

Aus dem Institut für Physiologie der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin

DISSERTATION

**Einfluss der Ganzkörperkälteanwendung auf die Wärmeregulation
des ruhenden, aufrechtstehenden Menschen**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von
Dagmar Lura
aus Berlin

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. H.-Chr. Gunga
2. Prof. Dr. med. L. Röcker
3. Prof. Dr. Dr. M. Burtscher

Datum der Promotion: 03.06.2012

Abstract

Whole body cryotherapy (WBCT) has been used to increase athletic performance and the inclusion of the cold athletic in training and competition are known. As clinical applications, there are new diagnostic as well as therapeutic approaches.

The present work deals with the influence of cryotherapy application to the thermal regulation of healthy humans. Out of the question - how is the temperature behavior of healthy people under extreme cold temperature exposure, how they react to the cold stimulus - further knowledge should be obtained on the application of cryotherapy in preventive and clinical medicine. In this dissertation, calibrated infrared thermography was used to measure cooling of certain areas of the body during WBCT as well as rewarming thereafter. Infrared thermography in medicine uses the laws of thermal physiology in order to diagnose many diseases within the body too.

As a result of our measurements, we find confirmed experimentally the theory that the body tries to avoid having a high energy loss in the cooling process by reducing surface temperatures. In the course of this the temperature decrease in the peripheral areas is the strongest.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Einführung in die Thematik GKKT bis –110 °C	4
2.1 Funktionsprinzip der Kältekammer	4
2.2 Zum Stand der Anwendung der Ganzkörperkälte.....	5
2.3 Physiologische und therapeutische Wirkungen der GKKT	6
2.4 Indikationen und Kontraindikationen der GKKT	8
2.5 Wärmehaushalt und Thermoregulation	9
3. Aufgabenstellung und Temperaturmessmethodik	14
3.1 Untersuchungsdesign	16
3.1.1 Fragebogenerhebung	18
3.1.2 Voruntersuchungen	18
3.2 Temperaturmessmethodik.....	18
3.2.1 Thermographiekameras und Messaufbau	21
3.2.2 Kalibration & Probemessungen	23
3.2.3 Hautoberflächentemperaturmessung an ausgewählten Körperstellen vor und nach GKKT mittels Wärmekamera bei Gesunden	23
4. Ergebnisse	27
4.1 Auswertungskollektiv	27
4.1.1. Allgemeine und anamnestische Daten	27
4.2 Abkühlungsverhalten in der Ganzkörperkältekammer (GKK) und Wiedererwärmungsverhalten nach GKK	31
4.3 Nachuntersuchungen/Befindlichkeitserhebungen.....	42
4.4 Zusammenstellung der Ergebnisse	43
5. Diskussion	57
5.1 Zielstellung und Randbedingungen	57
5.2 Diskussion der Studienergebnisse	59
5.3 Diskussion der Mess- und Auswertemethodik	67
6. Zusammenfassung	70
7. Literaturverzeichnis	71
8. Anhang	77
8.1 Vor- und Nachuntersuchungsbögen	77
Fragebogen:.....	77
Befindlichkeitsbogen:	78
Fragebögen Probanden 1 bis 17:.....	79
8.2 Excel-Tabellen	96

8.3 Wärmeaustausch durch Konvektion & Strahlung	130
9. Verwendete Abkürzungen	134
10. Danksagung.....	135
11. Lebenslauf.....	136
Erklärung	136

1. Einleitung

Die analgetische Wirkung von Kälte ist ein sehr altes therapeutisches Prinzip. Die lokale Kälteanwendung auf einen begrenzten Körperbereich hat schon die Volksmedizin verschiedener menschlicher Kulturen des Altertums hervorgebracht. Eine ganze Reihe von Erkrankungen wurde im antiken Griechenland, Persien und auch in Rom mit Kälte in Form von Schnee, Eis-Wassergemischen und kaltem Wasser behandelt.

Schon HIPPOKRATES (460-377 v. Chr.) und die mit seinem Namen verbundene Ärzteschule von Kos beschreibt im Corpus Hippocraticum, einer Sammlung medizinischer Schriften dieser Schule, die therapeutische Anwendung von Kälte recht eingehend. Dabei nahm man eine Einteilung der Körperteile vor, welche zur Wärme- und andere, die zur Kälteanwendung geeignet waren. Auch bediente man sich in chirurgischen Schulen des Altertums natürlicher Kälteträger, um Schmerzfreiheit im Operationsgebiet herzustellen. Paracelsus führte Eis- und Schneeanwendungen vor Operationen durch, ebenso der persische Arzt AVICENNA (980-1070). Nach ihm benutzte der Anatom und Chirurg MARCO AURELIO SEVERINO (1580- 1656) mit Schnee gefüllte Behälter zur Unterkühlung der Haut vor Operationen.

LARREY (1766-1862), ein leitender Militärchirurg unter Napoleon, berichtete in seinen Memoiren von weitgehend schmerzfrei durchgeführten Amputationen bei verwundeten Soldaten bei Außentemperaturen von niedriger als -10°C .

Später, im 18. und 19. Jahrhundert, wurde der analgetische Kälteeffekt umfassend genutzt. Hier sind zu erwähnen Amputationen unter Kältewirkung, Bekämpfung von Ödemen und Entzündungen im Operationsgebiet sowie die Behandlung chronisch-entzündlicher Gelenkerkrankungen mittels lokaler Kälteanwendung.

Die ausführliche Beschreibung von Kaltwasseranwendungen verdanken wir u.a. SEBASTIAN KNEIPP (1821-1897), dem ehrwürdigen päpstlichen Geheimkammerer und Pfarrer in Wörishofen. Er empfahl u. a. kalte Vollbäder zur Abhärtung und zur Behandlung fieberiger Erkrankungen, gegen Schlaflosigkeit kalte Sitz- und Fußbäder, bei Gelenkerkrankungen kalte Güsse und Waschungen und kalte Halbbäder bei chronischen rheumatischen Gelenkbeschwerden („Je kürzer das Bad, desto besser die Wirkung...“). KNEIPP verordnete mit Vorliebe kalte Vollbäder für eine Dauer von nur wenigen Sekunden.

Die Erkenntnis, dass „der Kältereiz umso intensiver auf die empfindlichen Nervenendigungen der Haut wirkt, wenn kaltes Wasser in großer Menge die ganze Körperoberfläche berührt“, ist ein Vorläufer der heutigen Ganzkörperkältekammertherapie [PAPENFUß W. (2005)].

Da die positiven Effekte lokaler Kälteanwendungen auf entzündliche Prozesse, z.B. Gelenk-, Haut- oder Gefäßentzündungen, lange bekannt sind, schien es sinnvoll, eine Möglichkeit zur Ganzkörper-Kältetherapie (GKKT) zu entwickeln, um bei systemisch entzündlichen Erkrankungen mehrere Gelenke gleichzeitig behandeln zu können.

Die GKKT wurde in Europa erstmals im Jahre 1979 von dem Japaner YAMAUCHI auf dem Europäischen Rheumatologen- Kongress in Wiesbaden vorgestellt. Er entwickelte eine Kältekammer, die eine systemische Kältetherapie bei einer Temperatur von -110°C bis -180°C unter Einsatz von flüssigem Stickstoff ermöglichte [YAMAUCHI T. (1986)].

FRICKE führte diese Behandlungsmethode als GKKT in Deutschland ein [FRICKE R. (1989)]. In der Klinik für Rheumatologie des St. Josef-Stiftes in Sendenhorst wurde unter der Leitung von Fricke diese Therapieform bei Patienten des rheumatischen Formenkreises unter wissenschaftlichen Bedingungen durchgeführt. Sie gilt heute als eine wirksame Behandlungsmöglichkeit bei rheumatischen Erkrankungen.

Der bisherige Kenntnisstand der Forschung beschreibt eine Vielzahl wissenschaftlicher Arbeiten über die Wirkung der GKKT auf die Gelenk- und Wirbelsäulenfunktion, auf verschiedene, insbesondere metabolische, endokrinologische und phlogistische Laborparameter, Hautveränderungen, Kreislaufparameter sowie auf die subjektive Befindlichkeit [KÖCK R. (2000), SENNE I. B. (2001), HOLLENSTEINER B. (2003), MOHAB A. (2006)].

Die meisten Studien zur Ganzkörperkälteanwendung (GKKA) erfolgten bei rheumatischen Erkrankungen. Dabei wurden überwiegend günstige Auswirkungen auf den Entzündungsprozess, die Schmerzempfindung und die Beweglichkeit nachgewiesen [SENNE I. B. (2001), HOLLENSTEINER B. (2003), KÖCK R. (2000), RUDOLF S. (2005), LANGE U.A. (2008)]. FRICKE und Mitarbeiter bestätigten diese Wirkungen bei rheumatoider Arthritis und ankylosierender Spondylitis [FRICKE R. (1989), FRICKE R. u.a. (1998), FRICKE R. (1999)].

In der Literatur finden sich mehrere Hinweise über die analgetische Wirkung einer GKKT. Papenfuß legte dar, dass mit GKKA Schmerz- und Entzündungstherapie in ihrem Wirkungsmechanismus miteinander verzahnt sein müssen. Weitere Studien und Beobachtungen bestätigen dies [STRATZ TH. (1998), LANGE U. u.a. (2008)].

FRICKE (1986) betont, dass eine kurzfristige Kälteanwendung mit Temperaturen um den Gefrierpunkt oder sogar mit extrem niedrigen Temperaturen dagegen lokale und allgemeine, den Kreislauf stimulierende Wirkungen ausüben und bei einer Reihe pathologischer Veränderungen therapeutisch wirksam ist [MOHAB,A.(2006)].

Auch der positive Einfluss dieser offenbar hochwirksamen physikalischen Therapie auf das Immunsystem und die psychische Befindlichkeit sind in klinischen Beobachtungen belegt [BRÜCK K. (1998), JÄNIG W. (2000), HOLLENSTEINER B. (2003)].

2. Einführung in die Thematik GKKT bis $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.1 Funktionsprinzip der Kältekammer

Während man anfänglich verdampfenden flüssigen Stickstoff (Verdampfungstemperatur bei Normaldruck -196°C) zur Erzeugung der sehr tiefen Behandlungstemperaturen bis zu -180°C in einer speziellen Kältekammer verwendete, wurde die Methode der GKKT in den letzten Jahren dahingehend weiterentwickelt, dass die Temperaturen von -110°C nun mit Hilfe einer FCKW-freien sogenannten Dreierkaskadenkühlung anstelle der wesentlich aufwendigeren Stickstoffkühlung erzeugt wird.

Das Grundprinzip der Kältekammer basiert auf einem Kühlschanksystem und wird mit einer Dreierkaskade betrieben, die in jeder Stufe mit einem eigenen Kühlkreis arbeitet.

In einem Kompressor wird das Kältemittel gasförmig hoch komprimiert. Die bei der Kompression entstehende Wärme wird durch einen Wärmeaustauscher/Kondensator abgeführt. Das kondensierte Kältemittel wird als flüssiges Kältemittel aus einem Sammler in einen Verdampfer geleitet. Bei der Expansion im Verdampfer entzieht es seiner Umgebung bzw. der Kältekammer Wärme. Der Kreislauf schließt sich nach Rücklauf über einen Flüssigkeitsabscheider und dann über den Kompressor.

Zur Kühlung der ersten Schleusenkammer auf -10°C dient Propylen, als gasförmiger ungesättigter Kohlenwasserstoff aus der Reihe der Alkene. Für die 2. Schleusenkammer zur Erzeugung von -60°C wird das farb- und geruchlose Paraffin Äthan genutzt. In der 3. Stufe kommt das Alken Äthylen zur Abkühlung der Therapiekammer auf -110°C zur Anwendung. Es handelt sich bei allen drei Kammern um geschlossene Kühlsysteme.

Charakteristisch für die GKK ist neben der extrem tiefen Temperatur die Trockenheit der Luft. Unter Normalbedingungen (20°C und $0,1\text{ MPa}$) hat die Luft eine Dichte von $1,188\text{ kg/m}^3$ und die max. Feuchte (Sättigung) beträgt $17,3\text{ g/m}^3$ Wasserdampf. Bei einer Lufttemperatur von -110°C beträgt die Luftdichte $2,153\text{ kg/m}^3$ und ist somit gegenüber Normalbedingungen um ca. 80% erhöht. Gleichzeitig wird die Zusammensetzung der Luft durch Auskondensation von Feuchte und von Kohlendioxid verändert. Insbesondere sinkt der maximale Feuchtigkeitsgehalt der Luft bei -110°C auf wenige $\mu\text{g/m}^3$. Alle Messungen erfolgten in einer GKK der Fa. Zimmer Medizinsysteme vom Typ „icelab -110°C “. Es dauert in der Regel etwa 90 Minuten,

bis die Kältekammer von +22°C auf –110°C abgekühlt ist. Um Homogenität der Temperatur innerhalb der Kammer zu erreichen, wird diese mit einem vertikalen laminaren Luftstrom kontinuierlich nach einem Kreislaufprinzip belüftet. Dessen Strömungsgeschwindigkeit ist innerhalb der Kammer von 0,2 bis 0,6 m/s variabel. Dieser Strom wird außerhalb der Kammer zum Ausscheiden der von den Insassen und durch Leckagen jetzt in Form von Feinschnee abgegebenen Feuchtigkeit durch einen Schwebstofffilter und über einen Hochleistungskühler geführt. Durch ein Belüftungssystem mit Spezialfilter wird zusätzlich die Nebelbildung durch Wasserkristalle reduziert.

Die für den Betrieb der Anlage notwendige elektrische Energie wird über eine Wärmerückgewinnungsanlage minimiert.

Die gesamte Anlage ist in einem Containersystem untergebracht. Sie besteht aus 3 nachgeschalteten Kammern, die nach einem Schleusenprinzip niedrige Luftfeuchtigkeit und geringen Kälteverlust für die Hauptkammer gewährleisten.

(1. Kammer –10°C, 2. Kammer –60°C und 3. Kammer –110°C).

Im vorgeschalteten Kontrollraum finden sich alle notwendigen Kontroll- und Messsysteme einschließlich Fernsehmonitor und Sprechanlage zum Patienten-/Probandenkontakt und zur Therapieüberwachung (siehe Abb. 1)



Abb. 1: Ganzkörperkältekammer „icelab –110 °C“

2.2 Zum Stand der Anwendung der Ganzkörperkälte

Die Anwendung der Ganzkörperkälte wurde in den letzten Jahren immer mehr erweitert. Indikationen aus dem Bereich der muskulo-skelettalen Erkrankungen sind insbesondere entzündlich-rheumatische Erkrankungen, degenerative Erkrankungen (Arthrosen), chronische Schmerzen unterschiedlicher Ursachen, z.B. das

Fibromyalgie- Syndrom sowie stumpfe Traumen der Gelenke und der Muskulatur. Klinische Erfahrungen und positive Ergebnisse liegen aber auch vor bei Asthma bronchiale, Schuppenflechte ohne und mit Gelenkbeteiligung, atopischer Dermatitis, zentraler Muskelpastik sowie Störungen des zentralen Aktivitätsniveaus. Weitere Erkrankungen wie Neuralgien, Folgezustände von Schlaganfällen, Kollagenosen und einige weitere Autoimmunkrankheiten sind ebenfalls angegebene Indikationen. Zunehmend nutzen auch Sportler die Ganzkörperkälte zu therapeutischen Zwecken, da diese eine ökonomisierende Wirkung auf das Herz-Kreislaufsystem hat und das zentrale Aktivitätsniveau verändern kann sowie günstig auf die Muskeldurchblutung und auf die Muskelaktionen wirkt [JOCH W., U.A.(2003), ÜCKERT S., JOCH W. (2003; 2005; 2006), JOCH W., ÜCKERT S. (2004)].

2.3 Physiologische und therapeutische Wirkungen der GKKT

Die Lufttemperatur in der Therapiekammer von -110°C bewirkt, dass die Hautoberflächentemperatur innerhalb von wenigen Minuten stellenweise sehr stark abgesenkt wird. Die extrakorporale konvektionelle Wärmeabgabe liefert den hauptsächlichen Beitrag zur Absenkung der Körperoberflächentemperatur, zusätzlich wirken aber auch Strahlungsverluste. Das Ausmaß des Wärmeverlustes durch Konvektion wird sehr stark durch die Bewegungen des Probanden beeinflusst. Wenn insbesondere die Extremitäten durch Gehen und Mitschwingen mit dem kalten Luftstrom in stärkerem Maß wechselwirken, steigt die Wärmeabgabe im Vergleich zu einer ruhigen Haltung beträchtlich an.

Die nachfolgenden Darlegungen der Wirkungen von Kälteanwendungen sind zum Teil wissenschaftlich gesichert, teilweise aber in ihren physiologischen Grundlagen und Zusammenhängen noch hypothetisch.

Durch den schockartigen extremen Kältereiz und das starke Absinken der Hautoberflächentemperatur kommt es zur kälteinduzierten Beeinflussung von Funktionen nervöser Strukturen bzw. zur Auslösung neural-reflektorischer Vorgänge, die wiederum in verschiedene Regulationskreise eingreifen. Nach wie vor Gegenstand der Forschung ist die Kausalkette „Reizwirkung auf die Kältsensoren der Haut-Therapieeffekte“ bei der GKKT [PAPENFUSS W. (2005)]. Die in der menschlichen Haut befindlichen Thermorezeptoren/-sensoren, die auf Kälte- bzw. Wärmereize reagieren, sind freie Nervenendigungen. Als Hautafferenzen für Temperatur gelten sog. Kältsensoren, das sind freie (?) Endigungen der A- δ -Nervenfasern des peripheren Nervensystems. Sie liegen dicht unter der Epidermis

und leiten die nervalen Erregungen, die aus der sensorischen Kältereizung resultieren, zum Rückenmark, zum Zentralen Nervensystem. Die im Rückenmark eintreffenden Signale werden in andere nervale Funktionskreise eingespeist [KLINKE R., PAPE H-CHR., SILBERNAGL ST. (2005)].

Ein Teil der therapeutischen Kältewirkungen ist daraus erklärbar und betrifft die Beeinflussung von Schmerzzuständen, entzündlichen Prozessen, von Spannungszustand und Blutversorgung der Muskulatur sowie von der Funktion des Bewegungs- und Halteapparates. Auf die analgetische, antiphlogistische, detonisierende und hyperämisierende Wirkung wird in zahlreichen Studien und Übersichten hingewiesen [SENNE I. B. (2001), BENKENSTEIN B. (2002), HOLLENSTEINER B. (2003), ÜCKERT S., JOCH W. (2003; 2005; 2006)].

Afferenzen aus Kältereizen auf die Haut werden aber auch im Gehirn wirksam und greifen über efferente Bahnen in periphere Kältewirkungen ein. So lassen sich auch Veränderungen von Herz-Kreislauf-Funktionen und geistiger Aktivität erklären. An dem komplexen Schmerzgeschehen sind sowohl das periphere sowie vor allem das zentrale Nervensystem beteiligt. Die Aufnahme von Schmerzreizen erfolgt über Schmerzrezeptoren, sogenannte Nozizeptoren. Diese kommen in der Haut, in den Gelenken, in der Muskulatur als auch in den inneren Organen vor. Die Nozizeptoren reagieren auf thermische, mechanische und bestimmte chemische Reize. Auch bei den Nozizeptoren handelt es sich um freie Nervenendigungen, zum einen der sog. C-Nervenfasern, zum anderen der A-Delta-Nervenfasern, über die das Schmerzsignal in das Rückenmark gelangt. Die erregten C- und A-Delta-Nervenfasern setzen an ihren Nervenendigungen den Neurotransmitter Glutamat frei. Für diesen Botenstoff gibt es in den Hinterhornneuronen des Rückenmarkes spezifische Rezeptoren, über die die Schmerzerregung übertragen werden kann. Die Schmerzerregungen werden dann über aufsteigende Rückenmarksbahnen über den Thalamus bis zur Großhirnrinde geleitet. Hier kommt es dann zur Sinneswahrnehmung „Schmerz“. Das Gehirn reagiert seinerseits mit einem Abwehrsystem in Form der freigesetzten Endorphine und Serotonin, aber auch mit GABA (γ -Aminobuttersäure) darauf, dass die Schmerzintensität reduziert wird. Über die A-Delta-Afferenzen werden bei Kälteeinwirkung auf die Haut thermisch bedingte nervale Informationen in das Rückenmark geleitet. Dieser Informationseinstrom umfasst das gesamte Rückenmark, weil die Afferentationen aus der ganzen Körperoberfläche zugeleitet werden. Der extrem hohe Einstrom von thermisch erregten A-Delta-Afferenzen sorgt für eine

Weiterleitungshemmung von Schmerzsignalen über das C-Fasersystem vom Rückenmark zum Gehirn. Die Informationen aus den Thermorezeptoren und aus den Schmerzrezeptoren werden über dieselben Rückenmarksbahnen hinwärts geleitet. Hierbei gilt aber das Prinzip, dass die schnell leitenden Bahnen die langsamer leitenden hemmen. Da die für die Leitung thermischer Erregungen zuständigen A-Delta-Fasern über eine weitaus höhere Leitungsgeschwindigkeit verfügen als die C-Fasern, kommt es zur Hemmung der Schmerzerregungsleitung [PAPENFUß W. (2005), HOLLENSTEINER B. (2003), KÖCK R. (2000), RUDOLF S. (2005), SENNE I. B. (2001)]. Dennoch ist bislang nicht eindeutig geklärt, wie die Schmerzlinderung genau funktioniert. Es wird aber angenommen, dass eine afferent-reflektorische Hemmung des C-Faser-Systems als Ursache in Frage kommt, weil die Kälterezeptoren bei Unterschreitung von ca. 8°C ihre Impulstätigkeit einstellen [STANGE R. (2006)].

2.4 Indikationen und Kontraindikationen der GKKT

Die Kälte als Therapieform ist vielfältig einsetzbar. Hier sind insbesondere zu nennen: [FRICKE R. (1989), PAPENFUß W. (2005), STRATZ TH. (1998), TAGHAWINEJAD ,M. u.a. , (1998)]

- Chronische Polyarthritis
- Juvenile chronische Arthritis
- Spondylarthropathien
- Reaktive Arthritis
- Fibromyalgie - Syndrom
- Kollagenosen und anderen Autoimmunerkrankungen
- Neurodermitis
- Psoriasis
- Akute u. chronische Formen von Lumbago, HWS-, BWS- u. LWS –Syndrom
- Frakturnachbehandlungen, postoperative Therapie

Die Kontraindikationen der GKKT wurden nach Publikationen und Erfahrungen der Anwender als absolute und relative zusammengestellt:

Absolute Kontraindikationen: [FRICKE R. (1989), STRATZ TH. (1998), TAGHAWINEJAD ,M. u.a.. (1998)]

- Unbehandelter bzw. momentan schlecht kontrollierter Bluthochdruck mit RR > 160/100 mm Hg als Grenzwert unmittelbar vor der Therapie
- Dekompensierte Erkrankungen des Herz-Kreislauf- und des Atmungssystems
- Herzschrittmacher
- Instabile Angina pectoris, Kälte-Angina
- Periphere arterielle Verschlusskrankheit (Fontaine-Stadien III-IV)
- Akute Erkrankungen der Atemwege
- Akute Nieren- und Harnwegserkrankungen
- Schwere Anämie
- Kälteallergische Erscheinungen wie Kälteagglutinine
- Anfallsleiden
- Bakterielle und virale Hautinfektionen

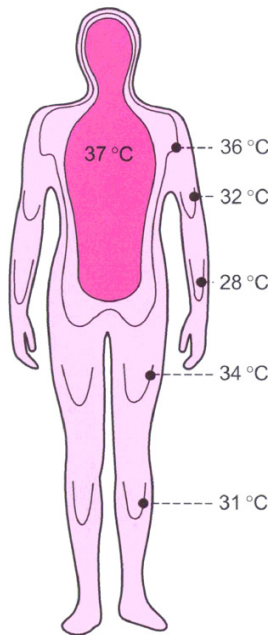
Relative Kontraindikationen:[PAPENFUß W. (2005)]

- schwere Herzrhythmusstörungen
- schwere Herzklappenfehler
- Raynaud-Syndrom
- Polyneuropathien
- Vaskulitiden
- Klaustrophobie [KÖCK R. (2000), PAPENFUß W. (2005)].

2.5 Wärmehaushalt und Thermoregulation

Der menschliche Organismus ist in der Lage, seine Körpertemperatur durch ein sehr komplexes und vollkommenes Regelungssystem gegenüber inneren und äußeren Einflüssen konstant zu halten. Wie alle Säugetiere und Vögel gehört der Mensch zu den Homoiothermen, gleichbedeutend mit Warmblütern.

Diese höheren Vertebraten verfügen über bestimmte Regulationsmechanismen, ihre Körperkerntemperatur in einem Bereich zwischen 35,8 bis 37,2°C konstant zu halten, um in extremen Klimata (ca. zwischen +40 bis -40°C) leben zu können. Für die Protektion des Gesamtorganismus in Extremsituationen ist daher die Thermoregulation und die Wahrnehmung thermischer Reize ein zentraler und wichtiger Mechanismus.



Die Temperaturverteilung innerhalb des Körpers wird in einen Körperkern und eine Körperschale untergliedert. Der Kern umfasst die lebenswichtigen abdominalen Organe wie Herz, Lunge, Nieren und die Organe des Gastrointestinaltraktes. Auch weist das Gehirn etwa die Körperkerntemperatur auf.

In der Regel wird mit der Körpertemperatur die Körperkerntemperatur gemeint.

Diese beträgt beim gesunden Menschen $35,8^{\circ}\text{C}$ bis $37,2^{\circ}\text{C}$ (Körperkern). Zu diesem Bereich gibt es in der Literatur leicht abweichende Angaben [GEKLE M. u.a. (1966)].

Abb. 2: Temperaturverteilung im Körper für 20°C Umgebungstemperatur [Klinke R., Pape H-Chr., Silbernagl St. (2005)]

Es gibt interindividuelle Schwankungen (95% der Bevölkerung haben morgens eine Oraltemperatur zwischen $36,3^{\circ}\text{C}$ bis $37,1^{\circ}\text{C}$). Die Körperkerntemperatur zeigt im Tagesverlauf zyklische Veränderungen mit einem Minimum am frühen Morgen und einem Maximum am späten Abend. Die Amplitude dieser tagesrhythmischen Schwankungen beträgt $0,5^{\circ}\text{C}$ bis $1,0^{\circ}\text{C}$ [THEWS G., VAUPEL P. (2000)]. Die intraindividuellen Schwankungen werden beeinflusst vom Hell-Dunkel/Schlaf-Wach-Rhythmus, vom Menstruationszyklus, von körperlicher Aktivität sowie auch von Emotionen [KLINKE R. u.a. (2005)]. Zwischen der Menstruation und der Ovulation befindet sich die Kerntemperatur auf einem niedrigen Niveau, um dann mit der Ovulation plötzlich um $0,4^{\circ}\text{C}$ bis $0,5^{\circ}\text{C}$ anzusteigen und auf diesem erhöhten Niveau zu bleiben bis zur nächsten Menstruation [THEWS G., VAUPEL P. (2000)]. Bekannt sind auch Beeinflussungen der Kerntemperatur durch körperliche und emotionale Belastungen, wobei es je nach Intensität zu Temperaturanstiegen zwischen $0,5^{\circ}\text{C}$ bis max. 2°C kommen kann [THEWS G., VAUPEL P. (2000)]. Eine Körperkerntemperatur über $37,5^{\circ}\text{C}$ wird als Hyperthermie, eine unter $35,5^{\circ}\text{C}$ als Hypothermie bezeichnet [GUNGA H. CH. (2004)]. Die Frage, warum die homoiothermen Lebewesen eine bestimmte Körperkerntemperatur aufrechterhalten, ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Zweifelsfrei ist aber, dass die Stoffwechselprozesse im Körper temperaturabhängig sind, da die optimale Funktion der Enzymsysteme nur in einem engen Temperaturbereich gewährleistet ist. Um eine Konstanz der Körperkerntemperatur zu erreichen, müssen Wärmebildung und Wärmeabgabe im Gleichgewicht stehen. Die im Körperinneren gebildete Wärme gelangt zum kleineren

Teil durch Konduktion (Wärmeleitung im Gewebe), zum größeren Teil durch Transport auf dem Blutwege (Konvektion) zur Körperoberfläche. Den inneren Wärmestrom regelt die Hautdurchblutung. Durch parallele Anordnung der großen Extremitätengefäße geht auf langer Strecke Wärme von den Arterien auf die begleitenden Venen über (Wärmekurzschluss). Daher kühlt das arterielle Blut auf dem Wege durch Arme und Beine aus. In der Kälte erhalten die akralen Gefäßgebiete daher vorgekühltes Blut. Bei Wärme wird die Haut verstärkt durchblutet. Ein größerer Teil des rückströmenden Blutes fließt durch oberflächliche Venen. Dies vermindert den Wärmekurzschluss und die Wärmeabgabe wird begünstigt (Abb. 3).

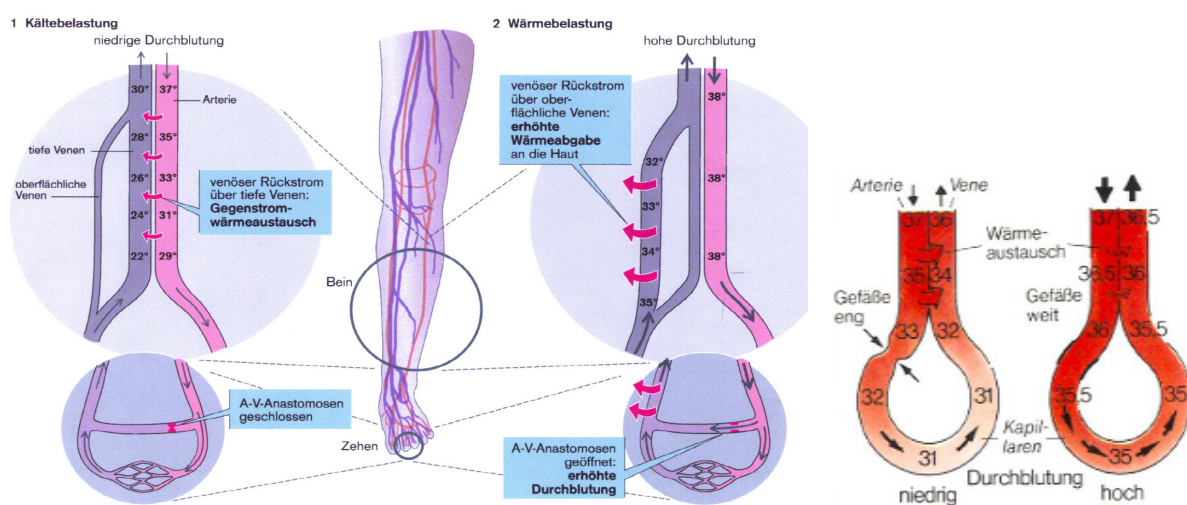
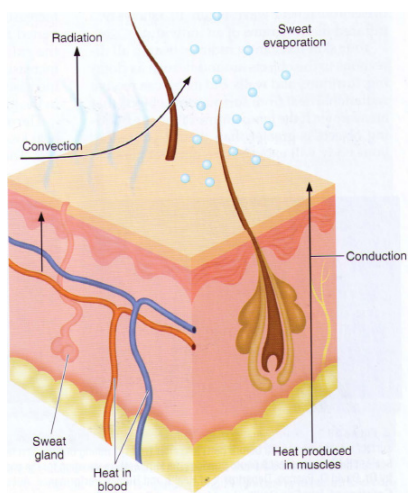


Abb. 3: Temperaturregulation durch Gegenstromregulierung (schematisch).
 [DEETJEN P., SPECKMANN E.J., HESCHELER J. (2004)]

Im Bereich der poikilothermen (=wechselwarmen) Körperschale (Extremitäten sowie Haut und darunter liegende Schichten) kann die mittlere Gewebstemperatur stärker variieren. Sie fällt mit zunehmender Entfernung vom Körperkern ab und umlagert



diesen zwiebelschalenförmig in Schichten gleicher Temperatur (Isothermen). Zum einen dient die Körperschale als Wärmeisolator des Körperkerns, zum anderen findet an ihrer Oberfläche der Wärmeaustausch zur Umwelt statt. Die beteiligten Wärmetransport- und Wärmeaustauschprozesse sind in Abb. 4 dargestellt.

Abb. 4: Wärmetransport- und Wärmeaustauschprozesse (schematisch). [WWW.UNI-GRAZ.AT (2008)]

Für gewöhnlich bestehen ein Temperaturgefälle und ein Wärmestrom von innen nach außen.

Die mittlere Hauttemperatur des menschlichen Körpers beträgt in einer als thermisch angenehm empfundenen Umgebung 32,0°C bis 34,0°C [GEKLE M. u.a. (1996)]. Hierzu gibt es in der Literatur viele Angaben, da dieser Wert sich durch Mittelbildung aus den an mehreren Hautstellen gemessenen Temperaturen ergibt und zudem noch von den klimatischen Bedingungen abhängig ist. Für den unbedeckten Menschen bei Indifferenztemperatur beträgt sie 33,0°C bis 34,0°C [THEWS G., VAUPEL P. (2000)].

Die Oberflächentemperatur eines im Bett liegenden Menschen liegt im Mittel an der Stirn etwa 4°C, an der Hand 6°C, am Fuß 8°C unter der mittleren Kerntemperatur, die etwa der im Rektum gemessenen Temperatur entspricht [LULLIES H., TRINCKER D. (1971)]. Allerdings besitzt die Hautoberfläche kein einheitliches Wärmemuster. Dies erklärt sich aus anatomischen und physiologischen Gegebenheiten der Gefäße sowie aus der Beschaffenheit des Hautreliefs. Das Temperaturmuster kann in einem gewissen Rahmen individuell geprägt sein. Es besteht beim Gesunden ein Temperaturgefälle vom Kopf bis zu den Füßen.

Wärmeverluste in kalter Umgebung werden durch willkürliche Muskeltätigkeit oder durch Kältezittern ausgeglichen. In Ruhe, bei moderater Außentemperatur und freier Konvektion, überwiegt der Wärmeverlust durch Strahlung. Bei starker Wärmebildung durch körperliche Arbeit oder in warmer Umgebung führt der Körper überschüssige Wärme an die Umgebung hauptsächlich durch Verdunstung von Schweiß ab.

Die Körperkerntemperatur (Schädel-, Brust-, Bauchhöhle) des Menschen liegt bei ca. 37,0°C (s.o.).

In der Körperschale (Haut, Unterhaut, Extremitäten) ist sie mit etwa 28°C bis 36°C z.T. deutlich niedriger.

Die äußeren Einflüsse, die eine Thermoregulation erfordern, sind in erster Linie Änderungen der Umgebungstemperatur, der Luftbewegung und der Luftfeuchtigkeit. Die inneren Einflüsse bestehen in Änderungen der Wärmebildung, die besonders bei körperlicher Arbeit stark ansteigt. Wie sich äußere und innere Einflüsse im Sinne von Störgrößen eines Regelsystems in den Thermoregulationsprozess modellhaft einordnen, zeigt Abb. 5.

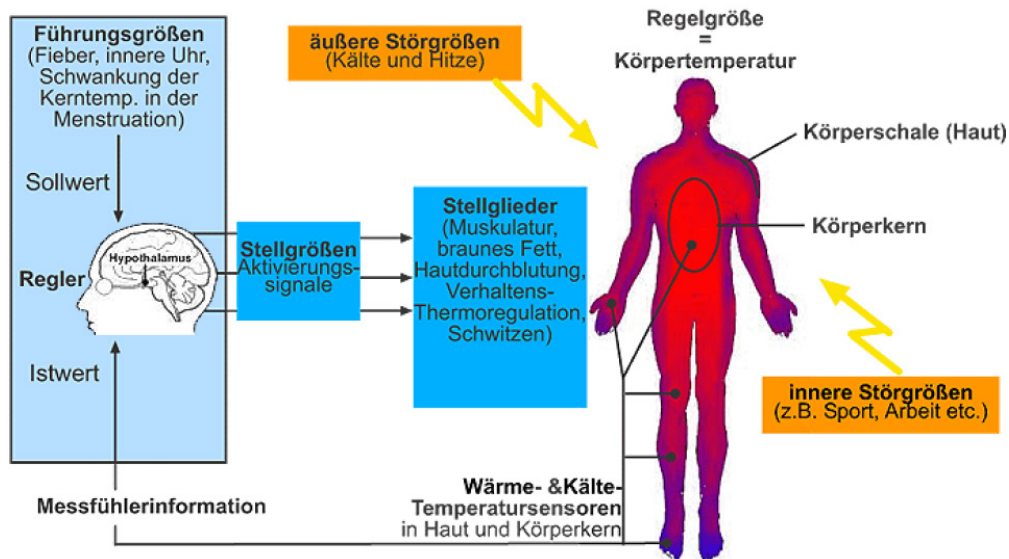


Abb. 5: Regelsystem Körpertemperatur Mensch (schematisch). [WWW.UNI-DUESSELDORF.DE (2008)]

Die Konstanterhaltung der Körpertemperatur wird ermöglicht durch:

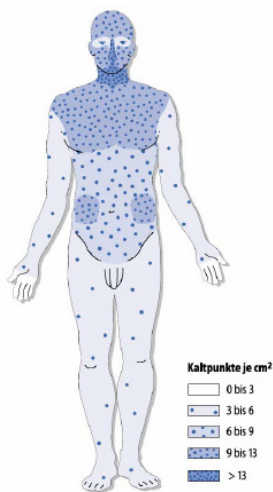
1. Regulierung der Wärmebildung: Chemische Thermoregulation
2. Regulierung der Wärmeabgabe: Physikalische Thermoregulation.

Die Wärmebildung erfolgt bei körperlicher Ruhe zum größten Teil in den Organen der Bauch-, Brust- und Schädelhöhle. Hier werden rund 80 % der Wärme produziert. Die Muskulatur und die Haut (als Schale den Kern umgebend) liefern nur rund 20% der gesamten Wärmemenge. Bei Muskelarbeit kehren sich die Verhältnisse um [GUNGA H. CH. (2004)].

Bei mittelschwerer Arbeit wird in der Schale dreimal soviel Wärme gebildet wie im Kern. Die Wärmeabgabe des Körpers wird durch das Temperaturgefälle Kern-Schale-Umgebung und durch die Bedingungen für den Wärmetransport durch die Schale und ihre Grenzschichten bestimmt. Das subkutane Fettgewebe und das Hautgewebe spielen wegen ihrer relativ schlechten Wärmeleitung eine besondere Rolle. Wie bereits erwähnt, bestehen in der Regel ein Temperaturgefälle und ein Wärmestrom von innen nach außen. Bei niedriger Außentemperatur kann sich die Schale relativ stark abkühlen, während sich die Kerntemperatur nicht ändert.

Für die Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur sind temperaturempfindliche Strukturen im Körperkern und in der Körperschale verantwortlich. Dabei spielen die Kalt- und Warmsensoren der Haut als äußere Messfühler der Umgebungstemperatur eine ebenso wichtige Rolle wie die Temperatursensoren des Körperkerns (innere Messfühler). Die Verteilung dieser Sensoren im Bereich der Körperoberfläche weist erhebliche Unterschiede auf. Dies gilt gleichermaßen für die sogenannten Kalt- und

Warmpunkte. Für die Körperfunktion wichtige Bereiche sind relativ dicht versorgt und die Kaltpunkte sind zahlreicher (siehe Abb. 6 [SCHMIDT R.F., LANG F. (2007)] und Tabelle 1).



Körperregion	Kaltpunkte pro cm ²	Warmpunkte pro cm ²
Stirn	6,75	0,62
Nase	10,5	1
Brust	9	0,3
Oberarm (Beugefläche)	5,7	0,3
Unterarm (Innenseite)	6	0,4
Handrücken	7,4	0,54
Oberschenkel	4,85	0,39

Abb. 6: Verteilung der Kaltpunkte Tab. 1: Mittelwerte der Kalt- und Warmpunkte der Haut pro cm²
[KLINKE R., SILBERNAGEL S. (2004)]

Im Hypothalamus (Regio praeoptica/ vorderer Hypothalamus) ist ein wesentlicher Anteil der inneren Thermosensoren lokalisiert. Hier liegt das Regelzentrum [DEETJEN P., SPECKMANN E.J. (1999)]. Weitere Sensoren wurden nachgewiesen im unteren Hirnstamm (Mittelhirn und Medulla oblongata), im Rückenmark sowie außerhalb des ZNS im Bereich der Dorsalwand der Bauchhöhle und der Muskulatur [JESSEN C. (1989), SIMON E. (1974)]. Die zahlreichen thermosensorischen Strukturen an vielen Stellen im Körper liefern eine umfassende Information über den thermischen Zustand des Körpers (multiple input System) und ermöglichen deshalb eine genaue Regelung [SCHMIDT R.F., LANG F. (2007)].

Diese Mechanismen der Thermoregulation sind seitens des Gehirns und der Wahrnehmung thermischer Reize komplex abgestimmt auf die Protektion des Gesamtorganismus in Extremsituationen.

3. Aufgabenstellung und Temperaturmessmethodik

Wie bereits ausgeführt, gibt es zahlreiche Studien, Erkenntnisse und klinische Beobachtungen, welche die Effekte der Ganzkörperkälteanwendung beschreiben.

RUDOLF zeigte in ihrer Studie an gesunden Probandinnen nach GKKA eine deutliche subjektive Verbesserung der Befindlichkeit auf [RUDOLF S. (2005)].

HOLLENSTEINER konnte in seiner Arbeit bei Probanden mit unterschiedlichen

Gelenkerkrankungen und nach Gelenkoperationen unter Ganzkörperkältekammer-Behandlung bei -110°C und einer Dauer von 3 min einen statistisch signifikanten Anstieg der Druckschmerzschwelle feststellen [HOLLENSTEINER B. (2003)]. Den analgetischen Effekt der GKKT bei Patienten mit Spondylitis ankylosans bestätigte SENNE [SENNE I. B. (2001)].

KÖCK beobachtete bei Patienten mit chronischer Polyarthrit (c.P.) bzw. Spondylitis ankylosans in der GKK eine Besserung der subjektiven Schmerzempfindung, ebenso eine Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit sowie des Allgemeinbefindens, weiterhin bei einem Teil der Patienten eine Steigerung des systolischen und diastolischen Blutdruckes sowie eine Herzfrequenzsteigerung. Bei -80°C kam es innerhalb einer dreiminütigen Kälteexposition zu keiner Abkühlung der Hautoberfläche unter $+5^{\circ}\text{C}$ im Gegensatz zu einer GKK-Anwendung bei -110°C , bei der die Unterschreitung der $+5^{\circ}\text{C}$ -Marke erzielt wurde. Diese Messungen über das Temperaturverhalten in der GKK erfolgten allerdings nur mit punktförmig messenden Temperatursonden, nicht mit bildgebenden Verfahren [KÖCK R. (2000)].

Alle bisherigen Veröffentlichungen und Studien beziehen sich lediglich auf Beobachtungen von Therapieeffekten bei Kranken. Es wurden trotz intensiver Recherchen u.a. in „MEDLINE“, „EMBASE“, „MetaGer“, „MEDPILOT“ keine systematischen Untersuchungen bei Gesunden unter GKKT zur Thermoregulation gefunden, insbesondere keine Studien zu dynamischen und bildgebenden Temperaturmessungen unter den Bedingungen einer extremen Kälte von etwa -110°C .

Das Ziel der vorliegenden Studie ist, einen Beitrag zur quantitativen Beschreibung der Thermoregulation unter den Bedingungen der Ganzkörperkryotherapie zu geben. Dazu sind mittels kontaktfreier Temperaturmessungen auf Basis der Infrarotthermographie kontinuierliche Temperaturmessungen erstmals direkt in der Kältekammer durchgeführt worden. Als erste Körperregion wurde wegen ihrer besonderen Bedeutung für die Thermoregulation - u.a. zur Verhinderung von Schäden am ZNS und den Sinnesorganen - der Gesichtsbereich ausgewählt und hier wiederum als Messpositionen sowohl sehr körperkernnahe (Augenwinkel) als auch relativ körperkernferne (Nase) Positionen. Es entspricht der Tradition klinischer Forschung, wenn möglich vor der Messung an Kranken die Messdaten Gesunder zu erheben. Es wurden deshalb nur thermophysiologisch gesunde Probanden in die Studie eingeschlossen.

Erstmalig wird das thermoregulatorische Verhalten einer Körperregion während der Kälteexposition und in der unmittelbaren Wiedererwärmungsphase nach einem Aufenthalt in der Ganzkörperkältekammer (GKK) bei jungen gesunden Probanden mittels kalibrierter Infrarotthermographie untersucht, die die Hauttemperatur ausgewählter Positionen des Gesichtsbereiches erfasste.

Es sollen hieraus Rückschlüsse auf die Thermophysiologie Gesunder gezogen werden, die dann entsprechende Untersuchungen/Therapien bei Patienten planbar werden lassen.

Es wurde weiterhin untersucht, wie Probanden die kurzzeitige Kälteexposition subjektiv bewerten und ob sich eine Verbesserung der Befindlichkeit, wie in vorangegangenen Studien [z.B. RUDOLF S. (2005)] berichtet, bestätigen lässt.

Für die Messungen wurde der Gesichtsbereich mit vier bestimmten Positionen *Augenhöhle, Stirn, Kinn und Nase* gewählt. Diese Messpunkte des Kopfbereiches wurden aus thermophysiologischen Gründen bewusst festgelegt, um zentrale und mehr peripher liegende Punkte in ihrem thermoregulatorischen Verhalten miteinander vergleichen zu können. Außerdem konnte der Gesichtsbereich der Probanden in der GKK mit dem Field of View (FOV) der eingesetzten Kamera gerade voll erfasst werden.

Auf die besonderen technischen Voraussetzungen des Messverfahrens wird in der Arbeit noch detailliert eingegangen (Abschnitt 3.2.).

3.1 Untersuchungsdesign

Als Probanden der Studie dienten gesunde Männer und Frauen, die seit mindestens einem halben Jahr Nichtraucher waren.

Der Einschluss basierte auf freiwilliger Basis nach Aufklärung. Ausschlusskriterien waren alle bekannten Gegenindikationen für eine Ganzkörperkälteanwendung sowie der Raucherstatus.

In Vorbereitung der Studie bekamen die Probanden schriftliche Unterlagen über die Studie (Ziel, Zweck, Beschreibung der Studie) sowie Hinweise zu Verhaltensregeln und Risiken bei der Kälteanwendung. Es wurde ein Einverständnis zur Datenerfassung und –verarbeitung eingeholt.

Entsprechend den spezifischen Erfordernissen eines Studiendesigns erfolgte die Einholung des Informed Consent der Studienteilnehmer.

Dem Antrag auf Zustimmung der Ethikkommission der Charite` -Universitätsmedizin folgte das schriftliche Einverständnis am 18.09.2008.

Die Probanden unterzogen sich im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen einer Kälteanwendung in einer Kältekammer bei Temperaturen von -110°C . Dabei wurden Messungen der Hautoberflächentemperatur in drei aufeinander folgenden Schritten durchgeführt.

Vor Beginn der Messungen erfolgten Fragebogenerhebungen, Hauttypanalysen, körperliche Untersuchungen incl. Impedanzmessungen sowie Bestimmungen der tympanalen Temperatur, die mit Einschränkungen als repräsentativ für die Körperkerntemperatur der Probanden vor der Kälteexposition gelten kann. Hierbei erfolgt die Kerntemperaturmessung mit Infrarot-Scannern, die die Temperaturen des Trommelfells messen. Bei fachgerechter Anwendung dieser Thermometer (Scanner-Position, kein Cerumen im Gehörgang, thermoneutrale Umgebungsbedingungen etc.) kann die tympanale Kerntemperaturmessung als nicht-invasive Methode zur Erfassung der Körperkerntemperatur herangezogen werden, da sie in der Nähe des Zentralnervensystems festgestellt wird. Die Tympanaltemperatur ist in so engen Schwankungsbreiten repräsentativ für die Kerntemperatur, dass sie sich weltweit in der klinischen Routine gegenüber früheren Messmethoden, wie der Sublingual- oder der Rektaltemperatur, als Maß für die Kerntemperatur durchgesetzt hat.

Nach einer Checkliste (Beispiel siehe 3.1) wurden bei jedem Probanden die verschiedenen Studien-Zyklen abgearbeitet.

Es standen 2 IR-Kameras zur Verfügung. Für die Außenmessungen der Typ ThermaCAM SC 640 und für die Messungen in der GKK ein für extreme Umgebungsbedingungen modifizierter Typ Sentinel (Kameradetails siehe 3.2). Nach partieller Entkleidung (freier Oberkörper) wurden zunächst außerhalb der GKK im Gesichtsbereich der Probanden die Oberflächentemperaturen der Messpositionen - Nase, Kinn, Stirn und Augenhöhle - radiometrisch bestimmt (60 s mit einem Bild pro 6 s), um den Vergleich zu den folgenden Expositionen (Abkühlung/Wiedererwärmung) zu haben. Aufgrund der zu messenden Temperaturen im Gesichtsbereich wurde auf das Anlegen des sonst üblichen Mund-, Nase- und Ohrenschutzes verzichtet. Der Akrenschutz beinhaltete das Tragen von Handschuhen sowie von Strümpfen und geschlossenen Schuhen.

Die Probanden durchschreiten anschließend die 1. und 2. Vorkammer (-10°C , bzw. -60°C) zügig und betreten dann die Hauptkammer (-110°C). Dort

verweilen die Probanden 60 Sekunden. Hier nehmen sie die zuvor besprochene Körper- bzw. Gesichtsposition zum IR-Kameraobjektiv ein, so dass die Messungen stattfinden können. Dieser Prozess wird vom Team über die Gegensprechanlage moderiert. Es war erforderlich, möglichst stillzustehen, damit die Messorte im Bildfeld konstant blieben.

Bei unerwünschten Ereignissen während des Aufenthaltes in der GKK war jederzeit ein sofortiger Abbruch möglich. Anschließend erfolgten Messungen der Körperoberflächentemperatur in der Wiedererwärmungsphase über 5 Minuten im selben Abstand und mit demselben Körperrausschnitt. Abschließend wurde eine Nachuntersuchung der Probanden gemäß Befindlichkeitsfragebogen durchgeführt.

3.1.1 Fragebogenerhebung

Es wurden für die Studie nur Probanden ausgewählt, welche die genannten Einschlusskriterien erfüllten, nachdem ihr Gesundheitszustand mit Hilfe eines Fragebogens und orientierender Untersuchungen erfasst worden war (Details für alle Probanden sind anonymisiert im Anhang zusammengestellt).

3.1.2 Voruntersuchungen

Mittels eines CRF (case report form) wurden für jeden Probanden folgende körperliche Untersuchungsbefunde erhoben:

- Tympanaltemperatur
- Körpergröße/ Körpergewicht/ BMI
- Blutdruck (Riva Rocci) und Herzfrequenz (Handmessung)
- Impedanzmessung
- Hauttypanalyse

3.2 Temperaturmessmethodik

Alle Körper mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes senden thermische Strahlung aus, welche in charakteristischer Weise bestimmt wird von der Temperatur T und von einem von der Oberfläche und dem Material des Körpers abhängenden Parameter, dem Emissionsgrad ε . Die in ein Raumwinkelement abgestrahlte Leistung pro Flächenelement des Strahlers ist für einen beliebigen Körper proportional zum Produkt von Emissionsgrad seiner Oberfläche und der 4. Potenz der Temperatur an seiner Oberfläche. Diese Zusammenhänge werden exakt

durch die Planck'schen Strahlungsgesetze beschrieben [BAEHR H.D., STEPHAN K. (2004)].

Da für den hier infragekommenden Temperaturbereich das Maximum der Strahlung des Schwarzen Körpers im Infrarotbereich liegt, hat sich zur Erfassung der Strahlungstemperatur der Haut generell die Infrarotthermographie durchgesetzt. Hierfür sind mehrere technische Realisierungen angegeben worden, die zumindest temporär auch Eingang in die klinische Routine gefunden hatten, wie die Infrarotplattenhyperthermie.

Für die in diesem Versuch gestellten Anforderungen - hohe örtliche Auflösung in der Größenordnung ≤ 1 mm über einem größeren Areal, in diesem Fall Hals und Kopf, sowie hohe zeitliche Auflösung in der Größenordnung von 1 s - kommt letztlich nur eine Infrarotkamera infrage. Mit einer solchen Thermokamera kann die abgestrahlte Leistung in einem durch den jeweiligen Empfänger vorgegebenen Wellenlängenbereich detektiert werden. Um daraus die Hautoberflächentemperatur abzuleiten, ist die Kenntnis des Emissionsgrades ε der menschlichen Haut fundamentale Voraussetzung.

Neben der Abhängigkeit von der Wellenlänge kann ε allerdings auch noch von der Temperatur, der Absorption durch die Atmosphäre zwischen Haut und Kamera sowie vom Einfallswinkel abhängen. Diese Abhängigkeiten lassen sich durch konstante Aufnahmebedingungen während der Aufzeichnung kontrollieren bzw. durch Kalibrierung berücksichtigen.

Genau quantitative Messungen erfordern daher immer eine Kalibrierung des Emissionsgrades. Dazu ist der Quotient aus abgestrahlter Leistung einer realen Oberfläche zur Leistung, die ein schwarzer Strahler der gleichen Fläche und Temperatur abstrahlen würde, zu ermitteln. Der schwarze Strahler ist ein physikalisches Ideal ($\varepsilon = 1$), reale Oberflächen haben einen geringeren Emissionsgrad ($0 > \varepsilon < 1$) > 0 und < 1 . Hat eine Oberfläche die Eigenschaft, dass der Emissionsgrad zwar kleiner 1, aber für alle Wellenlängen, bei denen er nennenswert strahlt, konstant ist, so spricht man von einem grauen Strahler ($\varepsilon = \text{const.}$). Ist ε abhängig von der Wellenlänge, handelt es sich um einen selektiven Strahler. Mineralien, starke Oxidschichten, Holz, Mauerwerk und glücklicherweise auch die menschliche Haut stellen in guter Näherung Beispiele für graue Strahler dar, für die ε in den üblichen Bereichen auch nicht relevant von der Temperatur abhängt.

Strahlungsthermometrie ist eine ausgereifte Methode zur Bestimmung von Oberflächentemperaturen. Die Messungen erfolgen berührungslos (das Messobjekt wird also nicht „gestört“) und die Zeitkonstante ist sehr klein. Wegen dieser Eigenschaften sind auch Thermographiesysteme für klinische Diagnosen entwickelt worden und inzwischen weit verbreitet.

Die Bestimmung des Hautemissionsvermögens ist allerdings ein kritischer Punkt. In der Literatur finden sich verschiedene Quellen, in denen das Hautemissionsvermögen zu ermitteln versucht wurde [u.a.: HARDY u. MUSCHENHEIM (1936), BÜTTNER (1937), DERKSEN u.a. (1957), BUCHMÜLLER (1961), GARTNER u. GOPFERT (1964), MITCHEL u.a. (1967), WATMOUGH u. OLIVER (1968), PATIL u. WILLIAMS (1969), STEKETEE (1973)]. Das Hautemissionsvermögen ist dabei mit unterschiedlichen Ansätzen ermittelt worden. Die Autoren errechneten aus ihren Messungen jedoch relativ gut übereinstimmende Resultate für das durchschnittliche Hautemissionsvermögen zwischen $\varepsilon = 0.95 \pm 0.004$ (Bittner) und $\varepsilon = 0.98 \pm 0.01$ (Steketee) für eine ähnliche Hautposition.

Um die Genauigkeit noch weiter zu erhöhen, wurde von TOKOGAWA 1989 [TOKOGAWA T. (1989)] eine Messmethode vorgeschlagen, die sämtliche äußeren Störungen (vorrangig Streustrahlungsbeiträge aus der Umgebung) vermeidet. Bei dieser Methode wird eine Änderung der aus der Umgebung kommenden Temperaturstrahlung berücksichtigt. Eine relative Kalibrierung der Instrumente ist nicht mehr notwendig, die Messung ist berührungsfrei und erfolgt kurzzeitig in einer Minute. Als Ergebnis erhielt Tokogawa folgende Werte (siehe Tab. 2):

Proband	Stirn	Unterarm	Handinnenfläche	Handrückseite	Gemittelt
männlich	0,969	0,971	0,973	0,973	0,972
Standardabweichung	0,005	0,002	0,007	0,004	0,005
weiblich	0,969	0,972	0,968	0,971	0,970
Standardabweichung	0,004	0,005	0,004	0,003	0,004
Gemittelt	0,969	0,971	0,970	0,972	0,971
Standardabweichung	0,004	0,004	0,006	0,003	0,005

Tab. 2: Hautemissionsvermögen ε (Mittelwerte aus je 10 männlichen und weiblichen Probanden)

Das durchschnittlich berechnete Emissionsvermögen und die Standardabweichungen für jede Messposition und jedes Geschlecht, sowie der gesamte Durchschnitt, sind in Tabelle 2 aufgeführt. Es wurde kein statistisch bedeutender Unterschied bezüglich des Emissionsvermögens zwischen irgendwelchen Messpositionen und den Geschlechtern gefunden. Alle beobachteten Hautemissionsvermögen blieben in einem Bereich zwischen 0,957 und 0,986 und 95% davon blieben im Bereich

zwischen 0,961 und 0,981. Das über alle Messungen gemittelte durchschnittliche Hautemissionsvermögens wurde zu 0,971 mit einer Standardabweichung von ± 0.005 bestimmt. Dieser Wert wurde in der vorliegenden Arbeit verwendet.

3.2.1 Thermographiekameras und Messaufbau

Für die thermographischen Messungen in der Kältekammer stand eine spezielle Kamera des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zur Verfügung. Diese Kamera, des Typs „Sentinel“ (Fa. Amber/USA), wurde für den Einsatz unter simulierten Weltraumbedingungen (tiefkalte Umgebung (-270°C) und Hochvakuum, also keinerlei Atmosphäre) konditioniert, d.h. sie wurde in ein hermetisches Gehäuse eingebaut. Alle Kamerafunktionen bzw. Signalleitungen sind über elektrische Steckverbinder und Fernbedienung von außen zugänglich (Abb. 7).

Die Steuerung erfolgt über PC und ist dabei mit dem Bilddatenaustausch und der Kameraversorgung über eine RS232-Schnittstelle geführt.

Die Kamera musste allerdings wegen der starken konvektiven Wechselwirkung mit bis zu minus 110°C kalter Luft in der Kältekammer zusätzlich mit einer 40 mm starken Neoporenschaum-Isolierung geschützt werden.

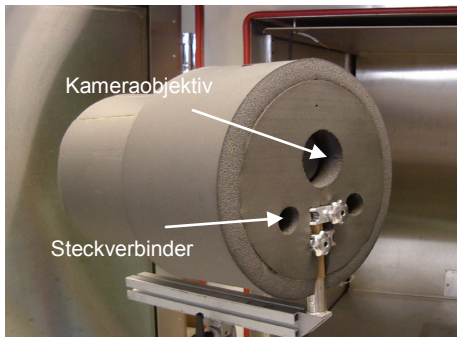
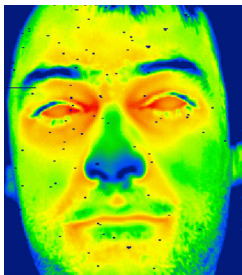


Abb. 7: Thermoisolierte IR-Kamera (Leihgabe DLR)

Der Sensor der Kamera besteht aus einem Mikrobolometer-Array von 320×236 (WxH) Bolometerelementen. Die einzelne Pixelgröße beträgt $50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$. Das gesamte Sensorelement wird durch eine Peltierelement-Kaskade thermoelektrisch gekühlt. Der innere Bildfeldwinkel (IFOV) beträgt $1.0 \text{ mrad} = 57,296^{\circ}/1000 \approx 0,057^{\circ}$. Das Sichtfeld spannt ein Rechteck auf, was durch die Geometrie des Detektors gegeben ist. Der Fokus liegt im Bereich von $45,7 \text{ cm} - \infty$. Das heißt, dass sich nur Objekte mit einer Entfernung von mehr als ca. 46 cm vom Objektiv scharf abbilden lassen. Nach jeder Aufnahme wird ein sog. Chopper in den Strahlengang eingebracht, dessen Temperatur als Referenz zusammen mit der Umgebungstemperatur gemessen wird. Diese wird dann rechnerisch kompensiert, so

dass nur die interessierende Strahlung, nämlich jene des zu vermessenden Objektes, gemessen wird. So erhält man für jeden Punkt eine Temperaturinformation. Der gesamte Bildaufbau wird durch eine Matrix aus waagrecht 320 und senkrecht 236 Pixeln realisiert. Die gewonnenen Daten werden von der Steuerungssoftware verarbeitet und als Bild ausgegeben. Dabei wird jeder Temperatur (also jedem Punkt) eine Farbe zugeordnet. Abb. 8 zeigt ein typisches Wärmebild. Die Kamera kann einen *Temperaturunterschied* von $0,1^{\circ}\text{C}$ nachweisen und ihre spektrale Empfindlichkeit liegt im Wellenlängenbereich von $8\ \mu\text{m}$ - $14\ \mu\text{m}$.



Die Kamera wurde in der Kältekammer so positioniert, dass sich der Gesichtsbereich der Probanden vollständig erfassen ließ. Dazu war die Kamera auf einem Stativ und höhenverstellbar installiert (Abb. 9). Kamera und Proband standen sich in der Kältekammer im Abstand von ca. 0,5 bis 0,7 m gegenüber.

Abb. 8: Typisches Thermobild (IR-Kamera Sentinel; schwarze Punkte sind Pixelfehler der IR-Sensormatrix)

Die Verkabelung der Kamera aus der Kältekammer heraus zur Versorgungs- und Messeinheit erfolgte über 2 Vielpolstecker RSGSP 50 bzw. RSGSP 19 (Abb. 10).



Abb. 9: IR-Kamera auf Stativ

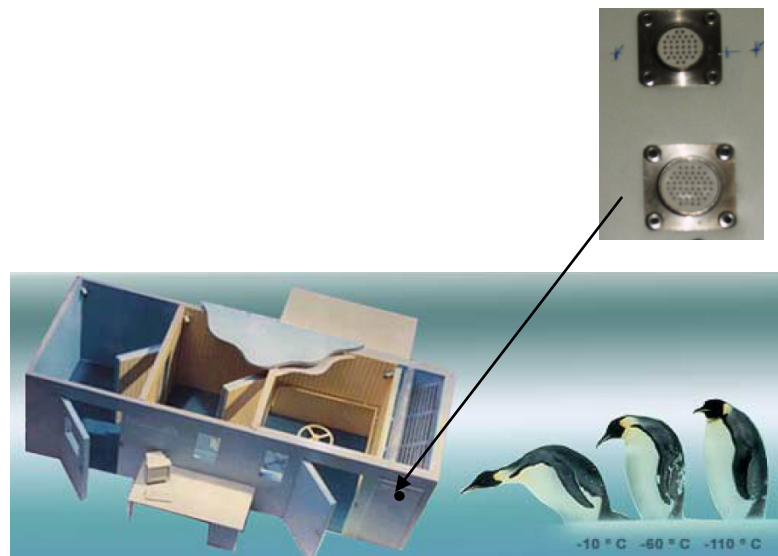


Abb. 10: GKK- Vielpol-Steckerdurchführungen

Für die Messungen außerhalb der GKK stand eine IR Kamera der Fa. FLIR, Boston/USA (Typ ThermaCAM SC 640) des Zentrums für Weltraummedizin Berlin (ZWMB) zur Verfügung (Abb. 11). Dies ist eine Kamera mit 640×480 ungekühlten Mikrobolometern (entspr. 307200 Bildpunkten). Der Bildfeldwinkel (IFOV) beträgt $0,66\ \text{mrad}$. Die Zahl der Bildpunkte im Sichtfeld ist ca. 4x höher als für die IR-

Kamera, die in der GKK verwendet wurde, was sich auch in der Bildqualität deutlich widerspiegelt und sich auf die Auswertung entsprechend auswirkt (Abb. 12).



Abb. 11: ThermaCAM SC 640 (Leihgabe ZWMB)

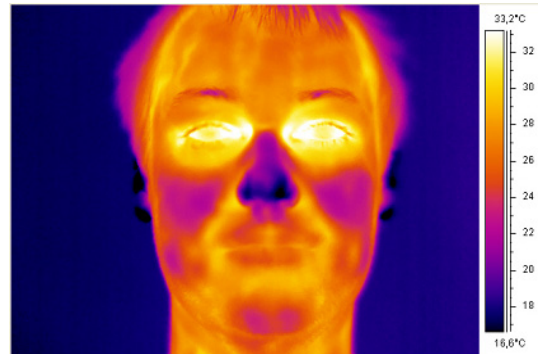


Abb. 12: Typisches Thermobild (ThermaCAM SC 640)

3.2.2 Kalibration & Probemessungen

Nach Abschluss aller Modifikationen an der Thermographiekamera für die GKK erfolgte eine komplett neue Kalibrierung in einer Klimakammer des DLR (Abb. 13). Zusätzlich wurde ein mobiler kleiner Eichkörper entwickelt, der in der GKK zur Kontrolle des Kalibrierzustandes genutzt werden kann und auch für die unmittelbare Anbindung der gemessenen Temperaturen am Probanden geeignet ist (Abb. 14).

Erste Probemessungen zum Nachweis der Funktionsfähigkeit der Thermographiekamera in der GKK waren erfolgreich und bestätigten die Eignung zur Erfassung und Auswertung zeitlich und örtlich hochaufgelöster radiometrischer Bilder. Somit ist das Thermographiesystem für solche Extrembedingungen einsatzbereit.



Abb. 13: Eichprozedur in DLR-Klimakammer

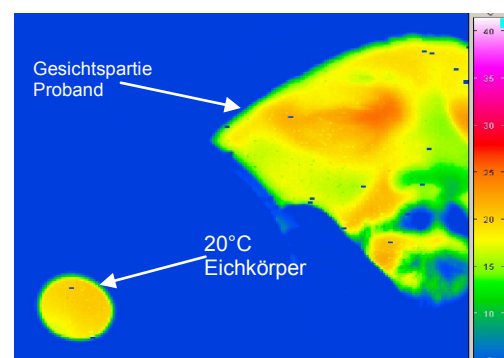


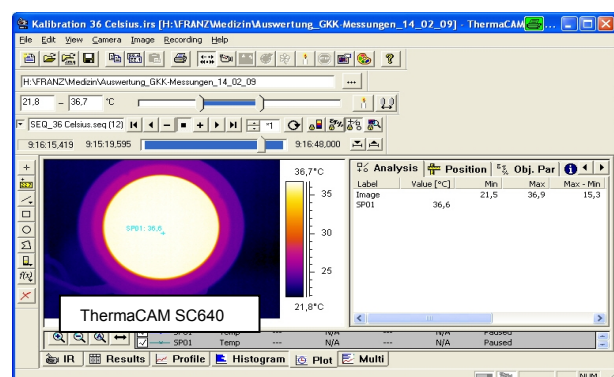
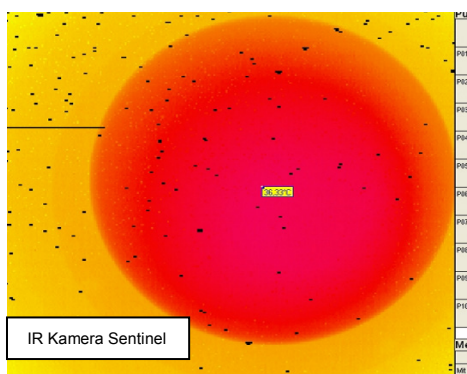
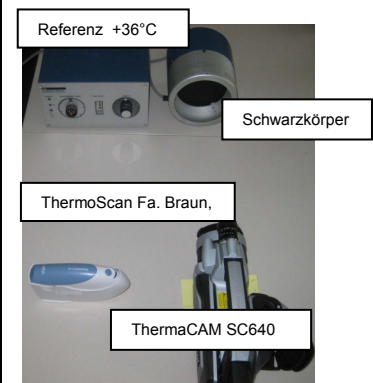
Abb. 14: Eichkörper neben Gesichtsparte in GKK

3.2.3 Hautoberflächentemperaturmessung an ausgewählten Körperstellen vor und nach GKKT mittels Wärmekamera bei Gesunden

Um die radiometrisch mit einer IR-Kamera gemessenen Temperaturen mit der Körperkerntemperatur der einzelnen Probanden vergleichen zu können, sind ganz

am Anfang der Messungen die tympanalen Temperaturen mit dem IR-Ohrthermometer ermittelt worden. Ebenso wurden alle drei Messsysteme (Ohrthermometer und beide IR-Kameras) mit einer Schwarzkörper-Referenztemperatur von 36,0°C verglichen (siehe Tabelle 3). Mit Hilfe des Tympanothermometers konnte die Körperkerntemperatur relativ gut abgebildet werden.

Kalibrierung Messsysteme					
Ohrthermometer	IR-Kamera/W	IR-Kamera/K	Ohrthermometer	IR-Kamera/W	IR-Kamera/K
Temperatur Referenz_Eichnormal: 36 °C					
36,3	36,6	36,33	36	36,5	36,33
36,4	36,7	36,38	36,3		36,38
36,6	36,6	36,38	36,3	36,5	36,38
36,2	36,6	36,38	36,4	36,5	36,53
36,3	36,6	36,48	36,1	36,5	36,48
36,2	36,6	36,27	36,5	36,5	36,48
36,5	36,7	36,38	36,4	36,5	36,43
36,1	36,6	36,27	36,3	36,5	36,38
36,4	36,6	36,27	36,4	36,4	36,43
36,3	36,6	36,33	36,4	36,5	36,48
36,1	36,6	36,43	36,3	36,5	36,48
36,3	36,6	36,33	36,4	36,4	36,58
Mittelwert					
36,3±0,04	36,6±0,01	36,4±0,02	36,3±0,04	36,3±0,03	36,5±0,03
Standardabweichung					
0,15	0,04	0,08	0,14	0,05	0,01



Tab. 3: Vergleich der drei Messsysteme mit einem Eichnormal

Radiometrisch wurde dann jeweils der Gesichtsbereich von 17 Probanden vermessen. Die Messzeit war vor Betreten der GKK je 60 s lang, die Bildfrequenz 1/6 Hz. Die anschließende Verweildauer in der GKK war jeweils 60 s, die Bildfrequenz zur Messung der Abkühlphase 1 Hz. Unmittelbar nach Verlassen der GKK wurde 300 s lang die Phase der Wiedererwärmung mit einer Bildfrequenz von 1/6 Hz gemessen (zur Illustration der Messphasen siehe Abb. 15).



Abb. 15: Messphase in GKK und Aufwärmphase nach GKK

Die Messpunkte (Pixelkoordinaten) für Nase, Kinn, Stirn und Augenhöhle sind für jeden Probanden individuell aus den radiometrischen IR-Bildern nach folgenden Aspekten ausgewählt worden:

Grundsätzlich wurden aus dem jeweils 1. radiometrischen Bild für Nase und Kinn die Messpositionen aus den Bereichen mit den niedrigsten Temperaturen gesucht und dementsprechend die Cursorpositionen festgelegt, für Stirn und Augenhöhle die entsprechenden Bereiche mit den höchsten Temperaturen (in der Regel z.B. für die Nase der Rand des rechten Nasenflügels zum Nasenloch hin, für die Stirn die Mitte auf der Verbindungslinie der Augenbrauen, für das Kinn eines der „Grübchen“ und für die Augenhöhle ein nasennaher Augenwinkel). Diese Positionen sind allerdings im Verlauf einer Messung wegen minimaler, nicht unterdrückbarer Bewegungen der Probanden keine festen Koordinaten, sie mussten dann von Bild zu Bild immer wieder neu anvisiert werden (siehe die beispielhaft markierten Messpositionen in den nachfolgenden Abb. 16 und 17).

Der daraus resultierende Fehler ist als unvermeidlich, jedoch quantitativ hinnehmbar zu bewerten. Eine Mittelung der Temperatur für die Messpositionen aus einem geometrischen Flächenbereich (Dreieck, Viereck oder Kreis) würde daran nichts ändern, denn der Schwerpunkt dieser Flächen bleibt auch nicht koordinatenfest, weil sich die Probanden während der Messzeit eben nicht ausreichend fixieren lassen. Außerdem würden die Beiträge aus den Randbereichen die graduellen Unterschiede für die unterschiedlichen Messpositionen noch „verwischen“.

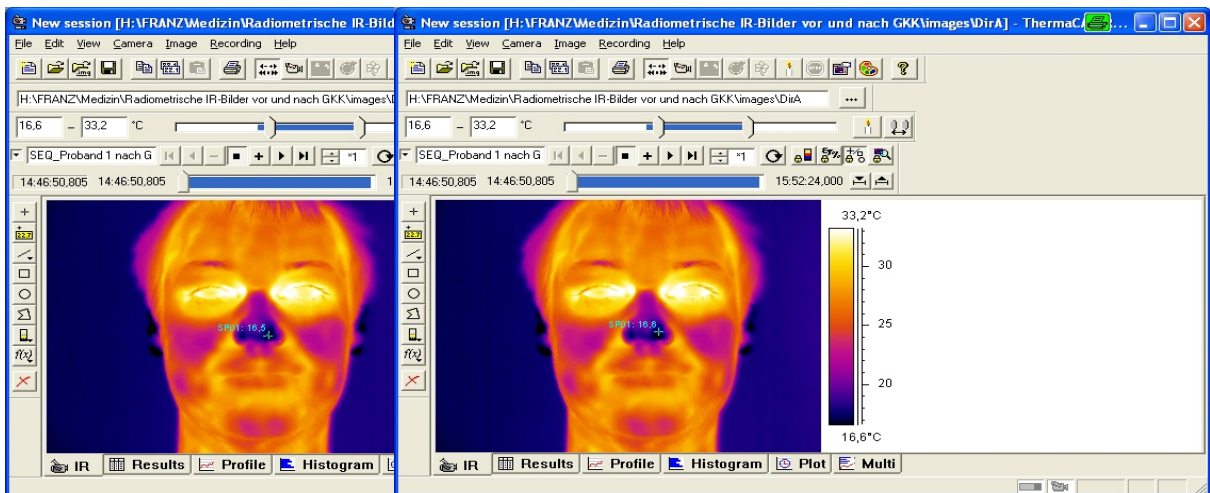


Abb. 16: Messpositionen Nase (Aufwärmphase nach GKK)

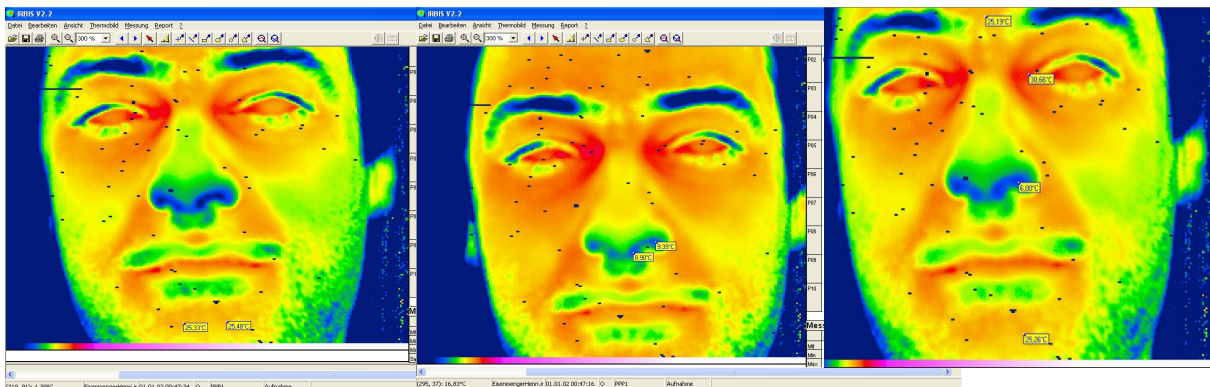


Abb. 17: Auswahl der Messpositionen im Gesichtsbereich (in GKK)

Die Wiederholgenauigkeit und Vergleichbarkeit für die Positionen Augenhöhle und Stirn sind allgemein besser als für Kinn und Nase. Für den Kinnbereich erscheinen die „Grübchen“ recht unterschiedlich hervorgehoben. Teilweise erschwerte auch Bartwuchs die Auswertung. Für die Nase sind die Temperaturverläufe in der GKK immer auch vom Atemzyklus geprägt. Bei fast allen Probanden wurde aber zum Ende des Abkühlvorganges in der GKK die vom Messsystem vorgegebene untere Grenze von 1,4°C erreicht. Ein weiterer hinzunehmender subjektiver Fehler folgt daraus, dass die Registrierung des Abkühlverhaltens erst beginnen konnte, nachdem sich die Probanden in den Kryo - Therapieraum (-110°C) eingeschleust hatten. Dazu mussten 2 vorgelagerte Schleusenräume (1. Schleuse -10°C, 2. Schleuse -60°C) passiert werden. Die Passierdauer für diese Schleusen war probandenabhängig und lag im Bereich von 5 bis 8 Sekunden. Gleiches gilt für die Registrierung der Wiedererwärmung, da zwischen Verlassen der Kältekammer und Messbeginn ebenfalls etwa die gleiche Zeitdifferenz lag.

4. Ergebnisse

4.1 Auswertungskollektiv

Die Messungen für die vorliegende Arbeit mussten wegen der umfangreichen Installationsarbeiten an der sonst im Routinebetrieb laufenden Kammer an einem einzigen Versuchstag durchgeführt werden. Es wurde eine Probandenzahl von 20 angestrebt, 3 der einbestellten Teilnehmer erschienen jedoch ohne Angabe von Gründen nicht.

17 Probanden, 12 männliche und 5 weibliche, schlossen den Versuch protokollgemäß ab.

4.1.1. Allgemeine und anamnestische Daten

Alle Teilnehmer waren in ihrem körperlichen und psychischen Status klinisch unauffällig. Chronische Erkrankungen wurden bei 15 Probanden verneint. Bei einer weiblichen Probandin bestand eine behandelte und kompensierte Schilddrüsenunterfunktion. Ein Proband litt unter saisonalem Heuschnupfen, nicht jedoch zum Zeitpunkt des Versuchs.

Mittels eines Fragebogens wurden für jeden Probanden folgende Daten erhoben.

Anamnese:

- Chronische Krankheiten
- Raucherstatus
- Alkohol- und Drogenkonsum
- Fröstelneigung
- Sportliche Aktivitäten
- Saunabesuche
- Frühere GKK- Aufenthalte
- Regelmäßige Medikamenteneinnahme, incl. orale Kontrazeptiva
- Menstruationszyklus/ letzte Regelblutung

Chronische Krankheiten: - 15 Probanden: keine

- 2 Probanden: ja (eine weibl. Probandin: seit Jahren therapierte Hypothyreose, 1 männl. Proband: saisonaler Heuschnupfen)

- Alkoholkonsum:** - 15 selten bis gelegentlich (mäßige Mengen)
- 2 kein Konsum
- Drogenkonsum:** - alle verneint
- Neigung zum Frösteln:** - 13 nein, 4 ja
- Sportliche Aktivität:** - 4 regelmäßig
- 8 unregelmäßig
- 5 selten
- Sportarten:** - Schwimmen, Fahrradfahren, Fitness, Joggen, Yoga,
Volleyball, Fußball, Wandern, Tanzen
- Kältekammererfahrung:** - 15 nein, 2 ja
- Saunabesuche:** - 9 ja, 8 nein
- regelmäßige Medikamenteneinnahme:**
- 16 nein, 1 ja
- orale Kontrazeption:** - 4 ja, 1 nein
- Menstruationszyklus:** - die Probandinnen befanden sich am
8., 10., 14., 21. bzw. 23. Zyklustag

Die Tympanaltemperaturen vor Studienbeginn lagen zwischen 36,4°C und 37,6°C.

Der BMI der Probanden lag zwischen 20,3kg/m² und 28,5kg/m².

Die Blutdruckwerte der Probanden befanden sich systolisch zwischen 114 und 148 sowie diastolisch zwischen 66 und 98 mm Hg. Die Herzfrequenzen lagen minimal bei 50 bis maximal bei 101 pro Minute.

Die Ergebnisse der Impedanzmessungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Proband Nr.	Wasser [l]	Fettmasse [kg]	ECM extrazelluläre Masse [kg]	BCM Bodyzellmasse [kg]	BMI Body Mass Index	Zellanteil [%]
1	42,3	12,3	28,3	29,4	23,4	51,0
2/w	36,9	14,6	23,5	26,9	20,3	53,4
3	52,2	12,7	32,3	39,0	23,8	54,7
4	39,3	8,3	23,6	30,1	20,2	56,1
5	47,7	12,8	29,2	36,0	26,1	55,2
6	46,9	14,9	27,7	36,4	22,8	56,8
7/w	33,3	23,5	21,0	24,5	28,4	53,8
8	44,0	9,8	26,0	34,2	22,1	56,8
9	45,5	17,8	29,0	33,3	24,4	53,4
10	37,8	13,4	25,3	26,3	21,2	51,0
11	45,4	18,0	25,1	36,9	28,0	59,5
12/w	35,6	21,3	24,4	24,3	22,9	49,9
13	49,2	6,8	33,3	33,9	20,7	50,4
14	43,2	18,0	28,6	30,4	22,0	51,5
15	44,6	14,0	28,2	32,8	23,1	53,8
16/w	29,9	14,2	22,0	18,8	21,5	46,1
17/w	33,0	16,9	21,9	23,2	23,3	51,4

Tab. 4: Ergebnisübersicht für die Impedanzmessungen (w= weibliche Probanden)

Gesamtbewertung der Impedanzmessungen:

Grundlage dieser Messung ist die Tatsache, dass die Leitfähigkeit und die Impedanz des Körpers vom Körperwasser und von der fettfreien Körpermasse (extrazelluläre Körpermasse entsprechend Blut- plus Gewebsflüssigkeit, Körperzellmasse entsprechend Muskel- und Organmasse) abhängen, während das Körperfett den Strom nur wenig weiterleitet und ihm einen erhebliche Widerstand entgegensetzt. Da das Körperwasser bei der Thermoregulation eine herausragende Rolle spielt, wurde die BIA mit in die Studie integriert. Ein normaler Wasserhaushalt stellt für die Wärmeleitung eine optimale Voraussetzung dar.

Der Anteil des Körperwassers wird für Männer mit ca. 60 bis 65 % angegeben, für Frauen aufgrund des höheren Fettanteils mit etwa 50 bis 55% (Richtwerte laut WHO für Normalgewichtige mit einem durchschnittlichen Körperbau).

Für die männlichen Teilnehmer dieser Studie wurde mittels BIA ein prozentualer Wassergehalt zwischen 56,1 und 66,5% berechnet, für die weiblichen Probanden lagen die Werte zwischen 48,3 und 56,8%. Insgesamt ergaben sich keine auffälligen Hypo- oder Hyperhydratationszustände.

Um im Vorfeld der Kälteexposition pathologische Kältereaktionen am Hautorgan weitestgehend auszuschließen, wurde eine Hauttypanalyse durchgeführt. Dabei ergaben sich bezüglich der Verträglichkeit von Sonneneinstrahlung folgende Hauttyp-Bewertungen:

Hauttyp 1: keltischer Typ (sehr empfindlich, ca. 2% aller Mitteleuropäer)

Hauttyp 2: hellhäutiger Europäer (empfindlich, ca. 12% aller Mitteleuropäer)

Hauttyp 3: dunkelhäutiger Europäer (normal empfindlich, ca. 78% aller Mitteleuropäer)

Hauttyp 4: mittelmeerischer Typ (unempfindlich, ca. 8 % aller Mitteleuropäer)

Die Probanden hatten überwiegend einen Hauttyp von 2 und 3.

Die Hauttypen der Probanden wurden nach Th. Fitzpatrick [GRÜNE S. und SCHÖLMERICH J. (2007)] wie folgt bestimmt:

Proband Nr.	Hauttyp			
	1	2	3	4
1			x	
2/w		x		
3			x	
4			x	
5		x		
6			x	
7/w			x	
8			x	
9			x	
10		x		
11			x	
12/w	x			
13			x	
14		x		
15		x		
16/w		x		
17/w			x	

Tab. 5: Ergebnisübersicht Hauttypanalyse

4.2 Abkühlungsverhalten in der Ganzkörperkältekammer (GKK) und Wiedererwärmungsverhalten nach GKK

Im Folgenden werden die Messergebnisse der oben beschriebenen Untersuchungen dargestellt und kurz erläutert. Grundlage der Darstellungen/Abbildungen sind die Excel-Tabellen aus 8.2.

Anfangs wurden vor Betreten der GKK mit der ThermoCAM SC 640 die Temperaturen der Probanden für die Messpositionen „Nase“, „Kinn“, „Stirn“ und „Augenhöhle“ gemessen (1 Minute lang, je 6s für ein „Bild“; siehe Tabelle 6 & Abb.18).

Aufgelistet in Tab. 6 sind für die 4 Messpositionen die Mittelwerte aus jeweils 10 Messungen. Aus diesen 4 Mittelwerten sind dann die mittleren Gesichtstemperaturen vor GKK ($T_{\text{Gesicht}}/\text{im Mittel vor}$) gebildet. Die Werte unter „ $T_{\text{Gesicht}}/\text{im Mittel nach}$ “ sind die Mittelwerte aus den Temperaturen für die 4 Messpositionen nach GKK-Anwendung nach 300s Aufwärmzeit.

Probanden -Nr.	Hautoberflächentemperatur [°C] vor GKK				T_{Gesicht} [°C]	
	Nase	Kinn	Stirn	Augenhöhle	im Mittel vor	im Mittel nach
1	29,2	32,5	33	35,8	32,6	29,3
2/w	24,2	30,5	32,9	35,3	30,7	29,5
3	32,4	33,5	34,5	35,8	34,2	29,6
4	29,8	33,1	34,4	35,8	33,3	29,9
5	29,1	33,8	34,6	36,1	33,4	31,4
6	23,2	32,4	33,5	35,8	31,2	29
7/w	29	34,7	35,1	36,1	33,7	33,8
8	28,2	34,2	34,7	36,4	33,4	29,9
9	32,7	32,5	34,6	36,3	34	31,4
10	32,5	35	35,3	36,8	34,9	32,6
11	30,4	32,3	32,6	36	32,8	30,5
12/w	28	32,1	34,5	35,6	32,6	29,2
13	29,5	34,2	35,5	36,8	34	31,5
14	32,5	34,1	34,9	36,5	34,5	31,1
15	30,9	32,1	34,7	36,8	33,6	31,8
16/w	27,3	33,9	35,1	36,6	33,2	31,8
17/w	25,8	33,8	35	36,2	32,7	29,8
Im Mittel	29,1	33,2	34,4	36,2	33,2	30,7

Tab. 6: Hautoberflächentemperatur vor bzw. nach GKK

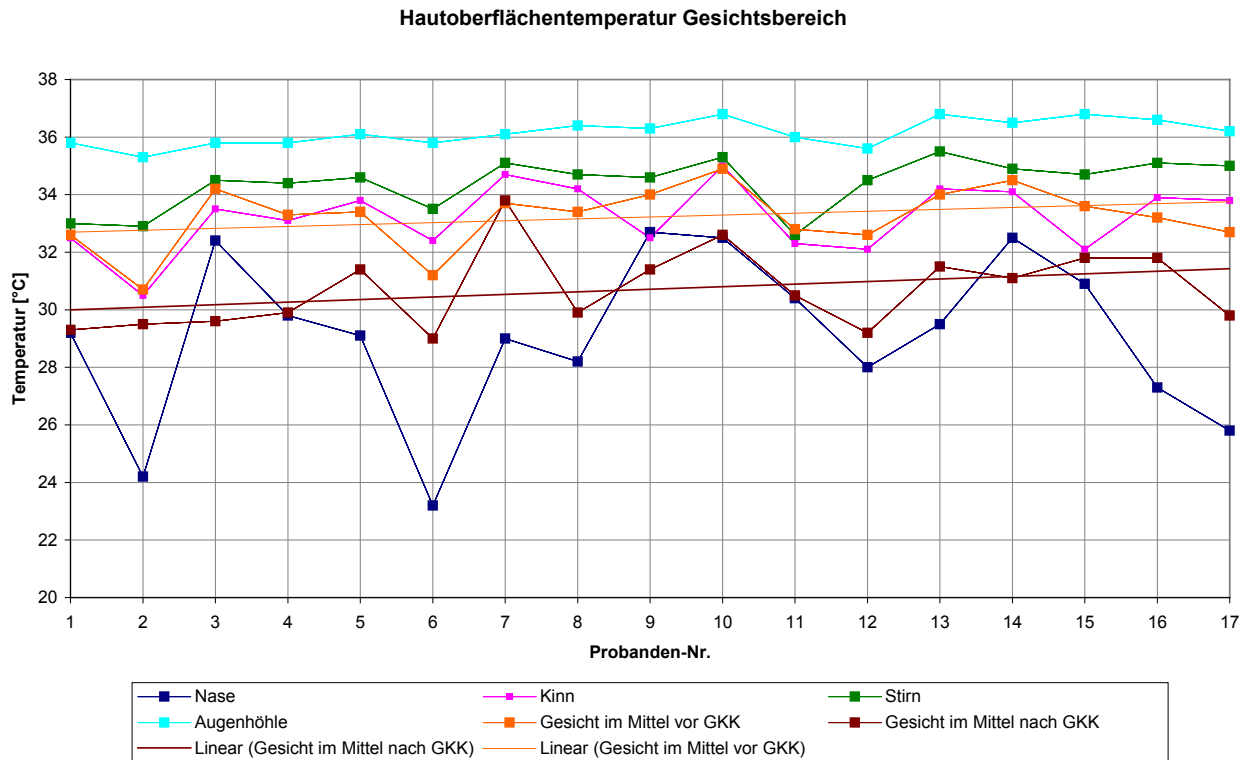


Abb. 18: Temperatur der Messpositionen der Probanden vor GKKA u. Gesichtstemperaturen vor bzw. nach GKKA

Der Temperaturvergleich der gemessenen Temperaturen für die ausgewählten Messpositionen vor GKKA mit den tympanal gemessenen Temperaturen für alle 17 Probanden ist in Abb. 19 zusammengestellt, ebenso sind die Mittelwerte über alle Probanden dargestellt.

Tympanal- & Meßpunkte-Temperaturen vor GKKA (Mittelwerte mit Standardfehler)

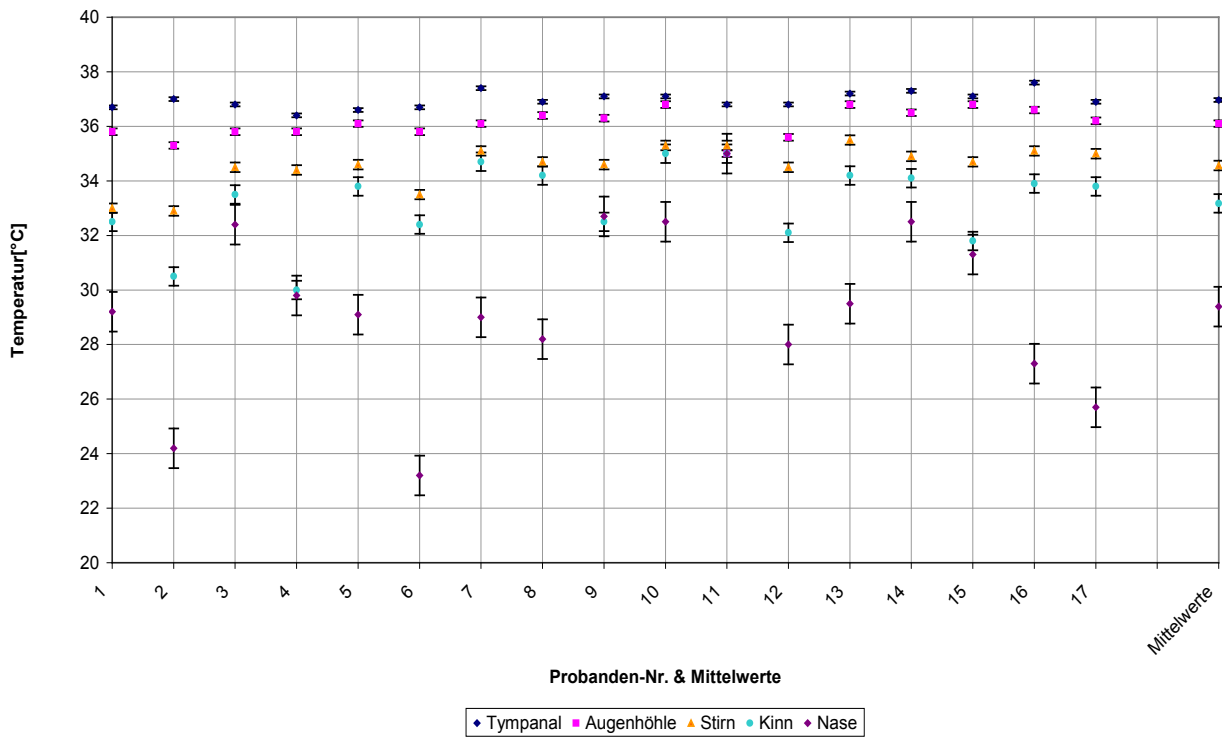


Abb. 19: Hautoberflächen- und Tympanaltemperatur der ausgewählten Messpositionen und aller Probanden vor GKKA

Aus der detaillierten Auswertung der Messungen an 17 Probanden für alle Messpositionen (Nase, Kinn, Stirn, Augenhöhle) - vor und nach GKK bzw. in GKK - folgt, dass sowohl die Abkühlung in der GKK als auch die Wiedererwärmung nach GKK vom Charakter her für alle Probanden gleich verlaufen (Abb. 20 bis 26). Nachfolgend werden die charakteristischen Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

Abkühlung aller Probanden in der GKK_Augenhöhle

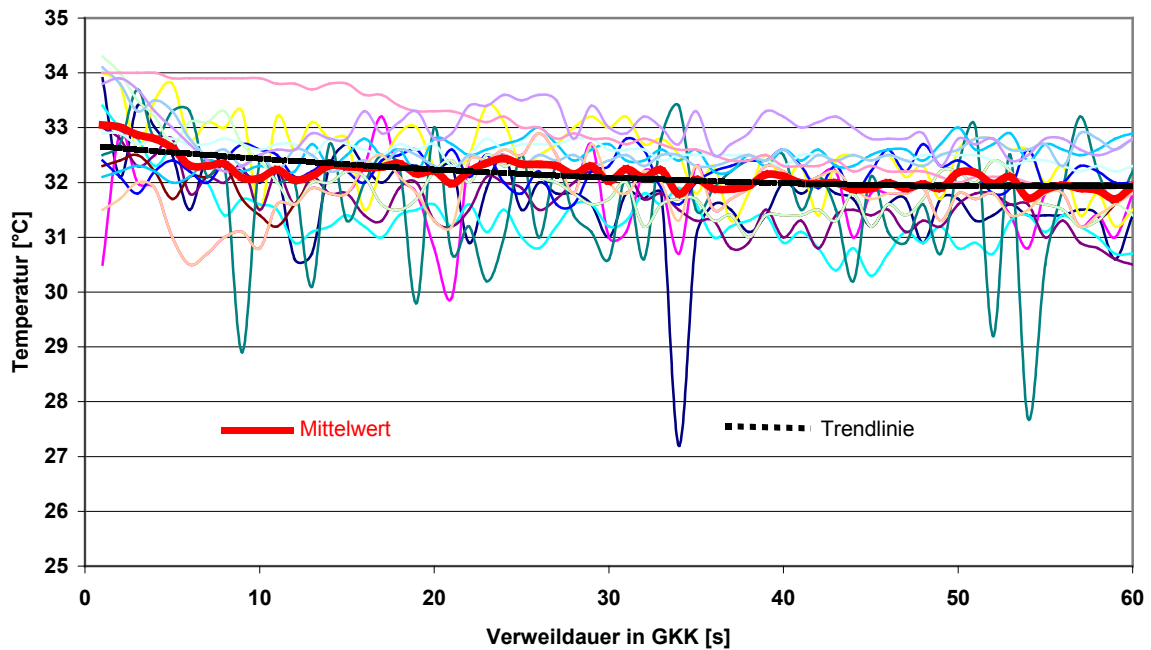


Abb. 20: Abkühlphase Meßposition Augenhöhle für alle Probanden in der GKK

Für die Messposition Augenhöhle wurde, gemittelt über alle teilnehmenden 17 Probanden, während des 60 Sekunden dauernden Aufenthaltes in der Kältekammer ein Temperaturabfall von nur maximal 1 °C aus den Messungen abgeleitet. Der Streubereich ist ebenfalls relativ gering mit etwa 2 °C, bis auf einige Ausreißer (nicht interpretierbar). Im Trend ist diese Temperaturänderung sogar noch kleiner als 1 °C (siehe Abb. 20). Der Ausreißer für den Probanden 1 bei 34s mit 27,2°C (blaue Kurve in Abb. 20) resultiert aus einer Unterbrechung des Messzyklus infolge der automatischen Eichprozedur. Für solche Fälle sind die Messwerte nicht relevant. Diese Erscheinung ist auch für die anderen Messpositionen beobachtet worden.

Abkühlung aller Probanden in der GKK_Stirn

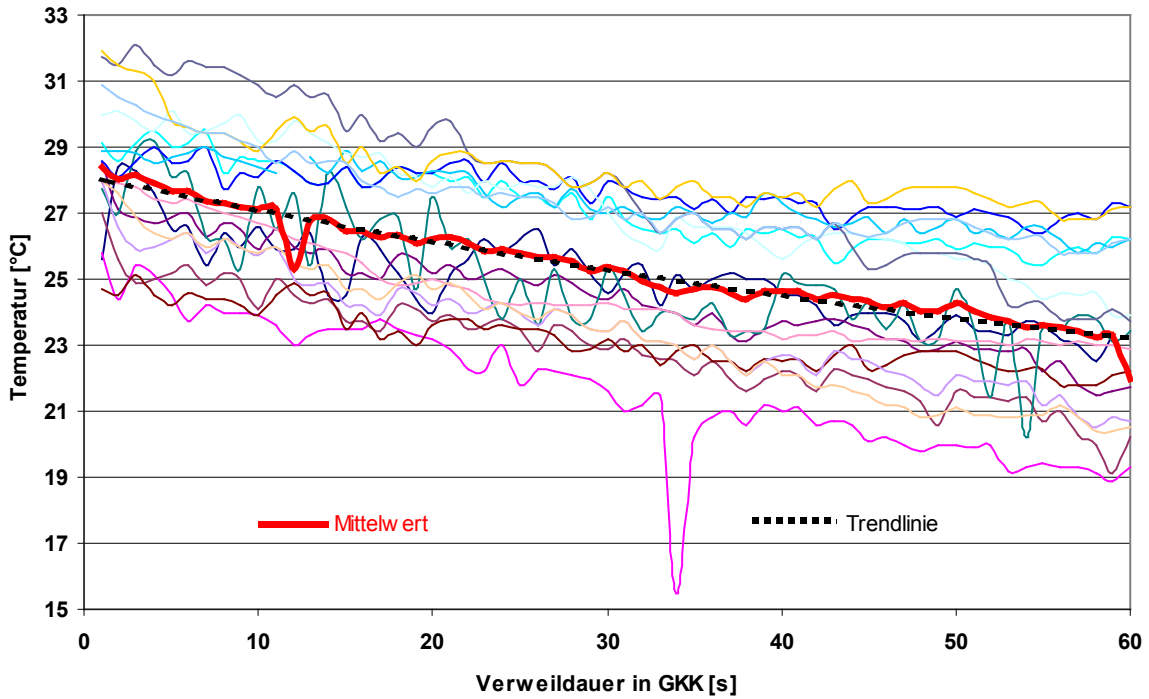


Abb. 21: Abkühlphase Meßposition Stirn für alle Probanden in der GKK

Für die Messposition Stirn wurde ein Temperaturabfall während der 60 s Ganzkörperkälteexposition von etwa 5°C im Trend festgestellt.

Abkühlung aller Probanden in der GKK_Kinn

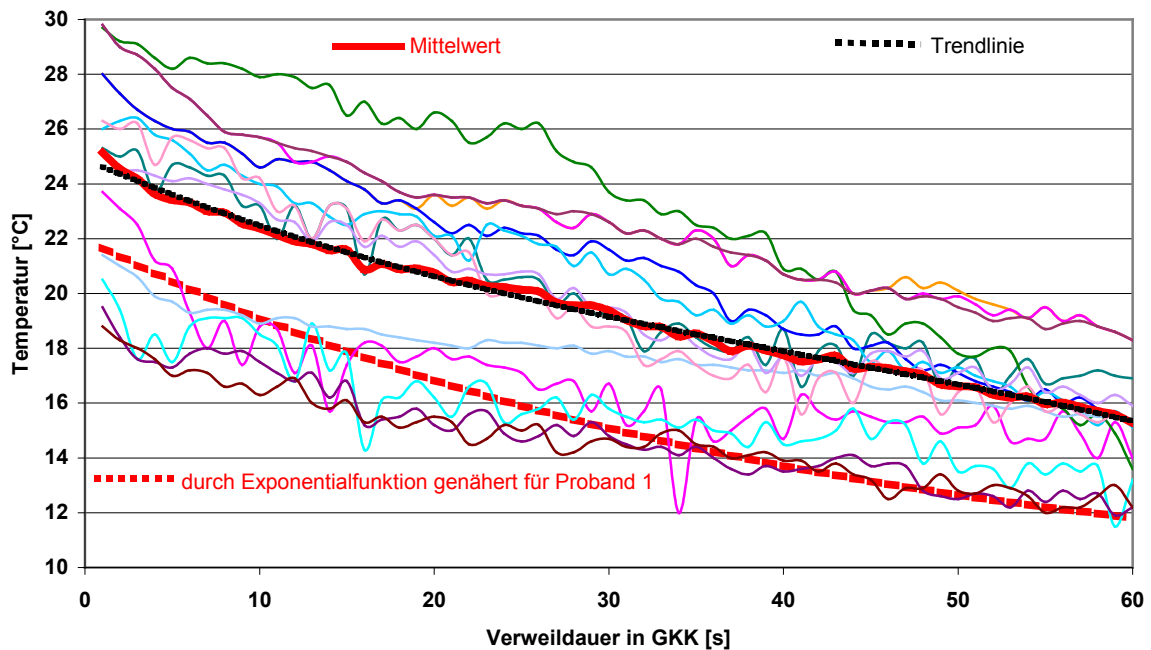


Abb. 22: Abkühlphase Meßposition Kinn für alle Probanden in der GKK

Für die Messposition Kinn wird die Temperaturabsenkung im Trend noch deutlicher mit etwa 8°C.

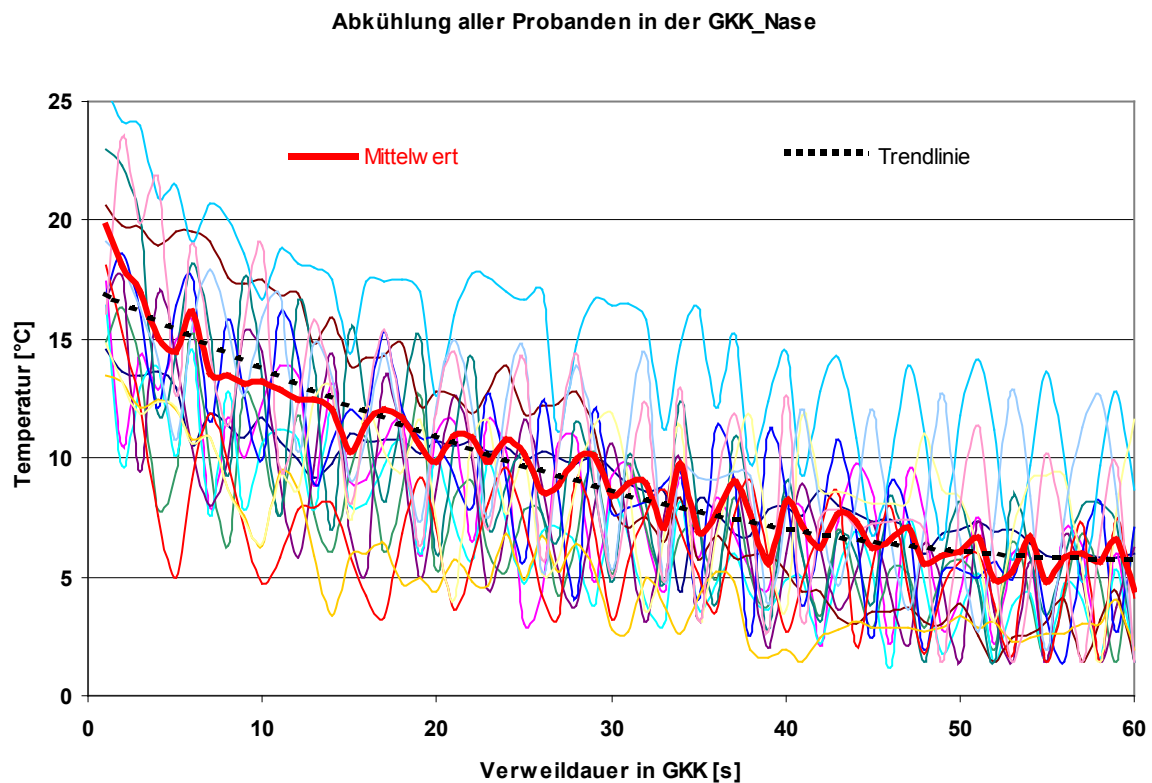


Abb. 23: Abkühlphase Messposition Nase für alle Probanden in der GKK

Am deutlichsten verläuft die Temperaturabsenkung während der 60s Kälteexposition im Trend für die Messposition Nase. Hierfür sind ca. 11°C ermittelt worden.

In der Abb. 24 sind die Ergebnisse übersichtshalber für alle 4 Messpositionen nochmals zusammengefasst dargestellt.

Abkühlphase aller Probanden in der GKK_Augenhöhle, Stirn, Kinn & Nase

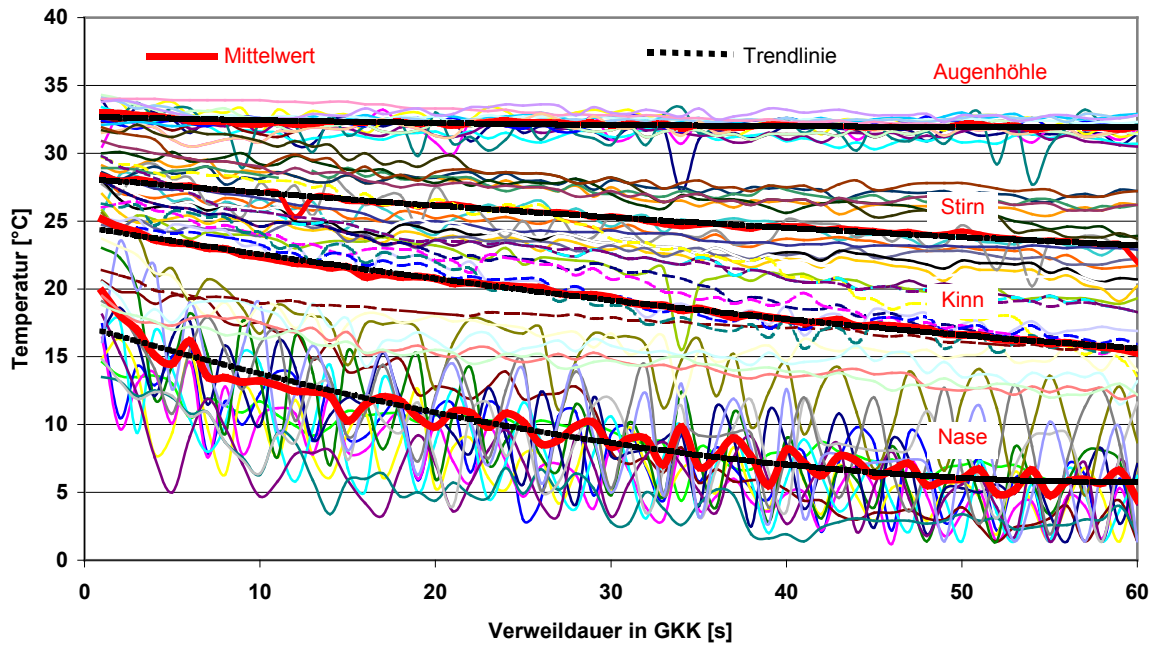


Abb. 24: Abkühlphasen alle Messpositionen (Augenhöhle, Stirn, Kinn, Nase) in der GKK für alle Probanden

Trendkurven für die Abkühlung in der GKK_Nase_ alle Probanden

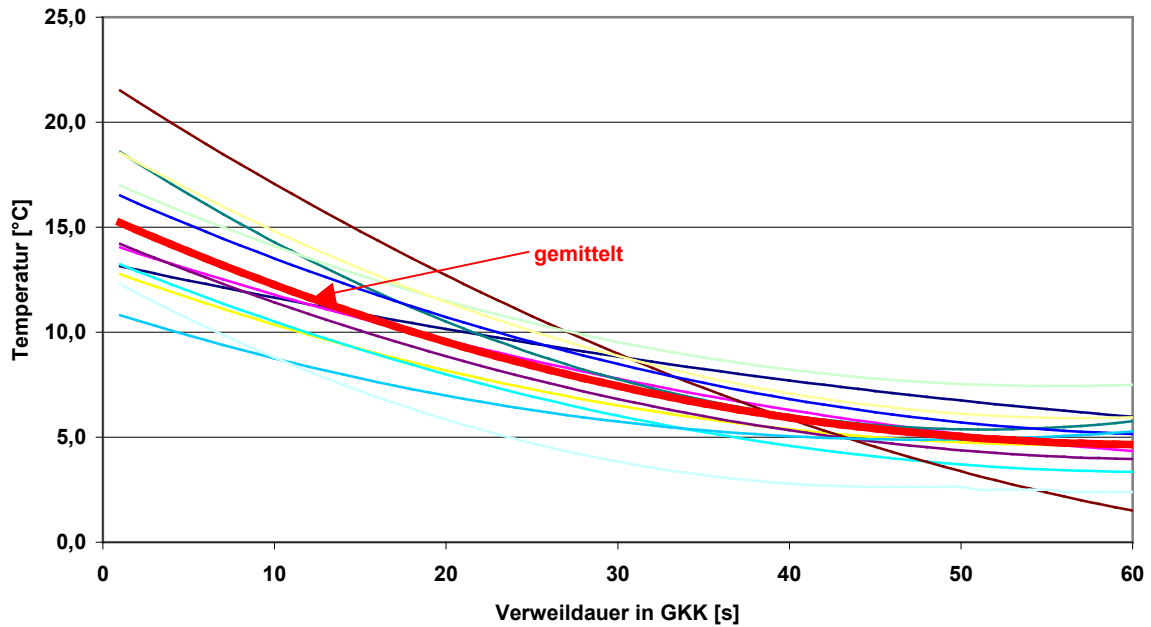


Abb. 25: Trendkurven für Abkühlphasen in der GKK (Nase; alle Probanden)

Wie aus Abbildung 23 ersichtlich ist, resultiert die Trendkurve für die Nase aus sehr stark streuenden Einzelmessungen (die Temperatur der Messposition Nase ändert sich häufig zyklisch durch die Atemfunktion). Aus diesem Grund wurden zunächst von Einzelmessungen Trendkurven gebildet und dann aus der Vielzahl der einzelnen Trendkurven die mittlere Trendkurve ermittelt.

Als Ergebnis kann man feststellen, dass die gemittelte Trendkurve und die Trendkurve aus Abb. 23 (Nase) etwa gleich sind. Dies bestätigt, dass die Trendkurvenbildung aus stark streuenden Einzelkurven brauchbare Ergebnisse bringt.

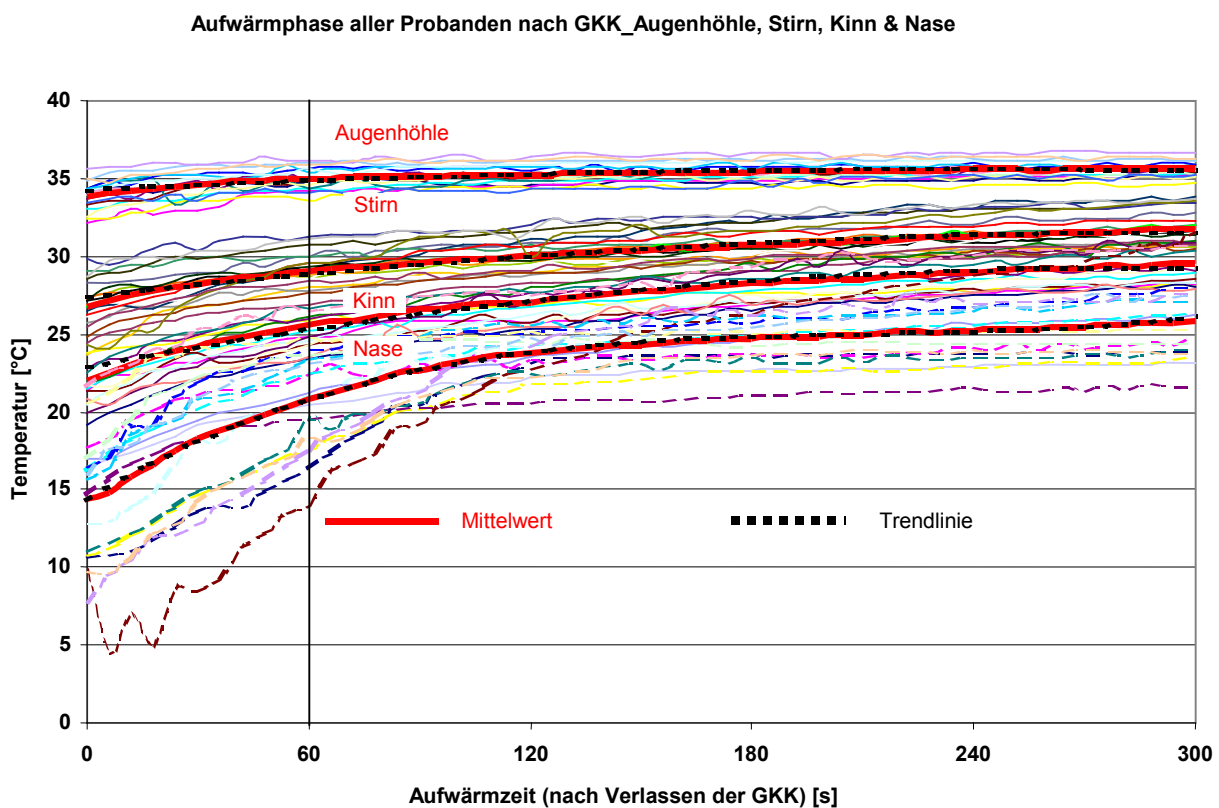


Abb. 26: Wiedererwärmungsphase nach GKK (alle Probanden; Augenhöhle, Stirn, Kinn, Nase)

Die Indizes für die nachfolgenden Temperaturen T_{index} [°C] bezeichnen:

T_t : Tympanaltemperatur; T_v : Temperatur für die jeweilige Messposition vor GKK; T_i : Temperatur für die jeweilige Messposition in GKK; T_n : Temperatur für die jeweilige Messposition nach GKK.

Im Folgenden sollen die einzelnen anatomischen Regionen getrennt in ihren wichtigsten Reaktionseigenschaften beschrieben werden:

Augenhöhle:

- die mit der IR-Kamera gemessenen Temperaturen (vor GKK) sind gegenüber den tympanal gemessenen Temperaturen nur gering unterschiedlich: Mittelwert der Abweichungen $\mu = 0,84^{\circ}\text{C}$; Standardabweichung $\sigma = \pm 0,10^{\circ}\text{C}$; $(T_t - T_v)$
- nach einer Verweildauer von 60s in der GKK senkt sich die Temperatur im Mittel nur um $4,22 \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ ab; $(T_v - T_i)$

Die Ausgangstemperatur vor der GKK - Anwendung wird nach Verlassen der GKK nach einer Aufwärmphase von 5 Minuten annähernd erreicht. Im Mittel ist die Temperatur dann nur noch $0,52 \pm 0,06^{\circ}\text{C}$ geringer als vor der GKK – Anwendung; $(T_v - T_n)$.

Stirn:

- die mit der IR-Kamera gemessenen Temperaturen (vor GKK) sind gegenüber den tympanal gemessenen Temperaturen deutlicher unterschiedlich: Mittelwert der Abweichung $\mu = 2,58^{\circ}\text{C}$; Standardabweichung $\sigma = \pm 0,19^{\circ}\text{C}$; $(T_t - T_v)$
- nach einer Verweildauer von 60s in der GKK senkt sich die Temperatur im Mittel um $10,91 \pm 0,60^{\circ}\text{C}$ ab; $(T_v - T_i)$

nach Verlassen der GKK, nach einer Aufwärmphase von 5 Minuten, bleibt die Temperatur im Mittel um $2,60 \pm 0,16^{\circ}\text{C}$ geringer als vor der GKK – Anwendung; $(T_v - T_n)$.

Kinn und Nase:

- Gegenüber den tympanal gemessenen Temperaturen sind die mit der IR-Kamera gemessenen Temperaturen (vor GKK) in folgender Weise abweichend:
Kinn: Mittelwert der Abweichung $\mu = 3,67^{\circ}\text{C}$; Standardabweichung $\sigma = \pm 0,27^{\circ}\text{C}$; $(T_t - T_v)$
Nase: Mittelwert der Abweichung $\mu = 7,81^{\circ}\text{C}$; Standardabweichung $\sigma = \pm 0,68^{\circ}\text{C}$; $(T_t - T_v)$
- nach einer Verweildauer von 60s in der GKK senken sich die Temperaturen im Mittel um $18,27 \pm 0,50^{\circ}\text{C}$ ab; $(T_v - T_i)$ für das Kinn und für die Nase um $27,30 \pm 0,88^{\circ}\text{C}$ ab; $(T_v - T_i)$

Nach Verlassen der GKK und einer Aufwärmphase von 5 Minuten, bleiben die Temperaturen für das Kinn im Mittel um $3,79 \pm 0,34^\circ\text{C}$ und für die Nase im Mittel um $3,28 \pm 0,65^\circ\text{C}$ geringer als vor der GKK – Anwendung; ($T_v - T_n$).

Die ermittelte geringere Abweichung ($T_v - T_n$) für die Nase gegenüber dem Kinn resultiert daraus, dass bei zwei weiblichen Probandinnen die Temperatur T_n (nach GKK) um $2,4^\circ\text{C}$ bzw $0,30^\circ\text{C}$ höher war als T_v (vor GKK).

Wachsende Temperaturdifferenzen für die ausgewählten Messpositionen:

- die Differenzen zwischen den tympanal gemessenen Temperaturen und den Temperaturen für die Messpositionen vor GKK; ($T_t - T_v$) sind, jeweils im Mittel, ansteigend in der Folge:

Augenhöhle ($0,84 \pm 0,10^\circ\text{C}$)

Stirn ($2,58 \pm 0,19^\circ\text{C}$)

Kinn ($3,67 \pm 0,27^\circ\text{C}$)

Nase ($7,81 \pm 0,68^\circ\text{C}$)

Dies bedeutet, dass die Differenz zur Körperkerntemperatur vom Bereich Augenhöhlen über Stirn, Kinn und Nase zunehmend ist.

Wir wissen, dass die Augenhöhle zum Körperkern (Hirn) am nächsten ist. Der Körperkernabstand vergrößert sich in der Reihenfolge –Stirn, Kinn und Nase.

Diese Rangfolge findet sich auch für die Temperaturabsenkung nach 60s in der GKK; ($T_v - T_i$):

Augenhöhle ($4,22 \pm 0,12^\circ\text{C}$)

Stirn ($10,91 \pm 0,60^\circ\text{C}$)

Kinn ($18,27 \pm 0,50^\circ\text{C}$)

Nase ($27,3 \pm 0,88^\circ\text{C}$)

Während des Aufenthaltes in der GKK ändern sich die Temperaturen für die Messpositionen, gemittelt über alle 17 Probanden, folgendermaßen (siehe Tabelle 7 und Abb. 27):

Messposition	Temperaturänderung [°C] in GKK		
	nach 10 s	nach 20 s	nach 60 s
Augenhöhle	0,8	0,8	1,2
Stirn	1	2	6,4
Kinn	1,8	4,2	9,8
Nase	3	7,4	13,3

Tab. 7: Temperaturänderung in der GKK

- nach Verlassen der GKK sind im Mittel die Temperaturen nach 5 Minuten Wiederaufwärmphase wie folgt noch geringer als vor der Abkühlphase in der GKK ; ($T_v - T_n$)

Augenhöhle ($0,52 \pm 0,06^\circ\text{C}$)

Stirn ($2,60 \pm 0,16^\circ\text{C}$)

Kinn ($3,79 \pm 0,34^\circ\text{C}$)

Nase ($3,28 \pm 0,65^\circ\text{C}$)

Für die Messposition Nase ist, wie bereits erwähnt, zu berücksichtigen, dass bei 2 weiblichen Probanden am Ende der 5-minütigen Aufwärmphase eine höhere Temperatur als vor der GKK-Anwendung gemessen wurde.

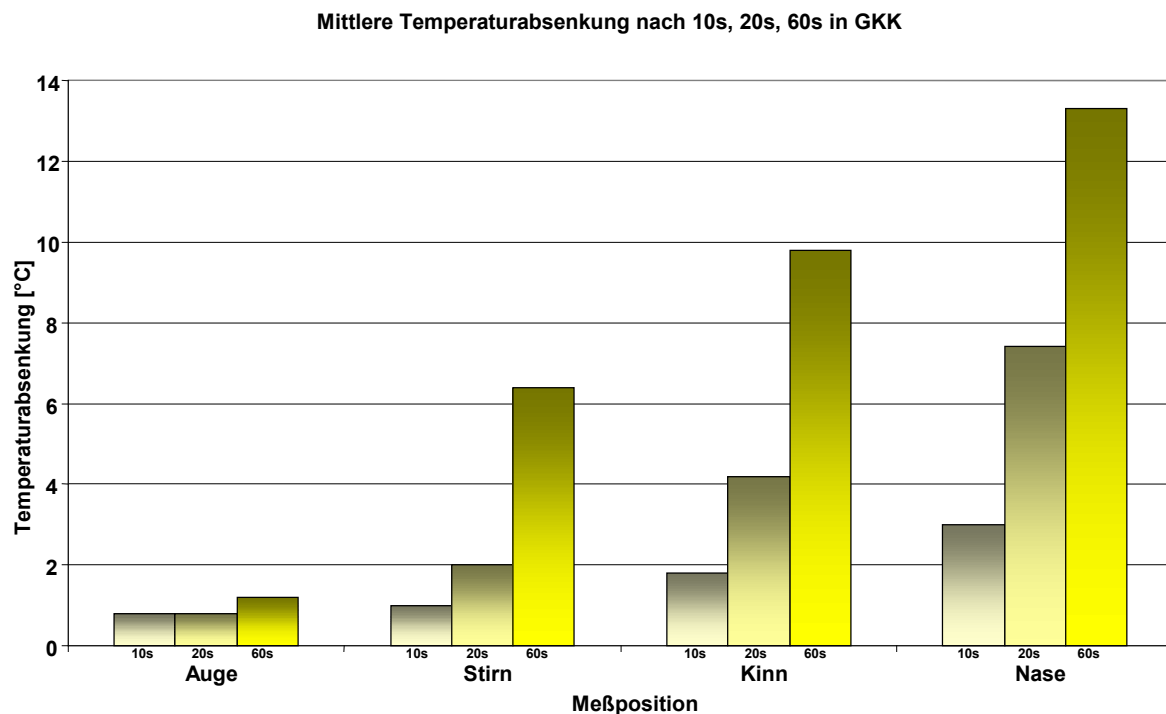


Abb. 27: Mittlere Temperaturabsenkung in der GKK (Augenhöhle, Stirn, Kinn, Nase)

4.3 Nachuntersuchungen/Befindlichkeitserhebungen

Nach Beendigung der Messzyklen wurde wieder eine Fragebogenerhebung durchgeführt. Hier wurden Befindlichkeitsparameter vor und nach der Kälteexposition erhoben zur Beurteilung der Wahrnehmung und der Verträglichkeit sowie eines möglichen Erfrischungseffektes des Kältereizes.

Zur nachfolgenden tabellarischen Übersicht des Befindlichkeitsbogens musste erklärt werden, dass die Fragen 1,3,4 und 6 qualitativ zu beantworten sind. Dabei bedeuten die Ziffer 1= gar nicht, 2-4 = mittel und 4-5 = sehr. Die Fragen 2, 7 und 8 waren Alternativfragen(ja/nein).

Bei der Frage Nummer 5 mussten vorgegebene Befindlichkeitsparameter nach Kältekammeranwendung direkt bewertet werden durch Ankreuzung. Es galt dabei, das Befinden nach der Kältekammeranwendung im Vergleich zu vorher zu bewerten mit den Kriterien „besser “(bes), „schlechter“ (schle), „unverändert“ (unv), „frischer“ (frisch), „körperlich unwohl“ (unwohl), „körperlich fitter“ (fitter), „erschöpft/müde“ (müde), „allgemein leistungsfähiger“(leistungsf), „fröhlicher/heiterer“(fröh/heit).

Probanden Nr.	Frage-Nr.							Bewertung zu Frage 5								
	1	3	4	6	2	7	8	bes	schle	unv	frisch	unwohl	fitter	müde	leistungsf	fröh/heit
1	1	1	3	2	n	n	j	x			x		x			
2/w	1	1	4	4	n	j	j	x			x					x
3	4	1	2	3	n	n	j	x			x		x		x	
4	2	4	3	4	n	j	j	x			x			x	x	
5	3	1	2	3	j	j	j			x						
6	2	2	2	1	n	n	j			x	x					
7/w	3	4	2	4	n	j	n			x						
8	2	1	3	3	n	j	j			x	4		2		2	
9	2	1	3	2	n	n	j	x			x		x			x
10	3	1	2	2	n	n	j	x			x					x
11	4	3	3	4	j	n	j			x						x
12/w	1	1	3	5	j	n	j			x						x
13	2	1	3	3	n	n	j	x			x		x			
14	4	1	5	4	j	j	j	x			x					x
15	3	1	3	1	n	n	j			x						
16/w	3	1	1	1	j	n	j	x			x		x		x	x
17/w	2	1	3	3	n	j	j	x			x				x	

Tab. 8: Ergebnisübersicht für die Impedanzmessungen (w=weibliche Probanden)

Zur Erläuterung der Fragenummerierung in der Tabelle 8 wird auf den Erhebungsbogen für die Befindlichkeit im Anhang verwiesen.

Die Befindlichkeit nach der Kältetherapie im Vergleich zu vorher(Frage 5) und eventuelle Beschwerden während oder nach der Kältetherapie (Frage 7) sollen hier noch diskutiert werden.

Nach der Kältetherapie fühlten sich 10 Probanden besser als vorher. Dabei wurde die Befindlichkeitsverbesserung 12-mal mit frischer, 6-mal mit körperlich fitter, 5-mal mit allgemein leistungsfähiger und 8-mal mit fröhlicher, heiterer bewertet.

Unveränderte Befindlichkeit nach Kältetherapie gaben 7 Probanden an, keiner der Probanden fühlte sich schlechter nach der Kälteexposition.

Beschwerden während oder nach der Kältetherapie wurden in 7 Fällen angegeben.

Diese waren Schüttelfrost, leichtes Schwindelgefühl (in 2 Fällen), Atemnot, taube Nasenspitze, Brennen bis Schmerzen in der Nase, Ohrenschmerzen sowie schlecht Luftbekommen nach GKK.

Auf die Frage, ob die Probanden freiwillig noch einmal in die Kältekammer gehen würden, antworteten 16 mit ja, einer mit nein.

4.4 Zusammenstellung der Ergebnisse

Zur besseren Übersicht werden zunächst nur die gefitteten Messkurven betrachtet. Zur Anpassung der Messdaten an ein theoretisches Modell (Newtonsches Abkühlungsgesetz; siehe 8.2) wurden Exponentialfunktionen des Typs

$$T = T_G - (T_G - T_0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ benutzt.}$$

Hier sind T_0 und T_G die Temperaturen zu Beginn bzw. Ende des Messprozesses, t die Messzeit und τ der Exponentialkoeffizient (Zeitkonstante), der den Verlauf annähert.

Dass dies die Übersichtlichkeit deutlich verbessert (ohne das Ergebnis zu verfälschen), wird hier am Beispiel für das Abkühlverhalten in der GKK von Proband 1 gezeigt (Abb. 28 bis 30).

Polynomische Trendkurven haben nämlich den Nachteil, dass sie für Messphasen, für die Messwerte fehlen, nicht anwendbar sind. Die Abkühlungs- sowie Wiedererwärmungsraten in und nach Ganzkörperkälteanwendung verlaufen tendenziell für alle Probanden gleich.

Abkühlphase in GKK Proband 1_gemessen zu gefittet

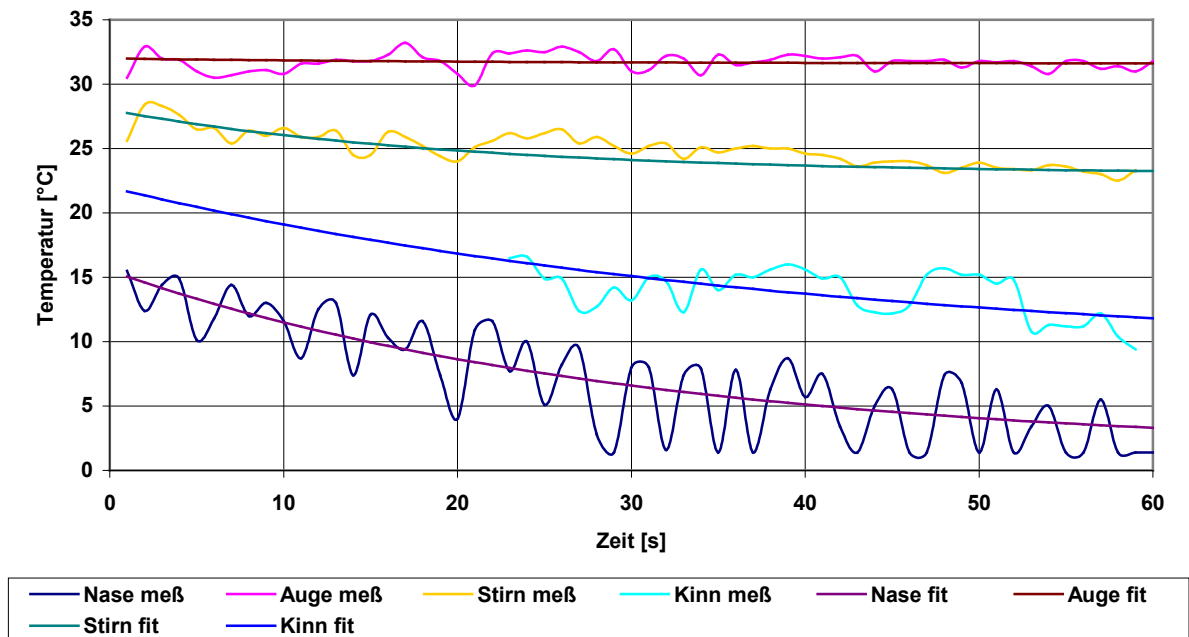


Abb. 28: Vergleich Messung/Fittung für Abkühlphase in GKK (Augenhöhle, Stirn, Kinn, Nase)

Temperaturabsenkung Kinn Proband 1_in GKK_gemessen zu gerechnet

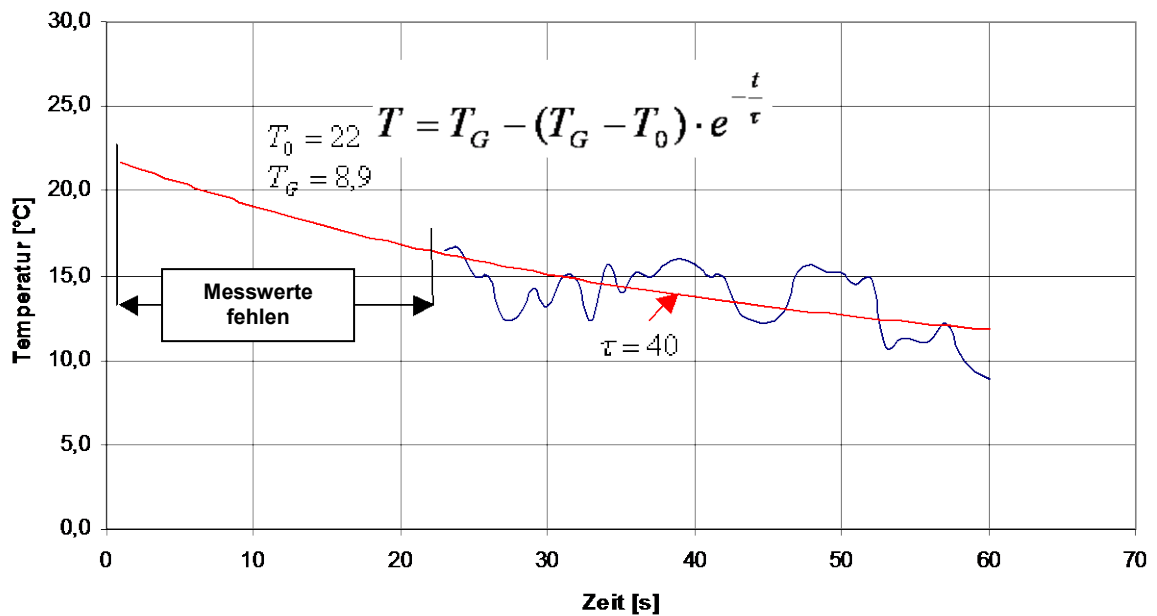


Abb. 29: Vergleich Messung/Fittung für Abkühlphase in GKK (Kinn, die erste Messphase nicht erfasst)

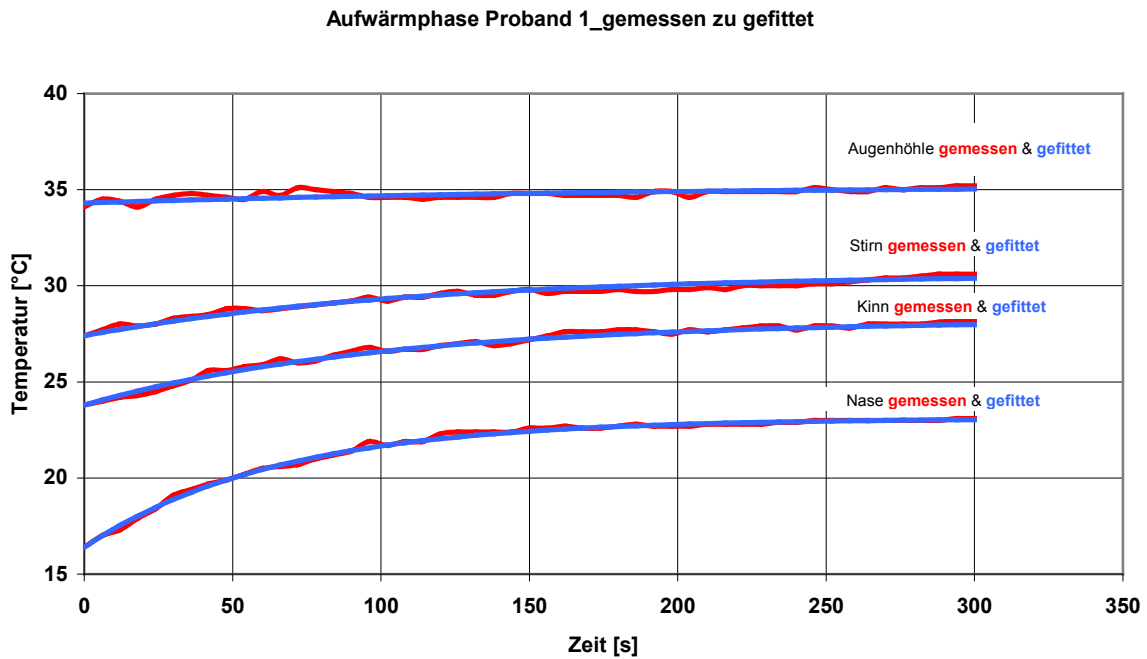


Abb. 30: Vergleich Messung/Fittung für Aufwärmphase nach GKK (Augenhöhle, Stirn, Kinn, Nase)

Für die vier Messpositionen im Gesicht ist die Abkühlrate abnehmend in der Reihenfolge Nase-Kinn-Stirn-Augenhöhle. Das physiologische Temperaturgefälle von Augenhöhle-Stirn-Kinn-Nase- bleibt auch nach Aufenthalt in der Kältekammer erhalten.

Die Auswertung der Temperaturdifferenzen zwischen den tympanal gemessenen Temperaturen und den Temperaturen für die 4 Messpositionen vor der GKK sind im Augenhöhlenbereich am geringsten und nehmen in der Reihenfolge Stirn, Kinn und Nase zu.

Die Auswertung der Temperaturänderungen aller Probanden in der Abkühlungsphase für die gewählten Messpositionen ergab folgendes charakteristisches Verhalten (siehe hierzu auch Abb. 27):

Die mittlere Augenhöhletemperatur sank während der 60s Aufenthaltsdauer in der GKK nur um ca. 1,2°C, für die Stirn wurde eine Absenkung um ca. 6,4°C, für das Kinn um ca.9,8°C gefunden. Die Nase ist ein Sonderfall, weil hier eine Mittelwertbildung als kritisch zu bewerten ist.

Proband 1_alle Meßpunkte & alle Phasen

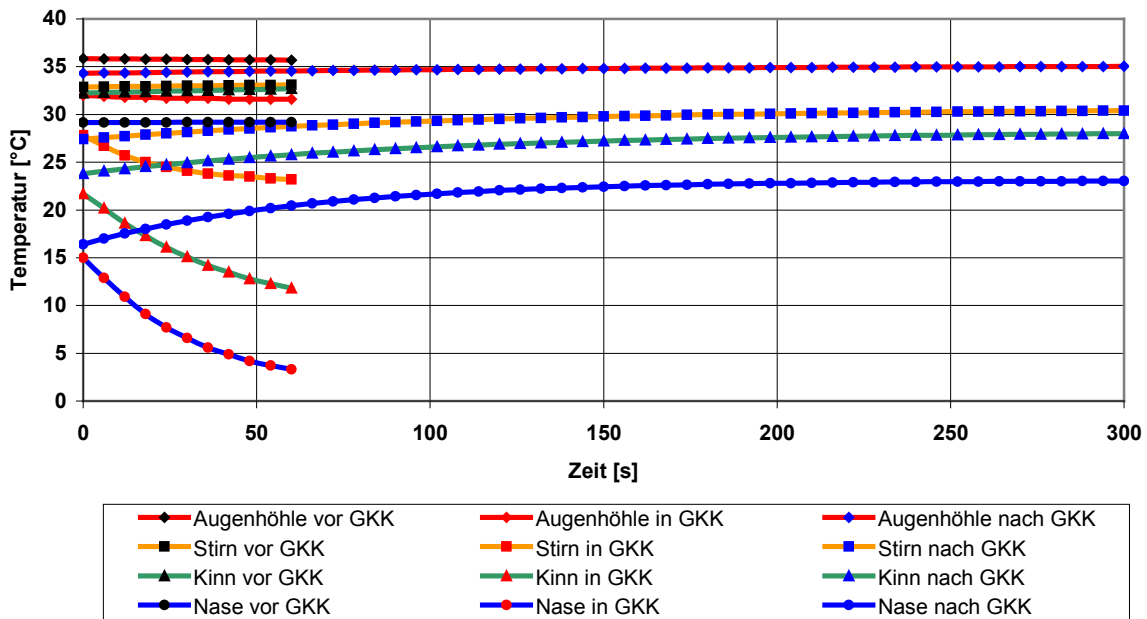


Abb. 31: Charakteristik der Abkühl- und Wiedererwärmungsphasen (Augenhöhle, Stirn, Kinn, Nase)

Der Grund dafür ist, dass der Atemvorgang der Probanden teilweise ständig als auch zeitweise mehr oder weniger über die Nase erfolgte und demzufolge die Temperaturänderung zyklisch stark oder weniger stark variierte. Es macht lediglich Sinn, den Abkühlvorgang der Nase mit Hilfe der Trendlinie für die Temperaturänderung in der GKK zu beschreiben. Dieser Wert ist ca. 10,9 °C.

Zu beachten ist ferner, dass der Abkühlvorgang schon eingeleitet wurde beim Durchgang von der normalen Umgebung in die 1. (-10°C) und 2. Vorkammer (-60°C) bis zur Therapiekammer. Diese Transferzeit bis zur Hauptkammer betrug probandenabhängig ca. 5-8 Sekunden und war mit körperlichen Aktivitäten verbunden (Öffnen und Schließen der Schleusentüren).

Da die Transferphase messtechnisch nicht erfasst werden konnte, beginnt die Temperaturmessung in der Kältekammer mit einem gewissen Versatz. Gleiches gilt auch für den Messbeginn der Wiedererwärmungsphase. Auch hier muss eine Transferzeit mit gleichen körperlichen Verrichtungen konstatiert werden mit versetzter Temperaturmessung (Latenzzeit).

Dieser Temperaturversatz in der Abkühlungsphase betrug, beispielhaft am Probanden 1, im Augenhöhlenbereich ca. 3,8°C, im Stirnbereich ca. 5,5°C, im Kinnbereich ca. 11,5°C und im Nasenbereich ca. 13,2°C (wobei hier, bei der Nase,

wieder die Differenz gegen die Trendkurve des Abkühlvorganges gebildet wurde) zwischen Normalumgebungstemperatur und Messbeginn in der Therapiekammer. Die Temperaturabsenkung nach 60s in der GKK ist also im Augenhöhlenbereich am geringsten, in der Reihenfolge Stirn, Kinn und Nase zunehmend.

Die Auswertung der Temperaturänderungen aller Probanden in der Wiedererwärmungsphase für die gewählten Messpositionen ergab folgendes charakteristisches Verhalten (siehe hierzu auch Abb. 26):

Die Augenhöhletemperatur stieg während der ersten 60s in der Wiedererwärmungsphase um ca. $1,1^{\circ}\text{C}$, die Stirntemperatur um ca. $1,7^{\circ}\text{C}$, die Kinn­temperatur um 3°C und die Nasentemperatur um ca. $6,5^{\circ}\text{C}$.

In den nachfolgenden 240s stieg im Mittel über alle Probanden die Augenhöhletemperatur nur noch um $0,6^{\circ}\text{C}$ an, die Stirntemperatur um $2,8^{\circ}\text{C}$, die Kinn­temperatur um $3,8^{\circ}\text{C}$ und die Nasentemperatur um 5°C an, bezogen auf die Temperaturen nach 60s Wiedererwärmung, so dass am Ende der 300s langen Aufwärmzeit nach Verlassen der GKK folgende mittlere Temperaturanstiege gemessen wurden:

- Augenhöhle : von $33,9^{\circ}\text{C}$ auf $35,6^{\circ}\text{C}$
- Stirn: von $27,3^{\circ}\text{C}$ auf $31,8^{\circ}\text{C}$
- Kinn: von $22,6^{\circ}\text{C}$ auf $29,4^{\circ}\text{C}$
- Nase: von $14,4^{\circ}\text{C}$ auf $25,9^{\circ}\text{C}$

Für den Temperaturversatz durch den Transferprozess zwischen Ende der Abkühlphase in der GKK bis zum Beginn der Messungen für die Wiedererwärmung nach GKK wurden, gemittelt über alle Probanden, folgende Werte ermittelt:

- Augenhöhle : $2,0^{\circ}\text{C}$
- Stirn : $4,1^{\circ}\text{C}$
- Kinn : $7,3^{\circ}\text{C}$
- Nase : $9,4^{\circ}\text{C}$

Zusammenstellung der Messdaten

Zunächst wurde ein Überblick in Form von Balkendiagrammen zusammengestellt (Abb. 32 bis 34):

Temperaturmesswerte der Probanden 1 bis 6_tympanal, vor GKK, in GKK & nach GKK

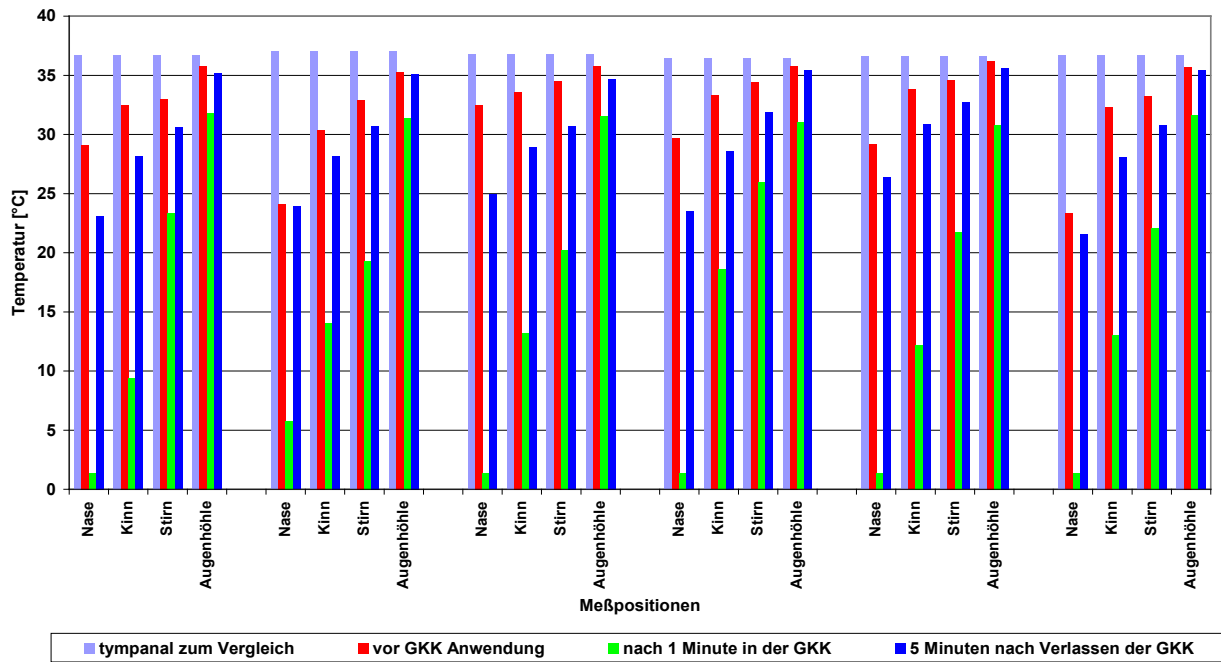


Abb. 32: Temperaturmesswerte für Probanden 1 bis 6 (tympanal nur 1x vor GKK Anwendung gemessen)

Temperaturmesswerte der Probanden 7 bis 12_tympanal, vor GKK, in GKK & nach GKK

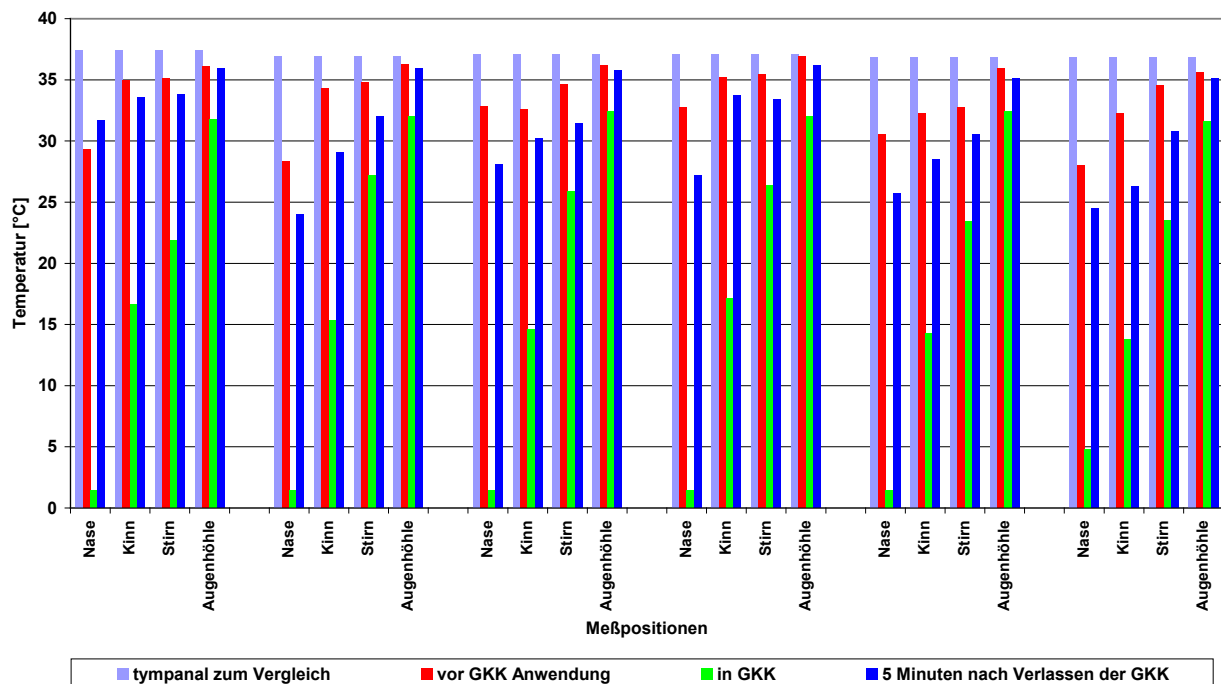


Abb.33: Temperaturmesswerte für Probanden 7 bis 12 (tympanal nur 1x vor GKK Anwendung gemessen)

Temperaturmeßwerte der Probanden 13 bis 17_tympantal, vor GKK, in GKK & nach

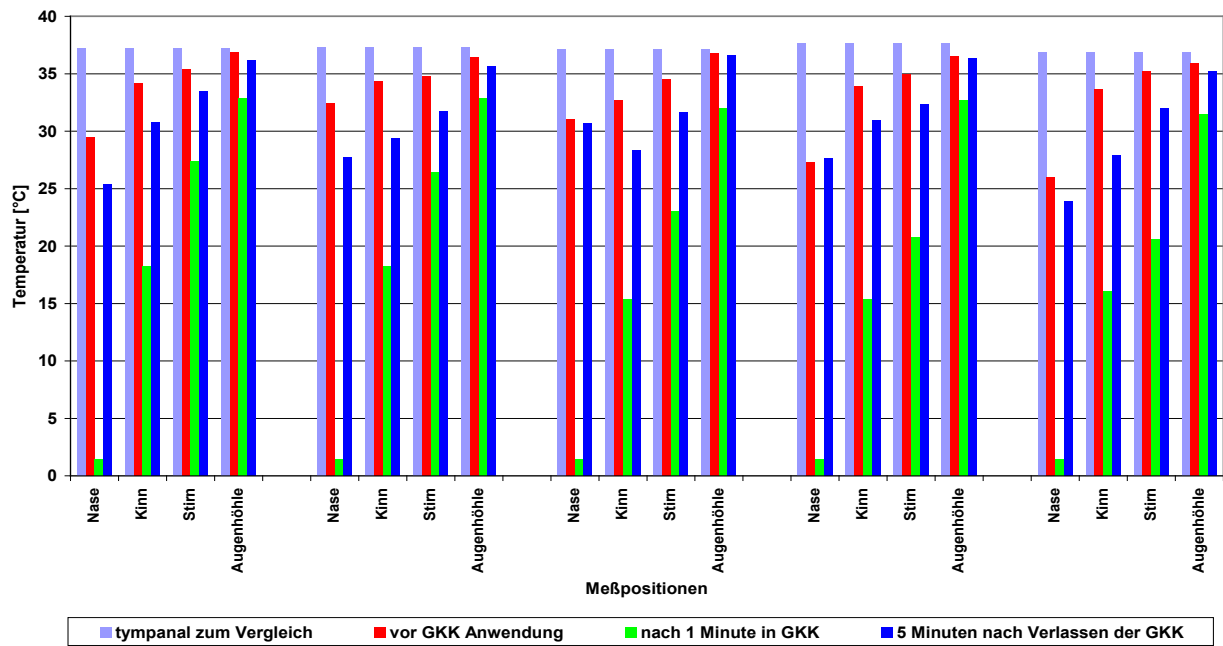


Abb. 34: Temperaturmesswerte für Probanden 13 bis 17 (tympantal nur 1x vor GKK Anwendung gemessen)

Für die 17 Probanden ergeben sich aus den Messungen folgende Übersichten:

1. Temperaturdifferenzen für alle Messpositionen vor GKK zu nach 300s Wiedererwärmung

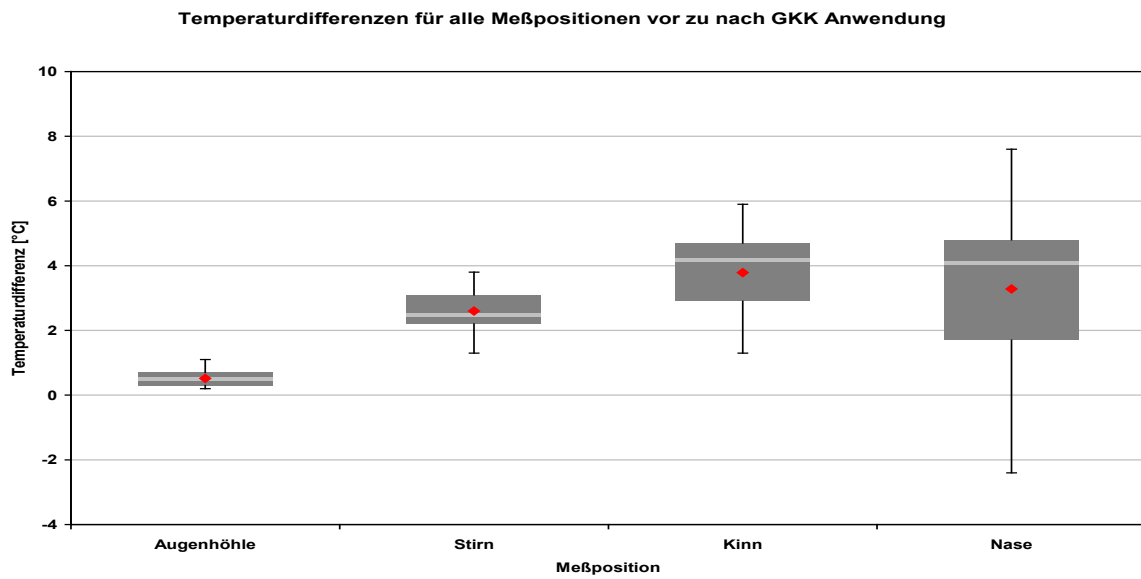


Abb. 35: Temperaturdifferenzen (alle Messpositionen vor GKK zu nach 300s Wiedererwärmung)

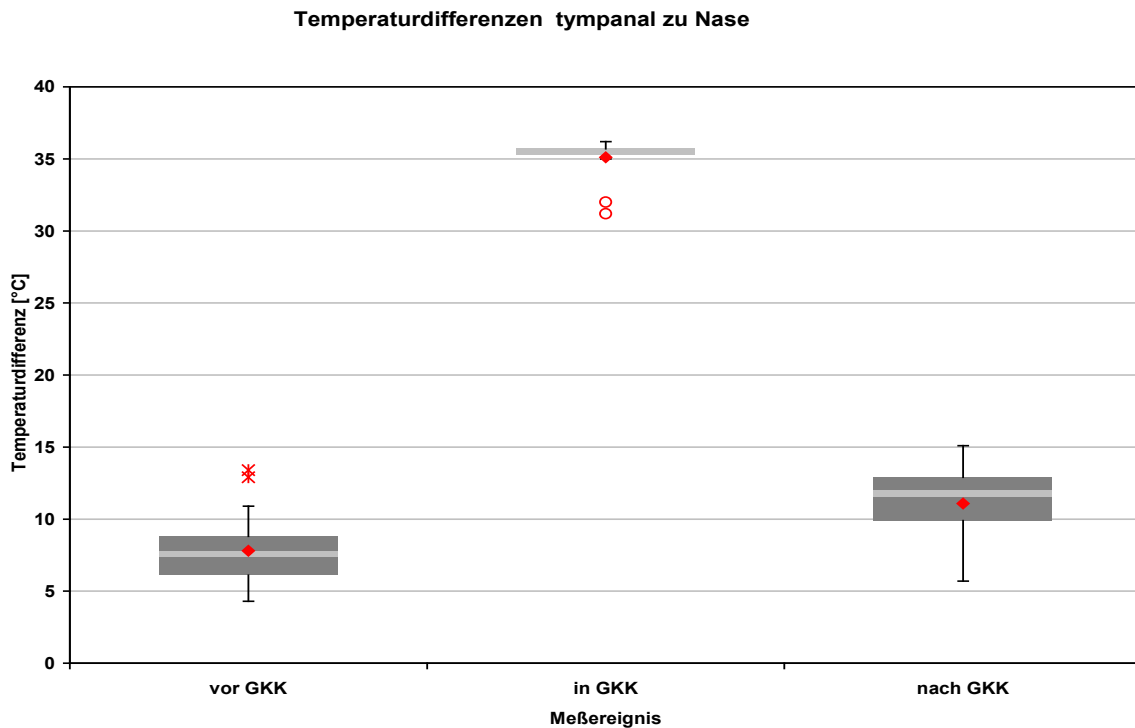


Abb. 36: Temperaturdifferenzen (tympanal zu Nase vor, in GKK nach 60s und nach 300s Wiedererwärmung)

Temperaturdifferenzen tympanal zu Kinn

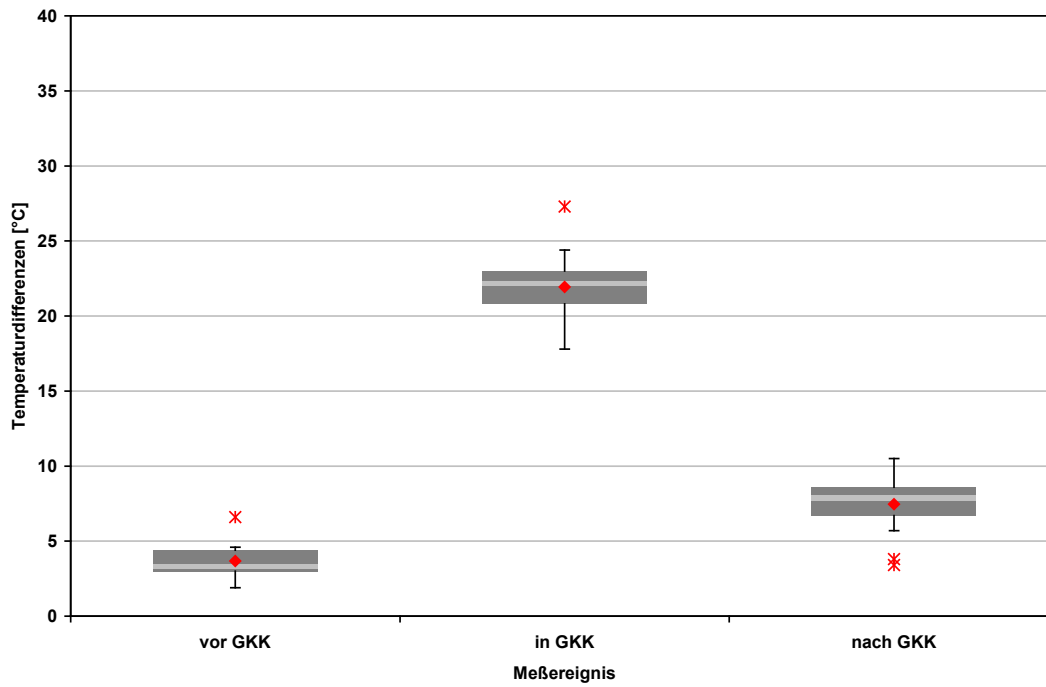


Abb. 37: Temperaturdifferenzen (tympanal zu Kinn vor, in GKK nach 60s und nach 300s Wiedererwärmung)

Temperaturdifferenzen tympanal zu Stirn

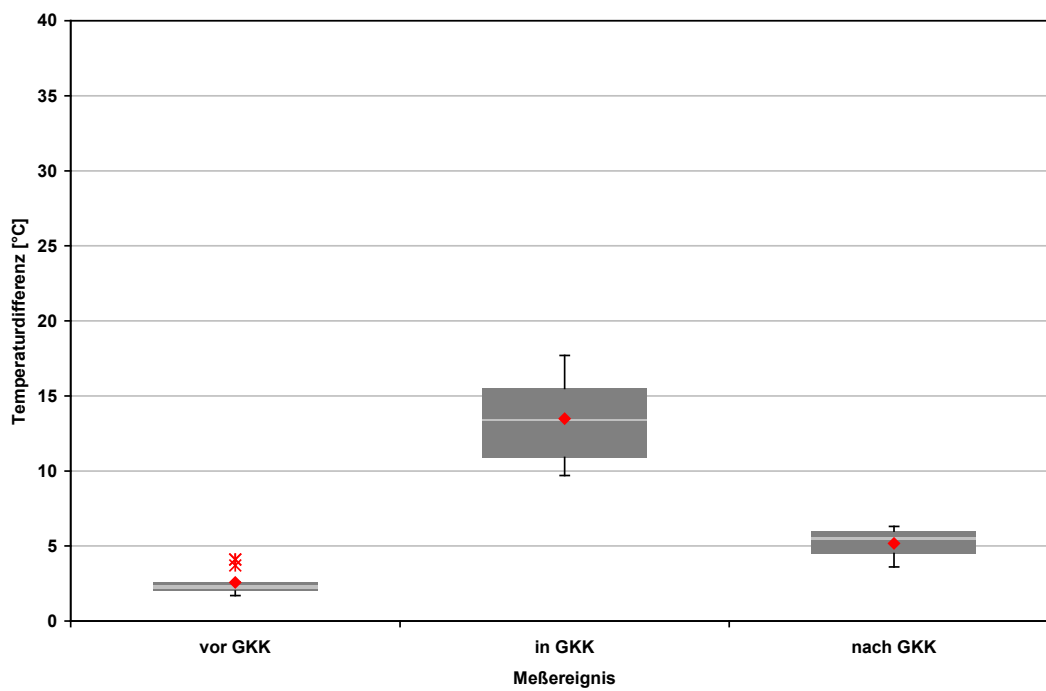


Abb. 38: Temperaturdifferenzen (tympanal zu Stirn vor, in GKK nach 60s und nach 300s Wiedererwärmung)

Temperaturdifferenzen tympanal zu Augenhöhle

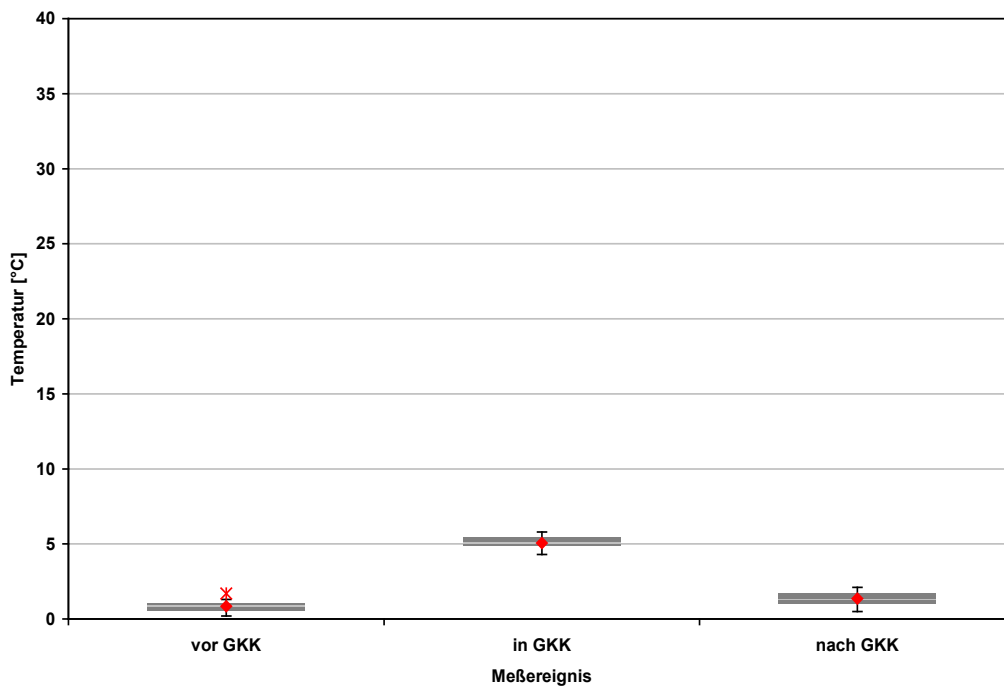


Abb. 39: Temperaturdifferenzen (tympanal zu Auge vor, in GKK nach 60s und nach 300s Wiedererwärmung)

2. Temperaturen tympanal für alle 17 Probanden

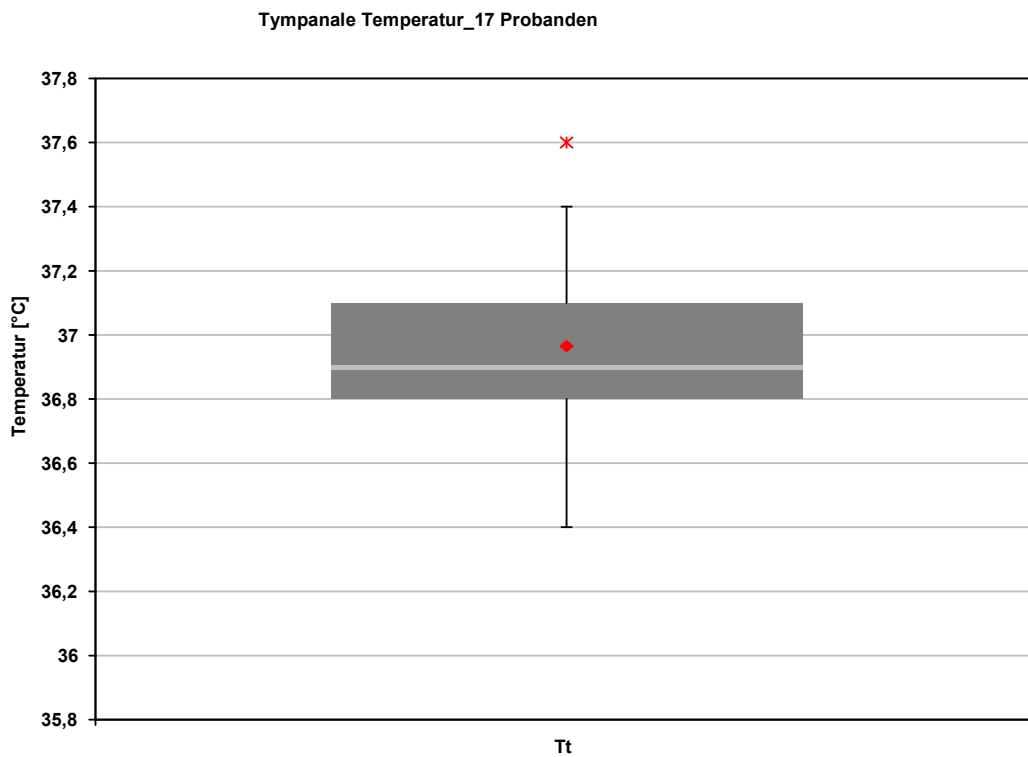


Abb. 40: Tympanale Temperaturen aller Probanden

3. Temperaturen für alle Messpositionen vor GKK, in GKK nach 60s und nach 300s Wiederaufwärmung

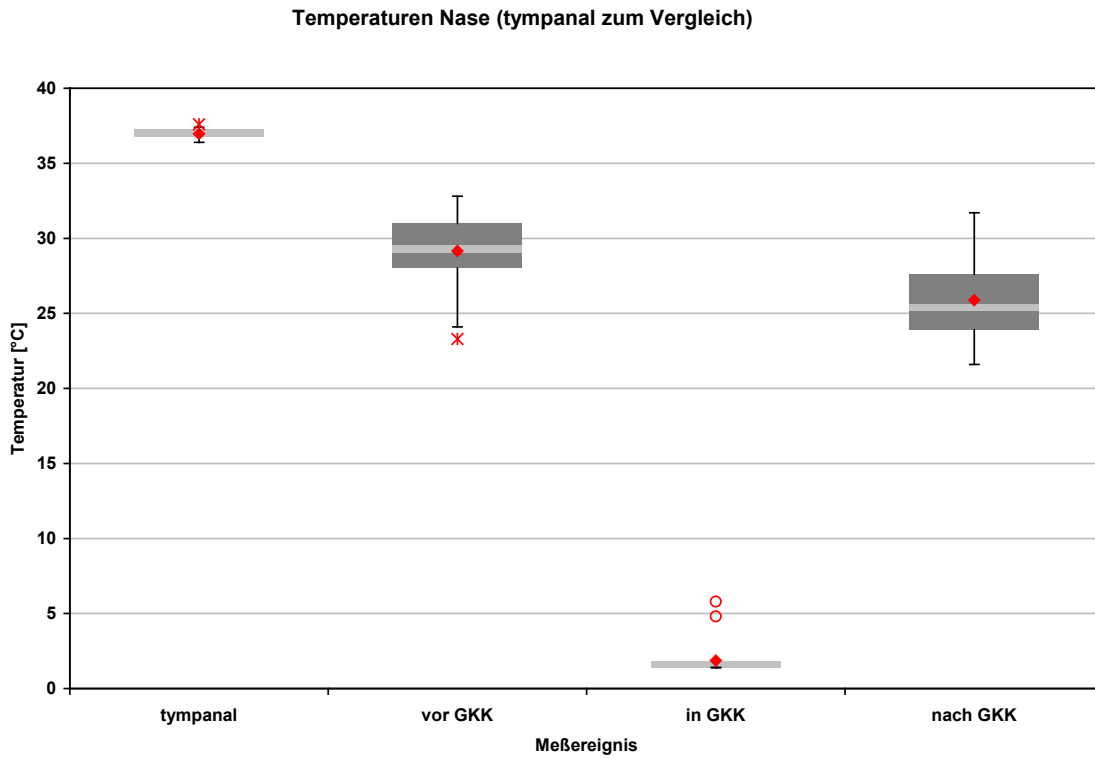


Abb. 41: Temperaturen (Nase vor GKK, in GKK nach 60s, nach 300s Wiedererwärmung)

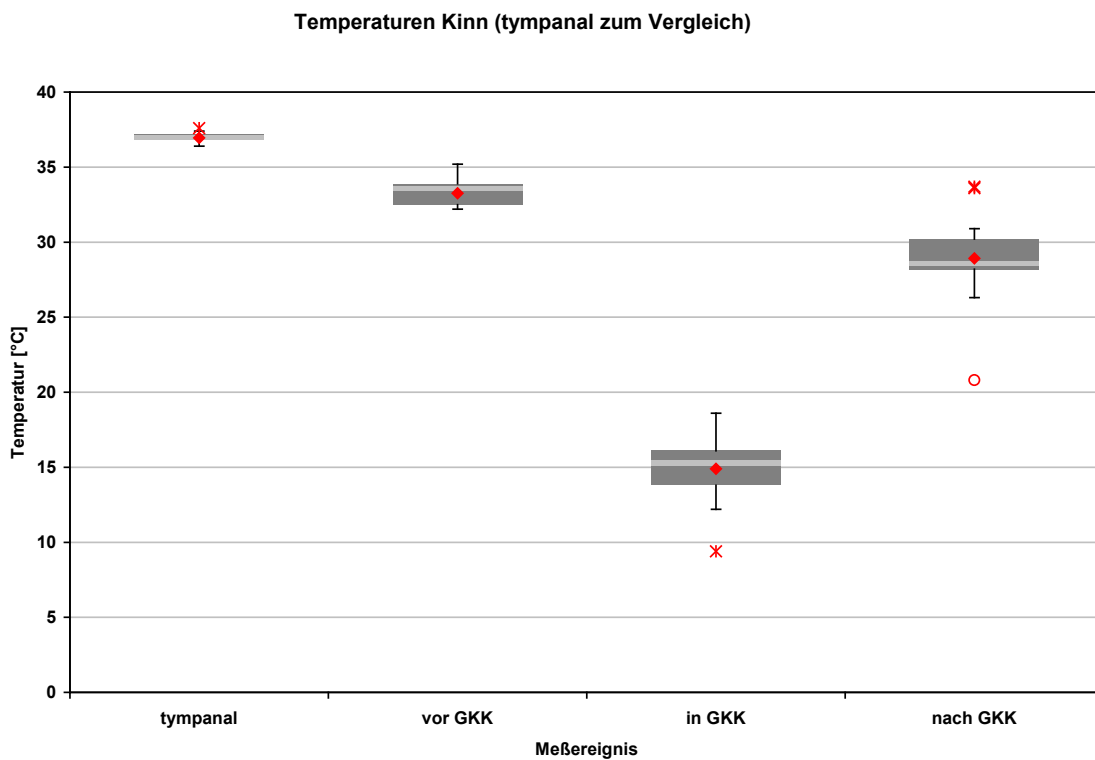


Abb. 42: Temperaturen (Kinn vor GKK, in GKK nach 60s, nach 300s Wiedererwärmung)

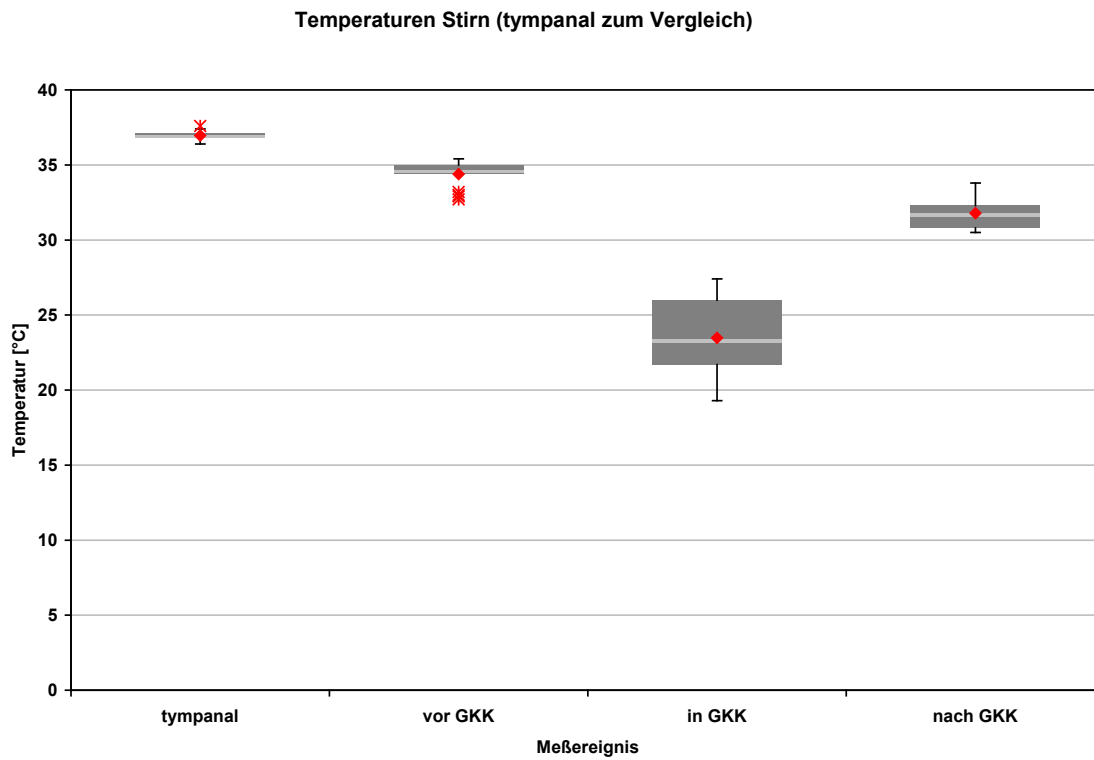


Abb. 43: Temperaturen (Stirn vor GKK, in GKK nach 60s, nach 300s Wiedererwärmung)

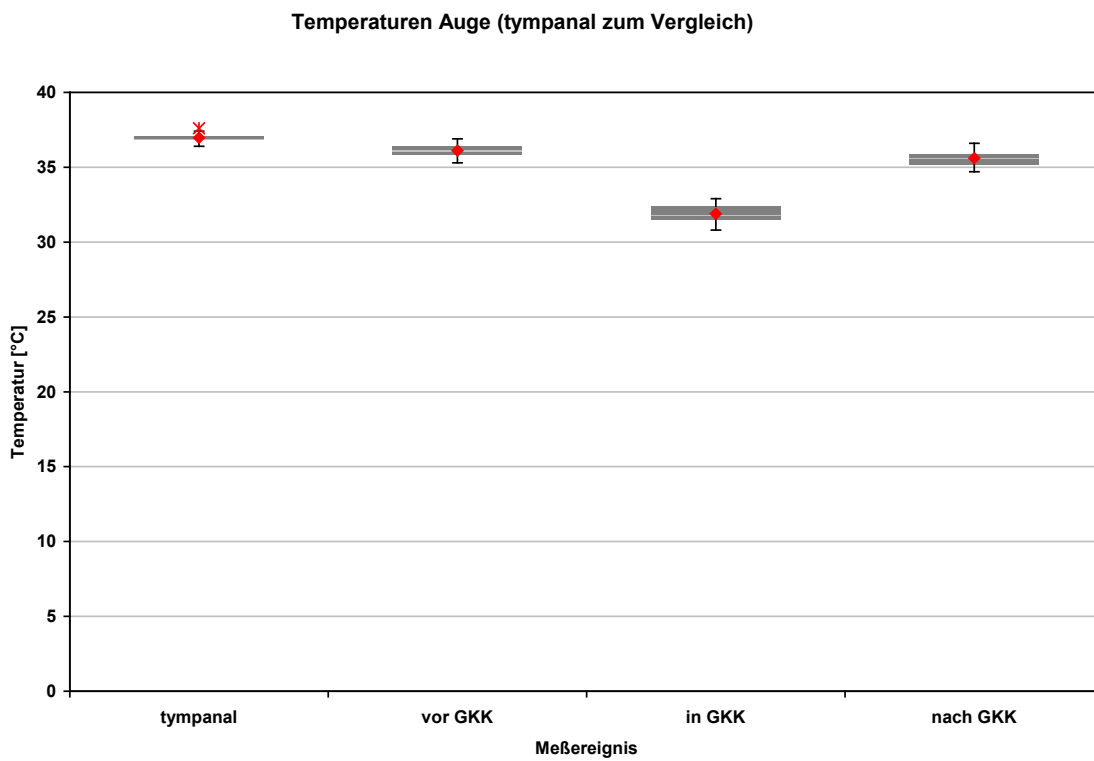


Abb. 44: Temperaturen (Auge vor GKK, in GKK nach 60s, nach 300s Wiedererwärmung)

4. Temperaturdifferenzen aller Messpositionen vor GKK zu in GKK nach 60s, nach 300s Wiederaufwärmung zu in GKK nach 60s und vor GKK zu nach 300s Wiederaufwärmung

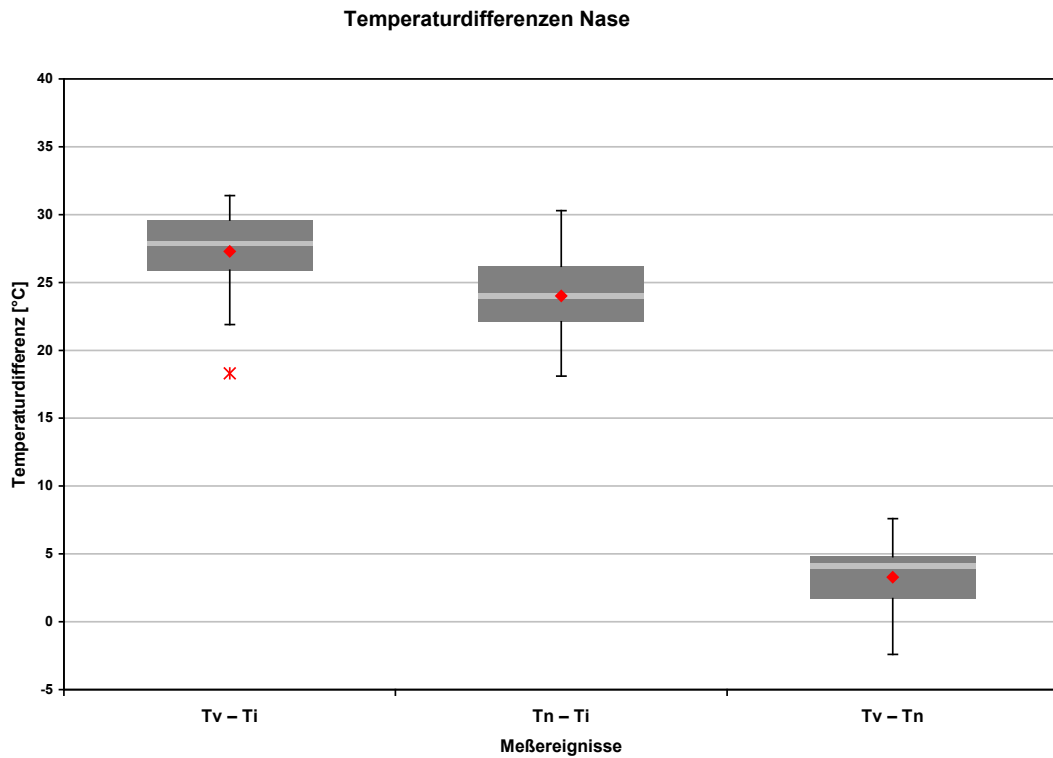


Abb. 45: Temperaturdifferenzen (Nase vor GKK zu in GKK nach 60s, nach 300s Wiederaufwärmung zu in GKK nach 60s und vor GKK zu nach 300s Wiederaufwärmung)

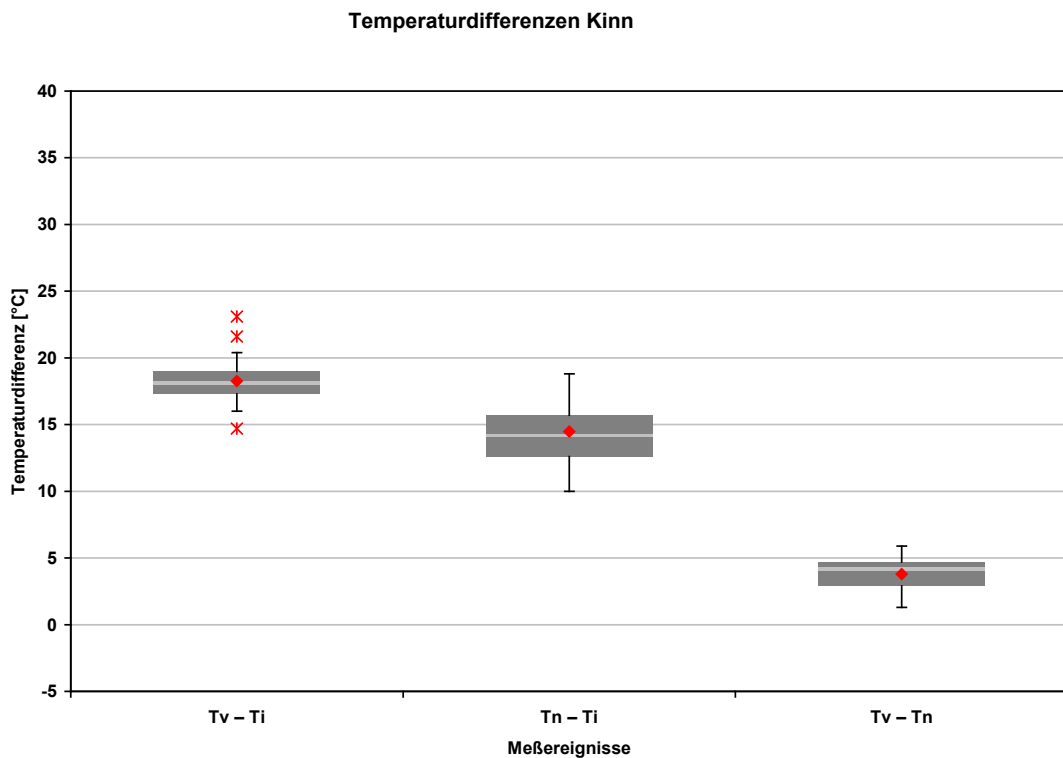


Abb. 46: Temperaturdifferenzen (Kinn vor GKK zu in GKK nach 60s, nach 300s Wiederaufwärmung zu in GKK nach 60s und vor GKK zu nach 300s Wiederaufwärmung)

Temperaturdifferenzen Stirn

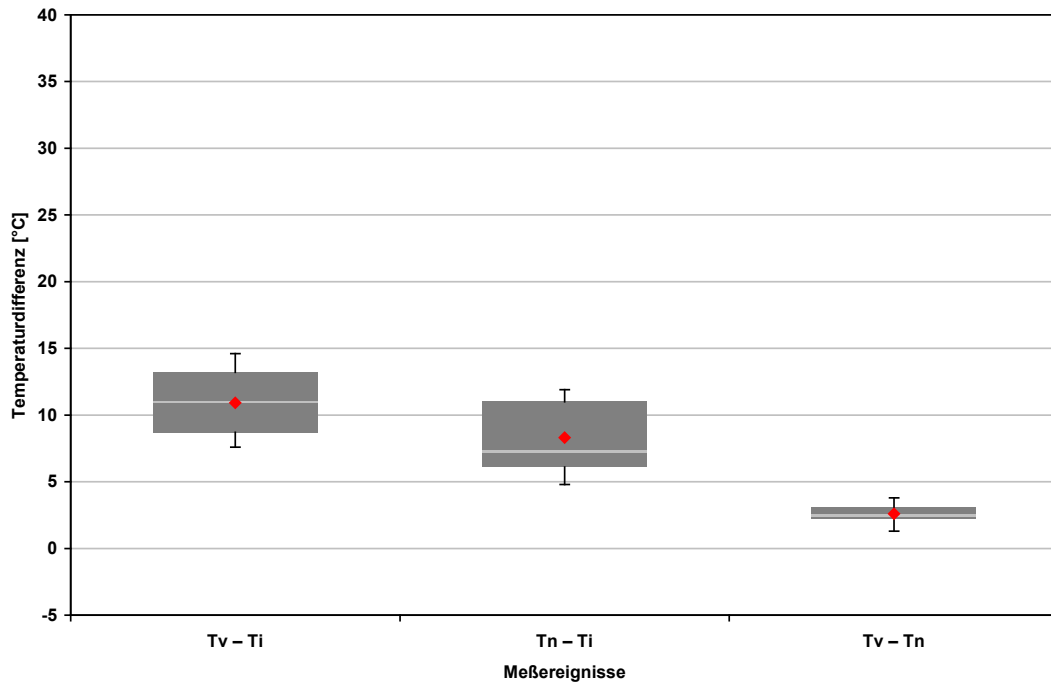


Abb. 47: Temperaturdifferenzen (Stirn vor GKK zu in GKK nach 60s, nach 300s Wiederaufwärmung zu in GKK nach 60s und vor GKK zu nach 300s Wiederaufwärmung)

Temperaturdifferenzen Auge

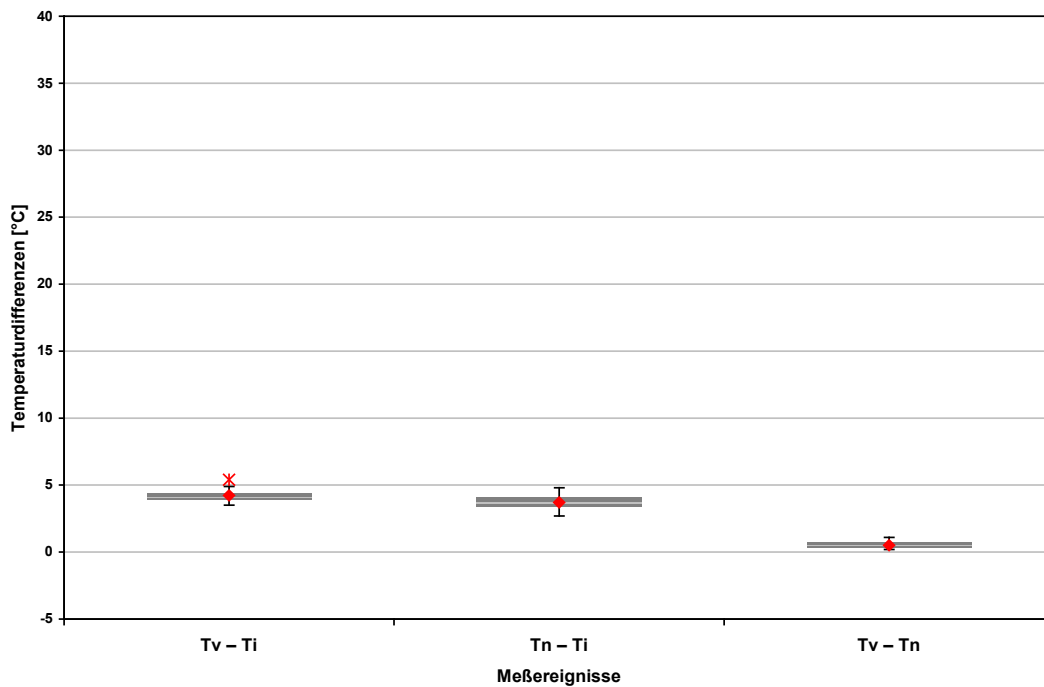


Abb. 48: Temperaturdifferenzen (Auge vor GKK zu in GKK nach 60s, nach 300s Wiederaufwärmung zu in GKK nach 60s und vor GKK zu nach 300s Wiederaufwärmung)

5. Diskussion

5.1 Zielstellung und Randbedingungen

Wie bereits dargelegt, soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur Physiologie der Thermoregulation während einer Ganzkörperkälteanwendung leisten.

In einer GKK sind, anders als unter normalen Umgebungsbedingungen, die konvektiven Anteile der thermischen Wechselwirkung dominierend. Bereits eine einfache Abschätzung zeigt, dass der konvektive Anteil der Wärmeverluste gegenüber den Leitungs- und Strahlungsanteilen in der GKK klar überwiegt. Das Minimum der Wärmeabgabe liegt bei etwa 32°C Umgebungstemperatur, weil für höhere Umgebungstemperaturen Konvektion und Abstrahlung zwar kleiner werden, die Verdunstung aber stark ansteigt. Und während der Strahlungsaustausch nackter Körper in normaler atmosphärischer Umgebung überwiegt, dominiert drastisch der konvektive Anteil der thermischen Wechselwirkung in der GKK. Dies wird im Anhang (siehe unter 8.3) an Hand einfacher Modellrechnungen detailliert aufgezeigt.

Für einen „Musterkörper“ (aufrecht stehender Zylinder mit Radius 0,5m und 2m Höhe, d.h. Anströmlänge) mit +30°C Oberflächentemperatur ergeben sich folgende Werte:

In „normaler“ Umgebung (+20°C) werden ca. 83,6 W/m² an die Umgebung abgegeben - mit einem Verhältnis Strahlung/Konvektion von etwa 2,4/1. In der GKK - Umgebung (-100°C) sind es ca. 1952,6 W/m², wobei nun aber die Konvektion dominiert, mit einem Verhältnis Strahlung/Konvektion von etwa 1/3,7.

Die konvektionelle Wärmeabgabe erfolgt in der Kammer über die den Körper umgebende extrem kalte Luft. Wie viel Wärme der Körperoberfläche in der Zeiteinheit entzogen wird, bestimmen die Strömungsgeschwindigkeit der ständig zugeführten Kaltluft und die Intensität der Eigenbewegungen der Probanden in der Kältekammer.

In obiger grober Abschätzung steigt anfangs der Wärmeverlust in der GKK gegenüber einer „normalen“ Umgebung etwa um den Faktor 23 (freie Konvektion), obwohl die Temperaturdifferenz zwischen Körperoberflächentemperatur und Umgebung sich nur um den Faktor 13 ändert. Selbst dann, wenn der nackte Körper relativ schnell seine mittlere Hauttemperatur als Reaktion auf die extrem kalte Umgebung „herunterfährt“ (für die Messposition „Kinn“ wurde als mittlere Temperatur aller 17 Probanden nach 60s in der GKK etwa 15°C ermittelt), werden im Modell noch ca. 1690 W/m² an die tiefkalte Umgebung abgeführt. In der Regel wird die kalte Luft in der GKK auch noch umgewälzt (erzwungene Konvektion im Gegenstrom mit

bis zu 0,6 m/s), so dass der Wärmeverlust in der GKK gegenüber einer „normalen“ Umgebung dadurch nochmals ansteigen würde (im Modell um ca. 27 W/m²; Details siehe unter 8.3).

Es ist also von fundamentaler Bedeutung, dass man die Abkühlraten von stark umströmten Körperteilen (das sind alle über die „Hüllkurve“ des Körpers herausragenden Körperteile, die zusätzlich noch relativ schwach thermisch leitend sind, wie z.B. Nase, Ohren, Finger, usw.) kennt, um daraus z.B. die max. zulässige Verweildauer der Probanden/Patienten in der GKK abzuleiten.

Vor Studienbeginn wurde bei jedem Probanden die tympanale Temperatur bestimmt. Die Tympanaltemperatur ist die im Gehörgang am Trommelfell gemessene Körpertemperatur. Diese ist als Körperkerntemperatur zulässig, da sie in der Nähe des Zentralnervensystems festgestellt wird.

Der Wärmehaushalt mit einer Tympanaltemperatur (mit der Körpertemperatur hier gleichzusetzen) zwischen 36,4°C und 37,4°C gilt als ausgeglichen.

Bei den Probanden lagen die Tympanaltemperaturen vor Studienbeginn im Bereich zwischen 36,4°C und 37,6°C. Im oberen Bereich bzw. oberhalb der Grenzwerte der tympanalen Temperaturen lagen zwei Probandinnen mit Temperaturen von 37,4°C und 37,6°C (siehe auch Abb. 19).

Bei Frauen mit intaktem Ovarialzyklus findet man unter dem Einfluss des Progesterons periodische Änderungen der Kerntemperatur um etwa +0,5°C in der ovulatorischen Phase sowie am Ende des Zyklus.

Die eine Probandin befand sich am 21. Tag des Menstruationszyklus, die andere am 10. Tag.

Zu berücksichtigen sind außerdem die Tagesschwankungen der Körpertemperatur, die typischerweise ein morgendliches Minimum und ein Maximum am Nachmittag aufweisen. Diese Tagesperiodik der Temperatur und die verschiedener anderer vegetativ gesteuerter Vorgänge, wie z.B. Pulsfrequenz, Blutdruck, Blutzuckergehalt und Erregbarkeit des Atemzentrums, beruhen auf einem wahrscheinlich angeborenen endogenem Rhythmus, der durch den Wechsel von Tag und Nacht synchronisiert wird.

Die Temperaturmessungen wurden am Nachmittag durchgeführt, so dass man generell von einem Tagesmaximum der Körperkerntemperatur ausgehen kann.

Die Temperatur des menschlichen Organismus ist jedoch nicht im ganzen Körper gleich. Das Temperaturfeld des Körpers im äußeren Bereich hat im Allgemeinen eine niedrigere, auch stärker schwankende Temperatur als der Körperkern, wie bereits schon ausführlicher unter 2.5 dargestellt (siehe Abb. 2). Die Temperatur in den Händen kann zudem bis auf 25°C absinken, die in den Unterschenkeln auf 30°C. Auch können die Oberflächen-, bzw. Hauttemperaturen noch unter diesen Werten liegen, abhängig von der Umgebungstemperatur und der Muskelaktivität. Im Inneren des Körpers, dem Körperkern, wird die Temperatur aber, wie schon mehrfach erwähnt, konstant gehalten.

5.2 Diskussion der Studienergebnisse

Für die Diskussion der Ergebnisse dieser Studie sollen hier zunächst die physiologischen Grundlagen der Thermoregulation kurz zusammengefasst dargestellt werden.

Die Aufgabe der Thermoregulation des menschlichen Organismus ist es, die Körperkerntemperatur zu kontrollieren und vor Auskühlung und Übererwärmung zu schützen, wobei verhältnismäßig ausgeprägte Temperaturunterschiede in der Körperschale zugelassen werden.

Für die Temperaturregulation werden im Thermoregulationszentrum die äußeren und inneren Signale gesammelt. Die Wärmeregulation wird dann aufgrund einer komplexen Bewertung in Gang gesetzt durch Kältezittern der Muskulatur, durch variable Durchblutung der Haut und durch Schweißproduktion.

Auf thermische Belastungen reagiert der menschliche Organismus mit Veränderungen der Hautdurchblutung.

Jeder Kaltreiz z.B. verursacht eine lokale Vasokonstriktion der Arterien, Kapillaren, arteriovenösen Anastomosen und oberflächlichen Venen. Es kommt zu Konstriktionen der Widerstands- und Kapazitätsgefäße der Haut sowie gleichzeitig zu einer Abnahme von Herzfrequenz und Herzzeitvolumen.

Starke Kaltreize können u.U. auch überschießende Blutdrucksteigerungen, z.B. bei kreislauf labilen Menschen auslösen. Dieses Verhalten wird diagnostisch beim „cold pressure test“ (Eintauchen einer Hand in Eiswasser und Messung des Blutdrucks) zur Prüfung der sympathischen Hautinnervation angewendet [SCHMIDT R.F., LANG F. (2007)].

In Bezug auf die vorliegende Studie bedeutet dies, dass unter dem Einfluss der Kälte die Thermorezeptoren der Haut (Kälterezeptoren) die Vasokonstriktion in den

Blutgefäßen der Haut einleiten. Als Folge davon werden der Blutstrom und der Wärmefluss zur Hautoberfläche vermindert.

Die in der Studie ermittelte mittlere Hautoberflächentemperatur des Gesichts (ermittelt aus den durchschnittlichen Hautoberflächentemperaturen der Messpositionen Nase, Kinn, Stirn und Augenhöhle) vor GKK betrug $33,2^{\circ}\text{C}$ und bestätigt damit den in der Literatur angegebenen Bereich von 33°C bis 34°C (Indifferenztemperatur für unbedeckten Menschen [THEWS G., VAUPEL P. (2000)]).

Selbst nach 300s Aufwärmphase (nach GKK-Anwendung) war noch eine mittlere Temperaturabsenkung im Gesichtsbereich von $2,5^{\circ}\text{C}$ gegenüber den Werten vor GKK feststellbar.

Die Verteilung der Kältsensoren der Haut ist nicht überall gleichmäßig. Die Extremitäten und andere exponierte Hautareale weisen nur wenige Thermosensoren auf, im Bereich mit wichtigen Körperfunktionen, wie Gesicht, Brust und andere körperkernnahe Hautareale, sind sie in Fülle vorhanden (siehe hierzu auch Abb.6 und Tab.1 aus Kap. 2.5).

Die Extremitäten und andere exponierte Hautareale (körperkernferne Hautareale) dienen der übergeordneten Regulation der Körperkerntemperatur [SCHMIDT R.F., LANG F. (2007)].

Grundlegende, bisherige Erkenntnisse bezüglich einer Hierarchie und Logik der Thermoregulation finden sich durch die Studie bestätigt:

Zunächst verringert sich der Blutstrom in den peripheren Bereichen, erst später verlagert sich die Vasokonstriktion zu den mehr zentralen Hautarealen.

Die Messungen waren explizit nur auf die Erfassung von Temperaturänderungen und Temperaturdifferenzen ausgewählter Messpositionen im Gesichtsbereich der Probanden ausgerichtet, um die Abkühlprozesse in der GKK bzw. die Wiedererwärmungsprozesse nach Verlassen der GKK zu qualifizieren/quantifizieren. Dazu sind die im Abschnitt 3.2.1 ausführlich beschriebenen Thermographie-Messsysteme genutzt worden. Der Messfehler beider Kamerasysteme im Vergleich zum Eichnormal von $+36^{\circ}\text{C}$ lag im Bereich $+0,3^{\circ}\text{C}$ bis $+0,6^{\circ}\text{C}$, dies wurde durch spezielle Kalibrierungen (siehe Abschnitte 3.2.2 und 3.2.3) ermittelt. Damit sind die verwendeten Temperaturmesssysteme ausreichend kalibriert.

Als Messpositionen wurden Nase, Kinn, Stirn und Augenhöhle gewählt. Diese Positionen konnten vom Gesichtsfeld der Thermographiekamera auch vollständig erfasst werden.

KÖCK führte in seiner Arbeit auch (an gesunden Probanden) berührungslose Temperaturmessungen bei -110°C über 200s durch, allerdings lediglich am Ellenbogengelenk (punktuell, keine bildhafte Messwerterfassung) und gibt, leider nur für die Aufenthaltsphase zwischen 20s und 200s, in der GKK Temperaturabsenkungen der Hauttemperatur von bis zu 22°C an: Im Mittel war die Temperatur nach 200s in der GKK auf $1,1^{\circ}\text{C}$ abgesunken [KÖCK R. (2000)].

Eine allgemeine Grunderkenntnis des Wärmehaushaltes ist, dass der menschliche Körper bei Kälteeinwirkung nicht nur die Wärmeproduktion zu erhöhen versucht, sondern auch die Wärmeabgabe zu minimieren. Die Extremitäten haben durch ihre große Oberfläche dazu eine wichtige thermische Regulationsfunktion. Bei Kälte wird die Durchblutung in der Peripherie reduziert. Es kommt reflektorisch zu einer Engstellung der peripheren Blutgefäße und zu einer Drosselung der Blutzufuhr und schließlich zur Verlangsamung bis zum Stillstand des ernährenden und erwärmenden Blutstroms. Die Haut und das Unterhautfettgewebe werden bei Kälte nur noch gering durchblutet und wirken dadurch als Isolatorschicht.

Für die akralen Regulationsprozesse ist in der Studie das Temperaturverhalten der Nase repräsentativ. Die Abkühlung der Messposition „Nase“ in der GKK nach 60s war dementsprechend am höchsten. Gemittelt über alle Probanden wurde eine Absenkung um $10,9^{\circ}\text{C}$ nach 60s Aufenthalt in der GKK festgestellt (abgeleitet aus der Trendlinie der Abb. 25). Zu berücksichtigen ist aber, dass der Abkühlungsprozess bereits mit Betreten der ersten Schleusenkammer der GKK begann. Insofern muss die resultierende Temperaturabsenkung aus der Differenz $T_v - T_i$ abgeleitet werden. Aus Tab. 6 folgt für die mittlere Nasentemperatur aller Probanden vor Betreten der GKK der Wert $29,1^{\circ}\text{C}$. Am Ende der 60s in der GKK kann aus der Trendlinie der Abb. 25 der Wert $4,8^{\circ}\text{C}$, im Mittel für alle Probanden, abgeleitet werden. Daraus resultiert eine mittlere Temperaturabsenkung von $24,3^{\circ}\text{C}$ nach 60s in der GKK im Vergleich zum Ausgangswert vor Betreten der GKK. Dies ist erheblich und weist darauf hin, dass für die ungeschützten akralen Bereiche ein Aufenthalt in der extrem kalten Umgebung länger als 1 Minute schon gefährlich ist. Dies wird auch durch die eher zufällige Beobachtung an Proband 4 zu Beginn der IR-Messungen in der

Wiederaufwärmphase gestützt: Obwohl nicht Auswerteposition, fiel die auf extrem kalte Temperaturen hinweisende Farbkodierung im Bereich der Ohren dieses Probanden auf. Die Auswertung dieser Position ergab einen Temperaturwert von $-3,5^{\circ}\text{C}$! (siehe Abb. 49). Die Einschätzung des Gefährdungsgrades ist diffizil. Folgende quantitative (und subjektive) Kriterien sind hilfreich:

Der Gefrierpunkt von Blut liegt leicht unter dem von Wasser, weil zwar hauptsächlich Wasser aber auch Elektrolyte der Zellen sowie extrazelluläre Flüssigkeit enthalten sind (in Lösung bzw. Suspension). Für die Gefrieretemperatur von Hautoberflächen wird ein Bereich von $-3,7^{\circ}\text{C}$ bis $-4,8^{\circ}\text{C}$ angegeben [DANIELSSON (1966), MOLNAR et al. (1973), WILSON et al. (1976)]. Empfohlen wird, die akralen Bereiche als „Warnsensoren“ zu nutzen und es werden 3 Kriterien empfohlen, für die entsprechende Temperaturen als untere Grenzwerte gelten:

15°C für die Schmerzschwelle [HAVENIT et al. (1992), GENG et al. (2001)]

7°C für das Taubheitsgefühl [PROVINS et al. (1960)]

0°C für Erfrierung (frostbite) [DANIELSSON (1996)]

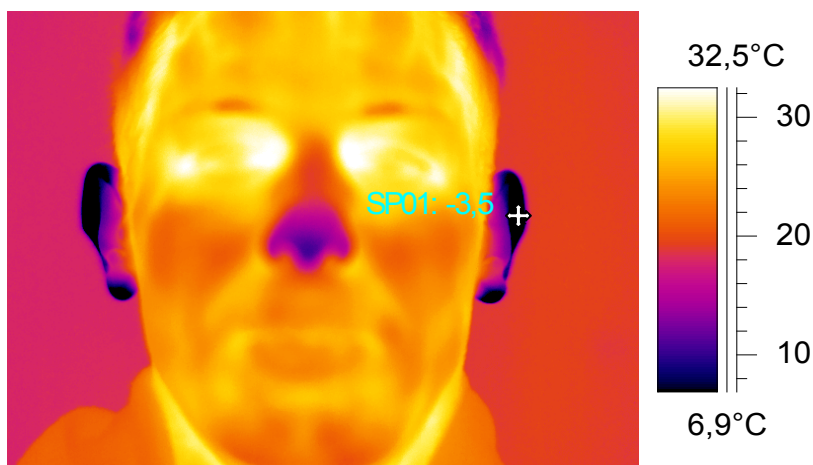


Abb. 49: Extreme Abkühlung Messposition Ohr

Die Temperaturabsenkung der übrigen Messpositionen in der Reihenfolge „Kinn“, „Stirn“ und „Auge“, wird gemäß der topographischen Anatomie zum Gehirn geringer. Das Gehirn hat offensichtlich ein herausragendes thermisches Regulationsvermögen. Deshalb schien uns auch der Gesichtsbereich des Kopfes besonders interessant und hier wiederum sowohl Positionen näher (Auge und Stirn) bzw. weiter (Nase und Kinn) am/vom Gehirn.

Obwohl das Hirn nur ca. 2% der Gesamtkörpermasse ausmacht, verbraucht es schon normalerweise ca. 20% des gesamt konsumierten Sauerstoffes

[SIESJO B. (1978)]. Bereits unter ruhenden Bedingungen liegt deshalb das Leistungsäquivalent für den Sauerstoffverbrauch von einzelnen zentralen Neuronen im Bereich zwischen 0,5 und 4 nW (Nanowatt). Das ist schon um Größenordnungen mehr als das, was „normale“ Körperzellen im Mittel verbrauchen (1,6 pW (Pikowatt)). Dass sich nun, wie gemessen wurde, die Temperatur der Messposition „Augenhöhle“ in der GKK nach 60s unter extrem kalter Umgebung (-110°C kalte vertikale Luftströmung mit 0,6 m/s) im Mittel der 17 Probanden nur um $4,22 \pm 0,12^\circ\text{C}$ abkühlt, hängt offensichtlich damit zusammen, dass das Gehirn als Reaktion auf äußeren Stress, resultierend aus verstärktem neuronalem Stoffwechsel und innercerebraler Wärmeproduktion, nochmals (als „Reserve“) bis zu 10 mal mehr Sauerstoff umsetzen kann als unter „Normalsituationen“. Diese Steigerung korrespondiert allerdings auch mit der metabolischen Wärmeproduktion des gesamten Körpers, die unter ruhigen Bedingungen ca. 1 W/kg und unter extremen Belastungen auf ca. 10 W/kg ansteigen kann. In solchen Fällen ist dann allerdings die „Kühlung“ des Gehirns durch den arteriellen Blutstrom fraglich, denn eine nur um 1°C höhere Bluttemperatur würde bei gleichem Stromvolumen ca. 45 W mehr zum Gehirn transportieren. Dass es unter diesen Umständen nicht zur „Überhitzung“ im Gehirn kommt, ist offensichtlich auf ein komplexes Thermoregulationsvermögen und ein entsprechend selektives Kühlvermögen des Gehirns zurückzuführen [MAGARIA R. u.a. (1963), SCHMIDT-NIELSSON K. (1997), DONALDSON G.C. u.a. (2003), RASCH W. u.a. (2005), KIYATKIN E.A. (2005)].

Während bei Überhitzung selektive Hirnkühlung bei Tieren als gesichert gilt, hat dieser Vorschlag bezüglich des menschlichen Organismus zu einer beträchtlichen Debatte geführt. Mehrere Autoren hatten anfangs die Idee der menschlichen SBC (**S**elective **B**rain **C**ooling) verworfen, weil der starke und beständige Blutfluß des Gehirns ausreichend sei, um das Gehirn unter allen Bedingungen zu kühlen [CABANAC M. (1993)].

Beim Menschen kommt der arterielle und venöse Blutfluss des Gehirns in einen engen Kontakt zu den Sinus cavernosus, welche das venöse Blut von der Haut des Gesichts und von der Nase und dem Mundbereich sammeln. Die inneren Karotisarterien sind, sobald die Arterie in den Schädel eintritt, mit dem venösen Netzwerk des Sinus caroticus umgeben, wodurch der Kontaktbereich zwischen arteriellem und venösem Blut verdreifacht wird [CABANAC M. (1993)].

Das venöse Blut aus der Kopfhaut, dem Gesicht und möglicherweise auch aus Mund und Nase, fließt über die emissary veins mit hoher Geschwindigkeit während der Hyperthermie (zu warm) zum Gehirn und in die entgegengesetzte Richtung während der Hypothermie (zu kalt) [CAPUTA M. u.a. (1978), HIRASHITA M. u.a. (1992), CABANAC M., BRINNEL H. (1985)].

DEKLUNDER u.a. [DEKLUNDER G. u.a. (1991)] haben diese Umkehr der Fließrichtung nicht beobachtet, zeigten aber, dass die Fließgeschwindigkeit in der Vena angularis oculi einwärts während Hyperthermie um das fünf- bis sechsfache erhöht wurde. Eine einfache Erhöhung der Venendurchmesser auf den 1,4-fachen Wert aufgrund erhöhten Venendrucks, ein durchaus möglicher/wahrscheinlicher Wert für die dünnwandigen Venen, würde eine weitere Verdoppelung des venösen Blutflusses zur Folge haben. So könnte die Strömungsrate bis zu 10-fach erhöht werden. Andere emissary veins im Kopfbereich tragen ebenfalls zu diesem Kühlfluß bei [BRINNEL H. u.a. (1987)].

Das Gehirn produziert in der Regel schätzungsweise ca. 20 W Wärme. Der arterielle Blutfluß mit etwa 5 l/min kann diese Wärme mit einer arterio-venösen Temperaturdifferenz von nur 0,5°C abführen. Sicherlich hat die selektive Hirnkühlung (SBC) also keine dominierende Rolle unter Normalbedingungen, wohl aber dann, wenn die Thermalkonditionen extrem werden. In der extrem kalten Umgebung der GKK wird auch ganz offensichtlich vorrangig der Bereich des Gehirns gegen Auskühlung geschützt (relativ geringe Abkühlung der Messposition Augenhöhle). Es erfolgt in dieser Situation offensichtlich eher eine selektive Hirnheizung (SBH), der Hirnbereich wird wiederum selektiv konditioniert. Deshalb sollte man mit SBC vielleicht besser die separate Thermalkonditionierung des Gehirns meinen (**Selective Brain Conditioning**).

Zur Tympanal –Temperatur

BENZINGER [BENZINGER T. H., TAYLOR G.W. (1963)] war der erste, der vorschlug, die tympanale Temperatur T_{ty} als beste Approximation für die Gehirntemperatur T_{brain} zu verwenden. Im Selbstversuch zeigte er, dass sich T_{ty} und die Temperatur im Sinus sphenoidalis, d. h. in der Mitte des Kopfes, unter Bedingungen von mäßigem Hitze-Stress und nach Eiseinnahme parallel entwickeln. Während der kalten Exposition war entweder T_{ty} leicht oder nicht beeinträchtigt und tendierte sogar dazu, leicht anzusteigen während der ersten Phase des Abfalls von

T_{skin} [BRINNEL H., CABANAC M. (1989)]. Während einer Eintauchphase in kaltes Wasser mit der Folge von Hypothermie auf 35°C und anschließender Wiedererwärmung folgte die tympanale Temperatur T_{ty} der Entwicklung der anderen Kerntemperaturen für fast 3 h und fiel nicht mehr als die Ösophagustemperatur T_{es} , obwohl die Kopftemperatur T_{skin} im hypothermischen Zustand wahrscheinlich ziemlich niedrig war [MECJAVIC I.B. u.a. (1992)]. Diese relativ starke Entkopplung der Skintemperatur von der Kerntemperatur wird durch die Messungen im Rahmen der Studie bestätigt. Die Registrierung von T_{ty} an komatösen Patienten im Bereich von 33°C bis 42°C haben bestätigt, dass die Rektaltemperatur T_{re} und die tympanale Temperatur T_{ty} in hypothermischen Patienten identisch waren [BRINNEL H., CABANAC M. (1987)]. In hyperthermischen Zuständen ist T_{ty} niedriger als T_{es} . Allerdings, dass T_{ty} in Ruhe höher ist als T_{es} , wird als Hauptkriterium für eine sichere Aufzeichnung der wahren tympanalen Temperatur im Ohrkanal in einiger Entfernung vom Trommelfell angenommen [BRINNEL H., CABANAC M. (1989)].

Zusammenfassend wurde gefunden:

T_{ty} ist geringer als andere Kerntemperaturen, wenn die Kopfhaut warm ist und gleich oder höher als diese, wenn die Kopfhaut kalt ist. Nur die SBC kann diese Widersprüche zur Kontaminations-Hypothese erklären. Da das Konzept der menschlichen SBC sich stark auf T_{ty} stützt, ist es wichtig, darauf zu vertrauen, dass T_{ty} eine echte/wahre Kerntemperatur ist. Dies ist für gesunde Probanden weitgehend gesichert.

Für bestimmte Erkrankungen gibt es Ausnahmen. So ist z.B. T_{ty} bei Kindern mit fieberhaftem Wasserkopf ca. $1,3^{\circ}\text{C}$ höher als bei gesunden Probanden mit Fieber [CHMIELOWA M. u.a. (1980)].

Die hier dargestellten Ergebnisse und ihre verfügbaren Daten sowie die Messergebnisse dieser Arbeit führen schließlich zu der Feststellung, dass Menschen aktiv das Gehirn sowohl vor Überhitzung während Hyperthermiephasen als auch vor Unterkühlung in Hypothermiephasen schützen können.

Die durchgeführten Messungen dienten nun vorrangig dazu, das Hauttemperatur-Abkühlverhalten von gesunden Probanden für ausgewählte Bereiche unter extremer Kälteexposition und ihre Wiedererwärmung nach Beendigung der Kälteexposition zu untersuchen. Die Ergebnisse sind auch Hinweise auf die optimale Aufenthaltsdauer in der GKK, so dass örtliche Kälteschädigungen an Nase, Ohren, Wangen, Fingern

und Zehen vermieden werden. Welche Gefahr für die akralen Bereiche Nase und Ohren schon nach 1 Minute in der GKK auftreten, konnte direkt durch Messwerte belegt werden. Demnach sollte eine Nasenatmung weitestgehend vermieden werden und die Ohren sind für Therapiezeiten länger als 1 Minute zu schützen. Aus der Trendlinie für das Kinn (siehe Abb. 50) kann grob abgeschätzt werden, dass eine Aufenthaltsdauer von bis zu 3 Minuten für nicht-akrale Bereiche ungefährlich sein sollte. Darüber hinausgehende Aufenthaltszeiten müssen im Einzelfall kritisch bewertet werden.

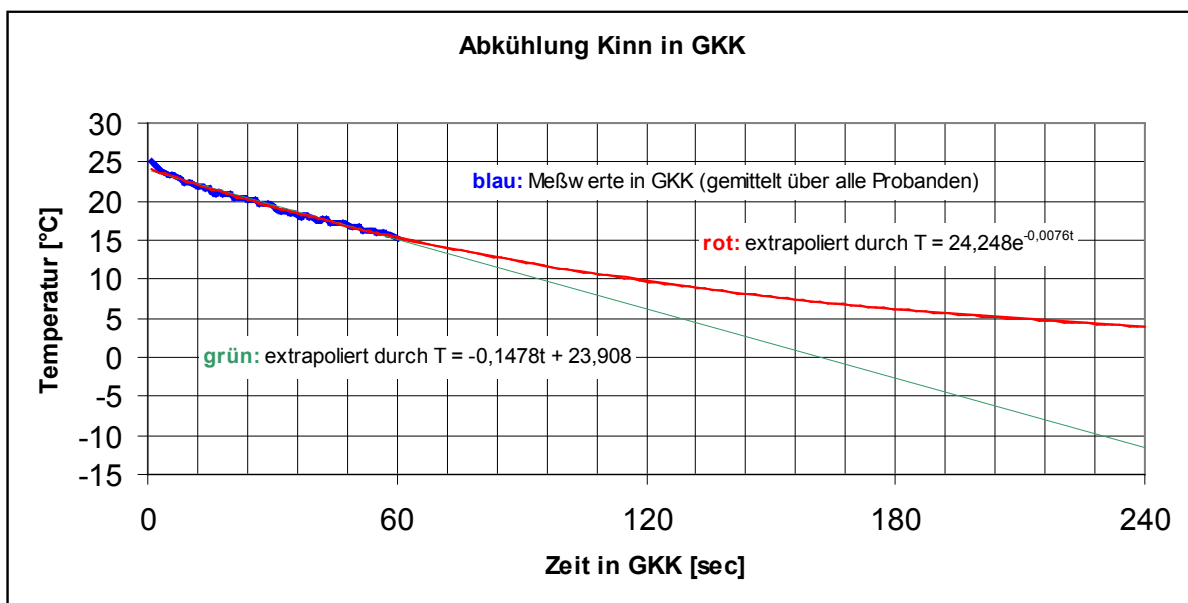


Abb. 50: Trendkurve für Kinn in GKK (Mittelwert für alle Probanden)

Mittlerweile sind viele Tausend Patienten in der westlichen Welt in spezialisierten Kliniken unter ärztlicher Aufsicht mit der GKK behandelt worden. Dies erfolgt zumeist in Serien von etwa 10 bis 20 Einzeltherapien, wobei in vielen Fällen wegen des guten klinischen Erfolges in Abständen mehrere Serien mit kumulativ oft 50 Einzeltherapien und mehr gegeben wurden. Hierbei sind als unerwünschte Ereignisse Kryoläsionen der Haut an ungeschützten Partien, insbesondere den Unterarmen wiederholt beobachtet worden. Diese sind reversibel. Ophthalmologische Schäden sind dagegen bislang nie berichtet worden, obwohl die Patienten hierfür keine Schutzmassnahmen wie Brillen tragen.

Dieses auf den ersten Blick erstaunliche Phänomen scheint mit den hier vorgelegten Daten erklärbar: Danach erfährt das Auge innerhalb der infragekommenden Expositionszeiten selbst unter den Bedingungen extremer Kälte von -110°C

vermutlich durch regulatorische Verstärkung der arteriellen Durchblutung eine privilegierte Schutzfunktion.

5.3 Diskussion der Mess- und Auswertemethodik

Die Körperkerntemperatur kann an verschiedenen Körperstellen mit sehr unterschiedlicher Sicherheit gemessen werden

Die größten Fehlerquellen weisen die am häufigsten praktizierten sublingualen und axillären Messungen auf. Die Oral-Temperatur (unter der Zunge) ist eine meist verlässliche Methode, zum Ergebnis werden $+0,5^{\circ}\text{C}$ addiert.

Aus der Anaesthesiologie weiß man, dass die Oesophagustemperatur als wissenschaftlicher Standard zur Messung der Körperkerntemperatur gilt [BRÄUER A. u.a. (1997)]. Diese Messtechnik ist jedoch für wache Patienten unangenehm und eignet sich somit nur zur Erfassung der Körperkerntemperatur in der Anästhesie bis zur Extubation.

Beim Menschen ist der „Goldstandard“ für die Körperkerntemperatur die Bluttemperatur in der Aorta ascendens, die jedoch nur invasiv mit thermischen Sonden (Herzkatheter) zu erfassen ist. Bei alternativen Messorten und –methoden zur Bestimmung der klinisch wichtigen Körperkerntemperatur sind Temperaturabweichungen („Fehler“) vom Goldstandard unterschiedlich deutlich.

Für die in der Studie durchgeführte tympanale Temperaturmessung spricht, dass sie schnell durchzuführen ist und eine hohe Compliance beim Probanden bzw. Patienten besitzt und für klinische Zwecke völlig ausreichend ist. Die tympanalen Temperaturmesswerte der Studie betragen, gemittelt über alle 17 Probanden, $36,96 \pm 0,30^{\circ}\text{C}$.

Ausgangs- und Bezugspunkt der Temperaturmessungen der Studie war die Hautoberfläche an den schon genannten Gesichtspunkten.

Die Hautoberfläche besitzt kein einheitliches Wärmemuster. Zudem stellt die Hauttemperatur auch einen von den klimatischen Bedingungen abhängigen Wert dar. Im „thermoneutralen Bereich“, bei Umgebungstemperaturen, bei denen weder geschwitzt noch gezittert wird, beträgt die mittlere Hauttemperatur beim Unbekleideten 33°C bis 34°C .

Die mittlere Hauttemperatur zwischen 33°C und 34°C wird in der Literatur als Komfortbereich bezeichnet. Eine direkte Zuordnung der experimentell gefundenen mittleren Hauttemperatur zu dem angegebenen Komfortbereich ist nicht exakt

möglich, da die Bestimmung einer wirklichen mittleren Oberflächentemperatur der gesamten Hautoberfläche auf mehr Messpunkten (nach HARDY J.D. (1970), 9 Messpunkte) basieren muss. Anatomie und Physiologie der Gefäße, sowie das Hautrelief schaffen ein ganz bestimmtes Temperaturmuster, das in einem gewissen Rahmen individuell sein kann. Dennoch haben sich Normwerte bzw. Idealwerte verifizieren lassen. Auf der Haut eines Gesunden besteht ein Temperaturgefälle vom Kopf bis zu den Füßen. Normalerweise zeigen symmetrische Messpunkte am Körper dieselben Wärmewerte.

Der thermoneutrale Bereich liegt für die Umgebungstemperatur beim Unbekleideten zwischen 28°C bis 30°C, beim Bekleideten zwischen 20°C bis 22°C [SCHUH A. (2004)].

Es wurde darauf geachtet, dass die Probanden vor der Kältekammerexposition genügend Zeit hatten, sich bei angenehmem Raumklima zu akklimatisieren, zumal sie bei winterlichen Außentemperaturen zu uns kamen.

Die Messungen waren explizit nur auf die Erfassung von Temperaturänderungen und Temperaturdifferenzen ausgewählter Messpositionen im Gesichtsbereich der Probanden ausgerichtet, um die Abkühlprozesse in der GKK bzw. die Wiedererwärmungsprozesse nach Verlassen der GKK zu qualifizieren/quantifizieren. Dazu sind die im Abschnitt 3.2.1 ausführlich beschriebenen Thermographie-Messsysteme genutzt worden.

Unter Punkt 3.2.3 ist bereits ausführlich dargestellt, dass die Messpunkte (Pixelkoordinaten) für Nase, Kinn, Stirn und Augenhöhle für jeden Probanden individuell aus den radiometrischen IR-Bildern ausgewählt wurden. Grundsätzlich wurden aus dem jeweils 1. radiometrischen Bild für Nase und Kinn die Messpositionen aus den Bereichen mit den niedrigsten Temperaturen gesucht und dementsprechend die Cursorpositionen festgelegt. Diese Positionen sind allerdings keine festen Koordinaten, sie mussten von Bild zu Bild immer wieder neu anvisiert werden. Der daraus resultierende subjektive Fehler ist als hinnehmbar zu werten. Ein weiterer hinzunehmender subjektiver Fehler folgte daraus, dass die Registrierung des Abkühlverhaltens erst beginnen konnte, nachdem sich die Probanden in den Kryo – Therapieraum (-110°C) eingeschleust hatten. Die Passierdauer für diese Schleusen war probandenabhängig und lag im Bereich von 5 bis 8 Sekunden. Gleiches gilt für die Registrierung der Wiedererwärmung, da zwischen Verlassen der Kältekammer und Messbeginn ebenfalls etwa die gleiche Zeitdifferenz lag.

Für die statistische Bewertung wurden die Messgrößen in ihrer Gesamtheit zunächst in Diagrammform dargestellt. Weil es sich notwendigerweise bei Messungen an ausgewählten Probanden nur um eine Stichprobe handelt, hat die Bewertung hinsichtlich der Repräsentanz für die Klientel „Temperaturmessungen in der Ganzkörperkältekammer an Gesunden“ als Gesamtheit besonderen Stellenwert. Die wichtigen Kenngrößen der Stichprobe, Mittelwert, Median, Varianz und Standardabweichung der Stichprobe (Oberes und Unteres Quartil sowie Minimum und Maximum) wurden deshalb auch mit Hilfe sog. BoxPlots dargestellt, in denen verschiedene robuste Streuungs- und Lagemaße in einer Darstellung zusammengefasst sind (die hierfür zutreffenden Definitionen sind z.B. in [LANGE S., BENDER R. (2001), BRINKMANN R. (2008)] und [BAUR N., FROMM S. (2008)] gegeben). Man erhält so schnell einen Eindruck darüber, in welchem Bereich die Messwerte liegen und wie sie sich über den Bereich verteilen. Die wichtigsten Größen und Symbole, die für die Darstellungen im Abschnitt 4.1 verwendet wurden, sind nachfolgend beispielhaft bezeichnet (siehe Abb. 51).

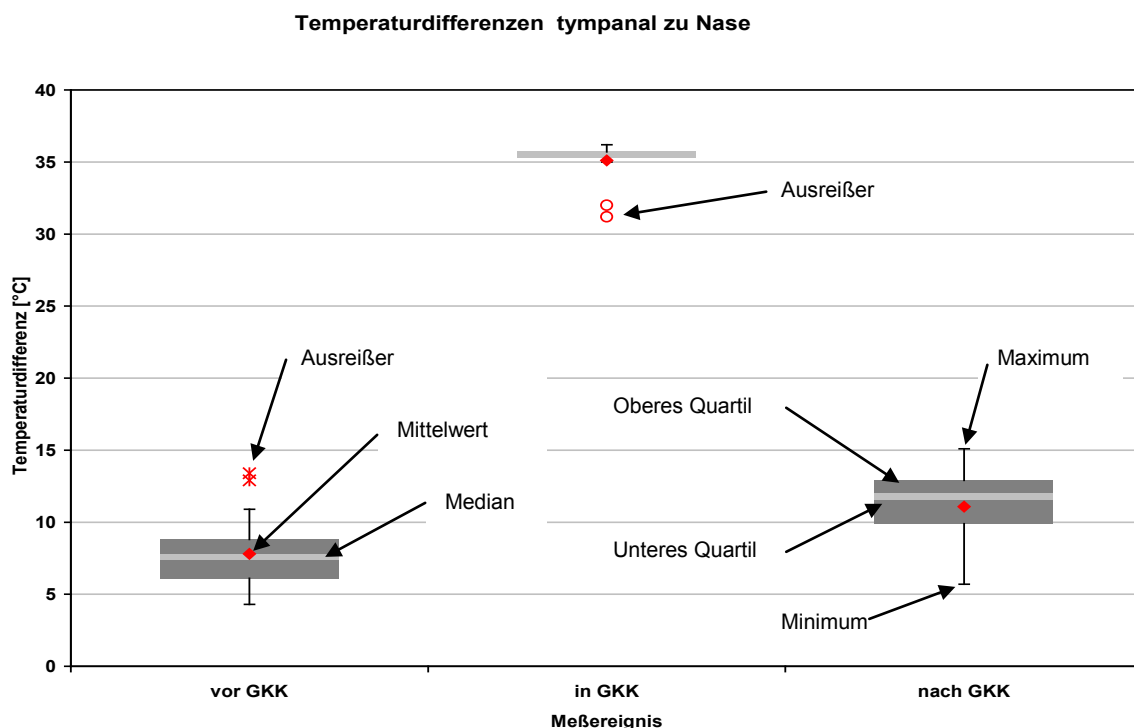


Abb. 51: Zur Erklärung der Symbole für die Boxplot-Darstellung am Beispiel der Abb. 36 aus Abschnitt 4.1

Die graphische Darstellung hat das Ziel, in einer Übersicht zu vermitteln, in welchem Bereich die Daten liegen und wie sie darin verteilt sind. Der neben dem Mittelwert aufgeführte Median teilt den Wertebereich in zwei gleiche Hälften so, dass extreme

Werte (Ausreißer), diesen Wert kaum beeinflussen. Dies ist zur Auswertung hilfreich dann, wenn die Ausreißer eher unplausibel sind.

6. Zusammenfassung

Die Ganzkörperkältetherapie gilt heute als anerkannte und wirksame Behandlungsmöglichkeit vor allem bei rheumatischen Erkrankungen.

Bekannt ist auch die Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit durch Kälteanwendung sowie die Einbeziehung der Kälte in Training und Wettkampf.

Im klinischen Bereich ergeben sich neue Ansätze sowohl zur Therapie als auch zur Diagnostik von Krankheiten.

Die Thermographie in der Medizin nutzt die Gesetzmäßigkeiten der Wärmephysiologie, um zahlreiche Krankheiten im Körperinneren zu diagnostizieren.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss der Ganzkörperkälteanwendung auf die Wärmeregulation des gesunden Menschen.

Aus der Fragestellung, - wie ist das Temperaturverhalten Gesunder unter extremer Kälteexposition, wie reagieren sie auf den Kältereiz -, sollen weitere Erkenntnisse zur Anwendung der Ganzkörperkälte im präventiven sowie klinischen Bereich gewonnen werden. Mit dieser Arbeit wurde nicht nur das Abkühlverhalten bestimmter Körperpositionen gemessen, sondern erstmalig auch die Wiedererwärmung dieser Bereiche nach Kälteexposition.

Als Ergebnis der Messungen wurde die These experimentell bestätigt, dass der Körper unter Kälteeinwirkung durch Senkung der Oberflächentemperaturen einen hohen Energieverlust zu vermeiden versucht. Dabei ist die Temperaturabsenkung in den peripheren Bereichen am stärksten. Eine Übersicht, gemittelt über alle 17 Probanden, ist in Tabelle 7 dargestellt. Mit 3°C für die Messposition Nase bereits 10s nach Eintritt in die GKK ist die Temperaturabsenkung recht deutlich und erreicht nach 60s 13,3°C. Verglichen mit der Temperatur vor GKK-Einwirkung ist damit für die Messposition Nase insgesamt eine Temperaturabsenkung von 27,3°C ermittelt worden (siehe 4.2). Dies bedeutet aber, dass die Grenzaufenthaltsdauer (Vermeidung von Erfrierungen) nach 60s schon nahezu erreicht ist. Dagegen bleibt die Temperaturabsenkung für die Messposition Augenhöhle auch nach 60s in der GKK mit 1,2°C noch relativ gering. Die Berücksichtigung aller Messergebnisse (insbesondere auch unter Berücksichtigung des Messwertes Ohrläppchen an

Proband 4 (siehe Abb. 49; Abschnitt 5.2)) führt zur Schlussfolgerung, dass eine Aufenthaltsdauer in extrem kalter Umgebung einer GKK von 3 Minuten nicht überschritten werden sollte (siehe Trendkurve Abb. 50) und dass es für ungeschützte akrale Bereiche bereits nach 1 Minute gefährlich werden könnte.

7. Literaturverzeichnis

- ASCHOFF J., WEVER R. (1958):** „Kern und Schale im Wärmehaushalt des Menschen“; Naturwissenschaften 45, 477-485 1958
- BAEHR H.D., STEPHAN K (2004):** „Wärme- und Stoffübertragung“; 4. Auflage. Springer-Verlag, Berlin 2004
- BARBOUR H. G. (1912) :** „Die Wirkung unmittelbarer Erwärmung und Abkühlung der Wärmezentren auf die Körpertemperatur“; Arch. F. exper. Path. 70, 1-12 1912
- BAUR N., FROMM S. (2008):** „Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene – Ein Arbeitsbuch“; 2. Auflage. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 223-235 2008
- BENKENSTEIN B. (2002):** „Die Ganzkörperkältetherapie der Rheumatoiden Arthritis bei Patienten mit hoher entzündlicher Krankheitsaktivität“; Inaugural-Dissertation, Ernst Moritz Arndt Universität, Greifswald 2002
- BENZINGER T. H. , TAYLOR G.W. (1963):** „Cranial measurements of internal temperature in man“; Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, ed. Hardy J. D., Reinhold, New York , 111-120 1963.
- BIRWE G. (1987):** „ Eine Analyse über Auswirkungen einer einmaligen Ganzkörperbehandlung bei einer Temperatur von minus 110°C“, Dissertation, Fakultät für Klinische Medizin der Universität Ulm 1987
- BLAUROCK J. (2009):** „Durchblutungsänderungen von Haut und Nasenschleimhaut durch Konditionierung mittels verschiedener gewohnheitsmäßiger hydrotherapeutischer Maßnahmen“; Dissertation 2009, Klinik für physikalische Medizin und Rehabilitation der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin
- BRÄUER A., WEYLAND W., FRITZ U., SCHUHMANN M.U., SCHMIDT J.H., BRAUN U. (1997):** „Bestimmung der Körperkerntemperatur-ein Vergleich von Ösophagus-, Blasen und Rektaltemperatur während der postoperativen Wiedererwärmung“; Der Anaesthetist, 46, 8, 683-688 1997
- BRINKMANN R. (2008):** http://www.brinkmann-du.de/imathe/gost/bstat_01_06.htm
- BRINNEL H. et al. (1987):** „Critical upper level of body temperature, tissue thermosensitivity and selective brain cooling in hyperthermia“; Heat Stress Physical Exertion and Environment, 209-240 1987.
- BRINNEL H., CABANAC M. (1987) :** „Hyperthermia and human brain cooling“; Man in stressful Environment, Thermal Work and Physiology, Thomas, Springfield, Illinois, 87-97 1987.
- BRINNEL H., CABANAC M. (1989):** „Tympanic temperature is a core temperature“; J. Thermal Biol. 14, 47-53 1989.
- BRÜCK K. (1998):** „ Physiologische Grundlagen der Kälteabwehrreaktion des Menschen“; Zeitschrift Phys. Med. Baln. Med. Klin. 183-195 (1998)
- BUCHMÜLLER K. (1961):** „Über die ultrarote Emission, Reflexion und Durchlässigkeit der lebenden menschlichen Haut“; Pflügers Archiv European Journal of Physiology; Volume 272, Number 4 / Juli 1961

- BÜTTNER K. (1937):** „Über die Wärmestrahlung und die Reflexionseigenschaften der menschlichen Haut“; Pflügers Archiv European Journal of Physiology;
- CABANAC M. (1993):** “Selective brain cooling in humans: “fancy” or fact?” The FASEB Journal 0692-6638/93/0007-1143/01.50.FASEB
- CABANAC M., BRINNEL H. (1985):** “Blood-flow in the emissary veins of the human head during hyperthermia”; Euro. J. Appl. Physiol. 54,172-176 1985.
- CAPUTA M. U.A. (1985):** “Ecoulement sanguin reversible dans la veine ophtalmique : mecanisme re defroidissement selectif du cerveau humain”; Hebd. Seanc. Acad. Sci. 87D, 1011-1014 1978.
- CHMIELOWA M. et al. (1980):** “Temperatura blony bebenkowej w niektorych scherzeniach goraczkowych” ; Roczn. A.M. Poznan, 157-160 1980. Condition 36,12-01, 30-312005/2006
- DANIELSSON U. (1996):** „Windchill and the risk of tissue freezing“, J. Appl. Physiol., 81, 2666-2673 1996
- DEETJEN P., SPECKMANN E.J., HESCHELER J. (2004):** „Physiologie“, 4. Auflage, Elsevier, Urban&Fischer 2004
- DEETJEN, P., SPECKMANN, E.-J. (1999):** Physiologie, 3. Auflage. Urban & Fischer, München 1999
- DEKLUNDER G. et al. (1991):** „Influence of ventilation of the face on thermoregulation in man during hyper- and hypothermie“; Eur. Journal Appl. Physiol. 62, 342-348 1991.
- DERKSEN W. L., MONAHAN T. I. AND LAWES A. J. (1957):** “Automatic recording reflectometer for measuring diffuse reflectance in the visible and infrared regions”; J. Opt. Soc. Amer. 47 995-997 1957
- DONALDSON G.C. et al. (2003):** “Cardiovascular responses to heat stress and their consequences in healthy and vulnerable human populations”; Int. Journal Hypothermia, 19, 267-294 2003.
- FRICKE R. (1989)** „Ganzkörperkältetherapie in einer Kältekammer mit Temperaturen um -110°C “; Physikalische Medizin, Balneologie, Med. Klimatologie, 18,1-10 1989
- FRICKE R. (1999):.** „Was leistet die Kältetherapie bei rheumatischen Erkrankungen“; Rheuma-Journal 10,3, 28-29 1999
- FRICKE R., POHLEN-FRICKE B., FRYE K., LINNEMANN E., RICHTER C., FRICKE L., WICHMANN J. (1998):** “Improvement of joint function and immunomodulation in rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis by cold air chamber treatment at -110°C ”. Abstractband 6TM European Congress on Research in Rehabilitation, 1998
- GARTNER W., GOPFERT H. (1964):** „Topographische Untersuchungen über die Strahlungseigenschaften der lebenden menschlichen Haut“; Pflügers Archiv European Journal of Physiology; Volume 280, Number 3 / September 1964
- GEKLE M., SINGER D., JESSEN C. (1996):**„Temperaturregulation und Wärmehaushalt“; Lehrbuch Physiologie, 5. Auflage, Georg Thieme Verlag 1996
- GENG Q. (2001):** „Hand cooling, protection and performance in cold environment“; Dissertation, National Institute of Working Life, Stockholm 2001
- GUNGA H. CH. (2004):** „Wärmehaushalt und Temperaturregulation“; in P. Deetjen, E. J. Speckmann (eds) Physiologie. Urban & Schwarzenberg, München 2004.
- GURWITSCH M. (2005):**“ Über die Anastomosen zwischen den Gesichts- und Orbitalvenen“; Graefe`s Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, Verlag Springer Berlin/Heidelberg 2005.

- HARDY J. D. (1934):** "The radiation of heat from the human body I-II"; J. Clin. Invest. 13; 593-620
- HARDY J. D., MUSCHENHEIM C. (1936):**
 "The radiation of heat from the human body IV"; J. Clin. Invest. 13 817-30 und
 "Radiation of heat from the human body V" J. Clin. Invest. 15 1-9.
- HARDY J. D. (1970):** "Dependence of thermal comfort on skin temperature";
 Springfield, Ill 1970
- HAVENITH G., VAN DE LINDE E.J.G., HEUS R. (1992):** "Pain, thermal sensation
 and cooling rates of hands while touching cold materials"; Eur. J. Appl.
 Physiol. 65 43-51 (1992)
- HIRASHITA M. et al. (1992):** "Blood flow through the ophtalmic veins during exercise
 in humans"; Europ. J. Appl. Physiol. 64 92-97 1992
- HOLLENSTEINER B. (2003):** „Analgetische Wirkung einer Ganzkörpertherapie –
 110°C, 3 min“; Inaugural-Dissertation ,2003, Medizinischen Fakultät der
 Westfälischen Wilhelms -Universität Münster
- HÖPPE P., KIPFSTUHL J. (1984):** „Veränderungen der Hauttemperaturen während
 des Akklimatisationsprozesses in der Antarktis“; Polarforschung 54(2), 121-
 125 1984
- JÄNIG W. (2000):** "Physiologie der Kälteeinwirkung auf den menschlichen
 Organismus"; Abstractband Internationales Kryotherapie-Symposium
 (2000,Februar 1-2)
- JANSEN U., FRICKE R (1998):** „Änderung der Hauttemperatur unter lokaler
 Kaltlufttherapie (-175°C) bei Kontrollpersonen und bei Patienten mit
 Chronischer Polyarthrits“; Z. Phys. Med. Baln. Med. Klin. 17, 217-225 1998
- JESSEN C. (1989):** "Thermal afferents in the control of body temperature";
 Pharmacol. Ther. 28 107-134 1998
- JESSEN C. (2001):** "Selective Brain Cooling in Mammals and Birds"; Japanese
 Journal of Physiology, 51, 291-301, 2001
- JOCH W., ÜCKERT S. (2004):** „Auswirkungen der Ganzkörperkälte von –
 110°Celsius auf die Herzfrequenz bei Ausdauerbelastungen und in Ruhe“;
 Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurtortmedizin, 14 (3), 146-150
 (2004)
- JOCH W., ÜCKERT S., FRICKE R. (2003):** „Die Bedeutung kurzfristig und hoch
 dosierter Kälteapplikation für die Realisierung sportlicher Leistungen“; BISp
 Jahrbuch 2003, 245-252, Sport und Buch Strauß, Köln
- KAISER T. (2002):** „Mit Kälte helfen und heilen“, KRYOLIND, [http://www.ergomed-
 medical.de/uploads/media/Med_Analyse-IN.pdf](http://www.ergomed-medical.de/uploads/media/Med_Analyse-IN.pdf)
- KILLIAN H. (1966) :** "Kälte-Unfall"; Dustri-Verlag, München-Deisenhofen 1966
- KLINKE R., PAPE H-CHR., SILBERNAGL ST. (2005):** "Physiologie"; 5. Auflage,
 Thieme-Verlag, Stuttgart, 2005
- KÖCK R. (2000):** „Therapieeffekt bei rheumatischen Erkrankungen,
 Blutdruckverhalten, Herzfrequenz und Hauttemperatur unter einer
 Ganzkörperkältetherapie von –110°C bzw. –80°C“; Inaugural-Dissertation,
 Medizinische Fakultät der Westfälischen Wilhelms -Universität Münster, 2000
- KUKUK D. (2001):** "Sachanalyse Körpertemperatur"; [Download Volltext \(PDF\)](#)
- LANGE S., BENDER R. (2001):** „Median oder Mittelwert?"; Dtsch. Med. Woschr. 126
 25-26, Georg Thieme Stuttgart 2001
- LANGE U., KÜRTEB B., MÜLLER-LADNER U., UHLEMANN C. (2007) :**
 „Physikalisch-therapeutische und rehabilitative Maßnahmen bei der
 ankylosierenden Spondylitis“; Zeitschrift für Rheumatologie , Verlag Springer
 Berlin/ Heidelberg 2007

- LANGE U., UHLEMANN CH., MÜLLER-LADNER U. (2008):** „Serielle Ganzkörperkältetherapie im Criostream bei entzündlich-rheumatischen Erkrankungen“; Medizinische Klinik, 2008:103:383-388 (Nr.6)
- LEFRANT JY., MULLER L., LEBRIS C., ZEITOUN N. (2003):** LEFRANT JY., MULLER L., LEBRIS C., ZEITOUN N. (2003):” Temperature measurement in intensive care patients“; Intensive Care Med. 29 (3), 414-424 2003.
- LÜCKERATH M. (1997):** „Akrale Wiedererwärmung und periphere Hauttemperatur übergewichtiger Patienten während einer stationären Heilfastentherapie“; Inauguraldissertation, Freie Universität Berlin 1997
- LULLIES H., TRINCKER D. (1971) :** „Taschenbuch der Physiologie, Band 1. Vegetative Physiologie“; VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1971
- MAGARIA R. u.a. (1963):** „Energy cost of running“; J. Appl. Physiol. 18, 367-370 1963.
- MECJAVIC I.B. et al. (1992):** “Evaluation of an infrared tympanic thermometer during cold water immersion and rewarming“; Proc. 5th Int. Conf. Environmental Ergonomics, 42-43 1992, TNO Institute, Soesterberg/Netherlands
- MERCHANT J. (2003):** „Infrarot-Temperaturmessung, Theorie und Applikationen“; Mikron Instrument Company, Inc.
- MITCHEL D., WYNDHAM C.H., HODGSON T., NABARRO F.R.N. (1967):** “Measurement of the total normal emissivity of skin without the need for measuring skin temperature“; Phys. Med. Biol. **12** 359-66 1967
- MOHAB A. (2006):** “Auswirkungen einer Ganzkörperkältetherapie von – 80 °C, 2 min. auf T-Lymphozytenpopulation im peripheren Blut bei der Rheumatoiden Arthritis (Chronische Polyarthritits)“; Inaugural-Dissertation, 2006 Nordwestdeutsches Rheumazentrum St. Josef-Stift, Sendenhorst
- MOLNAR G.W., GOLDMANN R.F., HUGES A.L., WILSON O. (1973):**” Effect of skin wettingon on finger cooling and freezing“; J. Appl. Physiol. **35** 205-207 1973
- NIELSEN B. (1988):** “Natural cooling of the brain during outdoor bicycling?“; Pflügers Arch. 411, 456-461 1988.
- NORDAS T., LEIREN S., HANSEN K. (2005):**” Can ear temperature measurement be used in a hospital?“; Tidsskr. Nor. Laegeforen, 125 (20): 2763-2768 2005.
- Nullely S.A., Nelson D.A. (1992):** “Human head cooling: mechanisms and modelling“; Proc. 5th Int. Conf. Environmental Ergonomics, 134-134, TNO Institute, Soesterberg/Netherlands 1992.
- ORTIZ M. (2009):** “Evaluation der Wirksamkeit Kneippscher Hydrotherapie im ambulanten Setting bei menopausalen Beschwerden- eine randomisierte , klinische Pilotstudie“; Dissertation, Klinik für Allgemeinmedizin, Naturheilkunde und Psychosomatik der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin, Berlin
- PAPENFUß W. (2005):** „Die Kraft aus der Kälte“; www.edition-k-verlag.de
- PARSON K.C. (2003):** „Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance“; 2. ed. Taylor&Francis, London New York 2003
- PATIL K.D. and WILLIAMS K.L. (1969):** “Spectral study of human radiation“; Non-ionizing Radiation, 1 39-44 1969
- PUŠNIK I. UND DRNOVŠEK J. (2005):**” Infrared ear thermometers parameters influencing their reading and accuracy“; Physiological Measurement, 26, 1075-1084 2005.

- RASCH W. et al.** „Heat loss from the human head during exercise“ und **KIYATKIN E.A. (2005)**: „Brain hyperthermia as physiological and pathological phenomena“; Brain Research Reviews, 50, 27-56 2005
- ROST A. (1994)**: Lehrbuch der Regulationsthermographie, Hippokrates Verlag, Stuttgart, 1994.
- RUDOLF S. (2005)**: „Bestimmung des β - Endorphin- Immunoreaktiven Materials (β -ED IRM) und des N-acetyl- β -Endorphin-IRM(NAC IRM) im Plasma bei gesunden Probandinnen nach einer einmaligen Ganzkörperkältetherapie (GKKT) bei – 110°C über 3 Minuten“; Inaugural-Dissertation, 2005
Medizinische Fakultät der Westfälischen Wilhelms -Universität Münster
- RUSTERMEYER J., RADTKE J., BREMERICH A. (2007)**: „Thermography and thermoregulation of the face“; Head & Face Medicine, 15,3-17 2007
- SCHEURER O., SCHLÜTER E. (2007)**: „Wie reagiert die Hauttemperatur auf örtliche Kältereize?“; Research in Experimental Medicine“, 119-127 Mai 2007
- SCHEURER O., ZIMMERMANN H. (1937)**: „ Sind die Hauttemperaturen von Mann und Frau verschieden, besteht ein Unterschied zwischen Tag und Nacht?“; Z. f. d. ges. exp. Med. 100, 1, 417-426 1937
- SCHLERETH T., DIETERICH M., BIRKLEIN F. (2009)**: „ Hyperhidrose-Ursachen und Therapie von übermäßigem Schwitzen (Übersichtsarbeit)“; Deutsches Ärzteblatt, 106, 3 2009
- SCHMIDT R.F. ,LANG F. (2007)**: „Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie“; 30. neu bearbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Medizin-Verlag 2007
- SCHMIDT-NIELSSON K. (1997)**: „Animal Physiology, Adaption and Environment“; 5th Edition, Cambridge Univ. Press, Cambridge UK 1997.
- SCHMITZ E.S. (2003)**: „Vergleichende Messungen und Bewertungen der thermophysiological relevanten Parameter an Probanden während des Sitzens auf belüfteten und unbelüfteten Fahrzeugsitzen“; Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität, München, 2003
- SCHUH A. (2004)**: „Klima- und Thalassotherapie“; Hippokrates Verlag, Stuttgart, 2004.
- SENNE I. B. (2001)** : „Effekte der Ganzkörperkältekammer bei Patienten mit Spondylitis ankylosans“; Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät der Ruhr-Universität Bochum, 2001
- SIESJO B. (1978)**: „Brain Energy Metabolism“; Wiley, New York, 1978.
- SIMON E. (1974)**: „Temperature regulation: the spinal cord as a side of extrahypothalamic thermoregulatory function“; Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol. 71 1-76 1974
- SPECKMANN E.-J., HESCHELER J., KÖHLING R. (2008)**: Repetitorium Physiologie, Wärmehaushalt und Temperaturregulation, 2. Aufl. 2008, Elsevier Urban&Fischer, 2008
- STANGE R. (2006)**: „Mit Minusgraden gegen Rheuma“; Naturarzt 2006;146:13-14
- STEKETEE J. (1973)**: „Spectral emissivity of skin and pericardium“; Phys. Med. Biol. 18 686-94 1973
- STRATZ TH. (1998)**: „Mit der Ganzkörperkältekammer gegen Rheumaschmerzen“; StK- Zeitschrift für angewandte Schmerztherapie 3/1998
- STÜSSER V.H. (2008)**: „Kryotherapie nach Vorfußchirurgie“; Inaugural-Dissertation, 2008, Evangelisches Waldkrankenhaus, Spandau
- TAGHAWINEJAD M. ,BIRWE G., FRICKE R., HARTMANN R. (1998)**: „Ganzkörperkältetherapie –Beeinflussung von Kreislauf- und Stoffwechselfparametern“; NZ. Phys. Med. Baln. Med. Klim. 18, 23-30 1989

- THAUER R. (1939):** "Der Mechanismus der Wärmeregulation"; Ergebnisse der Physiologie, 41, 607-805 1939
- THEWS G., VAUPEL P. (2000):** „Wärmehaushalt, Energiehaushalt und Arbeitsphysiologie“; Lehrbuch „Vegetative Physiologie“, Fünfte, aktualisierte Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg 2000.
- TOKOGAWA T. (1989):** "Non-contact skin emissivity: measurement from reflectance using step change in ambient radiation temperature"; Clin. Phys. Physiol. Meas. 10, No. 1 39-48 1989.
- ÜCKERT S., JOCH W. (2005):** „Verbesserte Hitzetoleranz durch Kälteapplikation“, Leistungssport, 35,1, 77-78 2005
- ÜCKERT S., JOCH W. (2003):** "Der Einfluss von Kälte auf die Herzfrequenzvariabilität als Regenerationsparameter"; Abstractband 2. Symposium Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport, Halle, Saale, 2003,
- ÜCKERT S., JOCH W. (2005/2006):** „Kälte ist kein Hindernis –im Gegenteil.“
- WATMOUGH D.J., OLIVER R. (1968):** "Emissivity of human skin in vivo between 2.0 μm and 5.4 μm measured at normal incidence"; Nature 218 885-886 1968
- WENGER C.B. (1987):** "More comments on „keeping cool head“"; News Physiol. Sci. 2, 150-152 1987.
- WESTERLUND T., OKSA J., SMOLANDER J., MIKKELSSON M. (2003):** "Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110°C)"; Journal of Thermal Biology, Volume 28, Issue 8, 601-608 November 2003
- WESTERLUND T. (2009):** "Thermal, circulatory, and neuromuscular responses to whole-body cryotherapie"; Academic Dissertation, Faculty of Medicine of the University of Oulu, Finland; Acta Univ. Oul. D 1006, 2009
- WHITBY J.D., DUNKIN L.J. (1971):** "Cerebral, oesophageal and nasopharyngeal temperatures", British Journ. Anesth. 43, 673-676 1971.
- WHITTOW G.C., TAZAWA H. (1991):** "The early development of thermoregulation in birds", Physiol. Zool. 64, 1371-1390 1991
- WILSON O., GOLDMANN R.F., MOLNAR G.W. (1976):** "Freezing temperature of finger skin"; J. Appl. Physiol. 41 551-558 (1976)
- WWW.UNI-DUESSELDORF.DE (2008):** <http://www.uni-duesseldorf.de/MathNat/Biologie/Didaktik/Thomas/seiten/thermo/therm2.html>
- WWW.UNI-GRAZ.AT (2008):** http://www.uni-graz.at/spow2www_vo_physiologie_2_im_ss_2008_thermoregulation.pdf
- YAMAUCHI T. (1986):** "Whole Body Cryo-therapie is method of extreme cold -175°C treatment initially uses for Rheumatoid Arthritis"; Zeitschrift Phys. Med. Baln. Med. Klim. 15, 311 1986.

8. Anhang

8.1 Vor- und Nachuntersuchungsbögen

Fragebogen:

Fragebogen

Probanden-Nr.:

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten? ja nein

Raucherstatus:

Alkohol- u. Drogenkonsum:

Neigung zum Frösteln? ja nein

Treiben Sie Sport? ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten?

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer? ja nein

Besuchen Sie die Sauna? ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein? ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente? ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Befindlichkeitsbogen:

Befindlichkeitsbogen

Name:

Probandennummer:

Bitte tragen Sie die zutreffende Zahl in die roten Rechtecke ein!

gar nicht		mittel		sehr
1	2	3	4	5

1. Waren Sie aufgeregt, bevor Sie in die Kältekammer gingen?

2. Hatten Sie irgendwelche Bedenken vor der Kältetherapie? ja nein

Wenn ja, welche? _____

3. Empfanden Sie die Enge in der Kältekammer als unangenehm oder bedrückend?

4. War die Kälte unangenehm?

5. Wie fühlen Sie sich jetzt nach der Kältetherapie im Vergleich zu vorher?

besser schlechter unverändert

frischer körperlich unwohl

körperlich fitter erschöpft, müde

allgemein leistungsfähiger

fröhlicher, heiterer

6. Sind Sie froh oder erleichtert, die Kältetherapie hinter sich zu haben?

7. Haben Sie irgendwelche Beschwerden während oder nach der Kältetherapie bekommen?

ja nein

Wenn ja, welche? _____

8. Würden Sie freiwillig noch einmal in die Kältekammer gehen? ja nein

Fragebögen Probanden 1 bis 17:

Fragebogen

Probanden-Nr.: 1

Name: Proband 1

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten? ja nein

Welche?

Raucherstatus: Nichtraucher

Alkohol- u. Drogenkonsum: nein

Neigung zum Frösteln? ja nein

Treiben Sie Sport? ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten?

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer? ja nein

Besuchen Sie die Sauna? ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein? ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente? ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 2

Name: Proband 2

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja

nein

Welche?

Raucherstatus: Nichtraucher

Alkohol- u. Drogenkonsum: gelegentlich Alkohol in Maßen (Parties)

Neigung zum Frösteln?

ja

nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig

ja, unregelmäßig

selten

Welche Sportarten? Volleyball, Schwimmen

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja

nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja

nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja

nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja

nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung? 01.02.09

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 3

Name: Proband 3

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche?

Raucherstatus: keine Angabe

Alkohol- u. Drogenkonsum: keine Angabe

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Schwimmen, Radfahren

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 4

Name: Proband 4

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche?

Raucherstatus: keine Angabe

Alkohol- u. Drogenkonsum: selten

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Schwimmen

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 5

Name: Proband 5

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche?

Raucherstatus: Nichtraucher

Alkohol- u. Drogenkonsum: gelegentlich

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Schwimmen

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja/selten nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 6

Name: Proband 6

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche?

Raucherstatus: Nichtraucher

Alkohol- u. Drogenkonsum: gelegentlich

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Fitness, Fahrrad

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 7

Name: Proband 7

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht:

W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche?

Raucherstatus: Nichtraucher

Alkohol- u. Drogenkonsum: gelegentlich

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Schwimmen

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung? 25.01.09

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 8

Name: Proband 8

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche?

Raucherstatus: Nichtraucher

Alkohol- u. Drogenkonsum: sehr selten Alkohol

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Radfahren, Fitness

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 9

Name: Proband 9

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja

nein

Welche?

Raucherstatus: Nichtraucher

Alkohol- u. Drogenkonsum: gelegentlich Alkohol

Neigung zum Frösteln?

ja

nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig

ja, unregelmäßig

selten

Welche Sportarten? Schwimmen, Wandern

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja

nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja

nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja

nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja

nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 10

Name: Proband 10

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche?

Raucherstatus: keine Angabe

Alkohol- u. Drogenkonsum: selten Alkohol

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Fahrradfahren

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 11

Name: Proband 11

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche? Heuschnupfen

Raucherstatus: keine Angabe

Alkohol- u. Drogenkonsum: jeden Tag 1 Bier

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport? ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Schwimmen

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche? Sommer bei Bedarf Cetiricin, Zyrtec

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 12

Name: Proband 12

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja nein

Welche? Schilddrüsenfunktion

Raucherstatus: selten

Alkohol- u. Drogenkonsum: jeden Tag 1 Glas Wein/Bier

Neigung zum Frösteln?

ja nein

Treiben Sie Sport? ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Yoga

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja nein

Welche? Thyroxin 50 Mikrogramm, Valette

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung? 07.02.09

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 13

Name: Proband 13

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja

nein

Welche?

Raucherstatus: keine Angabe

Alkohol- u. Drogenkonsum: Alkohol gelegentlich

Neigung zum Frösteln?

ja

nein

Treiben Sie Sport? ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Fitness, Joggen

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja

nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja/selten

nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja

nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja

nein

Welche? Thyroxin 50 Mikrogramm, Valette

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 14

Name: Proband 14

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten? ja nein

Welche?

Raucherstatus: keine Angabe

Alkohol- u. Drogenkonsum: Alkohol gelegentlich am WE

Neigung zum Frösteln? ja nein

Treiben Sie Sport? ja, regelmäßig ja, unregelmäßig selten

Welche Sportarten? Fußball, Fitness
Waren Sie schon einmal in der Kältekammer? ja nein

Besuchen Sie die Sauna? ja/gelegentl. nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein? ja nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente? ja nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 15

Name: Proband 15

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja

nein

Welche?

Raucherstatus: keine Angabe

Alkohol- u. Drogenkonsum: Alkohol gelegentlich

Neigung zum Frösteln?

ja

nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig

ja, unregelmäßig

selten

Welche Sportarten?

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja

nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja

nein (früher mal)

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja

nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja

nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung?

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 16

Name: Proband 16

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja

nein

Welche?

Raucherstatus: Nichtraucher

Alkohol- u. Drogenkonsum: Alkohol gelegentlich

Neigung zum Frösteln?

ja

nein

Treiben Sie Sport?

ja, regelmäßig

ja, unregelmäßig

selten

Welche Sportarten? Tanzen (Yoga u. Schwimmen unregelmäßig)

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja

nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja

nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja

nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja

nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung? 05. – 09.02.09

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

Fragebogen

Probanden-Nr.: 17

Name: Proband 17

Vorname:

Geburtsdatum:

Geschlecht: W M

Telefonnummer:

e-mail:

Anamnese

Leiden Sie an chronischen Krankheiten?

ja

nein

Welche?

Raucherstatus: keine Angabe

Alkohol- u. Drogenkonsum: Alkohol gelegentlich

Neigung zum Frösteln?

ja

nein

Treiben Sie Sport? ja, regelmäßig

ja, unregelmäßig

selten

Welche Sportarten? Fahrrad, Schwimmen

Waren Sie schon einmal in der Kältekammer?

ja

nein

Besuchen Sie die Sauna?

ja

nein

Nehmen Sie orale Kontrazeptiva ein?

ja

nein

Nehmen Sie regelmäßig andere Medikamente?

ja

nein

Welche?

Wann hatten Sie Ihre letzte Regelblutung? 23.01.09

Berlin, _____
Datum

Unterschrift

8.2 Excel-Tabellen

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 1	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
Zeit[sec]	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	32,9	27,4	32,2	23,8	28,9	16,4	35,8	34,1
6	32,8	27,7	32,3	24	29,2	17	35,8	34,5
12	32,9	28	32,3	24,2	29,2	17,3	35,8	34,4
18	33	27,9	32,4	24,3	29,2	17,9	35,8	34,1
24	33	28	32,4	24,5	29,3	18,4	35,8	34,5
30	33	28,3	32,6	24,8	29,3	19,1	35,8	34,7
36	33,1	28,4	32,5	25,1	29,2	19,4	35,8	34,8
42	33	28,5	32,6	25,6	29,2	19,7	35,8	34,7
48	33,1	28,8	32,7	25,6	29,2	19,9	35,7	34,6
54	33,1	28,8	32,6	25,8	29,1	20,2	35,7	34,5
60	33	28,7	32,6	25,9	29,1	20,5	35,6	34,9
66		28,8		26,2		20,6		34,7
72		28,9		26		20,7		35,1
78		29		26,1		21		35
84		29,1		26,4		21,2		34,9
90		29,2		26,6		21,4		34,8
96		29,4		26,8		21,9		34,6
102		29,2		26,6		21,7		34,6
108		29,4		26,7		21,9		34,6
114		29,4		26,7		21,9		34,5
120		29,6		26,9		22,3		34,6
126		29,7		27		22,4		34,6
132		29,5		27,1		22,4		34,6
138		29,5		26,9		22,4		34,6
144		29,7		27		22,4		34,8
150		29,8		27,2		22,6		34,8
156		29,6		27,4		22,6		34,8
162		29,7		27,6		22,7		34,7
168		29,7		27,6		22,6		34,7
174		29,7		27,6		22,6		34,7
180		29,8		27,7		22,7		34,7
186		29,7		27,7		22,8		34,6
192		29,7		27,6		22,7		34,9
198		29,8		27,5		22,7		34,9
204		29,8		27,7		22,7		34,6
210		29,9		27,6		22,8		34,9
216		29,8		27,7		22,8		34,9
222		30		27,8		22,8		34,9
228		30		27,9		22,8		34,9
234		30		27,9		22,9		34,9
240		30		27,7		22,9		34,9
246		30,1		27,9		23		35,1
252		30,1		27,9		23		35
258		30,2		27,8		23		34,9
264		30,3		28		23		34,9
270		30,4		28		23		35,1
276		30,4		28		23		35
282		30,5		28		23		35,1
288		30,6		28,1		23		35,1
294		30,6		28,2		23,1		35,2
300		30,6		28,2		23,1		35,2

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 1				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Augenhöhle[°C]	T/Stirn[°C]	T/Kinn[°C]
1	15,5	30,5	25,6	-
2	12,4	32,9	28,4	-
3	14,4	32	28,3	-
4	14,9	31,9	27,6	-
5	10,12	31	26,5	-
6	11,8	30,5	26,6	-
7	14,4	30,7	25,4	-
8	12	31	26,4	-
9	13	31,1	26	-
10	11,6	30,8	26,6	-
11	8,7	31,6	25,9	-
12	12,5	31,6	25,9	-
13	13	31,9	26,4	-
14	7,4	31,8	24,5	-
15	12,1	31,8	24,5	-
16	10,3	32,3	26,3	-
17	9,4	33,2	25,9	-
18	11,6	32,1	25,2	-
19	7,4	31,8	24,4	-
20	4	30,8	24	-
21	10,9	29,9	25,1	-
22	11,6	32,4	25,6	-
23	7,7	32,4	26,2	16,5
24	10	32,6	25,8	16,6
25	5,1	32,5	26,2	14,9
26	8,2	32,9	26,5	14,9
27	9,5	32,5	25,4	12,4
28	2,8	31,8	25,9	12,7
29	1,4	32,7	25,2	14,2
30	8	31	24,6	13,2
31	8	31,1	25,2	15
32	1,6	32,2	25,4	14,7
33	7,4	32	24,2	12,3
34	7,9	30,7	25,1	15,6
35	1,4	32,3	24,7	14
36	7,8	31,5	25	15,2
37	1,4	31,7	25,2	15
38	6,3	31,9	25	15,6
39	8,7	32,3	25	16
40	5,7	32,2	24,6	15,6
41	7,5	32	24,5	14,9
42	3,4	32,1	24,2	15
43	1,4	32,2	23,6	12,8
44	5	31	23,9	12,3
45	6,3	31,8	24	12,2
46	1,4	31,8	24	12,8
47	1,4	31,8	23,7	15,2
48	7,4	31,9	23,1	15,7
49	6,8	31,3	23,5	15,2
50	1,4	31,8	23,9	15,2
51	6,3	31,7	23,5	14,5
52	1,4	31,8	23,4	14,8
53	3,4	31,4	23,3	10,8
54	5	30,8	23,7	11,3
55	1,4	31,8	23,6	11,2
56	1,4	31,8	23,2	11,2
57	5,5	31,2	23	12,2
58	1,4	31,4	22,5	10,4
59	1,4	31	23,3	9,4
60	1,4	31,8		
- nicht auswertbar				

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Pronand 2								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	32,9	23,7	30,3	21,4	24,3	10,7	35,1	32,2
6	32,8	24,5	30,5	22,3	24,4	10,8	35,2	32,4
12	32,8	25	30,5	22,4	24,4	11,1	35,3	33,1
18	32,9	26,2	30,6		24,5		35,2	32,7
24	32,9	26,6	30,5	23,1	24,2	12,6	35,3	32,9
30	32,9	26,7	30,5	23,2	24,3	13,6	35,3	32,9
36	32,8	26,9	30,4	23,7	24,1	14	35,4	33,2
42	32,8	27,1	30,5	24,1	24	13,9	35,3	34
48	33	27,5	30,5	24,3	24,1	14,9	35,3	34,1
54	32,9	27,8	30,4	24,7	24,1	15,7	35,2	34,2
60	32,9	28,1	30,4	24,8	24	16,3	35,3	34,2
66		28,1		24,8		17,3		34,2
72		28,2		25,2		18,4		34,2
78		28,3		25,6		19,1		34,3
84		28,7		25,8		20,5		34,2
90		28,8		25,8		20,5		34,5
96		28,9		25,9		21,4		34,5
102		-		-		-		-
108		-		-		-		-
114		28,9		25,8		22,6		34,5
120		29		25,7		23,1		34,5
126		29,1		25,9		23,5		34,6
132		29,3		25,9		23,6		34,6
138		29,3		25,9		23,6		34,8
144		29,3		26		23,6		34,8
150		29,4		26,3		23,7		34,8
156		29,4		26,5		23,6		34,9
162		29,5		26,6		23,7		34,8
168		29,5		26,7		23,7		34,8
174		29,6		26,8		23,7		34,9
180		29,6		26,9		23,8		34,9
186		29,7		27		23,6		34,9
192		29,8		27,1		23,8		34,9
198		29,8		27,1		23,7		35
204		29,9		27,2		23,7		35
210		30		27,3		23,8		35
216		30		27,4		23,7		35
222		30		27,4		23,7		35
228		30,1		27,5		23,8		35
234		30,2		27,5		23,8		35,1
240		30,3		27,6		23,8		35,1
246		30,4		27,7		23,8		35,1
252		30,5		27,8		23,8		35,1
258		30,5		27,8		23,9		35,1
264		30,5		27,9		23,9		35,1
270		30,6		28		23,7		35,1
276		30,6		28		23,8		35
282		30,7		28,1		23,9		35
288		30,8		28,2		23,9		35,2
294		30,7		28,3		23,9		35,2
300		30,7		28,2		23,9		35,2

- nicht auswertbar

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 2				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Augenhöhle[°C]	T/Stirn[°C]	T/Kinn[°C]
1	14,6	33,9	25,8	23,7
2	13,6	32,1	24,4	23,1
3	13,5	33,4	25,4	22,5
4	13,6	33	25,1	21,2
5	13	32,5	24,5	20,9
6	10,5	31,5	23,7	19,3
7	11,9	32,5	24,2	18
8	11,4	32,3	24	19
9	10,9	32,2	24	17,4
10	11,7	32	23,9	18,8
11	10,7	32,2	23,6	18,7
12	9,9	30,6	23	17,1
13	9,2	30,7	23,3	18,1
14	9,8	32,3	23,5	15,7
15	11	32,7	23,5	17,4
16	10,7	32,3	23,5	18,2
17	10,8	32	23,8	18,1
18	10,8	32,3	23,5	17,5
19	10,2	32,3	23,3	17,7
20	10,7	32,2	23,2	18
21	10,5	32,3	22,9	17,6
22	10,7	30,9	22,3	17,7
23	10,3	31,9	22,2	17,4
24	10,4	32,5	23	17,3
25	9,9	31,5	21,8	17,1
26	10,3	32	22,3	16,5
27	10	31,8	22,2	16,7
28	9,8	31,8	22,1	16,8
29	10	31,6	22	15,7
30	9,5	31	21,6	16,7
31	8,9	31,8	21	15,2
32	8,6	31,7	21,2	15,7
33	8,6	31,8	21,5	16,5
34	4,4	27,2	15,5	12
35	8,25	31	20,2	15,4
36	7,7	31,6	20,8	14,6
37	6,8	31,5	21	15
38	6,7	31,1	20,6	15,5
39	7,8	31,4	21,2	15,8
40	7,9	32	21	14,7
41	7,6	31,8	21,1	16,3
42	8,7	32	20,6	15,7
43	8	31,8	20,7	15,4
44	7,7	31,7	20,6	15,7
45	7,3	31,2	20,1	15,5
46	7,4	31,6	20,2	15,3
47	7	31,7	20	15,3
48	6	30,9	19,8	15,5
49	6,8	31,7	20	14,9
50	7	31,7	20	15,1
51	7,3	31,3	19,9	15,2
52	6,9	31,4	20	15,9
53	7	31,6	19,2	14,6
54	6,4	31,4	19,3	14,7
55	5,9	31,4	19,4	14,7
56	5,8	31,4	19,3	15,7
57	6	31,5	19,3	14,9
58	5,8	31,4	19,1	14
59	5,8	30,6	18,9	15,3
60	6	31,4	19,3	14

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 3								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	34,5	26,9	33,6	21,5	33	17,8	35,7	32,4
6	34,4	27,3	33,4	22,2	32,8	18,3	35,7	32,4
12	34,5	27,7	33,6	22,8	32,6	19,6	35,8	32,8
18	34,5	27,9	33,4	23,1	32,3	20,1	35,8	32,9
24	34,5	28,1	33,4	23,5	32,1	20,9	35,8	33,5
30	34,5	28,1	33,6	23,8	32,1	21,1	35,9	33,6
36	34,6	28,4	33,6	24,2	31,8	21,5	35,8	33,6
42	34,4	28,4	33,4	24,3	31,9	21,3	35,8	33,8
48	34,4	28,6	33,7	24,7	32,2	21,8	35,9	33,8
54	34,5	28,7	33,6	24,9	32,5	21,9	35,9	33,8
60	34,5	28,8	33,6	25,2	32,6	22,4	36	33,6
66		29		25,4		23,1		33,9
72		29		25,5		22,5		34
78		29,1		25,7		22,2		33,9
84		29,3		25,5		22,7		34,3
90		29,4		26,1		23,2		34,2
96		29,6		26,2		22,8		34,5
102		29,5		26,3		23,1		34,5
108		29,6		26,5		23,7		34,4
114		29,7		26,6		22,9		34,5
120		29,7		26,7		23,4		34,4
126		29,7		26,9		23,2		34,4
132		29,8		27		23,4		34,5
138		29,8		27,1		23,7		34,6
144		29,9		27,2		23,5		34,3
150		29,9		27,3		23,4		34,4
156		30		27,4		23,6		34,6
162		29,9		27,7		23,7		34,3
168		30,1		27,6		23,6		34,3
174		29,9		27,7		23,8		34,3
180		30		27,8		23,8		34,4
186		30,3		27,9		23,7		34,6
192		30,2		27,9		23,8		34,4
198		30,1		28		23,6		34,6
204		30,2		28,2		23,7		34,5
210		30,1		28,2		23,6		34,5
216		30,1		28,4		23,7		34,6
222		30,4		28,4		23,9		34,6
228		30,4		28,4		23,8		34,4
234		30,5		28,3		24,2		34,4
240		30,6		28,5		24,2		34,6
246		30,4		28,5		24,1		34,6
252		30,5		28,8		24,4		34,6
258		30,4		28,6		24		34,6
264		30,4		28,6		24,4		34,6
270		30,6		28,6		24		34,7
276		30,6		28,7		24,3		34,6
282		30,4		28,6		24,3		34,5
288		30,6		28,8		24,6		34,6
294		30,6		28,8		24,3		34,6
300		30,7		28,9		24,9		34,7

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 3				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	17,4	20,5	27	34
1	10,5	19,4	25,6	33,8
2	14,3	17,6	24,9	32,6
3	12,9	18,5	25	33,5
4	15	17,5	25,2	33,8
5	15,8	18,8	25,4	32,8
6	7,9	19,1	24,8	33,1
7	11,7	19,1	25,2	33
8	10	19,1	25	33,3
9	12,3	18,5	24,1	31,5
10	13,9	18,1	25	33,2
11	13,5	16,8	24,5	32,6
12	8,8	18,9	24,3	33,1
13	13,1	17,2	24,4	32,8
14	9	17,8	23,7	32,8
15	9,1	14,3	23,7	31,5
16	10,7	16,1	23,4	32,3
17	11,6	16,2	24,2	32,9
18	5,9	16,8	24,1	33
19	11	16,2	23,7	32,3
20	11,5	15,5	23,9	32,2
21	6,5	16,6	23,5	32,5
22	11,6	16,7	23,6	33,4
23	10,3	15,3	23,8	33,1
24	3	15,6	23,5	32,3
25	4,4	15,8	22,8	32,5
26	10,6	16,2	23,6	32,7
27	10,9	15,4	23,4	33
28	4,8	16,3	23	33,2
29	9,3	15,8	22,9	33
30	9,8	15,5	23,2	33,2
31	6,9	15,3	22,7	32,7
32	4,4	15,4	22,6	32,8
33	9,2	15,1	22,5	32,5
34	5,8	15,4	22,1	31,8
35	8,3	15	22,5	32,3
36	6,8	14,9	22	31,3
37	5,3	14,4	21,6	31,8
38	4,5	15,3	22	32,5
39	7,9	14,5	22,2	32
40	7,9	14,6	22,1	32,3
41	2,1	14,7	21,6	31,4
42	7,3	15	22,3	32,4
43	9,8	15,8	22,1	32,5
44	8,6	14,7	22	32,4
45	2,2	15,3	21,7	32,5
46	9,4	15,2	21,6	32,1
47	7,7	13,8	21,3	32,3
48	2,8	14,6	20,6	31,7
49	4,4	13,5	21,6	32,6
50	7,5	13,7	21,4	32,8
51	2,2	13,6	21,4	32,8
52	6	12,9	21,3	32,6
53	5,8	13,8	21,4	32,6
54	1,4	13,4	20,7	32
55	7	13,8	21	32,3
56	6,3	13,5	20,3	31,4
57	1,4	13,7	20	31,8
58	6	11,5	19,1	31,2
59	1,4	13,2	20,2	31,5
60				

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 4								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	34,4	27,3	33,1	21,3	30,1	10,8	35,7	33,1
6	34,4	27,6	33,5	21,4	30	11,2	35,8	33,2
12	34,6	27,7	32,7	21,8	30	12,1	35,5	33,6
18	34,4	28		22,7	29,8	12,7	35,7	33,6
24	34,4	28,3	33,1	23,4	29,7	13,8	35,8	33,6
30	34,3	28,4	32,8	23,8	29,5	14,6	35,8	33,8
36	34,4	28,6	33,1	23,2	29,8	15,2	35,8	34,1
42	34,5	28,7	33,3	23,3	29,8	16	36	34,1
48	34,4	29	33,1	23,6	29,6	16,5	36	34,2
54	34,4	29,1	32,9	23,9	29,5	17,2	36	34,2
60	34,3	29,1	32,9	24,3	29,5	17,5	36	34,3
66		29,4		24,4		18,4		34,2
72		29,5		24,6		18,7		34,4
78		29,4		24,7		19,3		34,5
84		29,7		24,8		20,1		34,6
90		29,7		25,2		20,2		34,6
96		29,7		25,3		20,6		34,7
102		29,8		25,8		21,1		34,6
108		30		26,2		21,3		34,7
114		30		25,7		21,4		34,8
120		30,2		25,7		21,9		34,8
126		30,2		26,2		21,9		34,8
132		30,3		25,8		21,9		34,9
138		30,5		26,2		22		34,9
144		30,6		26,3		22		35
150		30,6		26,4		22,1		35
156		30,6		26,3		22,2		34,8
162		30,8		26,5		22,5		34,9
168		30,8		26,8		22,7		35,1
174		30,9		27		22,7		35
180		30,9		27		22,7		35,1
186		30,9		27		22,7		35,1
192		31,1		27,2		22,7		35,1
198		31,1		27		22,7		35,2
204		31,1		27,2		22,9		35,3
210		31,4		27,6		22,8		35,3
216		31,3		27,3		22,7		35,1
222		31,4		27,6		22,8		35,3
228		31,4		27,6		22,8		35,1
234		31,4		27,8		23		35,2
240		31,6		27,9		22,9		35,2
246		31,4		27,8		22,9		35,3
252		31,6		28		23,1		35,3
258		31,6		28		23,1		35,2
264		31,7		28,1		23,3		35,3
270		31,7		28,2		23,2		35,2
276		31,7		28,1		23,1		35,2
282		31,7		28,2		23,2		35,3
288		31,8		28,4		23,1		35,3
294		31,8		28,4		23,4		35,3
300		31,9		28,6		23,5		35,4

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 4				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	14,9	28	29,1	33,4
1	16,3	27,3	28,6	33
2	14	26,7	29,1	32,8
3	7,8	26,3	29,5	32,3
4	9,4	26	29	32,6
5	15,2	25,9	29,1	32,2
6	9,8	25,5	29,5	32
7	6,3	25,5	28,2	31,4
8	12,6	25,1	28,7	31,7
9	10,9	24,6	28,6	31,6
10	7,6	24,9	28,6	31,5
11	11,8	24,8	28,3	30,9
12	7,7	24,8	27,9	31,1
13	6,1	24,5	27,9	31,2
14	9,4	24,1	28,4	31,4
15	10,9	23,8	27,8	31,2
16	6,1	23,3	28	31
17	8,7	23,4	28,4	31,4
18	12,6	23,1	28,2	31,5
19	5,3	23,6	28,2	31,6
20	8,3	23,2	28	31,2
21	9	23,5	28,1	31,6
22	6,1	23,1	27,5	31,1
23	5,2	23,4	28	31,5
24	7,8	23,2	27,5	31
25	7,7	23,1	27,5	30,8
26	4,2	22,6	27,2	31,2
27	6,6	22,4	27,6	31,6
28	10,3	22,9	26,8	31,6
29	5,1	22,6	27,5	31,2
30	9,8	22,2	26,8	31,3
31	7	22,3	26,5	31,8
32	4,7	22	26,4	31,6
33	6,7	21,8	26,5	31,9
34	7,1	22,3	26,1	31,6
35	4,9	22	26,4	31
36	8,3	21	26	31,2
37	5,1	21,4	26,5	31,3
38	3,8	21,2	26,4	31,4
39	8,4	20,7	26,5	30,9
40	5,9	20,5	26,3	31,1
41	3,4	20,5	26,3	30,8
42	7	20,8	25,5	30,4
43	4,7	20	25,9	30,8
44	2,9	20,1	26,2	30,3
45	5,3	20,2	26,2	30,7
46	5,1	20,6	26,1	31,1
47	2,9	20,2	26,1	30,9
48	5,2	20,4	26,2	31,2
49	5,7	20,1	25,9	30,8
50	4,6	19,8	26,1	30,9
51	1,9	19,6	26	30,7
52	6,5	19,4	25,9	31,3
53	4,1	19,1	25,5	31,4
54	1,4	19,5	25,4	31,1
55	4,2	19	25,8	31,4
56	6,8	19,2	26	31,2
57	4,8	18,8	25,8	31
58	1,4	18,6	26,3	30,7
59	7,1	18,3	26,2	30,7
60	4,8	18,8	26,2	31

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 5								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	34,4	28,3	33,9	21,9	29,3	16,2	36	33,7
6	34,5	28,3	33,8	22,3	29,2	17,2	36,3	34
12	34,6	28,4	33,8	22,9	29,2	18,3	36,2	33,7
18	34,7	28,6	33,8	23,4	29,2	18,9	36,3	34,4
24	34,6	28,8	33,8	24,2	28,9	19,5	36,1	34,6
30	34,6	29	33,6	24,1	29,2	20,2	36	34,8
36	34,5	29	33,8	24,9	29	20,7	36	34,4
42	34,6	29,6	33,8	25,1	29	21,1	36	35,1
48	34,7	29,3	33,8	25,6	29,3	21,9	36,2	35
54	34,7	29,8	33,9	25,7	29,1	22,1	36,2	35,2
60	34,7	30	33,7	26,1	29,1	22,5	36,1	34,8
66		30,3		26,2		22,8		34,8
72		30		26,4		23,1		35,1
78		30,4		26,8		23,2		35,1
84		30,4		26,8		23,4		35,2
90		30,6		27,2		23,4		35,4
96		30,7		27,5		23,7		35,1
102		30,6		27,4		23,8		35,2
108		30,6		27,6		24,3		35,1
114		30,7		27,5		24,1		35,3
120		30,9		28,1		24,3		35,2
126		30,9		28,1		24,5		35,2
132		30,9		28,3		24,3		35,3
138		30,9		28,4		24,5		35,5
144		31,3		28,6		24,6		35,4
150		31		28,7		24,6		35,7
156		31,4		28,8		24,6		35,4
162		31,5		29		24,7		35,6
168		31,8		29,1		24,9		35,3
174		31,6		29,2		24,9		35,3
180		31,7		29,6		24,9		35,6
186		31,6		29,1		25		35,6
192		31,6		29,4		25,2		35,4
198		31,8		29,4		25,2		35,5
204		31,8		29,8		25,3		35,6
210		31,8		29,8		25,2		35,4
216		31,8		30		25,3		35,6
222		32		30		25,5		35,4
228		32,3		30,2		25,6		35,5
234		32		30,2		25,5		35,3
240		32		30		25,6		35,6
246		32,4		30,3		25,7		35,6
252		32,5		30,6		25,8		35,7
258		32,3		30,9		25,9		35,4
264		32,3		30,6		25,9		35,8
270		32,4		30		26		35,8
276		32,4		30,8		26		35,6
282		32,4		30,7		26,1		35,4
288		32,8		30,9		26,2		35,5
294		32,7		30,9		26,3		35,8
300		32,8		31		26,4		35,5

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 5				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	16,4	19,5	28,5	33,0
1	9,7	18,4	27,1	32,8
2	13,0	17,6	26,9	32,3
3	13,8	17,5	26,7	32,5
4	10,1	17,3	26,9	32,8
5	14,6	17,8	27,0	31,8
6	7,6	18,0	26,3	32,1
7	12,8	17,8	26,7	32,0
8	7,8	17,9	26,5	32,3
9	10,6	17,5	25,9	31,5
10	11,2	17,1	26,5	32,2
11	10,8	16,8	26,0	31,6
12	7,8	17,1	25,8	32,1
13	12,1	16,2	25,9	31,8
14	8,0	16,8	25,2	31,8
15	8,1	15,2	25,2	31,4
16	9,7	15,4	25,0	31,3
17	10,6	15,5	25,7	31,9
18	6,0	15,8	25,6	32,0
19	10,0	15,2	25,2	31,3
20	7,3	15,0	25,4	31,2
21	5,7	15,6	25,0	31,5
22	9,8	15,7	25,1	32,1
23	7,3	14,9	25,3	32,0
24	4,7	14,6	25,0	31,9
25	6,9	14,8	24,8	31,5
26	7,1	15,2	25,1	31,7
27	6,3	14,8	24,9	32,0
28	3,8	15,3	24,5	32,2
29	8,3	14,8	24,4	32,0
30	6,7	14,5	24,7	32,2
31	3,9	14,3	24,2	31,7
32	3,0	14,4	24,1	31,8
33	8,2	14,1	24,0	31,5
34	3,7	14,4	23,6	31,3
35	4,7	14,0	24,0	31,3
36	6,0	13,6	23,3	30,8
37	4,3	13,4	23,1	30,9
38	3,6	13,7	23,5	31,5
39	4,9	13,5	23,7	31,0
40	5,0	13,6	23,6	31,3
41	2,2	13,7	23,7	30,8
42	5,3	14,0	23,8	31,4
43	6,9	14,1	23,6	31,5
44	5,3	13,7	23,5	31,4
45	1,2	13,8	23,2	31,5
46	7,3	13,7	23,1	31,1
47	4,8	12,8	22,8	31,3
48	1,8	12,6	22,9	31,2
49	3,4	12,5	23,1	31,6
50	5,1	12,7	22,9	31,8
51	1,4	12,6	22,9	31,8
52	3,8	12,2	22,8	31,6
53	4,3	12,8	22,9	31,6
54	1,4	12,4	22,2	31,0
55	4,7	12,8	22,5	31,3
56	4,0	12,5	21,8	30,9
57	1,6	12,7	21,5	30,8
58	5,3	11,9	21,6	30,6
59	1,4	12,2	21,7	30,5
60				

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 6								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	33,2	25,7	32,3	19,1	23,3	14,7	35,7	33,3
6	33,5	26,1	32,4	19,9	23,1	15,7	35,7	33,6
12	33,2	26,8	32,4	20,4	23,2	16,7	35,7	33,6
18	33,4	26,7	32,2	21,1	23,3	17,2	35,7	33,7
24	33,5	26,8	32,3	21,6	23,1	18	35,8	34,2
30	33,5	27,1	32,5	22,1	23	18,2	35,7	34,6
36	33,7	27,6	32,4	22,3	23,2	18,9	35,9	34,8
42	33,7	27,5	32,5	22,6	23,4	19,1	35,8	34,7
48	33,5	27,9	32,5	22,9	23,5	19,2	35,8	34,7
54	33,6	27,8	32,5	23,2	23,2	19,6	35,9	34,6
60	33,6	27,8	32,5	23,4	23,4	19,6	35,6	35
66		27,9		23,7		19,7		34,9
72		28,1		23,8		19,8		35
78		28,1		24,2		20,1		35,1
84		28,4		24,3		20,2		35,2
90		28,4		24,6		20,3		34,8
96		28,5		24,6		20,3		35,3
102		28,7		25,1		20,4		35,4
108		28,8		25		20,6		35,2
114		28,7		25,2		20,6		35
120		28,8		25,3		20,6		35,4
126		29		25,4		20,8		35,3
132		29		25,7		20,8		35,3
138		29		25,9		20,8		35,3
144		29,1		25,8		20,8		35,3
150		29,4		26,2		20,7		35,2
156		29,3		26		20,7		35,4
162		29,5		26,3		20,8		35,4
168		29,5		26,2		21		35,4
174		29,6		26,6		21		35,2
180		29,5		26,5		21,1		35,3
186		29,6		26,7		21,1		35,4
192		29,7		26,7		21,2		35,6
198		29,9		27		21,3		35,3
204		30		27		21,2		35,4
210		30,1		27,1		21,4		35,4
216		30,2		27		21,3		35,6
222		30,1		27,3		21,3		35,5
228		30,1		27,2		21,3		35,6
234		30,3		27,4		21,5		35,7
240		30,5		27,5		21,6		35,7
246		30,5		27,5		21,4		35,6
252		30,6		27,5		21,4		35,6
258		30,8		27,6		21,4		35,6
264		30,7		27,8		21,6		35,7
270		30,7		27,8		21,4		35,5
276		30,7		27,9		21,7		35,7
282		30,8		28		21,5		35,5
288		30,8		27,9		21,9		35,6
294		30,7		28,2		21,6		35,5
300		30,8		28,1		21,6		35,4

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 6				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	16,8	18,8	24,7	32,3
1	17,7	18,3	24,5	32,4
2	9,4	18	25,1	32,5
3	16,9	17,6	24,5	32,2
4	14,1	17	24,2	31,7
5	10,4	17,2	24,6	32,1
6	8,0	17,1	24,4	32,1
7	10,0	16,6	24,4	32,3
8	15,3	16,7	24,2	31,7
9	14,5	16,3	23,9	31,4
10	9,0	16,6	24,5	31,2
11	5,8	16,9	24,9	31,6
12	9,7	16	24,5	32
13	14,4	15,8	24,6	32
14	6,8	16,1	23,5	32,2
15	5,1	15,3	24	32,1
16	13,4	15,5	23,2	31,6
17	10,3	15,1	23,4	31,5
18	5,0	15,3	23	31,7
19	8,7	15,5	23,6	32,2
20	12,6	15,3	23,8	32,4
21	9,9	14,5	23,8	32
22	4,5	14,7	23,5	32,5
23	7,2	15,2	23,6	32,3
24	11,6	15	23,5	32,4
25	8,8	15,2	23,5	32,1
26	5,3	14,2	23,3	32
27	3,8	14,2	22,8	31,8
28	7,9	14,6	22,9	31,6
29	10,6	14,7	23,2	31,7
30	6,9	14,4	22,8	32
31	3,1	14,4	23	31,2
32	7,6	14,9	22,4	31,6
33	9,9	15	22,8	31,7
34	3,2	14,5	23	31,7
35	7,0	14,4	22,5	31,3
36	9,2	14	22,5	31,4
37	5,8	14,1	22,2	31
38	2,0	14,2	22,6	31,4
39	6,0	13,9	22,5	31,4
40	8,9	13,9	22,6	31,4
41	6,2	13,5	22,2	31,5
42	3,6	13,8	22,7	31,3
43	5,2	13,4	23	31,8
44	7,3	13,2	22,3	31,2
45	4,3	12,5	22,4	31,6
46	2,1	12,9	22,7	31,4
47	6,4	12,9	22,8	31,7
48	4,6	13,4	22,8	32,2
49	1,4	12,8	22,8	32,2
50	7,3	12,7	22,6	32
51	3,5	13	22,4	32,4
52	1,4	12,9	22,2	32,2
53	5,6	12,6	22,3	31,7
54	1,4	12	22,3	31,6
55	6,7	12,2	21,8	31,5
56	4,9	12,2	21,8	31,2
57	1,4	12,6	21,8	31,3
58	3,7	13	22,1	31,6
59	6,2	12,2	22,2	32
60	4,1	12,5	22,4	

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 7	Temperaturen [°C]							
Zeit [sec]	Nase	Kinn	Stirn	Augenhöhle	Nase	Kinn	Stirn	Augenhöhle
0	29,3	34,9	35,1	36,1	9,8	24,3	26,5	34,4
6	29,1	34,8	35,1	36,2	4,5	24,1	26,9	34,8
12	28,9	34,6	34,9	36	6,9	25,2	26,8	34,9
18	29	34,6	35	36,2	4,9	25,2	26,6	35
24	29,1	34,7	35,2	36,2	8,6	26,6	27,1	33,3
30	28,9	34,6	34,9	36,1	8,5	27,4	27,7	33,8
36	28,9	34,7	35,1	36,1	9,3	27,9	28,2	34,7
42	28,6	34,9	35,1	36,1	11,3	28,4	28,3	34,2
48	29,1	34,7	35	36,2	12,2	28,7	28,5	34,6
54	28,8	34,9	35,1	36,1	13,5	29,3	28,8	34,9
60	28,9	34,8	35,2	36,2	14	29,6	29,1	34,4
66					16,2	29,6	29,4	34,6
72					16,7	29,8	29,7	35,1
78					17,3	30	29,9	34,6
84					19	30,7	29,9	34,4
90					19,2	31,2	30,1	34,5
96					20,4	31,3	30,5	34,5
102					20,9	31,6	30,7	34,9
108					21,6	31,5	30,7	35
114					22,5	31,6	30,8	34,9
120					22,8	30	31,1	34,9
126					23,2	31,2	31	34,9
132					23,6	31,5	31,3	35
138					23,9	31,7	31,3	35,2
144					24,8	31,6	31,3	35,2
150					25,2	32	31,6	35
156					25,4	31,2	31,8	35,2
162					25,8	31,3	31,9	35,3
168					25,9	31,5	32,1	35,3
174					26,2	31,7	32,3	35,3
180					26,3	31,7	32,2	35,3
186					26,7	31,7	32,7	35,4
192					27,2	31,9	32,4	35,6
198					27,3	31,9	32,6	35,4
204					27,4	32,1	32,8	35,5
210					27,7	32,2	32,8	35,6
216					28	32,2	33	35,6
222					28,2	32,4	33,3	35,7
228					28,4	32,7	33,3	35,6
234					28,6	32,5	33,1	35,5
240					28,8	32,7	33,1	35,6
246					28,9	32,8	33,6	35,7
252					29,1	33	33,6	35,8
258					29,5	32,9	33,4	35,5
264					29,3	33	33,5	35,6
270					29,7	33,1	33,5	35,5
276					30,1	33,2	33,6	35,6
282					30,2	33,3	33,6	35,7
288					30,9	33,5	33,8	35,7
294					30,8	33,5	33,6	35,8
300					31,7	33,6	33,8	35,9

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 7				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	20,6	25,3	27,7	32,5
1	19,8	25	27	32,7
2	19,7	25,2	28,9	33,7
3	18,9	23,7	29,2	32,8
4	19,5	24,7	28,1	33,3
5	19,5	24,6	28,2	33,3
6	19,1	24,3	26,3	32,1
7	17,6	24,3	26,2	32,3
8	17,3	23,2	25,3	28,9
9	17,5	23,2	27,8	32,4
10	16,8	22	26,5	32
11	16,9	23,2	27,6	32
12	14,8	22	25,4	30,1
13	15,9	23,2	28,2	32,7
14	13,9	23,1	27,2	31,3
15	14,2	20,7	26,2	32
16	14,3	22,7	26,8	32,5
17	14,8	22,3	26,9	32,3
18	12,2	22,5	24,7	29,8
19	12,8	22	27,5	33
20	12,6	21,4	26	30,7
21	11,9	22	26,2	31,2
22	12,8	20,5	25	30,2
23	13,9	20,5	23,8	31
24	11,9	20,6	25	32,5
25	12,2	20,5	23,6	31
26	12,3	19,6	25,3	32,3
27	12,8	20	23,8	31,4
28	11,2	19,3	23,8	31,1
29	8	19,3	25,3	30,6
30	7,1	19,1	24,5	32,1
31	7,5	17,9	23,4	30,6
32	6,5	18,6	24	32,8
33	8,3	18,9	24	33,4
34	5,7	18,4	23,8	31,5
35	6,7	18	24,3	31,9
36	5,8	17,9	23,3	32,2
37	5,9	18,4	23,4	32,4
38	5,9	17,4	23,5	32,4
39	5,2	18,7	25,1	32,5
40	4,4	16,6	24,9	31,5
41	4,4	17,9	24,8	32,1
42	3,3	18,1	24,7	31,5
43	3	17	23,8	30,2
44	3,5	18,5	24,3	32,1
45	3,5	18,2	23,5	31,1
46	3,7	18	24,2	30,9
47	3,1	18,2	23,1	31,6
48	3	16,6	23,2	30,7
49	3,9	17,4	24,7	32,3
50	2,5	17,6	23,5	33
51	1,4	16,3	21,4	29,2
52	2,4	17	23,7	32,5
53	2,6	17,6	20,2	27,7
54	3,1	16,7	23,5	30,5
55	4	16,9	23,5	31,9
56	1,4		23,9	33,2
57	3,2	17,2	23,8	32,2
58	4,4		23,1	31,6
59	1,4	16,9	23,4	32,2
60	3,1	16,6	21,9	31,8

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 8								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	34,8	29,1	34,3	22,8	28,3	11	36,3	34,3
6	34,8	29,1	34,2	23,4	28,4	11,6	36,3	34,8
12	34,7	29,4	34,2	23,6	28,3	12,2	36,4	34,6
18	34,7	29,3	34,1	24,5	28,1	12,8	36,4	35,1
24	34,7	29,7	34,1	24,6	28,2	13,9	36,4	35,2
30	34,7	29,8	34,2	25	28,3	14,9	36,5	35,2
36	34,8	30	34,2	25,3	28,3	15,3	36,3	35,4
42	34,6	29,7	34,2	25,7	28,3	15,9	36,3	35,4
48	34,7	29,9	34,1	26	28,1	17	36,3	35,2
54	34,7	30	34,2	25,7	28,3	17,6	36,4	35,5
60	34,6	30	34,1	26	28,1	19,5	36,4	35,6
66		30,1		26,2		18,9		35,7
72		30,2		26,4		20		35,6
78		30		26,6		19,8		35,8
84		30,5		26,7		20,5		35,5
90		30,5		26,7		20,6		35,6
96		30,4		27		21,4		35,6
102		30,5		27,2		21,9		35,7
108		30,3		27,5		22,3		35,8
114		30,5		27,4		22,6		35,6
120		30,7		27,6		22,5		35,5
126		30,5		27,5		22,4		35,7
132		30,6		27,8		22,6		35,5
138		30,8		27,8		22,9		35,9
144		30,8		27,6		23		35,4
150		30,7		27,8		23,1		35,7
156		30,7		27,8		22,8		35,4
162		30,9		27,9		23,4		35,4
168		31,1		27,9		23,4		35,8
174		30,8		28,2		23,1		35,8
180		30,9		28,2		23,6		35,8
186		30,9		28,4		23,2		35,7
192		31		28,4		23,1		35,7
198		30,9		28,4		23,1		35,7
204		31		28,4		23,6		35,9
210		31,2		28,6		23,3		35,8
216		31,2		28,7		23,7		35,8
222		31,3		28,8		23,6		35,8
228		31,3		28,6		23,4		35,6
234		31,5		28,7		23,4		35,8
240		31,4		28,8		23,6		36
246		31,5		29		23,6		35,8
252		31,6		28,8		23,5		35,6
258		31,6		29,2		23,6		35,7
264		31,6		28,9		23,5		35,8
270		31,6		29		23,8		35,8
276		31,9		29,1		23,8		36
282		31,6		29,2		23,6		35,8
288		31,7		29,1		23,8		35,9
294		31,9		29,3		24		36
300		32		29,1		24		35,9

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 8				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
1	23	28	28,6	32,4
2	22,3	27,3	28,1	32,1
3	20	26,7	28,6	31,8
4	11,9	26,3	29,0	32,2
5	14,4	26	28,5	32,4
6	18,2	25,9	28,6	32,2
7	15,2	25,5	29,0	32
8	9,3	25,5	27,7	32,4
9	17,6	25,1	28,2	32,7
10	13,4	24,6	28,1	32,6
11	7,6	24,9	28,6	32,5
12	16,5	24,8	28,3	32,1
13	13,8	24,8	27,9	32,2
14	7	24,5	27,9	32,4
15	15,4	24,1	28,4	32,2
16	12	23,8	27,8	32
17	8,2	23,3	28,0	32,4
18	12	23,4	28,4	32,5
19	15,1	23,1	28,2	32,6
20	6	22,6	28,2	32,2
21	10,7	22,2	28,5	32,6
22	14,2	22,5	28,6	32,1
23	7,1	22,1	28,0	32,5
24	8,8	22,4	28,5	32
25	10,3	22,2	28,0	31,8
26	7,7	22,1	28,0	32,2
27	6,6	21,6	27,7	31,6
28	11,5	21,4	28,1	31,6
29	8,8	21,9	27,3	32,2
30	4,8	21,6	28,0	32,3
31	10,1	21,2	27,8	32,8
32	8	21,3	27,5	32,6
33	4,7	21	27,4	31,9
34	12,4	20,8	27,5	31,6
35	7,5	20,3	27,1	32
36	3,9	20	27,4	32,2
37	10,9	19	27,0	32,3
38	7,9	19,4	27,5	32,4
39	2,8	19,2	27,4	32,4
40	9	18,7	27,5	32,6
41	6	18,5	27,3	32,3
42	3,1	18,5	27,3	31,9
43	6,8	18,8	26,5	32,3
44	5,9	18	26,9	31,8
45	3,9	18,1	27,2	32,2
46	8,4	18,2	27,2	32,6
47	5,1	17,6	27,1	32,2
48	1,4	17,2	27,1	32,7
49	5,4	17,4	27,2	32,3
50	8,2	17,1	26,9	32,4
51	4,6	16,8	27,1	32,2
52	1,4	16,6	27,0	31,8
53	8,3	16,4	26,9	31,9
54	5,8	16,1	26,5	32,6
55	3,4	16,5	26,4	31,9
56	5,8	16	26,8	32
57	8	16,2	27,0	32,3
58	8,1	15,8	26,8	32,2
59	7,3	15,6	27,3	32
60	1,4	15,3	27,2	32

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 9								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	34,6	27,1	32,6	22,5	32,8	16,5	36,2	34,4
6	34,7	28	32,7	23,6	32,9	17,1	36,3	34,6
12	34,6	28,2	32,6	24,1	33	19	36,3	35
18	34,6	28	32,7	24,4	32,8	19,1	36,2	35,2
24	34,7	28,4	32,5	24,9	32,8	21	36,2	35,2
30	34,6	28,8	32,6	25,1	32,6	21,9	36,2	35,3
36	34,5	28,9	32,6	25,4	32,6	22,6	36,3	35,1
42	34,6	28,8	32,6	25,7	32,5	22,7	36,4	35
48	34,6	28,9	32,3	26,1	32,5	23,4	36,2	35,3
54	34,5	29,2	32,3	26,7	32,4	23,5	36,3	35,9
60	34,6	29,3	32,3	26,6	32,4	24	36,2	35,4
66		29,4		26,9		24,1		35,6
72		29,5		26,8		24,4		35,5
78		29,6		27		24,6		35,8
84		29,8		27,4		24,9		35,8
90		29,7		27,4		24,8		35,8
96		29,7		27,5		25		35,6
102		29,8		27,6		25,2		35,6
108		29,7		27,6		25,1		35,6
114		29,7		27,9		25,1		35,7
120		29,7		27,7		25,1		35,7
126		29,9		27,8		25,3		35,7
132		30		28		25,4		35,6
138		30		28,1		25,4		35,7
144		30,2		28,2		25,5		35,6
150		30		28,7		25,6		35,7
156		30		28,5		25,6		35,6
162		30,2		28,3		25,6		35,6
168		30,3		28,3		25,7		35,9
174		30,5		28,5		25,8		36
180		30,5		28,6		25,7		35,6
186		30,5		28,6		26,1		36
192		30,4		28,9		26,1		35,9
198		30,8		28,9		26,1		35,8
204		30,9		28,7		26		36
210		30,6		29,2		26,4		35,7
216		30,7		29,3		26,5		35,8
222		30,9		29,3		26,8		35,8
228		31,1		29,4		26,5		35,7
234		30,9		29,3		26,7		35,9
240		30,9		29,4		26,8		35,7
246		31,2		29,7		26,9		35,8
252		31		29,5		27,1		35,8
258		31,1		29,9		27,1		35,9
264		31,1		30,1		27,2		35,8
270		31,2		30		27,2		35,7
276		31,2		29,9		27,6		35,8
282		31,4		30,3		27,7		35,7
288		31,3		30		27,6		35,8
294		31,4		30,2		28,1		35,8
300								

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 9				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	16,9	26	28,9	32,1
1	18,6	26,3	28,9	32,2
2	16,2	26,4	28,8	32,3
3	12,1	25,8	28,5	32,2
4	16,4	25,6	28,7	32
5	17,6	25,1	28,8	32,1
6	11,5	24,5	29	32,4
7	15,8	24,7	28,7	32,3
8	12,7	24,3	28,6	32,2
9	9,9	24	28,4	32,3
10	16,1	23,9	28,2	32,2
11	14,2	23,3		32,2
12	8,9	23,3	28,7	32,7
13	10,7	22,8	28,2	32,3
14	12	22,5	28,9	32,5
15	11,7	22,9	28,3	32,8
16	15,3	23	28,6	32,5
17	12	22,9	28,1	32,6
18	10,9	22,8	28,1	32,2
19	10,8	22,1	28,3	32,8
20	9,3	22,1	28,2	32,7
21	7,9	21,2	28,2	32,5
22	12,7	22,5	27,6	32,6
23	9,1	22,3	27,2	32,7
24	5,6	22,1	27,5	32,8
25	12,4	21,8	27,6	33
26	8,6	21,7	27,2	32,7
27	4,1	21	27,7	32,4
28	12	21,5	27,1	32,6
29	7,7	20,7	27	32,7
30	7,9	20,9	27,2	32,4
31	8,2	20,5	26,9	32,4
32	8,9	19,8	26,8	32,6
33	9,4	19,7	27,2	32,4
34	4	19,2	27	32,6
35	11,3	19,4	26,7	32,2
36	9	18,9	27	32,2
37	2,5	19,2	26,9	32,5
38	11	18,8	27,6	32,3
39	8,5	19	27,3	32,6
40	3,8	19,7	27	32,4
41	6,9	18,8	26,8	32,6
42	10,8	18,5	26,6	32,3
43	6,9	18,3	26,7	32,3
44	2,4	17,5	26,9	32,5
45	8,9	17,9	26,4	32,6
46	7,4	17,2	26,8	32,6
47	1,9	17,5	26,4	32,4
48	5,2	17,1	26,6	32,7
49	5,3	17,3	26,8	33
50	5	17	26,4	32,6
51	5,6	16,8	26,5	32,7
52	4,9	16,6	26,2	32,9
53	6,6	16,1	26,6	32,4
54	3,4	16,4	26,6	32,7
55	1,4	16,1	26,2	32,6
56	6	15,7	25,8	32,5
57	8,2	15,2	26,1	32,6
58	2,7	15,7	26	32,8
59	7,1	15,1	26,2	32,9
60	2,3	14,6	25,9	32,4

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 10								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	35,4	28,5	35,2	28,7	32,7	15,7	36,9	34,2
6	35,2	28,9	35,3	29,7	32,7	16,4	36,8	34,5
12	35,3	29,1	35,2	29,8	32,5	18,5	36,8	34,7
18	35,2	29,6	35	30	32,9	19,1	36,7	34,8
24	35,2	30	35,2	29,9	32,4	19,4	36,7	34,9
30	35,2	29,8	35,1	30,3	32,5	20,9	36,6	35
36	35,3	30	34,9	30,3	32,6	21,1	36,8	35
42	35,3	30,2	34,9	30,4	32,6	21,5	36,8	35,3
48	35,3	30,4	35,1	30,8	32,2	22,1	36,7	35,2
54	35,4	30,6	34,7	31	32,1	22,7	36,8	35,3
60	35,4	30,7	34,9	31,1	32,1	23,4	36,7	35,6
66		30,8		31,2		23,6		35,4
72		31		31,2		23,8		35,3
78		30,8		31,2		24,3		35,5
84		31		31,6		24,6		35,7
90		31,1		31,7		24,8		35,8
96		31,2		31,5		25,3		35,7
102		31,2		31,6		25,4		35,8
108		31,4		31,7		25,6		35,8
114		31,5		31,1		25,7		35,9
120		31,6		31,6		25,6		35,9
126		31,8		32,4		25,8		35,9
132		31,9		32,1		25,5		36
138		32		32,1		26		36
144		32,1		32,4		25,7		36
150		31,8		32,5		26,1		36
156		31,9		32,2		26		36
162		32		32,5		25,8		36
168		32		32,7		26,2		36
174		32,1		32,6		26		36,3
180		32,1		32,9		26,2		36,1
186		32,3		32,7		26,2		36,1
192		32,5		32,7		26		36
198		32,5		33,2		26,1		36,1
204		32,6		32,8		26,3		36,1
210		32,8		32,7		26,3		36,2
216		32,8		33		26,2		36,1
222		32,8		33		26,3		36,2
228		32,9		33,3		26,4		36,1
234		32,9		33,1		26,4		36,2
240		33		33,3		26,5		36,2
246		33		33,5		26,9		36,2
252		33		33,3		26,8		36,2
258		33,1		33,4		26,5		36,2
264		33,1		33,4		26,7		36,1
270		33		33,6		27		36,2
276		33		33,6		27,1		36,2
282		33,3		33,4		27,3		36,3
288		33,4		33,6		27,2		36,3
294		33,4		33,6		27,1		36,1
300		33,4		33,7		27,2		36,2

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 10				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	7,4	19,6	29	32,9
1	14	19,8	28,4	32,7
2	11,3	18,6	28,9	32,8
3	6,1	19	29	32,8
4	14,3	19,2	28,6	32,7
5	12,8	20	28	32,5
6	1,7	20,5	29	32,6
7	7,9	20,2	28,1	32,4
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	5,7	-	25,3	31,4
30	4,4	-	26,4	31,6
31	6,4	20,9	26,2	31,6
32	5,9	18,5	25,1	31,5
33	2,9	18,6	26,4	31,5
34	4,6	17,2	26,6	31,4
35	5,7	-	26,1	31,7
36	7,9	18,5	26,9	32
37	4,9	-	26,7	31,8
38	5,2	-	26,7	31,7
39	4,9	-	-	-
40	5,3	17,5	26,8	31,6
41	3,1	16	26,4	31,7
42	4,2	17,6	26,5	32,2
43	5,5	17	26,7	32,2
44	3,1	18,6	26,7	32,2
45	5,4	19,4	26,7	32,2
46	5,9	19,6	27,1	32,2
47	4,1	20	26,8	32,3
48	3,9	19,9	27,2	32,3
49	3,4	18,5	27,1	32,3
50	2,9	19,3	26,5	32,3
51	5,4	17,8	26,7	32,2
52	3,1	18	26,9	32,2
53	5,4	18,9	27,3	32,2
54	5,3	19,5	26,5	32
55	3,4	17,2	27,3	31,7
56	1,5	17,8	26,6	32,2
57	6,6	18	26,7	32
58	5,4	18,2	26,3	32,1
59	1,4	17,7	26,8	32
60	5	17,1	26,4	32
- nicht auswertbar				

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 11								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	32,7	24,8	32,2	20,5	30,7	12,8	35,9	34
6	32,6	25,6	32,3	21,9	30,6	13	35,9	34,1
12	32,6		32,3		30,6		35,9	
18	32,6	26,3	32,1		30,5	14,8	36	34,5
24	32,7	26,4	32,4		30,7	16,6	35,8	34,3
30	32,6	26,7	32,3		30,5	18,3	36	34,5
36	32,7	26,9	32,2		30,4	18	35,9	35
42	32,4	27,1	32,1		30,2	19,5	36	34,9
48	32,4	27,3	32,4		30,2	20,1	36	35
54	32,7	27,4	32,6		30,2	20,3	36	34,8
60	32,7	27,7	32,4		30,1	21,1	36,1	34,9
66		27,7				21,2		35,1
72		28,1				22,2		34,9
78		28,2				22,3		35,1
84		28,2				23,8		35
90		28,4				23,3		35,1
96		28,5				23,7		35,1
102		28,6				23,5		35,1
108		28,7				24		35,2
114		28,9				24,3		35,3
120		29				24		35
126		29				24,1		35,1
132		29				24,5		35,1
138		29,1				24,3		35,2
144		29,3				24,6		35
150		29,2				24,4		35,1
156		29,5				24,6		35,3
162		29,6				24,7		35,1
168		29,9				24,7		35,2
174		29,6				25		35,4
180		29,7				24,7		35,2
186		29,6				24,9		35,1
192		29,8				24,9		35,2
198		29,9				24,8		35,1
204		29,9				24,8		35,2
210		29,9				24,9		35,3
216		30				25,3		35,2
222		30				25,3		35,1
228		30,1				25,4		35,1
234		30				25,4		35,2
240		30,4				25,2		35,3
246		30,2				25,5		35,2
252		30,2				25,7		35,2
258		30,1				25,7		35,3
264		30,2				25,7		35,3
270		30,5				25,5		35,1
276		30,4				25,5		35,3
282		30,5				25,6		35,3
288		30,7				25,6		35,2
294		30,4				25,8		35,5
300		30,5				25,7		35,3

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 11				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	29,4	28	30,0	32,9
1	16,8	27,6	30,1	32,9
2	21,2	27,9	29,8	32,7
3	14,3	28,3	29,5	32,8
4	17,1	28,2	30,1	32,8
5	20,0	27,7	29,4	32,7
6	12,1	-	29,5	32,7
7	19,2	-	29,7	32,8
8	10,8	-	30,0	32,7
9	15,3	-	29,2	32,6
10	17,8	-	29,2	32,7
11	8,9	-	29,8	32,7
12	18,3	-	29,4	32,5
13	11,9	27,3	29,1	32,8
14	7,7	27,7	28,8	32,7
15	16,3	27	28,7	32,6
16	12,7	27,5	28,8	32,5
17	12,9	27,2	28,2	32,7
18	12,6	26,8	28,1	32,6
19	6,9	26,7	27,8	32,7
20	11,6	26,8	28,1	32,3
21	14,8	26,7	27,6	32,5
22	6,1	26,7	28,0	32,8
23	14,4	26,2	27,7	32,6
24	10,2	-	27,9	32,7
25	6,0	26	27,8	32,7
26	13,5	26,1	27,8	32,7
27	5,4	25,8	28,1	32,8
28	12,9	25,6	27,7	32,8
29	9,4	-	27,0	32,6
30	4,7	-	26,4	32,6
31	13,5	25,7	26,1	32,6
32	10,4	-	25,9	32,4
33	10,3	-	26,9	32,5
34	10,0	-	26,6	32,5
35	7,1	-	26,6	32,5
36	4,4	-	26,6	32,5
37	13,2	-	26,4	32,5
38	3,2	-	26,0	32,4
39	13,0	-	25,6	32,3
40	8,8	-	26,0	32,5
41	4,5	-	26,3	32,5
42	8,9	-	26,4	32,4
43	12,7	-	26,4	32,5
44	3,8	-	26,3	32,4
45	8,7	-	26,2	32,5
46	11,9	-	26,1	32,4
47	2,9	-	25,8	32,5
48	11,1	-	25,8	32,5
49	1,4	-	25,6	32,5
50	6,4	-	25,6	32,5
51	10,1	-	25,4	32,4
52	1,4	-	25,0	32,3
53	10,5	-	24,8	32,4
54	6,7	-	24,4	32,4
55	1,4	-	24,6	32,3
56	6,8	-	24,5	32,2
57	10,2	-	24,6	32,3
58	5,4	-	23,9	32,2
59	1,4	-	23,9	32,3
60	5,2	-	23,4	32,3
- nicht auswertbar				

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 12								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	34,5	24,4	32,2	17	28,1	17	35,5	32,6
6	34,6	25,1	32,2	17	27,9	18,2	35,5	33,2
12	34,5	25,4	32,1	17,7	27,9	19,6	35,7	33,3
18	34,8	25,7	32,1	18,4	27,9	21,1	35,6	33,6
24	34,6	25,8	32,2	18,9	28,2	21,5	35,6	33,9
30	34,8	26,2	32,2	19,4	28	22,3	35,8	34
36	34,8	26,4	32,1	19,9	28	22,6	35,7	34,3
42	34,4	26,6	32,2	20,2	27,9	22,9	35,7	34,4
48	34,4	26,6	32	20,5	28	23,3	35,6	34,6
54	34,3	26,8	32,2	20,9	27,9	23,7	35,6	34,7
60	34,3	26,9	32,1	21,2	28	23,7	35,7	34,6
66		27,1		21,6		23,8		34,9
72		27,1		21,8		24,1		34,8
78		27,3		21,9		24,5		34,7
84		27,3		22,4		24,8		34,8
90		27,6		22,5		24,7		34,9
96		27,9		22,8		24,7		35,1
102		28,1		22,9		24,7		35,3
108		28		23		24,6		35,1
114		28,2		23,1		24,6		35,1
120		28,3		23,6		24,5		35,2
126		28,3		23,7		24,5		35
132		28,3		23,8		24,8		35
138		28,5		23,8		24,6		35,1
144		28,4		24		24,5		35,2
150		28,7		24,3		24,7		35,2
156		28,7		24,2		24,6		35,2
162		29		24,3		24,6		35,2
168		29		24,4		24,4		34,9
174		29		24,4		24,2		35
180		29,1		24,7		24,3		34,8
186		29,1		24,8		24,3		35
192		29,1		24,8		24,4		34,9
198		29,4		24,8		24,5		35,1
204		29,4		25		24,6		34,9
210		29,6		25		24,6		34,8
216		29,8		25,3		24,6		35
222		29,7		25,2		24,4		35
228		29,8		25,2		24,4		35,1
234		29,9		25,7		24,5		34,9
240		29,9		25,6		24,5		35,1
246		30,1		25,7		24,5		35,1
252		30		25,7		24,4		35,1
258		30		25,7		24,4		35
264		30,2		25,8		24,5		35
270		30,2		25,9		24,5		35,1
276		30,3		26		24,4		35
282		30,4		25,9		24,5		35
288		30,4		26,1		24,5		35,1
294		30,7		26		24,4		35
300		30,8		26,3		24,5		35,1

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 12				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	25,6	29,7	31,7	34,3
1	24,2	29,2	31,5	34
2	24,0	29,1	32,1	33,5
3	21,0	28,6	31,5	33,2
4	21,5	28,2	31,2	32,7
5	19,1	28,6	31,6	33,1
6	20,7	28,4	31,4	33,1
7	20,0	28,4	31,4	33,3
8	18,6	28,2	31,2	32,7
9	16,7	27,9	30,9	32,4
10	18,8	28	30,5	32
11	18,2	27,9	30,9	31,6
12	18,0	27,5	30,5	32
13	17,5	27,6	30,6	32
14	14,4	26,5	29,5	32,2
15	17,4	27	30	32,1
16	17,4	26,2	29,2	31,6
17	17,5	26,4	29,4	31,5
18	17,0	26	29	31,7
19	12,6	26,6	29,6	32,2
20	16,0	26,3	29,8	32,4
21	17,8	25,5	28,8	32
22	17,6	25,7	28,5	32,5
23	17,0	26,2	28,6	32,3
24	16,7	26	28,5	32,4
25	17,1	26,2	28,5	32,1
26	11,1	25,2	28,3	32
27	14,7	24,8	27,8	31,8
28	16,7	24,6	27,9	31,6
29	16,4	23,7	28,2	31,7
30	16,5	23,4	27,8	32
31	15,8	23,4	27	31,2
32	11,2	22,9	26,4	31,6
33	14,7	23	26,8	31,7
34	16,3	22,5	27	31,7
35	12,1	22,4	26,5	31,3
36	15,2	22	26,5	31,4
37	9,8	22,1	26,2	31
38	12,4	22,2	26,6	31,4
39	14,5	20,9	26,5	31,4
40	9,3	20,9	26,6	31,4
41	12,8	20,5	26,2	31,5
42	14,2	20,8	26,7	31,3
43	10,9	19,4	26	31,8
44	6,7	19,2	25,3	31,2
45	9,6	18,5	25,4	31,6
46	13,9	18,9	25,7	31,4
47	11,1	18,9	25,8	31,7
48	6,6	18,4	25,8	32,2
49	11,8	17,8	25,8	32,2
50	14,1	17,7	25,6	32
51	11,2	18	25,4	32,4
52	5,7	17,9	24,2	32,2
53	9,7	16,6	24,3	31,7
54	13,6	16	24,3	31,6
55	10,0	15,8	23,8	31,5
56	4,8	15,2	23,8	31,2
57	9,7	15,6	23,8	31,3
58	12,8	14,9	24,1	31,6
59	8,7	13,6	23,7	31,4
60	4,8	13,8	23,5	31,6

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 13								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	35,4	29,8	34,2	25,5	29,5	20,6	36,9	34,8
6	35,4	29,4	34,4	26,3	29,7	21,1	36,9	35,4
12	35,4	29,8	34,1	26,5	29,6	22,3	36,8	35,5
18	35,4	30,5	34,1	26,9	29,6	23,7	36,9	35,5
24	35,4	30,9	34,2	27,3	29,5	23,6	36,8	35,7
30	35,5	30,4	34,4	27,5	29,4	24,2	36,9	35,9
36	35,5	31	34,2	27,9	29,5	24,1	37	35,9
42	35,5	31,2	34,3	28,1	29,3	24,4	36,8	35,8
48	35,6	31,2	34	28,1	29,4	24,3	36,7	35,9
54	35,5	31	34,1	28,2	29,3	24,5	36,8	35,9
60	35,4	31,2	34	28,4	29,3	24,8	36,6	36
66		31,4		28,3		24,6		36
72		31,4		28,4		24,8		36,1
78		31,4		28,7		24,8		35,9
84		31,6		28,6		24,6		36
90		31,5		29		24,8		35,9
96		31,5		28,6		25		36,1
102		31,6		28,8		24,9		36,1
108		31,7		29		25		36
114		31,8		29,1		25,1		36,2
120		32		29,1		25,2		36,2
126		32,4		29,4		24,9		36,2
132		32,2		29,2		25,2		36,1
138		32,4		29,2		25		36,1
144		32,4		29,3		25,2		36,1
150		32,3		29,6		25,1		36,1
156		32,5		29,7		24,9		36,2
162		32,6		29,8		25,3		36,3
168		32,6		29,9		25,1		36,2
174		32,6		29,7		25,2		36,3
180		32,6		29,8		25,1		36,1
186		32,4		30,1		25,1		36,2
192		32,5		30,1		25,3		36,3
198		32,6		30,1		25,4		36,3
204		32,5		30,1		25,3		36,3
210		32,7		30,1		25,1		36,1
216		32,7		30,2		25,1		36,2
222		33		30,4		25,3		36,4
228		32,9		30,5		25,1		36,3
234		33,1		30,6		25,3		36,4
240		33,1		30,6		25,2		36,3
246		33,2		30,6		25,2		36,2
252		33,2		30,6		25,4		36,2
258		33,3		30,6		25,4		36,2
264		33,5		30,6		25,2		36,4
270		33,1		30,6		25,2		36,2
276		33,1		30,9		25,2		36,2
282		33,2		30,9		25,4		36,3
288		33,3		31		25,3		36,3
294		33,5		31		25,4		36,2
300		33,5		30,8		25,4		36,2

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 13				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	18,1	29,8	31,9	34,1
1	15,3	29,0	31,5	33,8
2	12,2	28,7	31,3	33,3
3	7,6	28,2	31	33,5
4	5,0	27,5	29,8	33,3
5	9,1	27,1	29,6	32,8
6	11,9	26,5	29,4	32,5
7	9,8	25,9	29,4	32,6
8	7,1	25,8	29,2	32,3
9	4,7	25,7	28,9	32,5
10	5,8	25,5	29,5	32,2
11	7,8	24,8	29,9	32,6
12	7,9	24,8	29,5	32,5
13	8,1	25,0	29,6	32,2
14	5,9	24,8	28,5	32,3
15	4,2	24,4	29	32,4
16	3,3	24,1	28,2	32,3
17	6,8	23,7	28,4	32,6
18	9,2	23,5	28	32,5
19	7,1	23,6	28,6	32,3
20	3,6	23,5	28,8	32,2
21	5,7	23,5	28,8	32,5
22	8,1	23,3	28,5	32,4
23	9,6	23,4	28,6	32,5
24	7,3	23,2	28,5	32,3
25	4,2	23,1	28,5	32,5
26	3,3	22,6	28,3	32,4
27	9,1	22,4	27,8	32,5
28	7,0	22,9	27,9	32,3
29	3,2	22,6	28,2	32,4
30	5,6	22,2	27,8	32,5
31	7,7	22,3	28	32,3
32	8,7	22,0	27,4	32,5
33	7,0	21,8	27,8	32,5
34	5,1	22,3	28	32,3
35	3,5	22,0	27,5	32,3
36	7,6	21,0	27,5	32,4
37	9,1	21,4	27,2	32,5
38	5,8	21,2	27,6	32,4
39	2,7	20,7	27,5	32,6
40	4,8	20,5	27,6	32,3
41	7,0	20,5	27,2	32,5
42	8,5	20,8	27,7	32,4
43	2,1	20,0	28	32,5
44	5,4	20,1	27,3	32,4
45	8,0	20,2	27,4	32,5
46	4,5	19,8	27,7	32,4
47	1,8	20,0	27,8	32,3
48	4,5	19,8	27,8	32,5
49	5,6	19,9	27,8	32,6
50	6,0	19,6	27,6	32,8
51	3,9	19,2	27,4	32,8
52	1,7	19,4	27,2	32,6
53	6,8	19,1	27,3	32,6
54	1,4	19,5	27,3	32,7
55	4,5	19,0	26,8	32,3
56	7,2	19,2	26,8	32,9
57	1,4	18,8	26,8	32,8
58	7,4	18,6	27,1	32,6
59	4,1	18,3	27,2	32,8
60	1,4	18,2	27,4	32,9

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 14								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	34,8	27,2	34,3	21,7	32,4	16	36,4	34
6	34,9	27,4	34,3	21,6	32,4	17,6	36,6	34,3
12	35	27,8	34,1	22,2	32,7	17,9	36,4	34,4
18	35	28	34,3	22,8	32,2	19,1	36,6	34,3
24	34,9	28	34,2	22,8	32,7	19,6	36,4	34,5
30	34,9	28,5	33,8	22,8	32,8	21	36,5	34,6
36	34,9	28,7	34,2	22,9	32,6	21,5	36,3	34,9
42	34,8	28,7	33,9	23	32,7	22,2	36,4	34,9
48	34,8	28,7	34,3	23,8	32,7	22,7	36,6	34,9
54	34,8	29,2	34,1	23,9	32,2	22,8	36,4	35
60	34,9	29,1	34	24,3	32,2	23,2	36,6	34,9
66		29,6		24,7		23,4		35
72		29,5		24,5		23,6		35,2
78		29,2		24,9		23,6		35
84		29,6		25		23,9		35,1
90		29,6		24,9		23,8		35
96		29,6		25,3		23,9		35
102		29,7		25,3		24,3		35,2
108		30		25,4		24,2		35,2
114		30		25,5		24,4		35,2
120		30,2		25,6		24,8		35,3
126		30,2		26		24,3		35,3
132		30,3		26,2		25		35,4
138		30,3		26,5		25		35,5
144		30,2		26,5		25,2		35,3
150		30,3		26,6		24,9		35,2
156		30,2		26,6		25,4		35,3
162		30,4		26,8		25,3		35,4
168		30,4		27		25,4		35,4
174		30,5		27,2		25,3		35,5
180		30,6		27,5		25,5		35,3
186		30,7		27,3		25,6		35,4
192		30,9		27,4		25,9		35,5
198		30,7		27,7		26		35,6
204		30,5		27,6		26		35,4
210		30,8		27,6		26,1		35,6
216		30,7		27,8		26,1		35,5
222		30,7		28		26,4		35,4
228		31,1		28		26,5		35,3
234		31		28,1		26,5		35,7
240		30,9		28,3		26,7		35,4
246		30,9		28,5		26,9		35,5
252		31,1		28,5		26,8		35,6
258		31		28,6		26,7		35,3
264		31,5		28,6		27		35,5
270		31,2		28,9		27,5		35,6
276		31,5		28,9		27,7		35,7
282		31,5		28,9		27,2		35,6
288		31,5		29		27,5		35,5
294		31,5		29,2		27,4		35,6
300		31,7		29,4		27,7		35,5

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 14				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	13,5	29,8	30,9	34,1
1	13,2	29,0	30,5	33,8
2	12,1	28,7	30,3	33,3
3	12,5	28,2	30	33,5
4	12	27,5	29,8	33,3
5	10,8	27,1	29,6	32,8
6	10,9	26,5	29,4	32,5
7	8,7	25,9	29,4	32,6
8	7,6	25,8	29,2	32,3
9	6,3	25,7	29	32,5
10	9,4	25,5	28,5	32,2
11	8,7	25,3	28,9	32,6
12	5,9	25,2	28,5	32,5
13	3,4	25,0	28,6	32,2
14	5,9	24,8	28,5	32,3
15	6	24,4	28	32,4
16	6,4	24,1	27,8	32,3
17	4,7	23,7	27,5	32,6
18	5	23,5	27,7	32,5
19	4,4	23,6	27,6	32,3
20	5,7	23,5	27,8	32,2
21	4,8	23,5	27,8	32,5
22	4,6	23,3	27,5	32,4
23	6,8	23,4	27,6	32,5
24	4,9	23,2	27,5	32,3
25	6,7	23,1	27,5	32,5
26	5,2	22,9	27,3	32,4
27	6,4	23,0	26,8	32,5
28	5,3	22,9	26,9	32,3
29	2,8	22,6	27,2	32,4
30	2,7	22,2	26,8	32,5
31	5	22,3	27	32,3
32	3,8	22,0	26,4	32,5
33	2,6	21,8	26,8	32,5
34	4,1	22,0	27	32,3
35	5,2	21,7	26,5	32,3
36	4,8	21,5	26,5	32,4
37	1,9	21,4	26,2	32,5
38	1,6	21,2	26,6	32,4
39	1,9	20,7	26,5	32,6
40	1,4	20,5	26,6	32,3
41	2,4	20,5	26,2	32,5
42	2,8	20,4	26,7	32,4
43	3,1	20,0	26,4	32,5
44	2,9	20,1	26,3	32,4
45	2,9	20,2	26,4	32,5
46	2,9	19,8	26,7	32,4
47	2,7	19,9	26,8	32,3
48	2,9	19,8	26,8	32,5
49	3,4	19,5	26,8	32,6
50	2,9	19,3	26,6	32,8
51	3,1	19,0	26,4	32,8
52	2,3	19,1	26,2	32,6
53	2,4	19,1	26,3	32,6
54	2,6	18,7	26,3	32,7
55	2,6	18,9	25,8	32,3
56	3	19,0	25,8	32,9
57	3	18,8	25,8	32,8
58	4	18,6	26,1	32,6
59	1,9	18,3	26,2	32,8
60	1,4	18,2	26,4	32,9

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 15								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
0	34,5	26,1	32,7	20,4	31	21,6	36,6	35,6
6	34,8	26,6	32,6	21,4	31,3	22,6	36,8	35,8
12	34,8	27,1	32,3	21,9	31	23	36,8	35,7
18	34,6	27,1	32,2	22,6	31	24,1	36,8	36
24	34,7	27,2	32,2	22,8	30,8	24,2	36,9	36
30	34,7	27,5	31,9	23,4	30,7	25,3	36,9	35,9
36	34,7	28	32,1	23,7	30,7	25,5	36,9	36
42	34,8	27,9	31,9	23,9	30,8	26,3	36,8	36
48	34,7	28,3	31,8	24,3	30,9	26	36,8	36,4
54	34,7	28,5	31,8	24,5	30,7	26,9	36,8	36,1
60	34,7	28,6	31,8	24,6	31,3	26,5	36,8	36,1
66		29		24,9		26,7		36,1
72		28,7		24,7		26,9		36
78		28,6		24,9		27,1		36,4
84		28,7		25,1		26,7		36,3
90		29		25,3		27,5		36,2
96		29,2		25,5		27,5		36,4
102		29,1		25,6		27,6		36,5
108		29,3		25,8		27,8		36,2
114		29,3		26		27,8		36,2
120		29,4		26,2		27,5		36,4
126		29,7		26,5		27,8		36,5
132		29,6		26,3		27,8		36,6
138		29,7		26,6		28		36,5
144		29,6		27		28,2		36,4
150		29,8		26,6		28,4		36,4
156		29,9		26,7		28,1		36,5
162		30		26,7		29		36,6
168		30,1		26,9		29,1		36,7
174		30		27,2		29,3		36,4
180		30,1		26,9		29,3		36,6
186		30,3		27,1		29,8		36,6
192		30,3		27,1		29,7		36,7
198		30,4		27,1		30		36,7
204		30,4		27,1		30,3		36,3
210		30,5		27,5		30,1		36,5
216		30,7		27,4		29,7		36,4
222		30,9		27,7		29,9		36,7
228		31		27,8		29,8		36,5
234		30,8		27,6		30		36,6
240		31		27,6		30,1		36,5
246		31,1		27,8		30,3		36,7
252		31,1		28,1		30,5		36,5
258		31,2		28,1		30,5		36,6
264		31,2		28,2		30,5		36,8
270		31,4		28,2		30,4		36,8
276		31,3		28,1		30,3		36,6
282		31,4		28,2		30,6		36,6
288		31,5		28,3		30,5		36,7
294		31,7		28,3		30,8		36,7
300		31,6		28,3		30,7		36,6

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 15				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	14,8	21,4	27,9	34,0
1	13,2	21	27,9	34,0
2	11,9	20,6	27,8	34,0
3	12,4	19,9	27,4	34,0
4	12,1	19,7	27,3	33,9
5	10,6	19,3	27,4	33,9
6	10,9	19,4	27,2	33,9
7	8,7	19,4	27,0	33,9
8	7,4	19,2	26,9	33,9
9	6,4	18,9	26,7	33,9
10	9,3	19,1	26,5	33,8
11	8,7	19,1	26,2	33,8
12	12,5	18,8	26,1	33,7
13	13,0	18,8	25,9	33,8
14	7,4	18,7	25,8	33,8
15	12,1	18,7	25,5	33,6
16	10,3	18,5	25,0	33,6
17	9,4	18,4	24,8	33,4
18	11,6	18,3	24,9	33,3
19	7,4	18,2	25,0	33,3
20	4,0	18,1	24,8	33,3
21	10,9	18	24,7	33,2
22	11,6	18,3	24,4	33,1
23	7,7	18,2	24,3	33,2
24	10,0	18,2	24,2	33,0
25	5,1	18,1	24,3	33,0
26	5,7	18	24,2	32,8
27	8,8	18,1	24,2	32,9
28	11,4	17,8	24,2	32,8
29	11,9	17,9	24,3	32,8
30	9,1	17,7	24,1	32,7
31	3,5	17,7	24,1	32,8
32	6,7	17,5	24,1	32,7
33	11,4	17,6	24,0	32,6
34	3,2	17,4	23,6	32,6
35	6,7	17,4	23,5	32,5
36	9,8	17,3	23,4	32,4
37	11,8	17,2	23,4	32,4
38	6,4	17,2	23,4	32,5
39	3,6	17,1	23,2	32,3
40	11,8	17,2	23,3	32,3
41	8,7	17	23,3	32,3
42	8,6	17,1	23,4	32,4
43	8,3	16,9	23,1	32,2
44	8,1	16,6	23,2	32,3
45	8,1	16,5	23,2	32,2
46	8,2	16,6	23,2	32,2
47	11,0	16,4	23,1	32,2
48	8,7	16,1	23,2	32,1
49	8,3	16,1	23,1	32,0
50	6,0	16	23,1	32,1
51	3,1	15,9	23,1	32,1
52	6,8	15,8	23,0	32,1
53	9,1	15,9	23,2	32,0
54	9,3	15,7	23,1	31,9
55	9,3	15,5	23,0	32,0
56	5,3	15,6	23,1	31,9
57	1,4	15,5	23,0	31,9
58	7,7	15,5	23,0	31,9
59	11,6	15,3	22,9	32,0
60	1,4	15,4	23	31,7

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 16	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
Zeit[sec]	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
6	35	26,6	34,2	20,4	27,5	9,5	36,5	34,7
12	35	27	33,9	21,2	27,3	10,5	36,6	35,3
18	35	27,4	33,7	21,8	27,2	12	36,5	35,2
24	35,1	27,7	33,9	22,6	27,1	12,1	36,7	35,4
30	35	28,3	33,8	22,9	27,2	12,7	36,7	35,6
36	35	28,5	34	23,5	27,2	14	36,7	35,6
42	35,2	28,8	34	23,5	27,3	14,7	36,7	35,9
48	35,2	28,8	33,9	23,9	27,3	15,5	36,6	35,7
54	35,1	29,3	34	24,2	27,2	16,6	36,6	35,9
60	35,1	29,6	34	24,8	27,3	17,5	36,7	35,9
66		29,6		25,1		18,6		35,9
72		29,8		25,7		19		36,2
78		29,8		25,7		20		36,2
84		29,9		26		20,8		36,3
90		30,3		26,1		21,2		36
96		30,3		26,1		22,4		36
102		30,5		26,8		23,2		36,2
108		30,7		27,7		23,3		36,2
114		30,6		26,8		23,8		36,2
120		30,6		27,1		24,2		36,2
126		30,9		27,1		24,9		36,3
132		30,9		27,4		25,2		36,4
138		30,9		28		25,4		36,4
144		31		27,9		25,6		36,3
150		31		28,5		25,6		36,2
156		31,2		28,4		26,6		36,3
162		31,5		28,3		26,6		36,2
168		31,4		28,7		26,2		36,3
174		31,3		28,8		26,6		36,2
180		31,5		29,1		26,3		36,1
186		31,6		29,2		26,6		36,5
192		31,6		29,8		26,4		36,4
198		31,4		29,3		26,5		36,1
204		31,6		30,4		27		36,4
210		31,8		29,5		26,7		36,5
216		31,9		29,9		26,8		36,4
222		31,9		29,5		27,6		36,4
228		31,9		29,8		27,2		36,3
234		31,9		30		27,4		36,4
240		31,9		30,1		27		36,4
246		32		30,3		27,1		36,4
252		32,1		30,4		27,1		36,4
258		32		30,2		27,1		36,4
264		32		30,4		27,4		36,3
270		32,3		30,1		27,2		36,2
276		32,3		31		27,2		36,4
282		32,3		30,6		27,5		36,4
288		32,3		30,5		27,2		36,4
294		32,3		30,9		27,6		36,3
300		32,3		30,9		27,6		36,3

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 16				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	19,1	26,3	28,0	33,8
1	18,3	26	26,6	33,9
2	16,3	26,2	25,9	33,7
3	14,1	24,7	26,0	33,3
4	10,8	25,7	26,2	33
5	15,5	25,6	26,4	32,7
6	17,9	25,3	25,8	32,4
7	15,5	25,3	26,2	32,2
8	12,6	24,2	26,0	32,3
9	15,9	24,2	25,7	32,5
10	16,8	23	26,0	32,6
11	10,3	23,2	25,0	32,6
12	14,8	22	24,8	32,9
13	13,4	23,2	24,9	32,8
14	9,1	23,1	24,2	32,8
15	10,9	21,9	24,2	33,3
16	14,4	22,7	23,9	32,9
17	10,7	22,3	24,7	33,1
18	7,3	22,5	24,6	33,3
19	12,1	22	24,2	32,8
20	15	21,4	24,4	32,9
21	12	21,5	24,0	33,4
22	7,5	20	24,1	33,4
23	12,5	20	24,3	33,6
24	14,6	20,1	24,0	33,5
25	5,2	20	23,6	33,6
26	10,1	19,1	24,1	33,5
27	13,9	19,5	23,9	32,8
28	10,8	18,8	23,5	33,4
29	5,3	18,8	23,4	33
30	10,9	18,6	23,7	32,9
31	14,3	17,4	23,2	33,2
32	4,8	17,6	23,1	33
33	9,6	17,9	23,0	32,7
34	9,2	17,4	22,6	33,3
35	9,1	17	23,0	32,5
36	9,4	16,9	22,5	32,7
37	9,3	17,4	22,1	32,9
38	3,9	16,4	22,5	33,3
39	7,8	17,7	22,7	33,2
40	12	15,6	22,6	33
41	7,8	16,9	22,1	33,1
42	4,6	17,1	22,8	33,2
43	8,2	16	22,6	33
44	12	17,5	22,5	32,8
45	6,7	17,2	22,2	32,8
46	3,6	17	22,1	32,8
47	7,1	17,2	21,8	32,9
48	12,7	15,6	21,5	32,3
49	6,6	16,4	22,1	32,8
50	2,7	16,6	21,9	32,7
51	7,2	15,3	21,9	32,8
52	12,9	16	21,8	32,4
53	8,4	16,6	21,9	32,5
54	1,9	15,7	21,2	32,8
55	7,4	15,9	21,5	32,8
56	11,3	15,6	20,8	32,6
57	12,6	15,3	20,5	32,5
58	8,5	15,6	20,8	32,6
59	1,4	15,2	20,7	32,8
60	5,6	15,4	20,8	32,7

Temperaturverläufe vor und nach GKK								
Proband 17								
Zeit[sec]	Stirn		Kinn		Nase		Augenhöhle	
	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach	T [°C]vor	T [°C]nach
6	34,3	27,2	33,6	20,4	25,8	9,7	35,9	33,7
12	34,7	27,4	33,8	21,4	25,8	10,7	35,9	33,8
18	35	27,6	34	21,7	25,9	12,2	36,3	33,6
24	35	28,1	33,8	21,9	25,8	12,7	36,4	34
30	35,1	28,2	33,8	22,1	25,9	14,2	36,5	33,6
36	35,2	28,4	33,7	22,5	25,8	15,2	36	34,1
42	34,9	28,4	33,8	22,9	26	15,8	36,1	34,1
48	35,2	28,6	33,7	23,1	25,8	16,6	36,1	34,3
54	35,5	28,9	33,8	23,2	25,9	17	36,2	34,1
60	35,4	29	33,7	23,6	25,7	18,4	36,1	34,1
66		29,3		24		18,1		34,2
72		29,2		23,8		18,7		34
78		29,3		24,3		19,6		34
84		29,4		25,6		20,4		34,3
90		29,7		24,8		21		34,2
96		29,8		24,7		21,3		34,2
102		29,9		25,1		21,7		34,2
108		29,9		25,2		22,2		34,2
114		30		25,5		22,2		34,1
120		30		25,5		22,3		34,4
126		30		25,5		22,4		34,4
132		30,2		25,5		22,7		34,4
138		30,2		26,3		22,8		34,4
144		30,5		26,7		23,3		34,3
150		30,3		26,2		23,5		34,5
156		30,7		26,9		23,5		34,4
162		30,4		26,4		23,6		34,4
168		30,7		26,8		23,6		34,4
174		30,6		27,5		23,6		34,7
180		30,8		26,9		23,7		34,9
186		30,9		27,2		23,8		34,5
192		30,9		26,9		23,8		35
198		31		27,1		23,7		34,7
204		30,8		27,3		23,9		35,1
210		31,1		27,2		24,1		35,1
216		31,1		27,2		23,9		35
222		31,2		27,3		23,9		35
228		31,1		27,4		23,9		35,1
234		31,6		27,5		23,8		35,2
240		31,3		27,6		24		35,2
246		31,4		27,8		23,8		35
252		31,4		27,9		23,8		35,2
258		31,3		27,6		23,9		35
264		31,5		27,6		23,9		35,3
270		31,4		27,8		24		35,1
276		31,5		28,2		23,9		34,9
282		31,8		27,9		23,9		35,2
288		32		27,9		23,9		35,2
294		31,8		27,8		23,8		35,1
300		32		27,9		23,9		35,3

Temperaturverläufe in GKK				
Proband 17				
Zeit [sec]	T/Nase[°C]	T/Kinn[°C]	T/Stirn[°C]	T/Augenhöhle[°C]
0	16,1	25,1	28,0	31,5
1	23,5	24,5	27,6	31,7
2	19,9	24,5	26,9	32
3	21,7	24,3	26,4	31,9
4	12,6	24,1	26,2	31
5	19,0	24,2	26,4	30,5
6	14,4	24	26,0	30,7
7	11,4	23,8	26,2	31
8	15,6	23,6	26,0	31,1
9	18,9	23,3	25,8	30,8
10	9,6	22,7	26,0	31,6
11	12,3	22,6	25,5	31,6
12	15,8	21,9	25,3	31,9
13	12,7	22,6	25,4	31,8
14	8,1	22,5	24,7	31,8
15	11,9	21,7	24,7	32,3
16	15,4	22,1	24,4	32,5
17	11,4	21,7	24,9	32,1
18	6,3	21,9	25,1	31,8
19	11,9	21,4	24,7	31,3
20	14,5	20,8	24,9	31,2
21	10,3	20,9	24,5	32,4
22	7	20,7	24,1	32,4
23	11	20,7	24,3	32,6
24	14,1	20,8	24,0	32,5
25	5,7	20,7	23,8	32,9
26	10,3	19,8	24,1	32,5
27	14,4	20,2	23,9	31,8
28	9,1	19,5	23,5	32,7
29	5	19,5	23,4	32
30	8,4	19,3	23,7	31,8
31	12,3	18,5	23,2	32,2
32	4,8	18,3	23,1	32
33	13	18,6	23,0	31,3
34	3,2	18,1	22,6	32,3
35	8,6	17,7	23,0	31,5
36	11,9	17,6	22,5	31,7
37	8,2	18,1	22,1	31,9
38	2,7	17,1	22,5	32,3
39	12,6	17,7	22,1	32,2
40	3,1	17	22,1	32
41	7,5	17,6	21,7	32,1
42	7,8	17,5	21,8	32,2
43	7,1	17,1	21,6	31,9
44	7,2	17,8	21,5	31,7
45	7,3	17,9	21,2	31,8
46	7,4	17,7	21,1	31,8
47	7	17,9	20,8	31,9
48	1,4	16,9	20,9	31,3
49	8	17,1	21,1	31,8
50	11,4	17,3	20,9	31,7
51	5,7	16,5	20,9	31,8
52	1,4	16,7	20,8	31,4
53	4,8	17,3	20,9	31,5
54	10,2	16,4	20,9	31,8
55	6,5	16,6	21,2	31,8
56	1,4	16,3	20,8	31,2
57	6,7	16	20,4	31,4
58	9,8	16,3	20,4	31,6
59	1,4	15,9	20,5	31,8
60	7,8	16,1	20,6	31,5

8.3 Wärmeaustausch durch Konvektion & Strahlung

Um den drastischen Unterschied beim Wärmeaustausch zwischen dem unbedeckten Körper und der tiefkalten Umgebung in einer GKK (im Gegensatz zu normalen Umgebungsbedingungen) auch quantitativ zu verstehen, wurde dieser Prozess als Abschätzung für einen Zylinder von 2m Anströmlänge thermisch modelliert. Dabei sind die Anteile für den konvektiven (zunächst nur freie Konvektion angenommen) und den Strahlungsaustausch separiert betrachtet – jeweils für eine Körperoberflächentemperatur von anfangs 30°C, im warmen Fall (w) gegen eine Umgebung von 20°C und im kalten Fall (k) gegen die tiefkalte Umgebung von -100°C. Für den kalten Fall erfolgte die Modellierung zusätzlich für eine Körperoberflächentemperatur von 15°C (die mittlere Temperatur aller Probanden für die Messposition „Kinn“ nach 60s in der GKK wird hier als repräsentative mittlere Körperschalentemperatur angenommen).

Zur Modellierung wurden die bekannten Beziehungen [siehe z.B. in Wärmeatlas: Berechnungsblätter für den Wärmeaustausch; 6. Auflage, Düsseldorf 1991]

$$(1) \frac{Q}{F}(\text{konv}) = \frac{\lambda \cdot Nu}{l} \cdot \Delta T \quad [\text{W m}^{-2}] \text{ für den konvektiven Wärmeaustausch}$$

bzw.

$$(2) \frac{Q}{F}(\text{str}) = \sigma \cdot \varepsilon (T_k^4 - T_u^4) \quad [\text{W m}^{-2}] \text{ für den Wärmestrahlungsaustausch genutzt.}$$

Hier sind:

$\frac{Q}{F}$ der Wärmeaustausch pro Fläche in $[\text{W m}^{-2}]$

$\Delta T = T_k - T_u$ [K]; (T_k : Körperoberflächentemperatur; T_u : Temperatur der Umgebung)

λ der Wärmeleitkoeffizient der Umgebungsluft in $[\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}]$

l die Anströmlänge [m] (Körpergröße)

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ $[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}]$ (die Stefan-Boltzmann-Konstante)

$\varepsilon = 0,98$ (Emissionskoeffizient der nackten menschlichen Haut)

Nu die Nußelt-Zahl (der mittlere dimensionslose Wärmeübergangskoeffizient), die sich für den gewählten Fall berechnen lässt gemäß:

$$(3) Nu = 0,021 \cdot (Ra)^{0,4}, \text{ mit } (4) Ra = Gr \cdot Pr$$

Die Rayleigh-Zahl Ra ist das Produkt aus Grashof-Zahl Gr und Prandtl-Zahl Pr .

Die Berechnung dieser Größen erfolgte gemäß [Wärmeatlas Fa1] mit den folgenden Parametern:

Umgebungstemperatur [°C / K]	+ 20 / 293	-100 / 173
$\lambda_{\text{Luft}} [\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}]$	0,02569	0,01602
Gr	$1,134 \cdot 10^{10}$	$1,756 \cdot 10^{12}$
Pr	0,7148	0,7423

Für Ra erhält man dann für den warmen Fall (das heißt $\Delta T = 17 \text{ K}$) den Wert

$$Ra(\text{warm}) = 8,106 \cdot 10^9$$

Und für den kalten Fall (das heißt $\Delta T = 137 \text{ K}$) den Wert $Ra(\text{kalt}) = 1,303 \cdot 10^{12}$.

Daraus ergeben sich mit (3) für den warmen Fall die Werte

$$Nu(\text{warm}) = 193,08$$

und für den kalten Fall

$$Nu(\text{kalt}) = 1473,20$$

Für den *konvektiven* Wärmeaustausch kann man nun aus (1) die Wärmeleistung pro Fläche direkt berechnen:

$$\frac{Q}{F}(\text{konv})_{\text{warm}} = \underline{24,8 \text{ W m}^{-2}} \text{ oder ca. } 2,5 \times \Delta T_{\text{warm}}$$

und für den kalten Fall

$$\frac{Q}{F}(\text{konv})_{\text{kalt}} = \underline{1534 \text{ W m}^{-2}} \text{ oder ca. } 12 \times \Delta T_{\text{kalt}} \text{ für } T_{\text{warm}} = 30^\circ\text{C} \text{ und}$$

$$\underline{1357 \text{ W m}^{-2}} \text{ oder ca. } 12 \times \Delta T_{\text{kalt}} \text{ für } T_{\text{warm}} = 15^\circ\text{C}$$

Die Temperaturdifferenz erhöht sich anfangs um den Faktor 13, die durch *Konvektion* abgeführte Wärmeleistung aber ca. um den Faktor 60!

Für die *abgestrahlte* Wärmeleistung ergeben sich aus (2) folgende Werte:

$$\frac{Q}{F}(\text{stra})_{\text{warm}} = \underline{58,9 \text{ W m}^{-2}} \text{ oder ca. } 6 \times \Delta T_{\text{warm}}$$

und

$$\frac{Q}{F}(stra)_{kalt} = \underline{418,6 \text{ W m}^{-2}} \text{ oder ca. } 3,2 \times \Delta T_{kalt} \text{ f\u00fcr } T_{warm} = 30^\circ\text{C und}$$

$$\underline{332,5 \text{ W m}^{-2}} \text{ oder ca. } 2,9 \times \Delta T_{kalt} \text{ f\u00fcr } T_{warm} = 15^\circ\text{C}$$

Die Temperaturdifferenz erh\u00f6ht sich anfangs wieder um den Faktor 13, die durch *W\u00e4rmestrahlung* abgef\u00fchrte W\u00e4rmeleistung aber erh\u00f6ht sich lediglich ca. um den Faktor 7.

Die *konvektive* abgef\u00fchrte W\u00e4rmeleistung zur *abgestrahlten* W\u00e4rmeleistung ist also im warmen Fall, bezogen auf die jeweilige Temperaturdifferenz, kleiner (etwa nur 40%)

$$2,5 \times \Delta T_{warm} / 6 \times \Delta T_{warm} = 0,42$$

Dies kehrt sich diesbezuglich im kalten Fall um, sie wird fast 4x so gro\u00df!

$$12 \times \Delta T_{kalt} / 3,2 \times \Delta T_{kalt} = 3,75$$

Da in einer GKK in der Regel Zwangskonvektion realisiert wird (ein Ventilationssystem erzeugt l\u00e4ngs des K\u00f6rpers Str\u00f6mungsgeschwindigkeiten der kalten Umgebungsluft im Bereich bis 0,6 m/s), wird der konvektive Beitrag zum W\u00e4rmeaustausch sogar noch gr\u00f6\u00dfer. Gem\u00e4\u00df W\u00e4rmeatlas gilt

$$(4) Nu^3 = Nu_{erzw}^3 + Nu_{frei}^3$$

und f\u00fcr die erzwungene Konvektion gilt

$$(5) Nu_{erzw} = \frac{0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr}{1 + 2,44 \cdot Re^{-0,1} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \text{ mit}$$

$$(6) Re = \frac{w \cdot l}{\nu}; w: \text{ Str\u00f6mungsgeschwindigkeit [m/s], } l \text{ die Umstr\u00f6mungsl\u00e4nge [m] und}$$

ν die kinematische Viskosit\u00e4t [m²/s].

Somit w\u00fcrde sich f\u00fcr das Modell im kalten Fall die Nu\u00dfelt-Zahl bei einer L\u00e4ngsanstr\u00f6mung mit 0,6 m/s um den Faktor 1,018 auf 1499,7 erh\u00f6hen. Dieser Faktor geht gem\u00e4\u00df (1) direkt ein, so dass sich der konvektive W\u00e4rmeverlust im Modell auf 1561,6 W m⁻² erh\u00f6hen w\u00fcrde. Insgesamt steigt damit der W\u00e4rmeverlust auf 1980,2 W/m² (um 27,6 W/m²) an (zuvor 1952,6 W/m²).

Newton'sches Abkühlungsgesetz:

Für einen Körper mit einer Temperatur T_k , höher als die Umgebungstemperatur T_u , der sich durch Wärmekonvektion (die Beiträge aus Wärmeleitung und Wärmestrahlung seien hier vernachlässigbar) abkühlt, ist die Abkühlungskurve $T(t)$ eine monoton abfallende Exponentialfunktion. Sie folgt aus der Energiebilanzgleichung (9) (der Gleichheit der Wärmeströme: $\dot{Q}_w^{(ab)}$ (7) als konvektiv abgeleitete Wärmemenge und $\dot{Q}_w^{(zu)}$ (8) als bei der Abkühlung vom Körper abgegebenen Wärmemenge mit $C_w = m \times c_w$ als Wärmekapazität) nach Integration:

$$(7) \quad \dot{Q}_w^{(ab)} = \frac{Nu \cdot F \cdot \lambda}{l} (T_k(t) - T_u) = K(T_k(t) - T_u) = K \cdot T'$$

$$(8) \quad \dot{Q}_w^{(zu)} = -C_w \cdot \frac{dT'}{dt}$$

mithin gilt für die Energiebilanz:

$$(9) \quad K \cdot T' = -C_w \cdot \frac{dT'}{dt}$$

und daraus folgt durch Integration:

$$(10) \quad T'(t) = T_k(t) - T_u = (T_k(t_0) - T_u) \cdot e^{-\frac{K}{C_w} t}$$

mit

$T_k(t_0)$ = Körpertemperatur bei Beginn der Abkühlung und

T_u = Umgebungstemperatur (=constant)

Eine Exponentialfunktion dieses Typs wurde im Abschnitt 4.4 verwendet.

9. Verwendete Abkürzungen

BCM	Bodyzellmasse
BIA	Bioelektrische Impedanz Analyse
BMI	Body Mass Index
BWS	Brustwirbelsäule
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
ECM	Extrazelluläre Masse
EMBASE	Excerpta Medica Database
FCKW	Fluor Chlor Kohlenwasserstoff
GABA	Gamma Amino Butyric Acid
GKK	Ganzkörperkältekammer
GKKA	Ganzkörperkältelanwendung
GKKT	Ganzkörperkältetherapie
HWS	Halswirbelsäule
IFOV	Inner Field of View
IR	Infrarot
LWS	Lendenwirbelsäule
medline	Medizinische Literaturdatenbank
MetaGer	deutschsprachige Metasuchmaschine
SBC	Selective Brain Cooling
SBH	Selective Brain Heating
ZWMB	Zentrum für Weltraummedizin Berlin

10. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mir mein Studium und die Vollendung meiner Promotion ermöglichten.

Zunächst möchte ich Herrn Dr. Rainer Stange danken für die Anregung zu dieser anspruchsvollen und interessanten Promotionsthematik, für seine stete Hilfsbereitschaft und Unterstützung. Insbesondere verdanke ich ihm, dass die Abteilung Physiotherapie des Immanuel-Krankenhauses uns die Ganzkörperkältekammer für die messtechnischen Untersuchungen zur Verfügung stellte.

Herrn Prof. Dr. Gunga danke ich für die Betreuung meiner Dissertation, für sein Interesse, seine Anregungen und fruchtbaren Gespräche sowie für die Bereitstellung der Infrarotkamera des ZWMB.

Diese Gelegenheit möchte ich auch nutzen, den Mitarbeitern der Abteilung „Systemkonditionierung“ des DLR aus Berlin-Adlershof zu danken für die Anpassung ihrer Infrarotkamera an die Bedingungen der Ganzkörperkältekammer und die Unterstützung bei der Durchführung der Messungen in der Kältekammer einschließlich der computergestützten Datenerfassung.

Danken möchte ich hier auch Frau Sabine Saalfeldt für ihre Unterstützung bei den Vor- und Nachuntersuchungen im Rahmen der Temperaturmessungen.

Ganz besonders danke ich natürlich meinem lieben Franz für seine stetige Unterstützung, seine großen Bemühungen bei den messtechnischen Untersuchungen, den Datenaufbereitungen, seine Kritiken und Anregungen, den physikalischen Hintergrund dieser Arbeit betreffend.

Schließlich möchte ich auch meiner Familie und meiner Mutter für ihr Verständnis und die Unterstützung danken. Auch sie haben mit dazu beigetragen, bei voller Berufstätigkeit noch Zeit für diese Arbeit zu erübrigen.

Allen denjenigen, die hier nicht ausdrücklich genannt sind, die mir aber bei der Durchführung dieser Arbeit mit Rat und Tat zur Seite standen, sei an dieser Stelle ebenfalls mein besonderer Dank ausgesprochen.

11. Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen ist mein Lebenslauf in der elektronischen Version meiner Dissertation nicht veröffentlicht.

Erklärung

Ich, Dagmar Lura, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Einfluss der Ganzkörperkälteanwendung auf die Wärmeregulation des ruhenden, aufrechtstehenden Menschen“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen, Hilfen und Hilfsmittel benutzt habe.

Datum 14.03.2012

Unterschrift