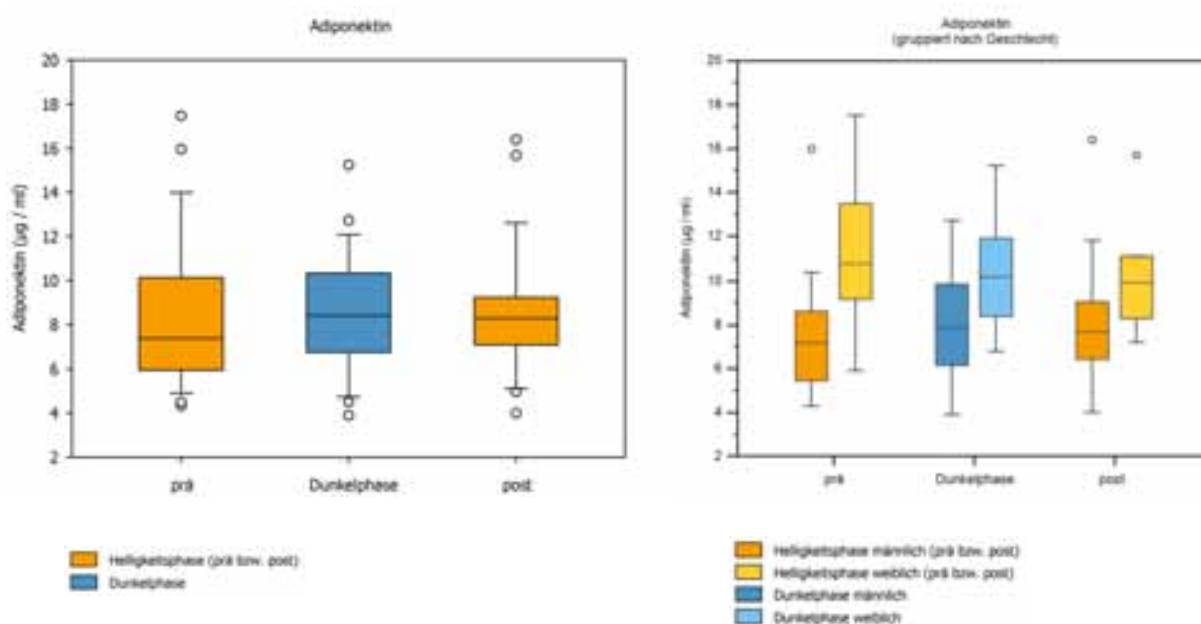


Abb. 133 Boxplots der Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 134 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Adiponektin-Konzentration aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme des Parameters zur Dunkelphase hin, der Parameter bleibt anschließend weitgehend stabil. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich bei den Männern ein Anstieg über die drei Überwinterungsphasen, während in allen drei Phasen die Werte der weiblichen Teilnehmer abnehmen und dabei stets über denen der männlichen Probanden liegen.

Veränderungen der Erythropoietin-Konzentrationen – 2008-2010

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 23 | 1.87 | p=0.17 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 17 vs. 6 | 0.65 | p=0.43 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 17 | 0.94 | p=0.40 |
| | ♀ | 6 | 1.26 | p=0.32 |

Tabelle 93 Statistische Prüfung der Veränderungen der Erythropoietin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 mit Einfluss des Geschlechts

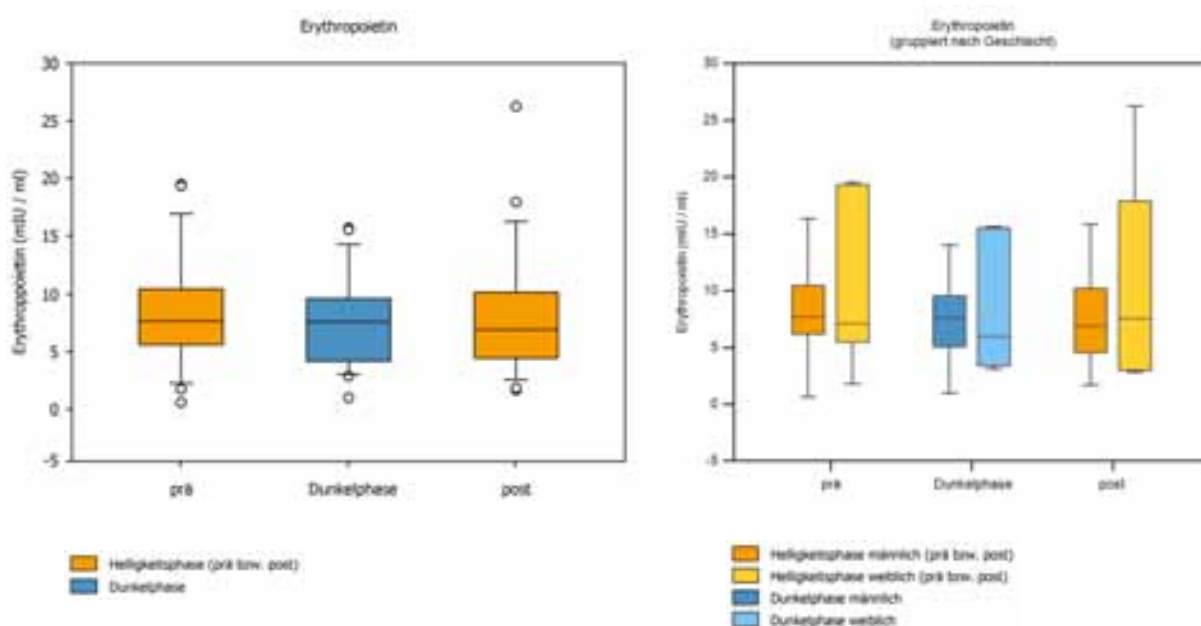


Abb. 135 Boxplots der Veränderungen der Erythropoietin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 136 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Erythropoietin-Konzentration aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich eine geringgradige Abnahme des Parameters zur Dunkelphase hin und einem weiteren Abfall zur Helligkeitsphase hin. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich bei den Männern ein Abfall über die drei Überwinterungsphasen, während die Werte der weiblichen Teilnehmer zur Dunkelphase hin abnehmen und anschließend wieder ansteigen. Die Werte der Frauen zeigen dabei in allen drei Phasen eine höhere Streubreite.

Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen – 2008-2010

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 23 | 0.66 | p=0.52 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 17 vs. 6 | 3.54 | p=0.074 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 17 | 0.25 | p=0.78 |
| | ♀ | 6 | 4.10 | p=0.05 |

Tabelle 94 Statistische Prüfung der Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 mit Einfluss des Geschlechts

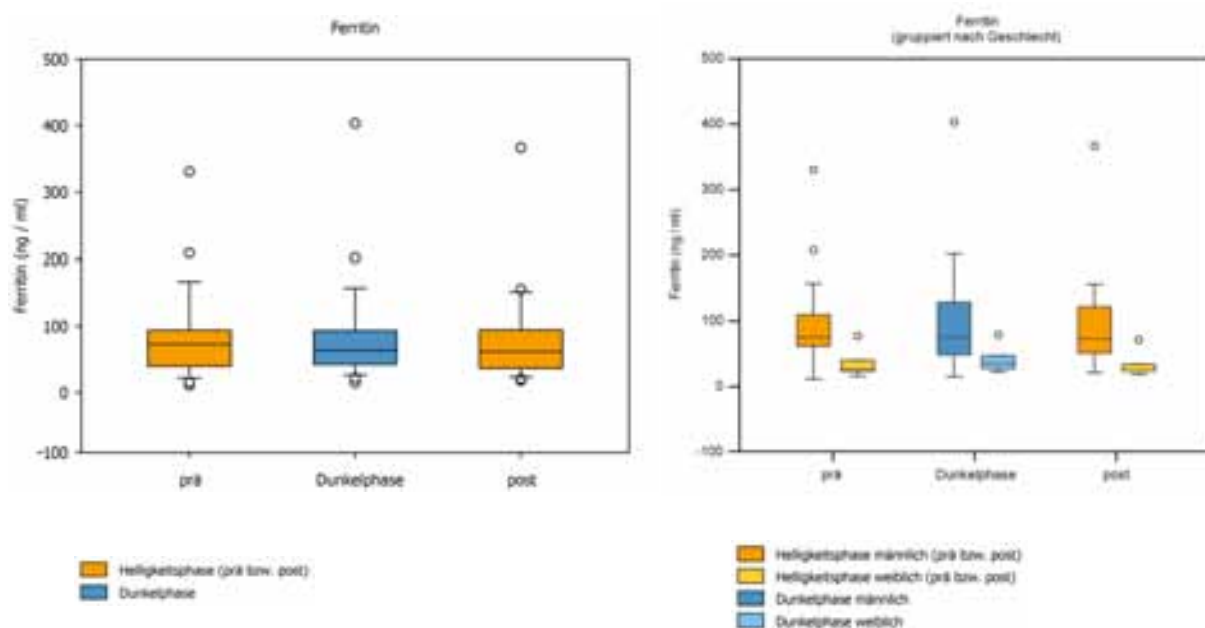


Abb. 137 Boxplots der Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 138 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der Ferritin-Konzentration aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern, wobei das Signifikanzniveau nur unweit von einem statistisch signifikanten Wert entfernt liegt. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen, wobei das Signifikanzniveau für die Werte der Frauen nur minimal von einem statistisch signifikanten Wert entfernt liegt.

Jedoch zeigt sich eine Abnahme des Parameters zur Dunkelphase hin und einem weiteren geringgradigen Abfall zur Helligkeitsphase hin. Innerhalb der Geschlechter zeigt sich bei den Männern ein analoger Abfall über die drei Überwinterungsphasen, während die Werte der weiblichen Teilnehmer zur Dunkelphase hin ansteigen und anschließend wieder abfallen. Die Werte der Frauen liegen dabei in allen drei Phasen unter denen der Männer und zeigen eine weit geringere Streubreite.

Veränderungen der sTfR-Konzentrationen – 2008-2010

| Statistischer Vergleich prä-Dunkelphase-post (RM ANOVA) | Untergruppen | n | F-Wert | Signifikanzniveau |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|--------|-------------------|
| alle Teilnehmer | keine | 23 | 1.71 | p=0.19 |
| zwischen den Geschlechtergruppen | ♂ vs. ♀ | 17 vs. 6 | 0.27 | p=0.61 |
| innerhalb der Geschlechtergruppen | ♂ | 17 | 1.22 | p=0.31 |
| | ♀ | 6 | 1.93 | p=0.20 |

Tabelle 95 Statistische Prüfung der Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 mit Einfluss des Geschlechts

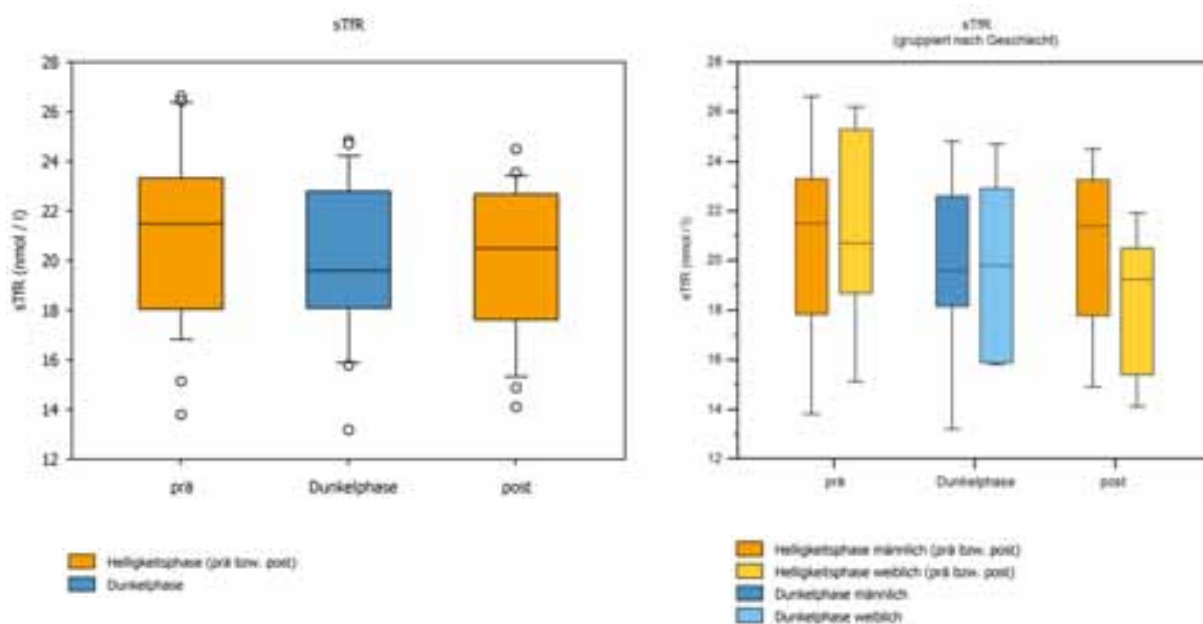


Abb. 139 Boxplots der Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 140 gruppiert nach Geschlecht

Die Analyse zeigt keine signifikante Veränderung der sTfR-Konzentration aller Teilnehmer über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Innerhalb der beiden Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied über den Verlauf der drei Phasen zeigen.

Jedoch zeigt sich ein Abfall der Werte zur Dunkelphase hin mit einer anschließenden Zunahme zur Helligkeitsphase. Dieser Verlauf zeigt sich auch analog bei den Werten der Männer, während die Werte der Frauen kontinuierlich über den Verlauf der drei Messphasen abfallen.

3.4 Untersuchung von Veränderungen während der Überwinterungen durch graphische Darstellung der untersuchten Parameter als Mittelwerte pro Staffel

Untersuchung der Veränderungen der Körperzusammensetzung

Körpergewicht

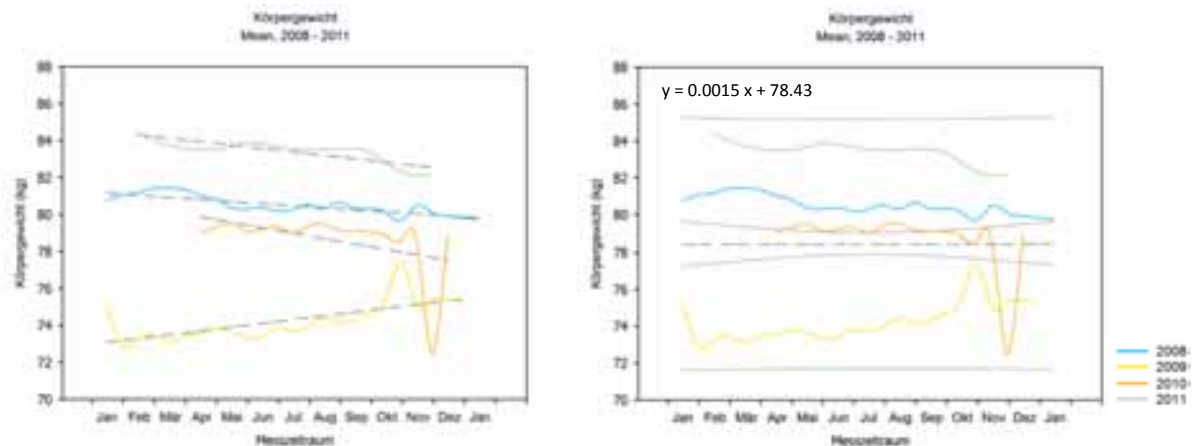


Abb. 141 Verläufe der Werte des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 142 mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen des Körpergewichts der einzelnen Staffeln zeigen in 2008, 2010 und 2011 eine Abnahme und in 2009 eine Zunahme. Für alle Staffeln zusammen zeigt sich keine Veränderung über den Überwinterungsverlauf. Die Regressionsgerade zeigt eine minimal positive Steigung.

Fettfreie Masse

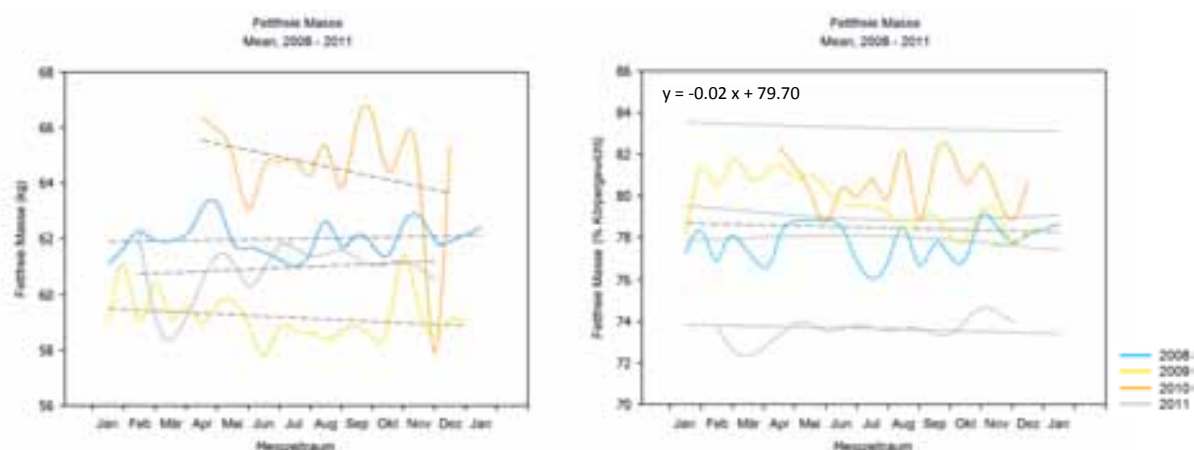


Abb. 143 Verläufe der Werte der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 144 relativ zum Körpergewicht mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der fettfreien Masse der einzelnen Staffeln zeigen in 2009 und 2010 eine Abnahme und in 2008 und 2011 eine Zunahme. Für alle Staffeln zusammen zeigt sich eine Abnahme des relativen Anteils der fettfreien Masse zum Körpergewicht über den Überwinterungsverlauf. Die Regressionsgerade zeigt eine geringe negative Steigung.

Fettmasse

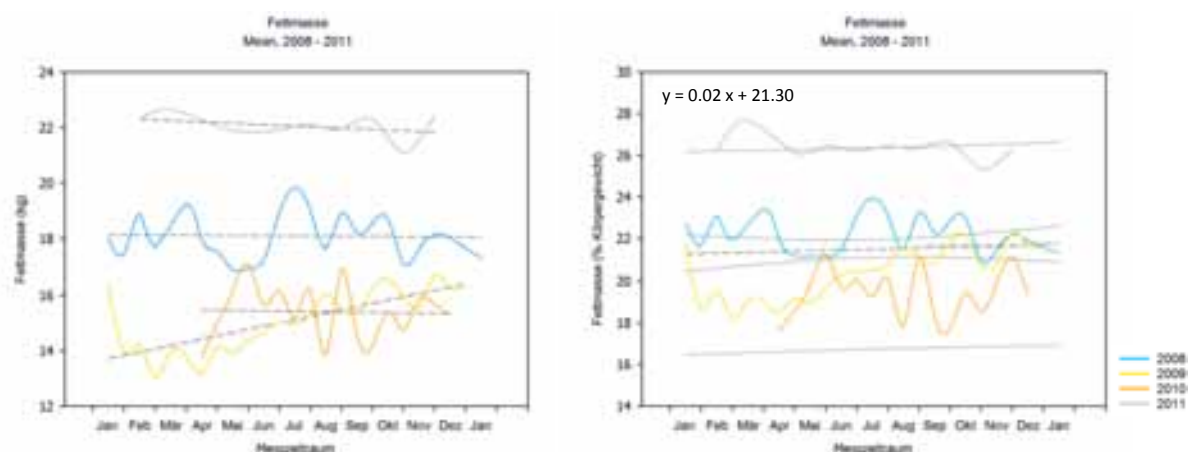


Abb. 145 Verläufe der Werte der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 146 relativ zum Körpergewicht mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Fettmasse der einzelnen Staffeln zeigen in 2008, 2010 und 2011 eine geringgradige Abnahme und in 2009 eine Zunahme. Für alle Staffeln zusammen zeigt sich eine Zunahme des relativen Anteils der Fettmasse zum Körpergewicht über den Überwinterungsverlauf. Die Regressionsgerade zeigt eine positive Steigung.

Körperzellmasse

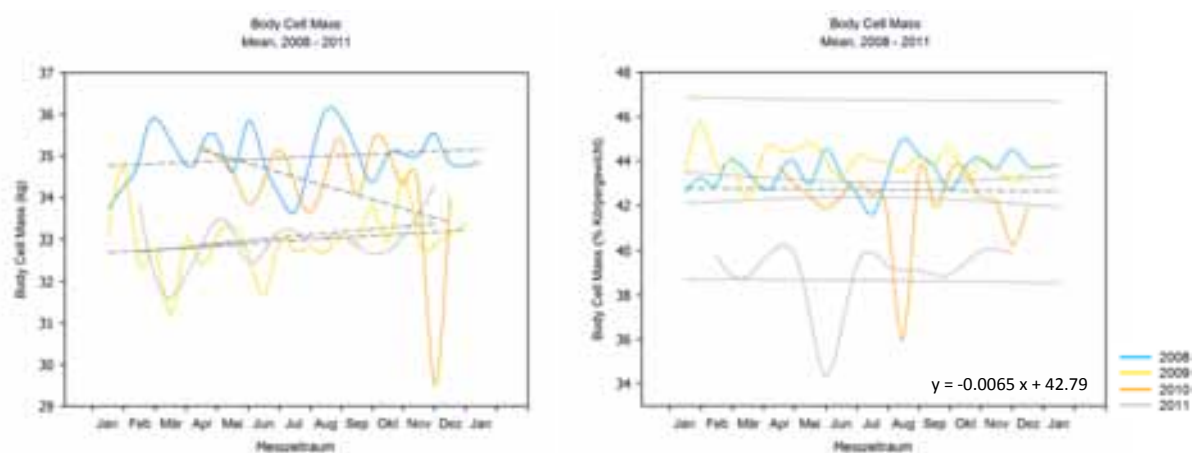


Abb. 147 Verläufe der Werte der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 148 relativ zum Körpergewicht mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Körperzellmasse der einzelnen Staffeln zeigen in 2010 eine Abnahme und in 2008, 2009 und 2011 eine Zunahme. Für alle Staffeln zusammen zeigt sich eine Abnahme des relativen Anteils der Körperzellmasse zum Körpergewicht über den Überwinterungsverlauf. Die Regressionsgerade zeigt eine minimal negative Steigung.

Gesamtkörperwasser

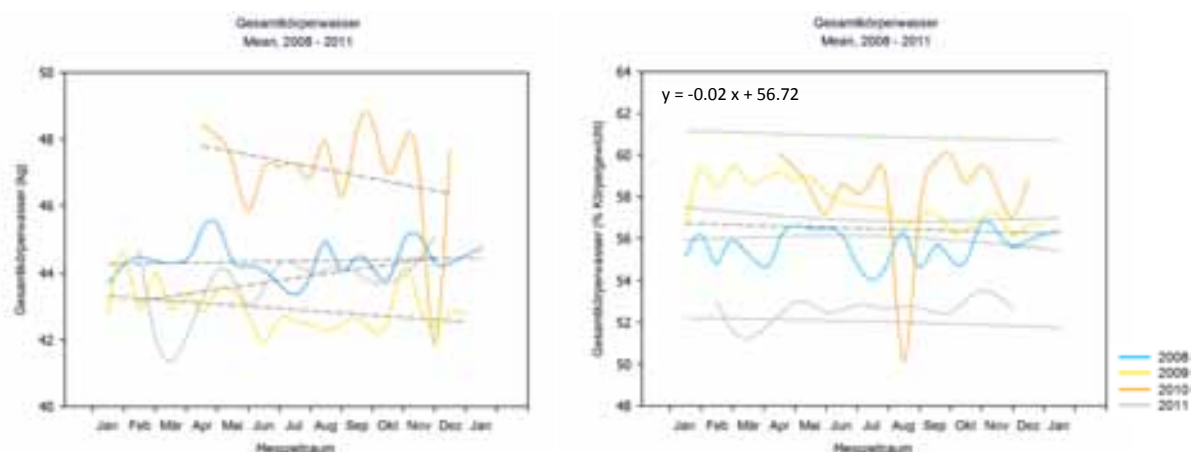
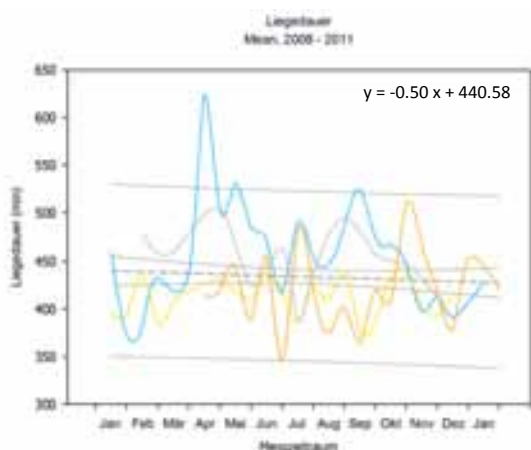


Abb. 149 Verläufe der Werte des Gesamtkörperwassers über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 150 relativ zum Körpergewicht mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen des Gesamtkörperwassers der einzelnen Staffeln zeigen in 2009 und 2010 eine Abnahme und in 2008 und 2011 eine Zunahme. Für alle Staffeln zusammen zeigt sich eine Abnahme des relativen Anteils des Gesamtkörperwassers zum Körpergewicht über den Überwinterungsverlauf. Die Regressionsgerade zeigt eine geringe negative Steigung.

Untersuchung der Veränderungen von Schlaf- und Aktivitätsparametern

Liegedauer



Schlafdauer

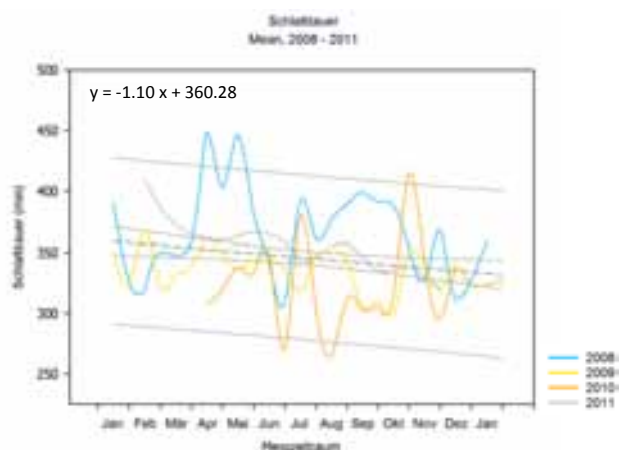
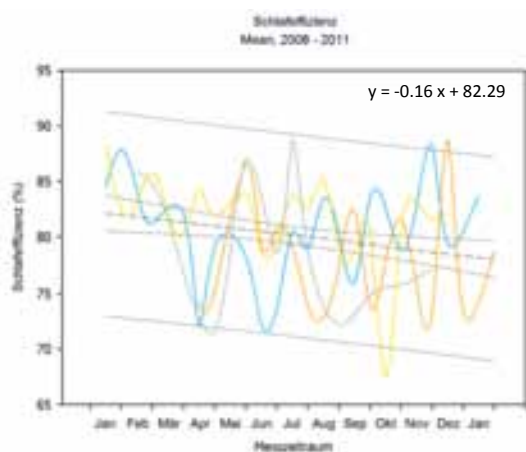


Abb. 151 Verläufe der Werte der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln sowie in Abb. 152 analog für die Schlafdauer

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Liegedauer aller Staffeln zusammen zeigen eine Abnahme; die Regressionsgerade zeigt eine negative Steigung.

Dies ist auch für die Schlafdauer feststellbar, wobei die Abnahme der Schlafdauer über den Überwinterungsverlauf noch höher ist; die Regressionsgerade zeigt eine negative Steigung.

Schlafeffizienz



Schlafragmentierung

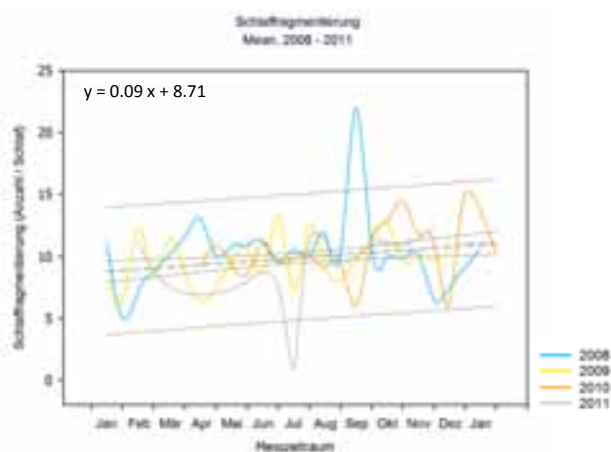
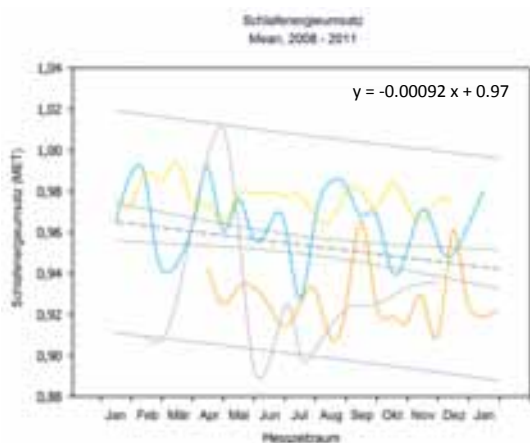


Abb. 153 Verläufe der Werte der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln sowie in Abb. 154 analog für die Schlafragmentierung

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Schlafeffizienz aller Staffeln zusammen zeigen eine Abnahme; die Regressionsgerade zeigt eine negative Steigung.

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Schlafragmentierung aller Staffeln zusammen zeigen hingegen eine Zunahme über den Überwinterungsverlauf hinweg; die Regressionsgerade zeigt eine positive Steigung.

Schlafenergieumsatz



Tägl. Energieumsatz

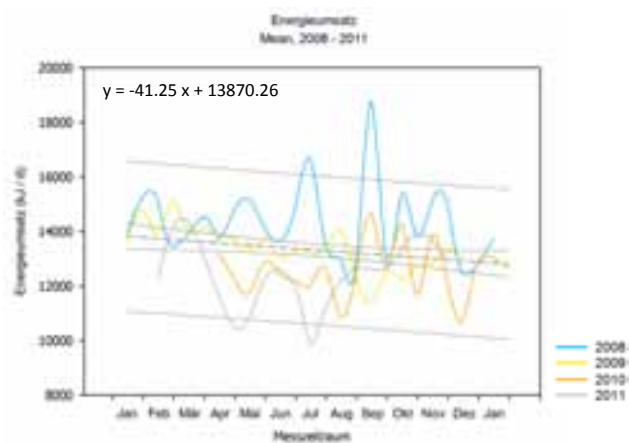


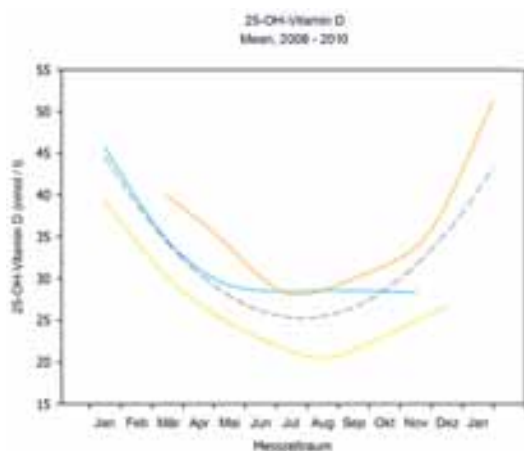
Abb. 155 Verläufe der Werte des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln sowie in Abb. 156 analog für den Energieumsatz

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen des Schlafenergieumsatzes aller Staffeln zusammen zeigen eine Abnahme; die Regressionsgerade zeigt eine negative Steigung.

Auch die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen des täglichen Energieumsatzes aller Staffeln zusammen zeigen eine Abnahme über den Überwinterungsverlauf hinweg; die Regressionsgerade zeigt eine negative Steigung.

Untersuchung der Veränderungen von Hormon- und Stoffwechselfparametern

25-OH-Vitamin D



TSH

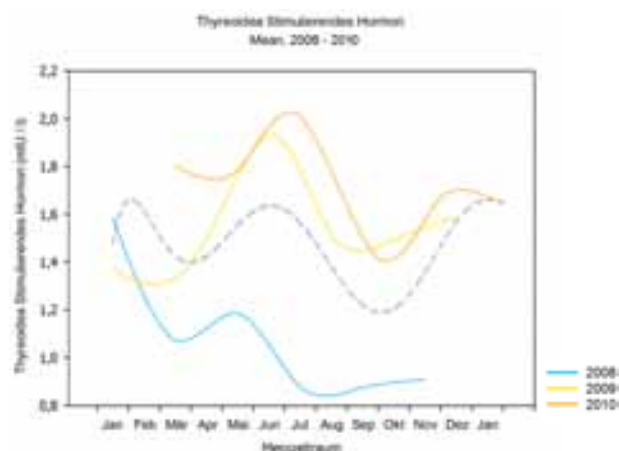
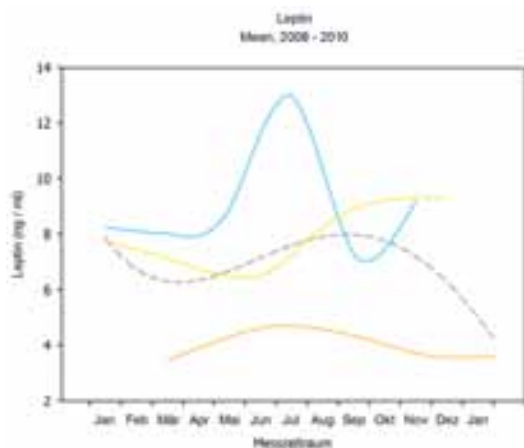


Abb. 157 Verläufe der Vitamin D-Konzentrationen als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln 2008-2010 mit Regressionskurve (Gleichung 2. Ordnung) sowie in Abb. 158 der TSH-Konzentrationen (Gleichung 7. Ordnung)

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen zeigen in allen Staffeln eine Abnahme der Werte mit einem Minimum in der Dunkelphase (Jun-Aug) und in 2009 und 2010 eine Wiederzunahme der Werte zum Ende der Messperiode hin.

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der TSH-Konzentrationen zeigen in 2009 und 2010 einen Abfall mit anschließendem Anstieg (Maximum um Jun), Abfall (Minimum um Sep-Okt) und anschließendem Wiederanstieg. Für 2008 zeigt sich ein ähnliches Verhalten mit um ca. 2 Monate früher darstellbaren Veränderungen; dabei ist ein Abfall der Werte zu verzeichnen.

Leptin



Adiponektin

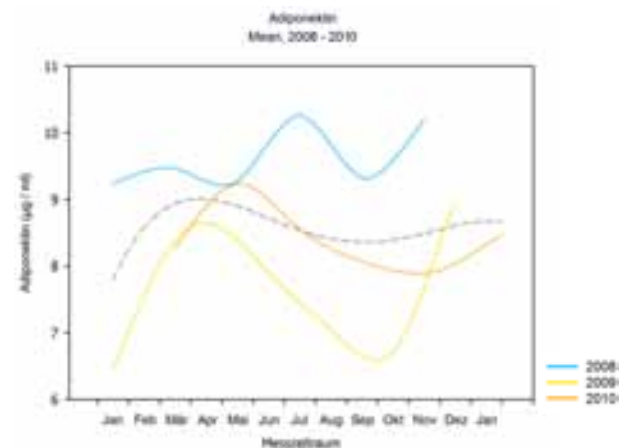
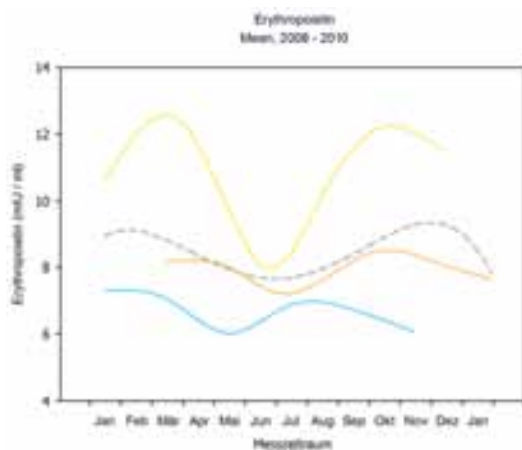


Abb. 159 Verläufe der Leptin-Konzentrationen als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln 2008-2010 mit Regressionskurve (Gleichung 4. Ordnung) sowie in Abb. 160 der Adiponektin-Konzentrationen (Gleichung 4. Ordnung)

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Leptin-Konzentrationen zeigen zueinander ein uneinheitliches Verhalten. Die Regression zeigt einen leichten Anstieg über die Dunkelphase.

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen zeigen jeweils eine ähnliche Periodik des Anstiegs und Abfalls, die sich in den Maxima zeitlich unterscheiden (2008 Jul, 2009 Apr, 2010 Mai). Die Regressionskurve zeigt einen leichten Abfall über die Dunkelphase.

Erythropoietin



Ferritin

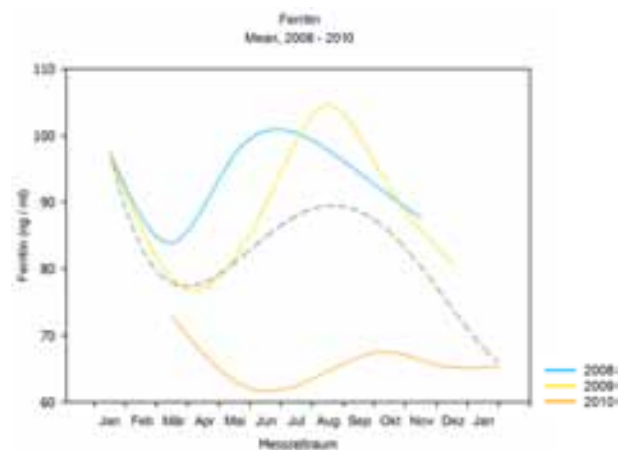


Abb. 161 Verläufe der Erythropoietin-Konzentrationen als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln 2008-2010 mit Regressionskurve (Gleichung 4. Ordnung) sowie in Abb. 162 der Ferritin-Konzentrationen (Gleichung 4. Ordnung)

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Erythropoietin-Konzentrationen zeigen jeweils eine ähnliche Periodik mit zunächst einem Anstieg (2009) bzw. stabilen Verhalten (2008 und 2010) und Abfall der Werte mit zeitlich verschiedenen Minima (2008 Mai, 2009 Jun, 2010 Jul) und jeweils darstellbarem Wiederanstieg mit zeitlich verschiedenen Maxima (2008 Jul, 2009 und 2010 Okt) und wieder einsetzendem Abfall. Der Verlauf 2009 zeigt dabei ausgeprägtere Amplituden. Die Regression zeigt einen Rückgang der Werte während der Dunkelphase.

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen zeigen jeweils eine ähnliche Periodik mit zunächst einem Abfall mit zeitlich verschiedenen Minima (2008 Mär, 2009 Apr, 2010 Jun) und jeweils darstellbarem Wiederanstieg mit zeitlich verschiedenen Maxima (2008 Jun, 2009 Aug, 2010 Okt) und wieder einsetzendem Abfall. Der Verlauf 2010 zeigt dabei geringer ausgeprägte Amplituden. Die Regression zeigt einen Anstieg in der Dunkelphase.

sTfR

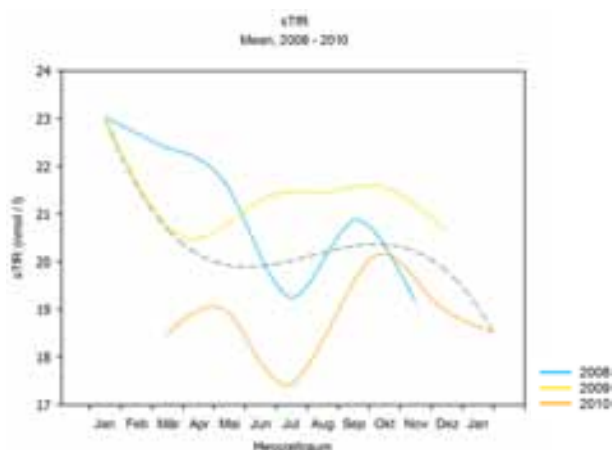


Abb. 163 Verläufe der sTfR-Konzentrationen als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln 2008-2010 mit Regressionskurve (Gleichung 4. Ordnung)

Die Verläufe der Mittelwerte der Veränderungen der sTfR-Konzentrationen zeigen zueinander ein uneinheitliches Verhalten. In 2008 und 2010 kommt es in der Dunkelphase (Jul) zum einem Minimum bevor ein Anstieg (Maxima 2008 Sep, 2010 Okt) mit Wiederabfall der Werte folgen. Die Regressionskurve zeigt einen Abfall zur Dunkelphase hin.

3.5 Korrelationen von Einzelparametern der Überwinterer

Korrelationen verschiedener Parameter der Körperzusammensetzung und Hormon- und Stoffwechselfparameter untereinander

Korrelationen für alle Teilnehmer

| | Korrelation (alle Teilnehmer) | | |
|---------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | Adiponektin | Leptin | Körpergewicht |
| Leptin | r=0.234 p=0.006 n=136 | | |
| Körpergewicht | r=-0.129 p=0.18 n=109 | r=0.021 p=0.83 n=109 | |
| Fettmasse | r=-0.06 p=0.55 n=101 | r=0.111 p=0.27 n=101 | r=0.582 p<0.0001 n=519 |

Tabelle 96 Statistische Prüfung zur Korrelation verschiedener Parameter aller Teilnehmer

Die Ergebnisse zur Korrelation der genannten Parameter zeigen, dass sich bei der Untersuchung in Bezug auf beide Geschlechter nur geringe Beziehungen untereinander darstellen lassen, mit der größten darstellbaren Beziehung zwischen Körpergewicht und Fettmasse ($r=0.582$).

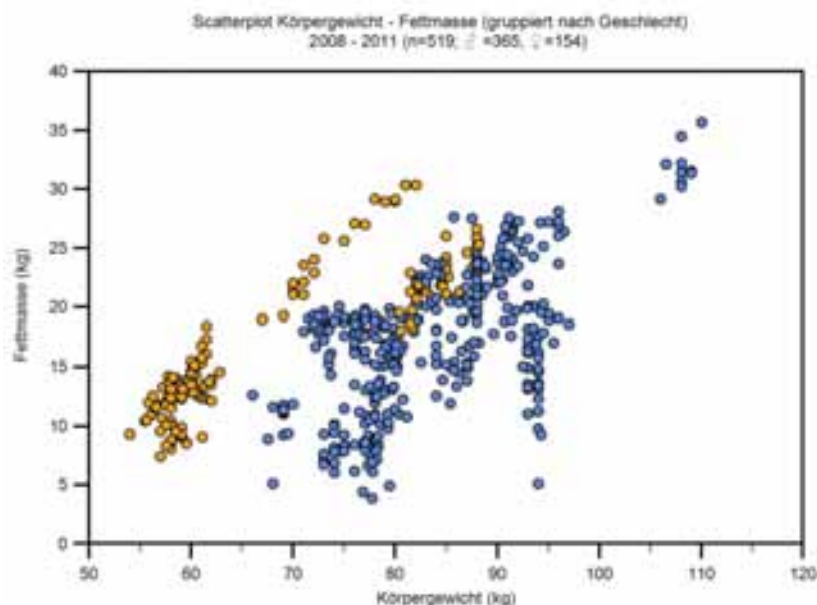


Abb. 164 Scatterplot aller Messwerte zu Körpergewicht und Fettmasse (blau: männliche Teilnehmer, orange: weibliche Teilnehmer; 2008-2011)

Wie aus Abbildung 164 entnehmen lässt, zeigen die Messwerte der weiblichen Probanden, dass bei gleichem Körpergewicht die weiblichen Teilnehmer eine jeweils größere Fettmasse aufweisen, analog zu den bisher dargestellten Ergebnissen. Die Werte der männlichen Teilnehmer zeigen eine größere Streuung als die der weiblichen Teilnehmer, was sich auch in den folgend dargestellten Korrelationen zeigen lässt.

Nach getrennter Untersuchung für beide Geschlechter zeigen sich höhere Korrelationen – zu allen Parametern sind bei beiden Geschlechtern höhere Korrelationskoeffizienten darstellbar.

Korrelationen getrennt nach Geschlecht

| Korrelation (männliche Teilnehmer) | | | |
|------------------------------------|-------------|----------|---------------|
| | Adiponektin | Leptin | Körpergewicht |
| Leptin | r=-0.32 | | |
| | p=0.001 | | |
| | n=100 | | |
| Körpergewicht | r=-0.20 | r=0.52 | |
| | p=0.08 | p<0.0001 | |
| | n=79 | n=79 | |
| Fettmasse | r=-0.21 | r=0.24 | r=0.59 |
| | p=0.08 | p=0.048 | p<0.0001 |
| | n=71 | n=71 | n=365 |

Tabelle 97 Statistische Prüfung zur Korrelation verschiedener Parameter der männlichen Teilnehmer

| Korrelation (weibliche Teilnehmer) | | | |
|------------------------------------|-------------|--------|---------------|
| | Adiponektin | Leptin | Körpergewicht |
| Leptin | r=0.62 | | |
| | p=0.001 | | |
| | n=36 | | |
| Körpergewicht | r=0.59 † | r=0.17 | |
| | p=0.006 | p=0.37 | |
| | n=30 | n=30 | |
| Fettmasse | r=0.46 † | r=0.11 | r=0.88 |
| | p=0.01 | p=0.56 | p<0.0001 |
| | n=30 | n=30 | n=154 |

Tabelle 98 Statistische Prüfung zur Korrelation verschiedener Parameter der weiblichen Teilnehmer;

† für die weiblichen Teilnehmer lassen sich für die Korrelation Körpergewicht und Adiponektin sowie Fettmasse und Adiponektin jeweils zwei Subkohorten darstellen, für die der dargestellte Korrelationskoeffizient der Gesamtheit jeweils nicht zutrifft (siehe Text)

Bei den männlichen Teilnehmern zeigen sich hohe Beziehungswerte für die Parameter Körpergewicht und Leptin ($r=0.52$) sowie für Körpergewicht und Fettmasse ($r=0.59$).

Bei den weiblichen Teilnehmern zeigen sich hohe Beziehungen für die Parameter Leptin und Adiponektin ($r=0.62$), für Körpergewicht und Adiponektin ($r=0.59$) sowie sehr hohe Beziehungen für die Parameter Körpergewicht und Fettmasse ($r=0.88$).

Bei genauerer Untersuchung der Beziehung zwischen dem Körpergewicht bzw. der Fettmasse und Adiponektin zeigt sich, dass sich zwei Subkohorten darstellen lassen, die bezüglich dieser Parameter jeweils eine hohe negative Beziehung zueinander aufweisen, entgegen der sich zunächst zeigenden positiven Beziehung der Gesamtheit aller weiblichen Teilnehmer. Dies ist für die Parameter Fettmasse und Adiponektin zueinander in Abbildung 165 dargestellt.

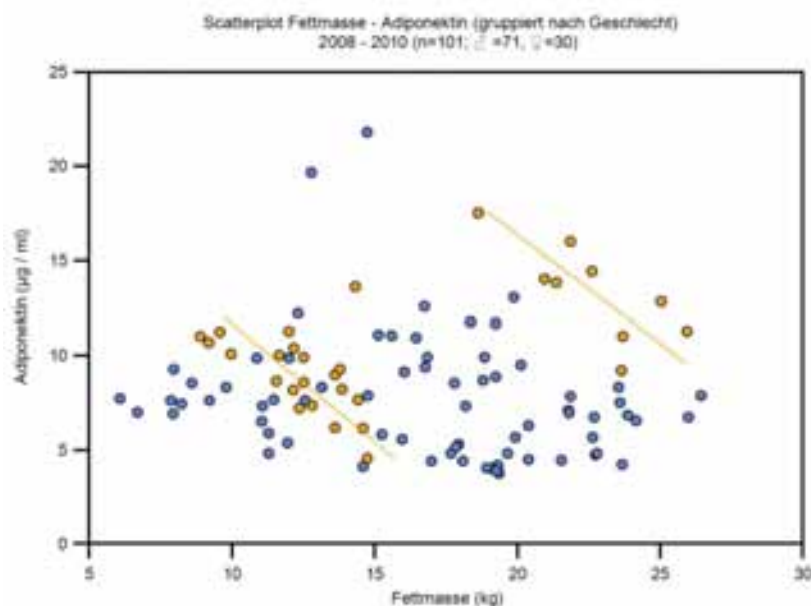


Abb. 165 Scatterplot aller Messwerte zu Fettmasse und Adiponektin (blau: männliche Teilnehmer, orange: weibliche Teilnehmer mit Regressionslinien der beiden Subkohorten, 2008-2010; ein zwischen den Subkohorten liegender Einzelfall wurde vernachlässigt)

Die separate Untersuchung der Beziehungen der beiden Subkohorten ergibt hohe negative Korrelationskoeffizienten für die Beziehung Fettmasse und Adiponektinkonzentration: Kohorte 1 (für die Probandinnen mit geringerer Fettmasse): $r=-0.756$, $p=0.0001$, $n=20$ sowie für Kohorte 2 (für die Probandinnen mit höherer Fettmasse): $r=-0.76$, $p=0.017$, $n=9$. Ein zwischen den beiden Subkohorten liegender Einzelfall wurde für diese und die folgenden Analysen vernachlässigt.

Bezüglich eines Unterschieds zwischen beiden Subkohorten zeigte sich, dass die Probandinnen von Kohorte 1 im Median 31 Jahre alt und die von Kohorte 2 im Median 27 Jahre sind. Eine statistische Prüfung zeigt, dass zwischen beiden Subkohorten hinsichtlich dieses Altersunterschieds ein statistisch signifikanter Unterschied besteht ($p<0.0001$, rankbasierter Mann-Whitney-Test für nicht-normalverteilte Variablen, Z-Wert=4.33, $n=29$).

Es zeigt sich, dass die Fettmasse der Probandinnen der Kohorte 1 im Median 12.4 kg und für die Kohorte 2 im Median 22.6 kg beträgt. Eine statistische Prüfung zeigt, dass zwischen beiden Subkohorten hinsichtlich dieses Unterschieds zur Fettmasse ein statistisch signifikanter Unterschied besteht ($p<0.0001$, rankbasierter Mann-Whitney-Test für nicht-normalverteilte Variablen, Z-Wert=4.24, $n=29$).

Hinsichtlich der für die beiden Subkohorten darstellbaren Adiponektinkonzentrationen zeigt sich in Kohorte 1 im Median eine Konzentration von 8.8 $\mu\text{g}/\text{ml}$ und für Kohorte 2 13.9 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Eine statistische Prüfung zeigt, dass zwischen beiden Subkohorten hinsichtlich dieses Konzentrationsunterschieds ein statistisch signifikanter Unterschied besteht ($p=0.0003$, rankbasierter Mann-Whitney-Test für nicht-normalverteilte Variablen, Z-Wert=3.65, $n=29$).

Die beiden in Abbildung 165 dargestellten Subkohorten der weiblichen Teilnehmer weisen somit statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich ihres Alters, ihrer Fettmasse und ihrer Adiponektinkonzentration auf. Dabei zeigen sich bei den jüngeren Frauen trotz höherer Fettmasse höhere Adiponektinkonzentrationen, die innerhalb der Subkohorte der negativen Korrelation zwischen Fettmasse und Adiponektinkonzentration folgen.

3.6 Validierung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Schlafparameter mittels Polysomnographie

Anthropometrische Daten der Teilnehmer der Validierungsuntersuchung

| Anzahl | Alter (Jahre) | | Größe (cm) | | Gewicht (kg) | | BMI (kg/m ²) | |
|----------------------|---------------|------|------------|-------|--------------|-------|--------------------------|------|
| n=21† (12 ♂, 9 ♀) | Mittel | 49.6 | Mittel | 174.6 | Mittel | 86.9 | Mittel | 28.3 |
| | Median | 49.0 | Median | 173.0 | Median | 80.0 | Median | 27.6 |
| | Min | 19.0 | Min | 155.0 | Min | 53.1 | Min | 16.8 |
| | Max | 75.0 | Max | 193.0 | Max | 139.7 | Max | 37.5 |
| | ± SD | 14.8 | ± SD | 9.5 | ± SD | 22.6 | ± SD | 5.7 |

Tabelle 99 Übersicht der anthropometrischen Daten der Teilnehmer der Validierungsstudie; † ein männlicher Proband wurde an zwei verschiedenen Nächten vermessen und geht daher zweifach in die Auswertung ein

Die in der Tabelle 99 dargestellten Daten zeigen, dass die Teilnehmer der Validierungsstudie im Mittel rund 50 Jahre alt waren mit einem leicht erhöhtem Körpergewicht bzw. BMI. Es nahmen zu vergleichbaren Teilen Frauen und Männer an der Studie teil.

Statistischer Vergleich der Methoden SenseWear und Polysomnographie

| Statistischer Vergleich der Methoden SenseWear und PSG | | | | | | |
|--------------------------------------------------------|-------------|--------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|
| n=21 | Korrelation | | Intraklassen Korrelation † | | Wilcoxon Signed Rank Test | |
| | r | Signifikanz-niveau | r (Single Measure) | r (Average Measure) | Z-Wert | Signifikanz-niveau |
| Liegedauer (min) | 0.17 | p=0.45 | 0.13 | 0.23 | -2.73 | p=0.007 |
| Schlafdauer (min) | 0.79 | p<0.0001 | 0.74 | 0.85 | -1.40 | p=0.16 |
| Schlafeffizienz (%) | 0.65 | p=0.001 | 0.66 | 0.79 | 0.85 | p=0.40 |

Tabelle 100 Übersicht über die Ergebnisse des statistischen Vergleichs zur Übereinstimmung der Methoden SenseWear und PSG zur Erhebung von Schlafparametern; † Die angegebenen Werte für den Intraklassen Korrelationskoeffizienten (ICC) beziehen sich auf die absolute Übereinstimmung der Messwerte der beiden Verfahren

Hinsichtlich der Liegedauer zeigt sich eine nur geringe Beziehung der Ergebnisse der Methoden zueinander ($r=0.17$). Auch die Verlässlichkeit der Übereinstimmung beider Methoden ist gering (ICC 0.13 bzw. 0.23). Im Wilcoxon Signed Rank Test zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen beider Methoden.

Hinsichtlich der Schlafdauer zeigt sich eine hohe Beziehung der Ergebnisse der Methoden zueinander ($r=0.79$). Auch die Verlässlichkeit der Übereinstimmung beider Methoden ist hoch (ICC 0.74 bzw. 0.85). Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied im Wilcoxon Test.

Hinsichtlich der Schlafeffizienz zeigt sich eine mäßig gute Beziehung der Methoden zueinander ($r=0.65$). Auch die Verlässlichkeit der Übereinstimmung beider Methoden ist mäßig bis gut (ICC 0.66 bzw. 0.79). Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied im Wilcoxon Test.

Es lassen sich dabei keine statistisch signifikanten Unterschiede in den jeweiligen Parametern Liegedauer, Schlafdauer und Schlafeffizienz hinsichtlich des Geschlechts, des Alters oder des Body Mass Index der Probanden darstellen; Test: kategorisierte ANOVA, $p=0.121$ oder größer für alle Parameter bzw. Einflussgrößen.

Graphische Darstellung Vergleich SenseWear und Polysomnographie - Scatterplots

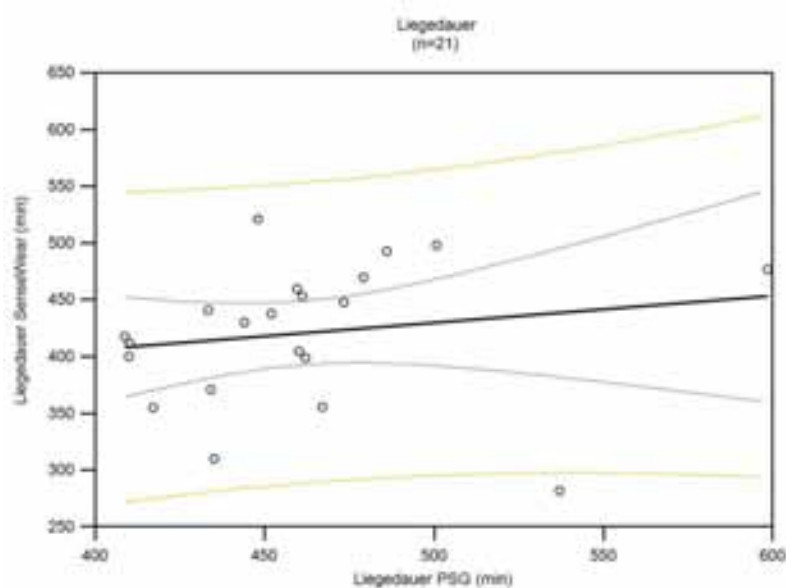


Abb. 166 Scatterplot der Messwerte der Liegedauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervall und 95 % Voraussageintervall

Analog zur statistischen Analyse zeigt sich im Scatterplot zum Parameter Liegedauer eine hohe Streuung zwischen beiden Messmethoden mit entsprechend breiten Konfidenz- und Voraussageintervallen.

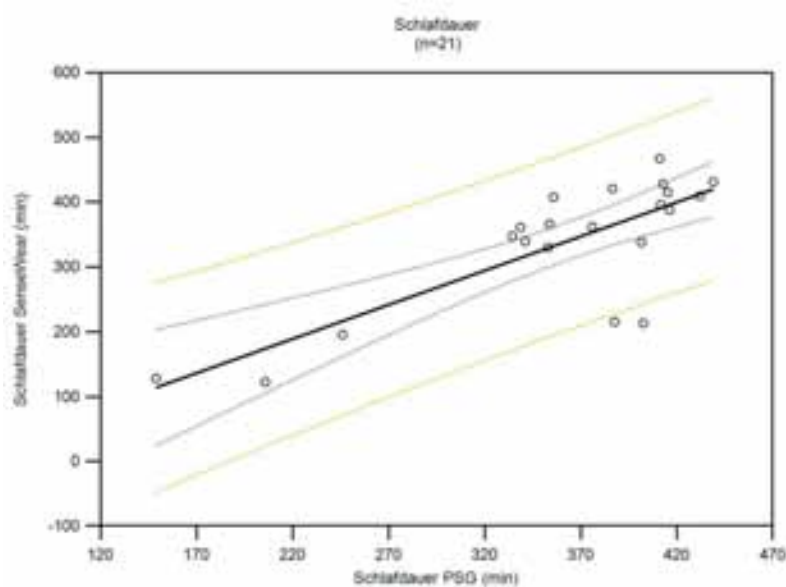


Abb. 167 Scatterplot der Messwerte der Schlafdauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervall und 95 % Voraussageintervall

Analog zur statistischen Analyse zeigt sich im Scatterplot zum Parameter Schlafdauer eine geringe Streuung zwischen beiden Messmethoden und entsprechend schmale Konfidenz- und Voraussageintervalle.

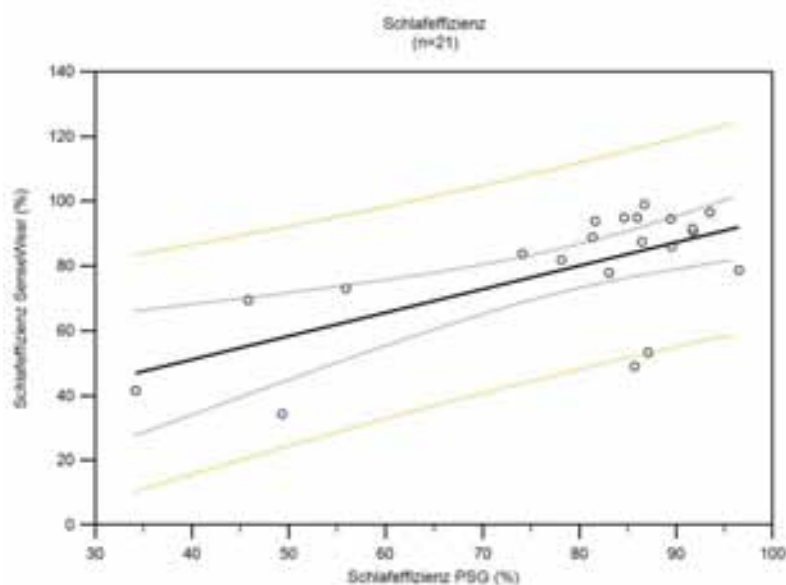


Abb. 168 Scatterplot der Messwerte der Schlafeffizienz mittels Polysomnographie vs. SenseWear mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervall und 95 % Voraussageintervall

Analog zur statistischen Analyse zeigt sich im Scatterplot zum Parameter Schlafeffizienz eine mäßig hohe Streuung zwischen beiden Messmethoden.

Graphische Darstellung Vergleich SenseWear und Polysomnographie - Boxplots

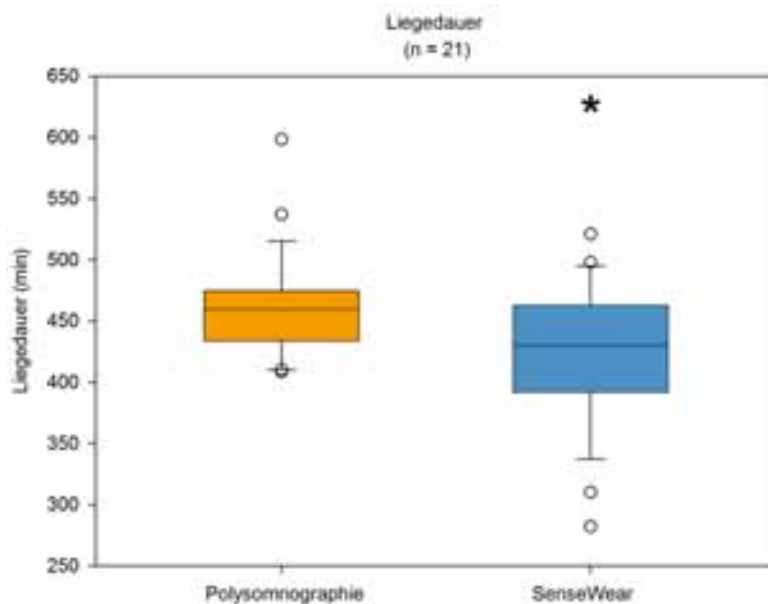


Abb. 169 Boxplot der Messwerte der Liegedauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear

Im Boxplot der Messwerte der Liegedauer mittels PSG und SenseWear zeigt sich, dass die vom SenseWear-Gerät erhobenen Werte im Betrag geringer sind, als die mit der PSG erhobenen Messwerte. Wie aus Tabelle 100 hervorgeht, ist dieser Unterschied statistisch signifikant (gekennzeichnet durch * in der Abbildung).

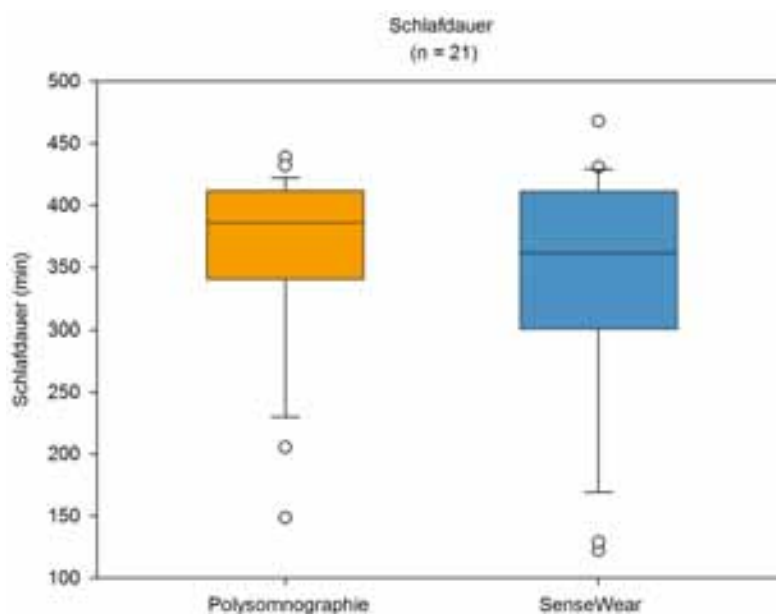


Abb. 170 Boxplot der Messwerte der Schlafdauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear

Im Boxplot der Messwerte der Schlafdauer mittels PSG und SenseWear zeigt sich, dass die vom SenseWear-Gerät erhobenen Werte geringer sind, als die mit der PSG erhobenen Messwerte. Diese Unterschiede sind jedoch nicht statistisch signifikant.

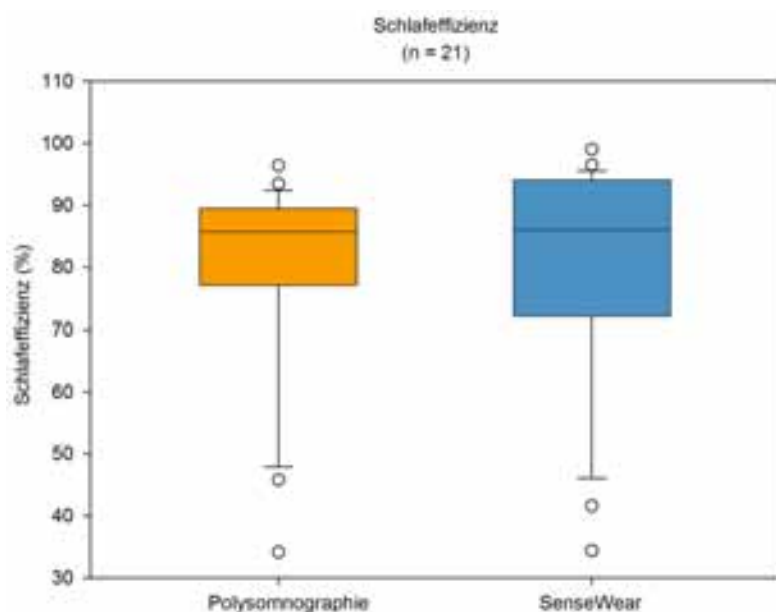


Abb. 171 Boxplot der Messwerte der Schlafeffizienz mittels Polysomnographie vs. SenseWear

Im Boxplot der Messwerte der Schlafeffizienz mittels PSG und SenseWear zeigt sich, dass die vom SenseWear-Gerät erhobenen Werte mit denen der PSG vergleichbar sind, wenn auch die vom SenseWear-Gerät erhobenen Messwerte eine größere Streuung aufweisen.

Graphische Darstellung Vergleich SenseWear und Polysomnographie nach Bland und Altman

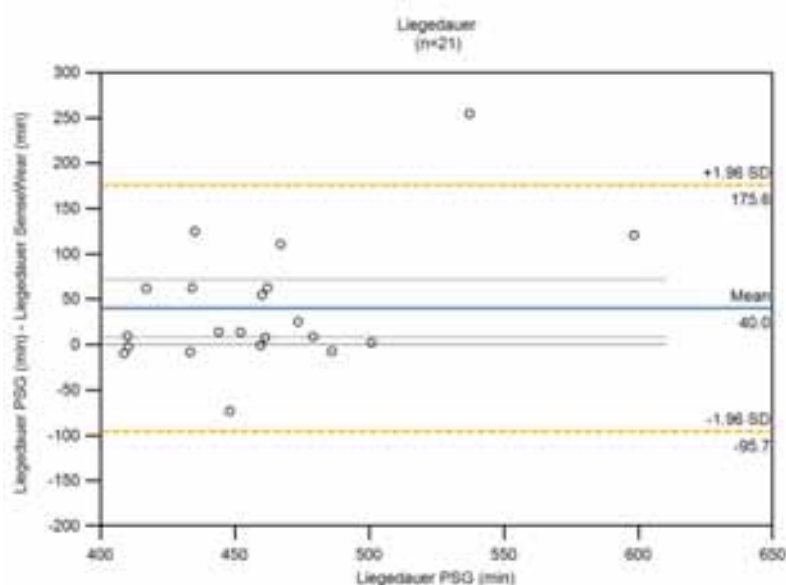


Abb. 172 Vergleich der Messwerte der Liegedauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear nach Bland-Altman

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass die Messwerte des SenseWear-Gerätes zur Liegedauer geringer sind, als die mit der PSG erhobenen Werte, die mittlere Abweichung (Mean Bias) beträgt 40 min. Die Konfidenzintervalle liegen außerhalb der Nulldifferenz, es besteht somit ein signifikanter Unterschied. Die Limits of Agreement liegen bei +176 min und -96 min. Mit zunehmender Liegedauer scheint die Unterschätzung durch das SenseWear-Gerät im Betrag zuzunehmen.

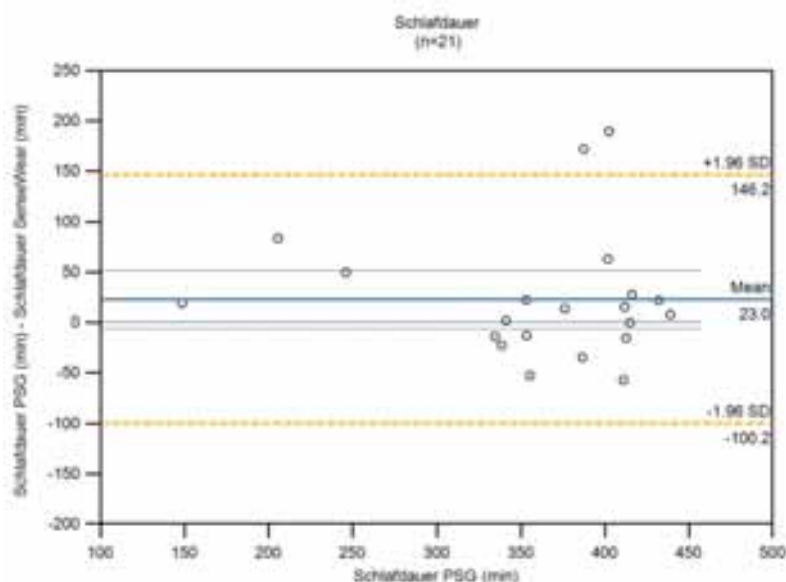


Abb. 173 Vergleich der Messwerte der Schlafdauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear nach Bland-Altman

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass die Messwerte des SenseWear-Gerätes zur Schlafdauer geringer sind, als die mit der PSG erhobenen Werte, die mittlere Abweichung (Mean Bias) beträgt 23 min. Die Limits of Agreement liegen bei +146 min und -100 min. Mit zunehmender Schlafdauer zeigt sich eine größer werdende Streuung der SenseWear-Messwerte.

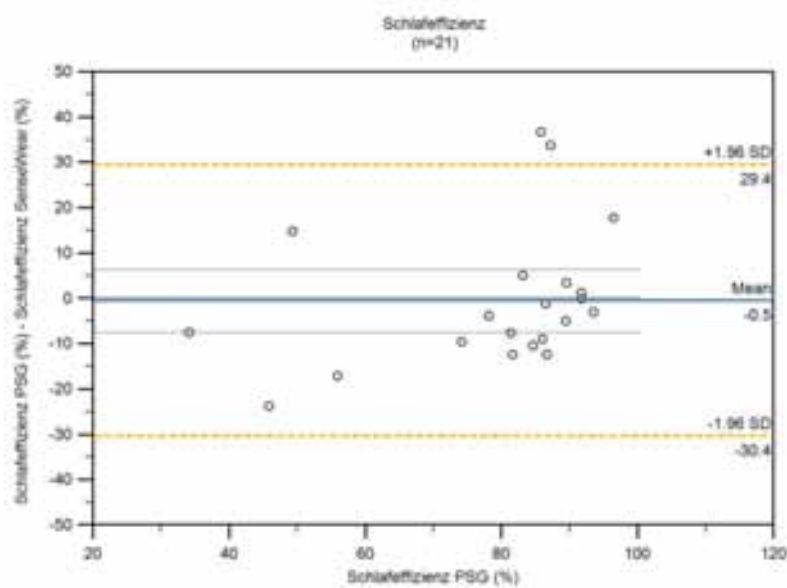


Abb. 174 Vergleich der Messwerte der Schlafeffizienz mittels Polysomnographie vs. SenseWear nach Bland-Altman

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass die Messwerte des SenseWear-Gerätes zur Schlafeffizienz minimal größer sind, als die mit der PSG erhobenen Werte, die mittlere Abweichung (Mean Bias) beträgt -0.5 %. Die Limits of Agreement liegen bei +29 % und -30 %. Bei geringer Schlafeffizienz scheint das SenseWear-Gerät diese zu über- und bei hoher Schlafeffizienz diese zu unterschätzen.

3.7 Untersuchung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter durch den Vergleich dreier SenseWear-Geräte an drei Trageorten

Anthropometrische Daten des Teilnehmers der Validierungsuntersuchung

| Anzahl | Alter (Jahre) | Größe (cm) | Gewicht (kg) | BMI (kg/m ²) |
|---------|---------------|------------|--------------|--------------------------|
| n=1 ♂ † | 35 | 187 | 83 | 23.7 |

Tabelle 101 Übersicht der anthropometrischen Daten des Probanden der Validierungsstudie; † aufgrund der Natur der Untersuchung im Selbstversuch ist die Probandenanzahl = 1, die Anzahl der einzelnen Messungen beträgt n=21

Tabelle 101 zeigt die anthropometrischen Daten des Probanden der Validierungsstudie im Selbstversuch.

Statistischer Vergleich der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter in Abhängigkeit von unterschiedlichen Testgeräten und Trageorten

| Statistischer Vergleich der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter nach Geräten und Trageorten | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|-------------------|
| n=21 | Trageort 1 bzw. Gerät 1 | Trageort 2 bzw. Gerät 2 | Trageort 3 bzw. Gerät 3 | Testwert | Signifikanzniveau |
| Liegedauer - Trageorte † (min) | 415 | 427 | 412 | 0.64 | p=0.73 |
| Liegedauer - Geräte † (min) | 419 | 427 | 404 | 0.79 | p=0.67 |
| Schlafdauer - Trageorte † (min) | 374 | 372 | 374 | 1.17 | p=0.56 |
| Schlafdauer - Geräte (min) | 382 | 379 | 375 | 0.95 | p=0.40 |
| Schlafeffizienz - Trageorte † (%) | 89.9 | 90.6 | 90.8 | 0.31 | p=0.85 |
| Schlafeffizienz - Geräte † (%) | 90.4 | 89.9 | 90.5 | 2.19 | p=0.33 |
| Schlafragmentierung - Trageorte (Anzahl/Schlaf) | 5.3 | 5.4 | 5.5 | 0.06 | p=0.94 |
| Schlafragmentierung - Geräte (Anzahl/Schlaf) | 5.2 | 5.2 | 5.8 | 0.66 | p=0.52 |
| Schlafenergieumsatz - Trageorte (MET) | 0.976 | 0.971 | 0.960 | 3.78 | p=0.031 |
| Schlafenergieumsatz - Geräte (MET) | 0.968 | 0.969 | 0.970 | 0.03 | p=0.97 |
| tägl. Energieumsatz - Trageorte (kJ/d) | 14439 | 14326 | 14028 | 3.19 | p=0.052 |
| tägl. Energieumsatz - Geräte (kJ/d) | 13864 | 14529 | 14400 | 12.21 | p<0.001 |

Tabelle 102 Übersicht über die Ergebnisse des statistischen Vergleichs der Methoden SenseWear mittels dreier Testgeräte an drei Trageorten; die mit † gekennzeichneten Parameter wurden aufgrund nicht-Normalverteilung nach der Friedman RM ANOVA on Ranks auf statistische Verschiedenheit berechnet (Testwert: χ^2), die angegebenen Werte dieser Parameter geben die Mediane der Messwerte wieder; alle weiteren Parameter wurden nach der RM ANOVA berechnet (Testwert: F-Wert), die angegebenen Werte geben die Mittelwerte der Messwerte wieder

Wie aus Tabelle 102 ersichtlich, ergeben sich für die vom SenseWear-Gerät erhobenen Werte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen verschiedenen Geräten bzw. Trageorten für die Liegedauer, Schlafdauer, Schlafeffizienz und die Schlaffragmentierung.

Für den Schlafenergieumsatz ergeben sich zwischen den verschiedenen Geräten keine signifikanten Unterschiede, jedoch existiert ein signifikanter Unterschied für diesen Parameter für die Messwerte erhoben an den verschiedenen Trageorten.

Für den täglichen Energieumsatz ergeben sich zwischen den verschiedenen Trageorten keine signifikanten Unterschiede, wobei das Signifikanzniveau nur unweit von einem statistisch signifikanten Ergebnis entfernt liegt. Des Weiteren existiert für diesen Parameter ein statistisch signifikanter Unterschied für die Messwerte erhoben durch verschiedene SenseWear-Geräte.

Graphische Darstellung Vergleich der vom SenseWear erhobenen Parameter nach Geräten und Trageorten - Boxplots

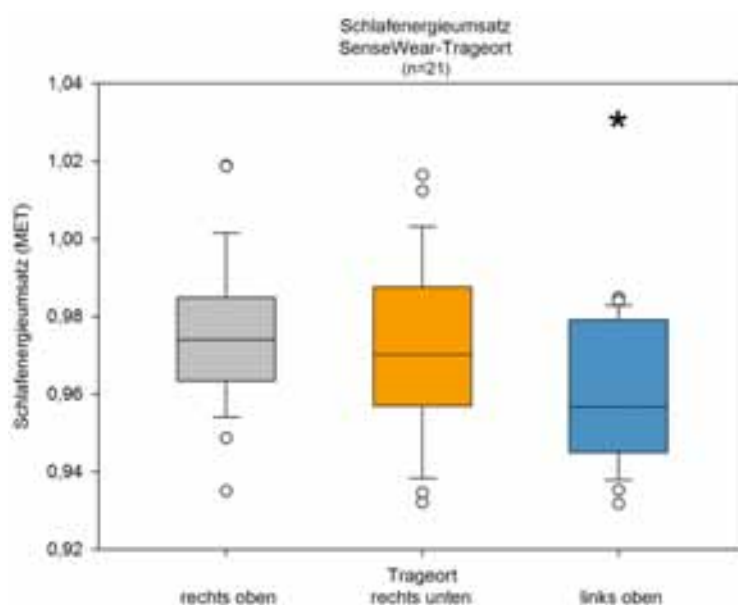


Abb. 175 Boxplot der Messwerte des Schlafenergieumsatzes durch das SenseWear-Gerät an verschiedenen Trageorten

Wie aus Abbildung 175 hervorgeht, unterscheiden sich die mit dem SenseWear-Gerät erhobenen Messwerte zum Schlafenergieumsatz in Abhängigkeit vom Trageort. Ein am rechten Arm unten getragenes Gerät gibt geringere Werte aus, im Vergleich zum vorgegebenen Trageort (rechts oben), ohne dass statistische Signifikanz erreicht wird.

Ein am linken Arm getragenes SenseWear-Gerät gibt im Vergleich zum Referenztrageort (rechts oben) signifikant geringere Werte aus (gekennzeichnet durch * in der Abbildung).

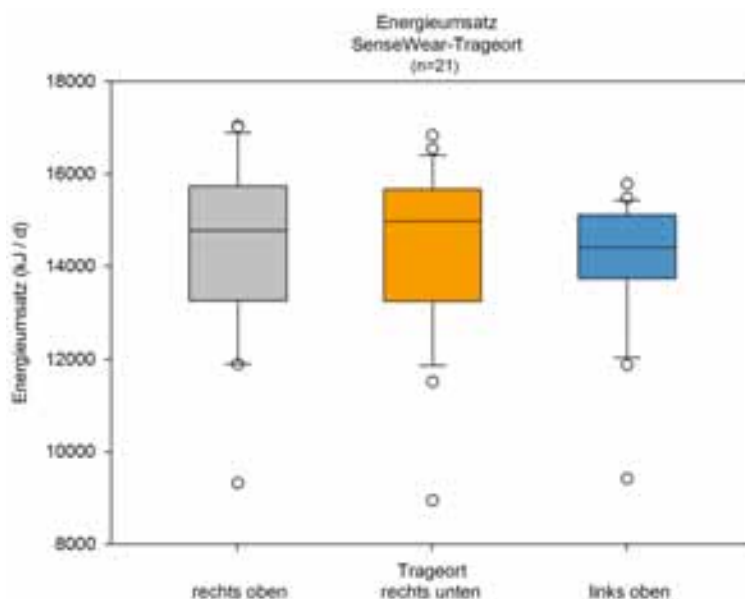


Abb. 176 Boxplot der Messwerte des Energieumsatzes durch das SenseWear-Gerät an verschiedenen Trageorten

Wie aus Abbildung 176 hervorgeht, unterscheiden sich die mit dem SenseWear-Gerät erhobenen Messwerte zum täglichen Energieumsatz in Abhängigkeit vom Trageort. Ein am rechten Arm oben getragenes Gerät gibt höhere Werte aus, im Vergleich zum vorgegebenen Trageort (rechts oben); ein am linken Arm getragenes Gerät gibt geringere Werte aus, im Vergleich zum vorgegebenen Trageort (rechts oben), ohne dass statistische Signifikanz erreicht wird.

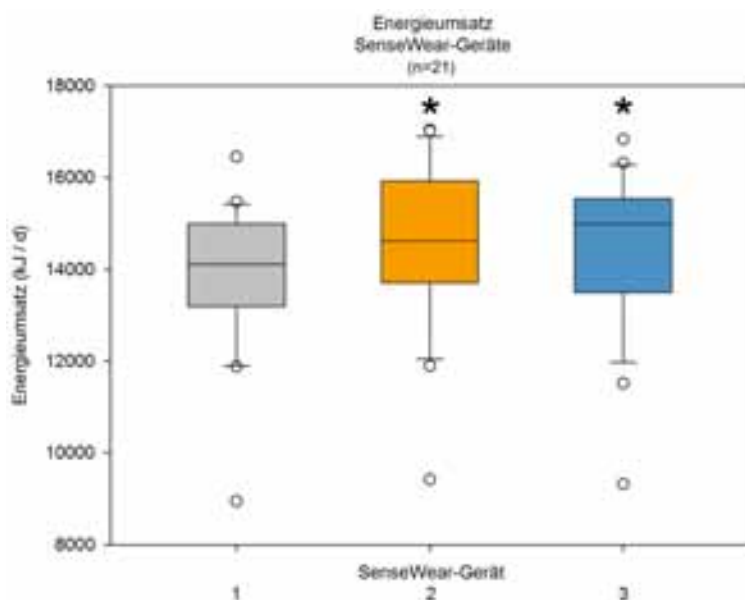


Abb. 177 Boxplot der Messwerte des Energieumsatzes durch das SenseWear-Gerät mit verschiedenen Geräten

Wie aus Abbildung 177 hervorgeht, unterscheiden sich die mit dem SenseWear-Gerät erhobenen Messwerte zum täglichen Energieumsatz signifikant in Abhängigkeit vom Gerät. Die Geräte 2 und 3 geben statistisch signifikant höhere Werte aus, als die vom Gerät 1 ausgegebenen Werte (gekennzeichnet durch * in der Abbildung). Die Werte des Parameters der Geräte 2 und 3 unterscheiden sich dabei statistisch nicht voneinander.

Statistische Prüfung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter in Abhängigkeit von unterschiedlichen Testgeräten und Trageorten

| Statistische Prüfung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter nach Geräten und Trageorten | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|---------------------|------------------|
| n=21 | Intraklassen Korrelation (Consistency) | | Intraklassen Korrelation (Absolute Agreement) | | Cronbach's Alpha |
| | r (Single Measure) | r (Average Measure) | r (Single Measure) | r (Average Measure) | |
| Liegedauer - Trageorte (min) | 0.80 | 0.92 | 0.81 | 0.93 | 0.93 |
| Liegedauer - Geräte (min) | 0.81 | 0.93 | 0.81 | 0.93 | 0.93 |
| Schlafdauer - Trageorte (min) | 0.90 | 0.96 | 0.90 | 0.96 | 0.96 |
| Schlafdauer - Geräte (min) | 0.90 | 0.96 | 0.90 | 0.96 | 0.96 |
| Schlafeffizienz - Trageorte (%) | 0.51 | 0.75 | 0.50 | 0.75 | 0.80 |
| Schlafeffizienz - Geräte (%) | 0.50 | 0.75 | 0.50 | 0.75 | 0.76 |
| Schlaffragmentierung - Trageorte (Anzahl/Schlaf) | 0.39 | 0.66 | 0.40 | 0.67 | 0.68 |
| Schlaffragmentierung - Geräte (Anzahl/Schlaf) | 0.36 | 0.63 | 0.37 | 0.63 | 0.62 |
| Schlafenergieumsatz - Trageorte (MET) | 0.13 | 0.31 | 0.12 | 0.29 | 0.36 |
| Schlafenergieumsatz - Geräte (MET) | 0.07 | 0.19 | 0.07 | 0.19 | 0.33 |
| tägl. Energieumsatz - Trageorte (kJ/d) | 0.91 | 0.97 | 0.90 | 0.97 | 0.97 |
| tägl. Energieumsatz - Geräte (kJ/d) | 0.93 | 0.98 | 0.90 | 0.97 | 0.98 |

Tabelle 103 Übersicht über die Ergebnisse zur statistischen Prüfung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter in Abhängigkeit unterschiedlicher Geräte und Trageorte

Wie aus Tabelle 103 hervorgeht, zeigen die von unterschiedlichen SenseWear-Geräten und an den unterschiedlichen Orten gemessenen Werte der Parameter: Liegedauer, Schlafdauer und tägl. Energieumsatz jeweils eine hohe Übereinstimmung zueinander (ICC und Cronbach's Alpha).

Die Werte des Parameters Schlafeffizienz zeigen jeweils eine gute Übereinstimmung zueinander (ICC und Cronbach's Alpha).

Die Werte des Parameters Schlaffragmentierung zeigen jeweils eine nur mäßige Übereinstimmung zueinander (ICC und Cronbach's Alpha). Die an unterschiedlichen Trageorten erhobenen Werte zeigen dabei eine noch geringere Übereinstimmung.

Die Werte des Parameters Schlafenergieumsatz zeigen jeweils eine nur geringe Übereinstimmung zueinander (ICC und Cronbach's Alpha). Die an unterschiedlichen Trageorten erhobenen Werte zeigen dabei eine noch geringere Übereinstimmung.

Graphische Darstellung Vergleich SenseWear nach Trageorten und Geräten nach Bland und Altman

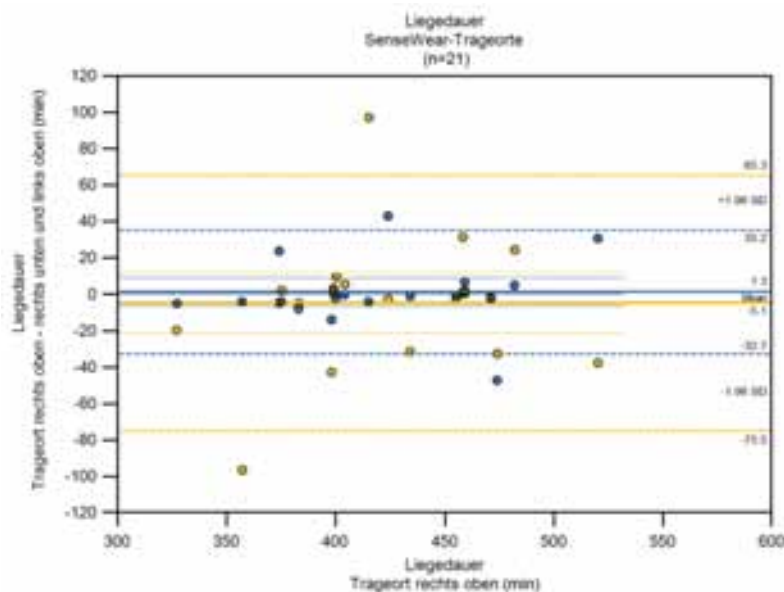


Abb. 178 Vergleich der Messwerte der Liegedauer in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zur Liegedauer in Abhängigkeit des Trageortes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (-5 min und 1 min); die Limits of Agreement liegen für Trageort rechts unten höher (65 min und -76 min) als für links oben (35 min und -32 min).

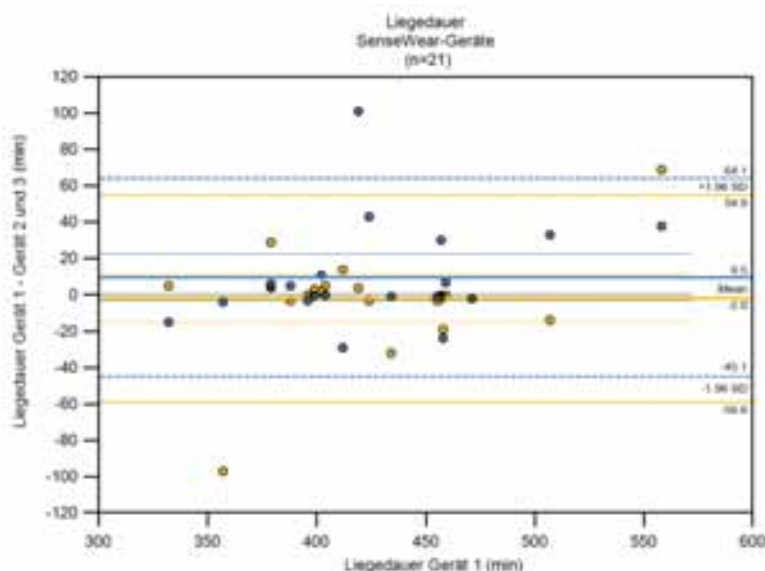


Abb. 179 Vergleich der Messwerte der Liegedauer in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zur Liegedauer in Abhängigkeit des Gerätes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (-2 min und 10 min); die Limits of Agreement liegen für Gerät 2 höher (55 min und -59 min) als für Gerät 3 (64 min und -45 min).

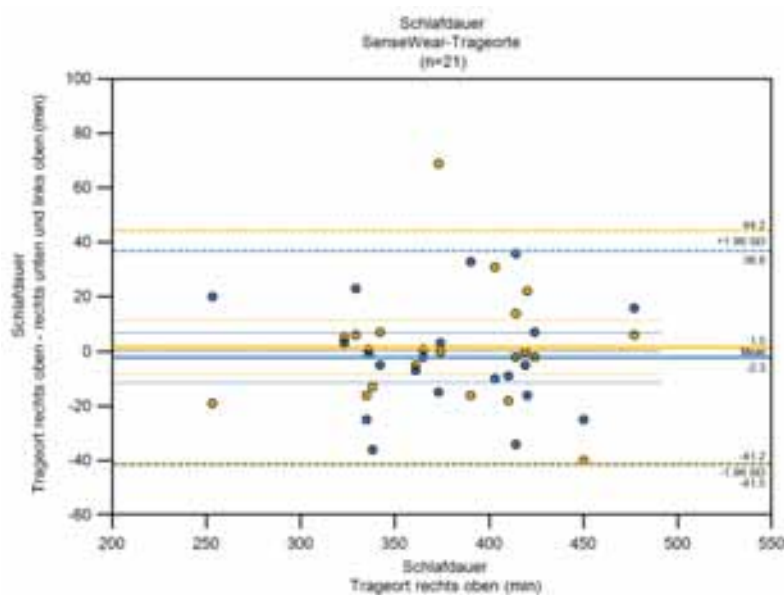


Abb. 180 Vergleich der Messwerte der Schlafdauer in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zur Schlafdauer in Abhängigkeit des Trageortes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (2 min und -2 min); die Limits of Agreement liegen für Trageort rechts unten höher (44 min und -41 min) als für links oben (37 min und -42 min).

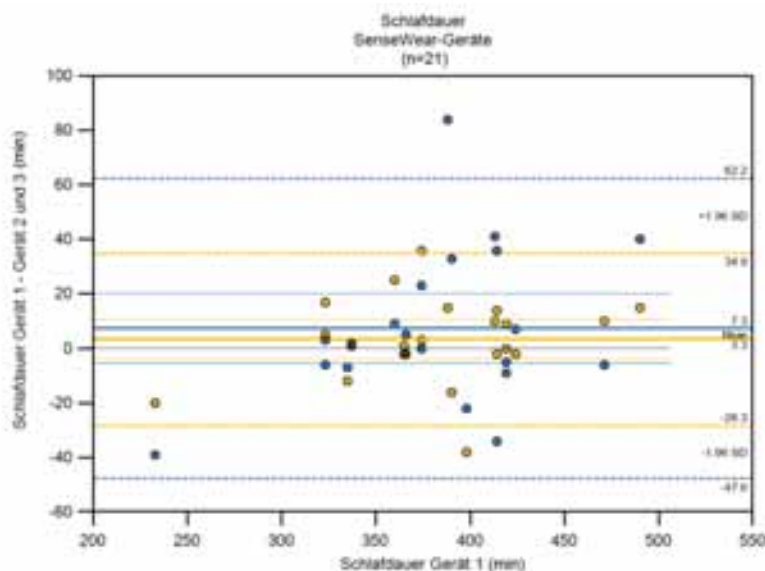


Abb. 181 Vergleich der Messwerte der Schlafdauer in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zur Schlafdauer in Abhängigkeit des Gerätes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (3 min und 7 min); die Limits of Agreement liegen für Gerät 2 geringer (35 min und -29 min) als für Gerät 3 (62 min und -48 min).

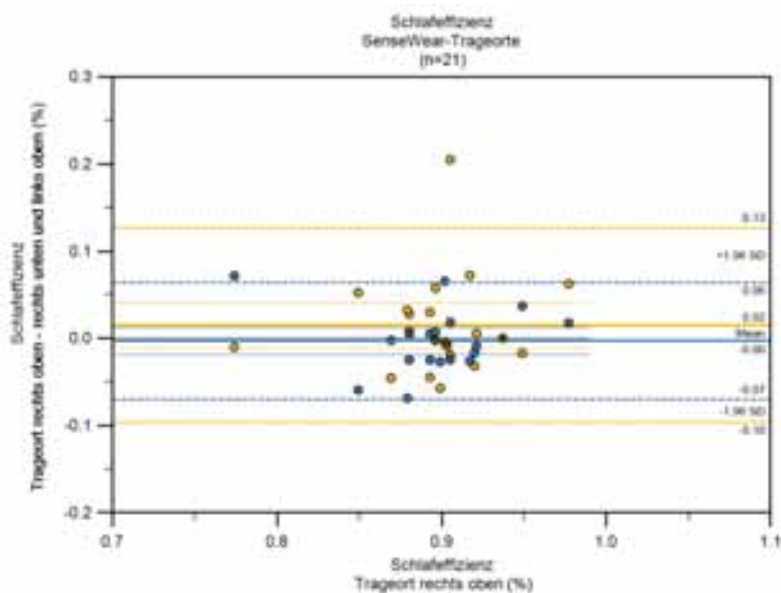


Abb. 182 Vergleich der Messwerte der Schlafeffizienz in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zur Schlafeffizienz in Abhängigkeit des Trageortes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (-0.0 % und 0.02 %); die Limits of Agreement liegen für Trageort rechts unten höher (0.13 % und -0.1 %) als für links oben (0.06 % und -0.07 %).

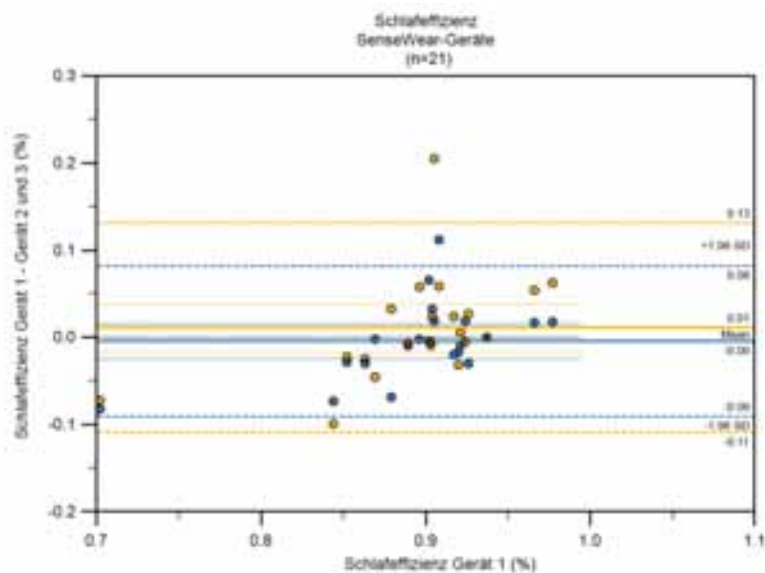


Abb. 183 Vergleich der Messwerte der Schlafeffizienz in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zur Schlafeffizienz in Abhängigkeit des Gerätes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (0.01 % und -0.0 %); die Limits of Agreement liegen für Gerät 2 höher (0.13 % und -0.11 %) als für Gerät 3 (0.08 % und -0.09 %).

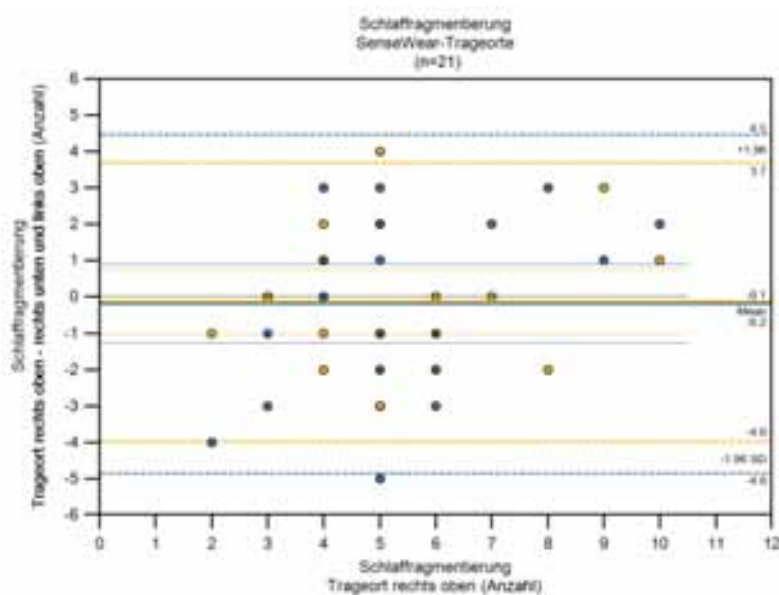


Abb. 184 Vergleich der Messwerte der Schlaffragmentierung in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zur Schlaffragmentierung in Abhängigkeit des Trageortes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (-0.1 und -0.2); die Limits of Agreement liegen für Trageort rechts unten geringer (3.7 und -4.0) als für links oben (4.5 und -4.9). Es zeigt sich eine Über- bzw. Unterschätzung in Abhängigkeit der am Referenzort erhobenen Werte.

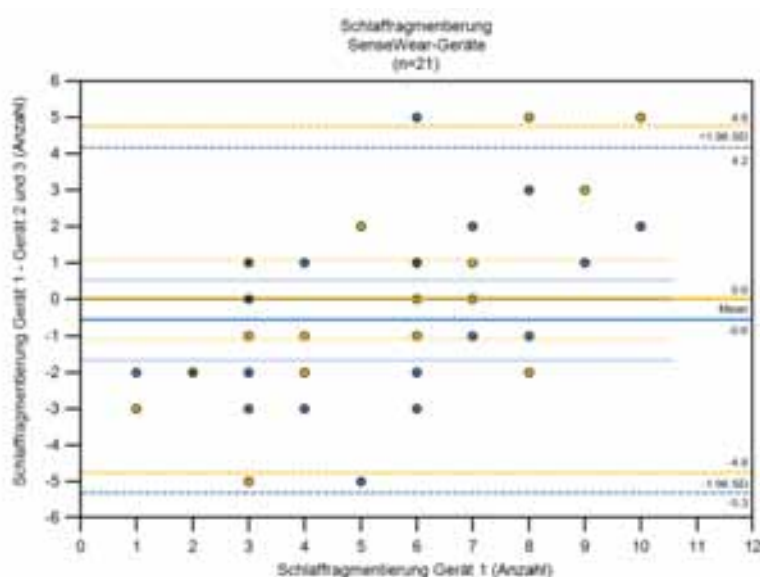


Abb. 185 Vergleich der Messwerte der Schlaffragmentierung in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zur Schlaffragmentierung in Abhängigkeit des Gerätes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (0.0 und -0.6); die Limits of Agreement liegen für Gerät 2 höher (4.8 und -4.8) als für Gerät 3 (4.2 und -5.3). Es zeigt sich eine Über- bzw. Unterschätzung in Abhängigkeit der vom Referenzgerät erhobenen Werte.

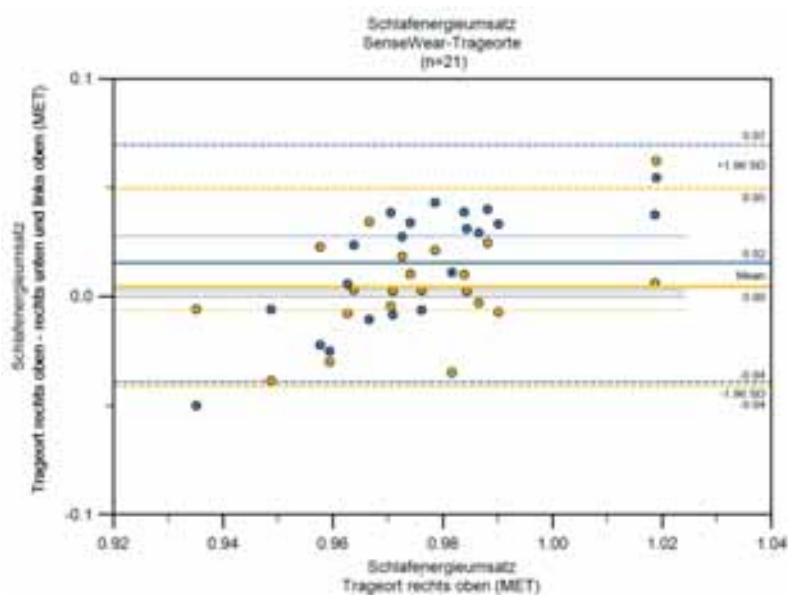


Abb. 186 Vergleich der Messwerte des Schlafenergieumsatzes in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zum Schlafenergieumsatz in Abhängigkeit des Trageortes eine geringe bis mäßige mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (0.0 MET und 0.02 MET), Trageort links oben unterschätzt systematisch die Werte im Vergleich zum Referenztrageort (die Nulldifferenz liegt außerhalb des Konfidenzintervalls der mittleren Abweichung (Mean Bias)). Die Limits of Agreement liegen für Trageort rechts unten geringer (0.05 MET und -0.04 MET) als für links oben (0.07 MET und -0.04 MET). Es zeigt sich eine Über- bzw. Unterschätzung in Abhängigkeit der am Referenzort erhobenen Werte.

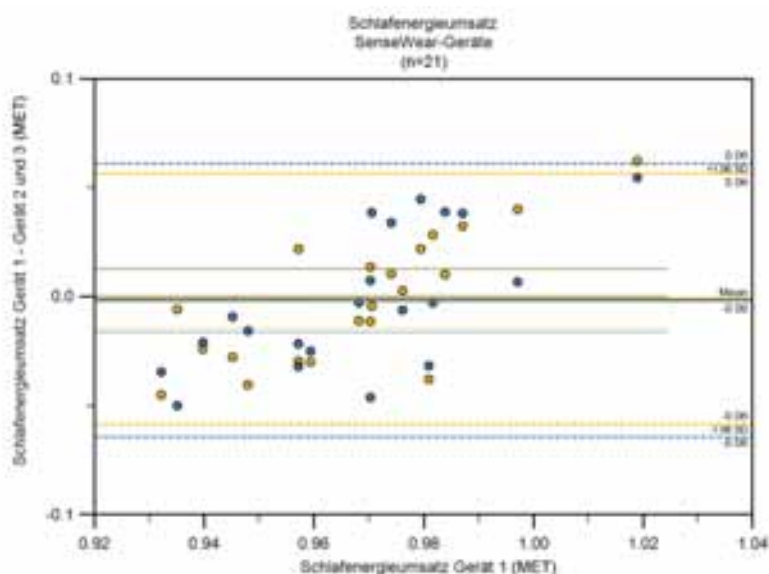


Abb. 187 Vergleich der Messwerte des Schlafenergieumsatzes in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zum Schlafenergieumsatz in Abhängigkeit des Gerätes eine geringere mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (-0.0 MET und -0.0 MET); die Limits of Agreement liegen für Gerät 2 geringer (0.06 MET und -0.06 MET) als für Gerät 3 (0.06 MET und -0.06 MET). Es zeigt sich eine Über- bzw. Unterschätzung in Abhängigkeit der vom Referenzgerät erhobenen Werte.

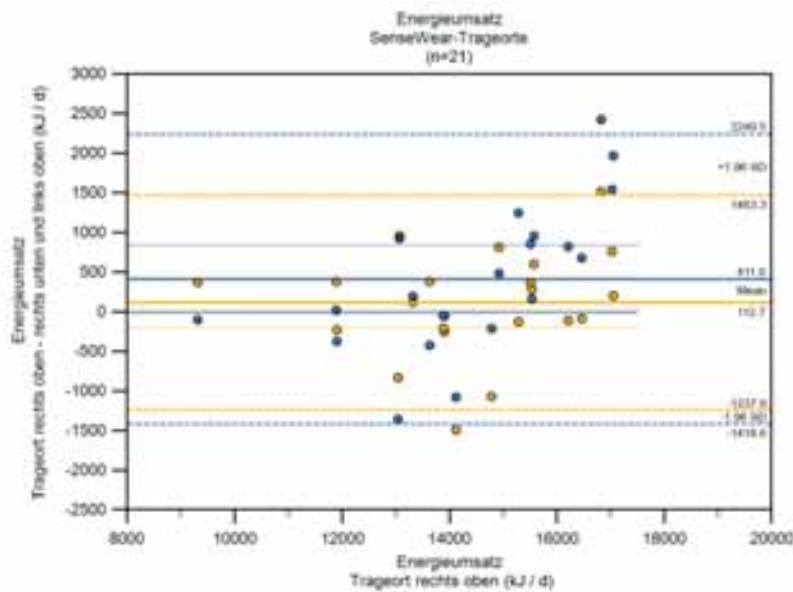


Abb. 188 Vergleich der Messwerte des täglichen Energieumsatzes in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zum Energieumsatz in Abhängigkeit des Trageortes eine geringe bis mäßige mittlere Abweichung (Mean Bias) besteht (113 kJ/d und 411 kJ/d). Trageort links oben zeigt nur knapp keine systematisch geringeren Werte, als die am Referenzort rechts oben gemessenen Werte. Die Limits of Agreement liegen für Trageort rechts unten geringer (1463 kJ/d und -1238 kJ/d) als für links oben (2240 kJ/d und -1419 kJ/d). Es zeigt sich eine Zunahme der Streuung bei höheren Energieumsätzen.

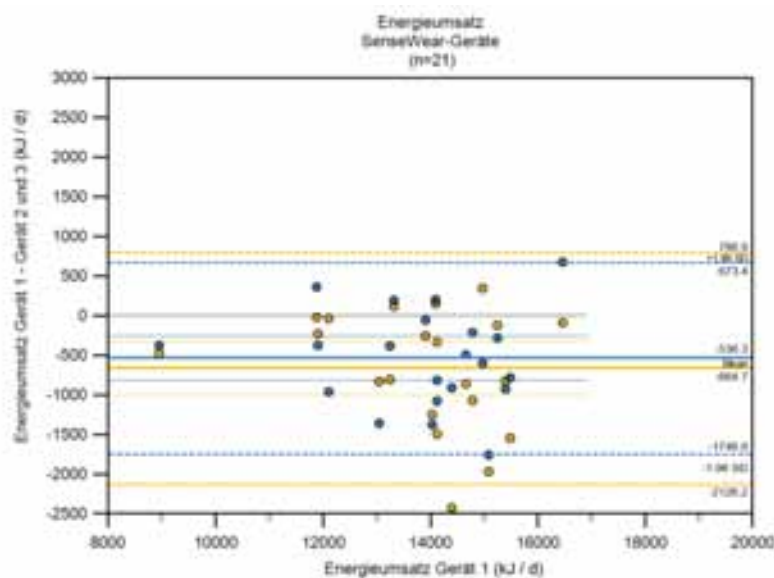


Abb. 189 Vergleich der Messwerte des täglichen Energieumsatzes in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)

In der Darstellung nach Bland-Altman zeigt sich, dass zum Energieumsatz in Abhängigkeit des Gerätes eine hohe Abweichung (Mean Bias) besteht (-665 kJ/d und -536 kJ/d), Gerät 1 zeigt systematisch geringere Werte als die von Gerät 2 und 3 ausgegebenen (die Nulldifferenz liegt außerhalb der CI der mittleren Abweichung (Mean Bias) der beiden anderen Geräte). Die Limits of Agreement liegen für Gerät 2 höher (797 kJ/d und -2126 kJ/d) als für Gerät 3 (673 kJ/d und -1746 kJ/d). Es zeigt sich eine Zunahme der Streuung bei höheren Energieumsätzen.

3.8 Untersuchung verschiedener vom SenseWear-Gerät erhobener Parameter nach Beeinflussung durch vorherigen Wasserduschgang

Anthropometrische Daten des Teilnehmers der Validierungsuntersuchung

| Anzahl | Alter (Jahre) | Größe (cm) | Gewicht (kg) | BMI (kg/m ²) |
|---------|---------------|------------|--------------|--------------------------|
| n=1 ♂ † | 35 | 187 | 83 | 23.7 |

Tabelle 104 Übersicht der anthropometrischen Daten des Probanden der Validierungsstudie; † aufgrund der Natur der Untersuchung im Selbstversuch ist die Probandenanzahl = 1, die Anzahl der einzelnen Messungen beträgt n=12

Tabelle 104 zeigt die anthropometrischen Daten des Probanden der Validierungsstudie im Selbstversuch.

Statistische Prüfung des Einflusses eines vorherigen Wasserduschgangs auf vom SenseWear-Gerät erhobene Parameter

| Statistische Prüfung des Einflusses eines vorherigen Duschgangs auf Parameter des SenseWear-Gerätes | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------|
| Evaporation (g/m ² /h) | | | Evaporation (g/m ² /h) † | | |
| Kontrolle | vor Duschgang | Signifikanzniveau | Kontrolle | nach Duschgang | Signifikanzniveau |
| 28.72 | 28.22 | p=0.846 | 37.9 | 459.5 | p<0.001 |
| Hautleitwert (μSiemens) † | | | Hauttemperatur (°C) | | |
| Kontrolle | nach Duschgang | Signifikanzniveau | Kontrolle | nach Duschgang | Signifikanzniveau |
| 0.23 | 1.31 | p<0.001 | 32.1 | 31.6 | p=0.166 |
| Akzeleration transversal (g) | | | Akzeleration longitudinal (g) | | |
| Kontrolle | nach Duschgang | Signifikanzniveau | Kontrolle | nach Duschgang | Signifikanzniveau |
| 0.75 | 0.79 | p=0.685 | 0.72 | 0.75 | p=0.821 |
| Wärmefluss (W/m ²) † | | | Energieumsatz (kJ/min) ‡ | | |
| Kontrolle | nach Duschgang | Signifikanzniveau | Kontrolle | nach Duschgang | Signifikanzniveau |
| 99.3 | 131.9 | p=0.002 | 9.36 | 10.92 | p=0.044 |

Tabelle 105 Übersicht über die Ergebnisse der statistischen Vergleiche verschiedener vom SenseWear-Gerät erhobener Parameter und des Einflusses eines Wasserduschgangs; die mit † gekennzeichneten Parameter wurden aufgrund zu verschiedener Varianzen nach dem Mann-Whitney Ranksummen-Test berechnet, die angegebenen Werte geben die Mediane der Messwerte wieder; alle anderen Parameter wurden nach dem T-Test berechnet, die angegebenen Werte geben die Mittelwerte der Messwerte wieder; ‡ die Angabe des Signifikanzniveaus basiert auf einseitiger Testung (one-tailed test); Anzahl der Messungen n=12

Die Werte der Evaporation zeigen den Transepidermalen Wasserverlust am Interventionsarm rechts und Kontrollarm links, jeweils vor und nach der Intervention Duschgang. Es zeigt sich vor dem Duschgang kein signifikanter Unterschied und nach der Intervention ein signifikanter Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollarm.

Hinsichtlich der vom SenseWear-Gerät gemessenen Parameter zeigen sich für angegebenen Messergebnisse (Mediane bzw. Mittelwerte; basierend auf Mittelung aller Ergebnisse der 200-minütigen Messungen) im Vergleich des Interventionsarms zum Kontrollarm signifikante Unterschiede beim Hautleitwert, beim Wärmefluss und bei dem Energieumsatz.

Die Parameter Akzeleration (transversal und longitudinal) und Hauttemperatur zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollarm durch die Intervention.

Graphische Darstellung der Einzelparameter - Boxplots Kontrolle vs. Intervention

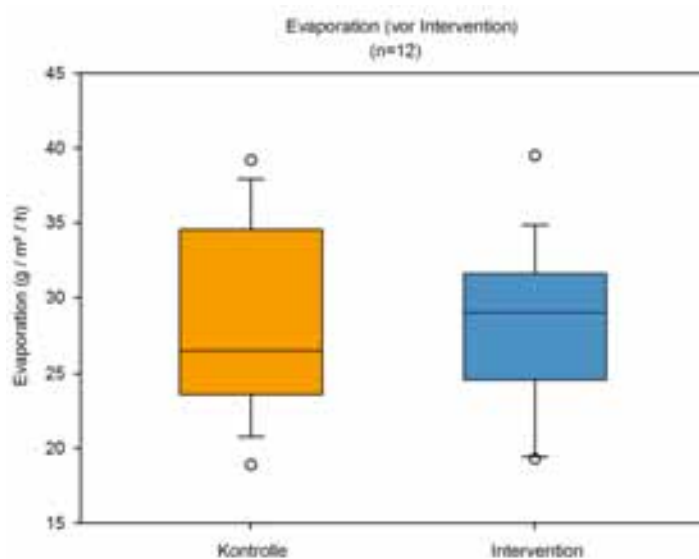


Abb. 190 Boxplot der Messwerte der Evaporation Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts) vor der Intervention

Vor der Intervention (Duschgang) zeigen sowohl der Kontroll- als auch der Interventionsarm vergleichbare Werte der Evaporation.

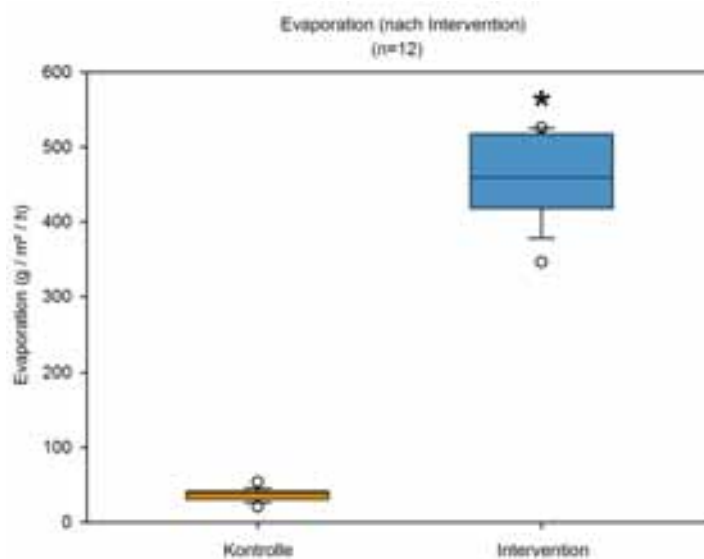


Abb. 191 Boxplot der Messwerte der Evaporation Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts) nach der Intervention

Nach der Intervention (Duschgang) zeigen sich bei dem Interventionsarm um ein Vielfaches erhöhte Werte der Evaporation, während die Werte der Evaporation des Kontrollarms keine Änderungen in der Evaporation zeigen. Der Unterschied ist statistisch signifikant (gekennzeichnet durch * in der Abbildung).

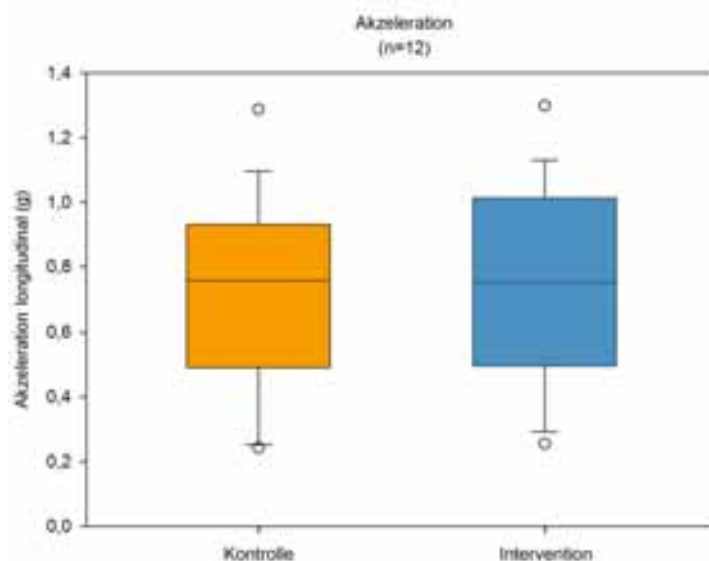


Abb. 192 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte der longitudinalen Akzeleration der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)

Über den Zeitraum der Messung nach der Intervention zeigen sich zwischen Kontroll- und Interventionsarm keine Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen longitudinalen Akzeleration.

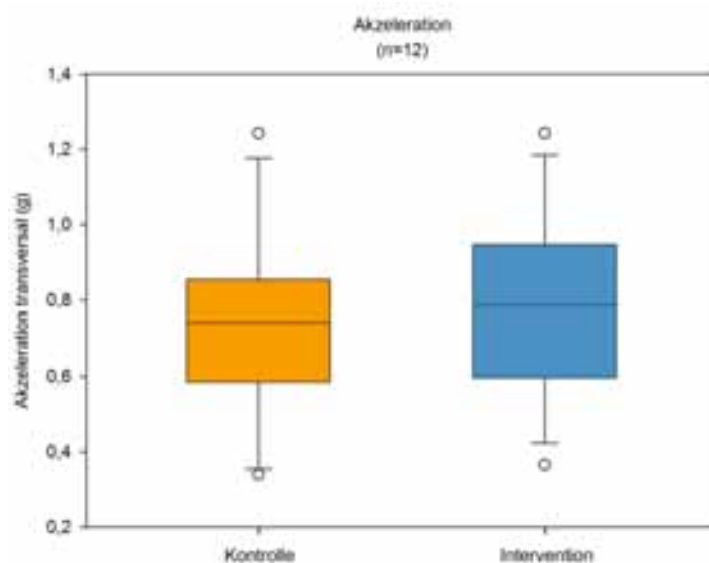


Abb. 193 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte der transversalen Akzeleration der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)

Über den Zeitraum der Messung nach der Intervention zeigen sich zwischen Kontroll- und Interventionsarm keine Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen transversalen Akzeleration. Die transversale Akzeleration am Interventionsarm (rechts) erscheint geringgradig erhöht, ohne dass statistische Signifikanz erreicht wird.

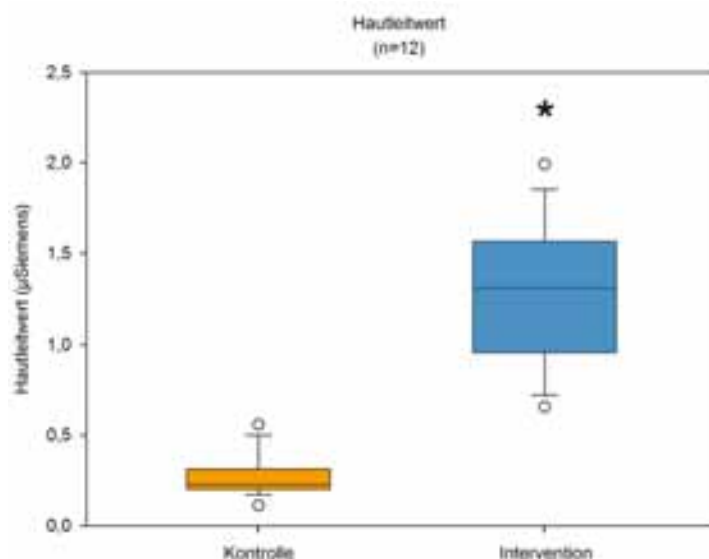


Abb. 194 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte des Hautleitwertes der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)

Über den Zeitraum der Messung nach der Intervention zeigen sich zwischen Kontroll- und Interventionsarm Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen Hautleitwerte. Die Messwerte nach Intervention (Duschgang) sind am Interventionsarm um ein Vielfaches erhöht, der Unterschied ist statistisch signifikant (gekennzeichnet durch * in der Abbildung).

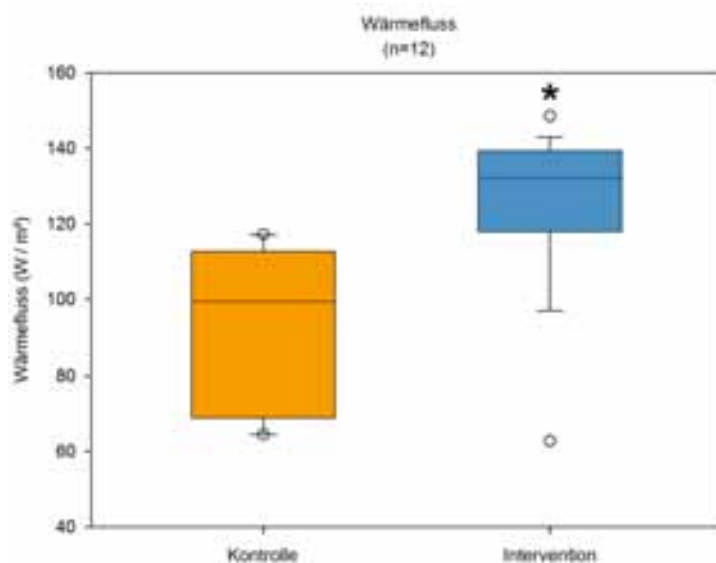


Abb. 195 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte des Wärmeflusses der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)

Über den Zeitraum der Messung nach der Intervention zeigen sich zwischen Kontroll- und Interventionsarm Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen Wärmeflusswerte. Die Messwerte nach Intervention (Duschgang) sind am Interventionsarm erhöht, der Unterschied ist statistisch signifikant (gekennzeichnet durch * in der Abbildung).

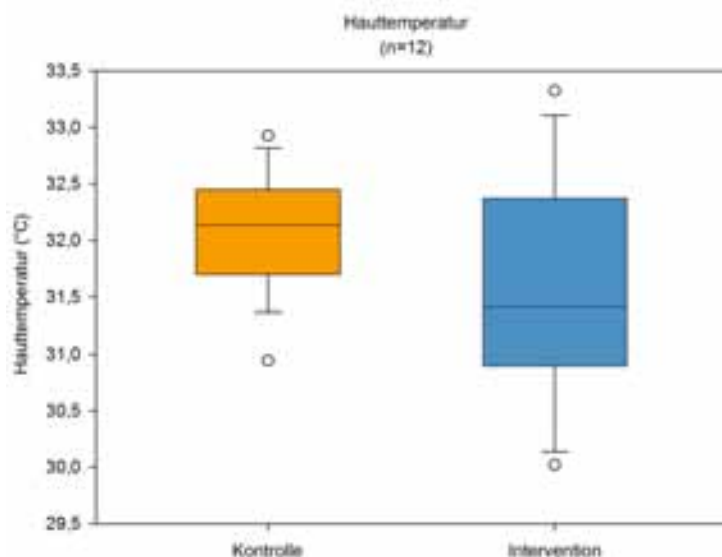


Abb. 196 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte der Hauttemperatur der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)

Über den Zeitraum der Messung nach der Intervention zeigen sich zwischen Kontroll- und Interventionsarm keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen Hauttemperatur. Die Hauttemperatur am Interventionsarm (rechts) erscheint erniedrigt, ohne dass statistische Signifikanz erreicht wird.

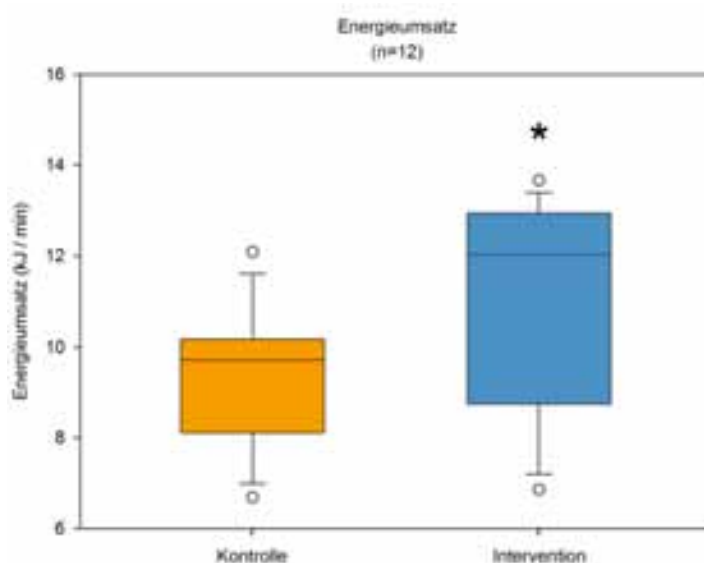


Abb. 197 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte des Energieumsatzes der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)

Über den Zeitraum der Messung nach der Intervention zeigen sich zwischen Kontroll- und Interventionsarm Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen vom SenseWear-Gerät ausgegebenen Energieumsatzwerte. Die Messwerte nach Intervention (Duschgang) sind am Interventionsarm erhöht, der Unterschied ist statistisch signifikant (gekennzeichnet durch * in der Abbildung).

Graphische Darstellung der Einzelparameter - anhand der Gesamtdaten einer Einzelmessung (Messung #5), vor und nach Glättung der Messwerte

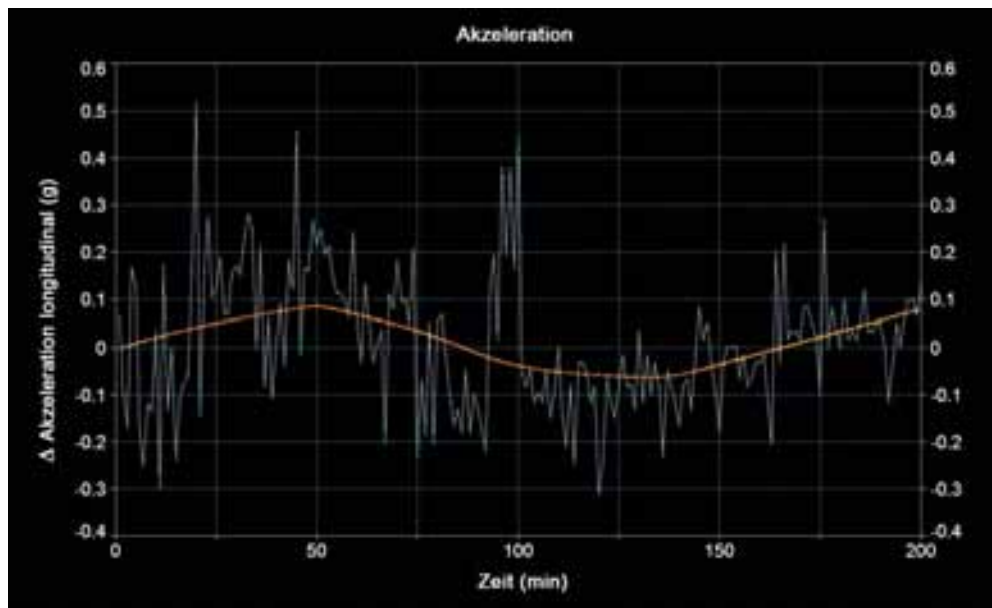


Abb. 198 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten der longitudinalen Akzeleration der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung

Die Werte der Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der Einzelmessung der longitudinalen Akzeleration über den Zeitraum der Messung zeigen eine nur geringfügige Änderung der Werte, die Werte schwanken um 0 g.

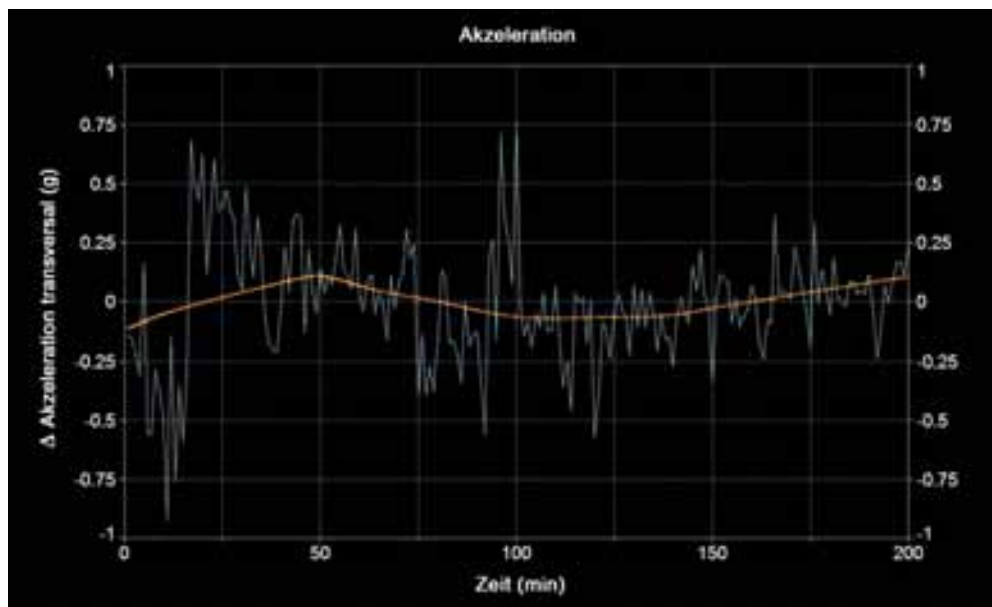


Abb. 199 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten der transversalen Akzeleration der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung

Die Werte der Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der Einzelmessung der transversalen Akzeleration über den Zeitraum der Messung zeigen eine nur geringfügige Änderung der Werte, die Werte schwanken um 0 g.

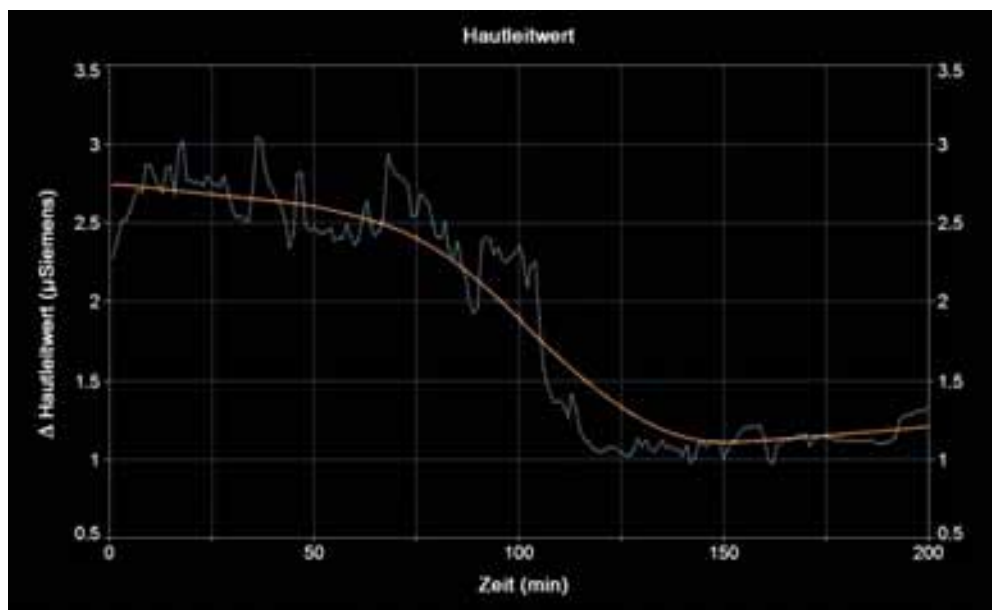


Abb. 200 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten des Hautleitwertes der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung

Die Werte der Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der Einzelmessung des Hautleitwertes über den Zeitraum der Messung zeigen zu Beginn der Messung (direkt nach Intervention) die größte Differenz, mit einem kontinuierlichen Abfall der Werte. Auch nach 200 Minuten liegen die Werte über 0 μ Siemens.

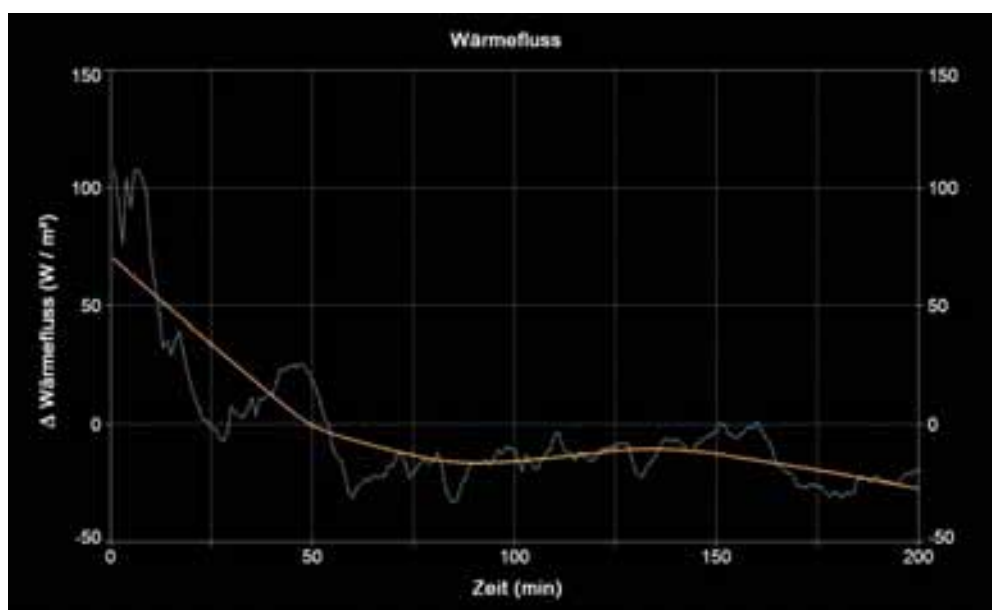


Abb. 201 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten des Wärmeflusses der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung

Die Werte der Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der Einzelmessung des Wärmeflusses über den Zeitraum der Messung zeigen zu Beginn der Messung (direkt nach Intervention) die größte Differenz, mit einem kontinuierlichen Abfall der Werte. Nach ca. 50 Messminuten unterschreitet der Wert der Differenz 0 Watt/m² und bleibt für den restlichen Messverlauf unter diesem Wert.

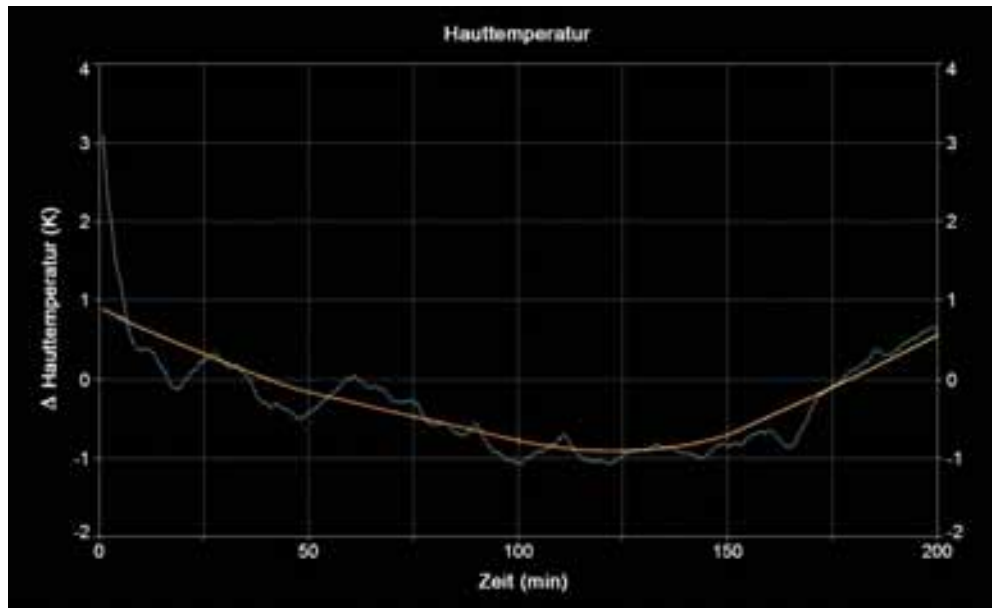


Abb. 202 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten der Hauttemperatur der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung

Die Werte der Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der Einzelmessung der Hauttemperatur über den Zeitraum der Messung zeigen zu Beginn der Messung (direkt nach Intervention) die größte Differenz, mit einem kontinuierlichen Abfall der Werte. Nach ca. 40 min unterschreitet der Wert 0 K, erreicht nach ca. 120 Messminuten -1 K und steigt danach wieder auf Werte über 0 K Differenz.

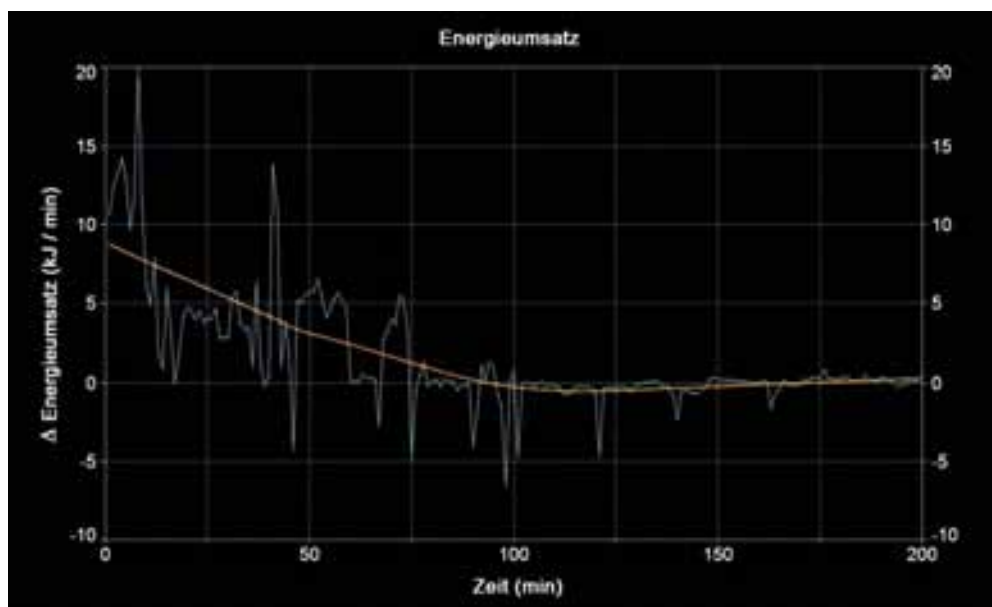


Abb. 203 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten des Energieumsatzes der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung

Die Werte der Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der Einzelmessung des Energieumsatzes über den Zeitraum der Messung zeigen zu Beginn der Messung (direkt nach Intervention) die größte Differenz, mit einem kontinuierlichen Abfall der Werte. Nach ca. 100 Messminuten erreicht der Wert die Differenz von 0 kJ/min und bleibt für den restlichen Messverlauf auf dem Wert relativ stabil.

Graphische Darstellung der Einzelparameter - Differenzen der Werte von Kontrolle minus Intervention nach Intervention aller Messungen mittels geglätteter Werte

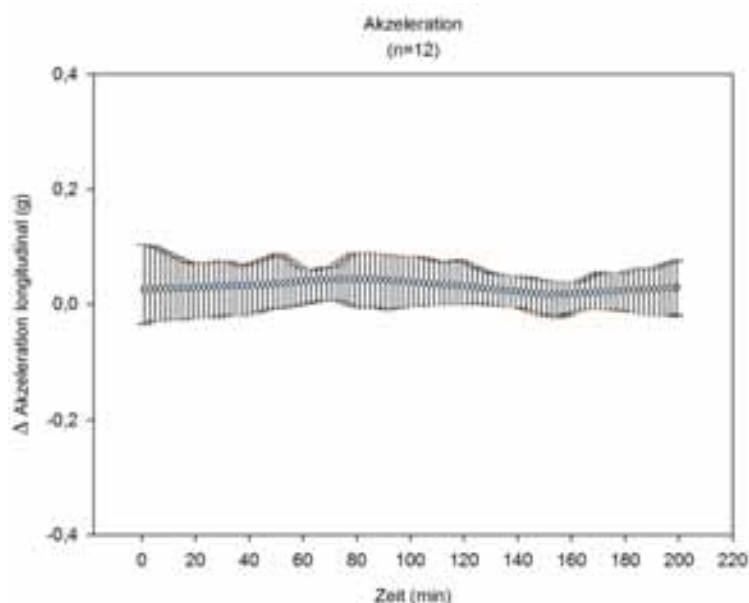


Abb. 204 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten der longitudinalen Akzeleration der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), geglättete Werte

Für die Gesamtheit der geglätteten Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der longitudinalen Akzeleration über den Zeitraum der Messungen zeigt sich eine nur geringe Änderung der Werte, die Werte liegen geringfügig über 0 g.

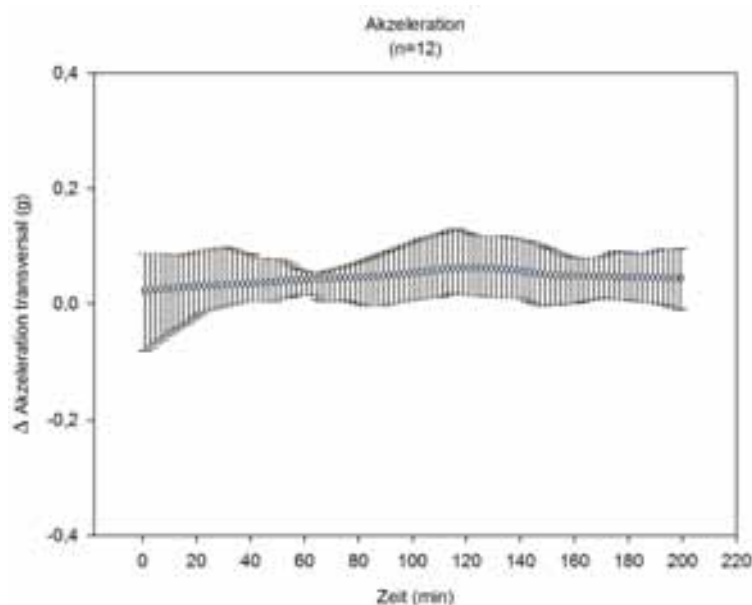


Abb. 205 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten der transversalen Akzeleration der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), geglättete Werte

Für die Gesamtheit der geglätteten Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der transversalen Akzeleration über den Zeitraum der Messungen zeigt sich eine nur geringe Änderung der Werte mit einer kontinuierlichen Zunahme bis zur ca. 120. Messminute, die Werte liegen dabei geringfügig über 0 g.

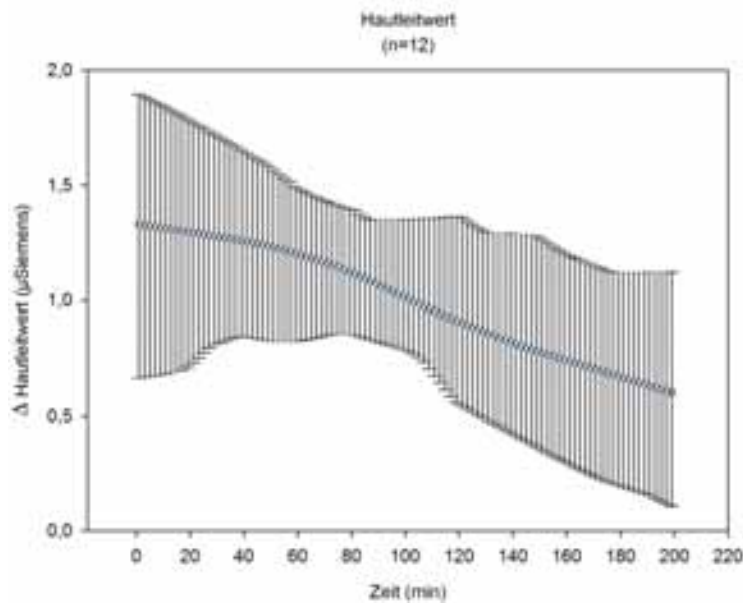


Abb. 206 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten des Hautleitwertes der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), geglättete Werte

Für die Gesamtheit der geglätteten Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm des Hautleitwertes über den Zeitraum der Messungen zeigt sich zu Beginn der Messung (direkt nach Intervention) die größte Differenz, mit einem stetigen Abfall der Werte. Auch nach 200 Minuten liegen die Werte der Differenzen noch über 0 $\mu\text{Siemens}$.

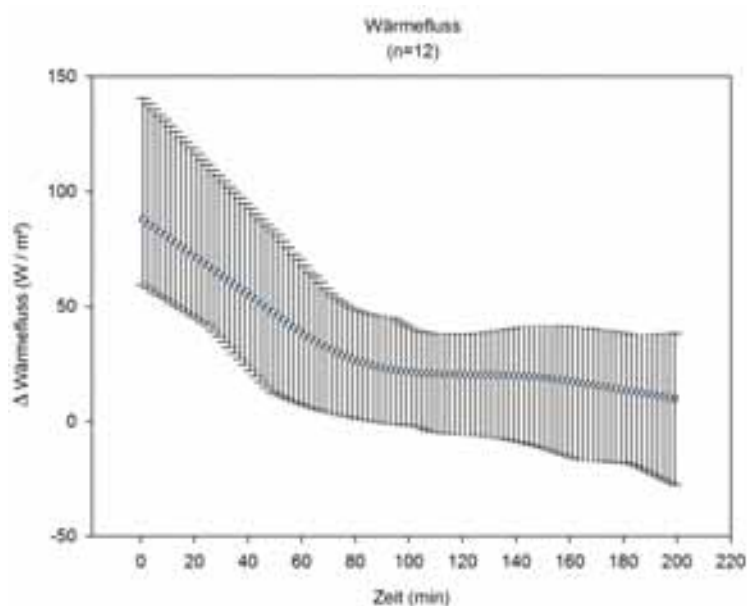


Abb. 207 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten des Wärmeflusses der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), geglättete Werte

Für die Gesamtheit der geglätteten Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm des Wärmeflusses über den Zeitraum der Messungen zeigt sich zu Beginn der Messung (direkt nach Intervention) die größte Differenz, mit einem stetigen Abfall der Werte bis zur 80. Messminute mit einem anschließenden geringeren Rückgang der Differenzen. Auch nach 200 Minuten liegen die Werte der Differenzen in der Mehrheit über 0 Watt/m^2 .

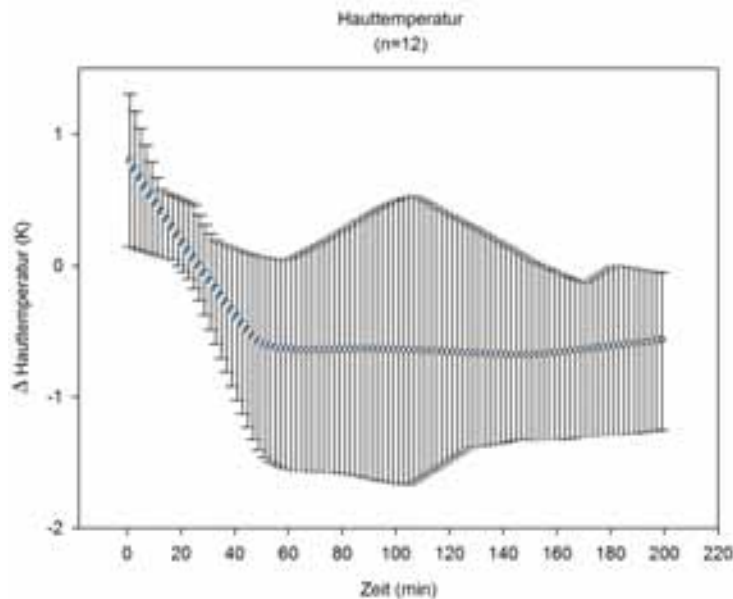


Abb. 208 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten der Hauttemperatur der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), geglättete Werte

Für die Gesamtheit der geglätteten Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm der Hauttemperatur über den Zeitraum der Messungen zeigt sich zu Beginn der Messung (direkt nach Intervention) die größte Differenz von ca. 0.8 K, mit einem stetigen Abfall der Werte bis zur ca. 40. Messminute und anschließender Zunahme der Streuung. Bereits nach ca. 20 Messminuten unterschreitet die Differenz den Wert von 0 K. Auch nach 200 Minuten liegen die Werte unterhalb von 0 K.

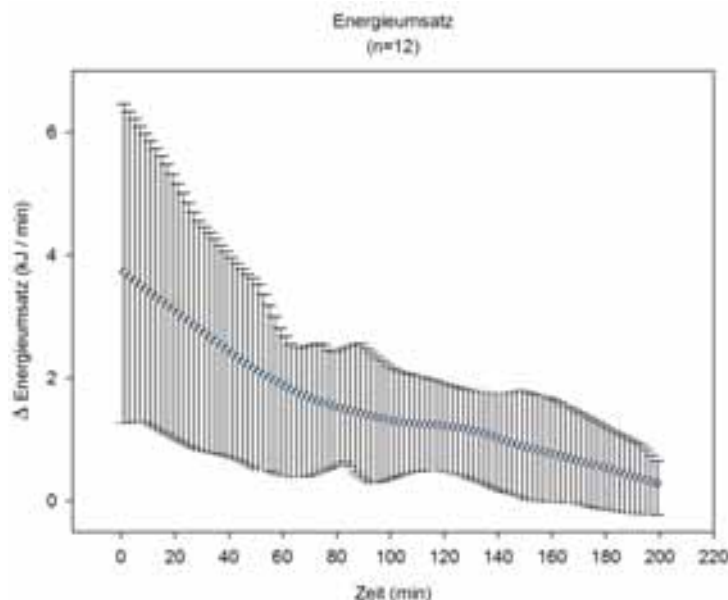


Abb. 209 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten des Energieumsatzes der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), geglättete Werte

Für die Gesamtheit der geglätteten Differenzen Interventionsarm minus Kontrollarm des Energieumsatzes über den Zeitraum der Messungen zeigt sich zu Beginn der Messung (direkt nach Intervention) die größte Differenz mit ca. 3.8 kJ/min, mit einem stetigen Abfall der Werte und Abnahme der Streuung. Auch nach 200 Minuten liegen die Werte noch über 0 kJ/min. Die Verläufe zum Hautleitwert, Wärmefluss und Energieumsatz zeigen gleichsinniges Verhalten.

4. Diskussion

4.1 Veränderungen des Körpergewichts und der Körperzusammensetzung der Überwinterer

Körpergewicht

Hinsichtlich des Körpergewichts zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich in den Staffeln 2009 und 2011 signifikante Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen (Abbildungen 41 und 43). Das Gleichbleiben des Körpergewichts für eine Reihe von Teilnehmern der Staffel 2010 über einen Zeitraum von ca. sechs Monaten bleibt ungeklärt. Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich keine signifikanten Veränderungen, weder für alle Teilnehmer noch nach Geschlechtern getrennt. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern blieb über den Verlauf nachweisbar (Abbildung 106). Die Mittelwerte im Verlauf der einzelnen Staffeln zeigten für 2008, 2010 und 2011 eine Abnahme des Körpergewichts und für 2009 eine Zunahme; für alle Staffeln kombiniert zeigte sich de facto keine Veränderung über den Verlauf der Überwinterung.

Fettfreie Masse, Körperzellmasse und Gesamtkörperwasser

Hinsichtlich der fettfreien Masse zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, ohne dass sich signifikante Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen. Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich keine signifikanten Veränderungen, weder für alle Teilnehmer noch nach Geschlechtern getrennt. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern blieb über den Verlauf nachweisbar (Abbildung 108). Im Verlauf der Mittelwerte der einzelnen Staffeln zeigte sich für 2009 und 2010 eine Abnahme der fettfreien Masse und für 2008 und 2011 eine Zunahme; für alle Staffeln kombiniert zeigte sich eine Abnahme der fettfreien Masse (Abbildung 144). Die Veränderungen der Körperzellmasse und des Gesamtkörperwassers zeigten keine signifikanten Veränderungen über die zeitlichen Verläufe der drei Überwinterungsphasen sowie gleichsinnige Veränderungen zu denen der fettfreien Masse für die Mittelwerte der Überwinterungen (Abbildungen 148 und 150).

Hinsichtlich der Fettmasse zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich in der Staffel 2009 signifikante Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen ließen (Abbildung 49). Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich keine signifikanten Veränderungen, weder für alle Teilnehmer noch nach Geschlechtern getrennt. Es war kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern über den Verlauf nachweisbar. Im Verlauf der Mittelwerte der einzelnen Staffeln zeigte sich für 2009 eine Zunahme der Fettmasse, für 2008 keine Veränderung und für 2010 und 2011 eine leichte Abnahme; für alle Staffeln kombiniert zeigte sich eine Zunahme der Fettmasse (Abbildung 146).

Sowohl während eines Raumfluges (278), als auch beim Leben in isolierter und beengter Umgebung (71;279) lassen sich beim Menschen Veränderungen der Körperkomposition und des Körpergewichts darstellen, wobei es zu Verlusten, als auch zu Zunahmen kommen kann (78). Des Weiteren kann es auch beim Gleichbleiben des Körpergewichts zu Veränderungen einzelner Körperkompartimente kommen, wie sich bei der Isolationsstudie EXEMSI-92 zeigte. Dabei wiesen die Autoren darauf hin, dass neben einer ausgedehnteren Analyse der Pre- und Post-Periode auch die Urin-Ausscheidungsfunktion im Hinblick auf Veränderungen der Körperzusammensetzung betrachtet werden müsste (71); der Körperwasserverlust ging dabei

mit einem Verlust an Natrium einher und der Verlust von fettfreier Masse mit dem Verlust von Kalium (72). Andere Autoren wiesen auf Veränderungen im sympathoadrenergen System mit Auswirkungen auf Energieumsatz und Körpergewichtsveränderungen hin (78) und auf den Stress der Isolation, der über dieses System seine Wirkungen entfaltet (280). Zu Veränderungen des GKW unter Isolation zeigten sich große interindividuelle Schwankungen des Verlustes bzw. der Beibehaltung des GKW mit entsprechenden Veränderungen im Körpergewicht (281).

Ein Review zu Körpergewichtsveränderungen bei 60 Überwinterern zeigte, dass 17 % der Teilnehmer Gewicht verloren, 6 % keine Änderungen zeigten und bei 77 % eine Gewichtszunahme zu verzeichnen war. Die durchschnittliche Zunahme lag bei 2 kg (282) – es zeichnet sich somit eine Zunahme ab. Insgesamt lassen sich jedoch nur für Gruppen entsprechende tendenzielle Veränderungen wiedergeben, während die interindividuelle Schwankungsbreite sehr groß ist.

Die Studienlage zu den Änderungen der einzelnen Kompartimente in der Antarktis ist uneinheitlich: die Fettmasse zeigte in einer Untersuchung keine Zunahme (283), die fettfreie Masse eine Zunahme bei einer anderen Studie (284). In anderen Untersuchungen zeigte sich eine Zunahme der Fettmasse (285), bzw. eine Zunahme der Fettmasse und eine Abnahme der fettfreien Masse (286).

Die Ergebnisse zu den hohen inter- und intraindividuellen Schwankungen des Körpergewichts und der untersuchten Kompartimente mit für alle Staffeln kombiniert darstellbaren Zunahmen der Fettmasse und Abnahmen der fettfreien Masse, der Körperzellmasse und des Gesamtkörperwassers, wenn auch ohne Erreichen statistischer Signifikanz, erscheinen in Übereinstimmung stehend mit der derzeitigen Studienlage dieser Thematik.

Verfahren der BIA-Messung

Zu den Messungen der Körperzusammensetzung ist anzumerken, dass auch die Vergleichsmethoden jeweils keinen Goldstandard darstellen, sondern selbst mit, wenn auch im Vergleich zur BIA geringeren, Messfehlern behaftet sind (91). Wichtiger bei der BIA erscheinen: die Art und Weise der Messung mit Dauer des Liegens vor der Messung, Lage der Extremitäten zueinander, eventuelle Metallteile am Körper, Hydratationsgrad, Füllungsgrad der Harnblase, Lage der Elektroden etc.

Die BIA erfasst Änderungen des Rumpfes aufgrund seiner großen Querschnittsfläche nur zu ca. 10 %, obwohl dieser ca. 50 % der Körpermasse ausmacht (287). Daraufhin sind Änderungen der Reaktanz eng verbunden mit Veränderungen in den Extremitäten. Dies zieht nach sich, dass Änderungen im Rumpf möglicherweise nicht adäquat dargestellt werden. Selbst größere Flüssigkeitsveränderungen im Rumpfbereich haben nur geringe Auswirkungen auf die Messung zur FFM, wie bei Patienten mit Leberzirrhose und Aszites gezeigt werden konnte (288). Vor dem Hintergrund dieser Einschränkungen soll jedoch auf Argumentationen hingewiesen werden, nach denen, selbst wenn die BIA nicht valide für eine individuelle Einzelmessung geeignet ist, so die BIA doch für Verlaufsmessungen oder Gruppenmessungen geeignet sei (289).

Da es sich bei der Methode der BIA um eine indirekte Bestimmung verschiedener Parameter wie Körperwasser, fettfreier Masse, Körperzellmasse etc. über die Messung der genannten Widerstände handelt, müssen die erhobenen Widerstandswerte über entsprechende Gleichungen in die Werte der gesuchten Parameter umgerechnet werden. Dabei muss – wie beschrieben – darauf geachtet werden, dass die zugrunde gelegten Annahmen (Konduktivität,

Hydratisierungsgrad der FFM) nur bei gesunden Erwachsenen gelten. Weitere Faktoren wie Alter, Geschlecht und ethnische Zugehörigkeit führen ebenfalls zu unterschiedlichen Ergebnissen – somit erklärt sich, dass es keine allgemeingültige „ideale“ Gleichung zur Bestimmung der Körperzusammensetzung aus den Widerstandswerten geben kann. Je nach zu bestimmendem Parameter wurden mittels BIA-Messungen im Vergleich zu Standardmethoden (Densitometrie, Isotopenverdünnung und Gesamtkörperkalium) mit Regressionsanalysen entsprechende Gleichungen entwickelt, um aus den Widerstandswerten den gesuchten Parameter zu ermitteln (96). In der Auswahl einer geeigneten Gleichung sollte auf die in den Vergleichsmessungen dargestellten Populationen (Alter, Geschlecht, ethnische Zugehörigkeit sowie evtl. Erkrankungen (97)) sowie die genutzte Fallzahl und die Korrelation und Fehlerrate der beiden Messungen zueinander geachtet werden.

In der vorgelegten Arbeit wurden zur Bestimmung der fettfreien Masse und des Gesamtkörperwassers die Gleichungen von Sun et al. (115) verwendet, da diese eine im Vergleich zu Gleichungen anderer Autoren mit hoher Fallzahl (n=512 bis 776), ähnlicher Probandenzusammensetzung (junge und gesunde Probanden) validiert wurden und hohe Bestimmtheitsmaße für die Gleichungen aufwiesen ($r^2=0.78$ bis 0.90).

Zur Bestimmung der Körperzellmasse über den Gesamtkörperkaliumgehalt wurden die Gleichungen von Kotler et al. (Bestimmung des Gesamtkörperkaliums (101)) und Cohn et al. (Bestimmung der Körperzellmasse aus dem Gesamtkörperkalium (100)) zur Anwendung gebracht. Diese wurden ausgewählt, da ein hohes Bestimmtheitsmaß bei Vergleichsstudien erreicht werden konnte (Kotler et al.: $r^2=0.83$ (101)) sowie bei Validierungsmessungen zur DEXA, Isotopendilution und ^{40}K -Gesamtkörperkaliumbestimmung die geringsten Unterschiede (nach Bland-Altman (276)) gezeigt werden konnten (99).

4.2 Veränderungen der Schlaf- und Aktivitätsparameter der Überwinterer

Schlafparameter

Hinsichtlich der Schlafparameter zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich in der Staffel 2008 für die Liegedauer signifikante Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen (Abbildung 60). Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich keine signifikanten Veränderungen, weder für alle Teilnehmer noch nach Geschlechtern getrennt. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern zeigte sich für den Parameter der Liegedauer mit einer statistisch signifikant erhöhten Liegedauer für die weiblichen Teilnehmer (Abbildung 116). Im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich Abnahmen der Liegedauern, der Schlafdauern und der Schlaffeffizienz über den Verlauf der Überwinterung sowie eine Zunahme der Schlaffragmentierung, wenn auch bei diesen Parametern keine statistische Signifikanz erreicht wurde (Abbildungen 151 bis 154).

Aktivitätsparameter

Hinsichtlich der Aktivitätsparameter zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich keine signifikanten Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen. Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich keine signifikanten Veränderungen, weder für alle Teilnehmer noch nach Geschlechtern getrennt. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern zeigte sich für den

Parameter des täglichen Energieumsatzes mit signifikant verringerten Werten für die weiblichen Teilnehmer (Abbildung 126). Bei diesem Parameter zeigt sich eine Verringerung während der Dunkelphase für beide Geschlechter; im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich Abnahmen der Schlafenergieumsätze und der täglichen Energieumsätze über den Verlauf der Überwinterung, wenn auch ohne Erreichen statistischer Signifikanz dieser Parameter (Abbildungen 155 und 156).

Zusammenfassend lässt sich darstellen, dass es über den Verlauf der Überwinterung zu Veränderung beim Schlaf und Energieumsatz bei den Teilnehmern kommt. Die Liegedauern, Schlafdauern und die Schlafeffizienz nehmen ab, dabei liegen die Liegedauern der weiblichen Teilnehmer signifikant über denen der Männer, was auch für die Schlafdauer während der Dunkel- und post-Dunkelphase darstellbar ist, wenn auch ohne statistische Signifikanz. Für beide Geschlechter nimmt die Schlaffragmentierung kontinuierlich zu, wobei bei den Frauen in allen drei Überwinterungsphasen die Mediane dieses Parameters über denen der Männer liegen; selbiges gilt auch für den Schlafenergieumsatz der Frauen, wobei einschränkend angemerkt werden muss, dass die Angabe in MET erfolgt, also nicht als absoluten sondern als relativen Wert analog zur O₂-Aufnahme pro Kilogramm Körpergewicht.

Erwartungsgemäß lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Energieumsätzen zwischen den Geschlechtern während der Überwinterung feststellen. Sowohl die Werte des Schlaf- als auch des tägl. Energieumsatzes nehmen im Verlauf der Überwinterung für alle Teilnehmer kombiniert betrachtet ab, was mit der festgestellten Abnahme der fettfreien Masse einhergeht und als durch diese zu einem Teil bedingt (wie im Abschnitt zum Energieumsatz beschrieben) angesehen werden kann.

Isolation und Beengtsein in polaren Regionen führen meist zu Veränderungen im psychosozialen Kontext. Die größten Einflüsse für die Teilnehmer sind dabei die Isolation von Familie, Freunden und gewohntem Umfeld, die Dauerdunkelheit des Winters sowie die widrigen Klimabedingungen (22;290). Die Einschränkung der Privatsphäre, die Nichttrennung von Arbeit und Freizeit und die kaum vorhandene Möglichkeit anderen Teammitgliedern auszuweichen kann zu sozialen Konflikten führen, die durch Gruppengröße, Zusammensetzung und Konfiguration der Station bedingt sind (68;290;291); Erschöpfung, negativer Affekt, verminderte Kommunikation und Schlafstörungen waren dabei häufig in zurückliegenden Untersuchungen in diesem Kontext darstellbar (22). Zur bestehenden Studienlage des Schlafes und Energieumsatzes existieren dabei uneinheitliche Ergebnisse. So konnte in einer Isolationsstudie (ISEMSI-90), die ebenfalls Actimeter zur Messung einsetzte, keine Verschlechterung der Dauer und Qualität des Schlafes festgestellt werden (69).

Mit Bezug auf Untersuchungsergebnisse aus antarktischen Überwinterungen zeichnet sich eine Abnahme der Schlafdauer und -qualität (Schlafeffizienz) der Überwinterer ab (292;293) sowie eine Zunahme der Schlafstörungen während der Überwinterung (293). Bei polysomnographischen Messungen in der Antarktis fanden sich hierbei Abnahmen der Schlaftiefe (Schlafstadien 3 und 4) während der Dunkelphasen, jedoch mit hohen interindividuellen Unterschieden (293). Eine weitere Studie hingegen fand eine Zunahme der Schlaftiefe (294); die Autoren argumentierten, dass in dem Fall einer Zunahme der Schlaftiefe eine gesteigerte körperliche Betätigung der untersuchten Teilnehmer zum Untersuchungsergebnis beigetragen haben könnte, welches saisonal veränderlich ist – eine Interpretation, die auch durch eine Studie gestützt wird, bei der sich an gesunden Erwachsenen in den Niederlanden ein saisonaler Rhythmus in der körperlichen Aktivität darstellen ließ, mit einer

höheren körperlichen Aktivität im Sommer (295). Der Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und der Dauer des Tiefschlafs konnte bereits in einer anderen Untersuchung dargestellt werden (296). Die an andere Stelle dieser Arbeit bereits genannte Verminderung des Luftdrucks in circumpolaren Regionen (61) könnte ebenfalls mit eine Ursache für die gefundenen Schlafveränderungen gewesen sein (297;298).

Ein weiterer Hinweis für die Wirkung der Umgebungslichtverhältnisse auf das Schlafverhalten zeigte sich bei Untersuchungen zum Einfluss von Licht sehr hoher Farbtemperatur (10000 bis 17000 K = hoher Anteil des blauen bis violetten Spektralbereichs) bei Überwinterern in der Antarktis im Vergleich zu normalem Raumlicht (5000 K) als Beleuchtung. Es zeigte sich, dass die Teilnehmer in einer Umgebung mit blau-angereicherter Tagesbeleuchtung während des antarktischen Winters schneller einschlafen konnten (geringere Schlaflatenz) und eine höhere Schlaffeffizienz aufwiesen, als Teilnehmer, die in normaler Beleuchtungsumgebung im antarktischen Winter lebten (299).

Insbesondere während der zeitlichen Phase um Mittwinter (21. Juni) lassen sich vermehrt Schlafstörungen bei Überwinterern darstellen (297;300). Eine Untersuchung auf der McMurdo-Station zeigte, dass bis zu 64 % der Überwinterer Schlafprobleme hatten (68). Neben den Veränderungen des circadianen Rhythmus (301) wurden auch Einflüsse durch die kalte Umgebung (302) und psychosozialer Stress (292) als ausschlaggebend diskutiert. Eine weitere Studie zeigte, dass es – auch mit Wissen um die Uhrzeit (sozialer Zeitgeber) – zu einem „Free Run“ verschiedener Parameter kommen kann, die sich erst wieder mit Auftreten des Hell-Dunkel-Wechsels synchronisieren (28).

Die in der vorgelegten Arbeit zum Schlaf in der Antarktis erhobenen Ergebnisse untermauern weitgehend die von den verschiedenen Autoren gewonnenen Resultate mit einer Abnahme der Schlafdauer, der Schlafqualität (Schlaffeffizienz) und einer Zunahme der Schlafstörungen. Dabei erscheint es vorstellbar, dass eine Abnahme der körperlichen Aktivität, wie er sich anhand des abnehmenden täglichen Energieumsatzes abzeichnet, hierfür ursächlich in Frage kommen könnte, ebenso wie die genannten Veränderungen durch die unterschiedlichen Beleuchtungen mit unterschiedlichen Spektren und der externen Änderung des Hell-Dunkel-Wechsels.

Mit Bezug auf den Energieumsatz zeigt sich die Abhängigkeit vom Typ des Aufenthalts in polaren Regionen. So wurde bei einer 48-tägigen Expeditionstour von zwei Männern (Alter 35 und 47 Jahre) zum Nordpol mittels der DLW-Technik ein täglicher Energieumsatz von 28.05 bzw. 32.38 MJ bestimmt (303). Es zeigt sich also, dass körperlich aktive Personen in der Antarktis einen erheblich gesteigerten Energieumsatz und Energiebedarf aufweisen und dass dem bei Überwinterern in der Ernährung Rechnung getragen werden muss. Auch abhängig von der Saisonalität konnten verschieden hohe Energieumsätze bei Überwinterern in der Antarktis dargestellt werden (304). Des Weiteren, so die Autoren einer weiteren Studie, sollten die gefundenen Ergebnisse zur Zunahme des Körperfettanteils zum Anlass genommen werden, eine kontrolliertere Nahrungs- und Energiezufuhr kombiniert mit einem kontrollierten Aktivitätsprogramm bei künftigen Überwinterern in der Antarktis umzusetzen, um deren Gesunderhaltung sicherzustellen (305). Studien anderer Autoren wiesen mit Bezug auf den Zusammenhang zwischen Energieumsatz/Energiebedarf und Kälteadaptation auf die weiterhin gegebene Notwendigkeit einer verbesserten Kälteschutzkleidung bei Überwinterern hin (306;307).

4.3 Veränderungen der Hormon- und Stoffwechselfparameter der Überwinterer

25-OH-Vitamin D

Hinsichtlich des 25-OH-Vitamin D zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich innerhalb aller Staffeln signifikante Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen. Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich signifikante Veränderungen, sowohl für alle Teilnehmer und für beide Geschlechter getrennt (Abbildungen 127 und 128). Es war dabei kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern darstellbar; im Median werden in der post-Phase nicht die Werte der prä-Phase erreicht. Im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich entsprechend erhebliche Abnahmen zur Dunkelphase hin mit einem Wiederanstieg zur folgenden Helligkeitsphase. Dabei ist ersichtlich, dass sich die Verläufe der unterschiedlichen Staffeln mit den verschiedenen Messpunkten dennoch zu ergänzen scheinen und ein ganzheitlicher Verlauf ersichtlich wird (Abbildung 157). Die Regressionskurve bildet die Verläufe analog ab. Die Konzentrationen erreichten insbesondere zur Dunkelphase hin sehr geringe Werte bei einem Großteil der Teilnehmer und lagen z. T. unterhalb der allgemeinen Empfehlungen (164).

Wie bereits im Abschnitt Methodik ausgeführt, sind in den nördlichen Breiten lebende Menschen insbesondere in den Wintermonaten auf eine adäquate Zufuhr von Vitamin D angewiesen, um eine optimale Funktion des Organismus und die Vermeidung von verschiedenen Erkrankungen zu gewährleisten (151;308). Eine Studie fand bei in Mitteleuropa lebenden Menschen (weiblich, n=2780, Alter 24-44 Jahre) eine darstellbare Saisonalität von 25-OH-Vitamin D, jedoch keine statistisch signifikante Saisonalität im Knochenumbau (dennoch zeigte sich ein geringer Aufbau der Knochensubstanz in den Sommermonaten) (309). Bezüglich der dargestellten Vitamin D-Defizienz beim Menschen in nördlichen Breiten konnte in Untersuchungen gezeigt werden, dass traditionelle Nahrung, insbesondere eine bestehend aus Seesäugetieren und Meeresfischen, ausreichend für die Vitamin-D Versorgung ist und ernährungsphysiologisch einen entsprechend hohen Stellenwert hat (310). Hingegen scheint eher eine zu geringe Calciumzufuhr für die Ausbildung einer Osteoporose in der nativen Inuit-Bevölkerung verantwortlich zu sein, welches durch entsprechende Supplementierung ergänzt werden sollte (311).

Hinsichtlich der Überwinterungen in der Antarktis fand sich in früheren Studien eine Abnahme von 25-OH-Vitamin D bei Überwinterern in der Antarktis, jedoch ohne Veränderung der Knochenmasse (Bone Mineral Density BMD) (312;313). Andere Ergebnisse zeigten hingegen eine Abnahme der BMD (im Mittel um 1 % des proximalen Femurs, $p < 0.05$) (314), wobei andere Autoren darauf hinwiesen, dass das Ausmaß der körperlichen Aktivität insgesamt größere Auswirkungen auf die Knochendichte bei den Überwinterern haben könne (315).

Die dokumentierte Möglichkeit einen Vitamin-D Mangel durch Supplementierung auszugleichen (313;316) sollte bei Überwinterern in polaren Gebieten, aber auch bei Menschen mit geringer UV-Bestrahlung im Jahresverlauf (Minenarbeiter, Astronauten) genutzt werden, um die Gesundheit dieser Menschen zu gewährleisten. Diese Empfehlung ließe sich anhand der Ergebnisse auch für Aufenthalte in der Station Neumayer III aussprechen. Ebenso sollte eine ausreichende körperliche Aktivität aufrecht erhalten werden, um einem Abbau der Knochendichte entgegenzuwirken (315).

Bei Astronauten kommt in diesem Zusammenhang neben dem Verlust von natürlicher Sonnenstrahlung erschwerend hinzu, dass durch den Wegfall der Schwerkraft ein wichtiger Reiz zur Beibehaltung von Knochenmasse nicht mehr besteht und in der Folge die Knochendichte abnimmt. Dies kann über die Freisetzung von Calcium die Bildung von Nierensteinen bewirken und insbesondere beim Wiedereintritt in eine Schwerkraftumgebung zur verstärkten Frakturaneigung führen – mit entsprechend deletären Folgen z. B. während einer bemannten Mission zum Mars (317).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es zu einer statistisch signifikanten Abnahme der 25-OH-Vitamin D Konzentration bei Überwinterern in der Antarktis kommt, die bei einem Teil der Überwinterer gegen Ende der Messphase nicht wieder die Ausgangswerte erreicht, was die bisherigen Resultate vorhandener Studien untermauert.

Thyreoidea Stimulierendes Hormon

Hinsichtlich des TSH zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich innerhalb der Staffeln 2008 und 2009 signifikante Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen (Abbildungen 87 und 88). Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich bezüglich aller Teilnehmer keine signifikanten Veränderungen, jedoch waren signifikante Veränderungen für die Männer im Verlauf feststellbar mit einer Abnahme zur post-Phase hin (Abbildung 130). Ein war dabei kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern darstellbar; ohne statistische Signifikanz kam es auch bei den Frauen zu einer stetigen Abnahme der Werte. Im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich periodische Verläufe mit einer Zunahme zur Dunkelphase hin mit einem darauf folgenden Rückgang der Werte (Abbildung 158).

Im Zusammenhang mit Langzeitaufenthalten des Menschen in der Antarktis konnten Veränderungen der Schilddrüsenhormone und deren Regulation dargestellt werden. Diese als polares T3-Syndrom bezeichnete Veränderung ist gekennzeichnet durch eine durch TRH stimulierbare und – in Abwesenheit hypophysärer Feedbackresistenz gegenüber den Schilddrüsenhormonen – unstimulierte Erhöhung der TSH-Sekretion (318). Des Weiteren resultiert eine geringe Abnahme der Serumkonzentrationen des frei verfügbaren T3 und T4 (fT3 und fT4) bei gleichzeitig gesteigerter Produktions- und Clearance von T3 (319). Einhergehend mit dem polaren T3-Syndrom sind Abnahmen in kognitiver Funktion und eine Verschlechterung der Stimmung (320;321) der Überwinterer feststellbar. Dieser funktionelle Hypothyreoidismus wird im Zusammenhang mit einer hypothermen Kälteanpassung (322), mit einer Abnahme der Körperkerntemperatur und einer bis zu 40 %-igen Zunahme des täglichen Energiebedarfs (35) in einer kürzlich veröffentlichten Studie (319) wie folgt interpretiert: die chronische Kälteexposition in der antarktischen Umgebung bedingt eine Zunahme der Schilddrüsenaktivität, was sich anhand gesteigerter Thyreoglobulin-konzentration im Serum und erhöhter Jodexkretion im Urin darstellen lässt und als gesteigerte T3-Produktion und Clearance interpretieren lässt. Die T3-Produktion findet demnach vorwiegend im peripheren Gewebe (35) – insbesondere der Skelettmuskulatur und dem braunen Fettgewebe – über Konversion durch Deiodierung aus T4 ohne Freisetzung von T3 in den Blutstrom statt, weswegen sich kein Anstieg von T3 im Blut darstellen lässt, sondern Produktion und Verbrauch über die Messungen der Jodexkretion und Thyreoglobulinfreisetzung dargestellt werden müssen. Damit ließe sich erklären, warum – je nach Studienbedingungen – unterschiedliche Untersuchungen dazu teils gegensätzliche Ergebnisse fanden, die die T3 Produktion und Clearance nicht abbilden konnten (323;324).

Unterstützt wird das Modell des gesteigerten peripheren T3-Verbrauchs durch Untersuchungen, die zeigen konnten, dass sich die Stimmungsveränderungen durch Gabe von Thyroxin verbessern ließen (318). Dabei zeigten verschiedene Studien ebenfalls, dass die Veränderungen des polaren T3-Syndroms auch bei Langzeitaufenthalten in modernen polaren Stationen weiterhin auftritt und offenbar durch die angepassten klimatischen Verhältnisse innerhalb der Station nicht verhindert werden können (318;325). Andere Studien untersuchten den Zusammenhang von polarer Umgebung und Ernährung bei nativer Inuit-Bevölkerung in Grönland und konnten zeigen, dass die traditionelle Ernährungsweise (Meeressäuger und Fisch) den Menschen genügend Jod zur Verfügung stellt, um, wie oben beschrieben, ausreichend Schilddrüsenhormone in Anpassung an die Kälte zu produzieren. In Städten lebende Inuit, die sich dem westlichen Ernährungsstil angepasst hatten, zeigten ein größeres Joddefizit (326) und in der Folge eine geringere T3 Produktion (319).

Für die TSH Sekretion lässt sich sowohl in gemäßigten Breiten (327) als auch bei Überwinterern in der Antarktis (328) eine circannulare Rhythmik darstellen, die wahrscheinlich durch die Umweltparameter (Kälte, Photoperiode) bestimmt wird (329). Die Periodik beim Aufenthalt in der Antarktis zeigt dabei ein bimodales Verhalten mit Zunahmen um November und Juni und einer Abnahme um März, wie die folgende Abbildung 210 darstellt.

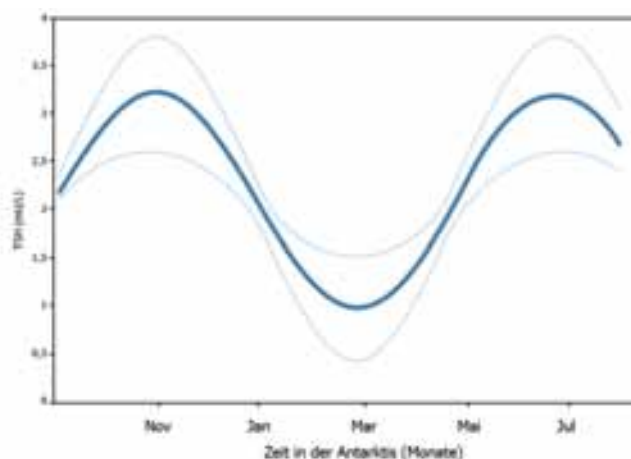


Abb. 210 TSH Plasma-Konzentrationen bei Antarktis-Überwinterern, nach (318) neu erstellt

Bei Gegenüberstellung der Abbildung 158 der Ergebnisse der vorgelegten Arbeit zu den Verläufen der TSH-Konzentrationen der untersuchten Überwinterer lässt sich eine ähnliche Periodik darstellen: so kommt es bei kombinierter Betrachtung der Mittelwerte der Staffeln 2008-2010 zu einer Abnahme gegen Ende März, einer Zunahme gegen Juni/Juli hin (Dunkelphase) und zu einem (verzögerten) Anstieg um November/Dezember hin. Beim Vergleich beider Darstellungen sind die unterschiedlichen Zeitachsen zu beachten.

Die dargestellten Ergebnisse der vorgelegten Studie untermauern somit die Resultate der bisher dazu durchgeführten Untersuchungen, wenn auch eine bisweilen hohe interindividuelle Streuung vorliegt. Mit Bezug zur Forschung für Langzeitaufenthalte im Weltall müssen diese Ergebnisse entsprechend berücksichtigt werden, um Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Astronauten aufrecht zu erhalten.

Verschiedene Studien haben die Einwirkung von Kälte auf die Schilddrüsenhormone zum Gegenstand gehabt, jedoch wurden dabei keine, geringe bzw. z. T. inkonsistente Ergebnisse gefunden (330-332). Insbesondere bei Untersuchungen zu Schilddrüsenveränderungen beim Menschen während polarer Langzeitaufenthalte können Faktoren wie Energiezufuhr, Jodmangel,

Änderungen des circadianen Tag-Nacht-Rhythmus, Isolation, körperliche Aktivität sowie Art der Aufbewahrung der gewonnenen Plasmaproben die Ergebnisse unterschiedlich beeinflussen und die Auswertung verkomplizieren (330).

Leptin und Adiponektin

Hinsichtlich des Parameters Leptin zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich innerhalb der Staffeln keine signifikanten Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen. Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich bezüglich aller Teilnehmer keine signifikante Veränderungen, jedoch waren die Werte der Frauen in allen drei Phasen im Median größer als die der Männer, ohne dass dabei statistische Signifikanz erreicht wurde (Abbildung 132). Im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich uneinheitliche Verläufe, wobei die Regressionskurve einen leichten Anstieg über die Dunkelphase wiedergibt (Abbildung 159).

Hinsichtlich des Parameters Adiponektin zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich innerhalb der Staffel 2009 signifikante Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen (Abbildung 94). Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich bezüglich aller Teilnehmer keine signifikanten Veränderungen, jedoch zeigten sich Zunahmen zur Dunkelphase hin. Es war ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern darstellbar mit insgesamt höheren Werten im Median für die Frauen (Abbildung 134); es zeigte sich bei den Männern eine Zunahme im Verlauf, während bei den weiblichen Teilnehmern eine Abnahme zu verzeichnen war. Der insgesamt höhere Wert der Frauen bei gleichzeitig höherer Fettmasse wird als protektiver Effekt trotz höherer Fettmasse angesehen (333). Im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich periodische Verläufe deren Maxima kurz vor (Staffeln 2009 und 2010), bzw. in der Dunkelphase lagen (Staffel 2008), mit einem danach folgenden Abfall der Werte, wobei die Periodik für 2010 abgeflachter erscheint. Die Regressionskurve zeigt einen leichten Abfall über die Dunkelphase hinweg (Abbildung 160).

In einer Studie zum Energieumsatz, der Energiezufuhr und appetitregulierenden Hormonen (Leptin und Neuropeptid Y) bei Überwinterern in der Antarktis zeigte sich nach Ankunft ein mittlerer Energieumsatz von 3120 kcal/d bei einer Energiezufuhr von 3911 kcal/d, gemessen über sieben Tage hinweg (285). Es zeigten sich in dieser Phase eine Abnahme der Plasmaleptinkonzentration und ein Anstieg von Neuropeptid Y, trotz einer Zunahme des Körperfettanteils. Die Autoren schlussfolgerten, dass die dargestellten hormonellen Veränderungen als wahrscheinliche Gründe für einen Anstieg des Appetits mit einer Zunahme von Körpergewicht und Fettgewebsanteil anzusehen sind.

Die Ergebnisse zum Leptin zeigen große Schwankungen und uneinheitliche Verläufe, jedoch zeigt die Regressionskurve einen leichten Anstieg während der Dunkelphase analog zur leichten Zunahme der Fettmasse; die Periodik der Adiponektinfreisetzung zeigt eine Zunahme und eine danach folgend kontinuierliche geringe Abnahme für die Betrachtung aller Mittelwerte der Staffeln 2008-2010, wie auch der Verlauf der Regressionskurve darstellt. Diese Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit den Resultaten zur Fettmasse, die relativ zum Körpergewicht bei den Überwinterern leicht zunimmt, während Adiponektin sich dazu umgekehrt proportional verhält.

Hormone der Erythropoese (EPO, Ferritin, sTfR)

Hinsichtlich des Parameters Erythropoietin zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich innerhalb der Staffeln keine signifikanten Veränderungen über den

Verlauf der Überwinterung feststellen lassen. Für Staffel 2009 zeigte sich für die ersten fünf Monate bis zur Dunkelfase ein gleichsinniger Verlauf für alle Teilnehmer mit einer Zunahme der Werte (Abbildung 97). Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich bezüglich aller Teilnehmer keine signifikante Veränderungen, jedoch waren die Werte der Frauen in den ersten beiden Phasen im Median kleiner als die der Männer (Abbildung 136), es war jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern darstellbar. Es zeigte sich eine Verringerung zur post-Phase hin. Im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich ähnliche Periodiken (Anstieg, Abfall, Wiederanstieg) der Staffeln, wobei sich die geringsten Werte kurz vor (2008), in (2009) und am Ende der Dunkelfase darstellen lassen (2010). Entsprechenden Verlauf zeigt die Regressionskurve mit einer Abnahme der Werte während der Dunkelfase (Abbildung 161).

Hinsichtlich des Parameters Ferritin zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich innerhalb der Staffeln keine signifikanten Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen lassen. Für Staffel 2009 zeigte sich für die ersten drei Monate ein gleichsinniger Verlauf für alle Teilnehmer mit einer Abnahme der Werte. Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich bezüglich aller Teilnehmer keine signifikanten Veränderungen, jedoch waren die Werte der Frauen in allen drei Phasen im Median kleiner als die der Männer (Abbildung 138), es war jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern darstellbar. Es zeigte sich eine Verringerung zur Dunkelfase hin. Im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich ähnliche Periodiken (früher Abfall, Anstieg, Wiederabfall) der Staffeln, wobei die geringsten Werte ca. zwei bis drei Monate nach Beginn der Messungen darstellbar sind und es bis (2008) bzw. während der Dunkelfase zu einem Anstieg der Werte kam (2009 und 2010). Für 2010 erscheint die Periodik vergleichsweise abgeflacht. Die Regressionskurve zeigt entsprechend einen Anstieg vor und während der Dunkelfase (Abbildung 162).

Hinsichtlich des Parameters sTfR zeigten sich innerhalb der Staffeln interindividuelle Unterschiede, wobei sich für 2008 signifikante Veränderungen über den Verlauf der Überwinterung feststellen ließen, mit einer Abnahme der Werte (Abbildung 102). Über den Verlauf der drei Überwinterungsphasen zeigten sich bezüglich aller Teilnehmer keine signifikanten Veränderungen, jedoch waren die Werte während der Dunkelfase verringert, was sich auch für die Männer darstellen lässt; für die Frauen kam es zu einer kontinuierlichen Abnahme (Abbildung 140), es war jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern darstellbar. Im Verlauf der Mittelwerte der kombinierten Staffeln zeigten sich uneinheitliche Verläufe, jedoch zeigten sich für 2008 und 2009 Abnahmen der Werte sowie für 2010 eine periodische Veränderung mit den geringsten Werten um die Dunkelfase (Juni/Juli). Die Regressionskurve zeigt einen Abfall zur Dunkelfase hin mit einer leichten Zunahme nach der Dunkelfase und einem folgenden Abfall (Abbildung 163).

Es zeigt sich eine Abnahme der Epo- (alle Staffeln) und sTfR-Werte (2008 und 2010) um die Dunkelfase und eine Zunahme der Ferritin-Konzentrationen (für 2008 und 2009) im vergleichbaren Zeitraum, ohne dass dabei eine statistische Signifikanz erreicht wurde. Eine mögliche Interpretation wäre, dass der Aufenthalt in der Antarktis während der Dunkelfase zu einer Abnahme des Bedarfs an Sauerstoffträgern führt, mit entsprechend verringerter Erythropoeseleistung (Epo- und sTfR-Abnahme) und in gewissen Grenzen dabei reaktiv der Eisenbestand (Ferritin) zunimmt. Die Abnahme der Epo-Werte vor bzw. um die Dunkelfase herum ist in Übereinstimmung mit Werten, wie sie in anderen Studien bei Überwinterern in der Antarktis gezeigt werden konnten (242). Wie die Autoren anmerkten, könnte dies mit

Veränderungen der Schilddrüsenfunktion zusammenhängen, jedoch ist die Anzahl der Studien hierzu sehr gering. Auch kommt es zu Verminderungen der Epo-Konzentrationen unter isolierten und beengten Lebensbedingungen, wie in Isolationsstudien (in gemäßigten Breiten) gezeigt werden konnte (334).

Es kann darüber spekuliert werden, dass ein Langzeitaufenthalt des Menschen in der Antarktis zu einer Verstärkung von auch normalerweise vorhandenen saisonalen Veränderungen verschiedener Parameter der Erythropoese und anderer physiologischer Funktionen führt – so wurde bereits diskutiert, dass jährliche Rhythmen in immunologischen und hämatologischen Parametern grundsätzlich genetisch determiniert sind; dass die Ausmaße der jeweiligen Rhythmen, wie Amplitude und Acrophase jedoch durch Umgebungsfaktoren wie dem Hell-Dunkel-Wechsel oder den klimatischen Bedingungen bestimmt werden (335).

Die in den genannten Studien und der vorgelegten Arbeit gezeigten Ergebnisse zu Hormonen und Parametern der Erythropoese haben auch Konsequenzen für Aufenthalte im All, bei denen es ebenfalls zu Veränderungen entsprechender Parameter mit Auswirkungen auf Erythropoese und Leistungsfähigkeit der Astronauten kommen kann (334), wobei die Veränderungen zu großem Teil individuell geprägt zu sein scheinen (336).

Zusammenhang zwischen Stoffwechsellhormonen, evolutionärem Einfluss und circadianem Rhythmus

Wie zu allen anderen physiologischen Funktionen im menschlichen Organismus lässt sich auch für den circadianen Rhythmus und dessen Verbindungen zu Stoffwechsel, Nahrungsaufnahme und Körperzusammensetzung diskutieren, dass diese sich über den Lauf mehrerer Jahrmillionen in der Evolution entwickelt haben. In verschiedenen Veröffentlichungen (337;338) wurde argumentiert, dass zu Zeiten unserer Vorfahren die Lebensumstände (zwischen 2 Mio. und 200000 Jahre v. u. Z.) erheblich anders waren, als es momentan in unserer westlichen Konsumgesellschaft der Fall ist. Diesen Zusammenhang stellt Abbildung 211 schematisch dar.

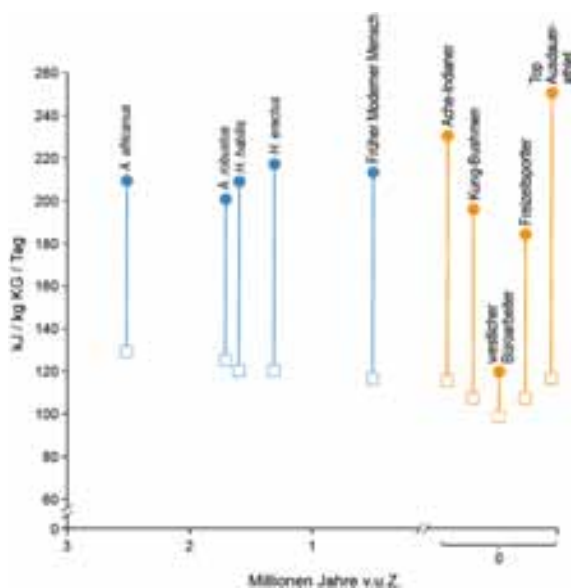


Abb. 211 Tägliche Energieumsätze menschlicher Vorfahren (blau) und heute lebender Populationen (orange); Quadrate: Ruheenergieumsätze, Kreise: Leistungsenergieumsätze, nach (339) neu erstellt

In der westlichen Zivilisation hat sich das Nahrungsangebot in erheblichen Maße dahingehend verändert, dass die ursprüngliche saisonale Verteilung (großes Angebot im Sommer/Herbst und geringes im Winter) nicht mehr vorhanden ist, sondern vielmehr über das gesamte Jahr eine

Fülle von unterschiedlichen und oft hochgradig verarbeiteten Lebensmitteln zur Verfügung steht. Im selben Zug kam es zu einer stetig abnehmenden Notwendigkeit von täglicher Bewegung für einen Großteil der Bevölkerung, was sich darin ausdrückt, dass sowohl der Leistungsenergieumsatz als auch der Ruheenergieumsatz der heutigen zivilisatorischen Bevölkerung weit geringer ist, als es in Populationen der Vergangenheit der Fall war (340).

Die Vorfahren unserer geografischen Breiten lebten entsprechend der Jahreszeiten mit kürzeren Nächten im Sommer und längeren im Winter in Anpassung an das saisonale Nahrungsangebot. Heute hingegen sind diese saisonalen Vorgaben fast vollständig durch den Lichteinfluss aus künstlicher Beleuchtung, TV- und Computerbildschirmen verdrängt worden. Dabei ist die Wachdauer meist verlängert und die Schlafdauer verkürzt. Es wird argumentiert, dass sich im Laufe der Evolution ein abgestimmtes System aus saisonaler Lichtveränderung und Nahrungsangebot ausgebildet hat, in welchem Veränderungen des äußeren Wechsels von Hell-Dunkel (von Sommer zu Winter) den Organismus auf ein verändertes Nahrungsangebot vorbereiten sollte. Zeiten des Sommers mit einer kurzen Nacht gingen einher mit einem hohen Nahrungsangebot und einer Fettakkumulation für die kommenden Wintermonate (341).

Eine kurze Schlafdauer, so die Argumentation, sei somit Reaktion auf eine äußere Information entstammend der evolutionären Anpassung, um den Körper durch eine Fettakkumulation auf Zeiten mit geringem Nahrungsangebot vorzubereiten. Diese Ergebnisse gehen einher mit Untersuchungen an Winterschläfern (Sibirischer Hamster), an denen gezeigt werden konnte, dass es zu einer veränderlichen Leptinsensitivität im Hypothalamus kommt und eine reversible Leptinresistenz die Organismen gegen Ende des Sommers, mit relativ kurzen Nächten, in Richtung Fettakkumulation auf den Winterschlaf vorbereitet (207); in diesem Sinne wird auch vom An-/Abschalten sog. „saisonaler Gene“ gesprochen und einem veränderbaren Sollwert des Körpergewichts („sliding set point“ (342)) sowie einer saisonalen Plastizität des Hypothalamus (343). Die Auswirkungen der Variationen der Photoperiode werden dabei zum Teil auch durch das im circadianen Rhythmus wichtige Neurohormon Melatonin vermittelt (344), was zeigt, dass Stoffwechsel, äußere Zeitgeber und circadiane Regulation eng verknüpft zu sein scheinen (345) und bei adipösen Patienten eine abgeflachte Periodik der Leptinfreisetzung darstellbar ist (346).

Der heutige westliche Lebensstil mit dauerhaft verkürzter Schlafdauer (und den alternierenden Schlafphasen bei der Schicht-/Nachtarbeit) sowie einem permanentem Nahrungsüberangebot in Kombination mit Bewegungsarmut, führt zu einer Situation, in der der menschliche Organismus dauerhaft auf Fettakkumulation eingestellt ist („permanenter Sommer“). Chronisch verringerte Schlafdauern stellen in diesem Zusammenhang somit einen Risikofaktor bei der Entwicklung des metabolischen Syndroms dar (337).

Proinflammatorische Cytokine, wie sie bei Adipositas vermehrt vom Fettgewebe freigesetzt werden (347) gelten dabei als Hauptfaktoren in der Ausbildung der Insulinresistenz, indem sie negativ die Blutglucose-Homöostase und negativ die β -Zellfunktion des Pankreas beeinflussen (348). Die schlafinduzierenden Effekte inflammatorischer Cytokine wie $\text{TNF}\alpha$ werden dabei als Anpassungsmechanismen angesehen, indem diese die Erholung und Rekonvaleszenz befördern sollen (130). Eine lange Schlafdauer erscheint vor diesem Hintergrund als Folge und nicht als Ursache von Diabetes mellitus bzw. anderer Erkrankungen, die mit einer chronischen Entzündungsreaktion einhergehen (337). Den von Fettgewebe freigesetzten Cytokinen folgend wird Adipositas nunmehr als ein Zustand systemischer Entzündung aufgefasst (349) – so wurden unter Adipositas vom Fettgewebe gebildete Substanzen wie $\text{TNF}\alpha$ und IL-1 als an der Pathophysiologie der Insulinresistenz beteiligt identifiziert. Gleichzeitig kommt es zu einer

Downregulation der Adiponektin-Rezeptoren der Skelettmuskulatur (AdipoR1) und der Leber (AdipoR2) mit einem weiteren insulin-resistivem Effekt (350).

Zusammengefasst lässt sich konstatieren, dass der menschliche Organismus ein Verhalten „belohnt“ (Auslöser: künstliches Licht, verarbeitete Nahrung mit hohem glykämischen Index und hohem Energiegehalt, geringe körperliche Aktivität mit der Folge einer chronischen Fettakkumulation und dem folgenden proinflammatorischen Zustand), für das aufgrund der evolutionären Anpassung der Organismus nicht geschaffen ist, mit entsprechend weithin sichtbaren Konsequenzen für einen großen und weiter ansteigenden Teil der Bevölkerung (351). Vor diesem Hintergrund zeigt sich auch bei den untersuchten Überwinterungen ein entsprechendes Verhalten, als dass die Fettmasse zunimmt, während die Schlafdauer und die Schlaffeffizienz abnehmen und die Schlaffragmentierung im Betrag ansteigt.

Nicht nur im Hinblick auf die Veränderungen in der Antarktis und für Aufenthalte im Weltraum, sondern aufgrund der genannten allgemeinen Zunahme metabolischer Erkrankungen erscheinen diese Zusammenhänge zwischen Stoffwechsel, Energieumsatz, Körperzusammensetzung, körperlicher Betätigung, circadianem Rhythmus und Schlaf von besonderer Wichtigkeit.

Korrelationen verschiedener Parameter der Körperzusammensetzung und verschiedener Hormon- und Stoffwechselfparameter

Zu den erhobenen Korrelationen zeigten sich nur mäßige Werte für die Gesamtheit aller erhobenen Werte beider Geschlechter (höchster Wert mit $r=0.582$ für die Beziehung von Fettmasse und Körpergewicht). Diese Werte erhöhten sich bei getrennter Betrachtung für beide Geschlechter. Dabei wurde der höhere Wert der Beziehung zwischen Fettmasse und Körpergewicht für die Frauen ersichtlich ($r=0.88$ vs. $r=0.59$ für die Männer) was dadurch erklärt werden kann, dass durch den prozentual höheren Fettanteil am Körpergewicht für die Frauen der Parameter der Fettmasse einen höheren Einfluss auf die Änderungen der Körpermasse hat als bei den Männern.

Hinsichtlich der Beziehungen Fettmasse bzw. Körpergewicht und Adiponektin zeigte sich für die Männer ein negativer Zusammenhang ($r=-0.21$ bzw. $r=-0.20$) und für die Frauen zunächst ein positiver Zusammenhang ($r=0.46$ bzw. $r=0.59$). Bei genauerer Betrachtung zeigte sich jedoch, dass zwei Subpopulationen bei den Frauen darstellbar waren, eine mit geringerer Fettmasse (im Mittel 14.4 kg) und eine mit höherer Fettmasse (im Mittel 22.6 kg), für die sich jeweils sehr hohe negative Korrelationen darstellen ließen ($r=-0.756$ bzw. $r=-0.76$; $p=0.0001$ bzw. $p=0.017$).

Zwischen beiden Subpopulationen zeigte sich des Weiteren ein signifikanter Altersunterschied: die Kohorte mit der geringeren Fettmasse war im Median 31 Jahre alt, während die mit der höheren Fettmasse im Median 27 Jahre alt war. Es zeigte sich also, dass die Adiponektinkonzentration nicht nur von der Fettmasse, sondern auch vom Alter abhängig ist und die jüngeren Frauen trotz höherer Fettmasse höhere Adiponektinkonzentrationen aufwiesen, die innerhalb dieser Kohorte dem aus bisherigen Studien bekannten negativen Zusammenhang auf Fettmasse und Adiponektinkonzentration folgten (209;215). Da, wie im Abschnitt zu den Hormon- und Stoffwechselfparametern dargestellt wurde, Adiponektin ein Indikator für den Schutz vor metabolischen und kardiovaskulären Erkrankungen (Diabetes mellitus Typ 2, Artherosklerose etc.) darstellt, könnte argumentiert werden, dass jüngeres Lebensalter mit höheren Adiponektinwerten einhergeht und somit in jüngeren Lebensaltern entsprechende Erkrankungen weniger wahrscheinlich werden. Diese Resultate stehen dabei überraschenderweise im Widerspruch zu Ergebnissen anderer Autoren, bei denen höhere

Konzentrationen mit höherem Lebensalter der untersuchten Frauen assoziiert waren (352-354). Obwohl der hier dokumentierte Altersunterschied (27 Jahre vs. 31 Jahre) sich nicht als sehr groß darstellt, erscheinen die gezeigten Zusammenhänge als ausreichend interessant, um weitere Untersuchungen hierzu in Betracht zu ziehen (Abbildung 165).

4.4 Validierung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Schlafparameter mittels Polysomnographie

Die Untersuchung der vorgelegten Arbeit hat gezeigt, dass die vom SW erhobenen Schlafindizes Liegedauer, Schlafdauer und Schlafeffizienz mit denen der Goldstandard-Methode PSG mit Einschränkungen vergleichbar sind. Die vom SW gemessene Liegedauer unterscheidet sich signifikant von der mittels PSG gemessenen; dies lässt sich auch in der Darstellung nach Bland-Altman nachvollziehen, in der die Nulldifferenz außerhalb der Konfidenzintervalle der mittleren Abweichung (Mean Bias) liegt (Abbildung 172). Für die Schlafdauer und Schlafeffizienz lassen sich keine signifikanten Unterschiede darstellen, jedoch ist auch bei diesen Indizes die Streuung der erhobenen Werte in einzelnen Fällen beträchtlich (bis zu 50 %).

Die geringen Werte für die Beziehung (Korrelation) und Übereinstimmung (ICC) von SenseWear und PSG hinsichtlich der Liegedauer zeigen, dass dieser Schlafparameter vom SenseWear-Gerät nur unzureichend verlässlich erfasst wird. Für die Schlafdauer und die berechnete Schlafeffizienz zeigen die höheren Werte, dass diese Schlafparameter mit einer guten Verlässlichkeit vom SenseWear-Gerät abgebildet werden. Die höheren Werte des ICC für alle Schlafparameter deuten an, dass sich mit Bezug auf durchschnittliche (Gruppen-)Messungen verlässlichere Werte erzielen lassen, als das für eine individuelle Einzelmessung möglich ist. In zurückliegenden Studien konnte bereits gezeigt werden, dass sich Actimeter unterschiedlich verhalten und daher individuell validiert werden müssen (355). Ein Vergleich vorhandener Validierungsstudien zeigt, dass die Ergebnisse auch von der Art der untersuchten Teilnehmerkohorte abhängig sind (gesund oder krank, Art der Erkrankung) (86;356).

Kürzlich wurde das SenseWear-Gerät im Rahmen einer Studie bei 50 Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe mittels der PSG validiert (86). Dort wurden neben eines epochengenauen Vergleichs der Schlafdaten des SW mit denen der PSG sowie der Analyse anderer studienrelevanter Indizes auch die Übereinstimmungen der Schlafdauer (Total Sleep Time) und die Schlafeffizienz beider Verfahren statistisch untersucht und mittels Bland-Altman-Diagrammen dargestellt. Das SenseWear-System zeigte eine sehr gute Fähigkeit den Schlafzustand festzustellen (Sensitivität im Mittel 88.7 %), zeigte hingegen nur eine mäßige Fähigkeit den Wachheitszustand festzustellen (Spezifität im Mittel 49.9 %). Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied für die beiden Verfahren hinsichtlich der Schlafdauer und Schlafeffizienz gefunden werden. Im Bland-Altman-Diagramm zeigte sich eine große Streuung. Bei 56 % der durchgeführten Messungen war die Differenz der Schlafdauer größer als 30 Minuten. Bei 26 % der durchgeführten Messungen war die Differenz der Schlafeffizienz größer als 15 % als die mit der PSG ermittelten Werte.

Diese Ergebnisse werden auch von denen der hier vorgelegten Arbeit untermauert; die gefundene Streuung ist in dieser Studie bei 38.1 % der Messungen mit einer Differenz der Schlafdauer von mehr als 30 Minuten und 23.8 % der Messungen mit einer Differenz der Schlafeffizienz von mehr als 15 % noch etwas geringer als in der genannten Studie. Hingegen ist der Mean Bias (mittlere Unterschätzung durch das SenseWear-Gerät) der Schlafdauer dieser Studie mit 23 Minuten etwas größer als in der genannten Studie (dort: 14 Minuten), jedoch

wurde die Schlafdauer dort um den genannten mittleren Betrag überschätzt, in der vorgelegten Arbeit unterschätzt. Der Bias der Schlafeffizienz ist in der genannten Studie mit 3 % bereits gering, in der vorgelegten Arbeit mit -0.5 % sehr gering. Die festgestellten Ergebnisse deuten an, dass die Messwerte der SenseWear-Geräte zu den Schlafindizes bei individuellen Einzelmessungen aufgrund der z. T. hohen Streubreite mit entsprechender Zurückhaltung interpretiert werden sollten; bei Gruppenbetrachtungen jedoch eine nützliche Beurteilungsgrundlage liefern können, wobei die festgestellte mittlere Unterschätzung der Liege- und Schlafdauern beachtet werden sollte.

Die Messung von Schlafparametern mit dem SenseWear-Gerät erscheint trotz der in dieser und anderen Studien ermittelten Limitationen im Vergleich zur PSG als ein sinnvolles System, insbesondere im Hinblick auf die relativ störungsfreie Tragweise, schnelle Applikation und den geringen Arbeitsaufwand zur Gewinnung, Speicherung und Weiterleitung der Daten, was insgesamt zu einer angemessenen Compliance bei den Trägern beitragen kann – insbesondere vor dem Hintergrund des Einsatzes des Systems in einer entfernten und von Studienleitern nur unzureichend kontrollierbaren Umgebung. Auch wenn die PSG in der Bestimmung verschiedenster Schlafparameter der Goldstandard bleibt, sind besonders bei Fragestellungen zu Schlafparametern in unzugänglichen Regionen wie der Antarktis, Fragen nach Machbarkeit, Kosten-Nutzen-Rechnungen und Logistik (Transport, Arbeitsaufwand, Wartung etc.) zu beantworten, bei denen ein System wie das SenseWear eine Alternative darstellen kann.

Schlaf in seiner Erholungsfunktion hat eine besondere Bedeutung für Menschen, die während einer Weltraummission mit zahlreichen, teils sehr komplexen und verantwortungsvollen Aufgaben betraut sind. Bei einer Studie zum Schlaf unter Mikrogravitation während einer Shuttlemission (Space Shuttle „Columbia“, 20. Juni 1996, Mission: STS-78) wurde ein Actimetersystem (Actilume) im Vergleich zur PSG während 72-stündiger Perioden an vier Astronauten (38-47 Jahre alt) eingesetzt (357). Es konnte gezeigt werden, dass das Actimetersystem in guter Übereinstimmung mit dem PSG die Schlafdauer (im Mittel 6 h 24 min vs. 6 h 14 min) und die Schlafeffizienz (im Mittel 88.6 % vs. 89.5 %) einschätzen konnte. Die Autoren schlussfolgerten, dass Actimeter in der Raumfahrt funktionsfähig sind und ein gutes Mittel darstellen, um die Schlafdauer und Schlafeffizienz bei Astronauten abzuschätzen.

4.5 Untersuchung der Übereinstimmung der vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter durch den Vergleich dreier SenseWear-Geräte an drei Trageorten

Die Untersuchung der vorgelegten Arbeit hat gezeigt, dass die vom SenseWear-Gerät erhobenen Parameter zum Schlaf und Energieumsatz in Abhängigkeit von unterschiedlichen Trageorten und unterschiedlichen SenseWear-Geräten vergleichbar sind, jedoch lassen sich für die Parameter Schlafenergieumsatz (in Abhängigkeit vom Trageort) und täglicher Energieumsatz (in Abhängigkeit vom SenseWear-Gerät) statistisch signifikante Unterschiede feststellen; des Weiteren besteht ein Unterschied beim Parameter täglicher Energieumsatz (in Abhängigkeit vom Trageort), ohne dass statistische Signifikanz erreicht wird.

Hinsichtlich der statistischen Analyse der Übereinstimmungen mittels des ICC und Cronbach's Alpha zeigt sich, dass sich gute bis sehr gute Übereinstimmungen darstellen lassen, jedoch sind für den Parameter der Schlaffragmentierung nur mäßige und für den Parameter des Schlafenergieumsatzes nur geringe Übereinstimmungen zwischen den Werten in Abhängigkeit vom Trageort und vom SenseWear-Gerät darstellbar (je näher gegen 1, desto größer ist die

Übereinstimmung der Verfahren; für Fragestellungen in der Wissenschaft werden Cronbach's Alpha-Werte von über 0.7, für klinische Anwendungen über 0.9 angestrebt (358)). Für die Werte der Schlafragmentierung lässt sich diskutieren, dass sich die nur mäßige Übereinstimmung im ICC und Cronbach's Alpha nur aufgrund des insgesamt geringen Betrages der Anzahl der Wachereignisse nicht bei der Überprüfung mittels Varianzanalyse darstellen lässt – hier scheint sich ein Vorteil des ICC und Cronbach's Alpha in der Auswertung zu zeigen. Da die ANOVA Mittelwerte vergleicht und der ICC und Cronbach's Alpha alle Einzelwerte miteinander, wird nachvollziehbar, dass statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Werten des Energieumsatzes unterschiedlicher SenseWear-Geräte zustande kommen können, während die Übereinstimmungen dieser Messungen hoch sind.

Es lässt sich somit zusammenfassen, dass es offenbar eine Abhängigkeit vom Trageort für die Erhebung des Schlafenergieumsatzes und auch für die Erhebung des täglichen Energieumsatzes gibt, obwohl sich dabei kein statistischer Unterschied feststellen lässt. Die signifikanten Unterschiede lassen sich auch in den Darstellungen nach Bland-Altman nachvollziehen, in denen die Nulldifferenz der mittleren Abweichung (Mean Bias) für Trageort links oben beim Parameter Schlafenergieumsatz außerhalb der Konfidenzintervalle liegt (Abbildung 186).

Ein überraschendes Ergebnis ist der statistisch signifikante Unterschied zwischen den SenseWear-Geräten für den Parameter des täglichen Energieumsatzes, der vom Gerät 1 signifikant geringer gemessen wurde, als für Gerät 2 und Gerät 3 (oder anders formuliert von 2 und 3 signifikant höher als für 1, da unbekannt ist, welches die „wahren“ Werte sind). Entsprechend des signifikanten Unterschiedes liegen im Bland-Altman-Diagramm (Abbildung 189) die Konfidenzintervalle der mittleren Abweichung (Mean Bias) beider Geräte 2 und 3 außerhalb der Nulldifferenz. Wie das Bland-Altman-Diagramm für diesen Parameter weiterhin zeigt, nimmt die Streubreite bei steigenden Energieumsätzen zu, das heißt je größer der tägliche Energieumsatz des Trägers durch z. B. körperliche Arbeit, sportliches Training etc. ist, um so ungenauer wird die individuelle Messung. Die Streuung ist des Weiteren für die Abhängigkeit vom Trageort größer (geringere Präzision) als für die Abhängigkeit vom Gerät.

Hinsichtlich der statistischen Tests zur Übereinstimmung lässt sich zusammenfassen, dass die guten bis sehr guten Werte andeuten, dass sich verlässliche Werte für alle Parameter erheben lassen, bis auf die Parameter der Schlafragmentierung sowie dass sich keine Verlässlichkeit hinsichtlich des Schlafenergieumsatzes darstellen lässt. Zur Validierung des SenseWear-Gerätes hinsichtlich seiner Fähigkeit, den Energieumsatz des Menschen zu bestimmen, existieren eine Reihe von Untersuchungen. So konnte eine gute Übereinstimmung der erhobenen Messwerte unter Laborbedingungen (359;360) und unter Feldbedingungen (361;362) gezeigt werden. Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung (Intraclass Correlation Coefficient 0.80) mit der Energieumsatz-Messung durch die Doubly Labeled Water Methode (DLW), wenn auch die individuelle Streuung des Gesamtenergieumsatzes (mittels Bland-Altman-Verfahren) in Bezug auf die DLW-Methode teilweise groß war (Limits of Agreement -749 bis 525 kcal/d) (362).

Die in der vorgelegten Arbeit dargestellten Ergebnisse unterstützen bereits durchgeführte Studien zu diesem Thema, so zeigte sich bei einer Validierungsstudie zum Aktivitätsenergieumsatz bei Erwachsenen, die einen Circuit Trainingsparcours mit Widerstandstraining unterschiedlicher Intensität (30, 50 und 70 % des jeweiligen 15-Repetition Maximum) zu bewältigen hatten, dass das SenseWear-Gerät die Aktivitätsumsätze im Vergleich zum Goldstandard „indirekte Kalorimetrie“ (Oxycon Mobile) unterschätzte (363), ein Verhalten das sich in anderen Studien schon angedeutet hatte (359;364). Die Autoren diskutierten dabei auch

die Standardmethoden als mögliche Fehlerquellen, so wird die Genauigkeit (Accuracy) der DLW mit zwischen 2 % und 12 % liegend angegeben (365;366). Während die indirekte Kalorimetrie unter steady-state-Bedingungen als sehr genau gilt, kann es aufgrund der Beeinflussung der gemessenen Parameter durch den zunehmenden Anteil des anaeroben Stoffwechsels bei steigender Intensität, zu Fehlbestimmungen kommen (367;368).

Diese Unterschätzung durch das SenseWear-Gerät bei Aktivitäten zunehmender Intensität zeigte sich auch bei einer Studie zum Energieumsatz während einer 45-minütigen Fahrradergometrie (369), was in dem Fall auf den Auswertungsalgorithmus des SenseWear-Gerätes zurück geführt wurde, da der überwiegende Teil der dynamischen Arbeit von den unteren Extremitäten erbracht wird, die von den Beschleunigungssensoren naturgemäß nicht im ausreichenden Maße registriert werden können. Diese Studie machte eine Einschränkung des SenseWear-Gerätes sichtbar, dergestalt, dass vermutlich der Algorithmus zur Schätzung des Energieumsatzes nicht bezüglich aller denkbaren Bewegungsmuster adäquate Anwendung finden kann.

Autoren einer anderen Studie zur Bestimmung des Energieumsatzes mittels Laufbandergometrie (bei 65, 75, 85 % VO_2max) formulierten entsprechend den Begriff eines Ceiling-Effektes, also eines vom SenseWear-Gerät maximal möglich abbildbaren Energieumsatzes, der bei ca. 10 MET liegen könne (370). Die Autoren schlussfolgerten, dass das SenseWear-Gerät ein verlässliches System zur Bestimmung geringgradiger bis moderater körperlicher Aktivitäten darstellt, jedoch bei Aktivitäten hoher Intensität aufgrund des Ceiling-Effektes den Energieumsatz entsprechend erheblich unterschätzt (370). In weiteren Studien zur Messung des Energieumsatzes mittels SenseWear bei unterschiedlichen Aktivitäten wurde von verschiedenen Autoren darauf hingewiesen, dass eine aktivitätsbezogene Anpassung des proprietären Algorithmus des Herstellers genauere Resultate liefern könne (359;371).

Trotz dieser Einschränkungen kann das SenseWear-Gerät zur Beurteilung des Energieumsatzes nützliche Informationen liefern, wie der Einsatz dieses Gerätes in verschiedenen medizinischen Anwendungsfeldern dokumentiert; so zur Beurteilung des Ruheenergieumsatzes bei Patienten mit Anorexia nervosa (372), der Beurteilung des Schlafes und Energieumsatzes bei Patienten mit akutem Koronarsyndrom (373) und anderen kardiologischen Erkrankungen (374), in der Arbeitsmedizin (375), der Pulmologie (376), bei Patienten nach bariatrischem Eingriff (Magenverkleinerung) (377), bei Patienten mit rheumatoider Arthritis (aufgrund deren Bewegungseinschränkung und vermindertem Energieumsatz zur Interventionsverbesserung) (378), bei Patienten mit Dyskinesien im Rahmen eines Morbus Parkinson (379), zur Therapieverbesserung der Gewichtsangpassung bei Patienten mit Adipositas (380), zur Schlafbeurteilung bei psychiatrischen Patienten (Depression) (381) sowie als Gerät zur möglichen telemetrischen Übermittlung der aktuellen Körperlage und des Bewegungszustandes zur Beurteilung eines Notfallzustandes (z. B. Stürze von Patienten) (137).

4.6 Untersuchung verschiedener vom SenseWear-Gerät erhobener Parameter nach Beeinflussung durch vorherigen Wasserduschgang

Die Untersuchung der vorgelegten Arbeit hat gezeigt, dass der vom SenseWear-Gerät erhobene Parameter zum Energieumsatz (als eine mittels des proprietären Algorithmus durch die Auswertungssoftware berechnete Größe) sowie die originär gemessenen Größen des Wärmeflusses und des Hautleitwertes, eine statistisch signifikante Veränderung durch die stattgehabte Intervention „Warmwasserduschgang“ über den nach der Intervention folgenden 200-minütigen Messzeitraum erfahren.

Wie die Messungen der Evaporation (transepidermaler Wasserverlust TEWL) zeigen, lassen sich signifikante Unterschiede zwischen dem Kontrollarm und dem Interventionsarm nach der Intervention für die Evaporation darstellen, mit einer mehr als zehnfachen Erhöhung der Evaporation am Interventionsarm. Während sich über den Verlauf des Messzeitraumes keine Unterschiede für die Beschleunigungswerte zwischen beiden Armen zeigen lassen, sind der Wärmefluss und der Hautleitwert am Interventionsarm während des Messzeitraumes signifikant erhöht. Es wird daher geschlossen, dass der gemessene Energieumsatz des Interventionsarms bedingt durch die Intervention des Duschgangs gesteigert wird.

Wie sich anhand der graphischen Darstellungen der Differenzen zwischen Interventionsarm und Kontrollarm in der Einzelmessung sowie aller Messungen kombiniert (geglättete Werte) nachvollziehen lässt, schwanken die Werte der Differenzen der Beschleunigungen um 0 g, während die Differenzen für die Parameter Hauttemperatur, Hautleitwert, Wärmefluss und Energieumsatz ab Beginn der Messung gesteigert sind und stetig abnehmen. Dabei erreichen die Mittelwerte der Differenzen der Parameter auch nach der 200-minütigen Messung nicht „Null“, sondern liegen darüber; das heißt die Werte dieser Parameter liegen während und auch am Ende der Messperiode am Interventionsarm noch über denen des Kontrollarmes.

Die Hauttemperatur erreicht in der Differenz nach ca. 20 Minuten die 0 Kelvin Differenz und wird danach negativ, das heißt die Hauttemperatur des Interventionsarms ist geringer (im Mittel 0.75 K), als die des Kontrollarms, was nachvollziehbar ist, da die gesteigerte Evaporation und der positive Wärmefluss am Interventionsarm zu einem entsprechenden Wärmeverlust führen, der – wie beim Schwitzen – zur Kühlung der Körperschale führt (127).

Für den Energieumsatz lässt sich aussagen, dass im Mittel in der ersten Minute nach Intervention der Energieumsatz um fast 4 kJ/min überschätzt wird und selbst 120 Minuten nach Intervention noch eine Überschätzung von 1 kJ/min gegenüber dem Kontrollarm vorliegt, wie aus Abbildung 209 ersichtlich wird. Dies entspräche bei einem eigentlichen Ruheenergieumsatz, gemessen am Kontrollarm, von 5.6 kJ/min⁶ einer 70 %-igen Überschätzung in der ersten und einer 18 %-igen Überschätzung in der 120. Minute nach Intervention durch das SenseWear-Gerät am Interventionsarm.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich feststellen, dass das Tragen des SenseWear-Gerätes während des Duschens bzw. das Anlegen des Gerätes nach dem Duschen in der Folge zu zum Teil erheblich gesteigerten Überschätzungen des Energieumsatzes für einen längeren Zeitraum führen kann. Es muss diskutiert werden, in wie weit diese Ergebnisse auch Auswirkungen für andere Fragestellungen haben, so z. B. bei Personen mit unterschiedlich starker Schweißproduktion während körperlicher Betätigung oder des Tragens des Gerätes während unterschiedlicher klimatischer Bedingungen mit entsprechender Schweißproduktion beim Träger des Gerätes, wenn in diesen Fällen der Energieumsatz möglicherweise analog zu den vorgelegten Ergebnissen überschätzt wird.

Aufgrund der Vielzahl von Actimetern, gemessenen Parametern und angewandten Verfahren erscheint es z. T. problematisch, die einzelnen Ergebnisse miteinander zu vergleichen, wie ein Review-Artikel zu diesem Thema zusammenfassend darstellte (382). So sollten neben den anthropometrischen Daten stets das verwendete Actimeter, die Version der verwendeten Analysesoftware sowie falls zutreffend die genutzten Algorithmen mit angegeben werden.

⁶ Berechnung für einen 80 kg schweren Mann mit einer $\dot{V}O_2$ in Ruhe von 3.5 ml O_2 /kg Körpergewicht/min bei einem durchschnittlichen kalorischen Äquivalent von 20 kJ/l O_2 (128).

4.7 Einschränkungen

Einschränkungen der Untersuchung der Veränderungen physiologischer Parameter der Überwinterer in der Antarktis 2008-2011

Die vorgelegte Untersuchung zu Veränderungen unterschiedlicher Parameter von Überwinterern in der Antarktis ist mit verschiedenen Einschränkungen behaftet. So war es aufgrund verschiedener zeitlicher und operationaler Erfordernisse der einzelnen Überwinterungsstaffeln nicht möglich einen einheitlichen Plan zur Durchführung der Messungen aufrecht zu erhalten. Diese Einschränkung konnte in den statistischen Analysen und graphischen Darstellungen durch Berücksichtigung der jeweils real stattgefundenen Messzeitpunkte kompensiert werden. Dennoch wäre ein standardisierter Messplan vorteilhaft. In diesem Zusammenhang lagen bisweilen erste Messwerte erst vor, nachdem die Überwinterung bereits angelaufen war, womit möglicherweise im Einzelfall keine verlässlichen Ausgangswerte zur Auswertung gekommen sind.

Es lagen für 2011 keine Hormon- und Stoffwechselfparameter vor, da ein sicherer Abtransport aufgrund widriger Wetterbedingungen trotz wiederholter Versuche nicht rechtzeitig möglich war. Da das Forschungsschiff „Polarstern“ des Alfred-Wegener-Institutes nur einmal pro Jahr die Station zur Versorgung anläuft, verschiebt sich die Analyse der Parameter entsprechend.

Es lagen zum Zeitpunkt der Auswertung der vorgelegten Arbeit keine Werte zu hämatologischen Parametern, wie Hämatokrit, Hämoglobin, Erythrozytenzahl etc. vor. Diese Parameter hätten die Analyse der Veränderungen der Hormonparameter der Erythropoese komplettiert. Eine weitere Einschränkung stellt die Isolation auch für die Erhebung der verschiedenen Parameter dar, da die Messung und Übertragung der Daten von den Probanden der Studie vorgenommen wurde, was evtl. zu inkonsistenten Messverfahren führte (Anbringen der Elektroden für die BIA-Messungen, Anbringen des SenseWear-Gerätes und zeitliche Dauer der Messung). Wie bereits zum Plan der Messzeitpunkte erwähnt, ergibt sich aus der isolierten Lage der Überwinterer auch die gesteigerte Möglichkeit für Noncompliance einzelner Messungen.

Einschränkungen der Validierungsuntersuchungen des SenseWear-Gerätes

Bei der Validierungsuntersuchung mittels PSG wurden keine epochenweisen Analysen vorgenommen, was eine Aussage der Untersuchungen hinsichtlich Sensitivität und Spezifität des Erkennens von Schlaf- bzw. Wachphasen ermöglicht hätte. Auch ist es vorstellbar, dass die Kohorte der Schlafpatienten, an der die Untersuchung vorgenommen wurde, zu anderen Werten bei der Messung geführt hat, als dies bei gesunden bzw. jüngeren Erwachsenen der Fall gewesen wäre.

Bei dem Vergleich verschiedener Geräte und Trageorte wurden an den verschiedenen Messtagen unterschiedliche Tätigkeiten durchgeführt. Auch wenn an jedem Messtag jeweils alle drei Geräte und an allen drei Orten gemessen wurde, ist es vorstellbar, dass ein standardisierter Tagesablauf zu möglicherweise verlässlicheren Ergebnissen führen könnte.

Bei der Untersuchung des Einflusses von Duschgängen auf die erhobenen Messwerte, insbesondere zum Energieumsatz ist es vorstellbar, insbesondere im Hinblick auf die Resultate aus der Untersuchung dreier baugleicher SenseWear-Geräte, dass die Werte der erhöhten Energieumsätze zumindest zum Teil durch das Gerät des Interventionsarms bedingt gewesen sein könnten. Messungen mit einem Rotationsschema der Geräte könnten hier zu zuverlässigeren Ergebnissen führen.

5. Zusammenfassung

5.1 Veränderungen physiologischer Parameter bei Überwinterern der Georg-von-Neumayer-Stationen II und III 2008-2011

Es konnte gezeigt werden, dass es bei den Überwinterungen der Jahre 2008 bis 2011 bei den 31 teilnehmenden Probanden zu Veränderungen der Körperzusammensetzung mit Abnahme der fettfreien Masse, der Körperzellmasse und des Gesamtkörperwassers und einer Zunahme der Fettmasse kommt, ohne dass dabei statistische Signifikanz erreicht wird, während das Körpergewicht relativ konstant bleibt.

Bei den Überwinterern kommt es zu einer Abnahme der Liegedauer und der Schlafdauer, wobei die Schlafdauer stärker abnimmt, so dass die Schlafeffizienz über den Verlauf der Überwinterung abnimmt, des Weiteren kommt es zu einer Zunahme der Schlaffragmentierung, ohne dass dabei statistische Signifikanz erreicht wird.

Beim Schlafenergieumsatz und täglichen Energieumsatz ist eine Abnahme einhergehend mit der Abnahme der fettfreien Masse über den Verlauf hinweg feststellbar, ohne dass dabei statistische Signifikanz erreicht wird.

Für Vitamin D ist eine statistisch signifikante Abnahme der Serumkonzentrationen für alle Teilnehmer feststellbar, die z. T. bis zum Ende der Messperiode nicht wieder die Ausgangswerte erreichen; dabei werden von einem Großteil der Teilnehmer sehr geringe Werte erreicht (z. T. unter 30 nmol/l), weshalb eine Substitution erwogen werden sollte.

Für TSH lässt sich eine ähnliche circannulare Periodik wie in bisherigen Studien zu dieser Thematik feststellen, mit einer Zunahme der Werte in der Dunkelphase. Die TSH Veränderungen im Überwinterungsverlauf der drei Phasen sind dabei für die Männer statistisch signifikant.

Für Leptin zeigen sich uneinheitliche Veränderungen; für Adiponektin zeigt sich nach einem Anstieg eine leichte Abnahme, die möglicherweise durch Zunahme der Fettmasse bedingt ist, ohne dass dabei statistische Signifikanz erreicht wird. Für die Parameter der Erythropoese zeigt sich für Epo eine initiale Zunahme der Konzentrationen mit einem Abfall zur Dunkelphase, die mit einer ähnlichen Abnahme des sTfR im vergleichbaren Zeitraum einhergeht und als Verminderung der Erythropoese während der Dunkelphase interpretiert werden kann; im selben Zeitraum um die Dunkelphase steigen dabei die Konzentrationen des Eisenspeichers Ferritin an, ohne dass bei diesen Parametern statistische Signifikanz erreicht wird.

Zwischen den Geschlechtern zeigten sich signifikante Unterschiede für das Körpergewicht, die fettfreie Masse, die Fettmasse, die Körperzellmasse, das Gesamtkörperwasser und den Energieumsatz, bei denen die Werte für die Frauen geringer sind; sowie für die Liegedauer, für die die Werte der Frauen höher waren, als für die der Männer, selbiges lässt sich statistisch signifikant für die Adiponektinkonzentrationen feststellen.

Gesamt betrachtet erscheint die Zunahme der Fettmasse, die Abnahme der fettfreien Masse, die Veränderungen der Stoffwechselfparameter im Zusammenhang mit der Abnahme der Schlafdauer und Schlafeffizienz nachvollziehbar, wie mit Bezug zu vorhanden Studien zur Vernetzung dieser Parameter zueinander in den entsprechenden Abschnitten diskutiert wurde.

Wie der Vergleich der individuellen Veränderungen mit den mittels statistischer Methoden dargestellten Resultaten für die Staffeln kombiniert zeigt, existieren z.T. erhebliche Unterschiede zwischen diesen einzelnen Werten. Die erstellten statistischen Betrachtungen sind daher nur mit Bezug auf die Gruppenveränderungen, jedoch nicht als Prädiktionswerte für einzelne Individuen anwendbar. Wie aus den Validierungsuntersuchungen des SenseWear-Gerätes der vorgelegten Arbeit folgt, sollten in diesem Zusammenhang die Parameter Schlaffragmentierung und Schlafenergieumsatz mit Zurückhaltung interpretiert werden, da für diese Parameter eine geringere Zuverlässigkeit dargestellt werden konnte.

Bei der Darstellung der Beziehungen verschiedener Parameter der Körperzusammensetzung zu Hormon- und Stoffwechselfparametern, zeigen sich für die Frauen zwei Subpopulationen, bei der eine Kohorte jüngerer Frauen mit höherer Fettmasse und dennoch höheren Adiponektinkonzentrationen dargestellt werden konnte, im Gegensatz zu einer Kohorte älterer Probandinnen, mit geringerer Fettmasse und dennoch geringeren Adiponektinwerten; ein Umstand der von bisherigen Untersuchungsergebnissen in der Literatur differiert. In der jeweiligen Kohorte existierte jeweils eine negative Korrelation zwischen Adiponektin und Fettmasse bzw. Körpergewicht.

5.2 Untersuchungen zur Validierung des in der Antarktis eingesetzten Actimeters „SenseWear“

Für das SenseWear-Gerät konnte gezeigt werden, dass es wie in einer zuvor beschriebenen Studie mit ähnlicher Thematik, als verlässliche Alternative zur Beurteilung von Schlafparametern bei der Beobachtung einer Gruppe angesehen werden kann. Dabei unterschätzt das SenseWear-Gerät die Liegedauer jedoch statistisch signifikant im Vergleich zur Polysomnographie. Die Werte der Schlafdauer werden unterschätzt, ohne dass dabei statistische Signifikanz erreicht wird. Die Abweichungen in der Schlafeffizienz sind sehr gering im Vergleich zur Vergleichsmethode PSG. Die Übereinstimmungen zwischen PSG und SenseWear sind für die Liegezeit nur gering, jedoch für die Schlafdauer und die Schlafeffizienz gut. Die Beurteilung der Parameter Schlafdauer und Schlafeffizienz erscheinen daher als verlässlich möglich.

Bei der Überprüfung dreier SenseWear-Geräte an drei Trageorten zeigte sich, dass es bei dem Tragen des Gerätes an unterschiedlichen Orten (rechter Arm oben bzw. unten bzw. linker Arm) zu möglicherweise fehlerhaften Bestimmungen beim Schlaf- und täglichen Energieumsatz kommen kann sowie dass zwischen baugleichen Geräten signifikant unterschiedliche Ergebnisse für den täglichen Energieumsatz darstellbar waren, was als Resultat überrascht. Für die Schlaffragmentierung und den Schlafenergieumsatz zeigten sich nur mäßige bis geringe Übereinstimmungen, so dass Werte dieser Parameter vorsichtig interpretiert werden sollten; bei allen anderen Parametern zeigten sich gute bis sehr gute Übereinstimmungen und somit kann von verlässlichen Messungen ausgegangen werden.

Bei der Untersuchung des Einflusses eines Duschgangs mit warmen Wasser auf die vom SenseWear-Gerät erhobene Werte hat sich gezeigt, dass infolge dieser Intervention der Energieumsatz um im Mittel bis zu 4 kJ/min vom SenseWear-Gerät überschätzt wird, was einer rund 70 %-igen Überschätzung eines mittleren Ruheenergieumsatzes entspricht. Diese Resultate zeigen, dass die erhobenen Werte des Energieumsatzes während und nach dem Duschen bis zu 200 Minuten und möglicherweise darüber hinaus, fehlerhaft sein können, was bei der Interpretation entsprechender Untersuchungsergebnisse berücksichtigt werden sollte.

5.3 Ausblick für künftige Untersuchungen

Für die vorgelegte Arbeit wurde impliziert, dass die Aufenthalte auf den Stationen Neumayer II und III hinsichtlich zeitlicher, räumlicher und operationaler Konditionen gleich sind. Für die bestehenden Datensätze der bisherigen Überwinterungen auf den Stationen Neumayer II (Überwinterungen der Jahre 2005 bis 2008) und III (Überwinterungen seit dem Jahr 2009) könnte untersucht werden, ob dennoch Unterschiede bezüglich verschiedener physiologischer Parameter zwischen den Überwinterern auf beiden Stationen zueinander darstellbar sind.

Des Weiteren erscheint es für verschiedene Parameter, wie den Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen, sinnvoll, wenn Werte vor Beginn und nach Ende der Überwinterung erhoben werden könnten; auch für andere Parameter könnte dies in der Auswertung vorteilhaft sein. In diesem Zusammenhang könnte auch eine Messung der Knochendichte sowie anderer Vitamin D-Metabolite einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn bringen.

Im Rahmen der Veränderungen der Körperzusammensetzung und des Energieumsatzes könnte eine Erhebung der Energiezufuhr zweckmäßig sein. Auch könnte eine Messung verschiedener anderer Metabolite der Schilddrüsenhormone wie T3 und T4 in deren freier und gebundener Form von Interesse sein. Im Zusammenhang mit dem Überwinterungssyndrom bzw. polaren T3-Syndrom wäre eine Erhebung der Befindlichkeit und der Stimmung bei den Überwinterern von Interesse. Im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen TSH, Schilddrüsenhormonen und Stimmungsveränderungen in isolierten und beengten Umgebungen sowie Betrachtungen zu interpersönlichen Konflikten, aber auch Coping und Salutogenese, Einflüssen der Gruppenzusammensetzung und Größe wären diese genannten Parameter weitere interessante Untersuchungsinhalte bei künftigen Überwinterungen.

Insgesamt wäre eine engmaschigere Messung von Vorteil, jedoch gilt dabei zu beachten, dass zwischen der Erhebung der verschiedenen Messwerte und den eigentlichen Aufgaben der Überwinterer auf der Station ein Kompromiss gefunden werden muss. Eine Aufzeichnung der täglichen Aktivität mittels Logbüchern und Aktivitätsprotokollen (z. B. zu Arbeits- und Ruhezeiten, sportlicher Aktivität, Mahlzeiten etc.) könnte einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn im Zusammenhang mit den Messungen zum Energieumsatz ermöglichen.

Das bisherigen Darstellungen in der Literatur widersprechende Resultat, dass sich höhere Adiponektinkonzentrationen trotz höherer Fettmasse bei jüngeren Frauen darstellen lassen, als bei älteren weiblichen Teilnehmern, könnte in künftigen Studien näher untersucht werden.

Hinsichtlich des untersuchten Actimeters „SenseWear“ könnten weitere Validierungsuntersuchungen unter Berücksichtigung der in der vorgelegten Arbeit dargestellten Ergebnisse und derer anderer genannter Studien weitere Erkenntnisse erbringen; insbesondere die Untersuchung der Abhängigkeit der Messwerte des Energieumsatzes in Abhängigkeit vom eingesetzten Gerät, wie in der vorgelegten Arbeit dargestellt, erscheint notwendig. Darüber hinaus erscheint die Nutzung angepasster Auswertungsalgorithmen für die Ergebnisauswertung je nach Untersuchungsschwerpunkt (Alter, Geschlecht, Bewegungsform, Aktivitätsgrad) sinnvoll.

5.4 Gesamtbetrachtung und abschließende Bemerkungen

Es wurde im Zusammenhang mit Langzeitaufenthalten im All argumentiert, dass Unternehmungen wie eine Reise zum Mars mit ihrer sehr langen Dauer von bis zu 1000 Tagen (43), dem Aufbruch in unbekannte Regionen und der hohen Abhängigkeit von äußeren Gegebenheiten (extreme Umwelt, Technik zur Lebenserhaltung) – eher den Charakter früherer historischer Entdeckungsreisen und Expeditionen haben werde, als z. B. ein Aufenthalt im erdnahen Orbit wie der MIR-Station oder aktuell der ISS (51).

Vor diesem Hintergrund kommt der Vorbereitung, der Interaktion innerhalb der Crew und ihrer physischen und psychischen Gesunderhaltung während einer solchen Mission besondere Bedeutung zu. Aufenthalte in isolierten und extremen Umwelten können dazu beitragen, Erkenntnisse für Langzeitmissionen im Weltraum zu liefern, wie auch für vergleichbare Situationen auf der Erde, wie auf Ölbohrinseln, in Minen und ähnlichen Umgebungen.

Es konnte in der vorgelegten Arbeit gezeigt werden, dass es bei Überwinterern in der Antarktis zu statistisch signifikanten und nicht-signifikanten Veränderungen der Körperzusammensetzung, des Schlafes und des Energieumsatzes sowie verschiedener Hormon- und Stoffwechselfparameter kommt. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass das Actimeter „SenseWear“ eine nützliche Methode bei der Erhebung von Schlaf- und Aktivitätsparametern in Gruppenbetrachtungen darstellen kann, jedoch Einschränkungen bei individuellen Messungen bestehen und dass fehlerhafte Überschätzungen des Energieumsatzes durch äußere Einflüsse, wie nach einem Duschgang, entstehen können.

Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen an den Überwinterern können Anlass dazu geben, die Konzepte entsprechender Gegenmaßnahmen für Aufenthalte im All anzupassen – wie zur körperlichen Aktivität, der Schlafhygiene und der Vitamin D-Substitution – sowie die künftigen Überwinterungen in der Antarktis hinsichtlich der erhobenen Parameter zu verbessern, so dass Wohlbefinden und Gesundheit der Teilnehmer gewährleistet bleiben.

Literaturverzeichnis

Die Formatierung des Literaturverzeichnisses basiert auf dem Layout des Fachjournals „Lancet“; für die Erstellung des Verzeichnisses wurde das Programm Reference Manager Ver. 12 genutzt.

- (1) Ehrmann WU, Mackensen A. Sedimentological evidence for the formation of an East Antarctic ice sheet in Eocene/Oligocene time. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 1992;93(1-2):85-112.
- (2) Vaughan APM, Livermore RA. Episodicity of Mesozoic terrane accretion along the Pacific margin of Gondwana: implications for superplume-plate interactions. *Illustrated Edition 2005 Geological Society*; 2005. p. 143-78.
- (3) Wegener A. *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. 1. Auflage Fiedrich Vieweg & Sohn Aktien-Gesellschaft; 1929.
- (4) Faure G, Mensing M. *Antarctica - The Continent. The Transantarctic Mountains*. 1st Edition Springer Netherlands; 2010. p. 36-62.
- (5) Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven. <http://www.awi.de>, aufgerufen am 05. Mai 2012.
- (6) Faure G, Mensing M. *The East Antarctic Ice Sheet. The Transantarctic Mountains*. 1st Edition Springer Netherlands; 2010. p. 573-624.
- (7) King JC, Turner J. *Physical Climatology. Antarctic Climatology (Cambridge Atmospheric and Space Science Series)*. Cambridge University Press; 1997. p. 68-140.
- (8) Straßl H. Ein Nomogramm für die Dauer von Polartag und Polarnacht bei beliebiger Ekliptikschiefe. *Polarforschung* 1951;21(1):40-3.
- (9) König-Langlo G, Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven. *Jährliche Sonnenscheindauer im Bereich der Georg-von-Neumayer-Station II und III (bislang unveröffentlicht)*; 2012.
- (10) Gurney A. *Der weiße Kontinent - die Geschichte der Antarktis und ihre Entdecker*. München: Sierra Taschenbuch; 2002.
- (11) Shackleton SE. *Mit der Endurance ins ewige Eis: Meine Antarktisexpedition 1914-1917*. 4. Auflage München: Piper Taschenbuch; 2006.
- (12) Langner RK. *Duell im ewigen Eis: Scott und Amundsen oder Die Eroberung des Südpols*. Frankfurt/Main: Fischer Verlag; 2011.
- (13) Lansing A. *635 Tage im Eis*. München: Bertelsmann Verlag; 2002.
- (14) Byrd RE. *Little America: Aerial Exploration in the Antarctic, The Flight to the South Pole*. 1st Edition New York: G. P. Putnam's Sons; 1930.
- (15) Byrd RE. *Aufbruch ins Eis*. München: National Geographic Taschenbuch; 2007.
- (16) Fuchs V, Hillary E. *The Crossing of Antarctica: The Commonwealth Transantarctic Expedition, 1955-1958*. Whitefish, MT USA: Literary Licensing, Llc; 2011.
- (17) Etienne JL. *Transantarctica*. München: Sierra Taschenbuch; 2000.
- (18) Messner R. *Antarktis: Himmel und Hölle zugleich*. Frankfurt/Main: Fischer; 2004.
- (19) Russel RCJ. *International Geophysical Year*. VSD; 2012.
- (20) Suedfeld P, Weiss K. Antarctica natural laboratory and space analogue for psychological research. *Environ Behav* 2000 January;32(1):7-17.
- (21) Surhone LM, Timpledon MT. *South Pole: Earth's Rotation, North Pole, Antarctic, Amundsen-Scott South Pole Station, Rotation, Geographic Coordinate System*. Betascript Publishing; 2010.
- (22) Palinkas LA, Suedfeld P. Psychological effects of polar expeditions. *Lancet* 2008 January 12;371(9607):153-63.
- (23) Rothblum ED. Psychological factors in the antarctic. *J Psychol* 1990 May;124(3):253-73.

- (24) Sproule J, Jette M, Rode A. Medical observations of members of the Soviet/Canadian 1988 Polar Bridge Expedition. *Arctic Med Res* 1991;Suppl:489-90.
- (25) De Freitas CR, Symon LV. A bioclimatic index of human survival times in the Antarctic. *Polar Record* 1987;23:651-9.
- (26) Broadway JW, Arendt J. Seasonal and bright light changes of the phase position of the human melatonin rhythm in Antarctica. *Arctic Med Res* 1988;47 Suppl 1:201-3.
- (27) Cooke FJ, Sabin C, Zuckerman JN. A study of the incidence of accidents occurring during an Arctic expedition: another important aspect of travel medicine? *J Travel Med* 2000 July;7(4):205-7.
- (28) Kennaway DJ, Van Dorp CF. Free-running rhythms of melatonin, cortisol, electrolytes, and sleep in humans in Antarctica. *Am J Physiol* 1991 June;260(6 Pt 2):R1137-R1144.
- (29) Cattermole TJ. The epidemiology of cold injury in Antarctica. *Aviat Space Environ Med* 1999 February;70(2):135-40.
- (30) Ikaheimo TM, Hassi J. Frostbites in circumpolar areas. *Glob Health Action* 2011;4.
- (31) Muller HK, Lugg DJ, Quinn D. Cell mediated immunity in Antarctic wintering personnel; 1984-1992. *Immunol Cell Biol* 1995 August;73(4):316-20.
- (32) Shearer WT, Lee BN, Cron SG, Rosenblatt HM, Smith EO, Lugg DJ et al. Suppression of human anti-inflammatory plasma cytokines IL-10 and IL-1RA with elevation of proinflammatory cytokine IFN-gamma during the isolation of the Antarctic winter. *J Allergy Clin Immunol* 2002 May;109(5):854-7.
- (33) Leppaluoto J, Paakkonen T, Korhonen I, Hassi J. Pituitary and autonomic responses to cold exposures in man. *Acta Physiol Scand* 2005 August;184(4):255-64.
- (34) Palinkas LA, Reedy KR, Shepanek M, Smith M, Anghel M, Steel GD et al. Environmental influences on hypothalamic-pituitary-thyroid function and behavior in Antarctica. *Physiol Behav* 2007 December 5;92(5):790-9.
- (35) Reed HL, Silverman ED, Shakir KM, Dons R, Burman KD, O'Brian JT. Changes in serum triiodothyronine (T3) kinetics after prolonged Antarctic residence: the polar T3 syndrome. *J Clin Endocrinol Metab* 1990 April;70(4):965-74.
- (36) Schiermeier Q. The great Arctic oil race begins. *Nature* 2012 February 2;482(7383):13-4.
- (37) Gunga H-C. *Forscher am Ende der Welt - Die Deutsche Antarktisstation*. Das Neue Universum 99. Erstaussage München: Südwest-Verlag; 1982. p. 39-42.
- (38) Priesner C. *Georg von Neumayer*. Neue Deutsche Biographie. Berlin: Duncker & Humblot; 1999. p. 166-8 (Band 19).
- (39) Graser N. *Kalte Füße inklusive: Mein Jahr in der Antarktis*. 1. Auflage München: Knauer Taschenbuch; 2008.
- (40) Committee on Assessing the Solar System Exploration Program, National Research Council. *Grading NASA's Solar System Exploration Program: A Midterm Review*. National Academic Press; 2008.
- (41) International Business Publication - USA. *European Space Agency Handbook (World Business, Investment and Government Library)*. International Business Publications; 2009.
- (42) Gunga H-C, Steinach M, Kirsch K. Weltraummedizin- und biologie. In: Ley W, Wittmann K, Hallmann W, editors. *Handbuch der Raumfahrttechnik*. 3. Auflage München: Carl Hanser Verlag; 2008. p. 575-87.
- (43) Andersen DT, McKay CP, Wharton RA, Rummel JD. Testing a Mars science outpost in the Antarctic dry valleys. *Adv Space Res* 1992;12(5):205-9.
- (44) Horneck G. Astrobiological aspects of Mars and human presence: pros and cons. *Hippokratia* 2008 August;12 Suppl 1:49-52.
- (45) Gunga H-C, Steinach M, Kirsch K. Erfahrungshorizont. In: Ley W, Wittmann K, Hallmann W, editors. *Handbuch der Raumfahrttechnik*. 3. Auflage München: Carl Hanser Verlag; 2008. p. 577-8.
- (46) Gunga H-C, Steinach M, Kirsch K. Ausblick. In: Ley W, Wittmann K, Hallmann W, editors. *Handbuch der Raumfahrttechnik*. 3. Auflage München: Carl Hanser Verlag; 2008. p. 587.

- (47) Bishop SL. Evaluating teams in extreme environments: from issues to answers. *Aviat Space Environ Med* 2004 July;75(7 Suppl):C14-C21.
- (48) Tanaka M, Watanabe S. Overwintering in the Antarctica as an analog for long term manned spaceflight. *Adv Space Res* 1994;14(8):423-30.
- (49) Stuster J. Analogue prototypes for Lunar and Mars exploration. *Aviat Space Environ Med* 2005 June;76(6 Suppl):B78-B83.
- (50) Collet J, Novara M. Global approach to simulation: a gateway to long-term human presence in space. *Adv Space Res* 1992;12(1):285-99.
- (51) Brubakk AO. Man in extreme environments. *Aviat Space Environ Med* 2000 September;71(9 Suppl):A126-A130.
- (52) Gunga H-C, Steinach M, Kirsch K. Missionsszenarien. In: Ley W, Wittmann K, Hallmann W, editors. *Handbuch der Raumfahrttechnik*. 3. Auflage München: Carl Hanser Verlag; 2008. p. 576-7.
- (53) Harrison AA, Clearwater YA, McKay CP. The human experience in Antarctica: applications to life in space. *Behav Sci* 1989 October;34(4):253-71.
- (54) Palinkas LA, Gunderson EK, Johnson JC, Holland AW. Behavior and performance on long-duration spaceflights: evidence from analogue environments. *Aviat Space Environ Med* 2000 September;71(9 Suppl):A29-A36.
- (55) Harrison AA. Behavioral health: integrating research and application in support of exploration missions. *Aviat Space Environ Med* 2005 June;76(6 Suppl):B3-12.
- (56) Winisdoerffer F, Soulez-Lariviere C. Habitability constraints/objectives for a Mars manned mission: internal architecture considerations. *Adv Space Res* 1992;12(1):315-20.
- (57) Gitelson II, Terskov IA, Kovrov BG, Lisovskii GM, Okladnikov Y, Sid'ko FY et al. Long-term experiments on man's stay in biological life-support system. *Adv Space Res* 1989;9(8):65-71.
- (58) Salisbury FB, Dempster WF, Allen JP, Alling A, Bubenheim D, Nelson M et al. Light, plants, and power for life support on Mars. *Life Support Biosph Sci* 2002;8(3-4):161-72.
- (59) Andersen DT, McKay CP, Wharton RA, Jr., Rummel JD. An Antarctic research outpost as a model for planetary exploration. *J Br Interplanet Soc* 1990;43:499-504.
- (60) Fairen AG, Davila AF, Lim D, Bramall N, Bonaccorsi R, Zavaleta J et al. Astrobiology through the ages of Mars: the study of terrestrial analogues to understand the habitability of Mars. *Astrobiology* 2010 October;10(8):821-43.
- (61) Moyer DB. Acclimatization and high altitude medical problems in Antarctica. *US Navy Med* 1976 November;67(11):19-21.
- (62) Nelson M, Allen JP, Dempster WF. Biosphere 2: a prototype project for a permanent and evolving life system for Mars base. *Adv Space Res* 1992;12(5):211-7.
- (63) ESA. *The Future of European Space Exploration. Towards a European Long-Term Strategy. Executive Summary*. Paris: The European Space Agency; 2005.
- (64) NASA. *The Vision for Space Exploration*. Washington D.C.: National Aeronautics and Space Administration; 2004.
- (65) Vago JL, Kminek G. Putting together an exobiology mission: The ExoMars example. In: Horneck G, Rettberg P, editors. *Weinheim: Wiley-VCH*; 2007. p. 321-51.
- (66) Aidainternational - Tiefenrekorde im Apnoetauchen. <http://www.aidainternational.org/competitive/worlds-records>, aufgerufen am 05. Mai 2012.
- (67) Vesilind PJ. *Why explore*. National Geographic; 1998.
- (68) Palinkas LA. Going to extremes: the cultural context of stress, illness and coping in Antarctica. *Soc Sci Med* 1992 September;35(5):651-64.

- (69) Tobler I, Borbely AA. European isolation and confinement study. Twenty-four hour rhythm of rest/activity and sleep/wakefulness: comparison of subjective and objective measures. *Adv Space Biol Med* 1993;3:163-83.
- (70) Maillet A, Gunga HC, Gauquelin G, Fortrat JO, Hope A, Rocker L et al. Effects of 28-day isolation (ESA-ISEMSI'90) on blood pressure and blood volume regulating hormones. *Aviat Space Environ Med* 1993 April;64(4):287-94.
- (71) Gunga HC, Kirsch KA, Rocker L, Maillet A, Gharib C. Body weight and body composition during sixty days of isolation. *Adv Space Biol Med* 1996;5:39-53.
- (72) Maillet A, Gunga HC, Normand S, Allevard AM, Cottet-Emard JM, Pachiaudi C et al. Effects of a 60-day confinement on the blood pressure, hormonal responses and body fluids of a mixed crew. *J Gravit Physiol* 1998 October;5(2):55-64.
- (73) Alling A, Nelson M, Silverstone S, Van TM. Human factor observations of the Biosphere 2, 1991-1993, closed life support human experiment and its application to a long-term manned mission to Mars. *Life Support Biosph Sci* 2002;8(2):71-82.
- (74) Allen JP, Nelson M, Alling A. The legacy of Biosphere 2 for the study of biospherics and closed ecological systems. *Adv Space Res* 2003;31(7):1629-39.
- (75) Gushchin VI, Efimov VA, Smirnova TM, Vinokhodova AG. [Dynamics of subjective perception of in-group interaction during long-term isolation and confinement]. *Aviakosm Ekolog Med* 1997;31(4):23-9.
- (76) Larina IM, Bystritzkaya AF, Smirnova TM. Psycho-physiological monitoring in real and simulated space flight conditions. *J Gravit Physiol* 1997 July;4(2):113-4.
- (77) Wientjes CJ, Veltman JA, Gaillard AW. Cardiovascular and respiratory responses during a complex decision-making task under prolonged isolation. *Adv Space Biol Med* 1996;5:133-55.
- (78) Custaud MA, Belin de CE, Larina IM, Nichiporuk IA, Grigoriev A, Duvareille M et al. Hormonal changes during long-term isolation. *Eur J Appl Physiol* 2004 May;91(5-6):508-15.
- (79) Sandal GM. Culture and tension during an international space station simulation: results from SFINCSS '99. *Aviat Space Environ Med* 2004 July;75(7 Suppl):C44-C51.
- (80) Inoue N, Matsuzaki I, Ohshima H. Group interactions in SFINCSS-99: lessons for improving behavioral support programs. *Aviat Space Environ Med* 2004 July;75(7 Suppl):C28-C35.
- (81) Salisbury FB, Gitelson JI, Lisovsky GM. Bios-3: Siberian experiments in bioregenerative life support. *Bioscience* 1997 October;47(9):575-85.
- (82) Wheeler RM. Bios-3 project in Krasnoyarsk, Russia. *Life Support Biosph Sci* 1994;1(2):83-4.
- (83) Schneider S, Brummer V, Carnahan H, Kleinert J, Piacentini MF, Meeusen R et al. Exercise as a countermeasure to psycho-physiological deconditioning during long-term confinement. *Behav Brain Res* 2010 August 25;211(2):208-14.
- (84) Vigo DE, Ogrinz B, Wan L, Bersenev E, Tuerlinckx F, Van Den Bergh O et al. Sleep-wake differences in heart rate variability during a 105-day simulated mission to Mars. *Aviat Space Environ Med* 2012 February;83(2):125-30.
- (85) Brummer V, Schneider S, Vogt T, Struder H, Carnahan H, Askew CD et al. Coherence between brain cortical function and neurocognitive performance during changed gravity conditions. *J Vis Exp* 2011;(51).
- (86) O'Driscoll DM, Turton AR, Copland JM, Strauss BJ, Hamilton GS. Energy expenditure in obstructive sleep apnea: validation of a multiple physiological sensor for determination of sleep and wake. *Sleep Breath* 2012 February 10.
- (87) BodyMedia I. SenseWear Manual. SW-H, Rev. 1st ed. Pittsburgh, PA, USA: BodyMedia, Inc.; 2007.
- (88) Enss D. Neubau und Betrieb der Winterstation Neumayer III und Rückführung der bestehenden Neumayer-Station II - Umweltverträglichkeitsstudie. <http://www.umweltbundesamt.de/antarktis/archiv/NMIII-UVS> pdf 2005, aufgerufen am 05. Mai 2012.
- (89) Müller MJ, Bösy-Westphal A. Körperzusammensetzung. In: Speckmann E-J, Hescheler J, Köhling R, editors. *Physiologie*. 5. Auflage München: Elsevier GmbH; 2008. p. 586-7.

- (90) McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Body Composition Assessment. Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance. 6th Edition Baltimore/Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007. p. 773-809.
- (91) Heyward VH. Evaluation of body composition. Current issues. Sports Med 1996 September;22(3):146-56.
- (92) Fogelholm M, van Marken LW. Comparison of body composition methods: a literature analysis. Eur J Clin Nutr 1997 August;51(8):495-503.
- (93) Moore FD, Olesen KH, McMurray JD, Parker HV, Ball MR, Boyden CM. The Body Cell Mass and Its Supporting Environment. Philadelphia, PA, USA: Saunders; 1963.
- (94) Forbes GB. Human Body Composition, Growth, Aging, Nutrition, and Activity. New York: Springer-Verlag; 1987.
- (95) Buchholz AC, McGillivray CF, Pencharz PB. Differences in resting metabolic rate between paraplegic and able-bodied subjects are explained by differences in body composition. Am J Clin Nutr 2003 February;77(2):371-8.
- (96) Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gomez JM et al. Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods. Clin Nutr 2004 October;23(5):1226-43.
- (97) Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel GJ et al. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. Clin Nutr 2004 December;23(6):1430-53.
- (98) Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, Wang Z, Krasnow N, Pi-Sunyer FX et al. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. Am J Physiol 1998 August;275(2 Pt 1):E249-E258.
- (99) Wang Z, St-Onge MP, Lecumberri B, Pi-Sunyer FX, Heshka S, Wang J et al. Body cell mass: model development and validation at the cellular level of body composition. Am J Physiol Endocrinol Metab 2004 January;286(1):E123-E128.
- (100) Cohn SH, Vaswani AN, Yasumura S, Yuen K, Ellis KJ. Assessment of cellular mass and lean body mass by noninvasive nuclear techniques. J Lab Clin Med 1985 March;105(3):305-11.
- (101) Kotler DP, Burastero S, Wang J, Pierson RN, Jr. Prediction of body cell mass, fat-free mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: effects of race, sex, and disease. Am J Clin Nutr 1996 September;64(3 Suppl):489S-97S.
- (102) Hermannn L. Über eine Wirking galvanischer Ströme auf Muskeln und Nerven. Pflügers Arch gesamte Physiol 1871;5:223-75.
- (103) Thomasset A. [Bio-electric properties of tissues. Estimation by measurement of impedance of extracellular ionic strength and intracellular ionic strength in the clinic]. Lyon Med 1963 June 2;209:1325-50.
- (104) Jeejeebhoy KN, Detsky AS, Baker JP. Assessment of nutritional status. JPEN J Parenter Enteral Nutr 1990 September;14(5 Suppl):193S-6S.
- (105) Jackson AS, Pollock ML, Graves JE, Mahar MT. Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. J Appl Physiol 1988 February;64(2):529-34.
- (106) Kushner RF. Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. J Am Coll Nutr 1992 April;11(2):199-209.
- (107) Data Input GmbH - Geräte SuSzBIB. Die Messparameter der B.I.A. <http://www.data-input.de>, aufgerufen am 05. Mai 2012.
- (108) Geddes LA, Baker LE. Principles of applied biomedical instrumentation. 3rd edition New York: John Wiley & Sons; 1989.
- (109) Cole KS. Dispersion and absorption in dielectrics. J Chem Phys 1941;9:341-951.
- (110) Schwenk A, Beisenherz A, Romer K, Kremer G, Salzberger B, Elia M. Phase angle from bioelectrical impedance analysis remains an independent predictive marker in HIV-infected patients in the era of highly active antiretroviral treatment. Am J Clin Nutr 2000 August;72(2):496-501.

- (111) Toso S, Piccoli A, Gusella M, Menon D, Bononi A, Crepaldi G et al. Altered tissue electric properties in lung cancer patients as detected by bioelectric impedance vector analysis. *Nutrition* 2000 February;16(2):120-4.
- (112) Desport JC, Marin B, Funalot B, Preux PM, Couratier P. Phase angle is a prognostic factor for survival in amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler* 2008 October;9(5):273-8.
- (113) Gudivaka R, Schoeller DA, Kushner RF, Bolt MJ. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J Appl Physiol* 1999 September;87(3):1087-96.
- (114) Sun G, French CR, Martin GR, Younghusband B, Green RC, Xie YG et al. Comparison of multifrequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of percentage body fat in a large, healthy population. *Am J Clin Nutr* 2005 January;81(1):74-8.
- (115) Sun SS, Chumlea WC, Heymsfield SB, Lukaski HC, Schoeller D, Friedl K et al. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr* 2003 February;77(2):331-40.
- (116) McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Human Energy Expenditure During Rest and Physical Activity. Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. 6th Edition Baltimore/Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007. p. 195-208.
- (117) Müller MJ, Bösy-Westphal A. Energieverbrauch. In: Speckmann E-J, Hescheler J, Köhling R, editors. *Physiologie*. 5. Auflage München: Elsevier GmbH; 2008. p. 587-93.
- (118) Illner K, Brinkmann G, Heller M, Bösy-Westphal A, Müller MJ. Metabolically active components of fat free mass and resting energy expenditure in nonobese adults. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000 February;278(2):E308-E315.
- (119) Nelson KM, Weinsier RL, Long CL, Schutz Y. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *Am J Clin Nutr* 1992 November;56(5):848-56.
- (120) Wang Z, Heshka S, Gallagher D, Boozer CN, Kotler DP, Heymsfield SB. Resting energy expenditure-fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000 September;279(3):E539-E545.
- (121) Elia M. Organ and tissue contribution to metabolic rate. In: Kinney JM, Tucker HN, editors. *Energy Metabolism: Tissue Determinants and Cellular Corollaries*. New York: Raven; 1992. p. 61-80.
- (122) Müller MJ, Bösy-Westphal A, Kutzner D, Heller M. Metabolically active components of fat free mass (FFM) and resting energy expenditure (REE) in humans. *Forum Nutr* 2003;56:301-3.
- (123) McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Functional Capacity of the Cardiovascular System. Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. 6th Edition Baltimore/Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007. p. 356-7.
- (124) McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Special Aids to Exercise Training and Performance. Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. 6th Edition Baltimore/Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007. p. 590-1.
- (125) Richardson RS, Knight DR, Poole DC, Kurdak SS, Hogan MC, Grassi B et al. Determinants of maximal exercise VO₂ during single leg knee-extensor exercise in humans. *Am J Physiol* 1995 April;268(4 Pt 2):H1453-H1461.
- (126) McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Energy Transfer in Exercise. Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. 6th Edition Baltimore/Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007. p. 176-7.
- (127) Gunga H-C. Wärmehaushalt und Thermoregulation. In: Speckmann E-J, Hescheler J, Köhling R, editors. *Physiologie*. 5. Auflage München: Elsevier GmbH; 2008. p. 615-41.
- (128) McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Measurement of Human Energy Expenditure. Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. 6th Edition Baltimore/Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007. p. 183-94.
- (129) Zuntz N. Über die Bedeutung der verschiedenen Nährstoffe als Erzeuger der Muskelkraft. *Pflügers Arch Physiol* 1901;1901(83):557-71.

- (130) Steinach M. Zirkadiane Rhythmik. In: Krause R, Stange R, editors. Lichttherapie. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag; 2012. p. 56-67.
- (131) Maurer JT, Weeß H-G, Schredl M. Physiologische Grundlagen des normalen und gestörten Schlafes. In: Stuck BA, Maurer JT, Schredl M, Weeß H-G, editors. Praxis der Schlafmedizin. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2009. p. 1-21.
- (132) Ahima RS, Flier JS. Leptin. *Annu Rev Physiol* 2000;62:413-37.
- (133) Stephens TW, Basinski M, Bristow PK, Bue-Valleskey JM, Burgett SG, Craft L et al. The role of neuropeptide Y in the antiobesity action of the obese gene product. *Nature* 1995 October 12;377(6549):530-2.
- (134) Beersma D. Models of Human Sleep Regulation. *Sleep Med Rev* 1998;2(1):31-43.
- (135) Welk GJ, Schaben JA, Morrow JR, Jr. Reliability of accelerometry-based activity monitors: a generalizability study. *Med Sci Sports Exerc* 2004 September;36(9):1637-45.
- (136) Taraldsen K, Chastin SF, Riphagen II, Vereijken B, Helbostad JL. Physical activity monitoring by use of accelerometer-based body-worn sensors in older adults: a systematic literature review of current knowledge and applications. *Maturitas* 2012 January;71(1):13-9.
- (137) Jin GH, Lee SB, Lee TS. Context awareness of human motion states using accelerometer. *J Med Syst* 2008 April;32(2):93-100.
- (138) Hart TL, McClain JJ, Tudor-Locke C. Controlled and free-living evaluation of objective measures of sedentary and active behaviors. *J Phys Act Health* 2011 August;8(6):848-57.
- (139) Hiremath SV, Ding D. Evaluation of activity monitors in manual wheelchair users with paraplegia. *J Spinal Cord Med* 2011;34(1):110-7.
- (140) Cupisti A, Capitanini A, Betti G, D'Alessandro C, Barsotti G. Assessment of habitual physical activity and energy expenditure in dialysis patients and relationships to nutritional parameters. *Clin Nephrol* 2011 March;75(3):218-25.
- (141) Rawson ES, Walsh TM. Estimation of resistance exercise energy expenditure using accelerometry. *Med Sci Sports Exerc* 2010 March;42(3):622-8.
- (142) Moran DS, Heled Y, Gonzalez RR. Metabolic rate monitoring and energy expenditure prediction using a novel actigraphy method. *Med Sci Monit* 2004 November;10(11):MT117-MT120.
- (143) Lyden K, Kozey SL, Staudenmeyer JW, Freedson PS. A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations. *Eur J Appl Physiol* 2011 February;111(2):187-201.
- (144) Welk GJ. Principles of design and analyses for the calibration of accelerometry-based activity monitors. *Med Sci Sports Exerc* 2005 November;37(11 Suppl):S501-S511.
- (145) Weeß H-G. Diagnostische Methoden. In: Stuck BA, Maurer JT, Schredl M, Weeß H-G, editors. Praxis der Schlafmedizin. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2009. p. 23-78.
- (146) Morgenthaler T, Alessi C, Friedman L, Owens J, Kapur V, Boehlecke B et al. Practice parameters for the use of actigraphy in the assessment of sleep and sleep disorders: an update for 2007. *Sleep* 2007 April;30(4):519-29.
- (147) Conradt R, Brandenburg U, Ploch T, Peter JH. [Actigraphy: methodological limits for evaluation of sleep stages and sleep structure of healthy probands]. *Pneumologie* 1997 August;51 Suppl 3:721-4.
- (148) Sadeh A, Alster J, Urbach D, Lavie P. Actigraphically based automatic bedtime sleep-wake scoring: Validity and clinical applications. *J Ambula* 1987;2:209-16.
- (149) Chae KY, Kripke DF, Poceta JS, Shadan F, Jamil SM, Cronin JW et al. Evaluation of immobility time for sleep latency in actigraphy. *Sleep Med* 2009 June;10(6):621-5.
- (150) Jones V, Bults R, de WR, Widya I, Batista R, Hermens H. Experience with Using the Sensewear BMS Sensor System in the Context of a Health and Wellbeing Application. *Int J Telemed Appl* 2011;2011:671040.
- (151) Lehmann B, Grant WB, Worm N. Physiologie von Vitamin D und Epidemiologie des Mangels. In: Reichrath J, Lehmann B, Spitz J, editors. Vitamin D Update 2012. München-Deisenhofen: Dustri-Verlag; 2012. p. 1-32.

- (152) CIE. Technical report action spectrum for the production of previtamin D3 in human skin. *CIE* 2006;174:1-12.
- (153) Orlova TN, Terenetskaya IP. Possible use of provitamin D3 photoisomerization for spectral dosimetry of bioactive antirachitic UV radiation. *J Appl Spectrosc* 2009;76:240-4.
- (154) Rowling MJ, Kemmis CM, Taffany DA, Welsh J. Megalin-mediated endocytosis of vitamin D binding protein correlates with 25-hydroxycholecalciferol actions in human mammary cells. *J Nutr* 2006 November;136(11):2754-9.
- (155) Bikle DD, Gee E. Free, and not total, 1,25-dihydroxyvitamin D regulates 25-hydroxyvitamin D metabolism by keratinocytes. *Endocrinology* 1989 February;124(2):649-54.
- (156) van Leeuwen JP, van DM, van den Bemd GJ, Pols HA. Vitamin D control of osteoblast function and bone extracellular matrix mineralization. *Crit Rev Eukaryot Gene Expr* 2001;11(1-3):199-226.
- (157) Wolff AE, Jones AN, Hansen KE. Vitamin D and musculoskeletal health. *Nat Clin Pract Rheumatol* 2008 November;4(11):580-8.
- (158) van EE, Mathieu C. Immunoregulation by 1,25-dihydroxyvitamin D3: basic concepts. *J Steroid Biochem Mol Biol* 2005 October;97(1-2):93-101.
- (159) Holick MF. Biologic effects of light: historical and new perspectives. In: Holick MF, Jung EG, editors. *Biologic effects of light 1998, Proceedings of a Symposium, Basel Switzerland, November 1-3, 1998*. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers; 1999. p. 10-32.
- (160) Porojnicu AC, Robsahm TE, Dahlback A, Berg JP, Christiani D, Bruland OS et al. Seasonal and geographical variations in lung cancer prognosis in Norway. Does Vitamin D from the sun play a role? *Lung Cancer* 2007 March;55(3):263-70.
- (161) Hintzpetter B, Mensink GB, Thierfelder W, Muller MJ, Scheidt-Nave C. Vitamin D status and health correlates among German adults. *Eur J Clin Nutr* 2008 September;62(9):1079-89.
- (162) Heaney RP, Holick MF. Why the IOM recommendations for vitamin D are deficient. *J Bone Miner Res* 2011 March;26(3):455-7.
- (163) Brustad M, Sandanger T, Wilsgaard T, Aksnes L, Lund E. Change in plasma levels of vitamin D after consumption of cod-liver and fresh cod-liver oil as part of the traditional north Norwegian fish dish "Molje". *Int J Circumpolar Health* 2003 March;62(1):40-53.
- (164) Biesalski HK. Vitamin D recommendations: beyond deficiency. *Ann Nutr Metab* 2011;59(1):10-6.
- (165) Reichrath J. The challenge resulting from positive and negative effects of sunlight: how much solar UV exposure is appropriate to balance between risks of vitamin D deficiency and skin cancer? *Prog Biophys Mol Biol* 2006 September;92(1):9-16.
- (166) Holick MF. Vitamin D deficiency. *N Engl J Med* 2007 July 19;357(3):266-81.
- (167) Shupnik MA, Ridgway EC, Chin WW. Molecular biology of thyrotropin. *Endocr Rev* 1989 November;10(4):459-75.
- (168) Miell JP, Taylor AM, Zini M, Maheshwari HG, Ross RJ, Valcavi R. Effects of hypothyroidism and hyperthyroidism on insulin-like growth factors (IGFs) and growth hormone- and IGF-binding proteins. *J Clin Endocrinol Metab* 1993 April;76(4):950-5.
- (169) Svanberg E, Healey J, Mascarenhas D. Anabolic effects of rhIGF-I/IGFBP-3 in vivo are influenced by thyroid status. *Eur J Clin Invest* 2001 April;31(4):329-36.
- (170) Di L, I. Thyroid hormones and the central nervous system of mammals (Review). *Mol Med Report* 2008 May;1(3):279-95.
- (171) Bernal J, Nunez J. Thyroid hormones and brain development. *Eur J Endocrinol* 1995 October;133(4):390-8.
- (172) Bernal J. Action of thyroid hormone in brain. *J Endocrinol Invest* 2002 March;25(3):268-88.
- (173) Kohrle J. Local activation and inactivation of thyroid hormones: the deiodinase family. *Mol Cell Endocrinol* 1999 May 25;151(1-2):103-19.

- (174) Robbins J, Lakshmanan M. The movement of thyroid hormones in the central nervous system. *Acta Med Austriaca* 1992;19 Suppl 1:21-5.
- (175) Santini F, Pinchera A, Ceccarini G, Castagna M, Rosellini V, Mammoli C et al. Evidence for a role of the type III-iodothyronine deiodinase in the regulation of 3,5,3'-triiodothyronine content in the human central nervous system. *Eur J Endocrinol* 2001 June;144(6):577-83.
- (176) Chu C, Li JY, Boado RJ, Pardridge WM. Blood-brain barrier genomics and cloning of a novel organic anion transporter. *J Cereb Blood Flow Metab* 2008 February;28(2):291-301.
- (177) Friesema EC, Grueters A, Biebermann H, Krude H, von MA, Reeser M et al. Association between mutations in a thyroid hormone transporter and severe X-linked psychomotor retardation. *Lancet* 2004 October 16;364(9443):1435-7.
- (178) van Marken Lichtenbelt WD, Vanhommerig JW, Smulders NM, Drossaerts JM, Kemerink GJ, Bouvy ND et al. Cold-activated brown adipose tissue in healthy men. *N Engl J Med* 2009 April 9;360(15):1500-8.
- (179) Virtanen KA, Lidell ME, Orava J, Heglind M, Westergren R, Niemi T et al. Functional brown adipose tissue in healthy adults. *N Engl J Med* 2009 April 9;360(15):1518-25.
- (180) Spencer CA, Takeuchi M, Kazarosyan M. Current status and performance goals for serum thyroglobulin assays. *Clin Chem* 1996 January;42(1):164-73.
- (181) Silva JE, Larsen PR. Adrenergic activation of triiodothyronine production in brown adipose tissue. *Nature* 1983 October 20;305(5936):712-3.
- (182) Laurberg P, Andersen S, Karmisholt J. Cold adaptation and thyroid hormone metabolism. *Horm Metab Res* 2005 September;37(9):545-9.
- (183) Bianco AC, Salvatore D, Gereben B, Berry MJ, Larsen PR. Biochemistry, cellular and molecular biology, and physiological roles of the iodothyronine selenodeiodinases. *Endocr Rev* 2002 February;23(1):38-89.
- (184) Silva JE, Larsen PR. Potential of brown adipose tissue type II thyroxine 5'-deiodinase as a local and systemic source of triiodothyronine in rats. *J Clin Invest* 1985 December;76(6):2296-305.
- (185) de Jesus LA, Carvalho SD, Ribeiro MO, Schneider M, Kim SW, Harney JW et al. The type 2 iodothyronine deiodinase is essential for adaptive thermogenesis in brown adipose tissue. *J Clin Invest* 2001 November;108(9):1379-85.
- (186) Murakami M, Kamiya Y, Morimura T, Araki O, Imamura M, Ogiwara T et al. Thyrotropin receptors in brown adipose tissue: thyrotropin stimulates type II iodothyronine deiodinase and uncoupling protein-1 in brown adipocytes. *Endocrinology* 2001 March;142(3):1195-201.
- (187) Reidy SP, Weber J. Leptin: an essential regulator of lipid metabolism. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 2000 March;125(3):285-98.
- (188) Ahima RS, Flier JS. Adipose tissue as an endocrine organ. *Trends Endocrinol Metab* 2000 October;11(8):327-32.
- (189) Hamilton BS, Paglia D, Kwan AY, Deitel M. Increased obese mRNA expression in omental fat cells from massively obese humans. *Nat Med* 1995 September;1(9):953-6.
- (190) Klein S, Coppack SW, Mohamed-Ali V, Landt M. Adipose tissue leptin production and plasma leptin kinetics in humans. *Diabetes* 1996 July;45(7):984-7.
- (191) Ahima RS, Prabakaran D, Mantzoros C, Qu D, Lowell B, Maratos-Flier E et al. Role of leptin in the neuroendocrine response to fasting. *Nature* 1996 July 18;382(6588):250-2.
- (192) Levin N, Nelson C, Gurney A, Vandlen R, de SF. Decreased food intake does not completely account for adiposity reduction after ob protein infusion. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1996 February 20;93(4):1726-30.
- (193) Doring H, Schwarzer K, Nuesslein-Hildesheim B, Schmidt I. Leptin selectively increases energy expenditure of food-restricted lean mice. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998 February;22(2):83-8.
- (194) Geiser F, Kortner G, Schmidt I. Leptin increases energy expenditure of a marsupial by inhibition of daily torpor. *Am J Physiol* 1998 November;275(5 Pt 2):R1627-R1632.

- (195) Mantzoros CS, Ozata M, Negro AB, Suchard MA, Ziotopoulou M, Caglayan S et al. Synchronicity of frequently sampled thyrotropin (TSH) and leptin concentrations in healthy adults and leptin-deficient subjects: evidence for possible partial TSH regulation by leptin in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 2001 July;86(7):3284-91.
- (196) Hwa JJ, Fawzi AB, Graziano MP, Ghibaudi L, Williams P, Van HM et al. Leptin increases energy expenditure and selectively promotes fat metabolism in ob/ob mice. *Am J Physiol* 1997 April;272(4 Pt 2):R1204-R1209.
- (197) Wang MY, Lee Y, Unger RH. Novel form of lipolysis induced by leptin. *J Biol Chem* 1999 June 18;274(25):17541-4.
- (198) Sarmiento U, Benson B, Kaufman S, Ross L, Qi M, Scully S et al. Morphologic and molecular changes induced by recombinant human leptin in the white and brown adipose tissues of C57BL/6 mice. *Lab Invest* 1997 September;77(3):243-56.
- (199) Scarpace PJ, Matheny M. Leptin induction of UCP1 gene expression is dependent on sympathetic innervation. *Am J Physiol* 1998 August;275(2 Pt 1):E259-E264.
- (200) Collins S, Kuhn CM, Petro AE, Swick AG, Chrnyk BA, Surwit RS. Role of leptin in fat regulation. *Nature* 1996 April 25;380(6576):677.
- (201) Qian H, Azain MJ, Compton MM, Hartzell DL, Hausman GJ, Baile CA. Brain administration of leptin causes deletion of adipocytes by apoptosis. *Endocrinology* 1998 February;139(2):791-4.
- (202) Muller G, Ertl J, Gerl M, Preibisch G. Leptin impairs metabolic actions of insulin in isolated rat adipocytes. *J Biol Chem* 1997 April 18;272(16):10585-93.
- (203) Zhang Y, Olbort M, Schwarzer K, Nuesslein-Hildesheim B, Nicolson M, Murphy E et al. The leptin receptor mediates apparent autocrine regulation of leptin gene expression. *Biochem Biophys Res Commun* 1997 November 17;240(2):492-5.
- (204) Licinio J, Negro AB, Mantzoros C, Kaklamani V, Wong ML, Bongiorno PB et al. Synchronicity of frequently sampled, 24-h concentrations of circulating leptin, luteinizing hormone, and estradiol in healthy women. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1998 March 3;95(5):2541-6.
- (205) Klingenspor M, Dickopp A, Heldmaier G, Klaus S. Short photoperiod reduces leptin gene expression in white and brown adipose tissue of Djungarian hamsters. *FEBS Lett* 1996 December 16;399(3):290-4.
- (206) Roots C. Hibernation. Westport: Greenwood Press; 2006.
- (207) Tups A. Physiological models of leptin resistance. *J Neuroendocrinol* 2009 November;21(11):961-71.
- (208) Nakano Y, Tobe T, Choi-Miura NH, Mazda T, Tomita M. Isolation and characterization of GBP28, a novel gelatin-binding protein purified from human plasma. *J Biochem* 1996 October;120(4):803-12.
- (209) Arita Y, Kihara S, Ouchi N, Takahashi M, Maeda K, Miyagawa J et al. Paradoxical decrease of an adipose-specific protein, adiponectin, in obesity. *Biochem Biophys Res Commun* 1999 April 2;257(1):79-83.
- (210) Havel PJ. Update on adipocyte hormones: regulation of energy balance and carbohydrate/lipid metabolism. *Diabetes* 2004 February;53 Suppl 1:S143-S151.
- (211) Yokota T, Oritani K, Takahashi I, Ishikawa J, Matsuyama A, Ouchi N et al. Adiponectin, a new member of the family of soluble defense collagens, negatively regulates the growth of myelomonocytic progenitors and the functions of macrophages. *Blood* 2000 September 1;96(5):1723-32.
- (212) Ouchi N, Kihara S, Arita Y, Maeda K, Kuriyama H, Okamoto Y et al. Novel modulator for endothelial adhesion molecules: adipocyte-derived plasma protein adiponectin. *Circulation* 1999 December 21;100(25):2473-6.
- (213) Guerre-Millo M. Adiponectin: an update. *Diabetes Metab* 2008 February;34(1):12-8.
- (214) Berg AH, Scherer PE. Adipose tissue, inflammation, and cardiovascular disease. *Circ Res* 2005 May 13;96(9):939-49.
- (215) Bruun JM, Lihn AS, Verdich C, Pedersen SB, Toubro S, Astrup A et al. Regulation of adiponectin by adipose tissue-derived cytokines: in vivo and in vitro investigations in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003 September;285(3):E527-E533.

- (216) Hotta K, Funahashi T, Arita Y, Takahashi M, Matsuda M, Okamoto Y et al. Plasma concentrations of a novel, adipose-specific protein, adiponectin, in type 2 diabetic patients. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2000 June;20(6):1595-9.
- (217) Cnop M, Havel PJ, Utzschneider KM, Carr DB, Sinha MK, Boyko EJ et al. Relationship of adiponectin to body fat distribution, insulin sensitivity and plasma lipoproteins: evidence for independent roles of age and sex. *Diabetologia* 2003 April;46(4):459-69.
- (218) Salmenniemi U, Ruotsalainen E, Vanttinen M, Vauhkonen I, Pihlajamaki J, Kainulainen S et al. High amount of visceral fat mass is associated with multiple metabolic changes in offspring of type 2 diabetic patients. *Int J Obes (Lond)* 2005 December;29(12):1464-70.
- (219) Forsythe LK, Wallace JM, Livingstone MB. Obesity and inflammation: the effects of weight loss. *Nutr Res Rev* 2008 December;21(2):117-33.
- (220) Nawrocki AR, Rajala MW, Tomas E, Pajvani UB, Saha AK, Trumbauer ME et al. Mice lacking adiponectin show decreased hepatic insulin sensitivity and reduced responsiveness to peroxisome proliferator-activated receptor gamma agonists. *J Biol Chem* 2006 February 3;281(5):2654-60.
- (221) Banks EA, Brozinick JT, Jr., Yaspelkis BB, III, Kang HY, Ivy JL. Muscle glucose transport, GLUT-4 content, and degree of exercise training in obese Zucker rats. *Am J Physiol* 1992 November;263(5 Pt 1):E1010-E1015.
- (222) Kahn BB, Alquier T, Carling D, Hardie DG. AMP-activated protein kinase: ancient energy gauge provides clues to modern understanding of metabolism. *Cell Metab* 2005 January;1(1):15-25.
- (223) Vu V, Riddell MC, Sweeney G. Circulating adiponectin and adiponectin receptor expression in skeletal muscle: effects of exercise. *Diabetes Metab Res Rev* 2007 November;23(8):600-11.
- (224) Steinberg GR, Jorgensen SB. The AMP-activated protein kinase: role in regulation of skeletal muscle metabolism and insulin sensitivity. *Mini Rev Med Chem* 2007 May;7(5):519-26.
- (225) Li L, Pan R, Li R, Niemann B, Aurich AC, Chen Y et al. Mitochondrial biogenesis and peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1alpha (PGC-1alpha) deacetylation by physical activity: intact adipocytokine signaling is required. *Diabetes* 2011 January;60(1):157-67.
- (226) Kopp HP, Krzyzanowska K, Mohlig M, Spranger J, Pfeiffer AF, Schernthaner G. Effects of marked weight loss on plasma levels of adiponectin, markers of chronic subclinical inflammation and insulin resistance in morbidly obese women. *Int J Obes (Lond)* 2005 July;29(7):766-71.
- (227) Bobbert T, Rochlitz H, Wegewitz U, Akpulat S, Mai K, Weickert MO et al. Changes of adiponectin oligomer composition by moderate weight reduction. *Diabetes* 2005 September;54(9):2712-9.
- (228) Corcoran MP, Lamon-Fava S, Fielding RA. Skeletal muscle lipid deposition and insulin resistance: effect of dietary fatty acids and exercise. *Am J Clin Nutr* 2007 March;85(3):662-77.
- (229) Hickey MS, Houmard JA, Considine RV, Tyndall GL, Midgette JB, Gavigan KE et al. Gender-dependent effects of exercise training on serum leptin levels in humans. *Am J Physiol* 1997 April;272(4 Pt 1):E562-E566.
- (230) Shima K, Zhu M, Noma Y, Mizuno A, Murakami T, Sano T et al. Exercise training in Otsuka Long-Evans Tokushima Fatty rat, a model of spontaneous non-insulin-dependent diabetes mellitus: effects on the B-cell mass, insulin content and fibrosis in the pancreas. *Diabetes Res Clin Pract* 1997 February;35(1):11-9.
- (231) Weyer C, Funahashi T, Tanaka S, Hotta K, Matsuzawa Y, Pratley RE et al. Hypoadiponectinemia in obesity and type 2 diabetes: close association with insulin resistance and hyperinsulinemia. *J Clin Endocrinol Metab* 2001 May;86(5):1930-5.
- (232) Taniguchi A, Fukushima M, Ohya M, Nakai Y, Yoshii S, Nagasaka S et al. Interleukin 6, adiponectin, leptin, and insulin resistance in nonobese Japanese type 2 diabetic patients. *Metabolism* 2006 February;55(2):258-62.
- (233) Zietz B, Herfarth H, Paul G, Ehling A, Muller-Ladner U, Scholmerich J et al. Adiponectin represents an independent cardiovascular risk factor predicting serum HDL-cholesterol levels in type 2 diabetes. *FEBS Lett* 2003 June 19;545(2-3):103-4.
- (234) Snehalatha C, Mukesh B, Simon M, Viswanathan V, Haffner SM, Ramachandran A. Plasma adiponectin is an independent predictor of type 2 diabetes in Asian Indians. *Diabetes Care* 2003 December;26(12):3226-9.

- (235) Jelkmann W. Erythropoietin: structure, control of production, and function. *Physiol Rev* 1992 April;72(2):449-89.
- (236) Jelkmann W, Hellwig-Burgel T. Biology of erythropoietin. *Adv Exp Med Biol* 2001;502:169-87.
- (237) Ratcliffe PJ, Eckardt K-U, Bauer C. Hypoxia, erythropoietin gene expression, and erythropoiesis. In: Fregly MJ, Blatteis CM, editors. *Handbook of Physiology*. Oxford University Press; 1996. p. 1125-53.
- (238) Ivan M, Kondo K, Yang H, Kim W, Valiando J, Ohh M et al. HIF α targeted for VHL-mediated destruction by proline hydroxylation: implications for O₂ sensing. *Science* 2001 April 20;292(5516):464-8.
- (239) Jaakkola P, Mole DR, Tian YM, Wilson MI, Gielbert J, Gaskell SJ et al. Targeting of HIF- α to the von Hippel-Lindau ubiquitylation complex by O₂-regulated prolyl hydroxylation. *Science* 2001 April 20;292(5516):468-72.
- (240) Wenger RH. Cellular adaptation to hypoxia: O₂-sensing protein hydroxylases, hypoxia-inducible transcription factors, and O₂-regulated gene expression. *FASEB J* 2002 August;16(10):1151-62.
- (241) Hochachka PW, Gunga HC, Kirsch K. Our ancestral physiological phenotype: an adaptation for hypoxia tolerance and for endurance performance? *Proc Natl Acad Sci U S A* 1998 February 17;95(4):1915-20.
- (242) Gunga HC, Kirsch KA, Roecker L, Kohlberg E, Tiedemann J, Steinach M et al. Erythropoietin regulations in humans under different environmental and experimental conditions. *Respir Physiol Neurobiol* 2007 September 30;158(2-3):287-97.
- (243) Stringer WW, Hansen JE, Wasserman K. Cardiac output estimated noninvasively from oxygen uptake during exercise. *J Appl Physiol* 1997 March;82(3):908-12.
- (244) Levine BD. VO₂max: what do we know, and what do we still need to know? *J Physiol* 2008 January 1;586(1):25-34.
- (245) Schmidt W. Die Bedeutung des Blutvolumens für den Ausdauersportler. *Dtsch Z Sportmed* 1999;50:341-9.
- (246) Schwandt HJ, Heyduck B, Gunga HC, Rocker L. Influence of prolonged physical exercise on the erythropoietin concentration in blood. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;63(6):463-6.
- (247) Roecker L, Kowoll R, Fraszl W, Battal K, Brechtel L, Brachmann S et al. Observation of serum erythropoietin concentrations in female athletes for up to eight days after a marathon run. *Clin Lab* 2006;52(9-10):511-3.
- (248) Gunga HC, Fries D, Humpeler E, Kirsch K, Boldt LE, Koralewski E et al. Austrian Moderate Altitude Study (AMAS 2000) - fluid shifts, erythropoiesis, and angiogenesis in patients with metabolic syndrome at moderate altitude (congruent with 1700 m). *Eur J Appl Physiol* 2003 February;88(6):497-505.
- (249) Savourey G, Launay JC, Besnard Y, Guinet A, Bourrilhon C, Cabane D et al. Control of erythropoiesis after high altitude acclimatization. *Eur J Appl Physiol* 2004 October;93(1-2):47-56.
- (250) Lang KS, Lang PA, Bauer C, Duranton C, Wieder T, Huber SM et al. Mechanisms of suicidal erythrocyte death. *Cell Physiol Biochem* 2005;15(5):195-202.
- (251) Brines M, Cerami A. Emerging biological roles for erythropoietin in the nervous system. *Nat Rev Neurosci* 2005 June;6(6):484-94.
- (252) De Santo NG, Cirillo M, Kirsch KA, Correale G, Drummer C, Fraszl W et al. Anemia and erythropoietin in space flights. *Semin Nephrol* 2005 November;25(6):379-87.
- (253) Arosio P, Levi S. Ferritin, iron homeostasis, and oxidative damage. *Free Radic Biol Med* 2002 August 15;33(4):457-63.
- (254) Addison GM, Beamish MR, Hales CN, Hodgkins M, Jacobs A, Llewellyn P. An immunoradiometric assay for ferritin in the serum of normal subjects and patients with iron deficiency and iron overload. *J Clin Pathol* 1972 April;25(4):326-9.
- (255) Wang W, Knovich MA, Coffman LG, Torti FM, Torti SV. Serum ferritin: Past, present and future. *Biochim Biophys Acta* 2010 August;1800(8):760-9.
- (256) Ghosh S, Hevi S, Chuck SL. Regulated secretion of glycosylated human ferritin from hepatocytes. *Blood* 2004 March 15;103(6):2369-76.

- (257) Arosio P, Yokota M, Drysdale JW. Characterization of serum ferritin in iron overload: possible identity to natural apoferritin. *Br J Haematol* 1977 June;36(2):199-207.
- (258) Leimberg MJ, Prus E, Konijn AM, Fibach E. Macrophages function as a ferritin iron source for cultured human erythroid precursors. *J Cell Biochem* 2008 March 1;103(4):1211-8.
- (259) Han J, Day JR, Connor JR, Beard JL. Gene expression of transferrin and transferrin receptor in brains of control vs. iron-deficient rats. *Nutr Neurosci* 2003 February;6(1):1-10.
- (260) Ruddell RG, Hoang-Le D, Barwood JM, Rutherford PS, Piva TJ, Watters DJ et al. Ferritin functions as a proinflammatory cytokine via iron-independent protein kinase C zeta/nuclear factor kappaB-regulated signaling in rat hepatic stellate cells. *Hepatology* 2009 March;49(3):887-900.
- (261) Hazard JT, Drysdale JW. Ferritinaemia in cancer. *Nature* 1977 February 24;265(5596):755-6.
- (262) Zandman-Goddard G, Shoenfeld Y. Ferritin in autoimmune diseases. *Autoimmun Rev* 2007 August;6(7):457-63.
- (263) Ganz T, Nemeth E. Iron sequestration and anemia of inflammation. *Semin Hematol* 2009 October;46(4):387-93.
- (264) Weinberg ED, Miklossy J. Iron withholding: a defense against disease. *J Alzheimers Dis* 2008 May;13(4):451-63.
- (265) Kabat GC, Rohan TE. Does excess iron play a role in breast carcinogenesis? An unresolved hypothesis. *Cancer Causes Control* 2007 December;18(10):1047-53.
- (266) Baker E, Morgan EH. Iron transport. In: McClelland A, Kuhn LC, Ruddle FH, editors. *Iron metabolism in health and disease*. London: WB Saunders; 1994. p. 63-96.
- (267) Flowers CH, Skikne BS, Covell AM, Cook JD. The clinical measurement of serum transferrin receptor. *J Lab Clin Med* 1989 October;114(4):368-77.
- (268) Mullner EW, Kuhn LC. A stem-loop in the 3' untranslated region mediates iron-dependent regulation of transferrin receptor mRNA stability in the cytoplasm. *Cell* 1988 June 3;53(5):815-25.
- (269) Huebers HA, Beguin Y, Pootrakul P, Einspahr D, Finch CA. Intact transferrin receptors in human plasma and their relation to erythropoiesis. *Blood* 1990 January 1;75(1):102-7.
- (270) Cook JD, Skikne BS, Baynes RD. Serum transferrin receptor. *Annu Rev Med* 1993;44:63-74.
- (271) Skikne BS, Flowers CH, Cook JD. Serum transferrin receptor: a quantitative measure of tissue iron deficiency. *Blood* 1990 May 1;75(9):1870-6.
- (272) Skikne BS. Serum transferrin receptor. *Am J Hematol* 2008 November;83(11):872-5.
- (273) Neckers LM, Cossman J. Transferrin receptor induction in mitogen-stimulated human T lymphocytes is required for DNA synthesis and cell division and is regulated by interleukin 2. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1983 June;80(11):3494-8.
- (274) Iber C, Ancoli-Israel S, Chesson A, Quan S. *The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications*. 1st edition Westchester: American Academy of Sleep Medicine; 2007.
- (275) Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull* 1979 March;86(2):420-8.
- (276) Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986 February 8;1(8476):307-10.
- (277) Cronbach LJ. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* 1951;(16):297-334.
- (278) Grigoriev AI, Egorov AD. General mechanisms of the effect of weightlessness on the human body. *Adv Space Biol Med* 1992;2:1-42.
- (279) Maillet A, Normand S, Gunga HC, Allevard AM, Cottet-Emard JM, Kihm E et al. Hormonal, water balance, and electrolyte changes during sixty-day confinement. *Adv Space Biol Med* 1996;5:55-78.

- (280) Chouker A, Smith L, Christ F, Larina I, Nichiporuk I, Baranov V et al. Effects of confinement (110 and 240 days) on neuroendocrine stress response and changes of immune cells in men. *J Appl Physiol* 2002 April;92(4):1619-27.
- (281) Gunga HC, Mailliet A, Kirsch K, Rocker L, Gharib C, Vaernes R. European isolation and confinement study. Water and salt turnover. *Adv Space Biol Med* 1993;3:185-200.
- (282) Edholm OG, Goldsmith R. Food intakes and weight changes in climatic extremes. *Proc Nutr Soc* 1966;25(2):113-9.
- (283) Brotherhood JR, Budd GM, Regnard J, Hendrie AL, Jeffery SE, Lincoln GJ. The physical characteristics of the members during the International Biomedical Expedition to the Antarctic. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1986;55(5):517-23.
- (284) Parker RH. Physiological adaptations and activity recorded at a polar base. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1985;54(4):363-70.
- (285) Vats P, Singh SN, Singh VK, Shyam R, Upadhyay TN, Singh SB et al. Appetite regulatory peptides in Indian Antarctic expeditioners. *Nutr Neurosci* 2005 August;8(4):233-8.
- (286) Belkin V, Karasik D. Anthropometric characteristics of men in Antarctica. *Int J Circumpolar Health* 1999 July;58(3):152-69.
- (287) Foster KR, Lukaski HC. Whole-body impedance - what does it measure? *Am J Clin Nutr* 1996 September;64(3 Suppl):388S-96S.
- (288) Pirlich M, Schutz T, Spachos T, Ertl S, Weiss ML, Lochs H et al. Bioelectrical impedance analysis is a useful bedside technique to assess malnutrition in cirrhotic patients with and without ascites. *Hepatology* 2000 December;32(6):1208-15.
- (289) Piers LS, Soares MJ, Frandsen SL, O'Dea K. Indirect estimates of body composition are useful for groups but unreliable in individuals. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000 September;24(9):1145-52.
- (290) Palinkas LA. Psychosocial effects of adjustment in Antarctica: lessons for long-duration spaceflight. *J Spacecr Rockets* 1990 September;27(5):471-7.
- (291) Seymour GE. The concurrent validity of unobtrusive measures of conflict in small isolated groups. *J Clin Psychol* 1971 October;27(4):431-5.
- (292) Palinkas LA, Houseal M, Miller C. Sleep and mood during a winter in Antarctica. *Int J Circumpolar Health* 2000 January;59(1):63-73.
- (293) Bhattacharyya M, Pal MS, Sharma YK, Majumdar D. Changes in sleep patterns during prolonged stays in Antarctica. *Int J Biometeorol* 2008 November;52(8):869-79.
- (294) Buguet A, Rivolier J, Jouvet M. Human sleep patterns in Antarctica. *Sleep* 1987 August;10(4):374-82.
- (295) Plasqui G, Westerterp KR. Seasonal variation in total energy expenditure and physical activity in Dutch young adults. *Obes Res* 2004 April;12(4):688-94.
- (296) Buguet A, Roussel B, Angus R, Sabiston B, Radomski M. Human sleep and adrenal individual reactions to exercise. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1980 September;49(5-6):515-23.
- (297) Joern AT, Shurley JT, Brooks RE, Guenter CA, Pierce CM. Short-term changes in sleep patterns on arrival at the South Polar Plateau. *Arch Intern Med* 1970 April;125(4):649-54.
- (298) Natani K, Shurley JT, Pierce CM, Brooks RE. Long-term changes in sleep patterns in men on the South Polar Plateau. *Arch Intern Med* 1970 April;125(4):655-9.
- (299) Mottram V, Middleton B, Williams P, Arendt J. The impact of bright artificial white and 'blue-enriched' light on sleep and circadian phase during the polar winter. *J Sleep Res* 2011 March;20(1 Pt 2):154-61.
- (300) Usui A, Obinata I, Ishizuka Y, Okado T, Fukuzawa H, Kanba S. Seasonal changes in human sleep-wake rhythm in Antarctica and Japan. *Psychiatry Clin Neurosci* 2000 June;54(3):361-2.
- (301) Steel GD, Callaway M, Suedfeld P, Palinkas L. Human sleep-wake cycles in the high Arctic: effects of unusual photoperiodicity in a natural setting. *Biol Rhythm Res* 1995 November;26(5):582-92.

- (302) Angus RG, Pearce DG, Buguet AG, Olsen L. Vigilance performance of men sleeping under arctic conditions. *Aviat Space Environ Med* 1979 July;50(7):692-6.
- (303) Stroud MA, Coward WA, Sawyer MB. Measurements of energy expenditure using isotope-labelled water (2H₂(18)O) during an Arctic expedition. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993;67(4):375-9.
- (304) Duncan R. Variations in resting metabolic rates of men in Antarctica. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57(4):514-8.
- (305) Simpson A. The effect of Antarctic residence on energy dynamics and aerobic fitness. *Int J Circumpolar Health* 2010 June;69(3):220-35.
- (306) Budd GM. Skin temperature, thermal comfort, sweating, clothing and activity of men sledging in Antarctica. *J Physiol* 1966 September;186(1):201-15.
- (307) Budd GM, Hendrie AL, Jeffery SE. Behavioural temperature regulation during a motor-toboggan traverse in Antarctica. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1986;55(5):507-16.
- (308) Huotari A, Herzig KH. Vitamin D and living in northern latitudes-an endemic risk area for vitamin D deficiency. *Int J Circumpolar Health* 2008 June;67(2-3):164-78.
- (309) Blumsohn A, Naylor KE, Timm W, Eagleton AC, Hannon RA, Eastell R. Absence of marked seasonal change in bone turnover: a longitudinal and multicenter cross-sectional study. *J Bone Miner Res* 2003 July;18(7):1274-81.
- (310) Kuhnlein HV, Receveur O. Local cultural animal food contributes high levels of nutrients for Arctic Canadian Indigenous adults and children. *J Nutr* 2007 April;137(4):1110-4.
- (311) Jeppesen BB, Harvald B. Serum calcium in Greenland Eskimos. *Acta Med Scand* 1983;214(2):99-101.
- (312) Yonei T, Hagino H, Katagiri H, Kishimoto H. Bone metabolic changes in Antarctic wintering team members. *Bone* 1999 February;24(2):145-50.
- (313) Iuliano-Burns S, Ayton J, Hillam S, Jones G, King K, Macleod S et al. Skeletal and hormonal responses to vitamin D supplementation during sunlight deprivation in Antarctic expeditioners. *Osteoporos Int* 2012 January 4.
- (314) Iuliano-Burns S, Wang XF, Ayton J, Jones G, Seeman E. Skeletal and hormonal responses to sunlight deprivation in Antarctic expeditioners. *Osteoporos Int* 2009 September;20(9):1523-8.
- (315) Oliveri B, Zeni S, Lorenzetti MP, Aguilar G, Mautalen C. Effect of one year residence in Antarctica on bone mineral metabolism and body composition. *Eur J Clin Nutr* 1999 February;53(2):88-91.
- (316) Smith SM, Gardner KK, Locke J, Zwart SR. Vitamin D supplementation during Antarctic winter. *Am J Clin Nutr* 2009 April;89(4):1092-8.
- (317) Gunga H-C, Steinach M, Kirsch K. Medizinisch-physiologische Probleme beim Aufenthalt im All. In: Ley W, Wittmann K, Hallmann W, editors. *Handbuch der Raumfahrttechnik*. 3. Auflage München: Carl Hanser Verlag; 2008. p. 579-82.
- (318) Reed HL, Reedy KR, Palinkas LA, Van DN, Finney NS, Case HS et al. Impairment in cognitive and exercise performance during prolonged antarctic residence: effect of thyroxine supplementation in the polar triiodothyronine syndrome. *J Clin Endocrinol Metab* 2001 January;86(1):110-6.
- (319) Andersen S, Kleinschmidt K, Hvingel B, Laurberg P. Thyroid hyperactivity with high thyroglobulin in serum despite sufficient iodine intake in chronic cold adaptation in an Arctic Inuit hunter population. *Eur J Endocrinol* 2012 March;166(3):433-40.
- (320) Shurtleff D, Thomas JR, Schrot J, Kowalski K, Harford R. Tyrosine reverses a cold-induced working memory deficit in humans. *Pharmacol Biochem Behav* 1994 April;47(4):935-41.
- (321) Palinkas LA, Cravalho M, Browner D. Seasonal variation of depressive symptoms in Antarctica. *Acta Psychiatr Scand* 1995 June;91(6):423-9.
- (322) Savourey G, Barnavol B, Caravel JP, Feuerstein C, Bittel JH. Hypothermic general cold adaptation induced by local cold acclimation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;73(3-4):237-44.
- (323) Reed HL, Burman KD, Shakir KM, O'Brian JT. Alterations in the hypothalamic-pituitary-thyroid axis after prolonged residence in Antarctica. *Clin Endocrinol (Oxf)* 1986 July;25(1):55-65.

- (324) Xu C, Zhu G, Xue Q, Zhang S, Du G, Xi Y et al. Effect of the Antarctic environment on hormone levels and mood of Chinese expeditioners. *Int J Circumpolar Health* 2003 September;62(3):255-67.
- (325) Hodgdon JA, Hesslink RL, Hackney AC, Vickers RR, Hilbert RP. Norwegian military field exercises in the arctic: cognitive and physical performance. *Arctic Med Res* 1991;50 Suppl 6:132-6.
- (326) Andersen S, Hvingel B, Kleinschmidt K, Jorgensen T, Laurberg P. Changes in iodine excretion in 50-69-year-old denizens of an Arctic society in transition and iodine excretion as a biomarker of the frequency of consumption of traditional Inuit foods. *Am J Clin Nutr* 2005 March;81(3):656-63.
- (327) Maes M, Mommen K, Hendrickx D, Peeters D, D'Hondt P, Ranjan R et al. Components of biological variation, including seasonality, in blood concentrations of TSH, TT3, FT4, PRL, cortisol and testosterone in healthy volunteers. *Clin Endocrinol (Oxf)* 1997 May;46(5):587-98.
- (328) Palinkas LA, Reed HL, Reedy KR, Do NV, Case HS, Finney NS. Circannual pattern of hypothalamic-pituitary-thyroid (HPT) function and mood during extended antarctic residence. *Psychoneuroendocrinology* 2001 May;26(4):421-31.
- (329) Wehr TA. Effect of seasonal changes in daylength on human neuroendocrine function. *Horm Res* 1998;49(3-4):118-24.
- (330) Savourey G, Caravel JP, Barnavol B, Bittel JH. Thyroid hormone changes in a cold air environment after local cold acclimation. *J Appl Physiol* 1994 May;76(5):1963-7.
- (331) Hackney AC, Hodgdon JA. Thyroid hormone changes during military field operations: effects of cold exposure in the Arctic. *Aviat Space Environ Med* 1992 July;63(7):606-11.
- (332) Paakkonen T, Leppaluoto J. Cold exposure and hormonal secretion: a review. *Int J Circumpolar Health* 2002 August;61(3):265-76.
- (333) Combs TP, Berg AH, Rajala MW, Klebanov S, Iyengar P, Jimenez-Chillaron JC et al. Sexual differentiation, pregnancy, calorie restriction, and aging affect the adipocyte-specific secretory protein adiponectin. *Diabetes* 2003 February;52(2):268-76.
- (334) Kirsch KA, Schlemmer M, De Santo NG, Cirillo M, Perna A, Gunga HC. Erythropoietin as a volume-regulating hormone: an integrated view. *Semin Nephrol* 2005 November;25(6):388-91.
- (335) Touitou Y, Haus E. *Biologic rhythms in clinical and laboratory medicine*. Berlin: Springer-Verlag; 1992.
- (336) Gunga HC, Kirsch K, Rucker L. Erythropoietin in blood volume regulation under real and simulated micro-g conditions. *J Gravit Physiol* 1996 September;3(2):1-4.
- (337) Gangwisch JE. Epidemiological evidence for the links between sleep, circadian rhythms and metabolism. *Obes Rev* 2009 November;10 Suppl 2:37-45.
- (338) Belcaro G. *Once We Were Hunters*. Imperial College Press; 2001.
- (339) Spurway N. Origins. In: Spurway N, Wackerhage H, editors. *Genetics and Molecular Biology of Muscle Adaptation*. London: Churchill Livingstone Elsevier; 2006. p. 1-23.
- (340) Cordain L, Gotshall RW, Eaton SB, Eaton SB, III. Physical activity, energy expenditure and fitness: an evolutionary perspective. *Int J Sports Med* 1998 July;19(5):328-35.
- (341) Meier AH, Cinotta AH. Circadian rhythms regulate the expression of the thrifty genotype/phenotype. *Diabetes Rev* 1996;4:464-87.
- (342) Morgan PJ, Ross AW, Mercer JG, Barrett P. What can we learn from seasonal animals about the regulation of energy balance? *Prog Brain Res* 2006;153:325-37.
- (343) Ebling FJ, Barrett P. The regulation of seasonal changes in food intake and body weight. *J Neuroendocrinol* 2008 June;20(6):827-33.
- (344) Morgan PJ, Mercer JG. The regulation of body weight: lessons from the seasonal animal. *Proc Nutr Soc* 2001 February;60(1):127-34.
- (345) Alonso-Vale MI, Andreotti S, Peres SB, Anhe GF, das NB-S, Neto JC et al. Melatonin enhances leptin expression by rat adipocytes in the presence of insulin. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2005 April;288(4):E805-E812.

- (346) Saad MF, Riad-Gabriel MG, Khan A, Sharma A, Michael R, Jinagouda SD et al. Diurnal and ultradian rhythmicity of plasma leptin: effects of gender and adiposity. *J Clin Endocrinol Metab* 1998 February;83(2):453-9.
- (347) Wisse BE. The inflammatory syndrome: the role of adipose tissue cytokines in metabolic disorders linked to obesity. *J Am Soc Nephrol* 2004 November;15(11):2792-800.
- (348) Greenberg AS, McDaniel ML. Identifying the links between obesity, insulin resistance and beta-cell function: potential role of adipocyte-derived cytokines in the pathogenesis of type 2 diabetes. *Eur J Clin Invest* 2002 June;32 Suppl 3:24-34.
- (349) Fantuzzi G. Adipose tissue, adipokines, and inflammation. *J Allergy Clin Immunol* 2005 May;115(5):911-9.
- (350) Kadowaki T, Yamauchi T. Adiponectin and adiponectin receptors. *Endocr Rev* 2005 May;26(3):439-51.
- (351) World Health Organization. Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic. Geneva: WHO; 2000.
- (352) Adamczak M, Rzepka E, Chudek J, Wiecek A. Ageing and plasma adiponectin concentration in apparently healthy males and females. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2005 January;62(1):114-8.
- (353) Bik W, Baranowska-Bik A, Wolinska-Witort E, Martynska L, Chmielowska M, Szybinska A et al. The relationship between adiponectin levels and metabolic status in centenarian, early elderly, young and obese women. *Neuro Endocrinol Lett* 2006 August;27(4):493-500.
- (354) Koh SJ, Hyun YJ, Choi SY, Chae JS, Kim JY, Park S et al. Influence of age and visceral fat area on plasma adiponectin concentrations in women with normal glucose tolerance. *Clin Chim Acta* 2008 March;389(1-2):45-50.
- (355) Ancoli-Israel S, Cole R, Alessi C, Chambers M, Moorcroft W, Pollak CP. The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep* 2003 May 1;26(3):342-92.
- (356) Weiss AR, Johnson NL, Berger NA, Redline S. Validity of activity-based devices to estimate sleep. *J Clin Sleep Med* 2010 August 15;6(4):336-42.
- (357) Monk TH, Buysse DJ, Rose LR. Wrist actigraphic measures of sleep in space. *Sleep* 1999 November 1;22(7):948-54.
- (358) Bland JM, Altman DG. Cronbach's alpha. *BMJ* 1997 February 22;314(7080):572.
- (359) Jakicic JM, Marcus M, Gallagher KI, Randall C, Thomas E, Goss FL et al. Evaluation of the SenseWear Pro Armband to assess energy expenditure during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2004 May;36(5):897-904.
- (360) King GA, Torres N, Potter C, Brooks TJ, Coleman KJ. Comparison of activity monitors to estimate energy cost of treadmill exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2004 July;36(7):1244-51.
- (361) St-Onge M, Mignault D, Allison DB, Rabasa-Lhoret R. Evaluation of a portable device to measure daily energy expenditure in free-living adults. *Am J Clin Nutr* 2007 March;85(3):742-9.
- (362) Johannsen DL, Calabro MA, Stewart J, Franke W, Rood JC, Welk GJ. Accuracy of armband monitors for measuring daily energy expenditure in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2010 November;42(11):2134-40.
- (363) Benito PJ, Neiva C, Gonzalez-Quijano PS, Cupeiro R, Morencos E, Peinado AB. Validation of the SenseWear armband in circuit resistance training with different loads. *Eur J Appl Physiol* 2011 December 6.
- (364) Fruin ML, Rankin JW. Validity of a multi-sensor armband in estimating rest and exercise energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 2004 June;36(6):1063-9.
- (365) Trabulsi J, Schoeller DA. Evaluation of dietary assessment instruments against doubly labeled water, a biomarker of habitual energy intake. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2001 November;281(5):E891-E899.
- (366) Koehler K, Braun H, de MM, Fusch G, Fusch C, Mester J et al. Parallel assessment of nutrition and activity in athletes: validation against doubly labelled water, 24-h urea excretion, and indirect calorimetry. *J Sports Sci* 2010 November;28(13):1435-49.
- (367) Simonson DC, DeFronzo RA. Indirect calorimetry: methodological and interpretative problems. *Am J Physiol* 1990 March;258(3 Pt 1):E399-E412.

- (368) Scott CB. Oxygen deficit and slow oxygen component relationships between intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci* 1999 December;17(12):951-6.
- (369) Brazeau AS, Karelis AD, Mignault D, Lacroix MJ, Prud'homme D, Rabasa-Lhoret R. Accuracy of the SenseWear Armband during ergocycling. *Int J Sports Med* 2011 October;32(10):761-4.
- (370) Drenowatz C, Eisenmann JC. Validation of the SenseWear Armband at high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol* 2011 May;111(5):883-7.
- (371) Welk GJ, McClain JJ, Eisenmann JC, Wickel EE. Field validation of the MTI Actigraph and BodyMedia armband monitor using the IDEEA monitor. *Obesity (Silver Spring)* 2007 April;15(4):918-28.
- (372) Ghoch ME, Alberti M, Capelli C, Calugi S, Battistini NC, Pellegrini M et al. Resting energy expenditure assessment in anorexia nervosa: comparison of indirect calorimetry, a multisensor monitor and the Muller equation. *Int J Food Sci Nutr* 2012 February 7.
- (373) Al OH, Al-Shamiri M, Bahobail M, Sharif MM, BaHammam AS. Assessment of sleep patterns, energy expenditure and circadian rhythms of skin temperature in patients with acute coronary syndrome. *Med Sci Monit* 2011 July;17(7):CR397-CR403.
- (374) Cole PJ, LeMura LM, Klinger TA, Strohecker K, McConnell TR. Measuring energy expenditure in cardiac patients using the Body Media Armband versus indirect calorimetry. A validation study. *J Sports Med Phys Fitness* 2004 September;44(3):262-71.
- (375) Manfredini F, Borleri D, Mosconi G. [Measurement of energy expenditure in a group of construction workers during work]. *G Ital Med Lav Ergon* 2007 July;29(3 Suppl):722-5.
- (376) Hill K, Dolmage TE, Woon L, Coutts D, Goldstein R, Brooks D. Defining the relationship between average daily energy expenditure and field-based walking tests and aerobic reserve in COPD. *Chest* 2012 February;141(2):406-12.
- (377) Bond DS, Unick JL, Jakicic JM, Vithiananthan S, Pohl D, Roye GD et al. Objective assessment of time spent being sedentary in bariatric surgery candidates. *Obes Surg* 2011 June;21(6):811-4.
- (378) Almeida GJ, Wasko MC, Jeong K, Moore CG, Piva SR. Physical activity measured by the SenseWear Armband in women with rheumatoid arthritis. *Phys Ther* 2011 September;91(9):1367-76.
- (379) Cereda E, Pezzoli G, Barichella M. Role of an electronic armband in motor function monitoring in patients with Parkinson's disease. *Nutrition* 2010 February;26(2):240-2.
- (380) Papazoglou D, Augello G, Tagliaferri M, Savia G, Marzullo P, Maltezos E et al. Evaluation of a multisensor armband in estimating energy expenditure in obese individuals. *Obesity (Silver Spring)* 2006 December;14(12):2217-23.
- (381) Miwa H, Sasahara S, Matsui T. Roll-over detection and sleep quality measurement using a wearable sensor. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2007;2007:1507-10.
- (382) Berger AM, Wielgus KK, Young-McCaughan S, Fischer P, Farr L, Lee KA. Methodological challenges when using actigraphy in research. *J Pain Symptom Manage* 2008 August;36(2):191-9.

Abbildungsverzeichnis

Die abgebildeten Fotos (Abbildungen 5, 6, 10, 11, 14), das Übersichtsrendering der Georg-von-Neumayer-Station III (Abbildung 13) und die Logos der Überwintererstaffeln 2008-2011 (Abbildung 16) wurden den genannten Quellen direkt entnommen.

Alle weiteren Abbildungen wurden für die vorgelegte Arbeit neu erstellt – durch Modifikation vorhandener Vorlagen oder durch Neuerstellung aus dem Datenmaterial genannter Quellen; dabei wurde ein einheitliches Farbkonzept (blau-orange) zugrunde gelegt. Abbildungen ohne Quellenangabe wurden aus eigenem Datenmaterial neu erstellt.

- Abb. 1 Formationen des Urkontinents Gondwana, nach Alfred Wegener (3) neu erstellt
- Abb. 2 Antarktis – Kontinentalgrenzen, kontinentale Eisflächen zunehmender Schichtdicke (hellblau bis dunkelblau in Schritten von 1000m), eisfreie Zonen (orange), Schelfeis (weiß), nach (5;6) modifiziert
- Abb. 3 Jährliche Sonnenscheindauer (absolut und relativ) im Bereich der Georg-von-Neumayer-Station (I bzw. II, von 1982-2004), nach (9) modifiziert
- Abb. 4 Jährliche Außentemperaturen im Bereich der Georg-Neumayer-Station II bzw. III (Boxplots: alle Außentemperaturen 3-stündlich gemessen an allen Tagen/Monat, 2008-2011; Kreise und Kurve: Mittelwerte Außentemperaturen um 12h mittags gemessen an allen Tagen/Monat, 2008-2011), nach Wetterdaten des AWI (5) neu erstellt
- Abb. 5 Forschungsstationen Georg-von-Neumayer III und in Abb. 6 Kohnen-Station. Die Station Georg-von-Neumayer III ist seit Februar 2009 in Betrieb; die Kohnen-Station ist die für Eisbohrungen genutzte Sommerstation und liegt auf 2892m über NHN (5)
- Abb. 7 Weltraumflüge und deren Flugdauern, nach (45) modifiziert
- Abb. 8 Lage der deutschen Antarktisstationen Georg-von-Neumayer III und Kohnen im globalen Maßstab, nach (5) neu erstellt
- Abb. 9 Lage und Driftbewegungen der Stationen Georg-von-Neumayer II und III im Ekström-Schelfeis, nach (5) neu erstellt
- Abb. 10 Georg-von-Neumayer-Station II im Jahr 1999, in dem sich die Station bereits unterirdisch befindet, in Abb. 11 ist der Zugang für die Fahrzeuge dargestellt (5)
- Abb. 12 Aufbau der Georg-von-Neumayer-Station II, nach (5) modifiziert
- Abb. 13 Schematische Ansicht der Georg-von-Neumayer-Station III (5)
- Abb. 14 Hydraulikfundamente der Georg-von-Neumayer-Station III (5)
- Abb. 15 Schnitt und Einzelflächen der Georg-von-Neumayer-Station III, nach (5) modifiziert
- Abb. 16 Logos der untersuchten Überwinterungskampagnen 2008-2011 (5)
- Abb. 17 Messzeitpunkte für alle Teilnehmer aller untersuchten Überwinterungen 2008-2011 im Überwinterungsverlauf sowie die saisonale Änderung der Sonnenscheindauer
- Abb. 18 Körperzusammensetzung des Menschen nach unterschiedlichen Kompartimentmodellen, nach (89;90) neu erstellt
- Abb. 19 Körperzusammensetzung des Menschen und deren jeweilige Beziehung zueinander, nach (90;96) neu erstellt; die Knochensubstanz umfasst hier nur die mineralischen Bestandteile
- Abb. 20 Der BIA zugrundeliegende Zusammenhang (Leitereigenschaften), nach (96) neu erstellt
- Abb. 21 Messprinzip der BIA beim Menschen, Elektrodenplatzierung am Ort der Einprägung (orange) und Abgreifung (schwarz) des Stromflusses; gestrichelte orange Linie: modellhafter Verlauf des Stromflusses im Körper, nach (96) neu erstellt
- Abb. 22 Schema des extra- und intrazellulären Stromflusses bei der BIA, nach (107) neu erstellt

- Abb. 23 Erfassung unterschiedlicher Kompartimente (intrazellulär, extrazellulär) mit der BIA in Abhängigkeit von der Messfrequenz, nach (107) neu erstellt
- Abb. 24 Zusammenhänge der durch die BIA erfassten Widerstände und dem Phasenwinkel, nach (96;109) neu erstellt
- Abb. 25 Einfluss der Beschaffenheit der Körperzellmasse auf den Phasenwinkel – großer Phasenwinkel bei intakter bzw. hoher Körperzellmasse, nach (107) neu erstellt
- Abb. 26 Einfluss der Beschaffenheit der Körperzellmasse auf den Phasenwinkel – kleiner Phasenwinkel bei beschädigter bzw. geringer Körperzellmasse, nach (107) neu erstellt
- Abb. 27 Übersicht der Regulationskomponenten des circadianen Rhythmus, nach (130) modifiziert
- Abb. 28 Regulationszentren und Leitungsbahnen des circadianen Rhythmus, nach (130) modifiziert
- Abb. 29 Homöostatischer und circadianer Prozess der Schlafneigung, nach (134) modifiziert
- Abb. 30 Schlafstadien über den Verlauf eines normalen Nachtschlafes, nach (131) modifiziert
- Abb. 31 Messprinzip der Actimetrie (m: ausgelenkte Masse, k: konstanter Widerstand der Feder, x: Weg der Masseauslenkung, a: Beschleunigung), nach (137) neu erstellt
- Abb. 32 Vorder- und Rückseite des SenseWear-Gerätes (Pro3) mit Darstellung der jeweiligen Sensoren und den jeweils erhobenen Messparametern, nach (87) modifiziert
- Abb. 33 Bildung von Calcitriol im menschlichen Körper, nach (151) neu erstellt
- Abb. 34 Sekretion von Adiponektin und anderer Cytokine in Abhängigkeit von Fettmasse und Energieumsatz (große orange Pfeile: hohe Sekretion, kleine orange Pfeile: geringe Sekretion), nach (219) neu erstellt
- Abb. 35 Aktivierung der AMP-Kinase durch Adiponektin und körperliche Aktivität mit anschließend verbesserter Glucoseaufnahme bzw. gesteigerter Insulinsensitivität, nach (222-225) neu erstellt
- Abb. 36 Anordnung der EEG-Elektroden in der Polysomnographie, nach (145) modifiziert
- Abb. 37 Parameter der Polysomnographie während einer REM-Phase, nach (131) modifiziert
- Abb. 38 Schema des Wechsels der drei SenseWear-Geräte zwischen den drei Trageorten (Rückenansicht)
- Abb. 39 Häufigkeitsverteilung der Überwinterungsteilnehmer von 2008 bis 2011 (blau: männliche Teilnehmer n=22, orange: weibliche Teilnehmer n=9, grau: Gesamt n=31, Kurve: Normalverteilung)
- Abb. 40 Individuelle Veränderungen des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 41 Individuelle Veränderungen des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 42 Individuelle Veränderungen des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 43 Individuelle Veränderungen des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 44 Individuelle Veränderungen der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 45 Individuelle Veränderungen der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 46 Individuelle Veränderungen der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 47 Individuelle Veränderungen der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 48 Individuelle Veränderungen der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 49 Individuelle Veränderungen der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 50 Individuelle Veränderungen der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 51 Individuelle Veränderungen der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 52 Individuelle Veränderungen der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 53 Individuelle Veränderungen der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 54 Individuelle Veränderungen der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 55 Individuelle Veränderungen der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterung 2011

- Abb. 56 Individuelle Veränderungen des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 57 Individuelle Veränderungen des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 58 Individuelle Veränderungen des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 59 Individuelle Veränderungen des GWK über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 60 Individuelle Veränderungen der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 61 Individuelle Veränderungen der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 62 Individuelle Veränderungen der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 63 Individuelle Veränderungen der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 64 Individuelle Veränderungen der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 65 Individuelle Veränderungen der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 66 Individuelle Veränderungen der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 67 Individuelle Veränderungen der Schlafdauer über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 68 Individuelle Veränderungen der Schlaffeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 69 Individuelle Veränderungen der Schlaffeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 70 Individuelle Veränderungen der Schlaffeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 71 Individuelle Veränderungen der Schlaffeffizienz über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 72 Individuelle Veränderungen der Schlafragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 73 Individuelle Veränderungen der Schlafragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 74 Individuelle Veränderungen der Schlafragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 75 Individuelle Veränderungen der Schlafragmentierung über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 76 Individuelle Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 77 Individuelle Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 78 Individuelle Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 79 Individuelle Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 80 Individuelle Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 81 Individuelle Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 82 Individuelle Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 83 Individuelle Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterung 2011
- Abb. 84 Individuelle Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 85 Individuelle Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 86 Individuelle Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 87 Individuelle Veränderungen der TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 88 Individuelle Veränderungen der TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 89 Individuelle Veränderungen der TSH-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 90 Individuelle Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 91 Individuelle Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 92 Individuelle Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 93 Individuelle Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008

- Abb. 94 Individuelle Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 95 Individuelle Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 96 Individuelle Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 97 Individuelle Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 98 Individuelle Veränderungen der EPO-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 99 Individuelle Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 100 Individuelle Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 101 Individuelle Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 102 Individuelle Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2008
- Abb. 103 Individuelle Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2009
- Abb. 104 Individuelle Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über den Zeitraum der Überwinterung 2010
- Abb. 105 Boxplots der Veränderungen des Körpergewichts über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 106 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 107 Boxplots der Veränderungen der fettfreien Masse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 108 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 109 Boxplots der Veränderungen der Fettmasse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 110 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 111 Boxplots der Veränderungen der Körperzellmasse über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 112 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 113 Boxplots der Veränderungen des Gesamtkörperwassers über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 114 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 115 Boxplots der Veränderungen der Liegedauer über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 116 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 117 Boxplots der Veränderungen der Schlafdauer über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 118 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 119 Boxplots der Veränderungen der Schlafeffizienz über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 120 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 121 Boxplots der Veränderungen der Schlaffragmentierung über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 122 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 123 Boxplots der Veränderungen des Schlafenergieumsatzes über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 124 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 125 Boxplots der Veränderungen des täglichen Energieumsatzes über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2011 sowie in Abb. 126 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 127 Boxplots der Veränderungen der Vitamin D-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 128 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 129 Boxplots der Veränderungen der TSH-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 130 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 131 Boxplots der Veränderungen der Leptin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 132 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 133 Boxplots der Veränderungen der Adiponektin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 134 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 135 Boxplots der Veränderungen der Erythropoietin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 136 gruppiert nach Geschlecht

- Abb. 137 Boxplots der Veränderungen der Ferritin-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 138 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 139 Boxplots der Veränderungen der sTfR-Konzentrationen über die drei Überwinterungsphasen der Überwinterungen 2008-2010 sowie in Abb. 140 gruppiert nach Geschlecht
- Abb. 141 Verläufe der Werte des Körpergewichts über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 142 mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln
- Abb. 143 Verläufe der Werte der fettfreien Masse über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 144 relativ zum Körpergewicht mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln
- Abb. 145 Verläufe der Werte der Fettmasse über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 146 relativ zum Körpergewicht mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln
- Abb. 147 Verläufe der Werte der Körperzellmasse über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 148 relativ zum Körpergewicht mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln
- Abb. 149 Verläufe der Werte des Gesamtkörperwassers über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinien pro Staffel sowie in Abb. 150 relativ zum Körpergewicht mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln
- Abb. 151 Verläufe der Werte der Liegedauer über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln sowie in Abb. 152 analog für die Schlafdauer
- Abb. 153 Verläufe der Werte der Schlafeffizienz über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln sowie in Abb. 154 analog für die Schlaffragmentierung
- Abb. 155 Verläufe der Werte des Schlafenergieumsatzes über den Zeitraum der Überwinterungen 2008-2011 als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervallen und 95 % Voraussageintervallen für alle Staffeln sowie in Abb. 156 analog für den Energieumsatz
- Abb. 157 Verläufe der Vitamin D-Konzentrationen als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln 2008-2010 mit Regressionskurve (Gleichung 2. Ordnung) sowie in Abb. 158 der TSH-Konzentrationen (Gleichung 7. Ordnung)
- Abb. 159 Verläufe der Leptin-Konzentrationen als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln 2008-2010 mit Regressionskurve (Gleichung 4. Ordnung) sowie in Abb. 160 der Adiponektin-Konzentrationen (Gleichung 4. Ordnung)
- Abb. 161 Verläufe der Erythropoietin-Konzentrationen als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln 2008-2010 mit Regressionskurve (Gleichung 4. Ordnung) sowie in Abb. 162 der Ferritin-Konzentrationen (Gleichung 4. Ordnung)
- Abb. 163 Verläufe der sTfR-Konzentrationen als Mittelwerte der jeweiligen Überwinterungsstaffeln 2008-2010 mit Regressionskurve (Gleichung 4. Ordnung)
- Abb. 164 Scatterplot aller Messwerte zu Körpergewicht und Fettmasse (blau: männliche Teilnehmer, orange: weibliche Teilnehmer; 2008-2011)
- Abb. 165 Scatterplot aller Messwerte zu Fettmasse und Adiponektin (blau: männliche Teilnehmer, orange: weibliche Teilnehmer mit Regressionslinien der beiden Subkohorten, 2008-2010; ein zwischen den Subkohorten liegender Einzelfall wurde vernachlässigt)
- Abb. 166 Scatterplot der Messwerte der Liegedauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervall und 95 % Voraussageintervall

- Abb. 167 Scatterplot der Messwerte der Schlafdauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervall und 95 % Voraussageintervall
- Abb. 168 Scatterplot der Messwerte der Schlafeffizienz mittels Polysomnographie vs. SenseWear mit Regressionslinie, 95 % Konfidenzintervall und 95 % Voraussageintervall
- Abb. 169 Boxplot der Messwerte der Liegedauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear
- Abb. 170 Boxplot der Messwerte der Schlafdauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear
- Abb. 171 Boxplot der Messwerte der Schlafeffizienz mittels Polysomnographie vs. SenseWear
- Abb. 172 Vergleich der Messwerte der Liegedauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear nach Bland-Altman
- Abb. 173 Vergleich der Messwerte der Schlafdauer mittels Polysomnographie vs. SenseWear nach Bland-Altman
- Abb. 174 Vergleich der Messwerte der Schlafeffizienz mittels Polysomnographie vs. SenseWear nach Bland-Altman
- Abb. 175 Boxplot der Messwerte des Schlafenergieumsatzes durch das SenseWear-Gerät an verschiedenen Trageorten
- Abb. 176 Boxplot der Messwerte des Energieumsatzes durch das SenseWear-Gerät an verschiedenen Trageorten
- Abb. 177 Boxplot der Messwerte des Energieumsatzes durch das SenseWear-Gerät mit verschiedenen Geräten
- Abb. 178 Vergleich der Messwerte der Liegedauer in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)
- Abb. 179 Vergleich der Messwerte der Liegedauer in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)
- Abb. 180 Vergleich der Messwerte der Schlafdauer in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)
- Abb. 181 Vergleich der Messwerte der Schlafdauer in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)
- Abb. 182 Vergleich der Messwerte der Schlafeffizienz in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)
- Abb. 183 Vergleich der Messwerte der Schlafeffizienz in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)
- Abb. 184 Vergleich der Messwerte der Schlaffragmentierung in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)
- Abb. 185 Vergleich der Messwerte der Schlaffragmentierung in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)
- Abb. 186 Vergleich der Messwerte des Schlafenergieumsatzes in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)
- Abb. 187 Vergleich der Messwerte des Schlafenergieumsatzes in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)
- Abb. 188 Vergleich der Messwerte des täglichen Energieumsatzes in Abhängigkeit vom Trageort nach Bland-Altman (Referenz: rechter Arm oben, orange: rechter Arm unten, blau: linker Arm oben)
- Abb. 189 Vergleich der Messwerte des täglichen Energieumsatzes in Abhängigkeit vom Gerät nach Bland-Altman (Referenz: Gerät 1, orange: Gerät 2, blau: Gerät 3)
- Abb. 190 Boxplot der Messwerte der Evaporation Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts) vor der Intervention
- Abb. 191 Boxplot der Messwerte der Evaporation Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts) nach der Intervention
- Abb. 192 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte der longitudinalen Akzeleration der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)

- Abb. 193 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte der transversalen Akzeleration der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)
- Abb. 194 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte des Hautleitwertes der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)
- Abb. 195 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte des Wärmeflusses der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)
- Abb. 196 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte der Hauttemperatur der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)
- Abb. 197 Boxplot der über den Messzeitraum gemittelten Messwerte des Energieumsatzes der SenseWear-Geräte am Kontrollarm (links) vs. Interventionsarm (rechts)
- Abb. 198 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten der longitudinalen Akzeleration der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung
- Abb. 199 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten der transversalen Akzeleration der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung
- Abb. 200 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten des Hautleitwertes der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung
- Abb. 201 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten des Wärmeflusses der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung
- Abb. 202 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten der Hauttemperatur der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung
- Abb. 203 Originaldaten (blau) und geglättete Werte (orange) der Differenzen zwischen der Messwerten des Energieumsatzes der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links), Einzelmessung
- Abb. 204 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten der longitudinalen Akzeleration der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links) (geglättete Werte)
- Abb. 205 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten der transversalen Akzeleration der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links) (geglättete Werte)
- Abb. 206 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten des Hautleitwertes der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links) (geglättete Werte)
- Abb. 207 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten des Wärmeflusses der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links) (geglättete Werte)
- Abb. 208 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten der Hauttemperatur der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links) (geglättete Werte)
- Abb. 209 Mittel, 25. und 75. Perzentile der Differenzen zwischen der Messwerten des Energieumsatzes der SenseWear-Geräte, alle Messzeitpunkte, Interventionsarm (rechts) minus Kontrollarm (links) (geglättete Werte)
- Abb. 210 TSH Plasma-Konzentrationen bei Antarktis-Überwinterern, nach (318) neu erstellt
- Abb. 211 Tägliche Energieumsätze der menschlicher Vorfahren (blau) und heute lebender Populationen (orange); Quadrate: Ruheenergieumsätze, Kreise: Leistungsenergieumsätze, nach (339) neu erstellt

Danksagung

Mein erster und wichtigster Dank gilt Herrn Professor Dr. Hanns-Christian Gunga, Sprecher des Zentrums für Weltraummedizin, für sein mir entgegengebrachtes Vertrauen, die Bearbeitung und Auswertung dieses komplexen Themas im Rahmen der vorgelegten Arbeit durchzuführen sowie für seine fortwährende Unterstützung, die mir die Realisierung der Arbeit ermöglichte.

Ich bedanke mich bei allen Entscheidungsträgern des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), die Forschungsaktivität des ZWMB in der Antarktis zu unterstützen, was die vorgelegte Arbeit erst möglich machte.

Mein Dank gilt Frau Himmelsbach-Wegner, die als medizinisch-technische Assistentin des ZWMB die Bestimmung der Hormon- und Stoffwechselfparameter aus den einzelnen Proben der Überwinterer durchgeführt hat.

Ich danke meinen weiteren Kollegen des ZWMB: Herrn Prof. Kirsch, Herrn Dr. Opatz, Herrn Dr. Stahn, Herrn Dr. Werner und Frau Hofmann für ihre Unterstützung bei der täglichen Arbeit sowie Frau Dr. Tiedemann, für die Einweisung in verschiedene Techniken zur Auswertung unterschiedlicher Daten der Überwinterer.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Kohlberg des Alfred-Wegener-Instituts als direkten Ansprechpartner bei den verschiedensten Fragen zu den Überwinterungen und Herrn Dr. König-Langlo für die Übermittlung von Wetterdaten und der Zurverfügungstellung der Originalabbildung zur Sonnenscheindauer in der Antarktis. Ich danke allen Entscheidungsträgern des Alfred-Wegener-Institutes für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven, die die Untersuchungen in den Georg-von-Neumayer-Stationen möglich gemacht haben.

Für die Realisierung der Validierungsuntersuchung mittels Polysomnographie danke ich Herrn Prof. Fietze und Herrn Prof. Penzel der Schlafmedizin der Charité, Campus Mitte, für ihre kollegiale Unterstützung sowie Herrn Pilz, Studienassistent der Schlafmedizin, für die praktische Umsetzung der Messungen mit dem SenseWear-Gerät und für die Übermittlung der Daten.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Talluri, der Firma Akern Bioresearch srl, Italien, für seine kollegiale Unterstützung bei der Klärung verschiedener Fragen der Bioimpedanzanalyse.

Dank gilt meiner Frau Alexandra, für ihre Geduld und Unterstützung über den Zeitraum, den die Erstellung dieser Arbeit in Anspruch genommen hat; ebenso gilt mein Dank meinen Eltern und Schwiegereltern.

Zuletzt danke ich allen bislang nicht genannten Mitarbeitern der Charité, des AWI und anderer Einrichtungen sowie den Patienten der Schlafmedizin, die an den Validierungsstudien teilnahmen sowie selbstverständlich allen Überwinterern, die durch ihre Aufenthalte in der Antarktis und ihre Bereitschaft, zusätzlich zu ihren dortigen Aufgaben, die Messungen und Arbeiten durchzuführen, diese Studie möglich gemacht haben.

Lebenslauf

Der Lebenslauf findet sich aus Datenschutzgründen nicht in dieser elektronischen Version der Dissertation.

Kontakt Daten

Mathias Steinach
Zentrum für Weltraummedizin Berlin (ZWMB)
Institut für Physiologie
Charité Universitätsmedizin
Campus Charité Mitte
Charitéplatz 1
10117 Berlin

E-mail: mathias.steinach@charite.de

Telefon: +49 30 450 528 517

Telefax: +49 30 450 528 920

Publikationsliste

Koautor des Artikels „Erythropoietin regulations in humans under different environmental and experimental conditions“ in *Respir.Physiol Neurobiol.* 2007

Koautor des Kapitels 7.6 „Weltraummedizin und -biologie“ in *Handbuch der Raumfahrttechnik*, Carl-Hanser-Verlag, 2008

Koautor des Artikels „Changes in the haemostatic system after thermoneutral and hyperthermic water immersion“ in *Eur.J.Appl.Physio*, 2008

Koautor des Kapitels 7.6 „Space Medicine and Biology“ in *Handbook of Space Technology*, Wiley & Sons, 2009

Koautor des Artikels „The Double Sensor-A non-invasive device to continuously monitor core temperature in humans on earth and in space“ in *Respir.Physiol Neurobiol.* 2009

Koautor des Kapitels 7 „Circadian Rhythm and Stress“ in *Stress Challenges and Immunity in Space*, Springer-Verlag, 2012

Autor des Kapitels 4.1 „Zirkadiane Rhythmik“ in *Lichttherapie*, Springer-Verlag, 2012

Selbständigkeitserklärung

„Ich, Mathias Steinach, erkläre und versichere hiermit, dass ich die vorgelegte Dissertation zum Thema:

»Physiologische Langzeitveränderungen bei Überwinterern in der Antarktis unter besonderer Berücksichtigung von Aktivitätsparametern«

selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Es wurde keine unzulässige Hilfe Dritter in Anspruch genommen und es wurden keine Kopien anderer Arbeiten oder Teile daraus als eigene Leistungen dargestellt. Insbesondere die Auswahl und Durchführung der statistischen Tests, die Literaturrecherche, die gesamte Textformulierung und Niederschrift und die Anfertigung der Abbildungen, wie im Abbildungsverzeichnis dargelegt, erfolgte eigenhändig und ohne fremde Hilfe.

Bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit gab es keine finanziellen, sachbezogenen oder sonstigen Unterstützungen seitens BodyMedia, der Herstellerfirma des SenseWear-Gerätes, oder der Hersteller aller sonstigen Geräte, Labortests oder Softwareprogramme, die bei der Erhebung der in dieser Studie vorgelegten Daten und deren Auswertung Verwendung fanden. Es liegen keine Interessenkonflikte vor.“

Ort, Datum

Unterschrift