

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

DISSERTATION

Physiologische Veränderungen des menschlichen Organismus während einer  
fünfzehnmonatigen Überwinterung in der Antarktis

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Josefine Tiedemann

aus Oranienburg

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. Dipl. geol. H.-C. Gunga

2. Prof. Dr. med. L. Röcker

3. Prof. Dr. Dr. M. Burtscher

Datum der Promotion: 24.02.2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	3
1.1 Antarktis .....	3
1.2 Entdeckung der Antarktis .....	5
1.3 Besiedlung der Antarktis .....	6
1.4 Deutsche Südpolarstationen .....	7
1.5 Thematik und Fragestellung .....	11
<b>2. Methodik</b> .....	14
2.1 Geographische Lage der Polarstation .....	14
2.2 Neumayer-Station II .....	14
2.3 Hintergrund der Studie und Auswahl der Überwinterungsteams .....	16
2.4 Zusammensetzung der Überwinterungsteams .....	16
2.5 Ausrüstung.....	17
2.6 Ablauf einer Überwinterungskampagne .....	18
2.7 Tagesablauf und Freizeitgestaltung .....	18
2.8 Ernährung und Versorgung .....	20
2.9 Messzeitpunkte .....	20
2.10 Erhobene Messparameter bei den Überwinterern .....	21
2.10.1 Body Mass Index (BMI) und Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) .....	22
2.10.2 Klinisch-biochemische Parameter.....	26
2.10.3 Statistische Auswertung .....	29
<b>3. Ergebnisse</b> .....	31
3.1 Anthropometrische Parameter .....	31
3.1.1 Anthropometrie - Zusammenstellung der drei Überwinterungsteams .....	31
3.1.2 Anthropometrie der männlichen und weiblichen Probanden.....	33
3.2 Veränderungen der Körperzusammensetzung.....	33
3.2.1 Körperzusammensetzung der drei Überwinterungsteams.....	34
3.2.2 Körperzusammensetzung der männlichen und weiblichen Probanden.....	34
3.3 Veränderungen des Körpergewichts.....	35
3.3.1 Körpergewichtsänderungen der Teilnehmer während der Überwinterung 2005 ....	36
3.3.2 Körpergewichtsänderungen der Teilnehmer während der Überwinterung 2006 ....	38
3.3.3 Körpergewichtsänderungen der Teilnehmer während der Überwinterung 2007 ....	40
3.3.4 Häufigkeitsverteilung der Körpergewichtsänderung der Männer/Frauen.....	45

3.4	Veränderungen innerhalb der fettfreien Masse, Fettmasse und Körperzellmasse.....	45
3.4.1	Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der Überwinterer 2005.....	46
3.4.2	Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der Überwinterer 2006.....	48
3.4.3	Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der Überwinterer 2007.....	50
3.4.4	Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der männlichen Probanden .....	52
3.4.5	Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der weiblichen Probanden .....	53
3.5	Veränderungen des Fettstoffwechsels .....	54
3.5.1	Veränderungen der Triacylglyceridkonzentrationen der Überwinterer .....	55
3.5.2	Cholesterinkonzentrationen der Überwinterer .....	56
3.5.3	HDL-/LDL-Cholesterinkonzentrationen .....	58
3.5.4	HDL-/LDL-Cholesterinkonzentrationen der Überwinterer 2005-07 .....	58
3.6	Veränderungen der Adiponektinkonzentrationen.....	61
3.6.1	Adiponektinkonzentrationen innerhalb der drei Überwinterungsteams.....	61
3.6.2	Adiponektinkonzentrationen innerhalb der männlichen/weiblichen Probanden ....	63
3.7	Veränderungen der Leptinkonzentrationen .....	64
3.7.1	Leptinkonzentrationen innerhalb der drei Überwinterungsteams .....	64
3.7.2	Leptinkonzentrationen innerhalb der männlichen und weiblichen Probanden .....	65
3.8	Veränderungen des Thyreoidea stimulierendes Hormons – TSH .....	66
3.8.1	TSH-Konzentrationen innerhalb der drei Überwinterungsgruppen .....	67
3.8.2	TSH-Konzentrationen innerhalb der männlichen und weiblichen Probanden.....	68
3.8.3	Zirkannuale TSH-Konzentrationen innerhalb der Überwinterungsteams.....	69
3.8.4	Zirkannuale TSH-Konzentrationen der männlichen und weiblichen Probanden....	71
3.9	Veränderungen innerhalb der Hämatopoese.....	72
3.9.1	Hämoglobinkonzentrationen während der drei Überwinterungskampagnen.....	72
3.9.2	Erythropoietinkonzentrationen innerhalb der drei Überwinterungskampagnen .....	73
3.9.3	sTfR-Konzentrationen innerhalb der drei Überwinterungskampagnen .....	74
3.9.4	Hämoglobinkonzentrationen der männlichen und weiblichen Probanden.....	75
3.9.5	Erythropoietinkonzentrationen der männlichen und weiblichen Probanden .....	77
3.9.6	sTfR-Konzentrationen der männlichen und weiblichen Probanden .....	78
<b>4.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>80</b>
4.1	Anthropometrie.....	80
4.2	Körperzusammensetzung und metabolische Regulation.....	81
4.3	Zirkannuale Rhythmik untersuchter Hormone .....	92

4.4	Hämatopoese .....	98
5.	Zusammenfassung.....	104
6.	Literaturverzeichnis .....	105
7.	Abbildungsverzeichnis.....	114
8.	Danksagung.....	116
9.	Lebenslauf.....	117
10.	Selbstverständniserklärung .....	118

## Abkürzungsverzeichnis

AdipoQ	Adiponektin
ALAT	Alanin-Aminotransferase
Alt-ÜWI	Überwinterer, der eine Überwinterung absolviert hat
ASAT	Aspartat-Aminotransferase
ASL	above sea level
AWI	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
BCM	Body Cell Mass
BCMI	Body Cell Mass Index
BIA	bioelektrische Impedanzanalyse
BMI	Body Mass Index
CTBTO	Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty
ECW	Extracellular water
EPICA	European Project for Ice Coring in Antarctica
EPO	Erythropoietin
ESA	European Space Agency
FFM	Fettfreie Masse
FM	Fettmasse
GU	Grundumsatz
Hb	Hämoglobin
HDL	high density lipoprotein
Hk	Hämatokrit
ICSU	International Council for Science
ISS	International Space Station
LDL	low density lipoprotein
LEP	Leptin
NASA	National Aeronautic and Space Administration
PA	phase angle
Rz	Resistanz
sTfR	soluble transferrin receptor
TBW	Total Body Water
TSH	Thyreoidea stimulierendes Hormon
ÜWI	Überwinterer

Xc

Reaktanz

Z

Impedanz

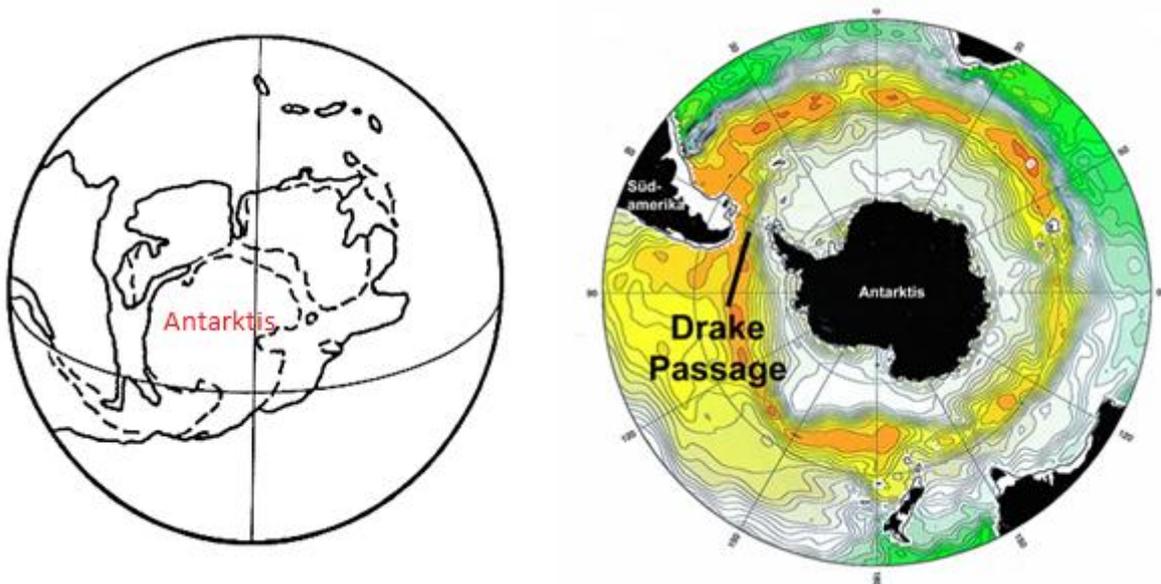
ZWMB

Zentrum für Weltraummedizin Berlin

# 1. Einleitung

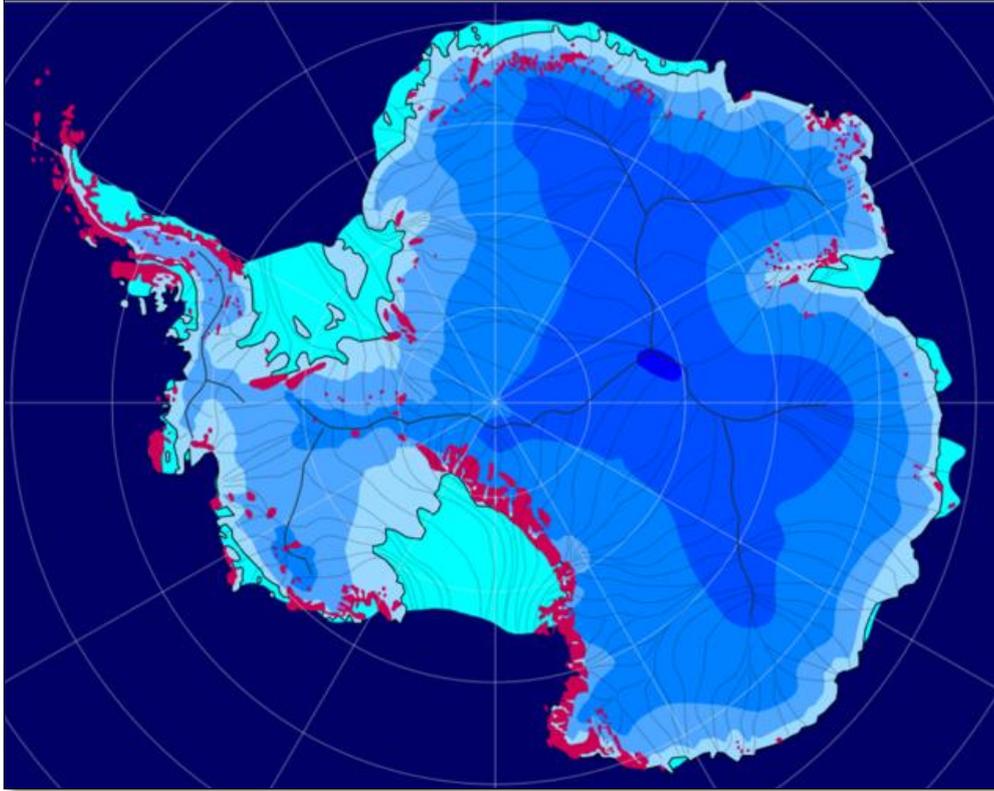
## 1.1 Antarktis

Vor über 170 Millionen Jahren gehörte die Antarktis zu den Landflächen des Urkontinents Gondwana. Im Zeitalter des Paläozäns vor etwa 65 Millionen Jahren bestimmte ein eher tropisch bis subtropisches Klima die Antarktis. Infolge des Kontinentaldrifts gelangte die Landmasse der Antarktis langsam nach Süden und in eine Umgebung, welche die Voraussetzung für das heutige Erscheinungsbild ist. Die Entstehung der Drakestraße während des Oligozäns und Miozäns erzeugte einen Zirkumpolarstrom, welcher die charakteristische Veränderung und damit die Grundlage der Vereisung bildete [1].



*Abbildung 1: Entstehung der Antarktis; links: Antarktis im Oligozän [2], rechts: Zirkumpolarstrom (orange Färbung) um die Antarktis und Drakestraße (heute) [3]*

Seit nunmehr fünf Millionen Jahren wird die Antarktis von einer dicken Eisschicht bedeckt. Sie umfasst die Land- und Meeresgebiete um den Südpol, erstreckt sich bis zum südlichen Polarkreis ( $66^{\circ}33'$  südliche Breite) und umfasst geographisch betrachtet mit Schelfeis und Inseln eine Fläche von  $13.661.000 \text{ km}^2$  [4].



*Abbildung 2: Ausdehnung und Struktur des antarktischen Eisschildes; türkisfarben: Schelfeis; rote Bereiche: nicht von Eis bedeckt (2,8 % der Gesamtfläche) dunkler werdende Blautöne zeigen die Eisdicke in Schritten von 1000 m, die Linien stellen die Eisscheiden und Fließlinien des Eises dar [3]*

Die Durchschnittstemperatur im antarktischen Inland liegt bei  $-55^{\circ}\text{C}$ , die Temperaturen sind jedoch stark jahreszeitlich witterungs- und lichtabhängig. So wurden in der Polarnacht schon Werte unter Minus  $80^{\circ}\text{C}$  gemessen ( $-89,2^{\circ}\text{C}$  niedrigste je in freier Natur registrierte Temperatur, erhoben am 21.07.1983 auf der sowjetischen Wostok-Station) [5-6] und an Sommertagen in Küstennähe Temperaturen über dem Gefrierpunkt verzeichnet. Die geographische Lage, unmittelbar den Südpol umfassend, birgt den Aspekt monatelanger Phasen der Dunkelheit beziehungsweise der Helligkeit, da die Rotationsachse der Erde in diesen Gebieten Phänomene wie Mitternachtssonne und Polarnächte hervorruft. Dadurch, dass der Kontinent zu 98% von Eis bedeckt ist, dessen weiße Fläche den größten Teil der einstrahlenden Sonnenenergie reflektiert, kommt es zu einer hohen Wärmeabstrahlung ins All (Albedo). Durch die zusätzlich vorherrschende dünne Troposphäre werden die extrem niedrigen Temperaturen erreicht und dies lässt die Antarktis als trockenste und kälteste Wüste der Welt gelten. Dennoch ist sie kein lebensarmer Raum, vielmehr existiert dort aquatisch betrachtet das nahrungsreichste Ökosystem der Welt, durch große Krillvorkommen, die eine umfangreiche Artenvielfalt von Fischen, Walen,

Robben über Pinguine sowie zahlreiche Meeresvögel ermöglicht. Zudem besteht auch terrestrisch eine widererwartend reiche Fauna und Flora, welche größtenteils Moose und Flechten sowie zwei Blütenpflanzen beherbergt [7].

## **1.2 Entdeckung der Antarktis**

Im Jahr 1773 durchquerte James Cook wahrscheinlich als erster den südlichen Polarkreis, wurde jedoch durch auftretendes Packeis an der Sichtung der Antarktis gehindert. Es existieren allerdings Hinweise, dass schon einige Jahrhunderte zuvor Menschen die Antarktis gesichtet haben müssen, da auf gefundenem Kartenmaterial die *Terra australis* aufgetragen war, die mit heutiger Kenntnis über ihre geologisch-geographische Formation, mit den alten Aufzeichnungen übereinstimmen [8]. Die eigentliche Entdeckung der Antarktis um 1820 ist nicht mit Sicherheit einem Abenteurer zuzuordnen, vielmehr gibt es Berichte, dass sowohl Kapitän Fabian von Bellinghausen, Kapitän Edward Bransfield und der Robbenjäger Nathaniel Palmer innerhalb weniger Wochen im gleichen Jahr die Antarktis zu Gesicht bekommen haben sollen. Ein Jahr später, am 7. Februar 1821, betrat der amerikanische Robbenjäger John Davis als erster den antarktischen Kontinent.

Im Jahr 1895 verabschiedete der 6. Internationale Geographische Kongress in London eine Resolution, welche die Wissenschaftler dieser Welt ermutigte eine Expedition in die 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*“ [9]. Von diesem Zeitpunkt an startete das große „Wettrennen“ um das erstmalige Erreichen des Südpols. So lieferten sich die beiden Abenteurer, der Norweger Roald Amundsen und sein britischer Mitstreiter Robert Falcon Scott, einen erbitterten Kampf um die Eroberung dieses noch „weißen Flecks“ auf der Landkarte. Am 14. Dezember 1911 erreichte Amundsen als Erster und genau einen Monat vor seinem Konkurrenten Scott den Südpol. Die Expedition um Scott kam auf dem Rückweg in einen Schneesturm, der alle Expeditionsmitglieder das Leben kostete [10].

Die bis heute wohl beispieleloseste Mission leitete Sir Ernest Henry Shackleton, als er mit seiner „Imperial-Trans-Antarctic-Expedition“ (1914-1916) versuchte, den antarktischen Kontinent zu durchqueren. Die Mission scheiterte im Jahr 1915 als sein Schiff - Endurance - 1200 Meilen vom Südpol und dem nächsten bekannten Außenposten entfernt, im Packeis stecken blieb und innerhalb von neun Monaten, durch dieses zerstört wurde. Die Besatzung schlug anfangs auf treibendem Packeis Quartier, um auf den Eisschollen das offene Meer zu erreichen. Denn nur so war es möglich die Rettungsboote relativ sicher zu Wasser zu lassen und die nächstgelegene Insel „Elephant-Island“ anzusteuern, von wo aus eine Rettung möglich war. Am 24. April 1916

brach dann Shackleton mit dem größten Beiboot und fünf Mann Besatzung zum 1200 km entfernten Südgeorgien auf, um Hilfe für seine Mannschaft zu holen. Erst 21 Monate nach Expeditionsbeginn und vier gescheiterten Versuchen gelang es ihm die gesamte Mannschaft aus den Gefahren der antarktischen Kälte, dem Nahrungsmangel, der Isolation und der damit verbundenen Hoffnungslosigkeit auf Überleben zu retten [9-12].

Es folgten weitere Expeditionen durch namhafte Entdecker, wie die des amerikanischen Konteradmiral Richard E. Byrd, der zwischen 1928 und 1956 fünf Expeditionen in die Antarktis unternahm und als erster am 28./29.11.1929 den Südpol überflog und damit Meilensteine für die moderne Kartierung und Erkundung des weißen Kontinents legte [13-14]. Vivian Fuchs gelang vom 24. November 1957 bis zum 2. Mai 1958 die Durchquerung der Antarktis. Die „*British Commonwealth Transantarctic Expedition*“ verlief vom Weddell-See zum Ross-See über den Südpol. Fuchs wurde durch ein zweites Team unter der Leitung Edmund Hillarys unterstützt. Bei der Durchquerung legte Fuchs 3440 km in 99 Tagen zurück. Er erhielt dafür von Königin Elisabeth den Ritterschlag und erfüllte Shackletons Traum [15].

Vom Juli 1989 bis März 1990 durchquerte ein internationales Team, bestehend aus englischen, französischen, amerikanischen, chinesischen, japanischen und russischen Teilnehmern, mit dem Titel „*Transantarctica*“ unter der Führung von Jean-Louis Etienne und Will Steger, eine Strecke von 6300 km von Seal Nunataks bis nach Mirny. Diese Expedition gilt als längste mit Hundeschlitten unternommene Antarktis-Durchquerung [16]. Zur gleichen Zeit durchquerten auch Reinhold Messner und Arved Fuchs den antarktischen Kontinent zu Fuß. Damit wurde Arved Fuchs zum ersten Menschen, der beide Pole innerhalb eines Jahres durchlief [17]. In den Jahren 1992/1993 und 1996/1997 folgten Einzeltouren zum Südpol (E. Kagge) und durch den antarktischen Kontinent (B. Ousland) [18].

Diese Aufzählung ausgewählter Expeditionen ist nur eine kleine Auswahl und ein Ende der Erforschung und Durchquerung noch lange nicht erreicht. Vielmehr scheint sich eine Art Extremsportart zu entwickeln, welche das Erreichen dieses Gebiets mit allen nur denkbaren Mitteln und Möglichkeiten, auf der Jagd nach neuen Rekorden und Leistungen, zum Ziel hat.

### **1.3 Besiedlung der Antarktis**

Mit dem „Internationalen Geophysikalischen Jahr“ vom 1. Juli 1957 bis 31. Dezember 1958 unter der Leitung des „*Council of Scientific Unions (ICSU)*“, wurde der Grundstein für die heutige Polarforschung gelegt. Diese Zeitspanne diente der weltweiten Forschung auf den Gebieten der Seismologie, Glaziologie, Meteorologie, Ozeanographie, Sonnenfleckenforschung, der Physik der Ionosphäre, kosmischen Strahlung und des Geomagnetismus, um sowohl mehr

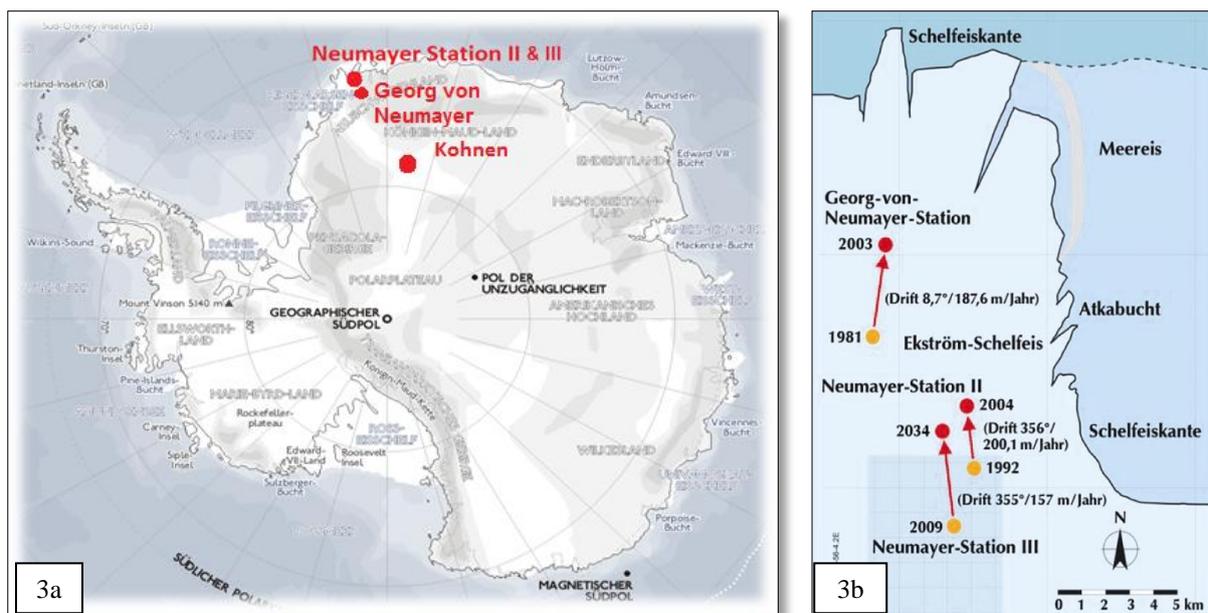
Informationen über die Atmosphäre und den Weltraum zu erlangen, als auch das Wettrennen um die Landeinnahme in der Antarktis zu entspannen [19-20]. Innerhalb dieses Forschungsjahres wurden einige Stationen im antarktischen Inland errichtet, unter anderem die Amundsen-Scott-Südpolarstation, benannt nach den beiden Polentdeckern [6].

Gegenwärtig gibt es mehr als 80 Forschungsstationen in der Antarktis, von denen etwa die Hälfte auch ganzjährig betrieben wird. Die meisten liegen in unmittelbarer Nähe zum Meer, was die Versorgung logistisch einfacher gestaltet. Im Sommer befinden sich etwa viertausend Menschen auf allen Forschungsstationen, im Winter sind es lediglich eintausend. Davon gehört jedoch nur ein kleiner Prozentsatz zu den Forschern im eigentlichen Sinne, den Großteil machen Techniker und Ingenieure aus, welche für das problemlose Funktionieren der Stationen und die umfangreichen Wartungsarbeiten zuständig sind [19].

#### **1.4 Deutsche Südpolarstationen**

Deutschland betreibt eine ganzjährig besetzte Südpolarstation, die Neumayer-Station sowie eine nur im Sommerhalbjahr betriebene Station - Kohlen. Die Entstehung einer deutschen Forschungsstation in der Antarktis begann im Jahre 1977, als die Bundesrepublik Deutschland beschloss, die bereits existenten Forschungsprojekte in der Arktis und Antarktis durch eine kontinuierliche Forschung innerhalb einer festen und ganzjährig besetzten Station in der Antarktis zu vervollkommen. In der Mitte der achtziger Jahre entwickelte sich in Bremerhaven, am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), die Planung und Umsetzung des Projektes: Forschungsstation. Als Lokalisation sollte ein noch relativ unerforschtes Gebiet auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis in der Weddell-See gewählt werden. Die schwer zugängliche und sehr hohe Schelfeiskante erlaubte, auch nach wiederholten Prüfungen, keinen optimalen Anlegeplatz für die künftig notwendige Versorgung der Station durch die Forschungsschiffe. So entschloss man sich 1980/81 für die Errichtung der ersten deutschen Südpolarstation auf dem Ekström-Schelfeis in der Atka-Bucht, etwa 1500 km nordöstlich des ursprünglich geplanten Standortes. Am 24. Februar 1981 wurde die erste deutsche Südpolarstation „Georg-von-Neumayer“ offiziell ihrer Bestimmung übergeben [21].

Im Jahr 1992 wurde diese erste deutsche Antarktisstation durch ihre Nachfolgerin die Neumayer-Station II ersetzt, da der jährliche Schneezutrag die Stabilität der alten Station nicht mehr gewährleistete. Die zweite deutsche Südpolarstation befindet sich in der Atka-Bucht 70°39'S 8°15'W im Ekström-Schelfeis des nordöstlichen Weddell-Meeress. Die Forschungsstation Neumayer II ist mittlerweile sechzehn Jahre alt und wurde im Februar 2009 durch die überirdische Nachfolgerstation Neumayer III ersetzt.

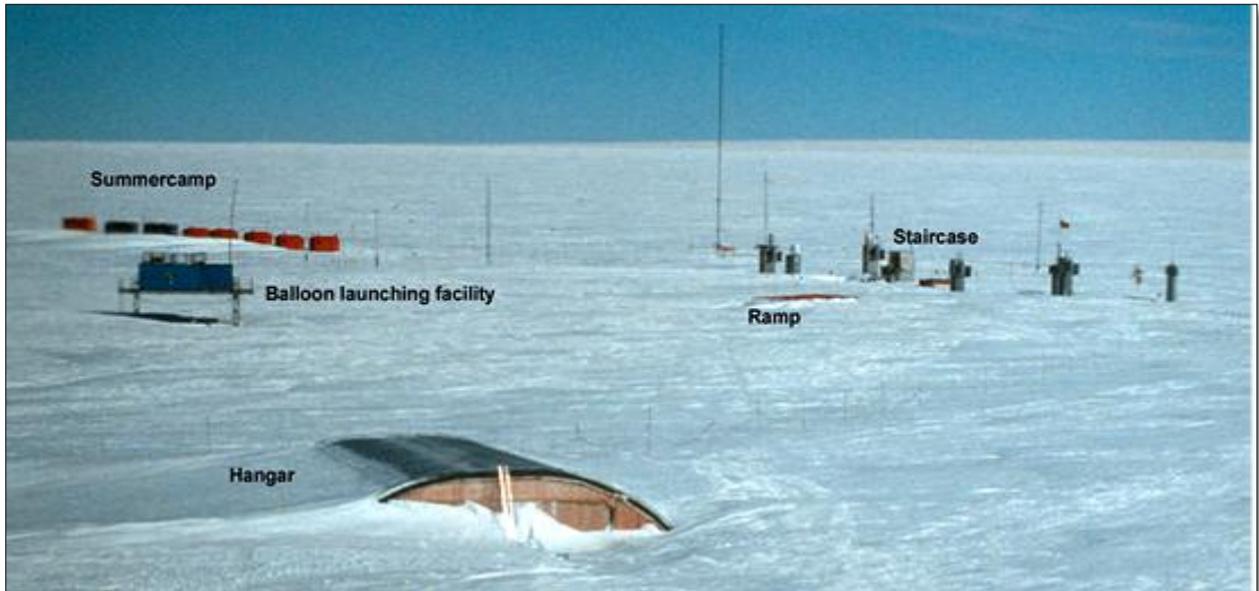


**Abbildung 3: Lage der deutschen Forschungsstationen:** Georg-von-Neumayer-Station, Neumayer-Station II und III sowie die höher gelegene Sommerstation Kohlen (2892m ASL), auf dem antarktischen Kontinent (3a); Lage der ehemaligen und aktuellen Neumayer-Stationen zueinander (3b) entlang der Schelfeiskante und deren Drift auf dem Eis [3, 22]

Wie schon die Georg-von-Neumayer-Station besteht Neumayer II auch aus einer unterirdischen Röhrenkonstruktion, welche sich in circa dreizehn Metern Tiefe im Packeis befindet. Die Besetzung in der ganzjährig betriebenen Station im antarktischen Winter umfasst neun Mitarbeiter aus verschiedenen Fachrichtungen, während in den Sommermonaten Platz für bis zu fünfzig Personen und Wissenschaftler ist. Unter der Schirmherrschaft des Alfred-Wegener-Institutes dient die Station vor allem luftchemischen, geophysikalischen und meteorologischen Forschungsschwerpunkten, aber auch Ozonmessungen, seismographische und biologische Themenschwerpunkte werden dort bearbeitet. Bisher wurden medizinische und humanphysiologische Untersuchungen jedoch nur am Rande und im Rahmen der allgemeinen Überwachung des gesundheitlichen Status der Überwinterer durchgeführt.

Die Station beinhaltet Schlafräume, eine Messe, die als Aufenthalts- und Gemeinschaftsraum dient, an der sich die Küche anschließt, eine Krankenstation mit Operationseinheit und zahnmedizinischen Einrichtungen, Werkstätten sowie weitere Einheiten, welche die technische und logistische Verwaltung der Station darstellen. Durch die schweren Wetterbedingungen ist eine Rettung in Notsituationen während der Wintersaison unmöglich, da das Landen von Flugzeugen oder das Erreichen mit Schneefahrzeugen von anderen Stationen zu gefährlich ist. Selbst in den Sommermonaten kann dies unter Umständen Tage bis Wochen dauern. Daher sind

die Wissenschaftler und Techniker, welche sich während einer Überwinterungskampagne für ca. 15 Monate auf der Station befinden, innerhalb der Wintersaison für neun Monate sich selbst überlassen - isoliert. Lediglich durch eine Internetverbindung und ein Sattelitentelefon ist der Kontakt zur Außenwelt möglich.



*Abbildung 4: Georg- von- Neumayer-Station (erste deutsche Antarktisstation) im Jahr 1989. Die Flugzeughalle (Hangar) ist fast vollständig unter dem Schnee begraben. Lüftungs- und Ausstiegsschächte (Ramp, Staircase) in der Bildmitte rechts lassen die Lage der Station unter dem Schnee erkennen. Hinter der Ballonfüllhalle des meteorologischen Observatoriums (Bildmitte links) sind die orangefarbenen Hütten der Rettungsstation und der Sommergäste (Summercamp) zu erkennen [3]*



**Abbildung 5: Neumayer-Station II** (zweite deutsche Antarktisstation) im Jahr 2007. Blick aus Süd nach Nord. Im Vordergrund die orangeroten Hütten der Rettungsstation, im Hintergrund die Treppenhäuser (Ost und West), Antennen und Lüftungsschächte. Die Lage der beiden parallelen Röhren erstreckt sich Richtung Norden ausgehend von den Treppentürmen. Am Horizont befindet sich die Schelfeiskante [3].



**Abbildung 6: Neumayer-Station III** (dritte deutsche Antarktisstation) Februar 2009, erste überirdische deutsche Forschungsstation in der Antarktis [3]

Die Kohlen-Station ist eine weitere deutsche Forschungsstation im Inneren des antarktischen Kontinents mit einer geographischen Lage von  $75^{\circ}00'S$ ,  $00^{\circ}04'O$ . Diese liegt 2892 m über dem

Meeresspiegel, wird jedoch nur in den Sommermonaten aktiv betrieben und bietet Raum für bis zu 20 Personen. Sie wurde im Jahr 2001 eröffnet und dient vor allem für Eisbohrungen zu Forschungszwecken des „*European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA)*“, um Klimabedingungen der letzten hunderttausend Jahre im Gebiet der Antarktis zu rekonstruieren [23]. Das erfordert eine regelmäßige Wartung der Station sowie Bohrungen während der Winterzeit. Deshalb ist es notwendig, dass die Besatzungen der Neumayer-Stationen in regelmäßigen Abständen Expeditionen nach Kohnen unternehmen, um dieses Projekt zu unterstützen. Eine solche Reise erfordert eine detaillierte Planung und Durchführung, da die beiden deutschen Stationen etwa 757 km auseinander liegen und es je nach Wetterlage mit einem Schneefahrzeug neun bis vierzehn Tage dorthin braucht. Unvorhersehbare Zwischenfälle, sowie ständige Kälte und wechselnde Wetterbedingungen stellen große Anforderungen an physische und psychische Belastungsgrenzen [3].



*Abbildung 7: Kohnen Station; In 2892m Höhe (ASL) gelegene deutsche Sommerstation in der Antarktis [3]*

## **1.5 Thematik und Fragestellung**

Studien in der Antarktis dienen als etabliertes Modell bei der Erforschung von Menschen in extremer Umwelt und Missionen ins All, zur Betrachtung physischer und psychischer Prozesse in deren Adaptation und Anpassung [24]. Die Antarktis, als Beispiel einer extremen Umwelt, bietet viele Analogien zu anderen Forschungsszenarien, die nicht nur technischer Natur sind, da sich der Mensch in den entsprechenden, ungewohnten Umgebungen vor allem mit Veränderungen im Sinne der Isolation und Enge arrangieren muss. Häufig auftretende

Komplikationen bei Langzeitaufenthalten in der Antarktis sind u.a. Veränderungen des Wohlbefindens, physischer und psychischer Stress, Schlaflosigkeit sowie gastrointestinale Beschwerden [25]. Diese Studie ergänzt Forschungen in ähnlichen Extremsituationen wie in Tiefseelaboratorien, Minen, Bohrinseln oder an Soldaten, Polizisten und Mitarbeitern von technischen Hilfswerken in Auslandseinsätzen sowie an Astronauten im All. Dennoch ist festzustellen, dass es nur ein sehr begrenztes Wissen insbesondere zur Physiologie des Menschen unter extremer Isolation und Beengtheit gibt [26]. Deshalb wurde gerade in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten verstärkt auf diesem Gebiet – vor allem durch in der bemannten Raumfahrt tätige Nationen – geforscht wie z.B. die NASA (National Aeronautics and Space Administration) und ESA (European Space Agency) mit ihren Forschungskampagnen ISEMSI-90, EXEMSI-92, Biosphere-2, Hubbles-94, SFINCCS-99, BIOS-3, NEEMO, Concordia und aktuell MARS500 [27]. An diesen genannten Studien beteiligten sich Physiologen des Zentrums für Weltraummedizin, Berlin (ZWMB) mit ihren jeweiligen Forschungsschwerpunkten. Damit sollen die Auswirkungen zukünftiger Langzeitaufenthalte in Weltraumstationen, wie der internationalen Raumstation (ISS) oder während des geplanten Marsfluges 2032, verstanden und verbessert werden. All diese Studien haben zum Ziel, die Beziehung zwischen der Persönlichkeit und der Bewältigung vom Leben in extremer Umwelt für zukünftige Weltraummissionen zu untersuchen, um geeignete Auswahlverfahren zu gestalten, psychologische Aspekte zu integrieren und die Teilnehmer für ihre Missionen optimal zu trainieren und vorzubereiten, da die Stressoren dieser „Natur“, wie lebensfeindliche Umgebung und soziale Isolation, mit denen im All vergleichbar sind [28].

Menschen in antarktischen Forschungsstationen sind zum Teil vollständig isoliert in der kältesten und damit in einer der menschenfeindlichsten Umgebung unserer Erde. Ein Überleben ist nur deswegen möglich, weil entsprechend ausgebildetes Personal eingesetzt ist, das natürlich auch nur bis zu einem gewissen Grad Hilfe leisten kann. Die Besonderheit einer Überwinterung, mit der speziellen Realsierung der Nahrungsmittelbereitstellung, der Energieversorgung zur Erstellung des Klimas innerhalb der Station, die Bedingungen extremster Temperaturen mit Stürmen und Sastrugis, veränderten Lichtphasen im saisonalen Verlauf, die technische Ausrüstung und das Leben auf begrenztem Raum verdeutlicht die Ähnlichkeit zum Leben in einer Weltraumstation wie der ISS. Neben diesen Widrigkeiten solcher Unternehmungen in der Antarktis sind nicht allein die Wetterbedingungen das Problem, sondern vielmehr die Einsamkeit in der Isolation und die damit einhergehenden Depressionen und psychischen Belastungen, die ein langer Aufenthalt in sich birgt [29]. Die Überwinterer sind auf sich selbst gestellt, was den

Umgang mit Gefahren, Konfliktsituationen, Monotonie und Isolation betrifft. Umso wichtiger ist zu Beginn einer Mission die gezielte Auswahl der Crewmitglieder einer jeden Überwinterungskampagne zu treffen. Aus diesem Grund haben die meisten Nationen, die eine Station in der Antarktis oder ähnliche Forschungsprojekte betreiben, spezielle Programme entwickelt, mit denen die physische und psychische Eignung der Teilnehmer evaluiert wird [30]. Jedoch treten trotz der sorgfältigen Auswahl der Teilnehmer, crewinternen Gesprächen und der evaluierten Abschätzung auf Teamfähigkeit immer wieder Auseinandersetzungen und Ausgrenzungen innerhalb der Gruppen auf. Diese bedingen im Einzelfall eine „**Isolation in der Isolation**“ mit den entsprechenden zusätzlichen Belastungen für das Individuum aber auch für die Gruppe. Dazu passend ein Zitat des österreichischen Schriftstellers und Aphoristikers Alfred Polgar: „Wenn dich alles verlassen hat, kommt das Alleinsein. Wenn du alles verlassen hast, kommt die Einsamkeit.“ Das Alleinsein ist dadurch charakterisiert, dass eine Person oder eine Gruppe einen gewollten Rückzug aus dem normalen gesellschaftlichen Umkreis vornimmt, wie beispielsweise eine Isolation innerhalb des Projekts „Überwinterung in der Antarktis“. Während Einsamkeit eine Situation darstellt, in welcher eine Person unfreiwillig eine Ausgrenzung aus dem normalen gesellschaftlichen Umfeld erfährt, was ein negatives Gefühl hervorruft, welches bis hin zur Depression führen kann [31].

Die vorliegende Untersuchung wurde durchgeführt, um speziell die hiermit verbundenen physiologischen Veränderungen der Körperzusammensetzung, des Metabolismus sowie verschiedener Hormone, die an der Regulation des Stoffwechsels und des roten Blutbildes beteiligt sind, beim Menschen unter Langzeitisolation und Beengtsein (confinement) zu ermitteln. Hierzu wurden die Überwinterer auf der deutschen Antarktisstation Neumayer II des AWI in den Jahren 2005, 2006 und 2007 untersucht. Bei diesen Überwinterungen waren die beteiligten Personen vergleichbaren räumlichen, zeitlichen und operationellen Bedingungen in der Neumayer-Station II ausgesetzt, die Zeitreihenanalyse über jeweils 15 Monate und Vergleiche zwischen den Überwinterungskampagnen konnten so ermöglicht werden. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass durch die langen Hell- bzw. Dunkelphasen, die Isolation, das Beengtsein und die daraus resultierenden Aktivitätszu- und -abnahmen, Veränderungen z.B. im Körpergewicht, in der Körperzusammensetzung sowie in verschiedenen Hormonen, die im Zusammenhang mit dem Fettstoffwechsel und der Erythropoiese stehen, nach sich ziehen.

## 2. Methodik

### 2.1 Geographische Lage der Polarstation

Die deutsche Südpolarstation Neumayer II befindet sich in der Atka-Bucht  $70^{\circ}39'S$   $8^{\circ}15'W$  im Ekström-Schelfeis, des nordöstlichen Weddell-Meeress der Antarktis (siehe Abb. 3). An dieser geographischen Position erstreckt sich die Polarnacht vom 24. Mai bis zum 22. Juli sowie einigen Wochen davor und danach, an dem ein Dämmerlicht herrscht. Dies ist ein Phänomen der Polargebiete, welches durch die Erdachsenneigung von  $23,27^{\circ}$  verursacht wird und ein Aufsteigen der Sonne über den Horizont für mehrere Tage bis zu einem halben Jahr (an den Polen) verhindert [32].

Die Station ist auf 200 Meter dickem, nahezu ebenem Schelfeis, das vollständig mit Schnee bedeckt ist, gelegen. Ursprünglich wurde die Station ebenerdig aufs Eis gesetzt, mittlerweile befindet sie sich in 13 Meter Tiefe, da der jährliche Schneezutrag die Station verdeckt. Dies führt dazu, dass diese unterirdische Konstruktion nur einen begrenzten Zeitraum bewohnbar ist, da mit der Zeit der Druck des „fließenden“ Eises die Station zerstört.<sup>1</sup>

### 2.2 Neumayer-Station II

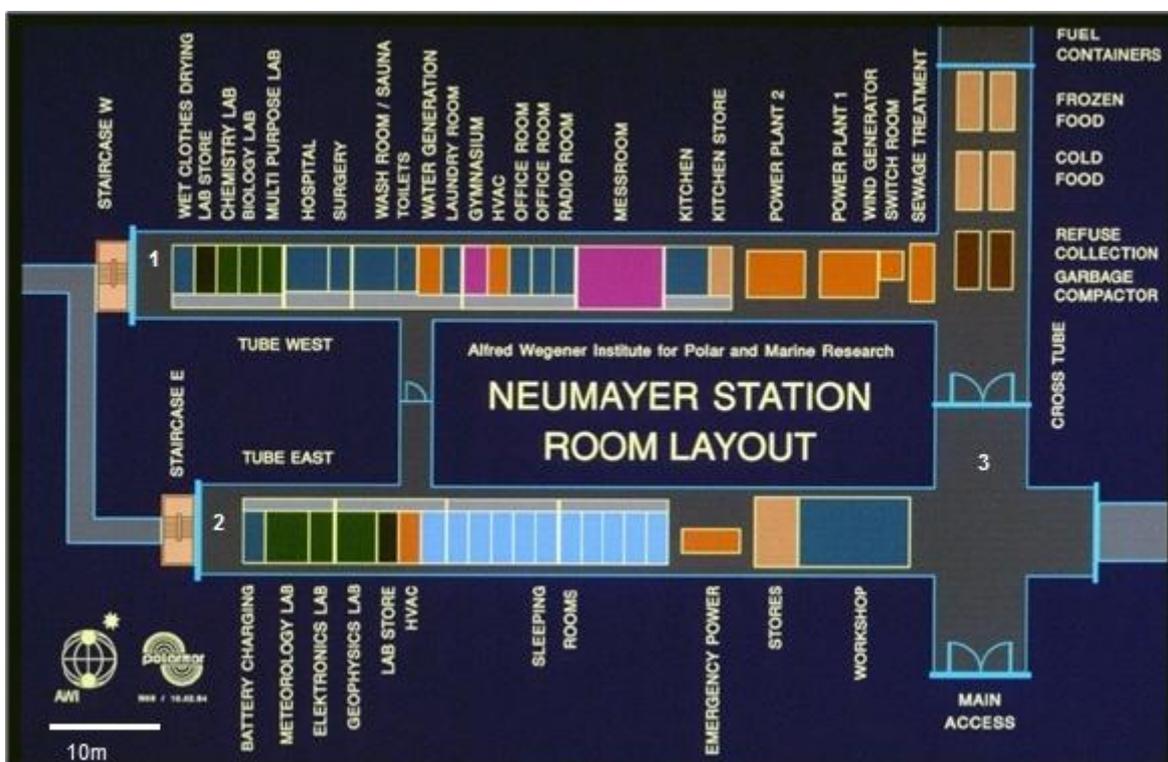
Die Station Neumayer II besteht aus einer Röhrenkonstruktion, wobei zwei parallel verlaufende Stahlröhren (Ost- und Weströhre) mit jeweils 90 Meter Länge und etwa 6 Meter Durchmesser durch einen Gang miteinander verbunden sind (siehe Abb. 8). Über zwei Treppentürme ist ein Aufstieg nach draußen möglich. Herkömmliche Schiffscontainer dienen als nutzbare Raumfläche im Inneren der Röhren. Die beiden parallelen Röhren sind abschnittsweise klimatisiert und enthalten die Container für Schlafräume, Laboratorien, Küche, Aufenthaltsraum (Messe), Werkstatt, Krankenstation, Operationssaal, Funkraum und Schneeschmelze. Eine dritte senkrecht zu den beiden anderen verlaufende Röhre umfasst die Kühllager, Müllentsorgung und -lagerung sowie die Fahrzeughalle der Station. Jeder Überwinterer bewohnt ein eigenes Zimmer, welches etwa neun Quadratmeter umfasst und die einzige Rückzugsmöglichkeit in seine Privatsphäre darstellt.

Die Versorgung mit Wasser erfolgt über eine Schneeschmelze, die regelmäßig von den Bewohnern befüllt und durch die aus der Abwärme der Station gewonnene Energie betrieben wird. Der Schmelzcontainer fasst 4000 Liter, es stehen jedoch zwei weitere Vorrattanks mit à

---

<sup>1</sup> In der Zwischenzeit wurde deshalb diese Station nach dem Abschluss dieser Studien 2009 aufgegeben und im Februar 2009 die neue überirdische Neumayer Station III in Betrieb genommen.

2000 Liter zur Verfügung [33]. Da die Jahreshöchsttemperaturen in der Antarktis selten über Null Grad liegen, ist die Bedeutung der Energieversorgung in dieser lebensfeindlichen Umgebung umso wichtiger. Die Klimaregulation und Stromversorgung in den Wohn- und Arbeitsräumen wird zum einen durch die Isolationswirkung des Eises und zum anderen durch ein Kraft-Wärme-Kopplungssystem auf der Grundlage von Dieselgeneratoranlagen gewährleistet. Insgesamt sind drei Dieselgeneratoren in getrennten Kraftzentralen installiert. Zwei Hauptmaschinen sind jeweils in der Lage, den Energiebedarf der Station zu decken und werden abwechselnd betrieben, ein dritter kleiner Generator dient dem Notbetrieb bei Ausfall beider Hauptmaschinen. Eine biologische Kläranlage, die den Vertragsvorgaben der Antarktis entspricht, entsorgt die Abwasser aus der Station [33].



**Abbildung 8: Neumayer-Station II, Lageplan der Einbauten:** Architektonisch ist Neumayer II eine aus drei Röhren bestehende Konstruktion, wobei zwei parallel verlaufende Stahlröhren (1&2) mit jeweils 90 Meter Länge die Container für Schlafräume, Laboratorien, Küche, Werkstatt, Krankenstation, Operationssaal, Funkraum und Schneeschmelze beinhaltet sind. Die dritte (3), senkrecht dazu verlaufende Röhre dient der Unterbringung der Vorratsräume, Abfallcontainer und der Stellplätze für Fahrzeuge und ist nicht klimatisiert. Eine kleine, vierte senkrechte Röhre stellt die Verbindung zwischen den beiden klimatisierten Röhren her [3].

Zusätzlich wurden in unmittelbarer Nähe zur Station orangefarbene „Kabassen“ aufgestellt, jene sind mit sechs Betten sowie einem Erste-Hilfe-Koffer, Nahrung, GPS-Gerät, Funk und Polarkleidung ausgestattet und dienen im Fall einer Havarie (v.a. Brände) innerhalb der Station als Notunterkunft sowie im Sommer als Wohnstätte der Gastwissenschaftler und Techniker.

### **2.3 Hintergrund der Studie und Auswahl der Überwinterungsteams**

Im Rahmen der jährlichen Überwinterungskampagnen der deutschen Südpolarstation, unter der Schirmherrschaft des Alfred-Wegener-Institutes für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven (AWI), wurden drei aufeinander folgende Gruppen betrachtet, die sich jeweils in einem Umfang von ca. fünfzehn Monaten auf der antarktischen Forschungsstation Neumayer II befanden, dort überwinterten und sich mit zugeteilten Tätigkeiten und Forschungsaufträgen befassen. Der betrachtete Zeitraum umfasst die Überwinterungs-Kampagnen der Jahre 2005, 2006 und 2007. Jedes Überwinterungsteam wurde nach einer Stellenausschreibung, welche etwa zwei Jahre im Voraus veröffentlicht wurde, durch das AWI zusammengestellt. Es wurden physisch keine sportlichen Hochleistungen von den Teilnehmern gefordert, dennoch setzte eine arbeitsmedizinische Untersuchung eine gewisse leistungsphysiologische Fitness voraus, die im Vorfeld mittels ergometrischer Tests nach WHO-Kriterien beurteilt wurde. Obwohl die Aufgabenfelder auf der Neumayer-Station sehr komplex sind, war in erster Linie die Motivation für eine Überwinterung maßgebend. Zur spezifischen Vorbereitung auf die ungewohnte Umgebung wurde ein zweiwöchiger Bergsteiger- und Katastrophenkurs in den Alpen absolviert, bei dem täglich die Belastbarkeit in Kälte, die Rettungstechnik am Seil aus Stürzen in Gletscherspalten sowie das Verhalten im Team auf engem Raum getestet wurden. Erst nach diesem praktischen Training und einem persönlichen Gespräch zur eigenen und Team-Einschätzung, wurde die endgültige Gruppe von neun Teilnehmern für die fünfzehnmonatige Überwinterung auf Neumayer II festgelegt.

### **2.4 Zusammensetzung der Überwinterungsteams**

Ein Team von Überwinterern setzt sich grundsätzlich aus neun Teilnehmern zusammen. Der Aufenthalt im Jahr 2005 umfasste ein rein männliches Team, während in den beiden anderen Überwinterungs-Kampagnen jeweils ein gemischtes Team an der Überwinterung teilnahm. Im Jahr 2006 nahmen jedoch nur insgesamt sechs Überwinterer an der freiwilligen Studie teil, davon waren vier Probanden Frauen und zwei Männer. Aus der Kampagne 2007 waren alle Überwinterer: vier Frauen und fünf Männer, als Probanden beteiligt.

Jedes Team besteht aus einem Stationsleiter, welcher durch einen Arzt besetzt wird, der eine Facharztausbildung für Chirurgie sowie eine Weiterbildung für Innere Medizin und Fachexpertise zur Notversorgung zahnmedizinischer Eingriffe vorweisen muss. Dieser ist sowohl für die logistische und personelle Organisation, die Stationsleitung als auch für die medizinische Versorgung vor Ort zuständig. Er war am stärksten in die Forschungsarbeit eingebunden, da die Einweisung der Messmethoden vor Ort, die Blutentnahmen, die Bearbeitung und Versendung der Kreislauf- und Bioimpedanzdaten von ihm übernommen wurden. Eine Einweisung und Schulung zur Handhabung der verwendeten Messgeräte wurde mit dem jeweiligen Stationsarzt vor der Überwinterung in Berlin im ZWMB des Instituts für Physiologie, durchgeführt. Ein Techniker, ein Elektriker und ein Elektroniker sind zur Instandhaltung der technischen Ausrüstung auf der Station angestellt. Weiterhin sorgt ein Koch über die gesamte Zeit für die Versorgung der neun Überwinterer und in den antarktischen Sommermonaten auch für die der Gastwissenschaftler und Bauteams. Zu den eigentlich wissenschaftlichen Mitarbeitern zählen ein Luftchemiker, ein Meteorologe sowie zwei Geophysiker. Jeder Überwinterer bekommt auf der Station spezielle Aufgaben zugewiesen, welche vor den Kampagnen festgelegt und in welche er durch den jeweiligen Vorgänger (Alt-Überwinterer) eingewiesen wird. Außerdem bearbeitet jeder seine persönlichen Forschungsvorhaben während des Aufenthaltes in der Antarktis. Daneben hat jedes Teammitglied gleichermaßen an den alltäglichen Aufgaben und Erledigungen teilzunehmen, welche für das reibungslose Funktionieren der Station unabdingbar sind.

## **2.5 Ausrüstung**

Der größte Teil der Überwinterung spielte sich in der Station ab. Zwar waren trotz der unterirdischen Lage der Station Gänge nach draußen uneingeschränkt möglich, aber von den Wetterbedingungen abhängig waren. Innerhalb der Dunkelheit, während Mittwinter (Polarnacht), waren Außenaufenthalte sowie der Umfang der täglichen Arbeiten, aufgrund der Lichtverhältnisse und Temperaturen, deutlich reduziert. Ein Außenaufenthalt in dieser Jahreszeit erhöhte die Möglichkeit eines Orientierungsverlusts und damit resultierend Gefahren von Verletzungen durch Stürze und Erfrierungen. Daher spielte eine Ausrüstung im Sinne von optimaler Kleidung für die speziellen Wetterbedingungen, aber auch Pakete zur ersten Hilfe bei Unfällen in Außeneinsätzen eine große Rolle. Zu den Ausrüstungsgegenständen und Kleidungsstücken gehören daher unter anderem: je 2 Polaranzüge (Tempex<sup>®</sup>), Daunenjacken, 2 Blaumänner, Thermounterwäsche, Woll- und Fleecesachen, 2 Paar dicke Lederstiefel und Gummistiefel, normale Sonnenbrillen, Polarbrillen, Arbeitshandschuhe, Kompass,

Taschenmesser und ein Sicherheitspaket (bestehend aus: Schlafsack, Isomatte, Biwakzelt, Kocher, Reservehandschuhen und Notraketen). Jeder Überwinterer bekam vor der Abfahrt sechs ZARGES-Boxen von 60x80x60 cm zur Bestückung mit privaten Dingen, wie Kleidung, Büchern, Elektronik und Freizeitequipment.

## **2.6 Ablauf einer Überwinterungskampagne**

Nach der Auswahl und Funktionsbesetzung der Teilnehmer durch das AWI wird die Reise zur Antarktis geplant. Neben dem oben erwähnten Bergkurs wird ein Seminar über das Leben in der Antarktis, die Forschungsgebiete des AWIs und Sicherheitsaspekte einer Überwinterung durchgeführt. Anschließend wird für die Überwinterung eingekleidet. Die Fahrt in die Antarktis, zwischen Mitte November und Dezember, beginnt mit einem normalen Linienflugzeug von Deutschland nach Kapstadt (Südafrika) und von dort mit einer Ilyushin IL-76 zur Air Base der russischen Station Novolazarevskaja (Novo). Dort ist ein von der Wetterlage abhängiger Zwischenstopp von wenigen Tagen in einem Zeltlager erforderlich, bis es mit einer kleinen Basler BT-67 Maschine zur drei Flugstunden entfernt liegenden Neumayer-Station II geht. Traditionell wird jedes neue Team von den „Alt-ÜWIs“ willkommen geheißen und innerhalb der nächsten zwei Monate in ihre Aufgaben und Pflichten auf der Station eingewiesen. Ab Mitte Februar ist dann jedes Überwinterungsteam auf sich allein gestellt und die eigentliche Isolation beginnt. Der antarktische Winter wird neben dem extremen Wetter, durch die Dunkelheit der Polarnacht von Ende Mai bis Ende Juli, eine Herausforderung für jedes Überwinterungsteam, da es den Aspekt Isolation noch verschärft, denn erst im November sind Besuche von Gastwissenschaftlern und erste Mitglieder des neuen Teams zu erwarten. Besonders in dieser Zeit bekommen die einzelnen Verbindungsmöglichkeiten zur Außenwelt über Internet und Satellitentelefon eine große Bedeutsamkeit. Mit dem Eintreffen der neuen Überwinterungsteilnehmer endet die eigentliche Isolation und beginnt das oben beschriebene Prozedere der Stationsübergabe an die „Neu“- und die Organisation der Heimreise der „Alt“-Überwinterer.

## **2.7 Tagesablauf und Freizeitgestaltung**

Der Tagesablauf gestaltete sich in zweierlei Hinsicht: einerseits gab es individuelle Aufgabenbereiche und zum anderen waren feste Zeiten zur gemeinsamen Tätigkeit vorgegeben. Die individuellen Tätigkeiten bedeuteten für die Geophysiker das Arbeiten am seismologischen Netzwerk, Erheben kontinuierlicher Magnetik- und GPS-Messungen 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, welches unerlaubte Atomwaffentest registriert und überwacht. Die Meteorologen hingegen begannen den Tag mit Wetterbeobachtungen und der Auswertung von Satellitenbildern, um daraus eine Wettervorhersage für den deutschen und internationalen Wetterdienst zu formulieren, weiterhin führten sie täglich Ballonaufstiege zur Luftdichtemessung und alle 3 Stunden zwischen 6.00 Uhr und 24.00 Uhr synoptische Wetterbeobachtungen durch. Der Luftchemiker musste täglich 1,5 km von der Station entfernt luftchemische Messungen durchführen. Die Techniker garantieren das Funktionieren der Ausrüstung und den damit verbundenen reibungslosen Ablauf Station. Der Koch versorgte die Crew und katalogisierte fehlende, abgelaufene sowie überzählige Lebensmittel, der Stationsarzt war sowohl medizinisch als auch organisatorisch-logistisch beauftragt. Da es jedoch täglich zu unerwarteten Störungen und Unterbrechungen im Alltag kam, war eine Unterstützung des gesamten Teams innerhalb aller Einsatzgebiete regelmäßig erforderlich, sodass jedes Teammitglied abweichend von seinem festgelegten Tagesablauf immer wieder neue und auch fachfremde Aufgabenfelder zu absolvieren hatte. So befinden sich beispielsweise zwei Seismometer etwa 100 km von der Station entfernt und bedürfen zur Reparatur einer Störung einer mindestens fünftägigen Traversefahrt dorthin. Diese musste aufgrund der variierenden Wetterlage sorgfältig geplant und strukturiert werden, da ein solches Unterfangen bei unerwarteten Zwischenfällen lebensgefährlich werden kann [34].

Zum anderen waren die Aufgabenfelder klar zugeteilt. Es gab in jeder Crew feste Zeiten zur gemeinsamen Nahrungsaufnahme: Frühstück zwischen 7.00 und 8.00 Uhr, Mittag zwischen 12.00 und 13.00 Uhr, Abendessen gegen 18.00/19.00 Uhr. Kleine Zwischenpausen am Vor- und Nachmittag wurden ebenfalls arrangiert. Einige Teams variierten das Wochenende, welches sich vom Arbeitspensum nicht von der Wochenrhythmik unterschied, durch einen Brunch, den Verzicht auf ein Mittagessen und die Besonderheit eines großen Dinners am Abend [34].

Ein weiterer fester Punkt im Tagesprogramm war der sogenannte „Schmelzendienst“, welcher das Befüllen der Schneeschmelze zur Wassergewinnung, die Reinigung der Waschräume, Toiletten und Messe, das Müllpressen abends und die Mithilfe in der Küche beinhaltete. Im antarktischen Sommer wurden täglich vier Leute dafür eingetragen, innerhalb der Isolation nur zwei Personen, welche alle drei bis vier Tage diesen Dienst absolvieren mussten.

Zur Freizeitgestaltung befinden sich ein Fitness-Trainer, eine Sauna, eine Bibliothek, Werkstätten, ein Fernseher sowie ein Internetanschluss auf der Station, aber auch regelmäßige Sicherheitsübungen und Freizeitbeschäftigungen, wie Musizieren, Jogging, Tanzkurse und

Fotografieren gehörten u.a. zu den individuellen Methoden der Isolationsbewältigung. Außerdem war das Pflegen einer Monatszeitschrift namens „Atka-Express“ sowie die Öffentlichkeitsarbeit via Internet selbstverständlich für die Überwinterer und stellten eine Abwechslung zum Entrinnen aus einer möglichen Isolation dar. Eine detailgetreue, logbuchartige Auftragung der individuellen Arbeitsspektren und Freizeitaktivitäten lässt sich zu diesem Zeitpunkt nicht exakt rekonstruieren, dies sollte jedoch durch künftige Studien, welche mit entsprechenden Messapparaturen ausgestattet sind, gewährleistet werden.

## **2.8 Ernährung und Versorgung**

Die Versorgung mit Lebensmitteln auf der Neumayer-Station II wurde nach den speziellen Umständen eines gesteigerten Energieverbrauchs sowie monatelanger Unerreichbarkeit zur Belieferung abgestimmt. Die gesamte Nahrung bestand vorrangig aus Tiefkühlprodukten, deren Lagerung in den eisigen Gebieten der Antarktis komplikationslos ist. Lediglich unmittelbar nach Belieferung durch das Forschungsschiff „Polarstern“ war auch frisches Obst und Gemüse verfügbar. Diese Art der Versorgung findet jedoch nur einmal im Jahr statt, sodass diese Produkte zwischen Juni und November nicht verfügbar waren. Die Zusammensetzung der Nahrungsmittel bestand aus den gewohnten Lebensmitteln: Fleisch, Fisch, Sättigungsbelagen (Kartoffeln, Nudeln, Reis etc.), tierischen und pflanzlichen Fetten sowie Obst und Gemüse. Diese Versorgung entspricht prinzipiell der unter irdischen Bedingungen im Gegensatz zu denen in Weltraummissionen, da dort nur rationierte, speziell entwickelte, dem gewohnten Ernährungsverhalten fremde Versorgungsbedingungen vorherrschen [35]. In der Neumayer-Station II ist diese Rationierung nicht erforderlich, sodass ein Überangebot an Nahrung vorhanden ist [36]. Zudem gab es keine Vorgaben zur Menge der Nahrungsmittel, sodass die Kalorienaufnahme war nicht geregelt war. Ferner hatte der Koch zum einen eine deutlich größere Menge an Nahrungsmitteln zur Verfügung und zum anderen führte die Zubereitung nicht zwangsläufig zu einer aus ernährungsphysiologischer Sicht optimalen oder individuell sinnvollen Ernährung.

## **2.9 Messzeitpunkte**

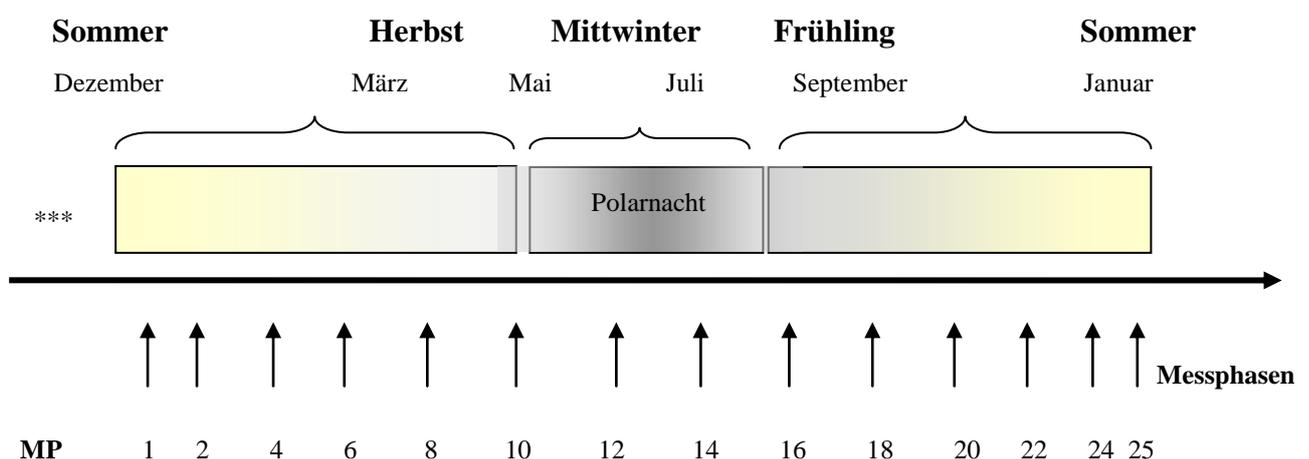
Innerhalb ihres festgelegten Aufgabenspektrums sollten die Probanden gemäß Protokoll alle zwölf Tage eine Messung mittels der bioelektrischen Impedanz Analyse (BIA) durchführen. Die Messungen der einzelnen Probanden erfolgten nacheinander jeweils an aufeinander folgenden Tagen, so dass ein Messzyklus im Durchschnitt zehn Tage dauerte. Die Blutentnahmen zur

Bestimmung der Hormone wurden im Abstand von zwei Monaten durch den ärztlichen Leiter durchgeführt und mit den Routineabnahmen kombiniert.

Vor Beginn der Studie wurde jeder Teilnehmer über den Versuchsaufbau und den zeitlichen Rahmen aufgeklärt und sein Einverständnis bzw. seine Nichtteilnahme an der Untersuchung schriftlich dokumentiert. Des Weiteren wurde der Studie und deren Durchführung durch die Ethikkommission der Charité - Universitätsmedizin Berlin stattgegeben.

## 2.10 Erhobene Messparameter bei den Überwinterern

Erhoben wurden die anthropometrischen Daten: Alter, Körpergröße, Körpergewicht und aus diesen beiden Größen der Body Mass Index (BMI) errechnet, zudem wurde eine bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) durchgeführt, die unter anderem die Fettmasse (FM), fettfreie Masse (FFM), den Grundumsatz (GU) und das Gesamtkörperwasser (TBW) bestimmen lässt. Da es aus logistischen Gründen zu einem gestaffelten Eintreffen der Teilnehmer in der Antarktis kam, wurden zu Beginn mehrere Daten in unregelmäßigen Abständen ermittelt. Der erste offizielle Messpunkt, welcher als Ausgangswert ermittelt wurde, war Mitte Dezember, nachdem alle Teilnehmer der jeweiligen Kampagne in der Antarktis eingetroffen waren und damit ein einheitlicher Zeitpunkt für den Studienbeginn festgelegt werden konnte. Von diesem Punkt an wurden die Daten der Anthropometrie sowie Bioimpedanz in  $12 \pm 2$  tägigen Abständen gemessen.



**Abbildung 9: Darstellung des Studiendesigns sowie der einzelnen Phasen.** Mit \*\*\* gekennzeichnet, die ersten Messwerte der Probanden, inhomogene Messpunkte bis alle Überwinterer in der Antarktis eingetroffen waren; MP1 als erster Datensatz, welcher homogen von allen teilnehmenden Probanden in der Antarktis ermittelt werden konnte, dieser Wert gilt als Ausgangswert der darauffolgenden Messungen. Die farblichen Hervorhebungen geben die Lichtintensitäten der jeweiligen Jahreszeiten wieder: gelb als sonnenreicher Sommer sowie grau-schwarz als Dunkelheit im Antarktischen Winter zur Zeit der Polarnacht, dazwischen die Übergänge der Helligkeit.

Jedes Team bestimmte selbst eine interne Reihenfolge, so dass jeder Teilnehmer an einem Tag die individuelle Messung durchführen konnte. Die venösen Blutentnahmen zur Gewinnung der Serumproben, die zur Bestimmung der Hormone: Thyroidea stimulierendes Hormon (TSH), Erythropoietin (EPO), löslicher Serum-Transferrinrezeptor (sTfR), Leptin (LEP) und Adiponektin (AdipoQ) dienen, wurden in zweimonatigen Abständen durch den Stationsarzt durchgeführt.

### **2.10.1 Body Mass Index (BMI) und Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)**

Die Erfassung des Körpergewichts [kg] in Kombination mit der Körpergröße [m] ist ein etabliertes Verfahren zur Berechnung des Body Mass Index (BMI), welcher durch die Formel:  $\text{BMI} = \frac{\text{Körpermasse [kg]}}{\text{Körpergröße [m]}^2}$  nach Quételet<sup>2</sup> berechnet werden kann. Allerdings dient diese Methode nur als ein Richtwert, da sie weder das Geschlecht, noch die Körperzusammensetzung, wie Fett- oder Muskelmasse berücksichtigt [37].

Der menschliche Organismus setzt sich aus verschiedenen Bereichen zusammen, die durch die einzelnen Gewebe und Strukturen bestimmt werden. Erweiterte Unterteilungen der Körperzusammensetzung bieten die Modelle der Kompartimentbetrachtung, wonach der Körper a) in zwei Kompartimente: Fett (FM) und fettfreien Masse (FFM: wie Haut, Muskeln, Blut, Organe etc.); b) in drei Kompartimente: mit der getrennten Betrachtung der Körperzellmasse (BCM: Summe der sauerstoffverbrauchenden, kaliumreichen, Glukose oxidierenden Zellen, wie der glatten Muskulatur, der Skelettmuskulatur, des Herzmuskels, der inneren Organe etc.), der extrazellulären Masse (ECM: wie Extrazellulärwasser (ECW), Knochen und Bindegewebe) und der Fettmasse (FM) c) in ein vier-Kompartiment-Modell unter Berücksichtigung des Körperwassers sowie d) in ein Multikompartiment-Modell unterteilt wird.

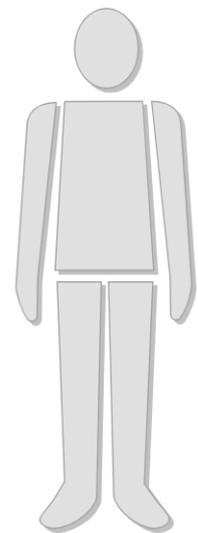
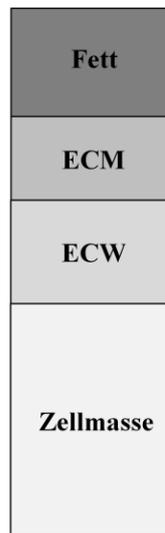
---

<sup>2</sup> Lambert Adolphe Jaques Quételet (1796-1874): belgischer Astronom und Statistiker entwickelte die Formel zur Bestimmung der Relation von Körpermasse zur Körpergröße, um somit eine grobe Beurteilung des Körpermasseindex (BMI) zu erzielen.

## 2-Kompartiment Modell



## Multikompartiment Modelle



Atomar

Molekular

Zellulär

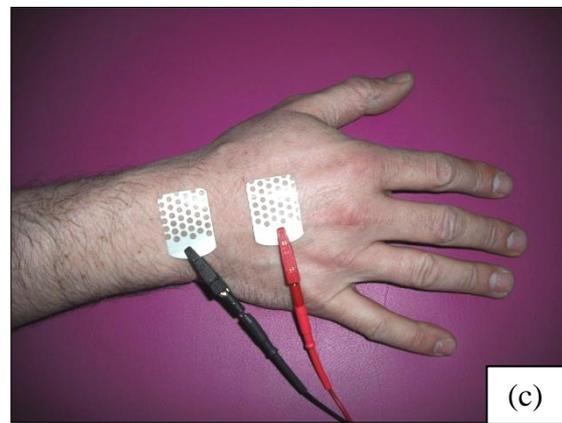
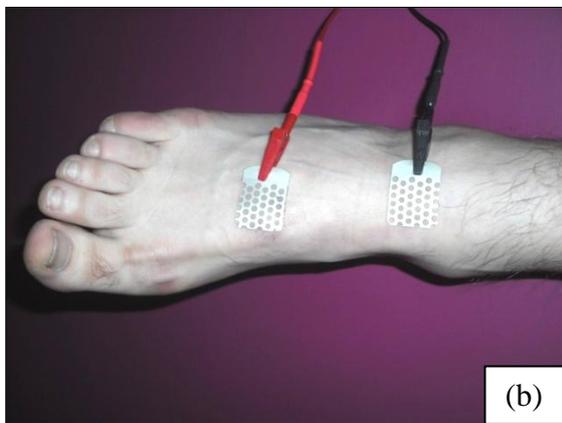
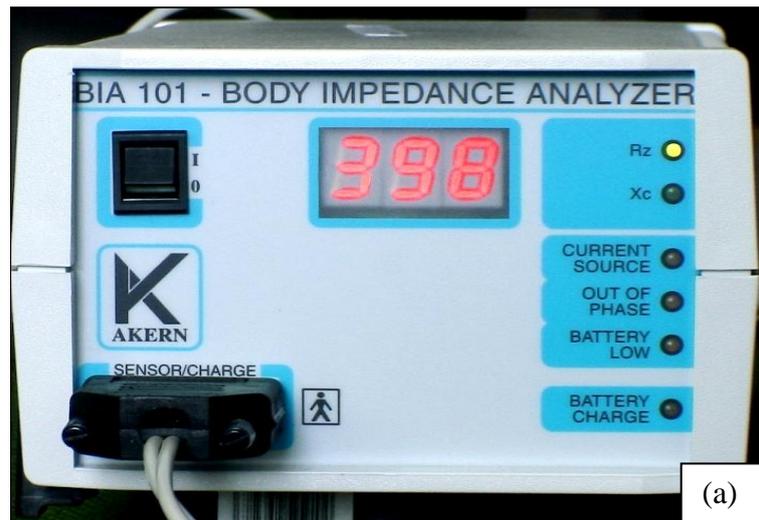
Funktionell

Körper

Abbildung 10: Darstellung der Kompartiment-Modelle

Dazu wurde, neben der Hautfaltenmessung, der Densitometrie, Isotopenverdünnungsanalyse und bildgebenden Verfahren (CT, MRT, Sonographie), ausgehend von u.a. Nyboer, Hoffer und Lukaski [38-40] die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) begründet und entwickelt, welche als ein indirektes, nicht invasives Verfahren angesehen werden kann, das durch eine sinusförmige Wechselstromapplikation (800 $\mu$ A mit einer Frequenz von 50kHz) von der oberen zur unteren Extremität, durch eine Widerstandsmessung (Impedanz) des Körpers, relative Aussagen zur Körperzusammensetzung ermöglicht. Nachdem die Methode in der Nephrologie bei niereninsuffizienten und dialysepflichtigen Patienten angewendet wurde, findet die BIA heute neben wissenschaftlichen und sportmedizinischen Fragestellungen vor allem im klinisch-diagnostischen Bereich Anwendung, beispielsweise bei Patienten mit neoplastischen Erkrankungen, Herzinsuffizienz oder bei der Therapieoptimierung adipöser, kachektischer oder parenteral ernährter Patienten [41-42]. Vereinfacht kann der Körper als ein Gefüge aus Zylindern (Thorax, Extremitäten, Gefäße etc.) angesehen werden, welche mit einander parallel oder seriell in Verbindung stehen und deren Flüssigkeits- und damit verbundener Elektrolytstrom als elektrischer Leiter fungiert. Der Körper setzt dem durch das BIA-Gerät applizierten Strom, mit seinem Gewebe und den flüssigkeitsgefüllten Räumen, einen Widerstand entgegen, welcher als Impedanz gemessen wird. Die Impedanz ( $Z$ ) definiert den Widerstand eines biologischen Leiters

gegen Wechselstrom, sie besteht aus zwei Teilwiderständen, der Resistance ( $R_z$ ), welche einen ohmschen Widerstand darstellt, welcher vorrangig durch die ECM und das ECW bestimmt wird und zum anderen aus der Reaktanz ( $X_c$ ), welche als ein kapazitiver Widerstand, durch die Kondensatoreigenschaften der Körperzellen und somit durch die BCM bestimmt wird. Es wird das Verhältnis der beiden Widerstände Resistance und Reaktanz bzw. die im Wechselstromfeld entstehende Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung als Maß für die Unterscheidung zwischen Zellulär- und Extrazellulärbereichen verwendet:  $Z^2=R^2+Xc^2$  [41]. Zusätzlich wird über eine phasenaktive Elektronik zwischen den beiden Widerständen  $R_z$  und  $X_c$  unterschieden, dabei wird die Phasenverschiebung  $[\Delta\phi]$  der Kondensatoren im gegebenen Wechselstromkreis durch die Bestimmung des Phasenwinkels (PA), der direkt proportional zur BCM ist, ermittelt [37]. Da die verschiedenen Gewebe und Zellverbände den Strom aufgrund ihrer Beschaffenheit unterschiedlich gut leiten (Skelett: 3500  $\Omega$ , Fett: 2500  $\Omega$ , Muskel: 250 $\Omega$ , Blut: 120 $\Omega$ ), macht die Körperzellmasse (BCM) sowie die extrazelluläre Masse (ECM) den Hauptanteil der Widerstandsmessung aus. Im Körper hat das fettfreie Gewebe eine hohe Leitfähigkeit durch den großen Gehalt an Wasser und den damit verbundenen Anteil an leitenden Elektrolyten, es repräsentiert daher einen niedrigen Widerstand (Resistance) im elektrischen Feld. Fett und Knochen sind im Gegensatz dazu schlechte elektrische Leiter und haben einen hohen Widerstand im elektrischen Feld, aufgrund der sehr geringen Menge an fluktuierenden Elektrolyten. Da Adipozyten nicht von klassischen Zellmembranen mit Lipiddoppelmembranen, Rezeptoren und Membranproteinen, sondern lediglich durch eine Basallamina und Intermediärfilamente abgegrenzt sind, wird die Reaktanz nicht durch die Quantität des Fettgewebes beeinträchtigt [43]. Die bioelektrische Impedanzmessung innerhalb dieser Studie erfolgte mit dem Messgerät Akern BIA 101 der Firma: Akern Bioresearch s.r.l., Florenz, Italien. Die Apparatur verfügt über einen resistiven Widerstand von 0 bis 1000 Ohm sowie über einen reaktiven Widerstand von 200 Ohm. Dazu wurden je zwei selbstklebende Einwegelektroden (classic Tabs Ag/AgCl, MediCal, HealthCare GmbH) auf der rechten Streckerseite des distalen Handgelenks und der Mittelhand sowie an der rechten Streckerseite des Sprunggelenks und des Mittelfußes angebracht und mit je einem Kabelpaar verbunden. Die Messung am Probanden erfolgte in liegender Position, er schaltete das Gerät selbständig ein und die Aufzeichnung erfolgte automatisch.



**Abbildung 11: Darstellung der BIA-Applikation: BIA-Gerät (a) und die Positionierung der Elektroden am rechten Fuß (b) und der rechten Hand (c)**

Nachdem der gesamte Messvorgang beendet war, wurden die ermittelten Daten vom jeweiligen Stationsarzt in den Computer eingelesen und als Rohdaten an den Server in Berlin zum Zentrum für Weltraummedizin geschickt. Dabei wurden sämtliche Daten anonymisiert kodiert und über den gesicherten Server vertraulich übermittelt. Die erhaltenen Daten der Bioimpedanzmessung wurden im Anschluss mit dem Diagnostikprogramm „MEDI CAL Body Comp. V 8.3“ bearbeitet und analysiert. Zur Berechnung der Körperkomposition sind neben der Reaktanz und Resistance, das Alter, die Körpergröße, das Gewicht (zur Berechnung des BMI) und Geschlecht notwendig, damit war die Berechnung von Fettmasse, fettfreier Masse, Gesamtkörperwasser, Grundumsatz, Körperdichte, Körperzellmasse sowie das Verhältnis zwischen extrazellulärer Masse zu Körperzellmasse (ECM/BCM) ermöglicht.

Die Messungen des Körpergewichts und der BIA erfolgten am selben Tag [44]. Das Körpergewicht wurde mit einer mechanischen Säulenwaage mit Laufgewichtsbalken der Firma „Seca“ (Genauigkeit: 100 g) am unbedeckten Probanden bestimmt.

### **2.10.2 Klinisch-biochemische Parameter**

Die Labordiagnostik umfasste die Entnahme und Analyse von Blutproben zur Bestimmung von Hormonen, stoffwechselabhängiger und hämatopoetischer Parameter. Die Blutentnahmen erfolgten auf der Neumayer-Station II durch den jeweiligen Stationsarzt im Rahmen der zweimonatigen, routinemäßigen Gesundheitskontrollen. Am Vormittag unmittelbar nach dem Frühstück wurde jedem Probanden eine Blutprobe von 10 ml mit einer handelsüblichen Serum-Monovette der Firma Sarstedt entnommen. Aufgrund der zum Teil individuellen Tagesabläufe mit schwankenden Aufwachzeiten (zwischen 04:00 Uhr und 09:30 Uhr) war es aus logistischen Gründen nicht möglich die Blutentnahmen der Teilnehmer nüchtern durchzuführen.

#### **2.10.2.1 Probenaufbereitung und Lagerung**

Anschließend wurde das gewonnene Blut 15 Minuten bei 2.500 U/min in einer Zentrifuge der Marke „Universal 2S“ der Firma Hettich zentrifugiert. Schließlich wurde das Serum mit einer 250 µl-Pipette (Firma: Eppendorf AG) in elf Einzelportionen in Mikroröhrchen (Sarstedt) aliquotiert. Zehn dieser Mikroröhrchen wurden in einem Folienbeutel eingeschweißt und im Tiefkühlfach bei -20 °C bis zum Transport gelagert.

#### **2.10.2.2 Probenanalyse in der Antarktis**

Auf der Neumayer Station II diente eine Portion, der Serumprobe, der Analyse von: Glucose, Hämoglobin, Kalium, Cholesterin, LDL, Harnstoff, Kreatinin, Harnsäure, Gamma GT, ALAT, ASAT, Bilirubin und Amylase, die mit Hilfe des Reflexionsphotometer Reflotron<sup>®</sup> der Firma Boehringer Mannheim und den zugehörigen Reflotron<sup>®</sup>-Teststreifen ausgewertet wurden. Vor jeder Analyse wurde mit Hilfe eines Referenzteststreifens (Reflotron<sup>®</sup>-Check) der Analysemodus geeicht. Zum Auftragen des Serums auf den Reflotron<sup>®</sup>- Teststreifen wurde eine 32 µl- Reflotron<sup>®</sup>-Pipette benutzt. Zur Bestimmung des HDL-Cholesterins wird eine spezielle Monovette benutzt, welche mit Li-Heparin (Reflotron<sup>®</sup>) beschichtet ist. Der LDL-Cholesterinwert wurde rechnerisch aus der Differenz zwischen Gesamtcholesterin und HDL-Cholesterin ermittelt.

### **2.10.2.3 Probenanalyse in Berlin**

Ohne die Kühlkette zu unterbrechen, wurden die Proben dann am Ende einer jeden Überwinterung mit dem Schiff (Polarstern) nach Deutschland transportiert. Im klinischen Labor in Berlin wurden die zehn Proben (250µl der 10ml Serumprobe in der Antarktis) zur Analyse der Hormone: Adiponektin (AdipoQ), Leptin (LEP), Erythropoietin (EPO), löslichem Transferrinrezeptor (sTfR) und TSH und wieder aufgetaut. Dazu wurden entsprechende Testkits der Firma IBL Hamburg und Quantikine® IVD® verwendet. Die Analyse der einzelnen Parameter erfolgte entsprechend der Durchführungsanleitung der jeweiligen Testkit-Firma.

### **2.10.2.4 Adiponektin ELISA**

Das Adiponektin ELISA, der Firma IBL, Hamburg (Referenznummer BV51001), wurde folgendermaßen durchgeführt: das Serum und die Kontrolle wurden innerhalb der Mikrotiterplatten, welche mit rekombinantem humanen Adiponektin und einem Konjugat aus Pferde-Peroxidase-markierte-Anti-Adiponektin gebunden waren, inkubiert. Nach einem Waschgang reagierte das Konjugat mit einer Hydrogenperoxid/TMB-Substratlösung. Die Reaktion wird durch Zugabe von H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gestoppt und die Absorption des gelben Farbprodukts bei einer Wellenlänge von 450 nm spektroskopisch ermittelt. Die Absorption verhält sich umgekehrt proportional zur Konzentration des Adiponektin. Die mittleren Normwerte für Adiponektin werden für Männer mit  $10,9 \pm 4,0 \mu\text{g/ml}$  und für Frauen mit  $13,6 \pm 5,4 \mu\text{g/ml}$  angegeben. Der Variationskoeffizient im Intra-Assay ergibt einen Wert von 7 % eines Mittelwertes von  $7,1 \pm 0,5 \mu\text{g/ml}$  bei n=8; im Inter-Assay von 8,2 % eines Mittelwertes von  $5,3 \pm 0,4 \mu\text{g/ml}$ .

### **2.10.2.5 Leptin ELISA**

Beim Leptin-ELISA handelte es sich um einen Festphasen-Enzym-Immunoassay, welcher auf einer Sandwichtechnik basiert und ebenfalls ein Produkt der Firma IBL, Hamburg (Referenznummer REF53151) war. Zu den Wells der Mikrotiterplatten, welche mit einem monoklonalen Antikörper gegen eine definierte Antikörper-Bindungsstelle des Moleküls Leptin gerichtet waren, wurde das Serum hinzu geführt und inkubiert. Eine zweite Inkubation erfolgte mit einem Kaninchen-anti-Leptin-Antikörper, dadurch wurde der Sandwichkomplex gebildet. Eine weitere Inkubation mit einem Anti-Kaninchen-Peroxidase-Enzymkomplex sowie die Zugabe einer Substratlösung und deren Zeitmessung bis zum Erreichen der Farbreaktion erfasste die Leptinkonzentration, welche sich proportional zur Farbentwicklung verhielt, die wiederum mittels Extinktionsmessung bei 450 nm gemessen wurde. Die Firma IBL gibt für Leptin

Referenzwerte für Männer von  $3,5 \pm 1,8$  ng/ml und für Frauen:  $7,4 \pm 3,7$  ng/ml an. Der Variationskoeffizient im Intra-Assay liegt bei 6 % innerhalb eines Mittelwertes von 3,2 ng/ml bei n=10; im Inter-Assay von 11,5 % eines Mittelwertes von 2,7 ng/ml.

#### **2.10.2.6 Thyreoidea stimulierendes Hormon (TSH) - ELISA**

Die TSH-Konzentration wurde mit dem Testkit eines TSH-ELISA der Firma IBL, Hamburg (Referenznummer RE55221) bestimmt. Die Patientenprobe wurde als erstes auf die anti-TSH beschichtete Platte geimpft. Monoklonale Antikörper wurden hinzugegeben und die Reaktionsprodukte gemischt. Die Reaktion zwischen dem nativen TSH aus der Probe und dem TSH-Antikörper bildeten einen Sandwichkomplex, welcher sich an die anti-TSH beschichtete Platte band. Nach Beendigung der Inkubationszeit wurde das antikörpergebundene Enzym-TSH-Konjugat von dem nicht gebundenen getrennt. Die Enzymaktivität an der Oberfläche der Wells wurde mittels der Reaktion des geeigneten Substrats quantifiziert, welches eine durch Extinktionsmessung bestimmte Farbreaktion erzeugte, die wiederum direkt proportional zur TSH-Konzentration war. Der Referenzbereich für TSH liegt für das Testkit der Firma IBL bei 0,39-6,16 mIU/l mit einem Variationskoeffizienten im Intra-Assay von 3 % bei einem Mittelwert von  $2,3 \pm 0,1$  mIU/l bei n=24 und im Inter-Assay von 8,1 % eines Mittelwertes von  $2,1 \pm 0,1$  mIU/l.

#### **2.10.2.7 Erythropoietin ELISA**

Zur quantitativen in vitro Bestimmung des Erythropoietin im humanen Serum und Plasma wurde ein Immunassay mit einem Testkit der Firma IBL mit der Referenznummer REF56011 verwendet. Das Testprinzip basiert auf einem Sandwich-ELISA. Das Erythropoietin wurde durch einen immobilisierten Kaninchen-anti-Erythropoietin-Antikörper an die Festphase gebunden. Nach einem Waschschrift wurde ein weiterer Kaninchen-anti-Erythropoietin-Antikörper, welcher mit Biotin konjugiert war, an das bereits gebundene Erythropoietin gekoppelt. Nach erneuter Inkubation mit einem Anti-Biotin-Antikörper, der konjugiert mit alkalischer Phosphatase sowie einem Chromogen (PNPP) war, bildete sich eine gelbe Färbung, welche durch Extinktionsmessung bestimmt und zu der Erythropoietinkonzentration im untersuchten Medium direkt proportional war. Die vorgegebenen Normwerte liegen im Median bei 12 mIU/ml innerhalb eines Bereichs von 4-36 mIU/ml, die Präzision des Tests im Intra-Assay lag im Bereich von 4,6-55,6 mIU/ml mit einem Variationskoeffizienten zwischen 3,6-5,5 % für n=29, im Inter-Assay im Bereich 4,5-44,5 mIU/ml und einem Variationskoeffizienten von 6,9-14,4 %.

### **2.10.2.8 Löslicher Transferrin Rezeptor (sTfR) - ELISA**

Dieser Immunassay, der Firma Quantikine® IVD® (Referenznummer DTFR1), basiert auf einem Sandwich-Enzym-Immunassay, bei dem zwei verschiedene monoklonale Antikörper, welche spezifisch für sTfR sind, benutzt werden. Die Standards und Patientenserum wurden in die Wells, der mit monoklonalem Antikörper behafteten Mikrotiterplatte pipettiert. Dadurch wurde der sTfR im Well immobilisiert. Nach dem Abwaschen des ungebundenen Proteins wurde ein zweiter anti-sTfR monoklonaler Antikörper, welcher mit Pferde Peroxidase konjugiert war, dazu gefügt. Dieses Konjugat komplettierte das Sandwich. Nach erneutem Waschen und Entfernen des ungebundenen Konjugats konnte die Konzentration des sTfR mit Hilfe eines chromogenen Substrates anhand der Absorption bestimmt werden, welche sich proportional zum Substrat verhielt. Die von der Firma Quantikine® IVD® angeführten Normwerte für den löslichen Transferrinrezeptor liegen im arithmetischen Mittel bei 18,4 nmol/l sowie zwischen 8,7 und 18,1 nmol/l innerhalb der 2,5ten und 97,5ten Perzentile. Die Präzision des Tests lag für n = 20 zwischen 6,9 und 40,2 nmol/l mit einem Variationskoeffizienten von 4,3 bis 6,2 % für das Intra-Assay und zwischen 10,9 und 67,2 nmol/l mit einem Variationskoeffizienten von 5,4 bis 6,4 % im Inter-Assay.

### **2.10.3 Statistische Auswertung**

Für die statistische Auswertung wurde das Statistikprogramm PASW Version 18.0 verwendet. Zur graphischen Darstellung der Ergebnisse wurde ebenfalls PASW, Origin 7.5 sowie Microsoft Excel Office 2007 für Windows verwendet.

#### **2.10.3.1 Zusammenfassung der Daten**

Die ermittelten Daten der Anthropometrie, wie Körpergröße, Körpergewicht, Alter und Body Mass Index wurden aufgrund des kleinen Kollektivs nicht-parametrisch aufgeführt. Die Zusammenfassung aller Probanden ergab eine Anzahl von n = 24, was eine Prüfung auf Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov-Testwertes rechtfertigte. Es wurden arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichung sowie Mediane, Minima, Maxima und Perzentilen bestimmt.

#### **2.10.3.2 Graphische Darstellung**

Die graphische Darstellung der statistischen Daten, der Anthropometrie und der Hormone erfolgte mittels Box-Plots und Liniendiagrammen, welche die nicht-parametrischen Kenngrößen, wie Median und 25. sowie 75. Perzentile enthalten. Aus Gründen der Anschaulichkeit wurden die Daten der Körpergewichts- und Fetthaushaltsverläufe zum Teil linear als Punkt-

Liniendiagramme sowie parametrisch nach den Veränderungen zum Ausgangswert, als Delta des arithmetischen Mittelwertes in einem Säulendiagramm die parameter- bzw. geschlechtsspezifischen Unterschiede dargestellt. Weiterhin wurden zur besseren Veranschaulichung bei den Überwinterungsgruppen, die Daten der männlichen und weiblichen Teilnehmer farblich kodiert (Männer in blauer Farbe, Frauen in rot). Ferner ist das Team 2005 in der Farbe Gelb, das Team 2006 in Orange und das Team 2007 in grün dargestellt. Diese Kodierungen gelten sowohl für die Graphiken als auch für die Tabellen. Um die einzelnen jahreszeitlichen und daraus resultierend vor allem beleuchtungsdivergenten Phasen des antarktischen Frühjahrs/Sommers und Winters mit der Polarnacht (von Mai bis Juli/August) klar hervorzuheben, wurde jede Graphik mit einem Balken hinterlegt, welcher proportional zu den Lichtintensitäten der Jahreszeiten unterschiedliche Graustufen aufzeigt.

### **2.10.3.3 Berechnung der Signifikanzen**

Da es sich auch bei der Zusammenfassung des Gesamtkollektivs, der einzelnen Überwinterungsteams sowie der nach dem Geschlecht sortierten Betrachtungen um einen recht kleinen Stichprobenumfang handelte wurden zur statistischen Auswertung vorrangig nicht-parametrische Testverfahren verwendet. So erfolgte zur Analyse der Paardifferenzen bei verbundenen Stichproben der Wilcoxon-Test, zur Ermittlung der Korrelationen bestimmter Parameter zueinander, wie bspw. Leptin zur Fettmasse, der Spearman-Test. Signifikante Werte im Niveau  $p \leq 0,05$  wurden mit \*, im Niveau  $p \leq 0,01$  mit \*\* gekennzeichnet.

## **3. Ergebnisse**

### **3.1 Anthropometrische Parameter**

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die anthropometrischen Daten (Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI) der Überwinterungsteilnehmer. Dazu wird eine Darstellung aller insgesamt an der dreijährigen Betrachtung beteiligten Probanden in Verbindung mit den entsprechenden Überwinterungsjahren sowie eine nach dem Geschlecht getrennte Zusammenfassung der anthropometrischen Daten tabellarisch angeführt. Die Daten, welche hier als repräsentative Ausgangswerte verwendet werden, wurden jeweils einige Zeit nach der Ankunft der Teilnehmer auf der Neumayer-Station II ermittelt, da durch zeitversetztes Eintreffen der Probanden in der Antarktis ein Untersuchungsbeginn festgelegt werden musste, welcher bei allen Teams im Dezember ermittelt wurde.

Die anthropometrischen Daten wurden sowohl durch den arithmetischen Mittelwert mit Standardabweichung als auch den Median sowie Minima und Maxima dargestellt. Zur Analyse der Häufigkeitsverteilung wurde der nichtparametrische Kolmogorov-Smirnov Test verwendet, da er auch bei kleinen Stichprobenumfängen angewandt werden kann.

#### **3.1.1 Anthropometrie - Zusammenstellung der drei Überwinterungsteams**

Zusammengefasst setzen sich die drei Überwinterungsgruppen aus insgesamt 16 Männern und 8 Frauen zusammen. Dabei besteht die Gruppe des Jahres 2005 ausschließlich aus männlichen Versuchspersonen, die des Jahres 2006 aus 2 Männern und 4 Frauen sowie die Gruppe des Jahres 2007 aus 4 Frauen und 5 Männern (Tabelle 1).

<b>Gesamtkollektiv</b> (2005, 2006, 2007) n=24 (16 ♂, 8 ♀)	Einheit	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median	p	K-S-Testwert	Minimum	Maximum
Alter	[Jahre]	35,6	6,7	<b>34,6</b>	n.s.	0,7	25	53
Größe	[cm]	175,8	7,8	<b>175,5</b>	n.s.	0,4	160	190
Gewicht	[kg]	79,2	13,1	<b>80,3</b>	n.s.	0,5	59,6	103,2
BMI	[kg/m <sup>2</sup> ]	25,5	3,4	<b>25,1</b>	n.s.	0,5	19,2	32,2
<b>Team 2005</b> n=9 (♂)	Einheit	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median			Minimum	Maximum
Alter	[Jahre]	34,4	5,8	<b>33,0</b>			27	44
Größe	[cm]	179,3	5,4	<b>179,0</b>			173	189
Gewicht	[kg]	85,4	8,7	<b>84,3</b>			73,6	98,6
BMI	[kg/m <sup>2</sup> ]	26,5	2,9	<b>25,7</b>			23,3	32,2
<b>Team 2006</b> n= 6 (2 ♂, 4 ♀)	Einheit	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median			Minimum	Maximum
Alter	[Jahre]	36,2	5,1	<b>36,0</b>			29	44
Größe	[cm]	171,0	10,6	<b>169,5</b>			160	190
Gewicht	[kg]	78,1	16,3	<b>72,1</b>			63,0	103,2
BMI	[kg/m <sup>2</sup> ]	26,5	3,3	<b>26,6</b>			22,1	30,8
<b>Team 2007</b> n= 9 (5 ♂, 4 ♀)	Einheit	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median			Minimum	Maximum
Alter	[Jahre]	35,6	8,9	<b>37,0</b>			25	53
Größe	[cm]	175,6	6,7	<b>177,0</b>			165	187
Gewicht	[kg]	73,8	13,2	<b>70,0</b>			59,6	91,4
BMI	[kg/m <sup>2</sup> ]	23,9	3,4	<b>23,1</b>			19,2	28,2

*Tabelle 1: anthropometrische Daten aller Probanden (Gesamt: n=24; ♀:n=8; ♂:n=16) mit Angabe des Kolmogorov-Smirnov-Testwerts (K-S-Testwert) zur Kontrolle auf Normalverteilung sowie anthropometrische Daten der Teams 2005, 2006, 2007, ohne K-S-Testwert aufgrund der jeweiligen zu kleinen Stichprobe*

Die Überprüfung der Häufigkeitsverteilung nach Kolmogorov-Smirnov ergibt für alle aufgeführten Parameter des Gesamtkollektivs eine Normalverteilung ( $p = n.s.$ ).

### 3.1.2 Anthropometrie der männlichen und weiblichen Probanden

Die im Folgenden dargestellte Tabelle 2 zeigt die nach Geschlecht getrennten anthropometrischen Daten der drei Überwinterungsteams.

<b>Männer</b> (n=16)	Einheit	$\bar{X}$	$\pm$ SD	<b>Median</b>	Minimum	Maximum
Alter	[Jahre]	37,1	6,6	<b>34</b>	28	53
Größe	[cm]	179,4	6,0	<b>179,5</b>	169	190
Gewicht	[kg]	86,4	9,3	<b>88,2</b>	70	103,2
BMI	[kg/m <sup>2</sup> ]	26,6	2,8	<b>25,7</b>	22,9	32,2
<b>Frauen</b> (n=8)	Einheit	$\bar{X}$	$\pm$ SD	<b>Median</b>	Minimum	Maximum
Alter	[Jahre]	32,5	6,0	<b>32,0</b>	25	41
Größe	[cm]	168,6	5,8	<b>169,5</b>	160	177
Gewicht	[kg]	64,8	4,9	<b>63,4</b>	59,6	73,1
BMI	[kg/m <sup>2</sup> ]	22,9	3,0	<b>22,6</b>	19,2	28,6

*Tabelle 2: Anthropometrische Daten der männlichen (n=16) und weiblichen Probanden (n=8) zusammengefasst aus den Überwinterungsteams der Jahre 2005, 2006 und 2007*

Die Zusammenfassung der männlichen Probanden ergibt ein durchschnittliches Alter von  $37,1 \pm 6,6$  Jahren, eine Körpergröße von  $179,4 \pm 6,0$  cm, ein Gewicht von  $86,4 \pm 9,3$  kg und einen BMI von  $26,6 \pm 2,8$  kg/m<sup>2</sup>. Die Differenzierung der weiblichen Teilnehmer ergibt ein durchschnittliches Alter von  $32,5 \pm 6,0$  Jahren, eine Körpergröße von  $168,6 \pm 5,8$  cm und ein Gewicht von  $64,8 \pm 4,9$  kg bei einem durchschnittlichen BMI von  $22,9 \pm 3,0$  kg/m<sup>2</sup>.

### 3.2 Veränderungen der Körperzusammensetzung

Im Folgenden werden die Veränderungen des Körpergewicht und der Körperzusammensetzung in drei aufeinander folgenden Überwinterungskampagnen (2005, 2006; 2007) bei insgesamt 24 Versuchspersonen (16 ♂, 8 ♀) dargestellt.

### 3.2.1 Körperzusammensetzung der drei Überwinterungsteams

		Überwinterung 2005 n=9 (♂)			Überwinterung 2006 n= 6 (2 ♂, 4♀)			Überwinterung 2007 n= 9 (5 ♂, 4♀)		
Parameter	Einheit	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median
KG	[kg]	85,4	8,7	<b>84,3</b>	78,1	16,3	<b>72,1</b>	73,8	13,2	<b>70,0</b>
FM	[%]	13,5	7,2	<b>14,3</b>	26,5	3,6	<b>25,3</b>	25,8	12,9	<b>22,9</b>
FFM	[%]	86,8	7,2	<b>87,8</b>	73,5	3,7	<b>74,9</b>	78,8	4,8	<b>80,6</b>
BCM	[kg]	43,9	2,9	<b>43,9</b>	31,3	8,7	<b>27,3</b>	31,6	5,5	<b>31,7</b>
ECW	[%]	36,6	2,0	<b>36,7</b>	42,8	2,2	<b>42,3</b>	23,0	15,0	<b>21,4</b>
TBW	[l]	54,2	2,9	<b>53,7</b>	42,8	10,6	<b>38</b>	55,8	6,0	<b>57,5</b>
GU	[kcal]	1857	90	<b>1855</b>	1558	219,6	<b>1455</b>	1564	137,7	<b>1568</b>

*Tabelle 3: Körpergewicht und Körperzusammensetzung der Versuchspersonen zu Beginn der jeweiligen Überwinterung (2005, 2006, 2007). Diese Daten entsprechen den im Dezember ermittelten Ausgangswerten (Messpunkt 1 = MP1) KG: Körpergewicht, FM: Fettmasse, FFM: fettfreie Masse, BCM: Körperzellmasse, ECW: Extrazellulärwasser, TBW: Gesamtkörperwasser, GU: Grundumsatz*

### 3.2.2 Körperzusammensetzung der männlichen und weiblichen Probanden

Die Tabelle 4 fasst die in dieser Studie bestimmten Parameter der Körperzusammensetzung der Männer und Frauen innerhalb der drei Überwinterungskampagnen zusammen.

		Männer (n=16)			Frauen (n=8)		
Parameter	Einheit	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median	$\bar{X}$	$\pm$ SD	Median
KG	[kg]	86,4	9,3	<b>88,2</b>	64,8	4,9	<b>63,4</b>
FM	[%]	16,9	7	<b>17,7</b>	25,1	5,5	<b>25,3</b>
FFM	[%]	83,1	7	<b>82,3</b>	74,9	5,5	<b>74,7</b>
BCM	[kg]	41,3	5,3	<b>42,5</b>	26,5	2,6	<b>25,7</b>
ECW	[%]	39,4	4,1	<b>38,5</b>	42,1	2,9	<b>42,2</b>
TBW	[l]	51,4	9,7	<b>53,2</b>	35,3	2,7	<b>35,4</b>
GU	[kcal]	20,92	2,5	<b>20,71</b>	22,25	1,8	<b>21,72</b>

*Tabelle 4: Körpergewicht und Körperzusammensetzung der Versuchspersonen zu Beginn der jeweiligen Überwinterung der männlichen (n=16) und weiblichen Teilnehmer (n=8), die Daten entsprechen den im Dezember ermittelten Ausgangswerten, KG: Körpergewicht, FM: Fettmasse, FFM: fettfreie Masse, BCM: Körperzellmasse, ECW: Extrazellulärwasser, TBW: Gesamtkörperwasser, GU: Grundumsatz*

### **3.3 Veränderungen des Körpergewichts**

In diesem Abschnitt werden die Veränderungen des Körpergewichts im Verlauf der jeweiligen Überwinterung dargestellt. Dabei veranschaulichen die folgenden Abbildungen die Körpergewichtsänderung in kg als Differenz [ $\Delta$ KG] zum Ausgangswert (Messphase1). Es sind die jeweiligen teilnehmenden Probanden der entsprechenden Überwinterung als je ein Graph in der Abbildung dargestellt. Anschließend folgt je eine Tabelle zu den einzelnen Überwinterungskampagnen und den nach dem Geschlecht getrennten Teilnehmern, welche die die absoluten Körpergewichte während der Phasen vor, innerhalb und nach der Dunkelphase des antarktischen Winters (Pre-, Dunkel-, Post-Phase) sowie deren Veränderungen, bezogen auf den Ausgangswert, darstellt. In diesen Tabellen 5-8 sind die Mittelwerte mit Standardabweichung und Mediane für die Prä-, Dunkel- und Post-Phase zu je einem Wert, der dieser Phasen entsprechenden Messpunkte der Überwinterer, zusammengefasst worden. Es ergab sich dadurch eine bessere Anschaulichkeit und ließen sich auch für die Einzelwerte dieselben Signifikanzniveaus festlegen lassen konnten.

### 3.3.1 Körpergewichtsänderungen der Teilnehmer während der Überwinterung 2005

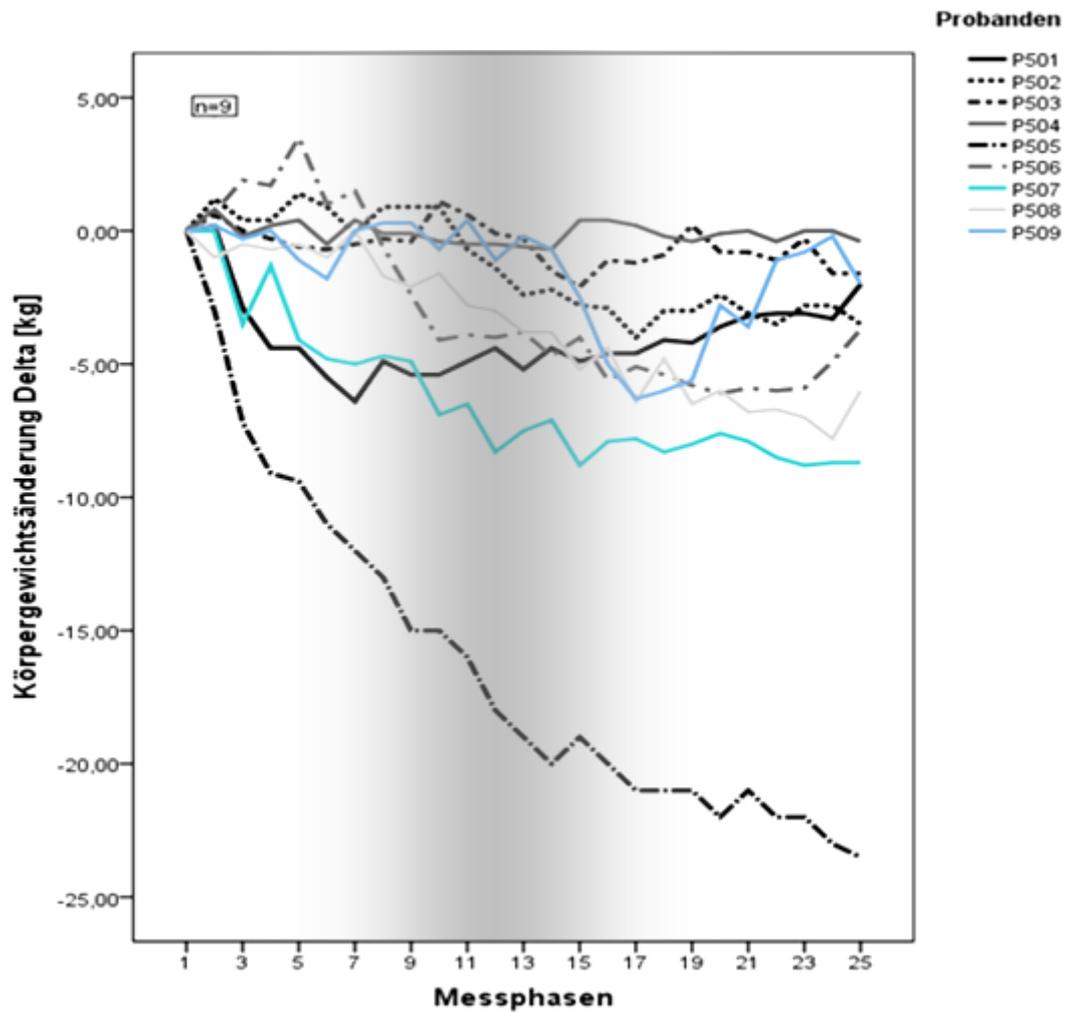


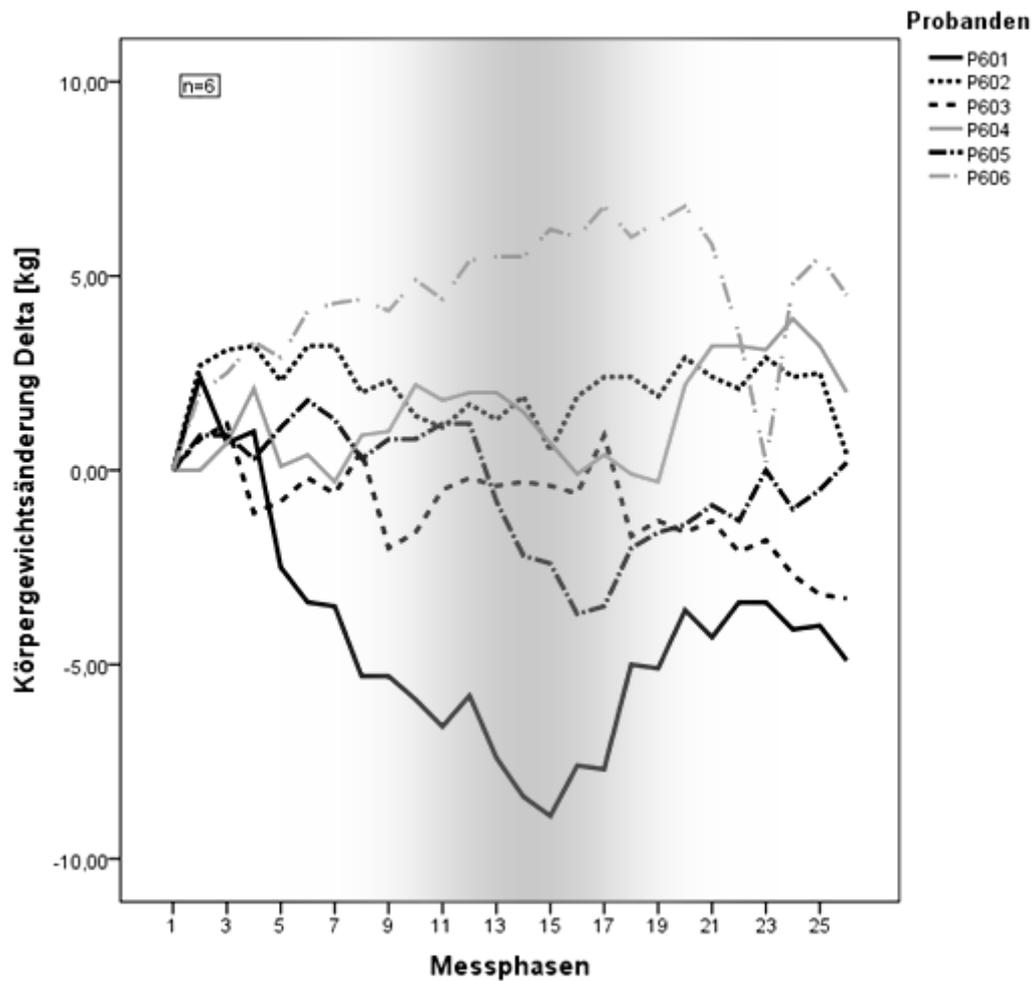
Abbildung 12: Individuelle Veränderungen im Körpergewicht der Probanden der Überwinterung 2005; ( $n=9$ , ♂); eine Messphase entspricht einem Zeitraum von etwa 10 Tagen bis alle 9 Teilnehmer ihren Messzyklus aufgezeichnet hatten. Dargestellt ist die Veränderung des Körpergewichts in  $\Delta\text{kg}$  zum Ausgangsgewicht (Messphase 1) im Dezember über den Verlauf der Überwinterung.

<b>Körpergewichtsänderungen der Versuchspersonen 2005 n=9(♂)</b>				
	<b>Ausgangswert</b>	<b>Prä- Phase</b> (Januar bis Mai)	<b>Dunkelphase</b> (Mai bis August)	<b>Post-Phase</b> (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP26
Median	84,3	81,8	77,1	75,5
$\bar{X} \pm SD$	85,3 $\pm$ 8,7	83,4 $\pm$ 7,3	80,7 $\pm$ 8,1	79,5 $\pm$ 8,6
<i>p</i>		<i>n.s.</i>	<0,05	<0,01

*Tabelle 5: Darstellung Änderungen des Körpergewichts innerhalb der verschiedenen Beleuchtungsphasen während der Überwinterung 2005; (n=9), die Signifikanzniveaus ergaben deutliche Unterschiede*

Das rein männliche Überwinterungsteam des Jahres 2005 zeigt insgesamt eine stete Abnahme des Körpergewichts, über den Verlauf der Isolation, mit einer signifikanten Reduktion des Körpergewichts innerhalb der Dunkelphase und bis zum Ende der Isolation (Post-Phase). Der geringste durchschnittliche Gewichtsverlust lag bei 6,24 kg am Messpunkt 17, unmittelbar nach Ende der Dunkelphase des antarktischen Winters.

### 3.3.2 Körpergewichtsänderungen der Teilnehmer während der Überwinterung 2006



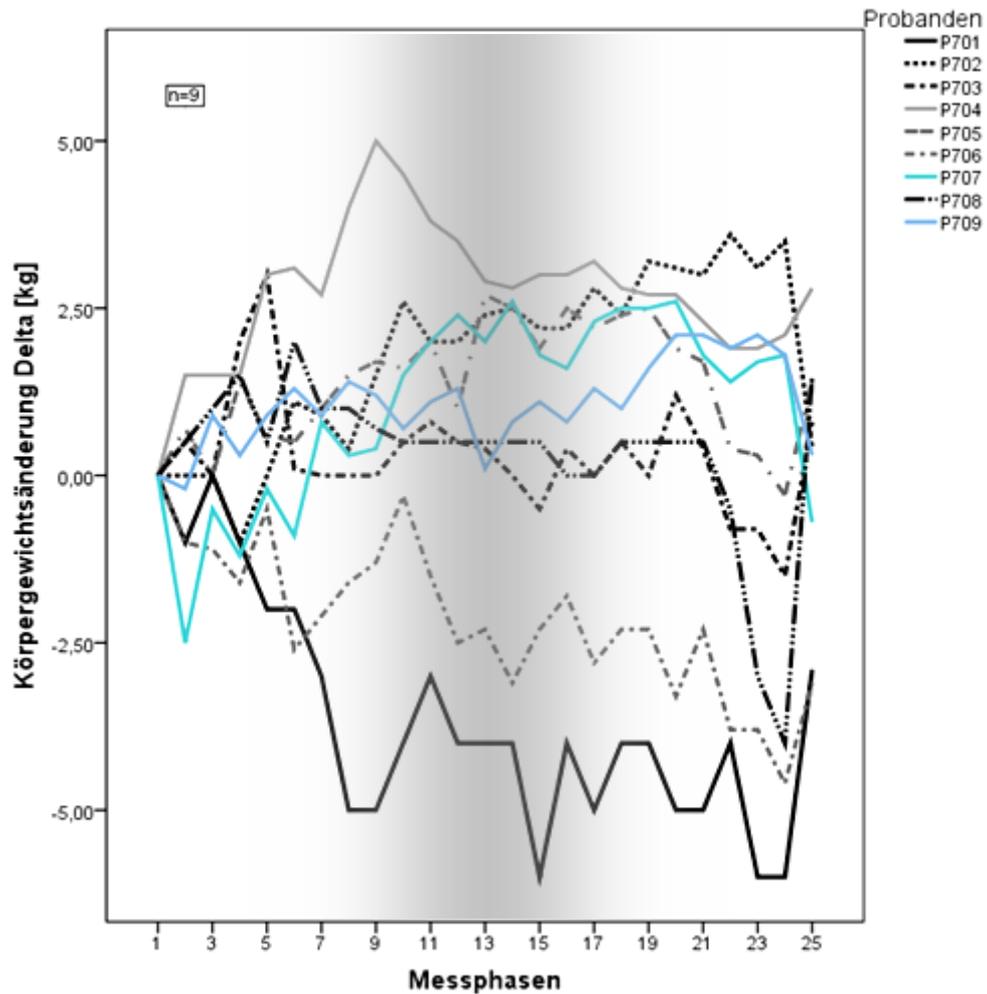
*Abbildung 13: Individuelle Veränderungen im Körpergewicht der Probanden der Überwinterung 2006; (n=6, 2♂, 4♀); eine Messphase entspricht einem Zeitraum von etwa 10 Tagen bis alle 6 Teilnehmer ihren Messzyklus aufgezeichnet hatten. Dargestellt ist die Veränderung des Körpergewichts in  $\Delta$ kg zum Ausgangsgewicht (Messphase 1) im Dezember über den Verlauf der Überwinterung.*

<b>Körpergewichtsänderungen der Versuchspersonen 2006</b>				
<b>n=6 (2♂, 4♀)</b>				
	<b>Ausgangswert</b>	<b>Prä- Phase</b> (Januar bis Mai)	<b>Dunkelphase</b> (Mai bis August)	<b>Post-Phase</b> (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
Median	72,1	73,8	73	73,6
$\bar{X} \pm SD$	78,1 ±16,3	79±13,6	78,0±12,3	78,5±13
<i>p</i>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

*Tabelle 6: Darstellung Änderungen des Körpergewichts innerhalb der verschiedenen Beleuchtungsphasen während der Überwinterung 2006; (n=6, 2♂, 4♀), es ergibt sich keine signifikante Veränderung*

Die Überwinterungscrew des Jahres 2006 zeigt insgesamt eine stete Abnahme des Körpergewichts über den Verlauf der Isolation. Eine Ausnahme stellt Proband 606 dar, welcher konstant über den Verlauf der Polarnacht an Gewicht zunimmt und erst bei Wiederkehr des Lichtes zum Ausgangsgewicht zurückkehrt. Zu keinem Zeitpunkt lässt sich statistisch ein signifikanter Abfall im Gesamtkollektiv belegen, graphisch betrachtet ist jedoch eine Tendenz zur Gewichtsreduktion innerhalb des antarktischen Winters nachvollziehbar. Die größte Gewichtsabnahme von 8,9 kg vollzog Proband 601 in der 15. Messphase, während die größte Zunahme mit 6,8 kg in der Messphase 20 bei Proband 606 auftrat; beide Veränderungen befinden sich innerhalb der Dunkelphase bzw. kurz danach.

### 3.3.3 Körpergewichtsänderungen der Teilnehmer während der Überwinterung 2007



*Abbildung 14: Individuelle Veränderungen im Körpergewicht der Probanden der Überwinterung 2007; (n=9, 5♂, 4♀); eine Messphase entspricht einem Zeitraum von etwa 10 Tagen bis alle 9 Teilnehmer ihren Messzyklus aufgezeichnet hatten. Dargestellt ist die Veränderung des Körpergewichts in  $\Delta$ kg zum Ausgangsgewicht (Messphase 1) im Dezember über den Verlauf der Überwinterung.*

Körpergewichtsänderungen der Versuchspersonen 2007				
n=9 (5♂, 4♀)				
	Ausgangswert	Prä- Phase (Januar bis Mai)	Dunkelphase (Mai bis August)	Post-Phase (August bis Januar2)
Messphasen	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
Median	70	70,3	70,4	70
$\bar{X} \pm SD$	73,8±13,2	74±11,7	74,3±11,2	70,02±11,5
<i>p</i>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

*Tabelle 7: Darstellung Änderungen des Körpergewichts innerhalb der verschiedenen Beleuchtungsphasen während der Überwinterung 2007; (n=9, 5♂, 4♀), es ergibt sich keine signifikante Veränderung*

Der Gewichtsverlauf der Überwinterungsgruppe von 2007 zeigte keine signifikante Veränderung des Körpergewichts und insgesamt innerhalb des Kollektivs einen sehr inhomogenen Verlauf. Dennoch lässt sich bei etwa der Hälfte der Probanden eine tendenzielle Gewichtsabnahme, bei der anderen eine Gewichtszunahme bis zum Ende der Überwinterung beobachten.

### 3.3.3.1 Körpergewichtsänderung der männlichen Teilnehmer (Überwinterung 2005-2007)

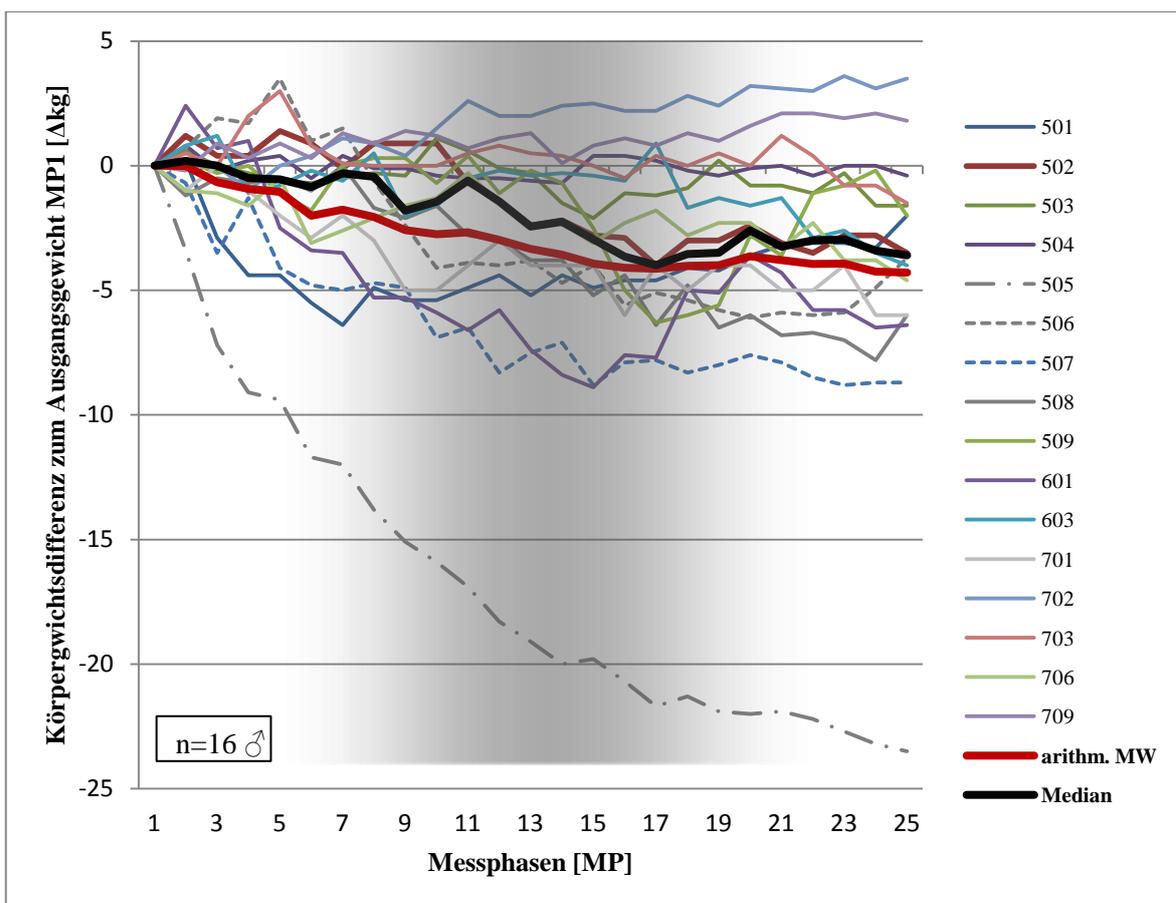


Abbildung 15: Körpergewichtsdifferenz der männlichen Probanden (n=16) der Überwinterungen 2005-2007; eine Messphase entspricht einem Zeitraum von etwa 10 Tagen bis alle Teilnehmer ihren Messzyklus aufgezeichnet hatten. Dargestellt ist die Veränderung des Körpergewichts in  $\Delta\text{kg}$  zum Ausgangsgewicht (Messphase 1) im Dezember über den Verlauf der Überwinterung. Rot hervorgehoben der arithm. Mittelwert sowie schwarz markiert der Median aus allen männlichen Gewichtsverläufen.

Körpergewichtsänderungen der Männer 2005-2007				
n=16				
	Ausgangswert	Prä-Phase (Januar bis Mai)	Dunkelphase (Mai bis August)	Post-Phase (August bis Januar2)
Messphasen	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
Median	87,4	84,5	82,7	83,5
$\bar{X}$ mit SD	85,7 $\pm$ 8,9	84,6 $\pm$ 8,5	82,7 $\pm$ 8,6	82,9 $\pm$ 9,3
<i>p</i>		<i>n.s.</i>	<0,01	<0,01

Tabelle 8: Darstellung der Körpergewichtsänderungen der männlichen Teilnehmer (n=16) innerhalb der unterschiedlichen Beleuchtungsphasen der Überwinterung; Signifikanzniveaus mittels Wilcoxon-Test zum Ausgangswert berechnet. Signifikanzniveaus  $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$

### 3.3.3.2 Körpergewichtsänderung der weiblichen Teilnehmer (Überwinterung 2006/2007)

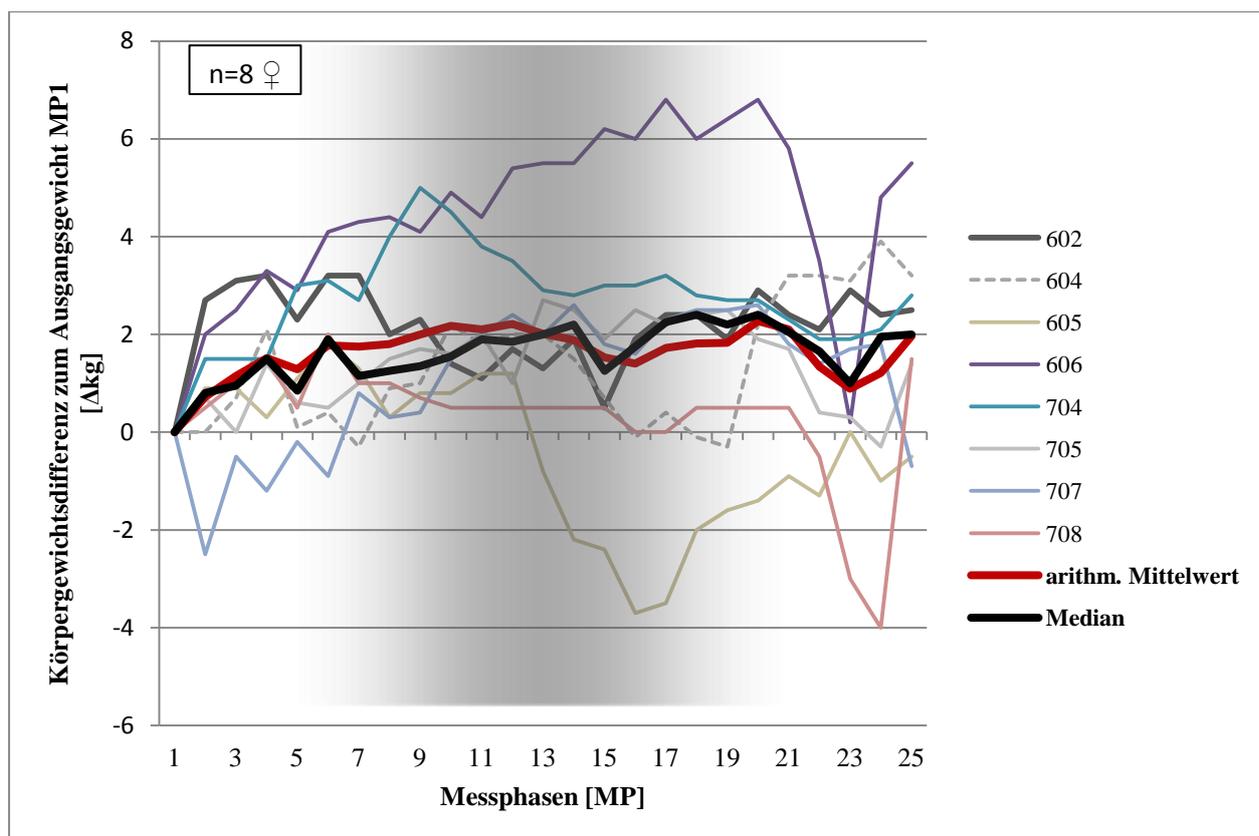


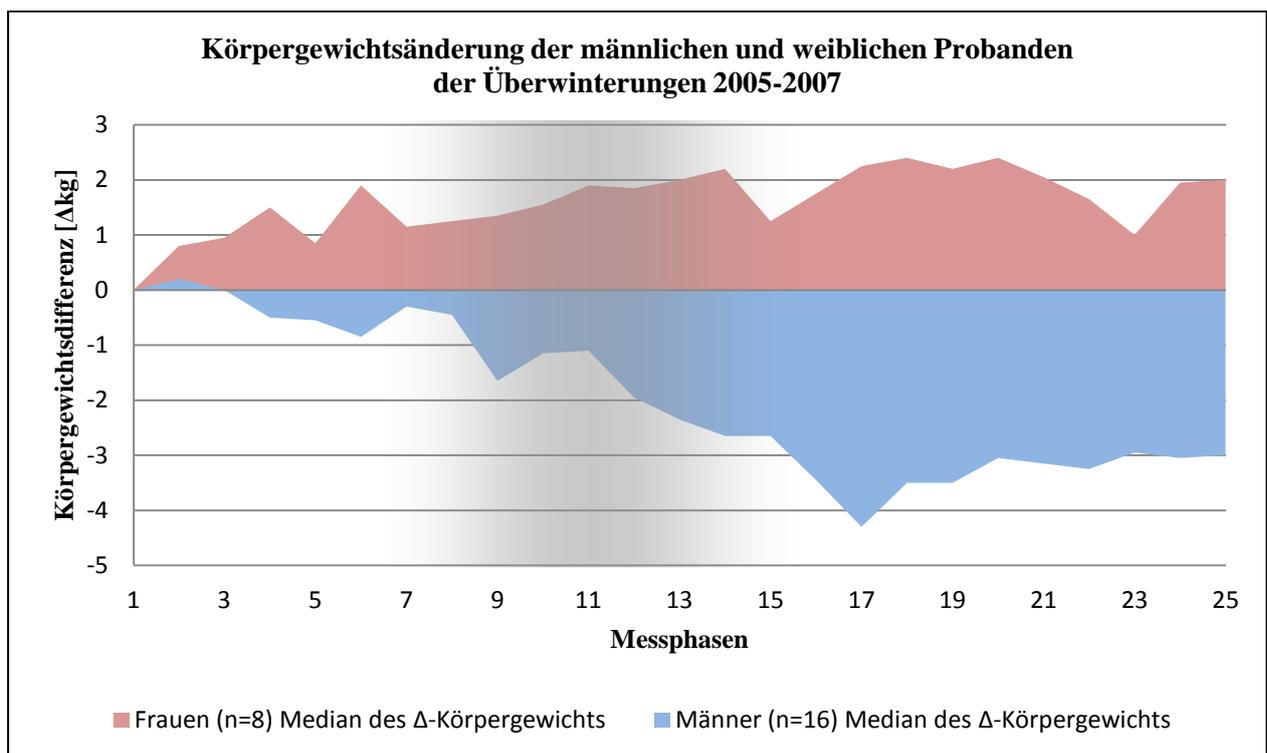
Abbildung 16: Körpergewichtsdifferenz der weiblichen Probanden ( $n=8$ ) der Überwinterungen 2006 und 2007; eine Messphase entspricht einem Zeitraum von etwa 10 Tagen bis alle Teilnehmer ihren Messzyklus aufgezeichnet hatten. Dargestellt ist die Veränderung des Körpergewichts in  $\Delta\text{kg}$  zum Ausgangsgewicht (Messphase 1) im Dezember über den Verlauf der Überwinterung. Rot hervorgehoben der arithm. Mittelwert sowie schwarz markiert der Median aus allen weiblichen Gewichtsverläufen.

Körpergewichtsänderungen der Frauen 2006 und 2007				
n=8				
	Ausgangswert	Prä- Phase (Januar bis Mai)	Dunkelphase (Mai bis August)	Post-Phase (August bis Januar2)
Messphasen	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
Median	63,4	64	64,8	65,2
$\bar{X}$ mit SD	64,8 $\pm$ 4,9	66,3 $\pm$ 5	66,7 $\pm$ 4,8	66,7 $\pm$ 5,5
<i>p</i>		<0,05	<0,05	<0,05

Tabelle 9: Darstellung der Körpergewichtsänderungen der weiblichen Teilnehmer ( $n=8$ ) innerhalb der unterschiedlichen Beleuchtungsphasen der Überwinterung; Signifikanzniveaus mittels Wilcoxon-Test zum Ausgangswert berechnet, Signifikanzniveaus  $p<0,05$ ;  $p<0,01$

Aus der Abbildung 15 geht eine signifikante Körpergewichtsabnahme ( $p < 0,05$ ) der einzelnen männlichen Probanden hervor. Die weiblichen Teilnehmer hingegen zeigen einen signifikanten Anstieg des Körpergewichts im Verlauf der Überwinterung  $p < 0,05$  (Abb. 16). Hierbei fällt auf, dass es ab der Hälfte der Isolation zu einer relativen Abnahme des Körpergewichts kommt und die Standardabweichung zunimmt, was eine größere individuelle Schwankung im weiblichen Kollektiv darstellt. Diese Schwankungen setzen sich wellenförmig weit bis in die Post-Phase fort. Am Ende der Isolation fand sich dann das Körpergewicht signifikant über dem Ausgangswert erhöht ( $p < 0,05$ ).

Die Abbildung 17 zeigt eine deutliche mediane Gewichtsabnahme der männlichen Teilnehmer mit einem maximalen Abfall direkt nach der Polarnacht. Gegensätzlich dazu stellt sich der Gewichtsverlauf der weiblichen Probanden dar, welche nahezu spiegelbildlich einen medianen Anstieg des Körpergewichts zeigen.



**Abbildung 17: Gegenüberstellung der medianen Körpergewichtsänderung des  $\Delta$ kg der männlichen und weiblichen Probanden der Kampagnen 2005-2007 über den Verlauf der Überwinterung (gesamt n=24)**

### 3.3.4 Häufigkeitsverteilung der Körpergewichtsänderung Probanden (Männer/Frauen)

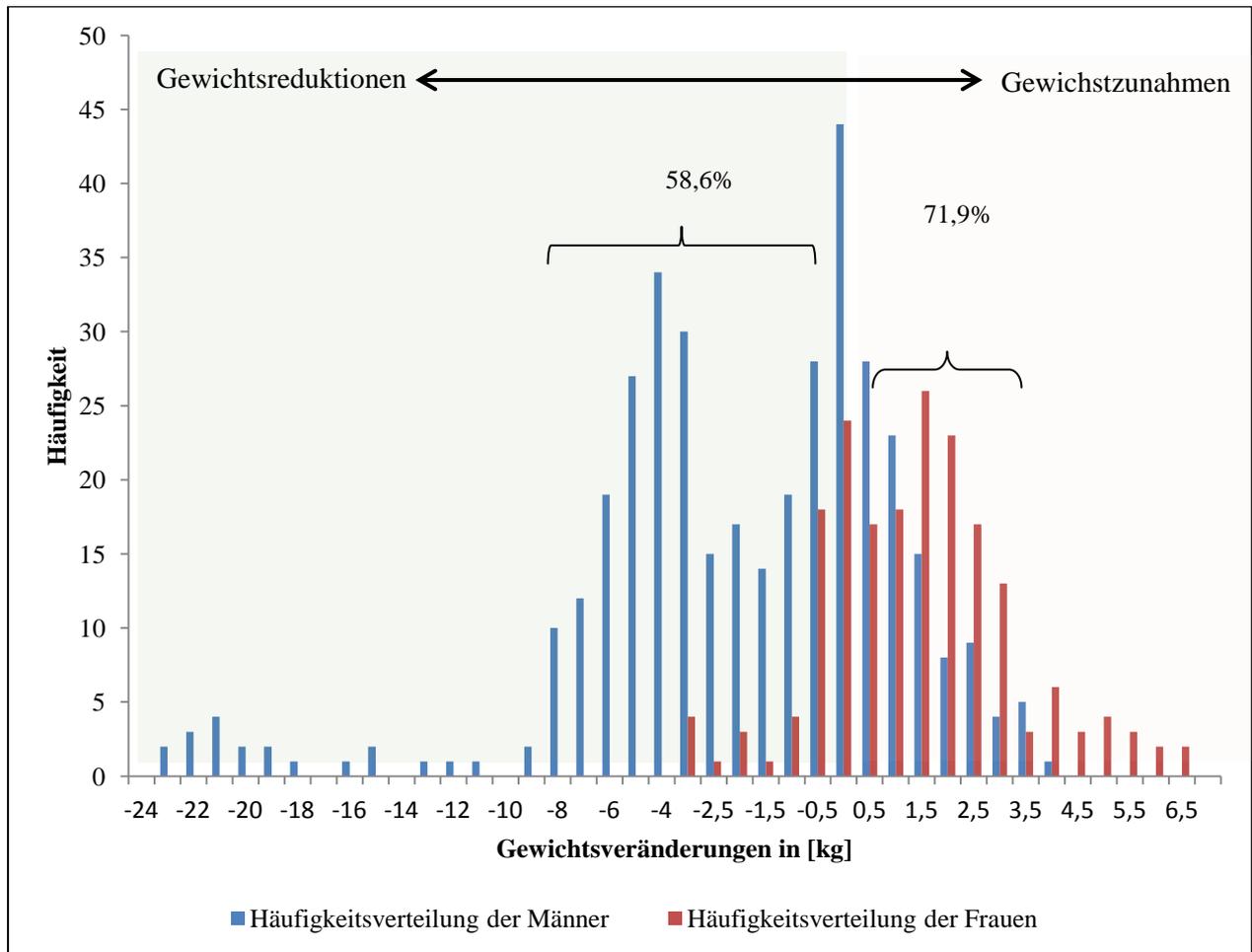


Abbildung 18: Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Körpergewichtsänderungen über die Zeit der Überwinterungen. Ermittelt aus allen erhobenen Daten, getrennt aufgeführt für die männlichen (blau; n=16) und weiblichen (rot; n=8) Probanden. Die Gewichtsänderungen in [kg] beziehen sich auf das Ausgangsgewicht, welches zu Beginn der Überwinterung für jeden Probanden ermittelt wurde.

### 3.4 Veränderungen innerhalb der fettfreien Masse, Fettmasse und Körperzellmasse

Durch die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) konnte der Anteil der fettfreien Masse (FFM), der Fettmasse (FM) und der Körperzellmasse (BCM) am Körpergewicht ermittelt werden, um so eine genauere Analyse der Körperzusammensetzung bzw. die Veränderungen des Körpergewichts zu liefern. Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Veränderungen dieser Parameter über die Zeit der Überwinterung. Es folgen die graphischen Darstellungen der fettfreien Masse, der Fettmasse und der Körperzellmasse für die einzelnen Überwinterungsgruppen sowie die nach Geschlechtern getrennte Darstellung, um somit die Unterschiede in den einzelnen Isolationsbetrachtungen aufschlüsseln zu können. Aus Gründen

der Anschaulichkeit wurden in den Darstellungen arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen gegenübergestellt, um die Veränderungen der in beiden Parametern über den Zeitraum besser darstellen zu können.

### 3.4.1 Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der Überwinterungsteilnehmer 2005

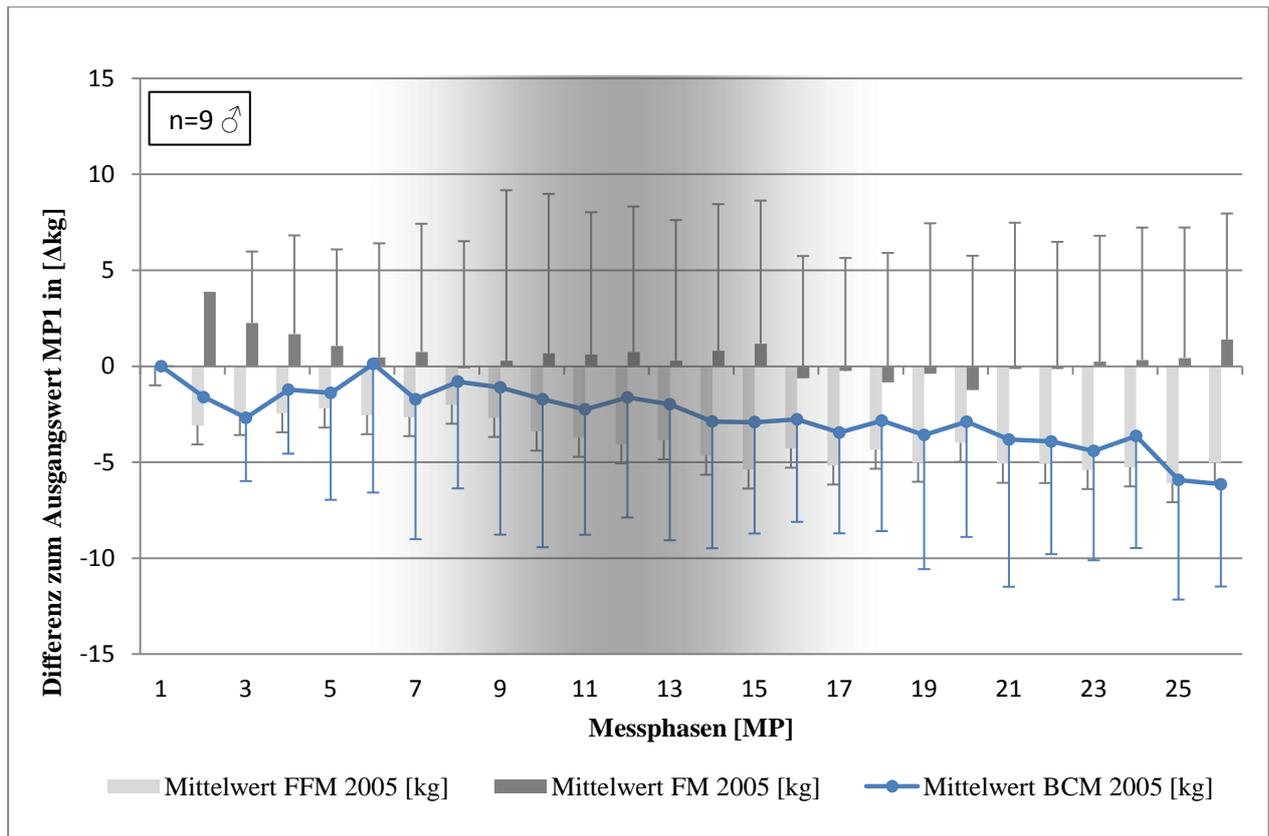


Abbildung 19: Gegenüberstellung der fettfreien Masse (FFM), Fettmasse (FM) und Körperzellmasse (BCM) der Überwinterung 2005 (n=9♂), dargestellt als arithm. Mittelwerte der Differenz mit Standardabweichung zum Ausgangswert (MP1). Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter.

<b>Fettfreie Masse der Probanden 2005</b>				
<b>n=9 (♂)</b>				
	<b>Ausgangswert</b>	<b>Prä- Phase</b> (Januar bis Mai)	<b>Dunkelphase</b> (Mai bis August)	<b>Post-Phase</b> (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
$\bar{X}$ [kg] ± SD	73,4 ± 3,58	70,8±6,8	69±7	68,3±7
<b>p</b>		<i>n.s.</i>	<0,05	<0,05
<b>Fettmasse der Probanden 2005</b>				
	<b>Ausgangswert</b>	<b>Prä- Phase</b> (Januar bis Mai)	<b>Dunkelphase</b> (Mai bis August)	<b>Post-Phase</b> (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
$\bar{X}$ [kg] ±SD	12,3±7,2	13,6±4,2	12,7±3,1	12,2±3,4
<b>p</b>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

**Tabelle 10: Darstellung der Veränderungen der fettfreien Masse und Fettmasse zum Ausgangswert (MP1) mit Hervorhebung der einzelnen Beleuchtungsphasen innerhalb der Überwinterung 2005 (n=9♂)**

Die Überwinterungsgruppe 2005 zeigt eine signifikante Abnahme ( $p < 0,05$ ) der FFM in der Phase der Dunkelheit sowie eine zweite signifikante Reduktion ( $p < 0,05$ ) gegen Ende der Überwinterung. Analog dazu nimmt die FM in der Zeit um Mittwinter zu, sinkt mit dem Anstieg der Aktivität nach der Dunkelphase wieder ab und erfährt einen erneuten Anstieg am Ende des Beobachtungszeitraums. Die BCM nimmt kontinuierlich über den Verlauf der Überwinterung ab und erreicht zur letzten Messphase ihr Minimum. Eine Korrelationsberechnung nach Spearman ergab eine signifikante und hohe Korrelation (0,924;  $p < 0,01$ ) zwischen der BCM und der FFM, jedoch nicht für die FM.

### 3.4.2 Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der Überwinterungsteilnehmer 2006

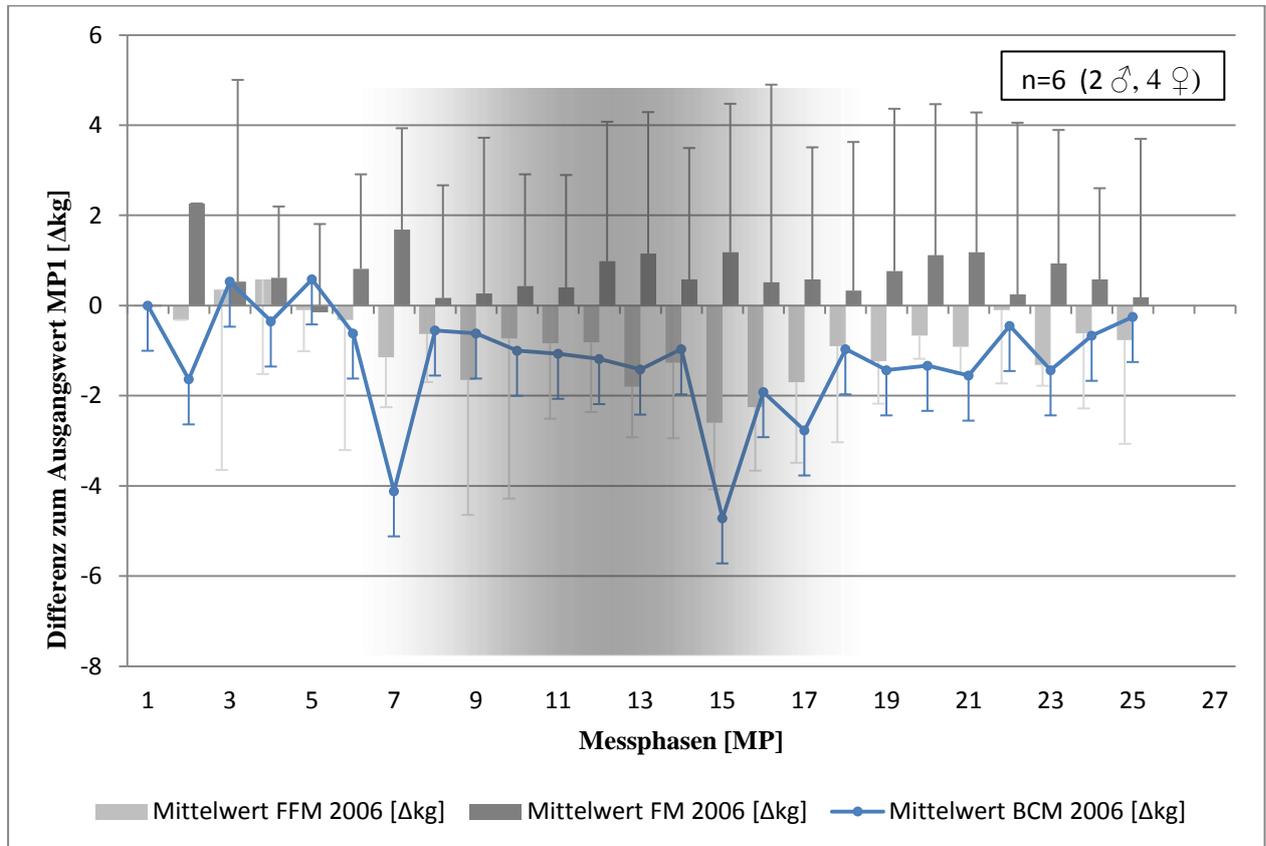


Abbildung 20: Gegenüberstellung der fettfreien Masse (FFM), Fettmasse (FM) und Körperzellmasse (BCM) der Überwinterung 2006 ( $n=6$ ; 2♂; 4♀), dargestellt als arithm. Mittelwerte der Differenz mit Standardabweichung zum Ausgangswert (MPI). Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter.

<b>Fettfreie Masse der Probanden 2006</b>				
<b>n=6 (2♂, 4♀)</b>				
	<b>Ausgangswert</b>	<b>Prä- Phase</b> (Januar bis Mai)	<b>Dunkelphase</b> (Mai bis August)	<b>Post-Phase</b> (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
$\bar{X}$ [kg]± SD	57,6 ± 13,9	57,7±12,8	56,8±12,4	57,2±12,8
<b>p</b>		<i>n.s.</i>	<i>&lt;0,05</i>	<i>n.s.</i>
<b>Fettmasse der Probanden 2006</b>				
	<b>Ausgangswert</b>	<b>Prä- Phase</b> (Januar bis Mai)	<b>Dunkelphase</b> (Mai bis August)	<b>Post-Phase</b> (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
$\bar{X}$ [kg] ± SD	20,5±3,5	21,3±3	21,3±3,3	21,2±3,5
<b>p</b>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

**Tabelle 11:** Darstellung der Veränderungen der fettfreien Masse und Fettmasse zum Ausgangswert (MP1) mit Hervorhebung der einzelnen Beleuchtungsphasen innerhalb der Überwinterung 2006(n=6, 2♂, 4♀)

Die Überwinterungsscrew des Jahres 2006 zeigte tendenziell einen Anstieg der FFM zu Beginn der Isolation und eine signifikante Abnahme ( $p < 0,05$ ) in der Phase der Polarnacht, welche intermittierend mit größeren und geringeren Ausschlägen bis zum Ende der Überwinterung beibehalten wird. Gegenläufig dazu verhielt sich die FM der Überwinterer, sie stieg und sank spiegelbildlich zur FFM, jedoch ohne eine signifikante Ausprägung. Die BCM zeigte ebenfalls eine hohe Korrelation nach Spearman (0,901;  $p < 0,01$ ) zum Verlauf der FFM.

### 3.4.3 Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der Überwinterungsteilnehmer 2007

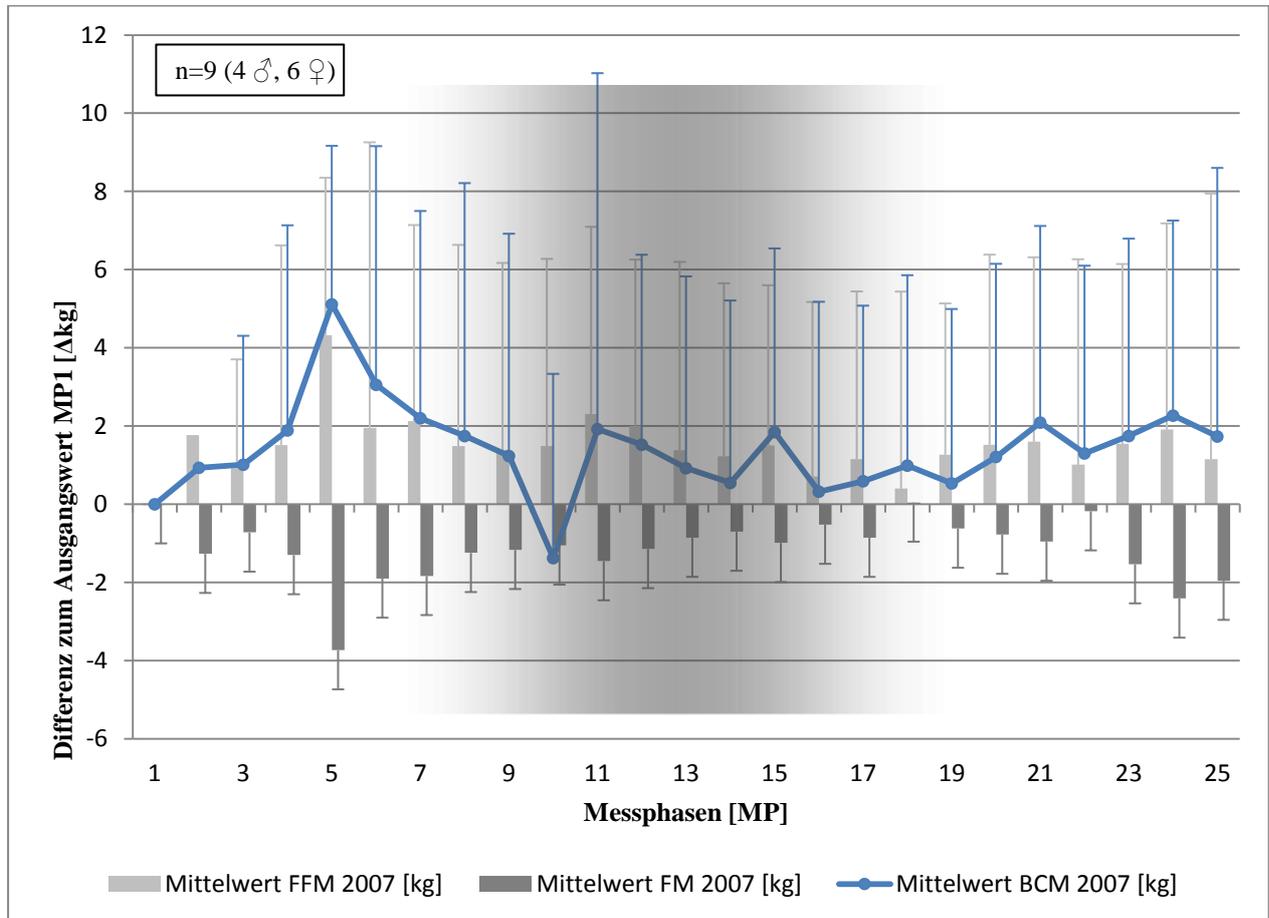


Abbildung 21: Gegenüberstellung der fettfreien Masse (FFM), Fettmasse (FM) und Körperzellmasse (BCM) der Überwinterung 2007 ( $n=9$ , 4♂, 5♀), dargestellt als arithm. Mittelwerte der Differenz mit Standardabweichung zum Ausgangswert (MP1). Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter.

<b>Fettfreie Masse der Probanden 2007</b>				
<b>n=9 (5♂, 4♀)</b>				
	<b>Ausgangswert</b>	<b>Prä- Phase</b> (Januar bis Mai)	<b>Dunkelphase</b> (Mai bis August)	<b>Post-Phase</b> (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
$\bar{X}$ [kg] ± SD	58,1 ± 10,6	60±12,2	59,6±11,8	59,4±12,2
<i>p</i>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
<b>Fettmasse der Probanden 2007</b>				
	<b>Ausgangswert</b>	<b>Prä- Phase</b> (Januar bis Mai)	<b>Dunkelphase</b> (Mai bis August)	<b>Post-Phase</b> (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP25
$\bar{X}$ [kg] ± SD	15,7±4,6	14±3,6	14,7±2,6	14,6±3,1
<i>p</i>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

**Tabelle 12:** Darstellung der Veränderungen der fettfreien Masse und Fettmasse zum Ausgangswert (MP1) mit Hervorhebung der einzelnen Beleuchtungsphasen innerhalb der Überwinterung 2007(n=9, 5♂, 4♀)

Die Veränderungen der FFM und FM der Probanden 2007 verhalten sich konträr zu den beiden vorhergehenden Überwinterungsgruppen. So nimmt die FM in der Zeit vor der Polarnacht zu, flacht im Verlauf wieder etwas ab, um zu Beginn der Mittwinterphase erneut anzusteigen. Insgesamt zeigt sich einen wellenartiger Verlauf, der gegen Ende der Überwinterung einen erneuten Höhepunkt erreicht. Die FM verhält sich, wie schon bei den Vorgruppen, gegenläufig zur FFM. Signifikante Veränderungen konnten nicht nachgewiesen werden. Auch bei den Veränderungen der BCM zeigten sich keine signifikanten Veränderungen im Verlauf der Überwinterung. Allerdings ergab sich eine relativ hohe Korrelation (0,766;  $p < 0,01$ ) zur FFM.

### 3.4.4 Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der männlichen Probanden 2005-2007

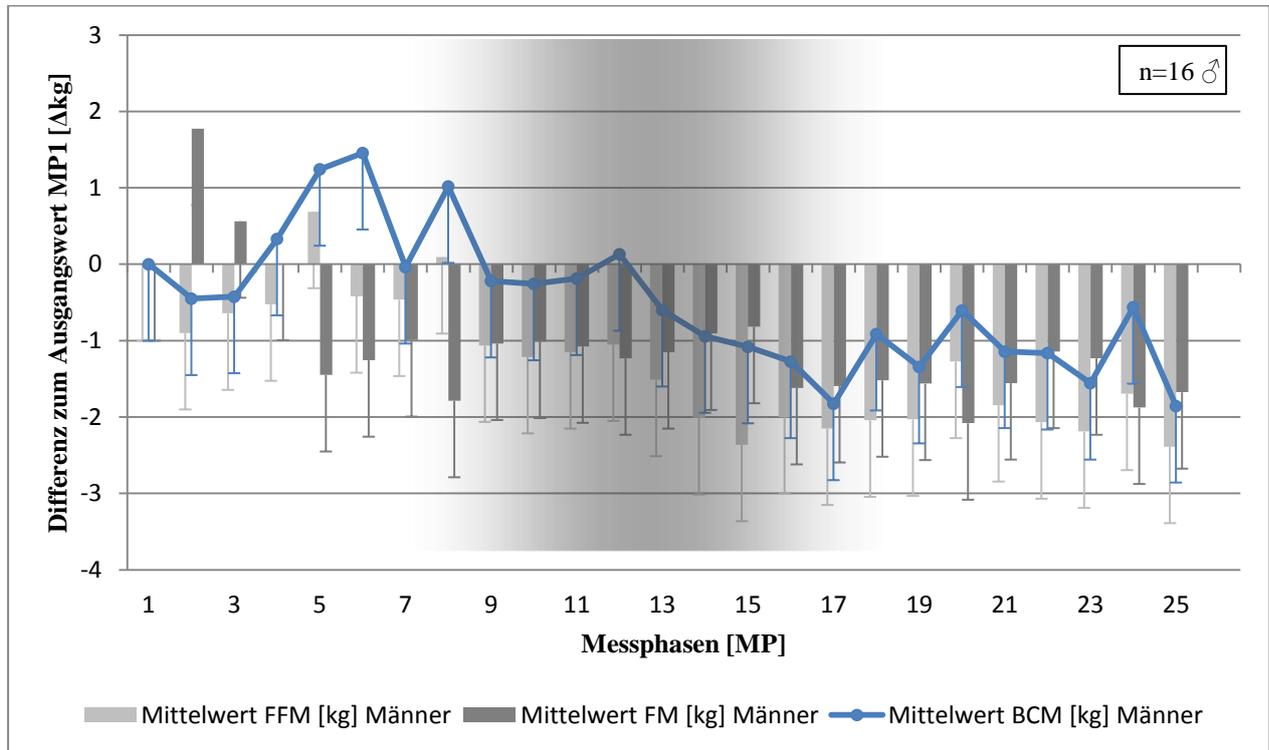


Abbildung 22: Veränderungen der Fettfreien Masse (FFM), Fettmasse (FM) und Körperzellmasse (BCM) innerhalb der männlichen Probanden (n=16) der Überwinterungen 2005-2007, als mittlere Differenz (arithm. Mittelwert mit Standardabweichung) zum Ausgangswert MP1, über den Verlauf der Überwinterung. Der dunkelgrau hervorgehobene Bereich entspricht der Polarnacht im antarktischen Winter.

Veränderungen der Fettfreien Masse der Männer (n=16)				
	Ausgangswert	Prä- Phase (Januar bis Mai)	Dunkelphase (Mai bis August)	Post-Phase (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP26
$\bar{X}$ [kg] $\pm$ SD	71,4 $\pm$ 5,32	71 $\pm$ 6,9	70 $\pm$ 6,6	69,5 $\pm$ 7
<b>p</b>		n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 13: Darstellung der Veränderungen der fettfreien Masse zum Ausgangswert der männlichen Probanden (n=16), mit Hervorhebung der einzelnen Beleuchtungsphasen in der Überwinterung

Veränderung der Fettmasse der Männer (n=16)				
	Ausgangswert	Prä- Phase (Januar bis Mai)	Dunkelphase (Mai bis August)	Post-Phase (August bis Januar2)
Messphasen	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP24
$\bar{X}$ [kg]± SD	15,2±7	14,7±5	14,1±3,7	13,6±4,2
<i>p</i>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Tabelle 14: Darstellung der Veränderungen der Fettmasse zum Ausgangswert der männlichen Probanden (n=16), mit Hervorhebung der einzelnen Beleuchtungsphasen in der Überwinterung

Die Betrachtung der männlichen Teilnehmer zeigt anfangs einen Anstieg der FM und eine Abnahme der FFM und BCM. Nur wenige Wochen vor der Dunkelphase kommt es dann zu einem Anstieg der FFM und BCM. Und erst in der Zeit um Mittwinter stellte sich eine deutliche Abnahme der FM, FFM und BCM ein, die sich über den gesamten Verlauf der Überwinterung erstreckt. Weiterhin ist eine hohe Korrelation (0,943;  $p < 0,01$ ) der BCM zur FFM zu verzeichnen.

### 3.4.5 Fettfreie Masse, Fettmasse und Körperzellmasse der weiblichen Probanden 2006/2007

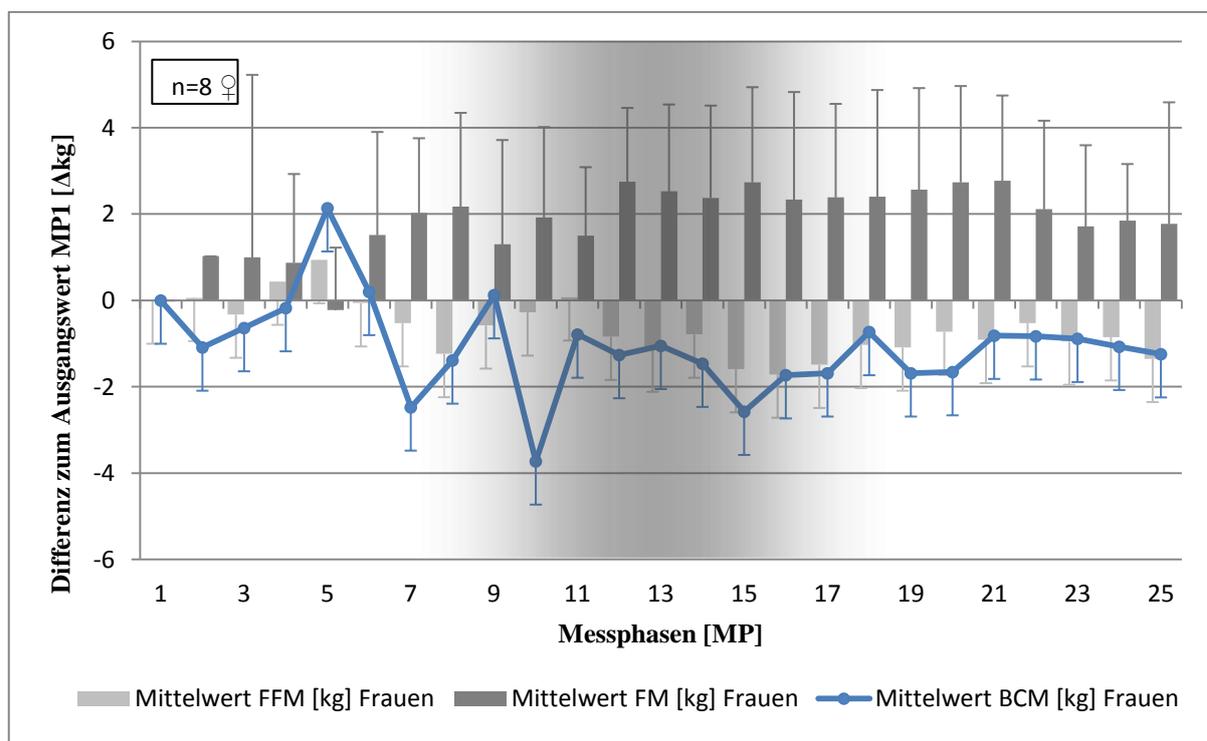


Abbildung 23: Veränderungen der Fettfreien Masse (FFM), Fettmasse (FM) und Körperzellmasse (BCM) innerhalb der weiblichen Probanden (n=8) der Überwinterungen 2006/2007 mittlere Differenz (arithm. Mittelwert mit Standardabweichung) zum Ausgangswert MP1 über den Verlauf der Überwinterung. Der dunkelgrau hervorgehobene Bereich entspricht der Polarnacht im antarktischen Winter.

Veränderung der fettfreien Masse der Frauen (n=8)				
	Ausgangswert	Prä- Phase (Januar bis Mai)	Dunkelphase (Mai bis August)	Post-Phase (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP24
$\bar{X}$ [kg] $\pm$ SD	48,4 $\pm$ 3,1	48,6 $\pm$ 3	48 $\pm$ 2,6	47,8 $\pm$ 2,7
<i>p</i>		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Veränderungen der Fettmasse der Frauen (n=8)				
	Ausgangswert	Prä- Phase (Januar bis Mai)	Dunkelphase (Mai bis August)	Post-Phase (August bis Januar2)
<b>Messphasen</b>	MP1	MP2-MP9	MP10-MP16	MP17-MP24
$\bar{X}$ [kg] $\pm$ SD	16,4 $\pm$ 4,5	17,6 $\pm$ 4,7	18,7 $\pm$ 4,2	18,7 $\pm$ 4,3
<i>p</i>		<0,05	<0,05	<0,05

**Tabelle 15: Darstellung der Veränderungen der fettfreien Masse und Fettmasse der weiblichen Probanden (n=8) zum Ausgangswert mit Hervorhebung der einzelnen Beleuchtungsphasen innerhalb der Überwinterung**

Die Auswertung der Ergebnisse der weiblichen Probanden weist anfänglich einen Anstieg der FFM auf, welcher jedoch ab der Dunkelphase im antarktischen Winter gegenläufig wird und kurz nach Rückkehr des Lichts ein Minimum erreicht. Die FM steigt von Beginn der Überwinterung kontinuierlich an, erreicht in der Dunkelphase signifikante Maxima ( $p < 0,05$ ), welche noch bis in die anschließende Helligkeitsphase reichen und sinkt erst zum Ende hin langsam wieder ab; das Ausgangsniveau wird jedoch nicht erreicht. Auch hier ergab sich eine relativ hohe Korrelation zwischen der FFM und BCM (0,633;  $p < 0,01$ ).

### 3.5 Veränderungen des Fettstoffwechsels

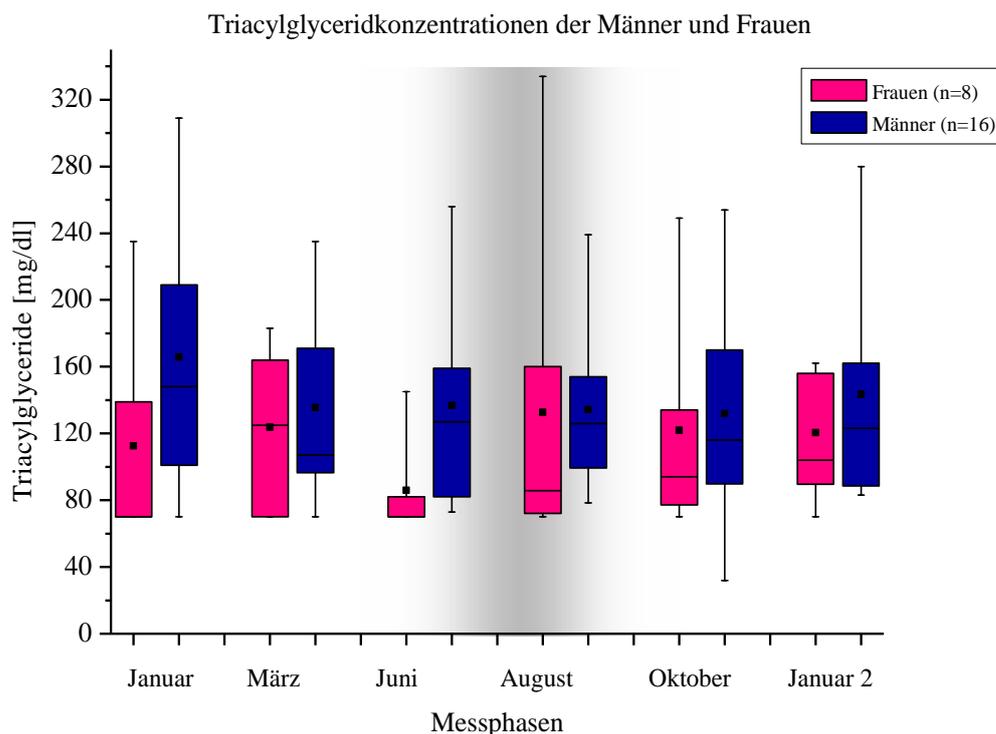
Zur weiteren Betrachtung der Veränderungen in der körperlichen Zusammensetzung und des Metabolismus während der Überwinterung, wurden auch Parameter des Fettstoffwechsels im Serum bestimmt. Die in dieser Arbeit betrachteten Faktoren sind Triacylglyceride (TAG), Cholesterin, HDL- und LDL-Cholesterin.

Es folgen die Darstellungen der oben genannten Parameter für die einzelnen Überwinterungsteams als Tabelle sowie zusätzlich als graphische Darstellung für die männlichen und weiblichen Probanden im Vergleich.

### 3.5.1 Veränderungen der Triacylglyceridkonzentrationen der Überwinterer

Triglyceride [mg/dl]						
Überwinterung	MP1 $\bar{X}$ mit $\pm$ SD	März $\bar{X}$	Juni $\bar{X}$	Aug $\bar{X}$	Okt $\bar{X}$	Jan2 $\bar{X}$
2005 n=9 (♂)	155,6 $\pm$ 71,6	129,2	122	145,1	133,3	138,8
2006 n=6 (2♂, 4♀)	135 $\pm$ 61,3	98	87,3	138,8	126,2	130,6
2007 n=9 (4♂, 5♀)	149,2 $\pm$ 89	156,2	139	118,9	125,4	136,1
Männer n=16	165,8 $\pm$ 75,3	135,4	136,6	134,3	131,9	143,4
Frauen n=8	112,5 $\pm$ 59,1	123,8	85,9	132,6	121,9	120,5
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

**Tabelle 16:** Signifikanzniveaus des Verlaufs der Triacylglyceridkonzentrationen (TAG) innerhalb der Überwinterung der Gruppen 2005 (n=9, ♂), 2006 (n=6, 2♂, 4♀), 2007 (n=9, 5♂, 4♀) sowie der Einzelbetrachtung der männlichen (n=16) und weiblichen (n=8) Probanden bezogen auf den Ausgangswert (MP1). Es ergab sich für keine der getroffenen Betrachtungen eine signifikante Änderung der Triacylglyceridkonzentrationen über den Verlauf der jeweiligen Überwinterung.



**Abbildung 24:** Verlauf der Triacylglyceridkonzentrationen (TAG) innerhalb der männlichen (n=16) und weiblichen (n=8) Probanden der Überwinterungen 2005-2007. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15 monatigem Aufenthalt.

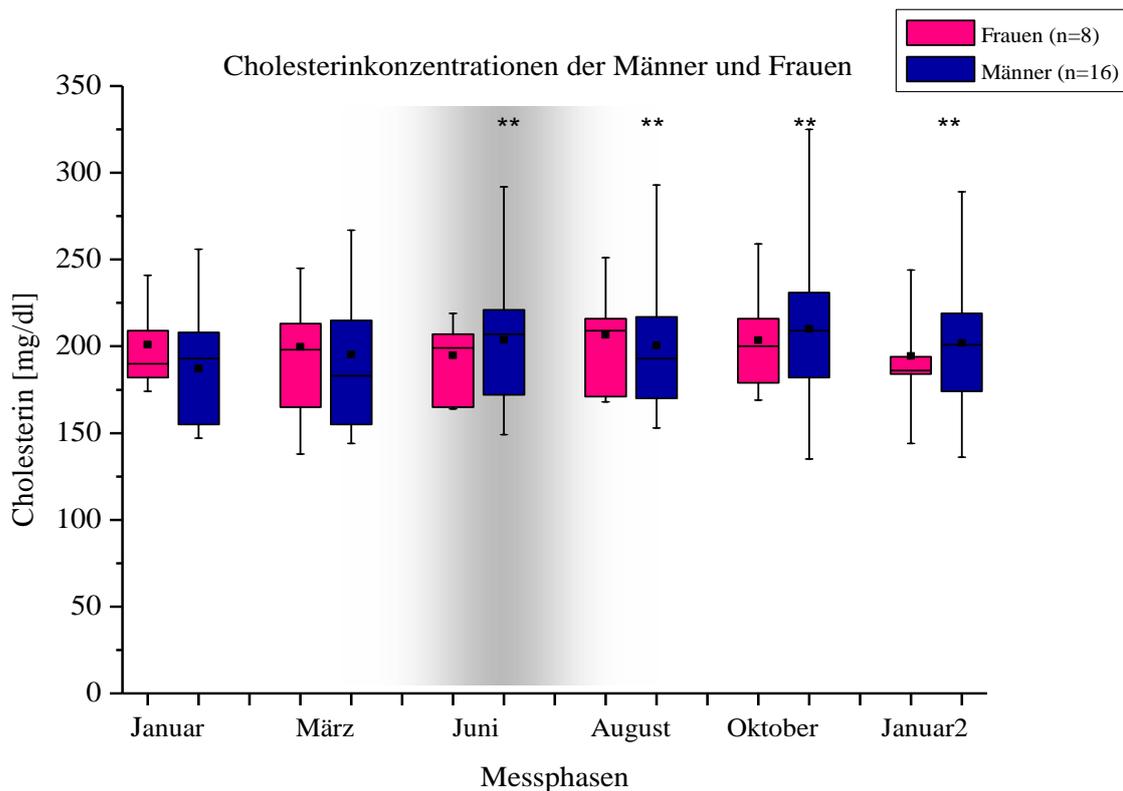
Die Konzentration der Triacylglyceride im Blut lag zu Beginn der Überwinterung bei den männlichen Teilnehmern sowie der Überwinterung 2005 deutlich über dem empfohlenen Normwert von <150 mg/dl [45]. Im Verlauf zeigten die Konzentrationen innerhalb der drei Isolationsgruppen sowie bei der Betrachtung der männlichen und weiblichen Probanden eine Tendenz zur initialen Abnahme (Pre-Phase) und leichtem Anstieg in der Dunkelphase des antarktischen Winters. Die Bestimmung der Signifikanzniveaus mittels Wilcoxon-Test ergab für alle Darstellungen keine signifikanten Veränderungen ( $p = \text{n.s.}$ ) innerhalb der Überwinterung. Daher wurde auf weitere graphische Darstellungen verzichtet.

### 3.5.2 Cholesterinkonzentrationen der Überwinterer

Cholesterin [mg/dl]						
Überwinterung	MP1 $\bar{X}$ mit $\pm$ SD	März $\bar{X}$	Juni $\bar{X}$	Aug $\bar{X}$	Okt $\bar{X}$	Jan2 $\bar{X}$
2005 n=9 (♂)	178,2 $\pm$ 27,1	141,2	198,7	190,9	187,9	193,2
<i>p</i>		n.s.	<0,01	n.s.	n.s.	n.s.
2006 n=6 (2♂, 4♀)	187,5 $\pm$ 27,5	197,7	187,2	189,2	199,3	181,8
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2007 n=9 (4♂, 5♀)	207 $\pm$ 26,9	208,6	212,0	223,1	233,7	217,6
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	<0,01	n.s.
Männer n=16	187 $\pm$ 31,6	195,3	203,8	200,6	210,1	202
<i>p</i>		n.s.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Frauen n=8	200,9 $\pm$ 22,3	199,6	194,8	206,5	203,6	194,5
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

*Tabelle 17: Signifikanzniveaus des Verlaufs der Cholesterinkonzentration innerhalb der Überwinterung der Gruppen 2005 (n=9♂), 2006 (n=6, 2♂, 4♀), 2007 (n=9, 5♂, 4♀) sowie der Einzelbetrachtung der männlichen (n=16) und weiblichen (n=8) Probanden bezogen auf den Ausgangswert (MP1)*

Die Cholesterinkonzentration liegen zu Beginn der Überwinterung bei der Kampagne 2007 und den weiblichen Teilnehmern leicht über dem empfohlenen Normwert von <200 mg/dl [45]. Die Konzentrationen innerhalb der Überwinterungskampagne 2005 ergeben im Juni einen signifikanten Anstieg ( $p < 0,01$ ), welcher im weiteren Verlauf deutlich rückläufig ist. Innerhalb der Überwinterungen 2006 und 2007 findet bis Oktober ein Anstieg der Cholesterinkonzentration statt, welcher in 2007 sogar eine signifikante Ausprägung ( $p < 0,01$ ) erreicht und mit Werten von 233,7 mg/dl deutlich über der Norm liegt.



**Abbildung 25:** Darstellung der Cholesterinkonzentration der männlichen ( $n=16$ ) und weiblichen Probanden ( $n=8$ ) über den Verlauf der Isolation als Boxplot. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Die männliche Population zeigt einen signifikanten Anstieg der Cholesterinkonzentration ( $p < 0,01$ ) im Blut über den Verlauf der Isolation mit einem Maximum im Oktober und einer langsamen Abnahme gegen Ende der Überwinterung. Die weiblichen Probanden zeigen einen inhomogenen Verlauf der Cholesterinkonzentration. So kommt es zu einer tendenziellen Abnahme des Serumcholesterins bis zur Dunkelphase und einem Anstieg gegenüber dem Ausgangswert bis zum Ende der Isolation. Diese erhöhten Cholesterinwerte liegen jeweils über den Bereichen, die für die Cholesterinkonzentration im gesunden Organismus empfohlen werden [45]. Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman für Cholesterin der männlichen Konzentrationsverläufe zu denen der Frauen ergab keinen Nachweis für eine signifikante Korrelation.

### 3.5.3 HDL-/LDL-Cholesterinkonzentrationen

Die Analyse der HDL- und LDL-Konzentrationen der einzelnen Überwinterungsteams wurde in einer Tabelle wiedergegeben und signifikante Unterschiede hervorgehoben. Desweiteren wurden die Veränderungen des HDL- und LDL-Cholesterins innerhalb der männlichen und weiblichen Probanden in einem Säulendiagramm dargestellt und dabei die HDL-Konzentrationsverläufe als Differenzen zum Ausgangswert MP1 denen des LDLs gegenübergestellt. Es wurden die arithmetischen Mittelwerte der männlichen und weiblichen Teilnehmer verwendet.

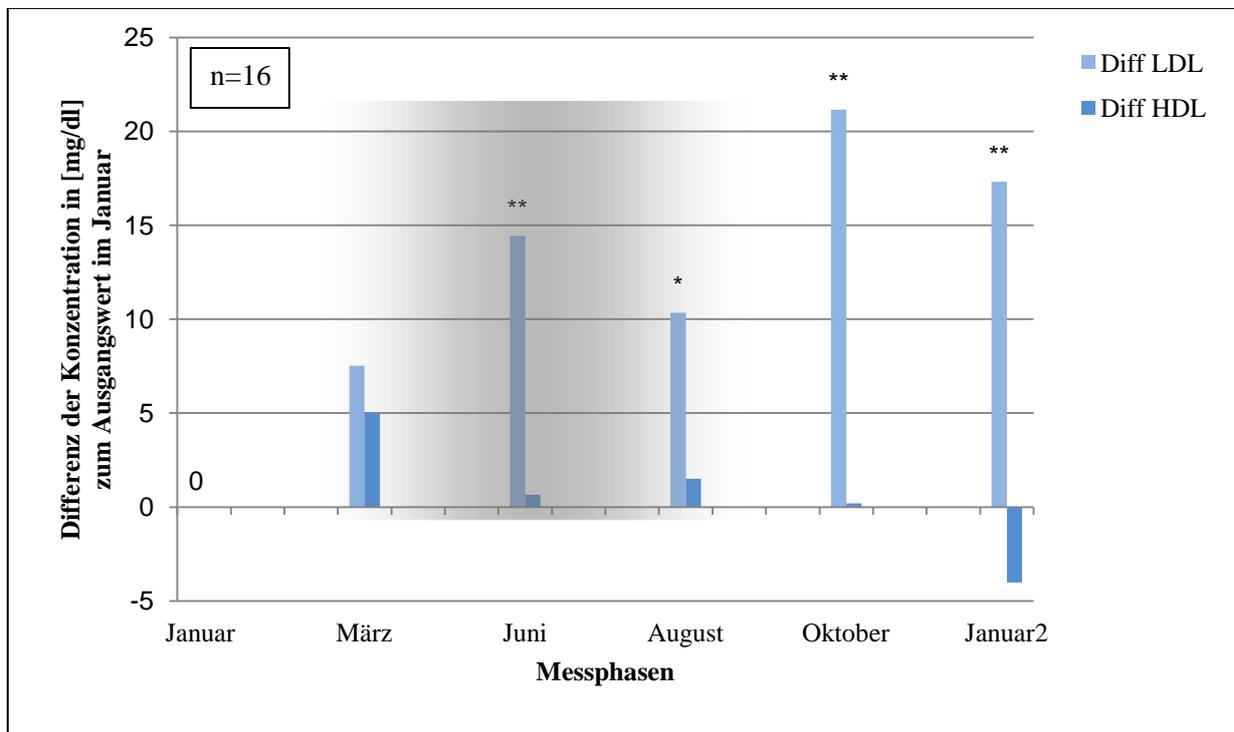
### 3.5.4 HDL-/LDL-Cholesterinkonzentrationen der Überwinterungsteilnehmer 2005-2007

LDL- und HDL-Cholesterin [mg/dl]						
Überwinterung	MP1 $\bar{X}$ mit $\pm$ SD	März $\bar{X}$	Juni $\bar{X}$	Aug $\bar{X}$	Okt $\bar{X}$	Jan2 $\bar{X}$
<b>LDL 2005 n=9(♂)</b>	125,4 $\pm$ 27,2	134,4	141,9	136,9	136,4	147,8
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<b>&lt;0,05</b>
<b>HDL 2005 n=9(♂)</b>	52,8 $\pm$ 9	49,8	56,8	54	51,5	45,4
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<b>&lt;0,01</b>
<b>LDL 2006 n=6 (2♂, 4♀)</b>	127,1 $\pm$ 37,6	146,8	138,8	133,8	139	122,5
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<b>HDL 2006 n=6 (2♂, 4♀)</b>	60,7 $\pm$ 22,4	50,9	48,4	54	51,5	59,4
<i>p</i>		n.s.	<b>&lt;0,05</b>	n.s.	n.s.	n.s.
<b>LDL 2007 n=9 (5♂, 4♀)</b>	150,1 $\pm$ 44,4	144,1	156,6	164,4	178,2	166,8
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	<b>&lt;0,01</b>	n.s.
<b>HDL 2007 n=9 (5♂, 4♀)</b>	60,7 $\pm$ 22,4	64,4	55,4	58,7	55,4	50,8
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<b>&lt;0,05</b>
<b>LDL Männer (n=16♂)</b>	135 $\pm$ 37,7	144,3	151,2	147,1	155	154,1
<i>p</i>		n.s.	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>
<b>HDL Männer (n=16♂)</b>	52 $\pm$ 12,5	51	52,6	53,5	52,4	48
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<b>LDL Frauen (n=8♀)</b>	131,8 $\pm$ 28,8	134,9	137,6	145,1	142,5	137,6
<i>p</i>		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<b>HDL Frauen (n=8♀)</b>	69 $\pm$ 19,1	64,8	57,2	61,4	61,2	56,8
<i>p</i>		n.s.	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;0,01</b>

*Tabelle 18: Signifikanzniveaus der LDL/HDL-Konzentrationen für die jeweiligen Überwinterungskampagnen 2005 (n=9), 2006 (n=6), 2007 (n=9) mittels Wilcoxon-Test, bezogen auf den Ausgangswert (MP1), berechnet. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter.*

Die Betrachtung der Werte der LDL- und HDL-Konzentrationen der einzelnen Überwinterungskampagnen ist sehr inhomogen und ergibt nur vereinzelt signifikante Veränderungen (siehe Tabelle 18). Es lässt sich jedoch im Allgemeinen eine Zunahme der LDL-Konzentrationen bis Mittwinter und eine Abnahme der HDL-Konzentrationen analog dazu feststellen. Im Überwinterungsteam 2007 ist von August bis Oktober eine LDL-Konzentration über dem empfohlenen Bereich von <160 mg/dl [45] zu verzeichnen.

### 3.5.4.1 HDL-/LDL-Cholesterinkonzentrationen der männlichen Teilnehmer (2005-2007)



*Abbildung 26: Gegenüberstellung der Veränderungen innerhalb der LDL- und HDL-Konzentrationen der männlichen Probanden (n=16) der Überwinterungen 2005-2007 als arithm. Mittelwerte der Differenz zum Ausgangswert im Januar, über die Zeit der Überwinterung. Signifikanzniveaus mit: \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$  gekennzeichnet. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.*

Die Betrachtung der männlichen Teilnehmer ergibt einen signifikanten Anstieg ( $p < 0,01$ ) der LDL-Konzentration ab Juni bis zum Ende der Überwinterung, während die HDL-Konzentration tendenziell abnimmt. Die signifikanten Unterschiede beziehen sich jeweils auf den im Januar ermittelten Ausgangswert.

### 3.5.4.2 HDL-/LDL-Cholesterinkonzentrationen der weiblichen Teilnehmer (2006/2007)

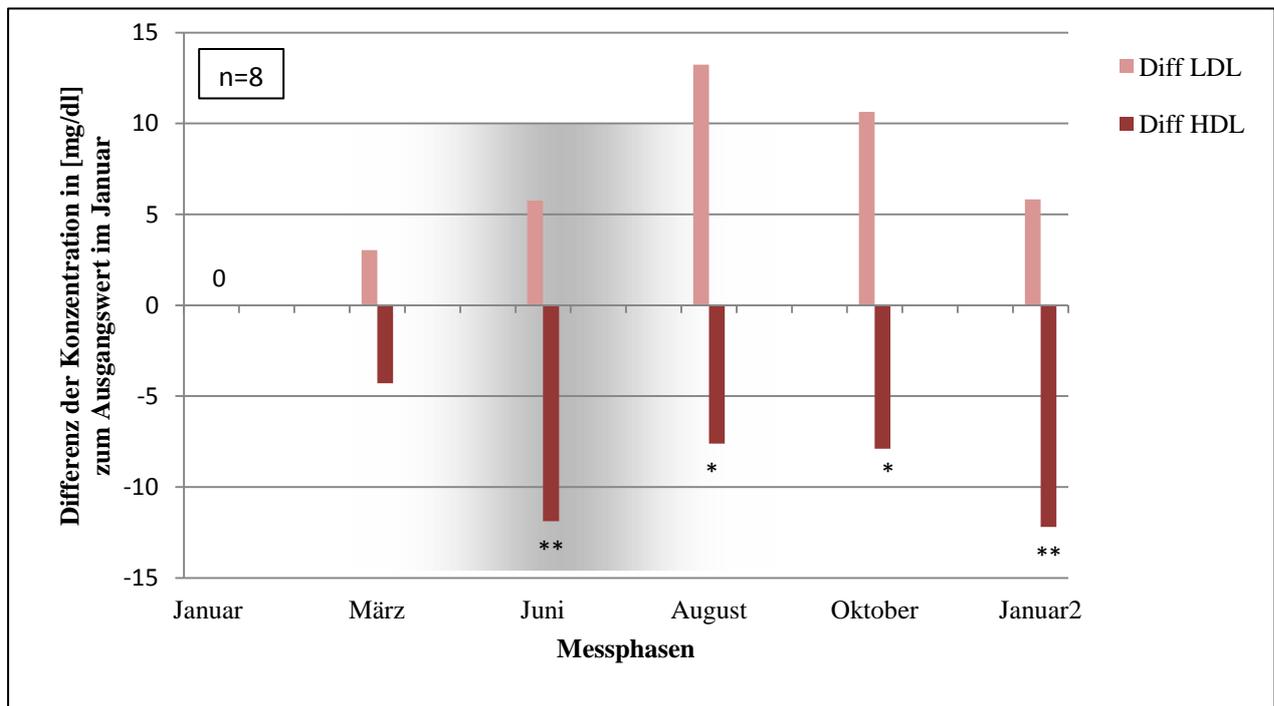


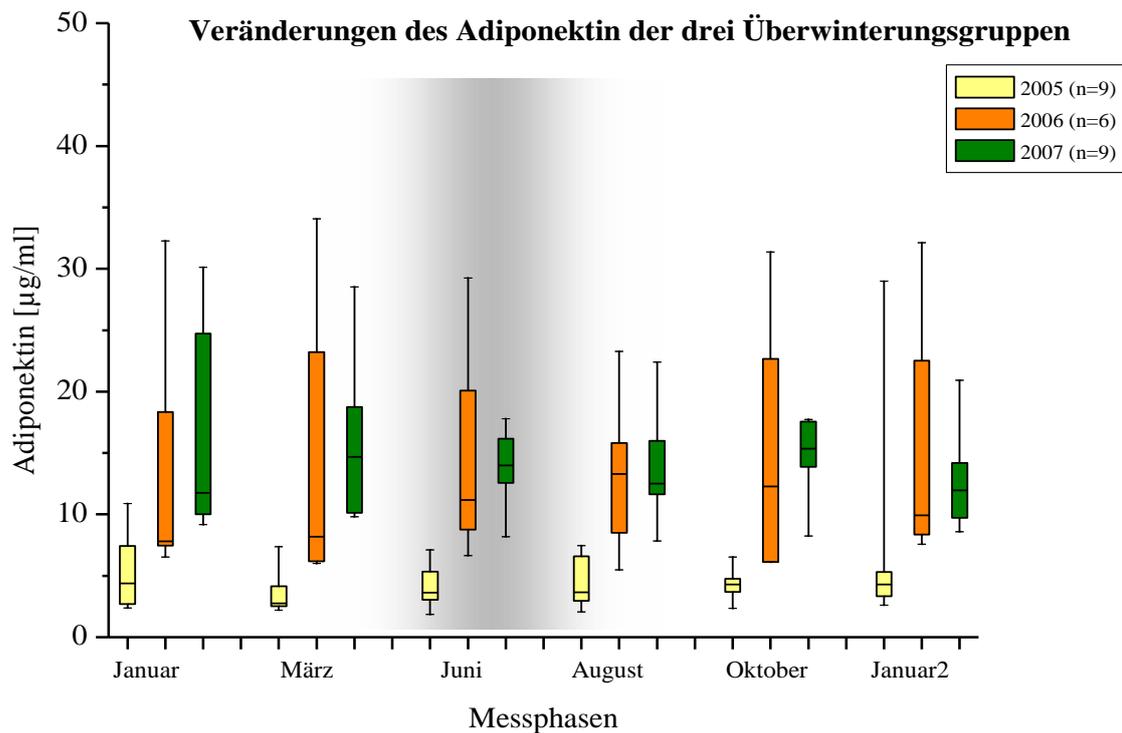
Abbildung 27: Gegenüberstellung der Veränderungen innerhalb der LDL- und HDL-Konzentration der weiblichen Probanden (n=8) der Überwinterungen 2006/2007 als arithm. Mittelwerte der Differenz zum Ausgangswert im Januar, über die Zeit der Überwinterung. Signifikanzniveaus mit: \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$  gekennzeichnet. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Die Darstellung der HDL-/LDL-Konzentrationsverläufe der weiblichen Probanden zeigt einen maximalen Anstieg der LDL-Konzentration ( $p < 0,01$ ) im August sowie eine spiegelbildliche Abnahme der HDL-Konzentrationen ( $p < 0,05$ ) von Juni bis zum Ende der jeweiligen Überwinterung (Januar2). Sowohl die LDL- als auch HDL-Konzentrationen liegen bei der Gesamtbetrachtung der Männer und Frauen im Mittel im Bereich der empfohlenen Normbereiche.

### 3.6 Veränderungen der Adiponektinkonzentrationen

Adiponektin wird als Gewebshormon von den Adipozyten sezerniert und ist mit der Masse des weißen Fettgewebes korreliert. Es wird als weiterer Parameter des Fetthaushaltes im Folgenden dargestellt. Die Graphiken und Tabellen stellen erneut die einzelnen Isolationsbetrachtungen und die geschlechterspezifischen Abbildungen dar.

#### 3.6.1 Adiponektinkonzentrationen innerhalb der drei Überwinterungsteams



**Abbildung 28:** Verlauf der Adiponektinkonzentration der Überwinterung 2005 (n=9, ♂), 2006 (n=6, 2♂, 4♀), 2007 (n=9, 5♂, 4♀) als Boxplot; die Signifikanzniveaus beziehen sich jeweils auf den Ausgangswert im Januar; \* $p < 0,05$ . Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

	Fettmasse 2005	Adiponektin 2005	Fettmasse 2006	Adiponektin 2006	Fettmasse 2007	Adiponektin 2007
	n=9 (♂)		n=6 (2♂, 4♀)		n=9 (5♂, 4♀)	
<b>Korrelation nach Spearman</b>						
<b>Leptin</b> Korrelationskoeffizient	0,821	0,029	0,484	0,829	0,086	0,486
<b>p</b>	<b>&lt;0,05</b>	n.s.	n.s.	<b>&lt;0,05</b>	n.s.	n.s.
<b>Adiponektin</b> Korrelationskoeffizient	0,029		0,086		0,6	
<b>p</b>	n.s.		n.s.		n.s.	

**Tabelle 19: Korrelationsberechnung nach Spearman der Fettmasse zu Adiponektin und Leptin bzw. Adiponektin zu Leptin der drei Überwinterungskampagnen 2005 (n=9, ♂) gelb, 2006 (n=6, 2♂, 4♀) orange, 2007 (n=9, 5♂, 4♀) grün.**

Die Adiponektinkonzentrationen der Überwinterung 2005 zeigen nur im März eine signifikante Abnahme ( $p < 0,05$ ). Mit der Dunkelphase erreichen die Konzentrationen einen Wert, der dem Ausgangswert entspricht. Im Jahr 2006 sinken sie bis Juni leicht ab, jedoch ohne signifikante Veränderungen zu erreichen, danach steigen die Konzentrationen wieder an, um am Ende der Isolation wieder das Ausgangsniveau zu erreichen. Der Adiponektinverlauf der Überwinterungskampagne 2007 weist zu Beginn eine hohe Streuung der Werte auf, welche sich zum Mittwinter hin angleichen, um sich dann bis zum Ende auf einem einheitlichen Wert einzupegeln. Interessanterweise zeigen sich keine signifikanten Korrelationen innerhalb der drei Kampagnen zwischen der Fettmasse und dem Adiponektin bzw. Leptin.

### 3.6.2 Adiponektinkonzentrationen innerhalb der männlichen und weiblichen Probanden

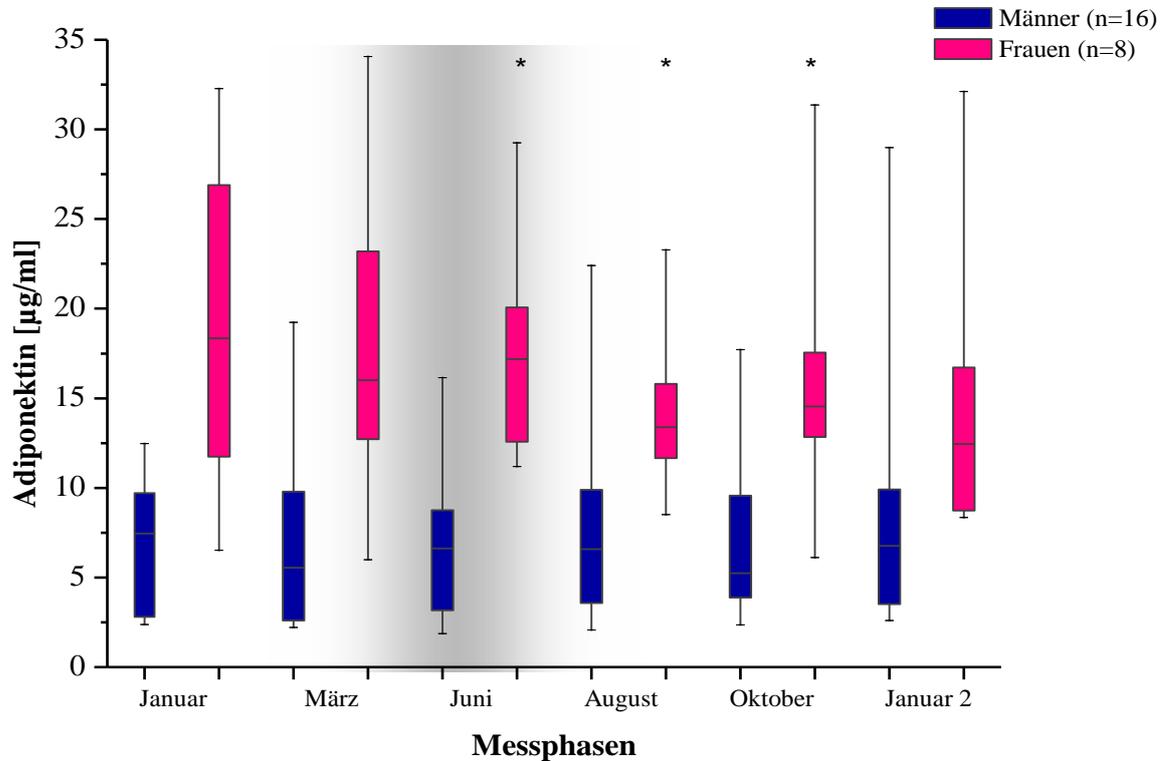


Abbildung 29: Adiponektinkonzentrationen der männlichen (n=16) und weiblichen (n=8) Teilnehmer über den Verlauf der Überwinterung als Boxplot; \*p<0,05. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

	Fettmasse Männer	Adiponektin Männer	Fettmasse Frauen	Adiponektin Frauen
	n=16		n=8	
<b>Korrelation nach Spearman</b>				
<b>Leptin</b> Korrelationskoeffizient	0,371	0,200	0,371	0,943
<i>p</i>	n.s.	n.s.	n.s.	<b>&lt;0,01</b>
<b>Adiponektin</b> Korrelationskoeffizient	0,657		0,341	
<i>p</i>	n.s.		n.s.	

Tabelle 20: Korrelation der Fettmasse zu Adiponektin und Leptin der männlichen (n=16) und weiblichen (n=8) Probanden berechnet nach Spearman

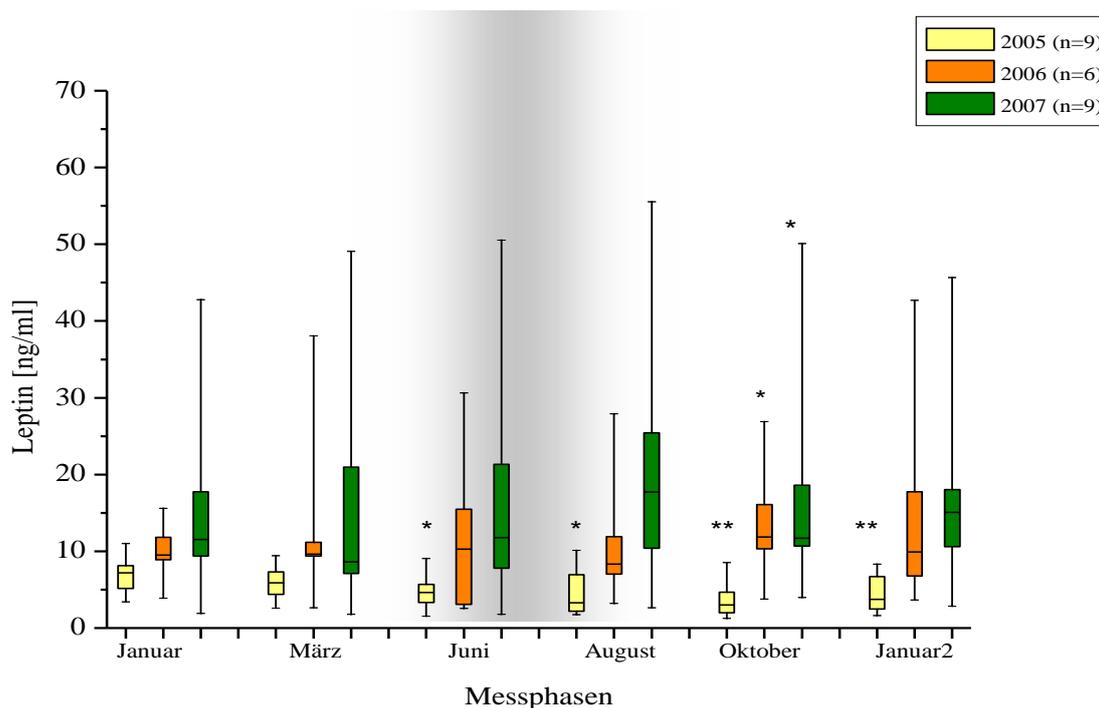
Die Betrachtung der Adiponektinkonzentrationen im den Verlauf der Überwinterung innerhalb der männlichen Teilnehmer ergibt einen sehr homogenen Kurvenverlauf mit nur geringen Schwankungen. Die Korrelationsberechnungen der Adiponektin- und Leptinkonzentration zur Fettmasse ergeben keine signifikanten Ergebnisse.

Der Kurvenverlauf der weiblichen Adiponektinkonzentrationen zeigt signifikante Abnahmen ( $p < 0,05$ ) im Juni, August und Oktober. Weiterhin finden sich nur schwache Korrelationen zwischen FM und den Adiponektin- und Leptinkonzentration.

### 3.7 Veränderungen der Leptinkonzentrationen

Leptin ist ebenfalls ein Hormon, das in den Adipozyten des weißen Fettgewebes gebildet wird und dessen Konzentration korreliert. Im Folgenden sind die Veränderungen der Leptinkonzentrationen bei den Probanden aller drei Überwinterungen zusammengefasst und als Boxplot dargestellt sowie zusätzlich nach Geschlechtern getrennt aufgeführt.

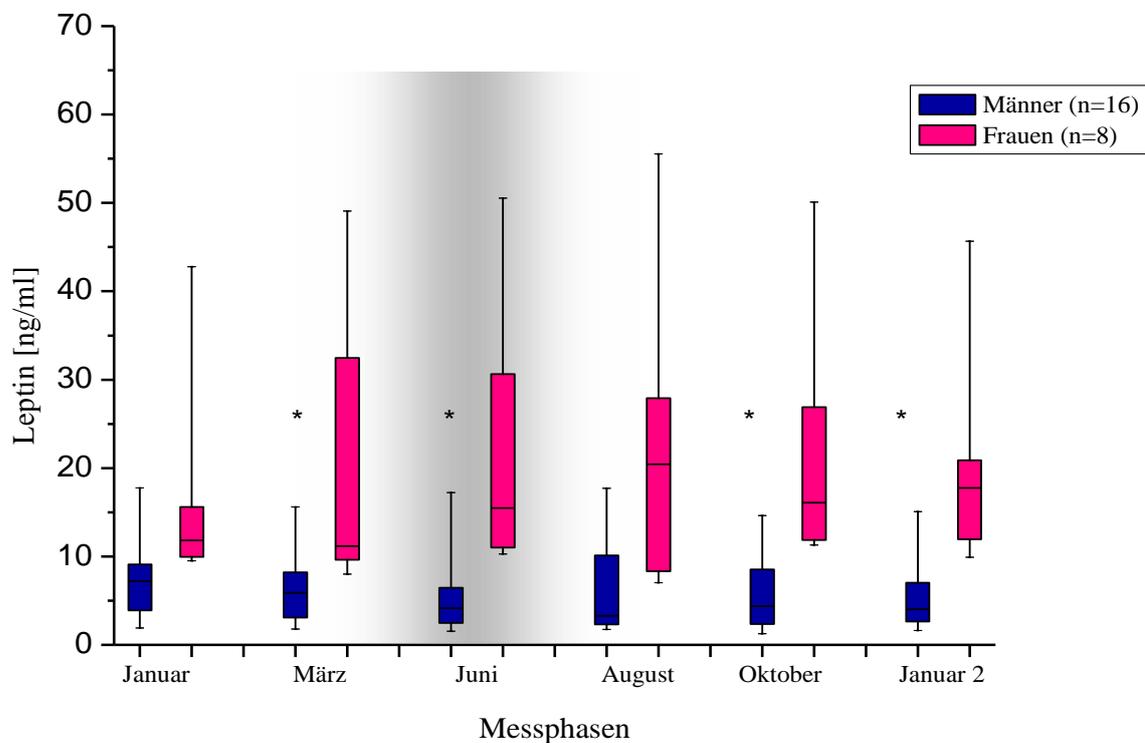
#### 3.7.1 Leptinkonzentrationen innerhalb der drei Überwinterungsteams



**Abbildung 30:** Verlauf der Leptinkonzentration der Überwinterung 2005 ( $n=9$ , ♂), 2006 ( $n=6$ , 2♂, 4♀), 2007 ( $n=9$ , 5♂, 4♀) als Boxplot; die Signifikanzniveaus beziehen sich jeweils auf den Ausgangswert im Januar; \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ . Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Der Verlauf der Leptinkonzentration der Überwinterungscrew 2005 ergibt eine signifikante Abnahme ab Juni ( $p < 0,05$ ), welche bis zum Ende der Überwinterung deutlich unter dem Ausgangsniveau liegt. Die Korrelation zwischen der FM und der Leptinkonzentration ist signifikant ( $p < 0,01$ ). Hingegen zeigt das Überwinterungsteam 2006 einen relativ konstanten Verlauf der Leptinkonzentration, welcher lediglich im Oktober einen signifikanten Anstieg ( $p < 0,05$ ) aufweist. Die Leptinkonzentration im Serum der Überwinterung 2007 verläuft inhomogen. So nimmt diese im März geringfügig ab, steigt dann bis August wieder an, um im Oktober erneut eine signifikante Abnahme ( $p < 0,05$ ) zu zeigen. Am Ende der Isolation werden die Ausgangswerte wieder nahezu erreicht.

### 3.7.2 Leptinkonzentrationen innerhalb der männlichen und weiblichen Probanden



**Abbildung 31:** Verlauf der Leptinkonzentrationen innerhalb der männlichen ( $n=16$ ) und weiblichen Teilnehmer ( $n=8$ ) als Boxplot; die Signifikanzniveaus beziehen sich jeweils auf den Ausgangswert im Januar;  $*p < 0,05$ . Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Die Leptinkonzentration der männlichen Überwinterer weist im Zeitraum März-Juni sowie im Januar des darauf folgenden Jahres (Januar<sup>2</sup>) eine signifikante Abnahme gegenüber den Ausgangswerten auf.

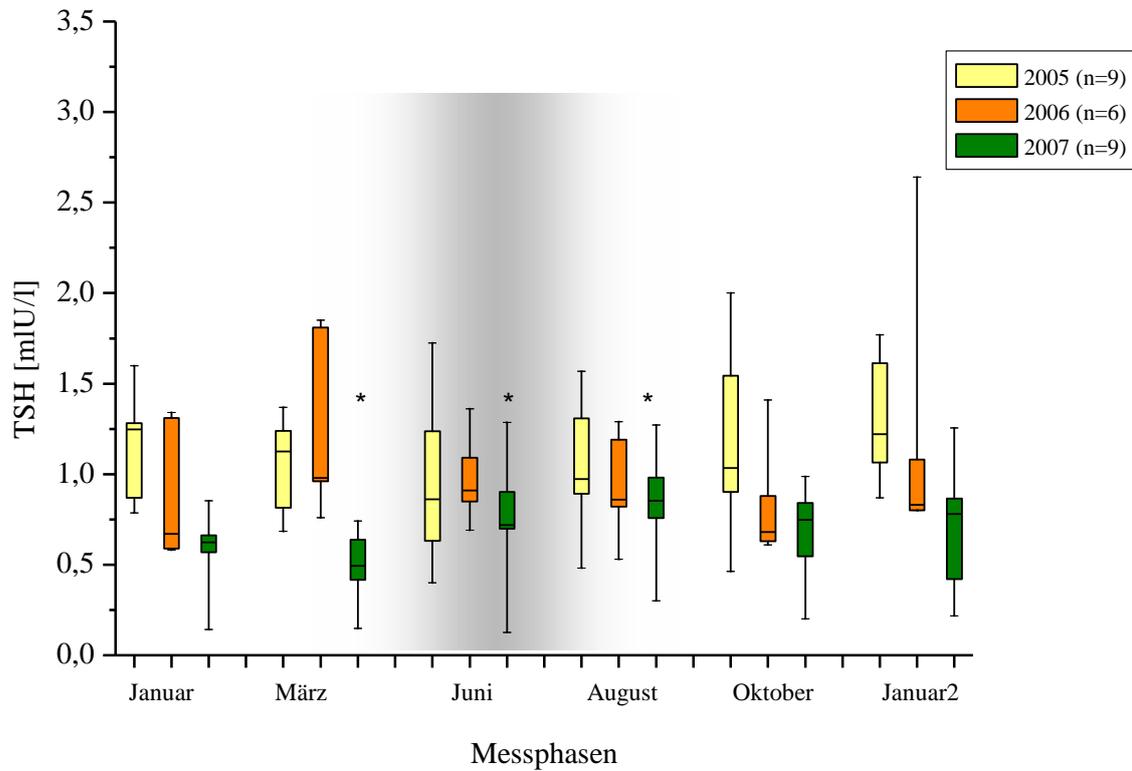
Die Betrachtung der Daten der weiblichen Teilnehmer ergibt einen tendenziellen Anstieg der Leptinkonzentration bis Mittwinter, gefolgt von einer langsamen Abnahme der Konzentration, wobei zum Ende der Überwinterung wieder nahezu Ausgangswerte erreicht werden. Weiterhin ergeben sich für die weibliche Population deutlich höhere Gesamtkonzentrationen des Leptins.

### **3.8 Veränderungen des Thyreoidea stimulierendes Hormons – TSH**

Das TSH wird in der Schilddrüse gebildet, spielt eine entscheidende Rolle im metabol-katabolen Stoffwechsel und wurde es ebenfalls in dieser Studie betrachtet.

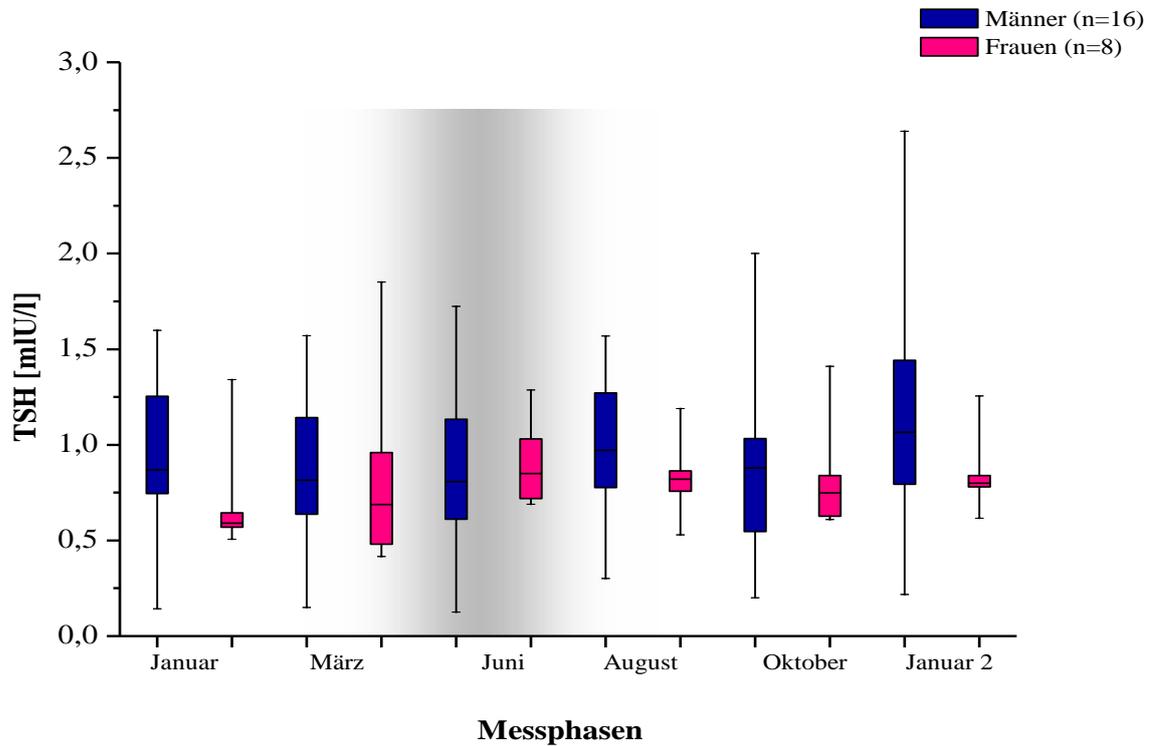
Wie auch bei den vorangegangenen Parametern werden zur Darstellung der TSH-Konzentrationen über den Verlauf der Überwinterungen ebenfalls eine Gesamtdarstellung der Werte der drei Überwinterungsteams sowie die Einzelaufstellung nach männlichen und weiblichen Probanden erfolgen. Es ist zum einen die graphische Darstellung des Boxplots gewählt als auch die liniendiagrammartige Aufzeichnung des Medians mit der 25. und 75. Perzentile der jeweiligen Überwinterung. Hierdurch sollte eine verbesserte Anschaulichkeit einer eventuell auftretenden zirkannualen Rhythmik innerhalb des TSH-Verlaufs gewährleistet sein und ein direkter Vergleich mit in der Literatur angeführten Kurvenverläufen ermöglicht werden (siehe Diskussion).

### 3.8.1 TSH-Konzentrationen innerhalb der drei Überwinterungsgruppen



**Abbildung 32: Veränderungen TSH-Konzentrationen innerhalb der drei Überwinterungen 2005 (n=9, ♂), 2006 (n=6, 2♂, 4♀), 2007 (n=9, 5♂, 4♀) über den Verlauf der Kampagnen als Boxplot, Signifikanzen nach Wilcoxon: \*p<0,05. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.**

### 3.8.2 TSH-Konzentrationen innerhalb der männlichen und weiblichen Probanden



**Abbildung 33:** TSH-Konzentration Männer (n=16) und Frauen (n=8) über den Verlauf der Kampagnen 2005-2007 als Boxplot. Es ließen sich keine signifikanten Veränderungen nach Wilcoxon nachweisen. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Die graphische Darstellung der TSH-Konzentrationen während der einzelnen Überwinterungskampagnen ergeben uneinheitliche Verläufe. So zeigt das männliche Team des Jahres 2005 eine deutliche Tendenz zur Abnahme der Konzentration während der Wintermonate und ein Wiederanstieg ab der Rückkehr des Lichtes. Einen vergleichbaren Kurvenverlauf weist auch die Betrachtung der ausschließlich männlichen Teilnehmer auf. Die TSH-Konzentrationen der Überwinterung 2006 zeigen initial einen Anstieg, gefolgt von einer Abnahme des TSH um Mittwinter und einem Minimum im Oktober sowie die Tendenz eines langsamen Anstiegs zum Ende der Überwinterung auf das Ausgangsniveau. Analogien lassen sich wiederum bei der Darstellung der Werte der weiblichen Probanden zeigen. Divergent dazu verhält sich der Verlauf der TSH-Konzentration im Jahr 2007. Hier findet ein steter signifikanter Anstieg ( $p < 0,05$ ) statt, welcher sein Maximum um Mittwinter erfährt und dann, bis zum Ende der Isolation, auf

Ausgangswerte abfällt. Dies entspricht wiederum am ehesten dem Verlauf der TSH-Konzentrationen in der weiblichen Gesamtbetrachtung.

### 3.8.3 Zirkannuale TSH-Konzentrationen innerhalb der Überwinterungsteams

Da über eine zirkannuale Rhythmik des TSH diskutiert wird, sind im Folgenden die Mediane der Konzentrationen mit 25. und 75. Perzentile über die Zeit der jeweiligen Überwinterung aufgetragen.

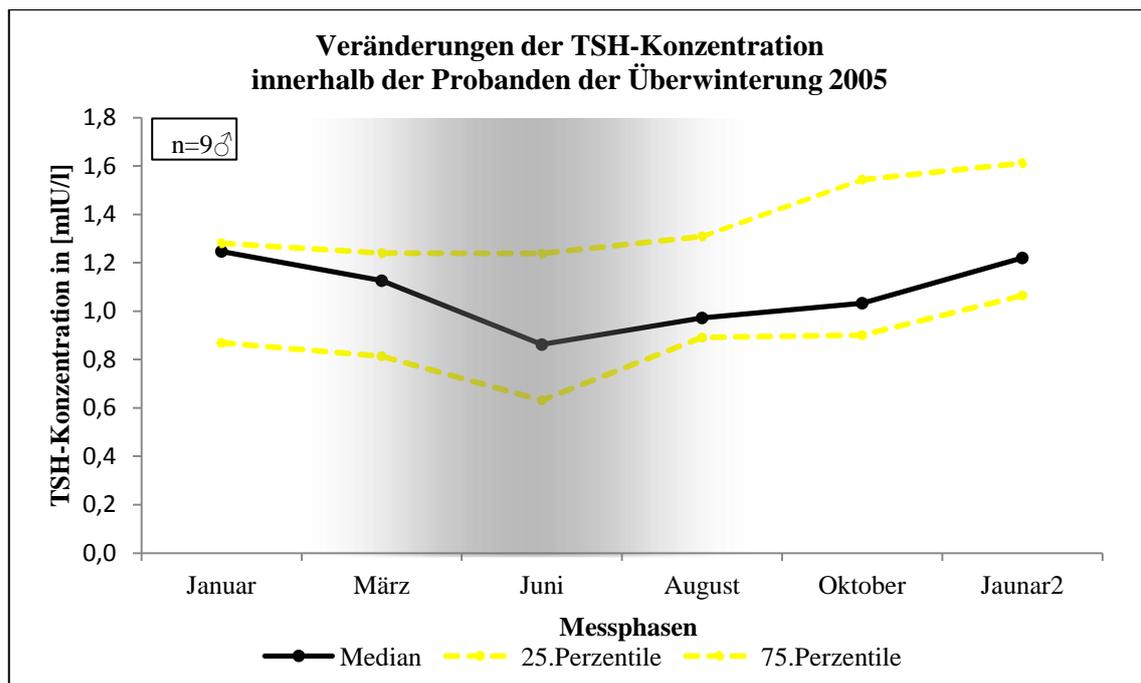


Abbildung 34: Verlauf der TSH-Konzentration der Überwinterung 2005 ( $n=9$ , ♂) als Median mit 25. und 75. Perzentile aufgetragen, zur Veranschaulichung eines jahreszeitlichen Verlaufs. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

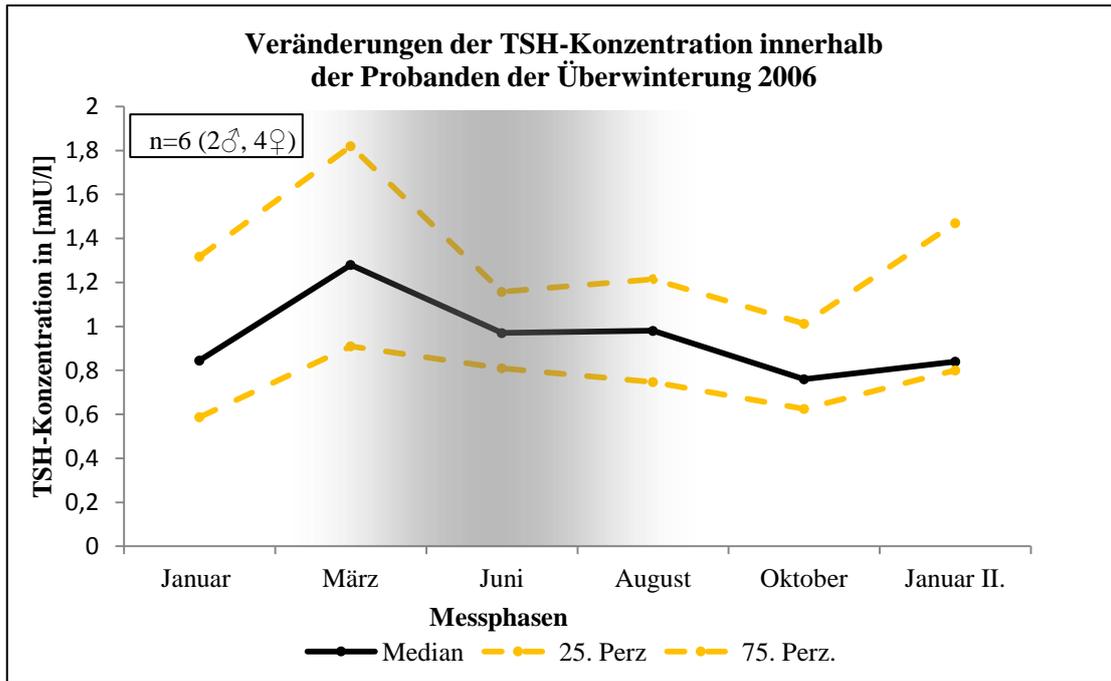


Abbildung 35: Verlauf der TSH-Konzentration der Überwinterung 2006 (n=6, 2♂, 4♀) als Median mit 25. und 75. Perzentile aufgetragen, zur Veranschaulichung eines jahreszeitlichen Verlaufs. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

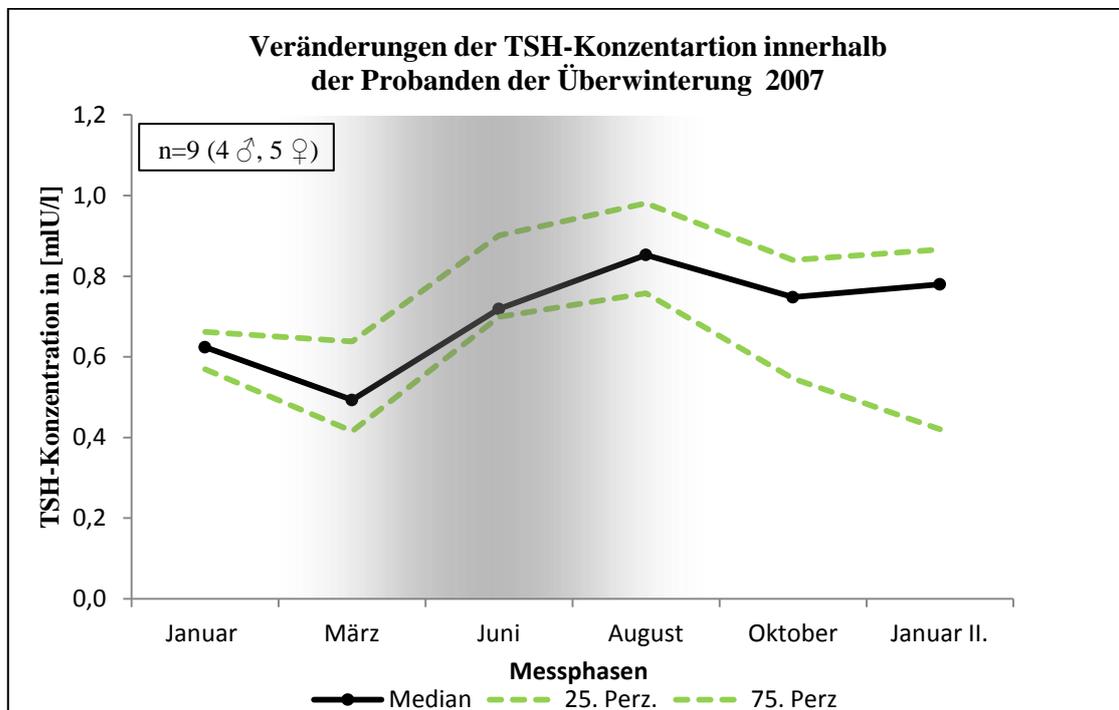
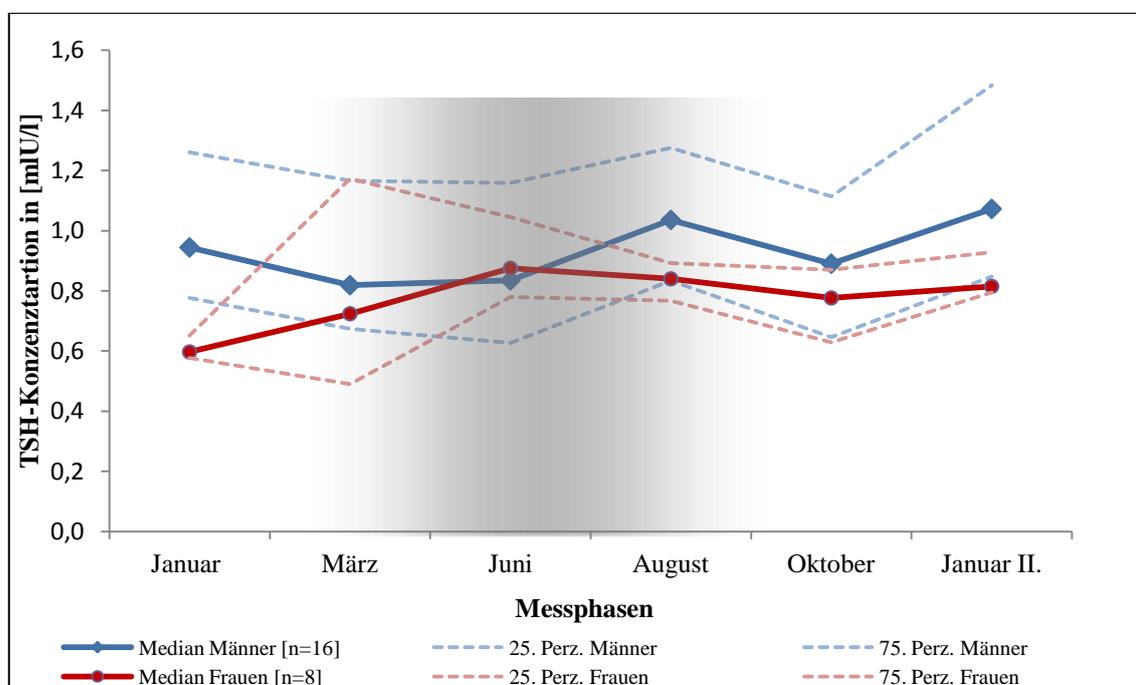


Abbildung 36: Verlauf der TSH-Konzentration der Überwinterung 2007 (n=9, 5♂, 4♀) als Median mit 25. und 75. Perzentile aufgetragen, zur Veranschaulichung eines jahreszeitlichen Verlaufs. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Der Verlauf der TSH-Konzentrationen innerhalb der Überwinterung 2005 zeigt eine leichte Abnahme bis in die Dunkelphase hinein und steigt ab August bis zum darauf folgenden Januar erneut auf die Ausgangswerte an. Im Gegensatz dazu sieht man im TSH-Konzentrationsverlauf des Teams 2006 einen leichten Anstieg von Januar bis März und dann über die Winterphase das Erreichen eines Tiefpunkts. Erst bei Wiederkehr des Lichtes werden wieder Ausgangswerte erreicht. Das Überwinterungsteam 2007 zeigt wiederum einen anderen Verlauf der Hormonkonzentrationen. Die TSH-Konzentrationen steigen bis zur Dunkelphase um Mittwinter kontinuierlich an, erreichen innerhalb dieser Phase einen Höhepunkt und nehmen zum Sommer hin bis auf Ausgangswerte ab.

### 3.8.4 Zirkannuale TSH-Konzentrationen der männlichen und weiblichen Probanden



**Abbildung 37:** Verlauf der TSH-Konzentration der männlichen (n=16) und weiblichen (n=8) Probanden als Median mit 25. und 75. Perzentile aufgetragen im jahreszeitlichen Verlauf. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

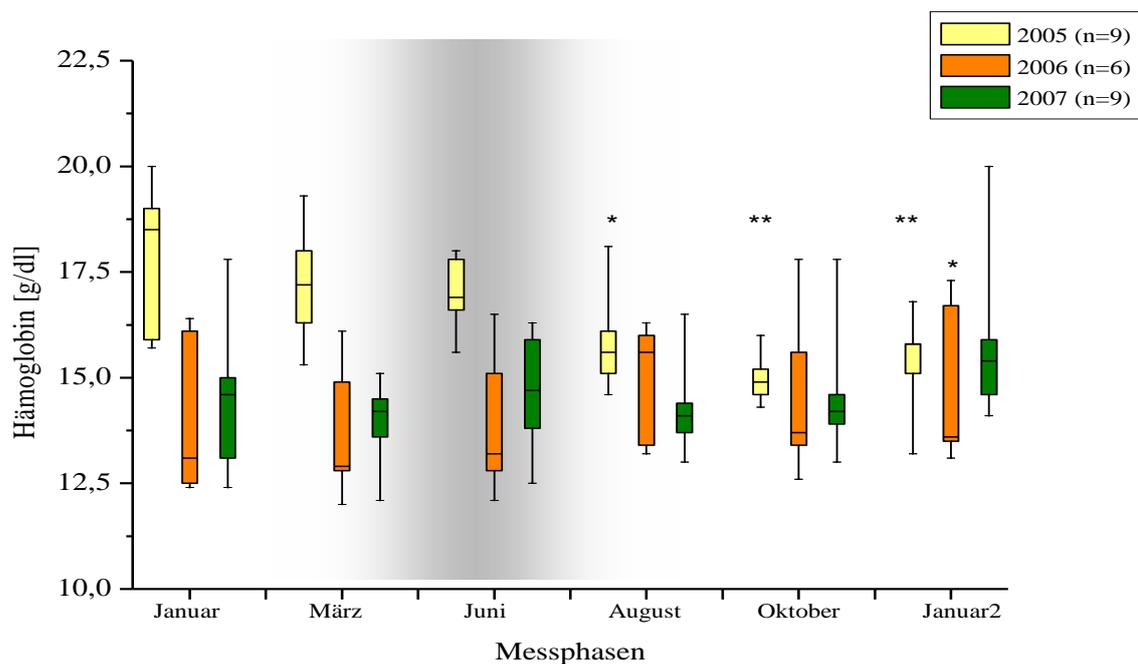
Während die männlichen Probanden eine anfängliche Abnahme der TSH-Konzentration im antarktischen Herbst (März) zeigen, die bis in die Dunkelphase des Winters (Juni) anhält, spiegelt der Konzentrationsverlauf der Frauen eher einen Anstieg, mit einem Maximum im Juni, wieder. Auch innerhalb der männlichen Überwinterer zeigen sich nahezu maximale TSH-

Konzentrationen im Winter, jedoch erst gegen Ende (August) bei nahender Rückkehr der lichtintensiven Tage des folgenden Frühjahrs. Im Verlauf treten dann wieder niedrigere Werte auf, die zum Ende der Überwinterung erneut maximale Wertebereiche erzielen. Wiederum zeigt der weibliche TSH-Verlauf einen Tiefpunkt im August sowie ab Oktober einen Wiederanstieg bis hin zu Ausgangswerten.

### 3.9 Veränderungen innerhalb der Hämatopoese

Zur Betrachtung der Hämatopoese wurden die Hämoglobinkonzentration (Hb), die Erythropoietinkonzentration (EPO) und der lösliche Transferrinrezeptor im Serum (sTfR) der Probanden analysiert. Die folgenden Boxplot-Graphiken stellen den Verlauf je eines der genannten Parameter der Erythropoese, in Zusammenschau der drei Überwinterungen bzw. der Männer und Frauen, dar.

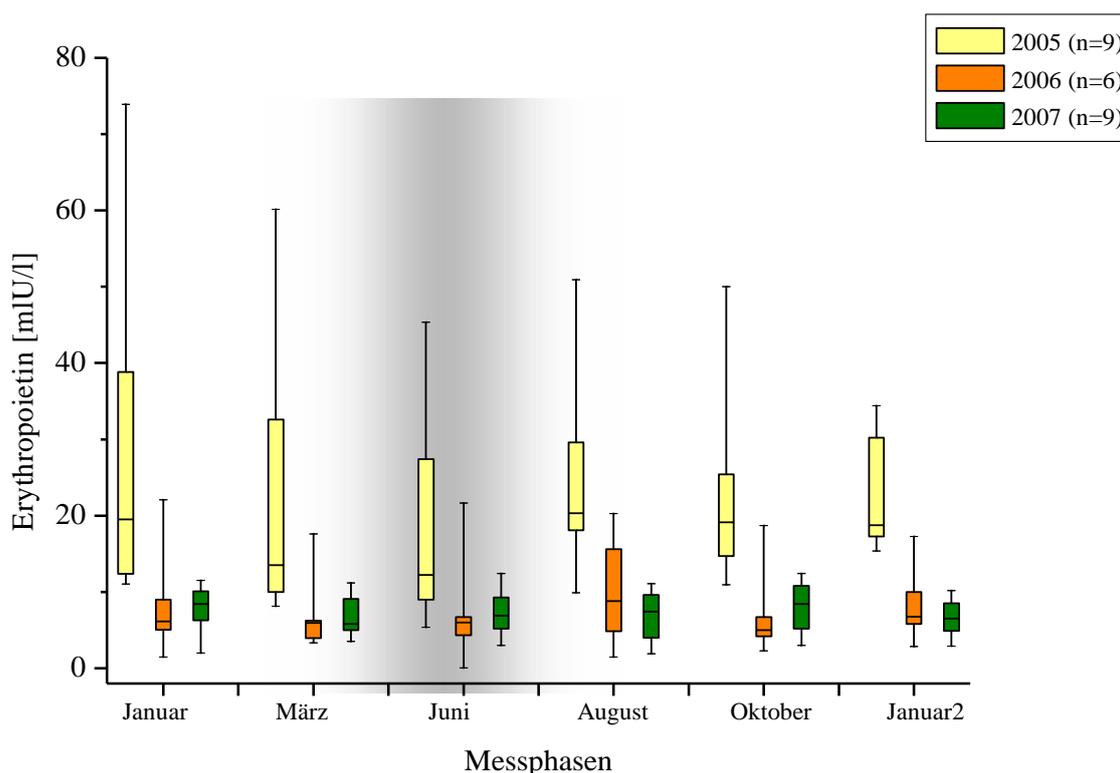
#### 3.9.1 Hämoglobinkonzentrationen während der drei Überwinterungskampagnen



**Abbildung 38: Veränderungen der Hämoglobinkonzentrationen innerhalb der Probanden der drei Überwinterungskampagnen:** 2005(n=9♂), 2006 (n=6: 2♂, 4♀), 2007 (n=9: 4♂, 5♀) als Boxplot; die Signifikanzniveaus (\* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ ) beziehen sich auf den jeweils ermittelten Ausgangswert im Januar zu Beginn der Überwinterung. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Während des Überwinterungszeitraums 2005 und 2006 kam es am Ende der Wintermonate, im Übergang zum Frühjahr, zu einer signifikanten Abnahme der Hämoglobinkonzentration (2005:  $p < 0,01$ ; 2006:  $p < 0,05$ ), welche bis zum antarktischen Sommer (Januar2) unter den Ausgangswerten lag. Dies konnte in 2007 nicht nachgewiesen werden, in dieser Überwinterung war der Verlauf anders gekennzeichnet.

### 3.9.2 Erythropoietinkonzentrationen innerhalb der drei Überwinterungskampagnen

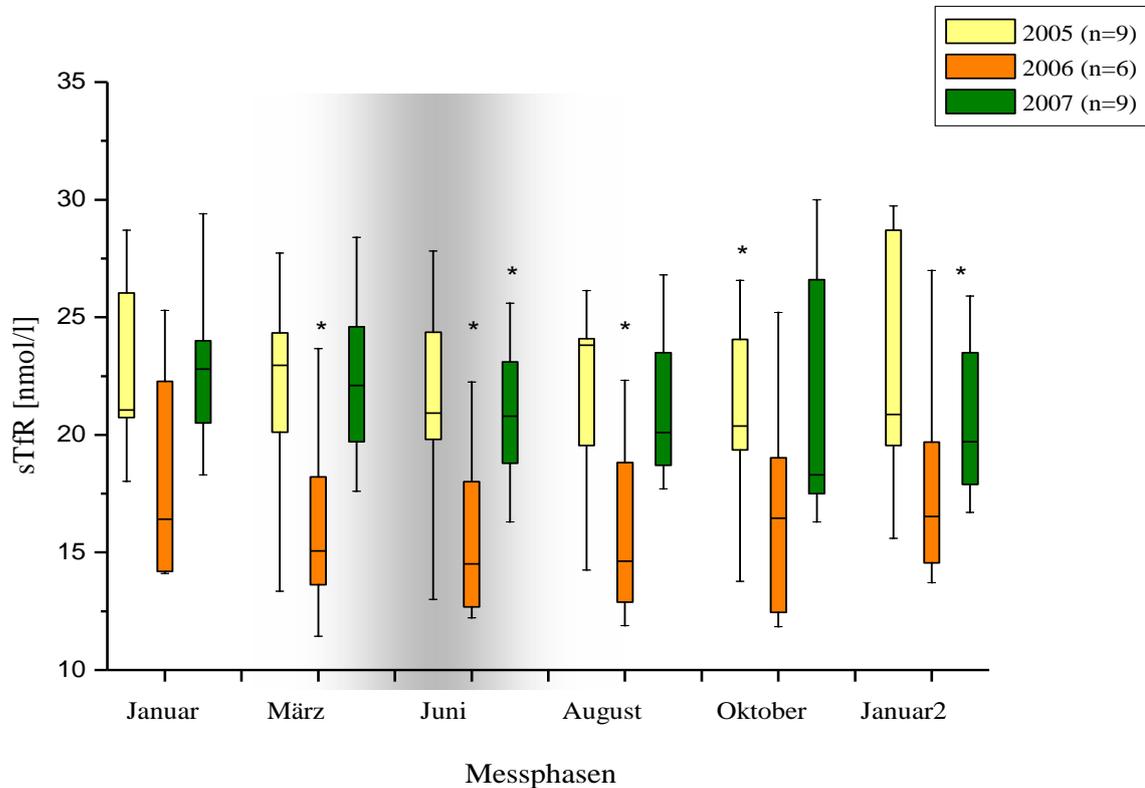


**Abbildung 39: Veränderungen der Erythropoietinkonzentrationen innerhalb der Probanden der drei Überwinterungskampagnen:** 2005 ( $n=9♂$ ), 2006 ( $n=6: 2♂, 4♀$ ), 2007 ( $n=9: 4♂, 5♀$ ) als Boxplot; die Signifikanzniveaus ( $*p < 0,05$ ,  $**p < 0,01$ ) beziehen sich auf den jeweils ermittelten Ausgangswert im Januar zu Beginn der Überwinterung. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Erythropoietinkonzentration zeigte sich in der 2005 Kampagne bereits im Frühsommer eine sichtbare Konzentrationsabnahme, die erst am Ende des Winters langsam wieder auf ein höheres Niveau anstieg, bis im Sommer nahezu die Ausgangswerte erreicht waren. In den beiden anderen Kampagnen konnte eine leichte, nicht signifikante Reduktion in der Konzentration des

Parameters in der Phase bis zum Eintritt des Winters gezeigt werden. Im weiteren Verlauf hingegen ließen sich keine weiteren Tendenzen eines Verlaufs darstellen.

### 3.9.3 sTfR-Konzentrationen innerhalb der drei Überwinterungskampagnen



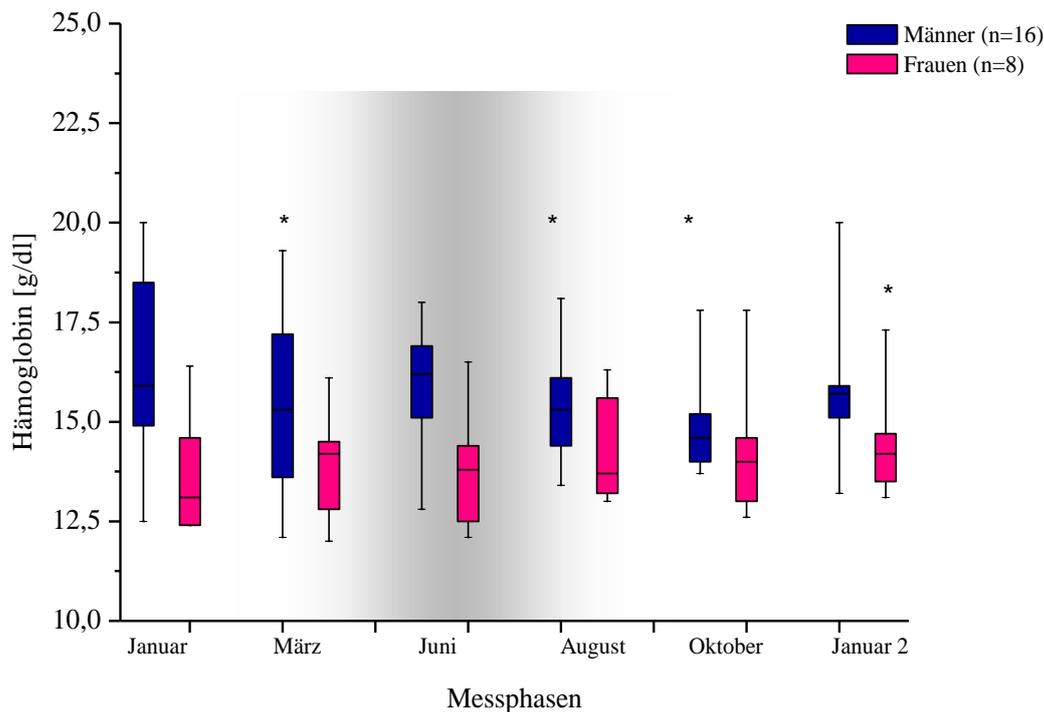
**Abbildung 40: Veränderungen des löslichen Transferrinrezeptors (sTfR) innerhalb der Probanden der drei Überwinterungskampagnen:** 2005(n=9♂), 2006 (n=6: 2♂, 4♀), 2007 (n=9: 4♂, 5♀) als Boxplot; die Signifikanzniveaus (\* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ ) beziehen sich auf den jeweils ermittelten Ausgangswert im Januar zu Beginn der Überwinterung. Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Die Konzentrationen des löslichen Serum-Transferrinrezeptors ergaben in den beiden Kampagnen 2006 und 2007 einen signifikanten Abfall in der Serumkonzentration bis in den August/Oktober hinein;  $p < 0,05$ . Danach ergab sich wieder der Anstieg der Parameter. In der Überwinterung 2005 konnte dies nicht gezeigt werden, obwohl man bis auf den Juni grundsätzlich einen gleichen Verlauf darstellen konnte.

Zusammenfassend ist innerhalb der Erythropoiese ein relativ heterogenes Ergebnis der drei betrachteten Parameter zu verzeichnen. Im Hämoglobinverlauf ist lediglich in der 2005 Kampagne ein Abfall der Konzentration bis in die Winterphase nachzuweisen, in den beiden anderen Gruppen konnte das nicht gezeigt werden. Bis auf die Kampagne 2006 konnte ab dem Beginn der Hellphase dann jedoch wieder ein signifikanter Anstieg der Hämoglobinkonzentration gezeigt werden. Die EPO-Konzentrationen der beiden Kampagnen 2006 und 2007 zeigten bei einem insgesamt niedrigen Niveau keinen signifikanten Verlauf über die Zeit. Lediglich die rein männliche Gruppe in 2005 verzeichnete zu Beginn der Kampagne einen tendenziellen Abfall der EPO-Konzentration, der dann im Mittwinter wieder anstieg und auf einem höheren Niveau blieb. Beim sTfR konnte in allen drei Gruppen in der ersten Phase der Überwinterungskampagne ein gleicher Verlauf auf unterschiedlichem Niveau dargestellt werden, wobei der Rezeptor in beiden Kampagnen 2005 und 2007 signifikant niedriger war;  $p < 0,05$ . Ab der späten Mittwinterphase konnte zu unterschiedlichen Zeitpunkten, aber letztendlich in allen drei Gruppen am letzten Messpunkt ein tendenzieller Wiederanstieg für sTfR festgestellt werden.

#### **3.9.4 Hämoglobinkonzentrationen der männlichen und weiblichen Probanden**

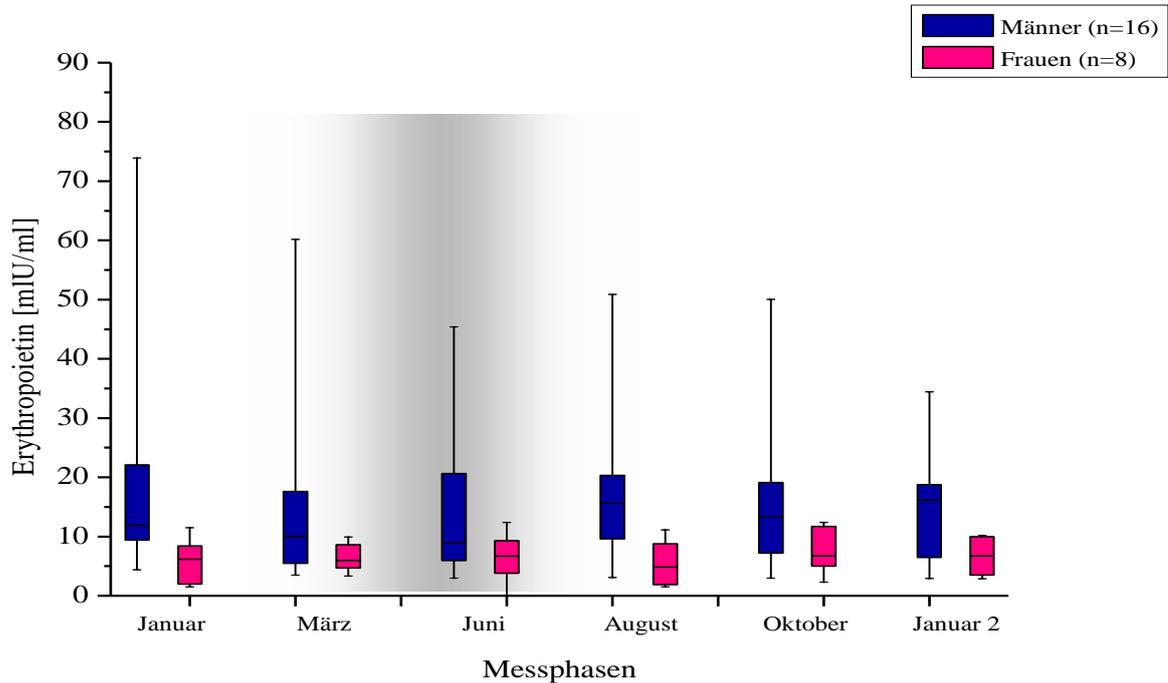
Die bisherigen Ergebnisse bei den gemischtgeschlechtlichen Überwinterungsgruppen zeigten ein sehr heterogenes Bild der Ergebnisse. In Analogie zur Betrachtung der Ergebnisse der Körperkomposition wird im Folgenden die Darstellung der Hämatopoese der Männern und Frauen insgesamt angeführt.



**Abbildung 41: Veränderungen der Hämoglobinkonzentration im Serum innerhalb der Männer (n=16) und Frauen (n=8) der Überwinterungen 2005-2007, bezogen auf den Ausgangswert im Januar als Boxplot; Signifikanzniveaus: \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ . Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.**

Durch die Aufteilung in die beiden Geschlechter waren Veränderungen beim Hämoglobin darstellbar. Bei den männlichen Teilnehmern über die gesamten drei Kampagnen ergab sich ab August eine signifikante Verminderung ( $p < 0,05$ ) bis zum vorletzten Messpunkt. Zudem erschien es, als wenn sich die Konzentration an Hämoglobin bei allen Teilnehmern angeglichen hat (Breite der Varianz). Am Ende der 15-monatigen Kampagne war wieder ein Anstieg der Konzentration zu verzeichnen. Bei den weiblichen Teilnehmern war auf niedrigem Niveau beginnend eher ein tendenzieller Anstieg feststellbar, der am Ende der Kampagne sogar signifikant wurde ( $p < 0,05$ ). Die männlichen und weiblichen ÜWI's schienen sich in der Hämoglobin Konzentration anzunähern und auf gemeinsames Level zu begeben.

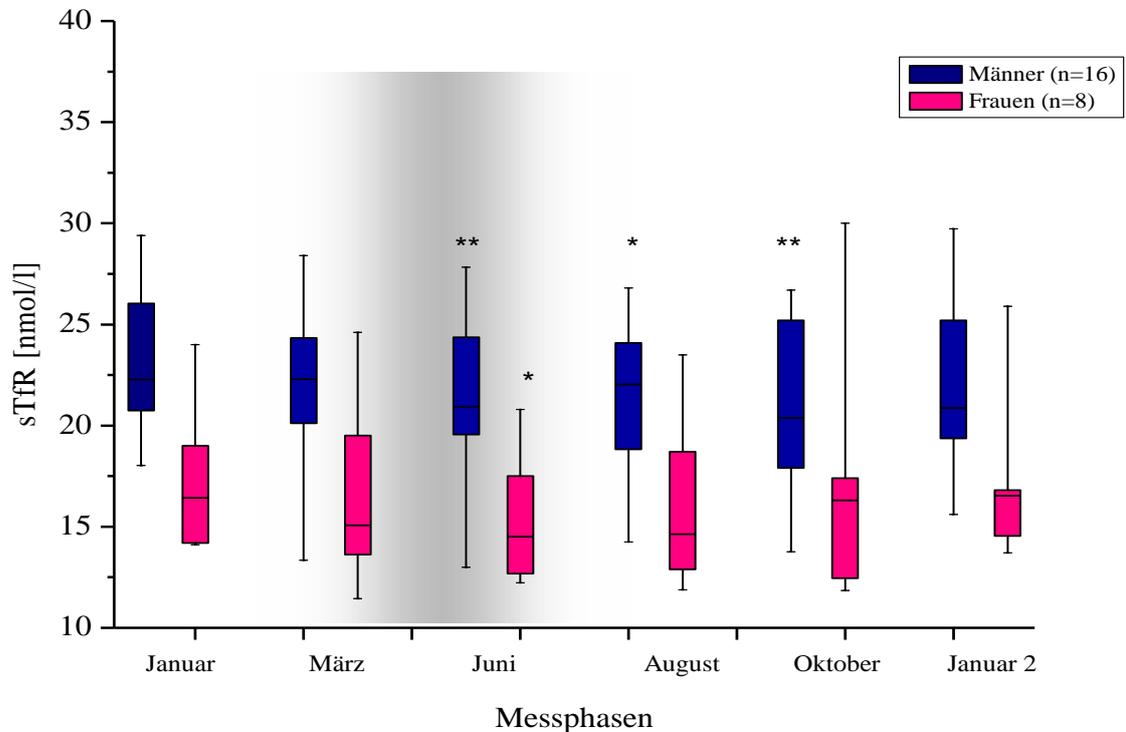
### 3.9.5 Erythropoietinkonzentrationen der männlichen und weiblichen Probanden



**Abbildung 42:** Veränderungen der Erythropoietinkonzentration im Serum innerhalb der Männer (n=16) und Frauen (n=8), der Überwinterungen 2005-2007, bezogen auf den Ausgangswert im Januar als Boxplot; Signifikanzniveaus: \* $p < 0,05$ . Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.

Bei der EPO-Konzentration ergab sich bei den Männern am Beginn der Überwinterung eine signifikante Minderung ( $p < 0,05$ ). Im weiteren Verlauf der Isolation ergab sich bei einer sich vermindernenden Varianz wieder ein relativer Anstieg bis zum Ende der Dunkelphase um danach wieder tendenziell zu sinken. Bei den Frauen ist im Gegensatz hierzu keine Veränderung nachzuweisen. Sowohl in der Varianz als auch im Verlauf zeigten sich keine auffälligen Ergebnisse. Die Korrelationsberechnung innerhalb der Hämatopoeseparameter ergab keine signifikant vergleichbaren Verläufe.

### 3.9.6 sTfR-Konzentrationen der männlichen und weiblichen Probanden



**Abbildung 43: Veränderungen des löslichen Transferrinrezeptors (sTfR) im Serum, innerhalb der Männer (n=16) und Frauen (n=8), über den Verlauf der Überwinterung, bezogen auf den Ausgangswert im Januar als Boxplot; Signifikanzniveaus: \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ . Der dunkelgrau hinterlegte Bereich markiert die Phase der Polarnacht im antarktischen Winter. Januar 2 entspricht dem Beginn des zweiten Überwinterungsjahres, bei 15-monatigem Aufenthalt.**

Beim sTfR Verlauf konnte ebenfalls bei den Männern wie schon beim Hämoglobin als auch bei der EPO-Konzentration eine Signifikanz zeigen. In Parallelität zum Hämoglobin Verlauf konnte bis zum Ende der Dunkelphase ein signifikanter ( $p < 0,05$ ) bis hin zum hochsignifikanten Ergebnis ( $0,01$ ) dargestellt werden. Zum Ende der Kampagne wurde der sTfR Spiegel wieder zum Ausgangswert zurück geregelt. Dieser Verlauf konnte auch beim Hämoglobin dargestellt werden, so dass sich hieraus eine positive Korrelation ergab. Bei den weiblichen Teilnehmern konnte in Analogie zu den beiden vorherigen Parametern ebenso kein signifikanter Verlauf darstellen lassen. Tendenziell erscheint sich auch hier eine Reduktion der Konzentration zu ergeben, jedoch auch hier auf einem deutlich niedrigeren Niveau wie bei den Männern.

Zusammenfassend ließ sich über die drei Parameter des hämatopoetischen Systems, Hämoglobin, EPO und sTfR ein signifikanter Verlauf bei den Männern feststellen. Am Beginn der Überwinterung ergab sich für Hämoglobin und für sTfR eine signifikante Reduktion bis zum Ende der Dunkelphase um am letzten Messpunkt wieder anzusteigen. Beim EPO war ein entgegengesetzter Verlauf zu finden, der korrelierend mit dem Hämoglobin zu verstehen ist. Bei den weiblichen Teilnehmern konnte für die drei Werte kein signifikanter Verlauf dargestellt werden. Insgesamt waren alle Werte im Vergleich zu den Männern deutlich niedriger. Tendenziell war das Hämoglobin bei den Frauen ansteigend, das EPO konnte auf niedrigem Gesamtniveau kein Verlauf gezeigt werden, gleiches zeigte sich bei den sTfR Konzentrationen. Somit wurde das hämatopoetische System bei den Männern beeinflusst, bei den Frauen erschien sich hingegen keine Veränderung zu zeigen.

## **4. Diskussion**

Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um Veränderungen der Körperzusammensetzung, des Metabolismus sowie verschiedener Hormone, die an der Regulation des Stoffwechsels und des roten Blutbildes beteiligt sind, beim Menschen unter Langzeitisolation sowie Beengtsein (confinement) zu ermitteln. Hierzu wurden Frauen und Männer im Rahmen dreier Überwinterungen in den Jahren 2005 bis 2007 auf der deutschen Antarktisstation Neumayer II untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass es physiologische Veränderungen während der saisonal bedingten Hell- und Dunkelphasen sowie geschlechtsspezifische Unterschiede gibt. So nahmen die männlichen Probanden während der Winterphase signifikant an Körpergewicht und Fettmasse ab, während die Frauen im selben Zeitraum an Körpergewicht und Fettmasse zunahmen, während sich die fettfreie und Körperzellmasse reduzierten.

Die Analyse des Hormonstatus ergab für die Parameter der Ernährungsregulation innerhalb der männlichen Population eine Zunahme des Adiponektins und Abnahme der Leptinkonzentration, im weiblichen Kollektiv eine Abnahme des Adiponektins und ein Anstieg des Leptins in der Winterphase, analog zum Verhalten der Fettmasse. Innerhalb der Hämatopoese (Hämoglobin, Erythropoietin und sTfR) konnten bei den männlichen Teilnehmern deutliche Abnahmen der Einzelparameter während der Winterphase verzeichnet werden, die sich ähnlich auch bei den Frauen zeigten, mit der Ausnahme eines deutlichen Anstiegs in der Hämoglobinkonzentration im antarktischen Winter. Das zeitgeberabhängige Hormon TSH hingegen zeigte einen gänzlich gegenläufigen jahreszeitlichen Verlauf zwischen den männlichen und weiblichen Probanden.

Im Folgenden wird eine detaillierte Diskussion der Einzelergebnisse durchgeführt.

### **4.1 Anthropometrie**

In dieser Studie wurden insgesamt 24 Probanden untersucht, die als offizielle Teilnehmer an den Überwinterungskampagnen 2005 bis 2007 des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in der deutschen Forschungsstation Neumayer II der Antarktis teilnahmen. Wie bereits im Methodenabschnitt beschrieben, handelte es sich dabei um insgesamt 16 Männer und 8 Frauen im Alter zwischen 25 und 53 Jahren. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten: körperliche Gesundheit, hohe Motivation für das Arbeiten in extremer Umwelt, berufliche Qualifikationen für das entsprechende Tätigkeitsfeld sowie Teamfähigkeit. Die Arbeitsbereiche wurden vorrangig durch Wissenschaftler und Techniker besetzt. Im Gegensatz zu Astronauten oder Soldaten in vergleichbaren Missionen, kann dieses

Probandenkollektiv als eine Stichprobe aus der Normalbevölkerung betrachtet werden, da keine überdurchschnittliche physische und psychische Leistungsfähigkeit und situationsspezifische Ausbildung vorausgesetzt wurden.

Für diese Studie existierte keine Kontrollpopulation, daher waren durchschnittliche Werte der gegebenen Altersgruppen für den Vergleich der anthropometrischen Daten erforderlich. Zu deren Ermittlung wurde auf Daten des statistischen Bundesamtes der Bundesrepublik Deutschland [46], der Mikrozensuserhebung 2005, zurückgegriffen. Für eine, der antarktischen Besatzung entsprechende männliche Altersgruppe ergab sich in der Allgemeinbevölkerung eine Körpergröße zwischen 178 bis 180 cm, ein Körpergewicht zwischen 80,1 bis 85,0 kg sowie ein BMI zwischen 24,6 bis 27,0; für die weibliche Altersgruppe eine durchschnittliche Körpergröße zwischen 167 bis 168 cm, ein Körpergewicht von 64,2 bis 66,4 kg sowie ein BMI zwischen 22,9 und 23,8. Ein Vergleich zeigte, dass mit Ausnahme des Körpergewichts der männlichen Überwinterer, welches mit fast anderthalb Kilogramm über den altersentsprechenden Werten der Bundesbürger lag, alle Parameter dem mittleren Bereich der durchschnittlichen Körpermaße der Allgemeinbevölkerung entsprachen. Zur Beurteilung der Repräsentativität der Überwinterer, bezogen auf die Normalbevölkerung, wurde das Kollektiv auf Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov Test überprüft. Es ergab sich für die oben genannten anthropometrischen Parameter eine Normalverteilung. Beim Body Mass Index lag das Untersuchungskollektiv mit einem mittleren Wert von 25,5 kg/m<sup>2</sup> nach WHO-Kriterien bereits im Bereich einer leichten prä-Adipositas [47-48]. Die geschlechterspezifische Aufteilung ergab für die männlichen Probanden einen über die Norm erhöhten BMI von 26,6 kg/m<sup>2</sup>, wohingegen die weiblichen Teilnehmer einen normwertigen BMI von 22,9 kg/m<sup>2</sup> aufwiesen. Es lässt sich also anhand der doppelt so großen männlichen Population und dem erhöhten männlichen BMI darauf schließen, dass der erhöhte Gesamt-Body-Mass-Index des Kollektivs auf die männliche Population zurückzuführen ist.

#### **4.2 Körperzusammensetzung und metabolische Regulation**

Das Körpergewicht und die Körperzusammensetzung wurden in 12-tägigen Abständen von jedem Überwinterer im unbedeckten Zustand gemessen. Dabei ergab die Betrachtung der Einzelprobanden sowohl Zu- als auch Abnahmen über den Verlauf der Überwinterung. Innerhalb der männlichen Gruppe des Jahres 2005, zeigte sich bei bis auf einem Probanden, eine signifikante Abnahme des Körpergewichts, die sich bis zum Ende des Aufenthalts in der Antarktis fortsetzte. Während in den Kampagnen 2006 und 2007 wiederum vor allem die männlichen Probanden eine Abnahme des Körpergewichts zeigten, konnte bei den Frauen eher

eine Zunahme bzw. ein konstanter Gewichtsverlauf nachgewiesen werden. Da die Zusammenfassung der Probanden vor allem in den gemischtgeschlechtlichen Überwinterungsgruppen keine durchgängig signifikanten Veränderungen zeigte, wurde eine geschlechterspezifische Betrachtung vorgenommen. Im Durchschnitt lag dabei die Gewichtsabnahme der männlichen Teilnehmer bei  $2,9 \pm 4,8$  kg. Eine Darstellung der Häufigkeitsverteilung ergab, dass 58,6 % der Gewichtsabnahmen zwischen 0,5 und 8 kg lagen. Allerdings gab es im Einzelfall wesentliche größere individuelle Schwankungen. So konnte beispielsweise bei einem Probanden eine Körpergewichtsabnahme um 23,5 kg festgestellt werden, wohingegen ein anderer Überwinterer nur minimale Körpergewichtsschwankungen von insgesamt 1,6 kg im Verlauf des Untersuchungszeitraums aufwies.

Gegensätzlich dazu verhielt sich der Gewichtsverlauf der weiblichen Überwinterungsteilnehmer, sie zeigten vor allem innerhalb der Dunkelphasen des antarktischen Winters signifikante Körpergewichtszunahmen. So ergab eine Berechnung der Häufigkeitsverteilung, dass die durchschnittliche Gewichtszunahme bei  $1,7 \pm 1,9$  kg, jedoch 71,9 % der Gewichtszunahmen zwischen 0,5 und 3,5 kg lagen. Auch hier gab es im Einzelfall Gewichtsabnahmen von maximal 3,7 kg über die gesamte Zeit der Überwinterung bis zu Zunahmen von 6,8 kg. Es gilt an dieser Stelle festzuhalten, dass sich in diesem Untersuchungskollektiv eindeutige geschlechtsspezifische Unterschiede im Verlauf des Körpergewichts zeigten. Welche möglichen Gründe lassen sich für diese Befunde als Erklärung heranziehen?

Veränderungen des Körpergewichts werden in erster Linie durch das Verhalten, die Nahrungsaufnahme, die körperliche Aktivität sowie die psychische Gemütslage bestimmt. So gibt es Personen, die in Stresssituationen deutliche Gewichtszunahmen verzeichnen, während andere eher zu Gewichtsverlusten unter Stress neigen. Das Alltagsleben in einer antarktischen Forschungsstation ist eine ungewohnte Lebenssituation, die durchaus als Stressfaktor angesehen werden muss [49-50]. Zum Einen macht die spezielle Umwelt in extremer Kälte mit veränderten Hell/Dunkel-Phasen und zum Anderen die lange Isolation von der gewohnten, zivilisierten Welt mit der eingeschränkten Möglichkeit dieser zu entkommen, eine Überwinterung zur Extremsituation [24]. Die besonderen Verhältnisse auf engstem Raum in einer Forschungsstation zusammenzuleben, Lebens- und Arbeitssituationen zu realisieren und mit der nicht freiwillig gewählten Zusammensetzung der Gemeinschaft auszukommen, verlangt eine hohe Bereitschaft und Motivation von den Teilnehmern einer solchen Mission [51]. So ergaben persönlich geführte Gespräche mit den Stationsleitern, Ausschnitte aus dem Filmmaterial einer dreiteiligen Dokumentation des Senders „ARTE“ [52] sowie der Erfahrungsbericht einer Überwinternden

[34], dass es zu interpersonellen Konflikten mit Gruppenbildung und Isolationen von einzelnen Teilnehmern innerhalb der Isolation kam. Diese Belastungen könnten individuelle extreme Körpergewichtszu- bzw. abnahmen im Kollektiv der Überwinterer erklären. Leider ließ sich durch die vorliegenden Angaben über die psychische Verfassung der Teilnehmer wenig in Erfahrung bringen, einerseits sicherlich durch den gewissen Schutz vor der Außenwelt, den die jeweilige Gruppe sich selbst gibt und andererseits dadurch, dass in der vorliegenden Studie diese gruppeninternen Beziehungen bislang nicht ausreichend erfasst werden konnten, trotz eines relativ intensiven Kontakts zwischen den Teilnehmern und der Studienleitung. Dennoch konnte beim Proband 505 (extreme Gewichtsabnahme: > 20 kg) und Proband 606 (größte Gewichtszunahme: > 6 kg) eine Aussage erhalten werden, beide fühlten sich von der Gruppe ausgeschlossen und hatten teilweise schwerwiegende Konflikte mit dem Kollektiv auszutragen. Andererseits zeigte die Überwinterungsgruppe 2007 insgesamt einen sehr homogenen Verlauf aller betrachteten Parameter und berichtete über ein sehr harmonisches Zusammenleben während der gesamten Überwinterung. Man kann vermuten, dass diese Ausgeglichenheit der physischen Parameter mit einem guten Gruppenklima zu erklären ist, welches zum einen anhand der Führungsqualität durch den Stationsleiter, andererseits durch das große Bestreben die gemeinsame Freizeitgestaltung so abwechslungsreich wie möglich zu gestalten, hervorgerufen wurde. Der psychologische Aspekt nimmt demnach eine zentrale Rolle innerhalb einer Isolation ein. Diverse Forschungsunternehmen, heute wie damals, setzen eine hohe Motivation der Teilnehmer sowie eine hohe Führungsqualität des Leiters voraus [51, 53]. So konnte die Crew um Shackleton nach dem Schiffbruch in der Kälte der Elephant Inseln nur überleben, weil sie Vertrauen in ihren Kommandanten hatten und das Team gemeinschaftlich funktionierte [11]. Als tragisches Beispiel dafür, wie wichtig die psychologische Verfassung des Menschen unter Extrembedingungen ist, könnte man Scott und sein Team zum Zeitpunkt der Entdeckung des Südpols heranziehen. Nachdem die Gruppe Amundsens Nachricht von der Erstentdeckung des Pols fand, demoralisierten sich die Teammitglieder so sehr, dass sie nur wenige Kilometer vor dem nächsten Versorgungspunkt in einem Zelt ihr Leben ließen [10].

Es ist bekannt, dass zunehmende Einsamkeit unter Umständen zu Veränderungen der Stimmungslage bis hin zur Depressionen führen kann [24, 54]. Schnell wendet sich dann ein Abenteuer „Überwinterung“ in eine unentrinnbare Hoffnungslosigkeit [51, 53]. Kleinste Banalitäten durch Eigenheiten der Teilnehmer führen dann zum Konflikt, äußere Einflüsse werden stärker wahrgenommen [24]. Die Anwesenheit des Sonnenlichts sowie die Wetterlage bestimmen maßgeblich die Gemütslage [55]. Gewohntes wird durch die Einschränkung der

Mobilität schmerzlich vermisst, wie z.B. der Besuch eines Supermarktes oder die Möglichkeit eines Theaterbesuchs [34]. Essen wurde nicht nur damals zum Zeitgeber [11], sondern nimmt auch in modernen Missionen, trotz eines Überangebots an Nahrung, eine zentrale Stellung ein. Ein Bericht von Ute Kehse, welche 1994 vier Monate auf dem Forschungsschiff Polarstern in die Antarktis fuhr, das ähnlich der Neumayer Station mit Kino, Fitnessbereich, Laboratorien und Sauna eingerichtet ist, unterstreicht, dass das Essen und Sehnsüchte danach zu einem Hauptthema wurden [16, 56]. Auch innerhalb dieser Studie zählte das Kochen, die Entlastung des Kochs durch andere Teilnehmer, das Entwickeln von Rezeptvarianzen durch das Kochen von ländertypischen und Leibgerichten sowie das sehnliche Erwarten frischer Kost bei nahender Ankunft des Versorgungsschiffs, zu den dominierenden Themen. Daraus wird deutlich, dass in Situationen der Isolation Essen einen anderen Stellenwert bekommt, es ist mehr als nur Ausgleich eines Energiehaushalts, vielmehr eine Möglichkeit der sozialen und emotionalen Veränderung. So wird damit ein geregelter Kontakt zu den Teammitgliedern hergestellt, der Tag kann danach strukturiert werden, es kann als Belohnungs- oder Tröstungsstrategie gesehen werden. In antarktischen Forschungsstationen ist das Vorhandensein von Nahrung reichhaltig<sup>3</sup> und vielfältig [36], die Option eines Kochs macht das Essen zu einem täglichen „Essengehen“, aber auch das „Selber kochen“ wird zu einer gewollten Abwechslung aus dem Gewohnten. Im Gegensatz dazu ist die Nahrungsaufnahme z.B. auf der Internationalen Raumstation (ISS) anders zu betrachten. Auf dieser Weltraumstation herrscht sicher auch eine Isolation, jedoch kann im Vergleich mit terrestrischen Einrichtungen (Neumayer Station oder auch anderen Stationen) die Versorgung mit Nahrungsmitteln nicht im Überfluss stattfinden. Hier muss aufgrund der wenigen Möglichkeiten des Transports und der Lagerungsmöglichkeiten die Nahrung nach Kalorienbedarf und Gewicht streng berechnet werden. Auch die Zusammenstellung ist deutlich anders als die in den genannten Einrichtungen, sie ist zum Teil unansehnlich und fade im Geschmack, das liegt unter anderem daran, weil gustatorische Reize unter Bedingungen der Schwerelosigkeit reduziert sind (bedingt durch den sogenannten Fluid shift unter Schwerelosigkeit) [35]. Dennoch sollte bei der Planung künftiger Missionen auf die Relevanz des Nahrungsverhaltens eingegangen werden, was zunehmend bereits realisiert wird. Um der Entstehung von Monotonie weiterhin entgegenzuwirken, werden kleine Anlässe zu großen Festen erweitert, welche mit großem Improvisationstalent ausgeschmückt werden. Spiel- und

---

<sup>3</sup> Die jährlichen Lebensmittelvorräte für die fünfzehnmonatige Überwinterungen umfassten aufgelistet mehr als 900 Produkte, bestehend aus Grundnahrungsmitteln, wie Brot, Kartoffeln, Nudeln, Fleisch, Fisch, Eier, Milchprodukten, Obst und Gemüse. Aber auch Genussmittel, wie Alkohol, Kaffee und Süßigkeiten, als variationsreiche Zusammenstellung aus auf dem Markt erhältlichen Angeboten, wurden für die Forschungsstation bereit gestellt.

Tanzabende werden veranstaltet, Ausflüge als Höhepunkte streng geplant. Da Isolation eine hohe Gefahr des Motivationsverlustes, der Apathie und besagten „Isolation in der Isolation“ hervorrufen und mit dem Entwickeln von Krankheiten psychiatrischen wie auch psychosomatischen Charakters einhergehen kann [24, 57-58]. Dennoch ist eine Körpergewichtsänderung unter psychischen Belastungen unumstritten, was bei den heutigen Essstörungen wie Übergewichtigkeit aber auch Untergewichtigkeit (z.B. Bulimie) nachzuweisen ist.

Es gab zwei offensichtlich stark psychisch belastete, sich entweder selber isolierende oder durch die Gruppe isolierte Personen, die sich durch eine hohe Veränderung im Gewicht ausgezeichnet haben. Die anderen Gewichtsveränderungen bei den Männern und Frauen müssen wahrscheinlich anders interpretiert werden. Eine weitere wichtige Komponente spielt bei den Veränderungen zum Körpergewicht neben der Ernährung die Bewegung und regelmäßige sportliche Betätigung. So gab es nachweislich Gruppen (Überwinterungsgruppe 2007) und Teammitglieder, die es sich zur Aufgabe gemacht hatten innerhalb der Überwinterung ein strenges Trainingsprogramm einzuhalten und auch bei den widrigen Bedingungen der Winterphase körperliches Training durchführten. Während der Überwinterung und vor allem in der Dunkelphase wurden viele gute Vorsätze entweder diskontinuierlich durchgeführt oder gänzlich abgebrochen (Berichte aus dem Email-Kontakt, [34]), was die Beurteilung der individuellen Körpergewichtsveränderungen im Zuge der Überwinterung erschwert.

Ein wichtiger Zusammenhang hierzu ist der in der Dunkelheit beeinflusste Tag/Nacht-Rhythmus [59]. Die Rolle des Melatonins bei der Aktivität ist hier von besonderer Bedeutung, und zwar kann man annehmen, dass die Suppression des Melatonins in der Dunkelheit vermindert ist [60]. Durch die Wirkung dieses Hormons bei hoher Konzentration im zirkulierenden Blut werden der Aktivitätsgrad und die Motivation herunter reguliert. Bei Suppression durch Licht und hier besonders durch blaues Licht wird eine Motivationssteigerung bewirkt. In der Station weisen die Lichtverhältnisse bisher aber nur diffuses Licht (Neonlicht) auf, so dass man davon ausgehen kann, dass dieser Mechanismus zu einer Aktivitätsminderung führt [60-61]. Damit wird auch erklärlich, warum die sportlichen Ambitionen reduziert und die Nahrungsaufnahme gesteigert wurden. Hinzu kommt die sehr variable Form der Ernährung. Das nahezu unbegrenzte Nahrungsangebot, die spezifische Vorgehensweise der Nahrungszubereitung des eigens für die Versorgung der Überwinterer engagierten Kochs und die inhomogene Nahrungsaufnahme der einzelnen Überwinterer macht eine strukturierte Aufschlüsselung der individuellen Kalorien- und Nährstoffzufuhr nicht möglich. Durch die Reduktion der Aktivität und der Verminderung der

Motivation zur sportlichen Bewegung und die im Verhältnis dazu erhöhte Nahrungsaufnahme während der Überwinterung wird, zumindest im Fall der Frauen, positiv bilanziert und es kommt somit zu einer Gewichtszunahme. In der Literatur wird gehäuft von exzessiver Nahrungsaufnahme in arktischen Regionen berichtet, welche zum einen aus dem erhöhten Energiebedarf bei Kälte, der Thermogenese, dem generell gesteigerten Aktivitätsniveau sowie der sozialen Isolation resultieren könnte [62-63]. Bei den männlichen Überwinterern ist jedoch zu einem hohen Prozentsatz eher eine Gewichtsreduzierung nachzuweisen. Das wird auch bei der Betrachtung der Fettmasse und fettfreien Masse sichtbar. Bei dieser Gruppe war sowohl eine Reduktion der FM und FFM in der lichtarmen Phase Isolation zu erkennen. Bei den weiblichen Überwinterern hingegen konnte ebenfalls eine Reduktion der FFM gefunden werden, allerdings war die Zunahme der FM deutlich höher als die Abnahme der FM, so dass am Ende eine Gewichtszunahme resultierte. Eine gute Korrelation mit dem Fettgewebe wird bei den Frauen durch den Anstieg des Leptins gesehen. Das weiße Fettgewebe als endokrines Organ sendet bei Gewichtszunahme in einem erhöhten Maß Leptin aus, was in dieser Studie im Gegensatz zu den männliche Teilnehmern nachweisbar war. Gegensätzlich dazu verhält sich das Adiponektin bei der Zunahme von Fettgewebe, es wird herunter reguliert. Bei den weiblichen Probanden konnte eine signifikante Reduktion des Adiponektins, nicht jedoch bei den männlichen Probanden nachgewiesen werden. Weiterhin wird eine Abnahme der Leptinkonzentration, ein Anstieg des Neuropeptid Y, trotz Anstieg der Fettmasse beobachtet, was ursächlich für einen Appetitanstieg sein könnte [64]. In einem Review über die europäische und japanische Antarktischforschung wird ebenfalls ein generell eher exzessives Nahrungsangebot in den Forschungsstationen beschrieben, wie es auch auf der Neumayer Station vorherrscht [65]. Die Überwinterungscrew 2005 zeigte ab der Dunkelphase eine signifikante Abnahme der fettfreien Masse und korrelierten Körperzellmasse sowie analog dazu eine Zunahme der Fettmasse, mit deutlichen Höhepunkten in der Winterphase. Innerhalb der Crew 2006 stieg die fettfreie Masse initial, wie auch die Körperzellmasse an, um dann in der Dunkelphase signifikant unter die Ausgangswerte zu sinken und gegen Ende der Überwinterung wieder nahe den Eingangswerten zu liegen. Spiegelbildlich verhielt sich auch in dieser Betrachtung die Fettmasse, welche in der Dunkelheit der Winterphase ein Maximum erreicht. Im Gegensatz hierzu stieg innerhalb der Gruppe 2007 die fettfreie Masse und Körperzellmasse und sank die Fettmasse innerhalb der oben beschriebenen Phasen ab. Diese Veränderungen erreichen jedoch keine Signifikanzen. Ursächlich für die mittlere Zunahme der fettfreien Masse und Abnahme der Fettmasse könnte die allgemeine Motivation der Gruppe gewesen sein, ein körperliches Training (in Einzelfällen tägliche

Sporteinheiten) während der Überwinterung durchzuführen. So berichtete die Mehrzahl der Teilnehmer über eine hohe Bereitschaft auch während der Winterphase zu Lauftrainings in den Treppentürmen und vor der Station.

Die Analyse der Veränderungen der Fettmasse der männlichen Probanden zeigt einen undulierenden Verlauf mit hohen Werten zu Beginn der Überwinterung, die unmittelbar vor der Winterphase abnahmen, in der Winterperiode wieder leicht zunahmen, um dann in den Sommermonaten, mit deutlicher Steigerung der Möglichkeit nach physischem Training und Außenaufenthalt, erneut deutlich absanken. Die fettfreie Masse und Körperzellmasse nahmen in der Winterphase kontinuierlich ab, was ebenfalls für die erschwerte Umsetzung körperlicher Aktivitäten spricht. Mit Beginn der lichtreichen Frühjahr- und Sommerphasen stiegen beide Parameter wieder an und zeigten demnach einen nahezu spiegelbildlichen Verlauf zur Fettmasse. Es ist also in der Winterphase innerhalb der männlichen Überwinterer nicht nur zu einer Abnahme der fettfreien und Körperzellmasse gekommen, die durch das reduzierte körperliche Training erklärbar wäre, sondern auch zu einer Abnahme der Fettmasse. Dies wiederum könnte mit der allgemeinen signifikanten Körpergewichtsreduktion der männlichen Teilnehmer, welche demnach auch einen Fettmasseverlust indizierten, interpretiert werden. Innerhalb des weiblichen Kollektivs ließ sich eine signifikante Zunahme der Fettmasse und kontinuierliche Abnahme der fettfreien und Körperzellmasse ab der Winterphase nachweisen, deren Verläufe bis zum Ende der Überwinterung weitestgehend erhalten blieben und nicht auf Ausgangswerte zurückgingen. Die Frauen scheinen sich demnach der Aktivitätsreduktion im Winter anzuschließen, dabei jedoch eher durch Fettmasseerhöhung an Gewicht zuzunehmen.

Lewis et al. (1960) beschrieben ebenso eine Gewichtszunahme der Überwinterer im antarktischen Winter, welche durch die reduzierte Aktivität und erhöhte Nahrungsaufnahme in der Dunkelphase beim vermehrten Aufenthalt in der Station erklärt wird [66]. Diese Gewichtszunahmen, die auch in dieser Studie ab und in der Winterphase gezeigt wurden, konnten auch in anderen Studien stark mit einer Zunahme der Fettmasse korreliert werden [67-68]. Im Gegensatz dazu könnte eine Abnahme des Körpergewichts im Sommer aus Änderungen der Lebensführung (Lifestyle) und damit verbundenen gesteigerten Bewegungsmöglichkeiten resultieren [66]. Die Wissenschaftler Belkin et al. (1999) untersuchten zwischen 1985-86 66 Überwinterer, im Alter zwischen 25 und 61 Jahren, innerhalb der antarktischen Forschungsstation Mirny über 10 Monate, wobei sie besonderes Augenmerk auf Phasen im April (Beginn der Polarnacht), September (eine Phase zwischen den Lichtextremen) und Januar (Phase der kontinuierlichen Lichtexposition) legten. Diese Autoren beschrieben eine Abnahme der

Muskelmasse sowie Anstieg der Fettmasse während der lichtarmen antarktischen Winterphase [69], was im Einklang zu den hier vorliegenden Ergebnissen steht. Es wurde weiterhin gezeigt, dass der BMI und das Körpergewicht sich nicht signifikant veränderten. Diese Aussagen wurden als eine Art Adaptation an die besondere Situation, des Lebens in der Antarktis, interpretiert [69].

Der Grundumsatz als Maß für die Energiemenge, welche der Körper unter Bedingungen völliger Ruhe (liegend und wach), bei Indifferenztemperatur für die tägliche Aufrechterhaltung der Körperfunktionen benötigt, ist abhängig von Geschlecht, Alter, Körpergewicht, Größe, Muskelmasse und Thermoregulation [70-71]. In der vorliegenden Studie wurde der Grundumsatz anhand der zu- oder abnehmenden Körperzellmasse berechnet. Daher waren Veränderungen innerhalb des Grundumsatzes auf die Zahl metabolisch aktiver Zellen zurück zu führen. Im Allgemeinen weisen Männer, aufgrund ihrer größeren Muskelmasse, einen höheren Grundumsatz pro Kilogramm Körpergewicht als Frauen auf. Diese Tatsache konnte in dieser Studie nicht sofort nachvollzogen werden. So lag anfänglich der durchschnittliche Grundumsatz der Frauen bei  $22,3 \pm 1,8$  kcal/kgKG und der Männern nur bei  $20,9 \pm 2,5$  kcal/kgKG. Nach ca. 60 Tagen verzeichneten jedoch die Männer mit  $21,8 \pm 2$  kcal/kgKG im Gegensatz zu den Frauen  $21,1 \pm 1,3$  kcal/kgKG einen höheren Grundumsatz, bezogen auf das Körpergewicht. Trotz zum Teil gravierender Körpergewichtsänderungen blieb der Grundumsatz über den Verlauf der Überwinterung weitestgehend unverändert. Auch Änderungen in der Frequenz der Außeneinsätze und dem damit verbundenen „Ausgesetzt-Seins“ von Kälte, veränderte die Werte nicht signifikant. Eine zweijährige Studie in der Antarktis (Wilson et al., 1956), welche die Veränderung des Grundumsatzes zum Thema hatte, ergab eine leichte Tendenz zur saisonalen Variation, so war der Grundumsatz im Frühling und Herbst deutlich höher als im antarktischen Winter [72]. Diese Beobachtung wurde mit den vermehrten Aufenthalten im Freien, durch das wesentlich bessere Wetter und die daraus resultierende häufigere Kälteexposition erklärt [72]. Duncan et al. (1988) fanden ähnliche Ergebnisse, jedoch keine signifikanten Korrelationen zu Aktivitätssteigerung und Wetterbedingungen [73].

Eine erst kürzlich publizierte Übersichtsarbeit von Simpson et al. (2010) erfasste diesen Aspekt des Aufenthalts in der Antarktis und den daraus resultierenden Effekten auf die Fitness und den Energiehaushalt [49]. Dazu wurden verschiedene wissenschaftliche Datenbanken nach Themen, wie „polar work involving energy intake and expenditure“, „metabolism“, „body weight, body fat and aerobic fitness“ als Schlagworte gesucht und aus den nicht zeitlich begrenzten Artikeln eine Zusammenfassung der gewonnenen Resultate gefasst. Sie kamen nach dieser Metaanalyse

zu den allgemeinen Schlussfolgerungen, dass auf der Basis der vorliegenden untersuchten Quellen, in kalten Umgebungen eine höhere Kalorienzufuhr als in gemäßigten Klimazonen zu beobachten ist [49]. Diese konnte so auch innerhalb der verschiedenen antarktischen Forschungsstationen: amerikanischen (durch Milan et al. (1961) [74] und Case et. al. (2006)); russischen (durch Acheson et al. (1980) [75]) und britischen (durch Easty et al. (1967) [76]) beobachtet werden. Die Daten wurden jeweils durch die Messung der Kalorien der entsprechenden Nahrungszufuhr ermittelt. Dennoch ist diese Methode sehr fehlerbehaftet, da nur ein ungefährender Schätzwert der Kalorienzufuhr ermittelt werden konnte, denn in nur wenigen Studien wurde eine Kalorimetrie verwendet [49]. Auch in diesen Studien war ein methodischer Mangel, dass die Nahrungsaufnahme nur durch subjektive Angaben ermittelt werden konnte. Die Personen selbst gingen von einer erhöhten Kalorien- und Nahrungszufuhr aus, welche von den Überwinterern durch das Überangebot an Lebensmitteln, dem Mangel an Frischkost sowie dem Vorhandensein eines Kochs erklärt wurde.

Die Bioimpedanzdaten zur Ermittlung der Körperzusammensetzung wurden in dieser Studie durch verschiedene biochemische Blutparameter ergänzt. Zur genaueren Betrachtung des Fettstoffwechsels bei den Überwinterern wurden Triacylglycerid-, Gesamtcholesterin- und LDL- sowie HDL-Cholesterinkonzentrationen im Serum bestimmt. Dabei fiel auf, dass die Ausgangswerte für die Triacylglyceridkonzentrationen, innerhalb des männlichen Teams 2005 (mit 155,6 mg/dl) und der Gesamtbetrachtung aller Männer von 2005-2007 (mit 165,8 mg/dl), über der Norm von <150 mg/dl [45] erhöht waren. Im Verlauf der Überwinterung nahmen diese Werte sowohl bei den Männern als auch Frauen in der Pre-Phase leicht ab, um in der Winterphase wieder anzusteigen und zum Ende der Überwinterung auf Normwerte abzusinken. Die Cholesterinkonzentrationen stiegen bei den männlichen Teilnehmern kontinuierlich an und erreichten ein Maximum im Oktober. Dies widerspricht dem Verhalten des Körpergewichts, welches konstant abnimmt, allerdings mit der LDL- und Leptinkonzentration stark korrelierte. Während innerhalb der weiblichen Probanden eine Abnahme der Cholesterinspiegel bis Juni zu und eine maximale Konzentration im August zu verzeichnen war, konnte eine Korrelation zwischen Cholesterin, LDL und Leptin jedoch nicht nachgewiesen werden.

Das Lipoprotein LDL (low density lipoprotein) dient dazu, das vom Körper gebildete Cholesterin der Leber zum Speichergewebe zu transportieren, während das HDL (high density lipoprotein) Cholesterin zur Leber zurück führt und somit die LDL-assoziierte Gefahr einer Arteriosklerose mindern kann [77]. Die separate Analyse der LDL- und HDL-Verläufe ergab innerhalb der männlichen Teilnehmer signifikante Zunahmen in den LDL-Konzentrationen von

Juni bis Januar des zweiten Jahres, mit einem Höchstwert im August, wohingegen die HDL-Konzentrationen keine signifikanten Veränderungen aufwiesen. Ähnlich dazu verhielt es sich mit den Konzentrationen bei den weiblichen Probanden. Während hier jedoch keine bedeutenden Schwankungen in den LDL-Werten zu sehen war, zeigte die HDL-Konzentration von Juni bis Januar signifikante Abnahmen. Das heißt, obwohl beide Geschlechter keine signifikanten Veränderungen innerhalb der Triacylglycerid- und Cholesterinkonzentration zeigten, lassen sich innerhalb der Winterphase sowie weit darüber hinaus, erhöhte Werte für die LDL- bzw. erniedrigte für HDL-Konzentrationen verzeichnen. Eine Erhöhung der Parameter des Fetthaushaltes bzw. die reduzierte Aktivität und damit unverhältnismäßig hohe Energieaufnahme, bei unverändertem Grundumsatz, initiierte scheinbar eine Erhöhung der LDL- und Verminderung der HDL-Konzentrationen. Außerdem wurde während der Winterphase nicht auf reduziertere Kalorienzufuhr geachtet, die durch verminderte Aktivität vielleicht anzustreben gewesen wäre. Vielmehr war die antarktische Winterzeit auch durch ein Unterangebot an frischer Kost, wie Obst und Gemüse, gekennzeichnet. Dieser Aspekt könnte unter Umständen die beobachteten Veränderungen im Fettstoffwechsel bei den Probanden erklären. Weiteren Aufschluss über die Veränderungen im Stoffwechsel ergab die Analyse der Hormone Adiponektin und Leptin.

Adiponektin ist ein antidiabetisch, anti-atherogen, anti-inflammatorisch wirkendes Peptidhormon, das von den Adipozyten des Fettgewebes produziert wird. Es zirkuliert im Blut und aktiviert unter anderem die Rezeptoren Adipo R1 und Adipo R2, die AMP-Kinase und den nukleären Transkriptionsfaktor PPAR. Adiponektin vermindert weiterhin die Cholesterinakkumulation und nimmt so Einfluss auf die LDL-Aufnahme und die Transformation der Makrophagen zu Schaumzellen [78]. Es ist nachgewiesen, dass bei Fettleibigkeit und daraus resultierender Insulinresistenz eine verminderte Adiponektinkonzentration vorliegt [79-81]. Eine entscheidende Funktion des Adiponektins in der normalen Stoffwechsellage ist die Regulation des Lipidkatabolismus durch eine Reduktion der Triacylglyceride im Gewebe, Stimulation der Beta-Oxydation und Verbesserung der Insulinsensitivität sowie die Verminderung von hepatischer Gluconeogenese [82]. In der anabolen Stoffwechsellage (Übergewicht) zeigt sich jedoch, dass ein hoher Fettanteil ursächlich für einen hohen oxydativen Stress, chronische Entzündung und Makrophagenaktivität ist und die resultierenden pro-inflammatorischen Zytokine potenzielle Inhibitoren der Genexpression von Adiponektin sind [83-84]. Der Mechanismus bewirkt, dass das Adiponektin bei normaler Konzentration die Bildung von Schaumzellen inhibiert und somit auch die Bildung von weichen Plaques, also auch die Entstehung von Entzündungen im

Gefäßsystem (latente Erhöhung des CRP z.B. bei Adipositas) verursacht. Das Fettgewebe und speziell die Adipozyten produzieren neben Adiponektin auch das Leptin. Durch die Einflüsse auf das periphere Zielgewebe wirken beide Proteine als Hormone, so agiert Leptin als zentrales Signal für die Nahrungsaufnahme und somit als Modulator des Energiestatus. Eine verminderte Aktivität oder ein Funktionsverlust von Leptin bedingt Fettleibigkeit [85]. Die Analyse der Leptinverläufe der einzelnen Überwinterungscrews sowie die geschlechterspezifische Zusammenfassung der Werte zeigen deutliche Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden. So sinkt der Leptinspiegel in der rein männlichen Gruppe 2005 sowie der zusammengefassten männlichen Population innerhalb des antarktischen Winters signifikant ab. Während bei den weiblichen Überwinterern ein tendenzieller Anstieg der Leptinkonzentration ab Mittwinter nachweisbar war. Dies entspricht den aktuellen Forschungsergebnissen, dass die im Serum nachweisbare Leptinkonzentration direkt mit der Masse des Fettgewebes korreliert und als Biomarker für die Energiebalance gilt [86]. Ein hoher oder gesteigerter Fettanteil und daraus resultierende größere Adipozyten enthält mehr Leptin [87]. Es wurde ferner nachgewiesen, dass die Leptinexpression nach Anstieg der Insulinantwort auf Nahrungsaufnahme angeregt wird [88]. Außerdem zeigten mehrere Studien, dass Fasten oder eine „very low calorie diet“ (VLCD) den Leptinspiegel verringert [24], andererseits Leptin die Nahrungsaufnahme reduziert und die Thermogenese stimuliert [86].

In der vorliegenden Studie kommt es über den Verlauf der Überwinterung in den einzelnen Gruppen sowie vor allem bei den weiblichen Teilnehmern in der Phase des antarktischen Winters zu einem signifikanten Anstieg des Körpergewichts, der Fettmasse und der LDL-Konzentration. Speziell die weiblichen Teilnehmer zeigen ab der Winterphase eine Zunahme des Körpergewichts mit reflektorischem Anstieg der Fettmasse und Reduktion der fettfreien und Körperzellmasse sowie eine Erhöhung der LDL-Konzentration und Abnahme der HDL-Menge im Blut. Daraus lässt sich die Gegenregulation des Körpers, welche einen Anstieg der Leptinkonzentration initiiert, damit wiederum eine gewisse Appetitregulation hervorruft und eine weitere Gewichtszunahme verhindert, erklären. Die deutliche Reduktion der Adiponektinkonzentration innerhalb dieser Phase könnte durch den hohen Anteil an Fettmasse und damit verbundene Inhibition der Genexpression des Adiponektins erklärt werden. Bei den männlichen Teilnehmern fiel hingegen eine kontinuierliche Gewichtsabnahme ab der Winterphase bis zum Ende der Überwinterung auf. Diese ging mit nur leichten Schwankungen der Fettmasse aber deutlichen Reduktion der fettfreien und Körperzellmasse einher. Auch hier konnte eine Zunahme der LDL- und Abnahme der HDL-Konzentration erfasst werden. Trotzdem

oder gerade wegen der Gewichtsabnahme und geringen Varianz der Fettmasse reduzierte sich die Leptinkonzentration und erhöhte sich die Adiponektinkonzentration als regulative Maßnahme des Körpers auf einen reduzierten metabolischen Umsatz.

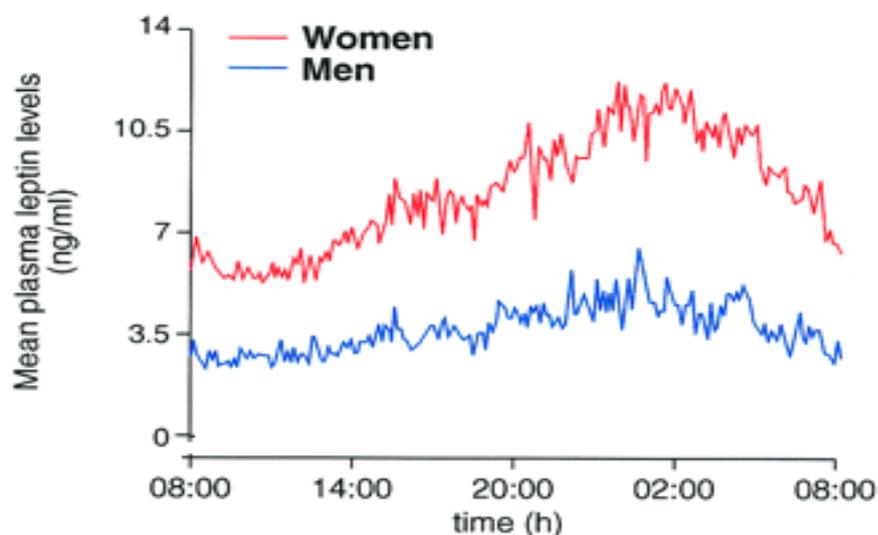
Darüber hinaus ist es für die vorliegende Studie interessant, die geschlechtsspezifischen Unterschiede des Leptins und seiner Regulationen im Rahmen der Überwinterungen näher zu betrachten. In vitro Studien zeigten, dass Testosteron und Dihydrotestosteron die Leptinsekretion um mehr als 62 % unterdrücken [89]. Außerdem sind die Leptinkonzentrationen bei Frauen höher als bei Männern [90-91]. Dieser Befund wird unter anderem durch die Stimulation durch Östrogen und die Hemmung durch Androgene erklärt sowie Fettdepotunterschiede in der geschlechtsspezifischen Konstitution erklärt [92].

Eine Studie untersuchte das 24h-Profil der Leptinkonzentration in gesunden Männern und Frauen, dabei ergab sich ein absolutes Maximum der Leptinkonzentration in Männern von 4,6 und Frauen von 9,9 ng/ml, das bedeutet eine doppelt so hohe Konzentration bei den weiblichen Probanden. Die niedrigsten Werte lagen bei 3,5 bzw. 8,1 ng/ml für Männer bzw. Frauen. Auch in der vorliegenden Studie konnten deutlich höhere Leptinkonzentrationen für Frauen im Vergleich zu den männlichen Teilnehmern nachgewiesen werden. Maccario et al. (2000) konnten nachweisen, dass Geschlechtsunterschiede nach 36 stündigem Fasten aufgehoben sind [93]. Außerdem ist die Leptinexpression in subkutanem Fettgewebe größer als im viszeralem, da Frauen mehr subkutanes Fettgewebe aufweisen als Männer erklären sich wiederum die höheren Leptinkonzentrationen beim weiblichen Geschlecht [94]. Außerdem liegen zahlreiche Studien in der Literatur vor, die die Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Leptinkonzentration untersuchten. Es zeigte sich, dass lediglich physische Leistungen über 60 min Dauer wie Marathonläufe oder ausgedehnte Fahrradtouren eine Veränderung der Leptinkonzentration hervorriefen [95]. Vergleichbare Belastungen kamen in der vorliegenden Studie in der Regel nicht vor, abgesehen von Einzelpersonen, welche kontinuierlich Sport trieben. Doch auch in diesem Fall ist die Hormonbestimmung in zweimonatigen Abständen, bei nicht sicher nachvollziehbaren Trainingseinheiten zu ungenau, um klare Aussagen zum Einfluss der Aktivität auf das Leptin zu treffen. Zur Klärung dieser Fragestellungen, sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.

### **4.3 Zirkannuale Rhythmik untersuchter Hormone**

Die Antarktis ist gekennzeichnet durch sehr niedrige Temperaturen, hohe Windgeschwindigkeiten sowie prolongierte Hell- und Dunkelphasen (Polartage und -nächte). Diese extremen Umweltbedingungen – so die Hypothese – können Veränderungen in der

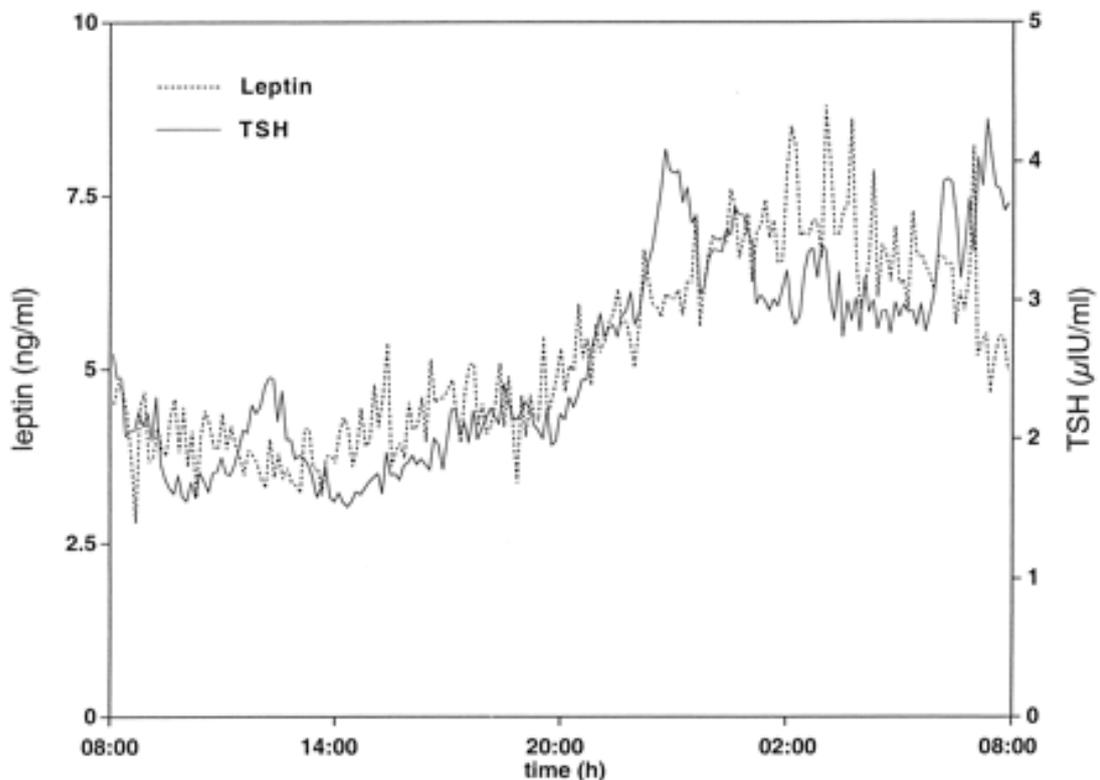
zirkadianen und zirkannualen Rhythmik auf verschiedenen Ebenen hervorrufen. Speziell die Phase des antarktischen Winters, welche durch tiefste Temperaturen und konstante Dunkelheit, ohne den diurnalen Wechsel der Lichtintensität gekennzeichnet ist, stellt eine optimale Basis zur Erforschung der inneren Zeitgeber einer zirkadianen und zirkannualen Rhythmik dar [96]. Es ist bekannt, dass Leptin eine zirkadiane Rhythmik aufweist, welche durch die Fettmasse, das Geschlecht und die Insulinmenge im Blut moduliert wird [97-98]. Adipositas ist nicht nur mit einer absolut höheren Leptinkonzentration assoziiert, sondern auch mit einem flacheren Verlauf der diurnalen Leptinkonzentration [90, 97, 99]. Frauen zeigen, wie erwähnt, höhere absolute Werte aber auch niedrigere zirkadiane Verläufe der Leptinamplitude als Männer (siehe Abbildung 44) [91, 100]. Die Bedeutung des geschlechtsabhängigen Dimorphismus ist derzeit noch weitestgehend unklar, es scheint jedoch ein metabolischer Hinweis auf die reproduktive Achse zu geben [98]. Der zirkadiane Rhythmus des Leptin über 24h beschreibt einen Kosinus mit einem Maximalwert kurz nach Mitternacht und einem Tiefpunkt gegen 9.00 Uhr am Morgen [97]. Ein Gewichtsverlust reduziert die Amplitude der 24-stündigen Leptin Konzentration, nicht jedoch seinen Zeitverlauf [97].



**Abbildung 44:** Leptin-Konzentration als 24-h Profil der Gesamt Plasma Leptin Konzentration in Männern und Frauen [100].

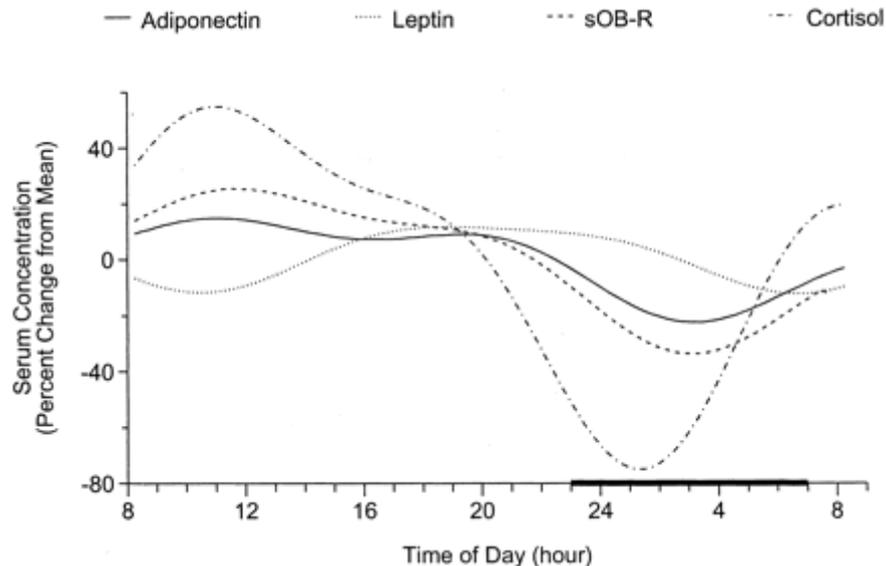
Die Entstehung des diurnalen Leptinverlaufs ist noch nicht ausreichend geklärt, so ist weiterhin fraglich, wie Leptin durch die biologische Uhr beeinflusst wird [101]. Leptin wird unter anderem auch durch Melatonin reguliert [101]. Nach Considine et al. (2004) soll Melatonin mit Insulin interagieren und darüber die Insulin induzierte Leptinexpression nach oben regulieren [99]. Der

zirkadiane Rhythmus von ACTH und Kortisol könnte ebenfalls Einfluss auf den Leptinverlauf haben [102]. Der Nucleus suprachiasmaticus (SCN) im Hypothalamus spielt eine Schlüsselrolle bei der Induktion, Synchronisation und Kopplung des Licht/Dunkel Zyklus auf den zirkadianen Rhythmus der metabolischen und endokrinen Funktionen [102-103]. Die Abwesenheit des diurnalen Leptin-Rhythmus nach Ablation des SCN beweist keine direkte Kontrolle durch biologische Zeitgeber, da in Versuchstieren auch andere Rhythmus-signale wie Nahrungsaufnahme und Glukokortikoide arrhythmisch wurden [103]. Interessanterweise erzielt Leptin ein Konzentrationsmaximum gegen Mitternacht, wie es auch beim ACTH und Kortisol bei jungen Männern bzw. beim Verlauf der LH und Estradiolkonzentration bei jungen Frauen gezeigt werden konnte [89, 93]. Dieser Befund scheint eine Abhängigkeit zwischen Oszillatoren des Leptins sowie der hypothalamisch/hypophysären und gonadalen Achse zu zeigen [100]. Denn ein weiteres Hormon der hypophysären Achse, TSH, welches ebenfalls in dieser Studie untersucht wurde, zeigt im diurnalen Verlauf gleiche Kurvenverläufe wie Leptin [104]. Eine Studie untersuchte 5 gesunde Männer nach der Pulssynchronizität zwischen Leptin und TSH. Über 24 Stunden wurden alle 7 Minuten die Plasmakonzentrationen der beiden Hormone erfasst.



**Abbildung 45: Zirkadian/ultradianer Rhythmus von Leptin und TSH in einem Kontrollkollektiv von gesunden Personen [104]**

Wenn die Leptinkonzentrationen in der Nacht ansteigen, wird die Pulsation organisierter und Fluktuationen verhalten sich synchron zu LH und Estradiol. Es wurde demonstriert, dass TSH und Leptin einen identischen diurnalen Rhythmus haben. Wie Leptin den TSH-Verlauf beeinflusst, ist jedoch ungeklärt [104]. Der Aspekt, dass Nahrungsreduktion eine Abnahme der basalen und TRH-stimulierten TSH-Konzentration hervorrufen, unterstützt die These einer Energie abhängigen Reaktion [104]. Es wurde weiterhin gezeigt, dass auch Adiponektin eine diurnale Variation aufweist, mit einer signifikanten Absenkung in der Nacht und einem Nadir am frühen Morgen [105-106]. Desweiteren zeigte sich eine Ähnlichkeit, aber keine Überschneidung zwischen Adiponektin und Kortisolbereichen [102]. Beide Hormone erreichen ihre Maxima ungefähr um dieselbe Zeit am Morgen und eine Abnahme während der Nacht [102]. Allerdings erreicht Adiponektin seinen Tiefpunkt ungefähr zwei Stunden nach dem des Kortisols (siehe Abbildung 46). Temporäre Korrelationen sind jedoch keine Beweise für die Existenz begründender Beziehungen. Während Adiponektin die Insulinsensitivität steigert, reduziert Kortisol sie [102]. Weitere Regulatoren sind Androgene, welche Adiponektin in vitro direkt inhibieren und einen Anstieg am frühen Morgen zeigen, während Adiponektin seine niedrigsten Konzentrationen erreicht [102, 105].



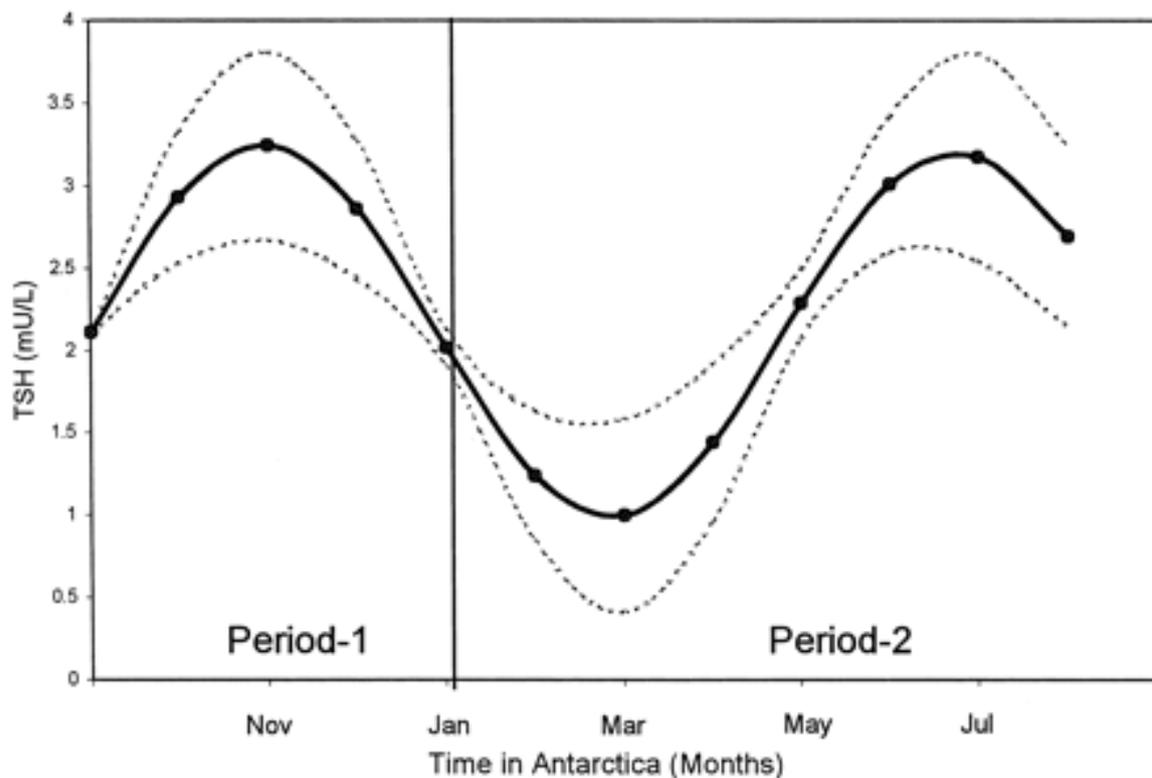
**Abbildung 46: Mittlere prozentuale Veränderungen des Serum Adiponektins, Leptins, sOB-R und Kortisols [102]**

Das Thyreoidea stimulierende Hormon (TSH) wird in den basophilen Zellen des Hypophysenvorderlappens produziert und wirkt als aktives Wachstumshormon sowie auf die Schilddrüsenregulation. Neben einer sehr starken zirkadianen wird auch eine saisonale Rhythmik der TSH-Sekretion beschrieben. Eine Studie von Palinkas et al. (2007) an Bewohnern zweier

Südpolarstationen, welche je auf einer anderen Position auf dem Breitengrad lagen, verdeutlichte, dass diejenigen, welche direkt am Südpol wohnten, insgesamt höhere Spiegel für das TSH aufwiesen und eine signifikante Abnahme der TSH-Konzentration während des antarktischen Winters verzeichneten als jene, die vom Südpol entfernter wohnten. Sowohl die Kälte als auch die Höhe galten als entscheidende Einflussfaktoren [107]. Es wurde weiterhin gezeigt, dass Menschen, die länger als 5 Monate in der Antarktis leben, einen Wandel in der hypothalamisch-hypophysär-thyreoiden Achse aufweisen [108]. So kommt es zu einer Adaptation von TSH während des Aufenthalts in der Antarktis. Die Untersuchungen ergaben, dass die Veränderungen des Schilddrüsenstoffwechsels nicht nur durch die extreme Kälte, sondern auch durch die physische Aktivität und die Polartage bzw. -nächte erklärt werden können [109]. Das Fehlen von Farben zum Beispiel oder wechselnden urbanen Einflüssen kann Schlafstörungen und Halluzinationen hervorrufen [110]. So berichten viele Überwinterer, dass sie gegen Ende des antarktischen Winters in eine solche Lethargie fallen, dass sie nicht einmal die Motivation hatten nach draußen zu gehen, um das Wetter zu beurteilen, sondern sich auf die Bilder der stationseigenen Webcam verließen [34, 110]. Auch wird beschrieben, dass Nachrichten aus der Welt über Naturkatastrophen, Kriege oder politische Entscheidungen nur wenig beeindruckten, da die Abgeschlossenheit zu beeinflussend war, um solche Informationen als wirklich bedeutend zu interpretieren.

Eine niederländische Studie untersuchte die TSH Rhythmik bei moderatem Klima und erzielte tiefste Werte im Frühling und Sommer sowie höchste im Winter [111]. Das T3 verhielt sich analog dazu, während das T4 keine saisonalen Unterschiede aufzeigte. Die TSH-Ausschüttung unterliegt äußeren Einflussfaktoren, so spielen die Temperatur, die Lichtverhältnisse, Zeitonenwechsel und Gravität eine große Rolle [59]. Neben den exogenen Einflüssen auf das TSH, wie Beleuchtungsintensitäten, zirkadiane Rhythmik und Temperatur, spielt TSH eine entscheidende Rolle bei der Regulation endogener Prozesse des Metabolismus, der Reproduktion und der Temperaturregulation des Körpers [112]. So wurde gezeigt, dass TSH einen bedeutenden Einfluss im thermogenetischen Mechanismus des braunen Fettgewebes hat [113]. Die sympathisch gesteuerte Thermogenese des braunen Fettgewebes, welche über Noradrenalin zur Aktivierung des cAMP führt, welches durch die Proteinkinase A die Phosphorylierung von Lipasen und damit den Fettabbau initiiert, ermöglicht eine zitterfreie Wärmeproduktion und wird vor allem bei Neugeborenen und Tieren, die Winterschlaf halten, nachgewiesen [114]. Dieser Aspekt erklärt auch den starken Zusammenhang zur zirkannualen Rhythmik des Hormons und verdeutlicht den Grund, weshalb vor allem die Antarktis mit den prolongierten Hell- und

Dunkelintervallen einen guten Forschungsstandort zur Evaluierung einer saisonalen Rhythmik bietet. Eine Studie von Reed et al. (2001), welche daraufhin die zirkannuale Rhythmik des TSH an 12 gesunden Überwinterern der McMurdo Sound Polarstation untersuchte, erzielte ein Maximum der TSH-Konzentration im November sowie im Juli und ein absolutes Konzentrationsminimum im März [71].



**Abbildung 47:** Zirkannualer Verlauf der TSH-Konzentration innerhalb von 12 gesunden Überwinterern (11♂, 1♀), über die Zeit einer Überwinterung in der Südpolarstation McMurdo Sound [71]

In der vorliegenden Arbeit wurde die TSH-Konzentration ebenfalls im Abstand von zwei Monaten über die gesamte Zeit der Überwinterungskampagne erfasst. Dabei zeigte sich in der rein männlichen Gruppe des Jahres 2005 sowie in dem zusammengefassten männlichen Kollektiv aller drei Überwinterungen ein Verlauf der TSH-Konzentration, der den Ergebnissen von Reed et al. (2001) (Abb. 47) entspricht. Auch hier ergaben sich hohe Ausgangswerte im Januar zu Beginn der Überwinterung, eine anschließende Abnahme der TSH-Konzentration kurz vor Beginn des antarktischen Winters (März-Juni), ein erneuter Anstieg um Mittwinter (Juli/August) sowie eine Wiederabnahme ab Oktober, um dann im Dezember zu den hohen Ausgangswerten zurück zu kehren. Die gemischtgeschlechtlichen Gruppen und die Frauen zeigen eher niedrige Ausgangswerte im Januar und dann einen um die Zeit von zwei Monaten

verschobenen undulierender Verlauf der TSH-Konzentration im Vergleich zu den Männern. Sie erreichen deutliche Maxima des TSH in der Zeit um Mittwinter. Da es sich in der Studie von Reed et al. (2001) um zwölf Überwinterer handelte, wovon elf männlich und nur eine Person weiblich war, sind die erhaltenen Ergebnisse durchaus vergleichbar mit denen in dieser Studie erhobenen. Weiterhin lässt sich jedoch auch an diesem Punkt ein deutlicher geschlechtsspezifischer Unterschied nachweisen, der weitere Analysen erfordert.

#### **4.4 Hämatopoese**

Hämoglobin als Eisen(II)-haltiges Chromoprotein in den Erythrozyten kommt im erwachsenen Organismus in drei Formen vor, als HbA1 (98% des Gesamt-Hb), HbA2 und fetales Hb. Die Hauptaufgaben bestehen im O<sub>2</sub>-Transport durch die Bildung von Oxyhämoglobin, dem Transport von CO<sub>2</sub> als Carbamino-Hb und der Pufferung von Wasserstoffionen [115]. Nimmt der Sauerstoffpartialdruck in der Atmosphäre ab oder ist ein erhöhter Blutverlust eingetreten, wird u.a. durch Erythropoietin die Erythropoese und Hämoglobinsynthese stimuliert [116].

Erythropoietin als globuläres, hydrophobes Protein wird beim Menschen in den Nieren (Hauptbildungsort), vorrangig in den peritubulären fibroblastoiden Zellen im inneren Cortex und äußeren Mark gebildet. Allerdings wird bei Hypoxiezuständen auch in Leber, Testes, Hirn und Milz die EPO-Produktion initiiert [117]. Zur Gruppe der Growth Faktoren gehörig, verbessert es in erster Linie die Bindung von Sauerstoff an Erythrozyten im „Langzeitgewebe“. Erythropoietin verhindert die Apoptose der erythrozytären Vorläuferzellen im Knochenmark und initiiert sie zur Proliferation und Differenzierung, dies wiederum führt zu einer Zunahme der Hämoglobin bildenden Erythroblasten [117]. Daher wird ihm auch eine sehr potente neuroprotektive Wirkung zugesprochen [118-119]. Ein Anstieg der Erythropoietinkonzentration führt nach 3-4 Stunden zu einer Retikulozytose im Blut [117]. Androgene, Thyroxin und Wachstumshormone verstärken die Wirkung des Erythropoietin, dies erklärt höhere Hämoglobinwerte bei Männern [117, 120]. Die normale Konzentration im Serum liegt bei 4-26 mIU/ml; dieser Bereich steigt nicht über den Normwert solange das Hämoglobin nicht unter 10,5 mg % liegt [121].

Eine hohe physische Belastung geht kurz nach Beendigung der Belastung mit einer signifikanten Abnahme der EPO-Konzentration einher [121-122]. Bei Marathonläufern wurde ein Abfall der EPO-Konzentration von 13,8 mU/ml vor dem Lauf, auf 1,2 mU/ml 30 min nach dem Lauf nachgewiesen. Im Zeitverlauf stiegen die Werte wieder an [121]. Während der Untersuchung traten keine signifikanten zirkadianen Schwankungen in der EPO- Konzentration auf [123]. Dennoch lässt sich keine einheitliche Aussage über eventuell existente zirkadiane Rhythmen der EPO- Produktion treffen, das es zu dieser Thematik der zirkadianen Rhythmik des

Erythropoietins nur wenige Studien gibt und diese untereinander sehr widersprüchlich sind. So belegen einige Studien, dass es keine zirkadiane Rhythmik zu geben scheint [124], während andere eine 24-Stunden Rhythmik mit maximalen Konzentrationen am Nachmittag (16.00 Uhr) und Tiefstwerten gegen Mitternacht [125] oder wie bei Klausen et al. (1996), welche ein Nadir der Erythropoietinkonzentration zwischen 8.00 und 16.00 Uhr und einem Maximum gegen 4.00 Uhr [126] beschreiben.

Eine Studie an 6 gesunden Probanden (2 Frauen, 4 Männer) im Alter zwischen 25-30 Jahren, bei der über 36 Stunden Blutentnahmen in dreistündigen Intervallen und Urinproben in sechsstündigen Abständen durchgeführt wurden, erzielte maximale EPO-Level am frühen Morgen. Prozentuale Schwankungen konnten bei vier Probanden gezeigt werden, die einer zirkadianen Rhythmik entsprachen [127]. Eine andere Studie, welche 40 gesunde Probanden (27 Männer, 13 Frauen) im Alter zwischen 30-75 Jahren untersuchte, zeigte eine signifikante ( $p < 0,05$ ) zirkadiane Rhythmik mit hohen Werten am Nachmittag und niedrigsten in der Nacht [125].

Die Transferrinrezeptoren (TfR) gehören zu den Glykoproteinen, welche die Aufnahme von extrazellulärem transferringebundenem Eisen in die Zelle vermitteln [128]. Da Eisen im Blut zu 15-45 % an Transferrin gebunden ist und nur mit Hilfe der Transferrinrezeptoren, welche an die Zellmembranen der Erythroblasten gebunden sind, in die Zellen aufgenommen werden kann, dient die Konzentration an Transferrinrezeptoren (TfR) als direktes Maß für den Eisenhaushalt des Organismus [128-129]. Im Serum fluktuiert der Transferrinrezeptor als lösliche Form (sTfR), da dieser ein Produkt des TfR ist, ist die Menge an sTfR proportional zum TfR und damit der aktuellen Eisensituation der Zellen [128-129]. Im Gegensatz zum Ferritin und Transferrin wird die sTfR-Konzentration nicht durch Mediatoren von Entzündungsreaktionen beeinflusst, daher dient die sTfR-Konzentration als sicheres Merkmal zur Abschätzung des aktuellen Eisendepots [130]. Eine erhöhte Konzentration an sTfR findet sich demnach bei einem Eisenmangelzustand aber auch bei jeder Expansion der Erythropoese, da jedes mögliche im Blut zirkulierende Eisen gebunden werden soll. Der lösliche Transferrinrezeptor ist ein Indikator für die erythropoietische Aktivität, so verdeutlichen niedrige Plasmaspiegel an sTfR eine hypoplastische und hohe Werte eine hyperplastische Erythropoese [129]. Während eines Eisenmangel oder einer Expansion der Erythropoese steigt die Konzentration der sTfR massiv an, um durch eine hohe Rezeptorenzahl jedes mögliche Eisenangebot effektiv zu binden [128]. Die normalen Werte für sTfR liegen bei 0,9-2,8 mg/l im Serum [131]. Der sTfR ist auch unter hoher physischer Leistung sehr stabil, dies

zeigte eine Studie an Judo-Athleten, daher dient es ebenfalls als guter Marker für den Eisenstatus [132].

In dieser Studie wurden alle zwei Monate die Hämoglobin-, Erythropoietin- und sTfR-Konzentrationen ermittelt. Dabei zeigte sich im Überwinterungsteam 2005 eine signifikante Abnahme der Hämoglobinkonzentration im August, Oktober und bis zum Ende der Überwinterung. Das Erythropoietin sank bereits im März und Juni signifikant unter den Ausgangswert, erreichte jedoch ab August bis zum Ende der Überwinterung wieder nahezu Ausgangswerte. Da in der Literatur eine Abhängigkeit der Transferrinrezeptoraktivität zur Erythropoietinkonzentration beschrieben wird, wurde auch dieser Aspekt berücksichtigt. Dabei zeigte sich ein tendenzielles Absinken des sTfR ab Juni mit signifikant niedrigeren Bereichen im Oktober, jedoch keine signifikante Korrelation zum Erythropoietinverlauf.

In den gemischt geschlechtlichen Teams der Kampagnen 2006 und 2007 konnten im Verlauf der Hämoglobinkonzentration keine signifikanten Erscheinungen verzeichnet werden, dennoch fällt die Konzentration im März tendenziell ab, erreicht in den folgenden Messungen jedoch wieder nahezu die Linie des Ausgangswertes. Ebenso verhielt es sich mit der Erythropoietinkonzentration, hier zeigte sich im Serum eine leichte Abnahme in März und Juni, diese war aber bis Oktober rückläufig, ohne dass signifikante Veränderungen nachgewiesen werden konnten. Konträr dazu war der Konzentrationsverlauf des löslichen Transferrinrezeptor, welcher in beiden Überwinterungsteams signifikante Konzentrationsabnahmen von März bis August im Jahr 2006, sowie von Juni bis Januar in 2007 zeigte. Betrachtet man nun den Verlauf der oben genannten Parameter des Jahres 2005 mit dem Verlauf der zusammengefassten Männer aller Überwinterungskampagnen fällt ein analoger Kurvenverlauf für alle erfassten Werte auf. So zeigte sich bei der Gesamtbetrachtung der Werte der Männer eine Abnahme der Hämoglobinkonzentration von März bis Oktober, der Erythropoietinkonzentration von März/Juni bis Oktober sowie der sTfR-Konzentration von Juni bis Oktober. Diese Ergebnisse verdeutlichen eine zirkadian saisonale Veränderung in der Hämatopoese, welche vor allem in dem männlichen Kollektiv, mit geringfügigen Veränderungen der erythropoietischen Aktivität in der Zeit der absoluten Isolation, einhergeht. Da in der Literatur die Hypoxie als der wesentliche Stimulus für die Erythropoese angesehen wird [123, 133], kann man die Hypothese aufstellen, dass die reduzierte physische Aktivität während der antarktischen Winterphase ursächlich mit den verminderten Erythropoietinkonzentrationen in Verbindung steht. Denn Männer zeigen bei reduzierter physischer Aktivität eine verringerte Androgensynthese sowie eine herabgesetzte Erythropoeseaktivität [120, 134]. Dies kann als reflektorische Antwort auf die verminderte

physische Leistungsbereitstellung angesehen werden [121], da in der antarktischen Winterphase ein Verlassen der Station aufgrund der rauen Wetterlage für fast vier Monate deutlich eingeschränkt und die körperliche Aktivität vermindert ist. Anders verhält es sich jedoch bei den weiblichen Probanden. Diese zeigen keine Veränderung der Hämoglobin- und Erythropoietinkonzentration während des antarktischen Winters, lediglich zum Ende der Überwinterung steigen die Konzentrationen für Hämoglobin signifikant an, was als Tendenz in den gemischt geschlechtlichen Überwinterungscrews der Jahre 2006/2007 ebenso zu sehen war. Der Verlauf der sTfR-Konzentration zeigt bei der Gesamtbetrachtung der weiblichen Teilnehmer eine signifikante Abnahme im Juni wie auch in den Crews 2006/2007. Stellt man die männlichen und weiblichen Probanden gegenüber, so lässt sich ein divergentes Verhalten der Erythropoiese darstellen. Während die Männer eine signifikante Reduktion der erythropoietischen Aktivität in der Winterphase aufwiesen, war bei den Frauen eine relative Konstanz, mit lediglich geringfügigen Schwankungen, zu verzeichnen. Scheinbar spielt auch hier, die in der Literatur beschriebene, bessere Adaptation der weiblichen Erythropoiese auf wechselnde Bedingungen eine Rolle [118, 120], da der physiologisch bedingte geringere Anteil an Androgenen auch bei reduzierter physischer Aktivität nicht zu so großen Schwankungen führt, dass eine reflektorische Kompensation der hämatopoetischen Aktivität eingeleitet würde. Da in diesem Probandenkollektiv sowohl die weiblichen als auch männlichen Überwinterer gleichermaßen aktiv am Funktionieren der Mission und somit an Außeneinsätzen mit physischer Belastung involviert waren, kann auch nicht von einer geringeren Umstellung der körperlichen Leistung von den lichtreichen zu den lichtarmen kalten Wintermonaten ausgegangen werden. Daraus könnte man schließen, dass die äußeren Bedingungen generell für beide Geschlechter gleich waren. Dennoch ist natürlich aus physiologischen Gesichtspunkten die Umsetzung physischer Arbeit konstitutionell bedingt bei Frauen geringer als bei Männern. Dies unterstreicht jedoch vielmehr die geschlechtsbedingten Unterschiede der oben aufgeführten Ergebnisse.

Hypoxisch bedingte Anstiege der Erythropoietinkonzentrationen, dadurch gesteigerte Erythropoiese im roten Knochenmark und die hiermit verbundene vermehrte Sauerstofftransportkapazität des Blutes steigern insgesamt die Leistungsfähigkeit des Menschen, wie in zahlreichen Studien nachgewiesen werden konnte [121, 134]. Da die Neumayer Station II sich in Meereshöhe befindet liegen das Jahr über normobar-normoxische Verhältnisse innerhalb der Station vor, die allenfalls zirkadiane Schwankungen des Hormonspiegels (vgl. hierzu kontroverse Literaturangaben) erwarten ließen. In der vorliegenden Studie wurden allerdings zirkannuale Schwankungen gefunden, wobei die niedrigsten Erythropoietinkonzentrationen in

der Dunkelphase um Mittwinter gemessen wurden. Dies könnte unter Umständen mit Veränderungen im zirkannualen Rhythmus des autonomen Nervensystems zusammenhängen, allerdings gibt es bislang keine vergleichbaren Zeitreihenanalysen zum Erythropoietin

Trotz einer Spanne von ca. 100 Jahren Polarforschung unterscheiden sich die Probleme und Überlebensstrategien der Forscher in der Antarktis nur unwesentlich. Immer führt ein anfänglich freiwillig gewähltes Abenteuer zu einer zwangsweisen Isolation aufgrund von Problemen, die sich aus einer Vielzahl von Umständen ergeben können. Diese sind vorrangig resultierend aus der extremen Umwelt, mit der für den speziellen Einsatz erforderlichen Kleidung, Ausrüstung und Versorgung. Nicht zuletzt spielt die Reizarmut aufgrund der begrenzten Wohnsituation, Kommunikationsmöglichkeiten und nicht wechselnden Umgebung eine entscheidende Rolle, die zu Heimweh und psychischen wie physischen Problemen der Gesundheit führen können. Denn trotz verbesserter technischer Standards innerhalb der Forschungsstationen, die den früheren Schiffs- und Zeltunterkünften ähneln, sind diese Symptome oft nicht zu kompensieren.

Eine psychologische Aufzeichnung der Stimmungslagen, Gruppendynamik und Regulationsstrategien sollte in künftigen Studien in Kombination mit den erhobenen physiologischen Parametern verwirklicht werden, denn nur so lassen sich die Daten und mögliche Fehler durch das Einbeziehen mentaler Einflüsse besser interpretieren.

Abschließend ist zusammenzufassen, dass eine Überwinterung in der Antarktis deutliche Einflüsse auf die Körperzusammensetzung, die metabolische Situation sowie hormonelle und hämatopoetische Regulation hat. Zum einen führen die extremen Witterungsbedingungen bei Außenarbeiten zu gesteigerten körperlichen Belastungen, ferner führen veränderte Hell- und Dunkelphasen zu Änderungen im Aktivitätsmuster und nicht zuletzt beeinflusst die Besonderheit der Isolation auf beengtem Raum und temporärer Unmöglichkeit des Ausbrechens aus der Lebenssituation entscheidend den menschlichen Organismus und offenbart deutliche Unterschiede im Umgang mit dieser Situation bei Männern und Frauen.

Es ist daher erforderlich, weitere Studien zu unternehmen, die sich mit den saisonalen, isolationsbedingten und geschlechtsspezifischen Veränderungen einer solchen Isolationssituation, wie sie vor allem auch in zukünftigen Marsmissionen auftreten könnten, zu befassen. Ferner sind Studien notwendig, die ernährungsphysiologische, sportmedizinische und endokrinologische Schwerpunkte zum Forschungsthema haben, um Rückschlüsse auf Versorgungs- und physischen Trainingssituationen ziehen zu können, um künftig die psychische und physische Verfassung von Menschen unter Extrembelastungen, wie z.B. in der Antarktis

oder im Weltraum, zu verbessern [135]. Insbesondere sollte in Zukunft die psychologische Betreuung in solchen Langzeitmissionen stärker im Vordergrund stehen, da, wie oben aufgeführt, die Gefahr individueller Isolation in der Isolation bestehen kann.

Insgesamt bietet das Studiendesign „Langzeitisolation in extremer Umwelt“, durch welche Missionscharakteristika auch immer, ein großes Potenzial für weitere und detailliertere Forschungen sowie für das Verständnis der physischen und psychischen Verhaltensweisen des menschlichen Organismus in solchen Lebens- und Arbeitssituationen. Die Ergebnisse könnten u.a. für die Planung und Durchführung von bemannten Langzeitmissionen im All, wie der Marsmission, von großer Bedeutung sein.

## 5. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Dissertation war es, die Veränderungen innerhalb der Körperzusammensetzung, des metabol-hormonellen sowie des hämatopoetischen Status während eines Langzeitaufenthalts in einer antarktischen Forschungsstation zu ermitteln. Es wurden drei aufeinanderfolgende Gruppen der jährlichen Überwinterungskampagnen (2005-2007) des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in der deutschen Antarktisstation Neumayer II über fünfzehn Monate untersucht. Bei den Teilnehmern handelte es sich vorrangig um Wissenschaftler und Techniker (16 Männer, 8 Frauen). Die Besonderheit dieser Arbeit liegt zum einen in der Zeitreihenanalyse verschiedener Parameter über mehr als ein Jahr, dem Vergleich mehrerer Überwinterungen sowie der experimentellen Möglichkeit, diese Untersuchungen in den außergewöhnlichen Umweltbedingungen in der Antarktis durchzuführen, die durch extreme Kälte, prolongierte Hell-/Dunkel-Phasen und der Abgeschlossenheit gekennzeichnet sind. Alle genannten Umweltbedingungen können auch bei Langzeitmissionen im All von Bedeutung sein.

Neben einer Analyse der Körperzusammensetzung im 12-tägigen Abstand mittels bioelektrischer Impedanzanalyse erfolgte im zweimonatigen Rhythmus die Bestimmung biochemischer Parameter des Fettstoffwechsels (LDL, HDL, TAG, Leptin, Adiponektin), der Hämatopoese (Hb, Hk, Erythropoietin, Serum-Transferrinrezeptor) und des TSH. Es zeigte sich, i) eine signifikante Zunahme des Körpergewichts und der Fettmasse bei den Frauen sowie eine gleichbleibende bzw. abnehmende Körpermasse bei den Männern, ii) eine signifikante Abnahme der fettfreien Körpermasse und Körperzellmasse, iii) verminderte Leptin- und Adiponektinkonzentrationen in der Dunkelphase des antarktischen Winters sowie iv) eine signifikante Abnahme der Hämatopoese (Erythropoietin, sTfR, Hämoglobin) im selben Zeitraum. Weiterhin wies das Hormon TSH zirkannuale Schwankungen auf. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass das Leben und Arbeiten in extremer Umwelt, wie der Antarktis, i) zu verschiedenen intra- und interindividuellen Anpassungen führt, ii) diese Untersuchungen zum Verständnis der Adaptationsvorgänge des Menschen an extreme Bedingungen beitragen, iii) in Zukunft gezielt geschlechtsspezifische Untersuchungen in der Antarktis durchgeführt werden sollten und iv) nicht zuletzt derartige Studien wichtig für die Planung und erfolgreiche Durchführung künftiger Missionen ins All sein können.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Antarktis, R.-E., <http://antarktis.realnature-expedition.de>. abgerufen 2010.
2. Wilford, G.E.B., P. J. , *Maps of late mesozoic-cenozoic Gondwana break-up: some palaeogeographical implications*. HILL, R. S. (ed.): History of the Australian vegetation: Cretaceous to recent. , 1994. **Chapter 2**: p. 5-13.
3. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, B., 2006-2011.
4. Umweltbundesamt, <http://www.umweltbundesamt.de/antarktis/faq.htm> 2009.
5. Sanders, A., *Antarktis: Trek der Verwegenen*. Verlagsgruppe GEO im Verlag Gruner + Jahr AG & Co. KG, Am Baumwall 11, D-20459 Hamburg, abgerufen 2010.
6. Läderach, e.a., *Forschungsstationen in der Antarktis*. <http://www.polarstationen.de>, abgerufen 02/2010.
7. Planet-Wissen, <http://www.planet-wissen.de>.
8. Gurney, A., *der weiße Kontinent-die Geschichte der Antarktis und ihrer Entddeckter*. Sierra bei Fredekring und Thaler Verlag, München, 2002.
9. Shackleton, S.E., *Mit der Endurance ins ewige Eis – Meine Antarktisexpedition 1914-1917*. Piper Verlag GmbH, München, 2006.
10. Langner, R.-K., *Duell im ewigen Eis – Scott und Amundsen oder die Eroberung des Südpols*. Fischer Verlag GmbH, 2007.
11. Lansing, A., *635 Tage im Eis – Die Shackleton- Expedition*. Wilhelm Goldmann Verlag, München, in der Verlagsgruppe Random House GmbH, 2000.
12. Worsley, F.A.K.d.H.M.S.E., *Shackletons Expedition in die Antarktis*. Econ Ullstein List Verlag GmbH & Co. KG, 2000.
13. Byrd, R.E., *Antarktis - Die Entdeckung des Südpols*, in *Komplett -Media Verlag, München/Grünwald*.
14. Byrd, R.E., *Little America, Aerial exploration in the antarctic and the flight to the south pole*. London, Putmans, 1931.
15. Scott-Polar-Research-Institute, <http://www.spri.cam.ac.uk/people/fuhs/>
16. Etienne, J.L., *Transantarctica - Expedition durchs Eis*. Sierra bei Frederking & Thaler, München, 2000.
17. Messner, R., *Antarktis - Himmel und Hölle zugleich*. S. Fischer Verlag GmbH, Hamburg, 2004.
18. Ousland, B., *Solo durchs ewige Eis (Erstdurchquerung der Pole im Alleingang)*. National Geographic and Frederking & Thaler, 2007.

19. Council, o.m.o.n.a.p., abgerufen 2010.
20. scientific, c.o.a.r., [www.scar.org](http://www.scar.org) abgerufen 02/2010.
21. Gunga, H.-C., *Forscher am Ende der Welt - die deutsche Antarktisstation*. Das neue Universum 99. Wissen Forschung Abenteuer. Erstausgabe, München, Südwest-Verlag, 1982. **99**: p. 39-42.
22. Darmochwal, A., *Karte Antarktis*. Academic dictionaries and encyclopedias, 2004.
23. Foundation, E.S., *European Project for Ice Corning in Antarctica*. aufgerufen Dezember 2009.
24. Lugg DJ. *Aviat Space Environ Med* 2005; **76**(6, S.B.-. *behavioral Health in Antarctica: Implications for long-duration space missions*. *Aviat Space Environ Med*, 2005. **76**(6, Suppl): p. B74-7.
25. Bihop, S.L., *Evaluating Teams in extreme environments: from issues to answers*. *Aviat Space Environ Med* 2004. **75**(7, Suppl): p. C14-21.
26. Harrison, A.A., Y.A. Clearwater, and C.P. McKay, *The human experience in Antarctica: applications to life in space*. *Behav Sci*, 1989. **34**(4): p. 253-71.
27. Mohanty, e.a., *Survey of past, present and planned human space mission simulators*. SAE International, 2008.
28. Musson DM, H.R., *Long-term Personality Data Collection in suport of space flight and Analogue Research*. *Aviat Space Environ Med*, 2005. **76**: p. B119-25.
29. Lugg, D.J., *Behavioral health in Antarctica: implications for long-duration space missions*. *Aviat Space Environ Med*, 2005. **76**(6 Suppl): p. B74-7.
30. Grant, I., et al., *Psychological selection of Antarctic personnel: the "SOAP" instrument*. *Aviat Space Environ Med*, 2007. **78**(8): p. 793-800.
31. Puls, W., *Soziale Isolation und Einsamkeit. Ansätze zu einer empirisch-nomologischen Theorie*. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1989.
32. Straßl, H., *Ein Nomogramm für die Dauer von Polartag und Polarnacht bei beliebiger Ekliptikschiefe*. *Polarforschung* 1951. **21**(1): p. 40-43.
33. Enss, D.e.a., *Neubau und Betrieb der Winterstation Neumayer III und Rückführung der bestehenden Neumayer-Station II - Umweltverträglichkeitsstudie*. [www.umweltbundesamt.de/antarktis/archiv/NMIII-UVS.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/antarktis/archiv/NMIII-UVS.pdf), Bremerhaven, Dezember 2004/ Juli 2005.
34. Graser, N., *Kalte Füße inklusive - Mein Jahr in der Antarktis*. Knauer Taschenbuch GmbH & Co. KG, München, 2008.

35. Gunga, H.C.e.a., *Weltraummedizin und -biologie*. In: Ley, Wittmann, Hallmann; Handbuch der Raumfahrttechnik; Carl Hanser Verlag München 2011. **4. aktualisierte und erweiterte Auflage**: p. 589-590.
36. Waltner, K.u.K., E, *Proviantliste und Frischproviant*. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, 2006.
37. AWMF-Leitlinien, *Messung des Fettgehaltes des menschlichen Körpers*. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., Abgerufen 12/2010. **Registernummer 002/018**.
38. Lukaski, H., *Methods for the assessment of human body composition: traditional and new* Am J Clin Nutr 1987. **46**: p. 537-56.
39. Hoffer, E.C., C.K. Meador, and D.C. Simpson *Correlation of whole-body impedance with total body water volume*. J Appl Physiol, 1969. **27(4)**: p. p. 531-4.
40. Nyboer, J.e.a., *Radiocardiogram – the electrical impedance changes of the heart in relation electrocardiograms and heart sounds*. J Clin Invest, 1940. **19**: p. 963.
41. Jacobs, D., *Bioelectrical Impedance Analysis: Implications for clinical practice*. Nutr Clin Pract, 1997. **12**: p. 204-210.
42. Scheltinga, M.J.D., *Bioelectrical impedance during health and disease: an overview and future directions*. In *Bioelectrical impedance analysis: a bedside method for fluid measurement*. . Vrije Universiteit, VU University Press, Amsterdam 1992.
43. Liedtke, R., *Principles of Bioelectrical Impedance Analysis*. International Publications, 1997.
44. Springmann, K., *Einführung der relativen statistischen Interpretation on Impedanzmessungen mit Body Comp V 8.1*. MEDI CAL HealthCare GmbH, 2007.
45. DGFF, d.G.z.B.v.F.u.d.F., *Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie von Fettstoffwechselstörungen in der Ärztlichen Praxis (Stand Mai 2009)* DGFF (Lipid Liga) e.V., abgerufen 03/2011.
46. Bundesamt, S., *Gesundheitsrelevantes Verhalten - Körpermaße nach Altersgruppen, Ergebnisse des Mikrozensus 2005*. abgerufen 26.08.2009: p. <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Gesundheit/GesundheitszustandRisiken/Tabellen/Content50/Koerpermasse.templateId=renderPrint.psml>.
47. WHO (world health organization), r.o.f.e., [http://www.euro.who.int/nutrition/20030507\\_1](http://www.euro.who.int/nutrition/20030507_1). abgerufen am 26.08.2009.

48. Hauner, H.e.a., *Prävention und Therapie der Adipositas*. Deutsche Adipositas-Gesellschaft, Deutsche Diabetes-Gesellschaft, Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin, 2007. **Version 2007**: p. 6.
49. Simpson, A., *The effect of Antarctic residence on energy dynamics and aerobic fitness*. Int J Circumpolar Health, 2010. **69**(3): p. 220-35.
50. Bishop, S.L., *Evaluating Teams in extreme environments: from issues to answers*. Aviat Space Environ Med, 2004. **75**(7, Suppl): p. C14-21.
51. Schmidt, L., et al., *Team climate at Antarctic research stations 1996–2000: leadership matters*. . Aviat Space Environ Med, 2004. **75**: p. 681-7.
52. Dücker, J.u.H., G, *Überwintern im ewigen Eis*. ARTE, EIKON Südwest in Zusammenarbeit mit Radio Bremen, 2008.
53. Wood, J., et. al, *Life, survival and behavioral health in small closed communities: 10 years of studying isolated Antarctic groups*. . Aviat Space Environ Med, 2005. **76**(6, Suppl.): p. B89-93.
54. Chengeli, X., et al., *Effect of the antarctic environment on hormon levels and mood of the chinese expeditioners*. International Journal of Circumpolar Health, 2003. **62**:3: p. 255-267.
55. Kunz, D., et. al, *Zirkadiane und zirkannuale Rhythmen der Befindlichkeit*. in Kaper, S: Herbst-/Winterdepression und Lichttherapie, Springer Verlag, Wien, 2004. **1. Auflage**: p. 213-221.
56. Kehse, U., *Mit der "Polarstern" in der Antarktis*. P.M. Magazin, 1995. **12**: p. 65-70.
57. Norman, J.N., *A comparison of the patterns of illness and injury occurring on offshore structures in the northern North Sea and the stations of the British Antarctic Survey*. Arctic Med Res, 1991. **Suppl**: p. 719-21.
58. Palinkas, L.A., M. Cravalho, and D. Browner, *Seasonal variation of depressive symptoms in Antarctica*. Acta Psychiatr Scand, 1995. **91**(6): p. 423-9.
59. Yoneyama, S., S. Hashimoto, and K. Honma, *Seasonal changes of human circadian rhythms in Antarctica*. Am J Physiol, 1999. **277**(4 Pt 2): p. R1091-7.
60. Kunz, D., *Melatonin und Schlaf-Wach Regulation*. Habilitationsschrift zur Erlangung der Lehrbefähigung für das Fach Psychiatrie, Charité Universitätsmedizin, Berlin, 2006.
61. Wyatt, J.K., et al., *Circadian temperature and melatonin rhythms, sleep, and neurobehavioral function in humans living on a 20-h day*. Am J Physiol, 1999. **277**(4 Pt 2): p. R1152-63.

62. Swain, H.L., F.M. Toth, and et al., *Food consumption of soldiers in a subarctic climate, Fort Churchill, Manitoba, Canada, 1947-1948*. J Nutr, 1949. **38**(1): p. 63-72.
63. Westerterp-Plantenga, M.S., *Effects of extreme environments on food intake in human subjects*. Proc Nutr Soc, 1999. **58**(4): p. 791-8.
64. Vats, P., et al., *Appetite regulatory peptides in Indian Antarctic expeditioners*. Nutr Neurosci, 2005. **8**(4): p. 233-8.
65. Rivolier, J., *Physiological and psychological studies conducted by continental European and Japanese expeditions*. in: Gunderson EKE; *Human adaptability to antarctic conditions*, Washington D.C.: American Geophysical Union, 1974: p. 12 (80):575-582.
66. Lewis, H.E., J.P. Masterton, and S. Rosenbaum, *Body weight and skinfold thickness of men on a polar expedition*. Clin Sci, 1960. **19**: p. 551-61.
67. Acheson, K.J., et al., *A longitudinal study of body weight and body fat changes in Antarctica*. Am J Clin Nutr, 1980. **33**(5): p. 972-7.
68. Orr, N.W., *Food Requirements and Weight Changes of Men on Antarctic Expeditions*. Br J Nutr, 1965. **19**: p. 79-91.
69. Belkin, V. and D. Karasik, *Anthropometric characteristics of men in Antarctica*. Int J Circumpolar Health, 1999. **58**(3): p. 152-69.
70. Case, H.S., et al., *Resting and exercise energy use in Antarctica: effect of 50% restriction in temperate climate energy requirements*. Clin Endocrinol (Oxf), 2006. **65**(2): p. 257-64.
71. Reed, H.L., et al., *Impairment in Cognitive and Exercise Performance during Prolonged Antarctic Residence: Effect of Thyroxine Supplementation in the Polar Triiodothyronine Syndrome*. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 2001. **86**: p. 110-116.
72. Wilson, O., *Basal metabolic rate in the Antarctic*. Metabolism, 1956. **5**(5): p. 543-54.
73. Duncan, R., *Variations in resting metabolic rates of men in Antarctica*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1988. **57**(4): p. 514-8.
74. Milan, F.A. and K. Rodahl, *Caloric requirements of man in the antarctic*. J Nutr, 1961. **75**: p. 152-6.
75. Acheson, e.a., *The measurement of food and energy intake in man – an evaluation of some techniques*. Am J Clin Nutr, 1980. **33** (5): p. 1147-1154.
76. Easty, D., *Food intake in Antarctica*. Br J Nutr, 1967. **21**(1): p. 7-15.
77. Forti, N.D., J, *High-Density Lipoproteins: Metabolic, Clinical, Epidemiological and Therapeutic Intervention Aspects. An Update for Clinicians*. Arq Bras Cardiol 2006. **87**: p. 614-622.

78. Guerre-Millo, M., *Adiponectin: an update*. *Diabetes Metab*, 2008. **34**(1): p. 12-8.
79. Kubota, N., et al., *Disruption of adiponectin causes insulin resistance and neointimal formation*. *J Biol Chem*, 2002. **277**(29): p. 25863-6.
80. Ma, K., et al., *Increased beta -oxidation but no insulin resistance or glucose intolerance in mice lacking adiponectin*. *J Biol Chem*, 2002. **277**(38): p. 34658-61.
81. Nawrocki, A.R., et al., *Mice lacking adiponectin show decreased hepatic insulin sensitivity and reduced responsiveness to peroxisome proliferator-activated receptor gamma agonists*. *J Biol Chem*, 2006. **281**(5): p. 2654-60.
82. Berg, A.H., et al., *The adipocyte-secreted protein Acrp30 enhances hepatic insulin action*. *Nat Med*, 2001. **7**(8): p. 947-53.
83. Bruun, J.M., et al., *Regulation of adiponectin by adipose tissue-derived cytokines: in vivo and in vitro investigations in humans*. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2003. **285**(3): p. E527-33.
84. Fasshauer, M., et al., *Adiponectin gene expression and secretion is inhibited by interleukin-6 in 3T3-L1 adipocytes*. *Biochem Biophys Res Commun*, 2003. **301**(4): p. 1045-50.
85. Ahima, R.S. and J.S. Flier, *Leptin*. *Annu Rev Physiol*, 2000. **62**: p. 413-37.
86. Schwartz, M.W., et al., *Is the energy homeostasis system inherently biased toward weight gain?* *Diabetes*, 2003. **52**(2): p. 232-8.
87. Hamilton, B.S., et al., *Increased obese mRNA expression in omental fat cells from massively obese humans*. *Nat Med*, 1995. **1**(9): p. 953-6.
88. Saladin, R., et al., *Transient increase in obese gene expression after food intake or insulin administration*. *Nature*, 1995. **377**(6549): p. 527-9.
89. Wabitsch, M., et al., *Contribution of androgens to the gender difference in leptin production in obese children and adolescents*. *J Clin Invest*, 1997. **100**(4): p. 808-13.
90. Castracane, V.D., et al., *Serum leptin concentration in women: effect of age, obesity, and estrogen administration*. *Fertil Steril*, 1998. **70**(3): p. 472-7.
91. Hickey, M.S., et al., *Gender-dependent effects of exercise training on serum leptin levels in humans*. *Am J Physiol*, 1997. **272**(4 Pt 1): p. E562-6.
92. Rosenbaum, M. and R.L. Leibel, *Clinical review 107: Role of gonadal steroids in the sexual dimorphisms in body composition and circulating concentrations of leptin*. *J Clin Endocrinol Metab*, 1999. **84**(6): p. 1784-9.

93. Maccario, M., et al., *Short-term fasting abolishes the sex-related difference in GH and leptin secretion in humans*. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2000. **279**(2): p. E411-6.
94. Ahima, R.S. and J.S. Flier, *Adipose tissue as an endocrine organ*. Trends Endocrinol Metab, 2000. **11**(8): p. 327-32.
95. Kraemer, R.R., H. Chu, and V.D. Castracane, *Leptin and exercise*. Exp Biol Med (Maywood), 2002. **227**(9): p. 701-8.
96. Wortmann, H., et al., *Schlafverhalten und zirkadiane Variation der Befindlichkeit unter dem Einfluß unterschiedlicher Tageslichtverhältnisse in der Antarktis*. Somnologie, 1999. **3**: p. 289-299.
97. Langendonk, J.G., et al., *Circadian rhythm of plasma leptin levels in upper and lower body obese women: influence of body fat distribution and weight loss*. J Clin Endocrinol Metab, 1998. **83**(5): p. 1706-12.
98. Saad, M.F., et al., *Diurnal and ultradian rhythmicity of plasma leptin: effects of gender and adiposity*. J Clin Endocrinol Metab, 1998. **83**(2): p. 453-9.
99. Considine, R.V., et al., *Serum immunoreactive-leptin concentrations in normal-weight and obese humans*. N Engl J Med, 1996. **334**(5): p. 292-5.
100. Licinio, J., et al., *Sex differences in circulating human leptin pulse amplitude: clinical implications*. J Clin Endocrinol Metab, 1998. **83**(11): p. 4140-7.
101. Alonso-Vale, M.I., et al., *Melatonin enhances leptin expression by rat adipocytes in the presence of insulin*. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2005. **288**(4): p. E805-12.
102. Gavrilu, A., et al., *Diurnal and ultradian dynamics of serum adiponectin in healthy men: comparison with leptin, circulating soluble leptin receptor, and cortisol patterns*. J Clin Endocrinol Metab, 2003. **88**(6): p. 2838-43.
103. Kalsbeek, A., et al., *The suprachiasmatic nucleus generates the diurnal changes in plasma leptin levels*. Endocrinology, 2001. **142**(6): p. 2677-85.
104. Mantzoros, C.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. **86**(7): p. 3284-91.
105. Shea, S.A., et al., *Independent circadian and sleep/wake regulation of adipokines and glucose in humans*. J Clin Endocrinol Metab, 2005. **90**(5): p. 2537-44.
106. Gomez-Abellan, P., et al., *Circadian expression of adiponectin and its receptors in human adipose tissue*. Endocrinology, 2010. **151**(1): p. 115-22.

107. Palinkas, L.A., et al., *Environmental influences on hypothalamic-pituitary-thyroid function and behavior in Antarctica*. *Physiol Behav*, 2007. **92**(5): p. 790-9.
108. Reed, H.L., et al., *Changes in serum triiodothyronine (T3) kinetics after prolonged Antarctic residence: the polar T3 syndrome*. *J Clin Endocrinol Metab*, 1990. **70**(4): p. 965-74.
109. Sawhney, R.C., et al., *Thyroid function during a prolonged stay in Antarctica*. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1995. **72**(1-2): p. 127-33.
110. Ritter, C., *Eine Frau erlebt die Polarnacht*. Propyläen-Verlag, Berlin, 1938. **1. Auflage**.
111. Plasqui, G., A.D. Kester, and K.R. Westerterp, *Seasonal variation in sleeping metabolic rate, thyroid activity, and leptin*. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2003. **285**(2): p. E338-43.
112. Medina-Gomez, G., R.M. Calvo, and M.J. Obregon, *Thermogenic effect of triiodothyroacetic acid at low doses in rat adipose tissue without adverse side effects in the thyroid axis*. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2008. **294**(4): p. E688-97.
113. Murakami, M., et al., *Thyrotropin receptors in brown adipose tissue: thyrotropin stimulates type II iodothyronine deiodinase and uncoupling protein-1 in brown adipocytes*. *Endocrinology*, 2001. **142**(3): p. 1195-201.
114. Speckmann, E., et al., *18.2.5. Hormone der Schilddrüse*. in: *Physiologie*, Urban und Fischer Verlag, Elsevier GmbH, München 2008. **5. Auflage**: p. 732 ff.
115. Fischer, U., *Hämoglobin*. Roche Lexikon Medizin, 2003. **5. Auflage**.
116. Jelkmann, W., *Hämoglobin*. *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*, Schmidt, Lang, Thews, 2005. **29. Auflage**: p. 784-792.
117. Jelkmann, W., *Erythropoiese*. Schmidt, Lang, Thews: *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*, 2008. **30. Auflage**: p. 531-533.
118. Soliz, J., et al., *Sex-dependent regulation of hypoxic ventilation in mice and humans is mediated by erythropoietin*. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2009. **296**(6): p. R1837-46.
119. Brines, M. and A. Cerami, *Emerging biological roles for erythropoietin in the nervous system*. *Nat Rev Neurosci*, 2005. **6**(6): p. 484-94.
120. Gonzales, G.F., et al., *High serum testosterone levels are associated with excessive erythrocytosis of chronic mountain sickness in men*. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2009. **296**(6): p. E1319-25.

121. Schwandt, H.J., et al., *Influence of prolonged physical exercise on the erythropoietin concentration in blood*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1991. **63**(6): p. 463-6.
122. Roecker, L., 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): p. 511-3.
123. Balestra, C., et al., *Serum erythropoietin levels in healthy humans after a short period of normobaric and hyperbaric oxygen breathing: the "normobaric oxygen paradox"*. J Appl Physiol, 2006. **100**(2): p. 512-8.
124. Roberts, D. and D.J. Smith, *Erythropoietin does not demonstrate circadian rhythm in healthy men*. J Appl Physiol, 1996. **80**(3): p. 847-51.
125. Pasqualetti, P. and R. Casale, *Circadian rhythm of serum erythropoietin in healthy subjects*. Riv Eur Sci Med Farmacol, 1996. **18**(3): p. 91-3.
126. Klausen, T., et al., *Diurnal variations of serum erythropoietin at sea level and altitude*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1996. **72**(4): p. 297-302.
127. Grunenfelder, C., [*Circadian periodicity of serum erythropoietins. A study of 6 healthy subjects*]. Praxis (Bern 1994), 1996. **85**(41): p. 1283-93.
128. Skikne, B.S., *Serum transferrin receptor*. Am J Hematol, 2008. **83**(11): p. 872-5.
129. Brandao, M., et al., *The soluble transferrin receptor as a marker of iron homeostasis in normal subjects and in HFE-related hemochromatosis*. Haematologica, 2005. **90**(1): p. 31-7.
130. Allen, J., et al., *Measurement of soluble transferrin receptor in serum of healthy adults*. Clin Chem, 1998. **44**(1): p. 35-9.
131. Quantikine Testkit, R.D., *Human sTfR Immunoassay*. Quantikine IVD, Wiesbaden-Nordenstadt.
132. Malczewska, J., et al., *The effects of physical exercise on the concentrations of ferritin and transferrin receptor in plasma of male judoists*. Int J Sports Med, 2004. **25**(7): p. 516-21.
133. Schobersberger, W., et al., *Austrian Moderate Altitude Study (AMAS 2000): erythropoietic activity and Hb-O<sub>2</sub> affinity during a 3-week hiking holiday at moderate altitude in persons with metabolic syndrome*. High Alt Med Biol, 2005. **6**(2): p. 167-77.
134. Jelkmann, W., *Erythropoietin: Structure, Control of Production and Function*. Physiological Reviews, 1992. **72** (2): p. 449-489.
135. Harrison, A.A., *Behavioral Health: Integrating Research and Application in Support of Exploration Missions*. Aviat Space Environ Med, 2005. **76**(6, Suppl.): p. B3-12.

## 7. Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Entstehung der Antarktis .....	3
<b>Abbildung 2:</b> Ausdehnung und Struktur des antarktischen Eisschildes .....	4
<b>Abbildung 3:</b> Lage der deutschen Forschungsstationen .....	8
<b>Abbildung 4:</b> Georg- von- Neumayer-Station (erste deutsche Antarktisstation).....	9
<b>Abbildung 5:</b> Neumayer-Station II (zweite deutsche Antarktisstation).....	10
<b>Abbildung 6:</b> Neumayer-Station III (dritte deutsche Antarktisstation) .....	10
<b>Abbildung 7:</b> Kohlen Station .....	11
<b>Abbildung 8:</b> Neumayer-Station II, Lageplan der Einbauten. ....	15
<b>Abbildung 9:</b> Darstellung des Studiendesigns .....	21
<b>Abbildung 10:</b> Darstellung der Kompartiment-Modelle.....	23
<b>Abbildung 11:</b> Darstellung der BIA-Applikation .....	25
<b>Abbildung 12:</b> Individuelle Veränderungen im Körpergewicht - Überwinterung 2005.....	36
<b>Abbildung 13:</b> Individuelle Veränderungen im Körpergewicht - Überwinterung 2006.....	38
<b>Abbildung 14:</b> Individuelle Veränderungen im Körpergewicht - Überwinterung 2007.....	40
<b>Abbildung 15:</b> Körpergewichtsdifferenz der männlichen Probanden .....	42
<b>Abbildung 16:</b> Körpergewichtsdifferenz der weiblichen Probanden.....	43
<b>Abbildung 17:</b> mediane Körpergewichtsänderung der männlichen/weiblichen Probanden.....	44
<b>Abbildung 18:</b> Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Körpergewichtsänderungen .....	45
<b>Abbildung 19:</b> Gegenüberstellung der FFM, FM und BCM der Überwinterung 2005 .....	46
<b>Abbildung 20:</b> Gegenüberstellung der FFM, FM und BCM der Überwinterung 2006 .....	48
<b>Abbildung 21:</b> Gegenüberstellung der FFM, FM und BCM der Überwinterung 2007 .....	50
<b>Abbildung 22:</b> Veränderungen der FFM, FM und BCM der männlichen Probanden .....	52
<b>Abbildung 23:</b> Veränderungen der FFM, FM und BCM der weiblichen Probanden .....	53
<b>Abbildung 24:</b> Verlauf der TAG-Konzentrationen der männlichen/weiblichen Probanden .....	55
<b>Abbildung 25:</b> Verlauf der Cholesterinkonzentration der männlichen/weiblichen Probanden ...	57
<b>Abbildung 26:</b> Veränderungen der LDL- /HDL-Konzentrationen der männlichen Probanden ..	59
<b>Abbildung 27:</b> Veränderungen der LDL- /HDL-Konzentration der weiblichen Probanden .....	60
<b>Abbildung 28:</b> Adiponektinkonzentration der Überwinterung 2005, 2006, 2007 .....	61
<b>Abbildung 29:</b> Adiponektinkonzentrationen der männlichen /weiblichen Teilnehmer.....	63
<b>Abbildung 30:</b> Leptinkonzentration der Überwinterung 2005, 2006, 2007.....	64
<b>Abbildung 31:</b> Leptinkonzentrationen der männlichen/weiblichen Teilnehmer .....	65
<b>Abbildung 32:</b> TSH-Konzentrationen der drei Überwinterungen 2005, 2006, 2007 .....	67

<b>Abbildung 33:</b> TSH-Konzentration Männer und Frauen .....	68
<b>Abbildung 34:</b> Verlauf der TSH-Konzentration der Überwinterung 2005 .....	69
<b>Abbildung 35:</b> Verlauf der TSH-Konzentration der Überwinterung 2006 .....	70
<b>Abbildung 36:</b> Verlauf der TSH-Konzentration der Überwinterung 2007 .....	70
<b>Abbildung 37:</b> Verlauf der TSH-Konzentration der männlichen/weiblichen Probanden.....	71
<b>Abbildung 38:</b> Hämoglobinkonzentrationen der Überwinterungen: 2005, 2006, 2007 .....	72
<b>Abbildung 39:</b> Erythropoietinkonzentrationen der Überwinterungen: 2005, 2006, 2007 .....	73
<b>Abbildung 40:</b> löslicher Serum-Transferrinrezeptor der Überwinterungen: 2005, 2006, 2007 ..	74
<b>Abbildung 41:</b> Hämoglobinkonzentration der Männer und Frauen.....	76
<b>Abbildung 42:</b> Erythropoietinkonzentration der Männer und Frauen .....	77
<b>Abbildung 43:</b> löslicher Transferrinrezeptor im Serum der Männer und Frauen .....	78
<b>Abbildung 44:</b> Leptin-Konzentration als 24-h Profil in Männern und Frauen. ....	93
<b>Abbildung 45:</b> Zirkadian/ultradianer Rhythmus von Leptin und TSH (Kontrollkollektiv) .....	94
<b>Abbildung 46:</b> prozentuale Veränderungen des Adiponektins, Leptins, sOB-R und Kortisols ..	95
<b>Abbildung 47:</b> Zirkannualer TSH-Verlauf einer Überwinterung (McMurdo Sound) .....	97

## **8. Danksagung**

Ich möchte mich herzlich bei allen Personen bedanken, die mir an der Vollendung dieser Promotion mit Rat und Tat zur Seite standen.

Mein Dank gilt meinem Doktorvater Professor Dr. med. Dipl. Geol. H.-C. Gunga, nicht nur für die Überlassung des Themas, sondern insbesondere für die konstruktive und kritische Prüfung der Arbeit sowie die vielen wertvollen Hinweise. Außerdem danke ich ihm für das Vertrauen und die zusätzlichen Forschungsmöglichkeiten.

Ich danke dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, besonders Dr. med. E. Kohlberg für die Forschungsmöglichkeit und die tatkräftige Unterstützung in Detailfragen.

Ganz besonders möchte ich mich bei den ÜWIs der 25., 26. und 27. Überwinterung der deutschen Antarktisstation Neumayer II bedanken, ohne deren pflichtbewusste und kontinuierliche Datenaufzeichnung diese Studie niemals zustande gekommen wäre. Danke auch für das Vertrauen und die vielen Gespräche und Informationen, die mir die Antarktis und ihre Einzigartigkeit zu einem ersehnten Ziel werden ließen.

Ein besonderer Dank geht an Frau B. Himmelsbach-Wegner, der ich die biochemische Analyse und Probenaufbereitung zu verdanken habe.

Mein ausdrücklicher Dank gilt Dr. med. A. Werner, der mir einen roten Leitfaden gab, mich über die gesamte Zeit motivierte und mit dem hitzige aber konstruktive Diskussionen zu großen Fortschritten in dieser Dissertation führten. Er ist mir über diese Zeit zu einem wertvollen Freund und hoch geschätzten Forschungspartner geworden.

Zu guter Letzt meine Eltern, sie haben mich immer unterstützt und standen mir auf meinem Weg zur Seite – ihnen verdanke ich alles!

## **9. Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## 10. Selbstverständniserklärung

„Ich, Josefine Tiedemann, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: **„*Physiologische Veränderungen des menschlichen Organismus während einer fünfzehnmonatigen Überwinterung in der Antarktis*“** selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

07.06.2011

Unterschrift