

# Alters- und geschlechtsdifferenzierte Objektivierung von Belastung und Beanspruchung bei berufsbedingten Kälteexpositionen unter Berücksichtigung eines variablen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes



Sandra Groos

Alters- und geschlechtsdifferenzierte Objektivierung von  
Belastung und Beanspruchung bei berufsbedingten  
Kälteexpositionen unter Berücksichtigung  
eines variablen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes

Sandra Groos



**Alters- und geschlechtsdifferenzierte Objektivierung von  
Belastung und Beanspruchung bei berufsbedingten  
Kälteexpositionen unter Berücksichtigung  
eines variablen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes**

DISSERTATION  
zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von  
Dipl.-Wirt.-Ing. Sandra Groos (geb. Baldus)

eingereicht bei der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät  
der Universität Siegen  
Siegen 2017

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

1. Gutachter u. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Karsten Kluth (Universität Siegen)  
2. Gutachterin: Prof. Dr. med. Irina Böckelmann  
(Otto von Guericke Universität Magdeburg)
- Tag der Disputation: 22. Juni 2018

## **Impressum**

Umschlaggestaltung: Sandra Groos  
Druck und Bindung: Uni Print, Universität Siegen  
Gedruckt auf alterungsbeständigem holz- und säurefreiem Papier.

Siegen 2018: *universi* – Universitätsverlag Siegen  
[www.uni-siegen.de/universi](http://www.uni-siegen.de/universi)

ISBN: 978-3-96182-024-5

Die Publikation erscheint unter der  
*Creative Commons Lizenz* CC-BY-SA



Meinem Mann  
und  
meinen Kindern  
gewidmet.

„Es ist nicht genug, zu wissen,  
man muss auch anwenden.  
Es ist nicht genug, zu wollen,  
man muss auch tun.“

(Johann Wolfgang von Goethe)



## Inhaltsverzeichnis

---

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Einleitung und Problemstellung</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Kältarbeit im Lebensmittelgewerbe</b> .....	<b>13</b>
2.1 Warenverteilzentrum mit Kühl- und Tiefkühlager für den Discounthandel.....	13
2.1.1 Exemplarischer Aufbau eines Warenverteilzentrums mit Kühl- und Tiefkühlager.....	15
2.1.2 Arbeitsumgebungsbedingungen im ausgewählten Warenverteilzentrum .....	16
2.2 Arbeitsablauf des Kommissionierens.....	19
2.2.1 Materialfluss .....	19
2.2.2 Informationsfluss .....	22
2.2.3 Organisation .....	24
2.3 Arbeits- und Pausenzeiten .....	25
2.3.1 Gesetzliche Vorgaben und normative Empfehlungen.....	26
2.3.2 In der Praxis etablierte Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime.....	28
2.4 Schutzkleidung für das Arbeiten in unterschiedlichen Kältebereichen.....	30
2.4.1 Vorgaben zum Einsatz von Kälteschutzkleidung sowie deren Eigenschaften.....	31
2.4.2 Problematik bei den Testverfahren und der Auswahl von Kälteschutzkleidung .....	35
2.4.3 Während der Feldstudie eingesetzte Kälteschutzkleidung.....	38
<b>3 Physiologische Grundlagen zur Beurteilung von Kältarbeit</b> ...45	
3.1 Wärmehaushalt und Thermoregulation .....	45
3.1.1 Körpertemperatur des Menschen.....	47
3.1.2 Regelung der Körpertemperatur .....	53
3.1.3 Wärmebildung und Wärmeabgabe .....	60
3.1.4 Kälteadaptation .....	66
3.2 Physiologische Beanspruchungsreaktionen des Herz-Kreislaufsystems.....	69
3.2.1 Herzschlagfrequenz als globaler Beanspruchungsparameter.....	70
3.2.2 Arterieller Blutdruck.....	73
3.3 Energieumsatz als Belastungsparameter zur Bestimmung der Arbeitsschwere.....	76
3.3.1 Energieumsatzgrößen.....	77
3.3.2 Bestimmung des Energieumsatzes .....	84



<b>4</b>	<b>Problematik der Kältarbeit unter den besonderen Aspekten Alter und Geschlecht .....</b>	<b>89</b>
4.1	Mechanismen zur Herstellung einer ausgeglichenen Wärmebilanz bei Kältarbeit .....	91
4.1.1	<i>Einfluss des Alters auf die Thermoregulation.....</i>	<i>91</i>
4.1.2	<i>Einfluss des Geschlechts auf die Thermoregulation .....</i>	<i>95</i>
4.2	Anpassungsmechanismen des Herz-Kreislaufsystems bei Kältarbeit.....	101
4.2.1	<i>Einfluss des Alters auf die Funktionen des Herz-Kreislaufsystems .....</i>	<i>103</i>
4.2.2	<i>Einfluss des Geschlechts auf die Funktionen des Herz-Kreislaufsystems .....</i>	<i>105</i>
<b>5</b>	<b>Arbeitshypothesen .....</b>	<b>109</b>
<b>6</b>	<b>Versuchsdesign und Methodik .....</b>	<b>113</b>
6.1	Beschreibung des Versuchsdesigns .....	113
6.1.1	<i>Versuchsablauf der Feldstudien in einem Warenverteilzentrum.....</i>	<i>113</i>
6.1.2	<i>Untersuchtes Probandenkollektiv.....</i>	<i>120</i>
6.2	Methoden zur Erfassung der Auswirkungen von Kältarbeit .....	124
6.2.1	<i>Körperkerntemperatur.....</i>	<i>125</i>
6.2.2	<i>Hautoberflächentemperatur.....</i>	<i>130</i>
6.2.3	<i>Herzschlagfrequenz .....</i>	<i>132</i>
6.2.4	<i>Blutdruck.....</i>	<i>133</i>
6.2.5	<i>Bruttoenergieumsatz.....</i>	<i>135</i>
6.3	Methoden zur Erfassung der subjektiven Wahrnehmung von Kältarbeit .....	137
6.3.1	<i>Subjektive Kälteempfindungen während der Feldstudie.....</i>	<i>137</i>
6.3.2	<i>Subjektive Beurteilung der Arbeitsbedingungen während der Feldstudie .....</i>	<i>139</i>
6.4	Statistische Auswertung .....	139
6.4.1	<i>Statistische Hypothesen.....</i>	<i>141</i>
6.4.2	<i>Statistische Testverfahren.....</i>	<i>142</i>
6.4.3	<i>Entscheidung zwischen den Hypothesen .....</i>	<i>148</i>
<b>7</b>	<b>Ergebnisdarstellung .....</b>	<b>151</b>
7.1	Kommissioniertätigkeit mit variabler Arbeitszeit und fester Pausenzeit bei +3°C .....	152
7.2	Kommissioniertätigkeit mit variabler Arbeitszeit und fester Pausenzeit bei -24°C.....	161
7.3	Kommissioniertätigkeit mit variabler Arbeits- und Pausenzeit bei -24°C.....	175

7.4	Kommissioniertätigkeit zur Bestimmung des Bruttoenergieumsatzes.....	181
7.4.1	<i>Ermittlung der Arbeitsschwere in der Vorkühlzone bei +3°C.....</i>	<i>182</i>
7.4.2	<i>Ermittlung der Arbeitsschwere im Tiefkühlager bei -24°C.....</i>	<i>184</i>
7.5	Subjektive Beurteilung der Kältearbeit .....	186
7.5.1	<i>Subjektive Kälteempfindungen während der Feldstudie.....</i>	<i>186</i>
7.5.2	<i>Subjektive Beurteilung der Arbeitsbedingungen während der Feldstudie .....</i>	<i>193</i>
<b>8</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>211</b>
8.1	Aspekt des Alters .....	211
8.2	Aspekt des Geschlechts .....	217
8.3	Regelung der Arbeits- und Pausenzeiten.....	222
8.4	Schwachstellen und Handlungsbedarf bei der eingesetzten Kälteschutzkleidung.....	225
8.5	Abschließende Hypothesenbewertung .....	231
<b>9</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>235</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>239</b>
<b>11</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>275</b>



## Nomenklatur

---

Symbol	Bedeutung	Einheit
ADP	Adenosindiphosphat	[-]
Ap, Apn	Arbeitsperson, Arbeitspersonen	[-]
APF	Arbeitspulsfrequenz	[1/min]
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	[-]
ATP	Adenosintriphosphat	[-]
BMI	Body Mass Index	[-]
bpm	beats per minute	[1/min]
CIVD	Cold-induced vasodilation	[-]
clo	Clothing Unit	[-]
$\bar{d}$	Mittel der Differenzwerte zweier Beobachtungsreihen	[-]
$d_i$	Differenz für jedes Messwertpaar	[-]
DLG	Dauerleistungsgrenze	[-]
EKG	Elektrokardiogramm	[-]
EPS	Erholungspulssumme	[1/min]
f	Freiheitsgrad der „Student“-(-t)-Verteilung	[-]
GU	Grundumsatz	[Watt]
$H_0$	Nullhypothese	[-]
$H_1$	Alternativhypothese	[-]
HFR	Herzfrequenzreserve	[1/min]
HSF	Herzschlagfrequenz	[1/min]
$HSF_{max}$	Maximale Herzschlagfrequenz	[1/min]
IREQ	Erforderliche Wärmeisolation	[clo]
KÄ	Kalorisches Äquivalent	[kJ/IO <sub>2</sub> ]
KKT	Körperkerntemperatur	[°C]
KL	Kühllager	[-]
n, N	Umfang einer Stichprobe	[-]
NTC	Negative Temperature Coefficient	[-]

Symbol	Bedeutung	Einheit
RPF	Ruhepulsfrequenz	[1/min]
rPWC	Relative Physical Working Capacity	[Watt/kg]
RQ	Respiratorischer Quotient	[-]
PCB	Printed Circuit Board	[-]
PF	Pulsfrequenz	[1/min]
PSA	Persönliche Schutzausrüstung	[-]
PWC	Physical Working Capacity	[Watt]
s	gewogenes Mittel	[-]
$\bar{s}_d$	Standardabweichung	[-]
$s_x^2, s_y^2$	Varianzen	[-]
t	Prüfgröße	[-]
$t_k$	Körperkerntemperatur	[°C]
TKL	Tiefkühlager	[-]
$V_{CO_2}$	Kohlendioxidabgabe	[l/min]
$V_{O_2}$	Sauerstoffaufnahme	[l/min]
$V_{O_{2max}}$	Maximale Sauerstoffaufnahme	[l/min]
$x_i, y_i$	Elemente einer Stichprobe	[-]
$\bar{x}$	Arithmetischer Mittelwert einer Messgröße x	[-]
$\bar{y}$	Arithmetischer Mittelwert einer Messgröße y	[-]
$\alpha$	Irrtumswahrscheinlichkeit	[%]
$\mu_x, \mu_y$	Stichprobenmittel einer Beobachtungsreihe	[-]
$\eta$	Wirkungsgrad	[-]
$\dot{q}_L$	Wärmeleitung	[Watt]
$\dot{q}_S$	Wärmestrahlung	[Watt]
$\dot{q}_V$	Schweißverdunstung	[Watt]
$\Delta KKT$	Veränderung der Körperkerntemperatur	[K]

## 0 Zusammenfassung

---

Der Absatz an gekühlten und tiefgekühlten Lebensmitteln ist in den vergangenen Jahrzehnten stetig gestiegen, was auch mit einer wachsenden Zahl an Beschäftigten in diesem Industriezweig einhergeht. Infolgedessen muss u.a. der Arbeitsplatz des Kältekommissionierers derart gestaltet werden, dass die Arbeit für alle langfristig ausführbar ist. Aus der Superposition von kalter Arbeitsumgebung und körperlich schwerer Arbeit resultiert schließlich eine hohe Belastung und Beanspruchung, die ein ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko darstellen.

Zur Objektivierung dieser kombinierten Beanspruchung wurden an 30 weiblichen Arbeitspersonen (Apn) in zwei Altersklassen (jeweils 15 Frauen zwischen 20 und 35 Jahren sowie 40 und 65 Jahren) Ganztagsanalysen in einem Warenverteilzentrum mit Kühllager ( $\sim +3^{\circ}\text{C}$ ) und Tiefkühlager ( $\sim -24^{\circ}\text{C}$ ) durchgeführt. Die Apn mussten unter standardisierten, realen Arbeitsbedingungen mit einem variablen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime Kommissioniertätigkeiten durchführen. Gleichzeitig wurden die physiologisch relevanten Parameter „Körperkerntemperatur“, „Hautoberflächentemperatur“, „Herzschlagfrequenz“, „Blutdruck“ und „Energieumsatz“ erfasst und durch eine subjektive Befragung ergänzt. Neben möglichen altersbezogenen Differenzen wurden die Ergebnisse zur Identifizierung eventueller geschlechtsspezifischer Unterschiede mit denen einer vorangegangenen – und unter identischen Bedingungen durchgeführten – Feldstudie mit 30 männlichen Apn der gleichen Altersklassen verglichen.

Das Arbeiten im Kühllager bei  $+3^{\circ}\text{C}$  führte zu moderaten physiologischen Beanspruchungsreaktionen ohne deutliche alters- oder geschlechtsspezifische Unterschiede. Auch die Kälteschutzkleidung – mit Ausnahme der Handschuhe – scheint ebenso ausreichend wirksam zu sein wie eine 20-minütige Aufwärmpause.

Das Arbeiten im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  bewirkte deutlich höhere Beanspruchungsreaktionen. Die älteren Apn zeigten mit einer maximalen Abnahme von 1,5 K den größten Abfall der Körperkerntemperatur (jüngere Apn max. 1,3 K). Unabhängig vom Alter reichten 20 Minuten nicht aus, um das Ausgangsniveau wieder zu erreichen, was allerdings nach der 30-minütigen Aufwärmpause meist sichergestellt war. Ebenso altersunabhängig fielen insbesondere die Hautoberflächentemperaturen an Nase und

Fingerspitze deutlich ab, wobei sich die Werte innerhalb der Pausen zügig stabilisierten. Der Verlauf der Zehentemperatur zeigte einen weniger starken, dafür aber kontinuierlichen Abfall, mit niedrigeren Werten bei den älteren Apn. Ähnlich wie im Kühlager waren die Arbeitspulse der jüngeren Apn deutlich höher. Unter Berücksichtigung des individuellen Ruhepulses und der Tatsache, dass die maximal zulässige Herzschlagfrequenz zwangsläufig mit zunehmendem Alter abnimmt, betrug die Kapazitätsauslastung für beide Altersklassen gleichermaßen 60%. Der während der Untersuchungen insgesamt höhere Blutdruck der älteren Apn steht im Einklang mit der vorab durchgeführten Messung, die zu Hause vorgenommen wurde. Die geschlechtsspezifische Analyse offenbarte stärkere Abnahmen der Körperkerntemperatur bei den Männern, was sich mit den Ergebnissen der ermittelten relativen Wärmeproduktion (höchste Werte: jüngere weibliche Apn; niedrigste Werte: ältere männliche Apn) deckt. Zudem wurden bei den weiblichen Apn ebenfalls höhere Hautoberflächentemperaturen gemessen. Die Arbeitspulse der jüngeren weiblichen Apn waren deutlich höher als diejenigen der männlichen Apn der gleichen Altersklasse, wohingegen die älteren Frauen und Männer nahezu identische Werte aufzeigten, was wohl auf die hohe physische Leistungsfähigkeit der älteren Frauen zurückzuführen ist. Der Blutdruck war auch im Tiefkühlager bei den Männern höher als bei den Frauen. Die objektiv gewonnenen Daten und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse konnten durch die Ergebnisse der subjektiven Befragung weitestgehend bestätigt werden.

Die Ergebnisse der Feldstudie zeigen, dass Kommissionieren in tiefer Kälte zu einer hohen physischen Belastung und Beanspruchung führt, wobei nachweislich kaum signifikante alters- oder geschlechtsspezifische Nachteile bestehen. Die Arbeitsfähigkeit kann vielmehr durch individuelle und betriebliche Gesundheitsförderung positiv beeinflusst werden. Wie die Ergebnisse aus einer 3. Versuchsreihe mit einem variablen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime zeigen, ist eine Optimierung der Arbeits- und Pausenzeiten zwingend notwendig. Da die Kälteschutzkleidung nur bedingt vor Kälte schützt, müssen vor allem die Kälteschutzstiefel und Handschuhe weiter entwickelt werden. Diese Anpassungsmaßnahmen sollten für präventiven Gesundheitsschutz sorgen und damit letztlich auch die Arbeitsprozesseffizienz steigern.

## Abstract

---

The sales figures of both chilled and frozen food have been rising steadily over the past decades, thus leading to an increase in the number of jobs in this sector and a growing demand of capable employees in the coming years. To satisfy the great demand, the workplace of order-pickers employed in cold-storage depots must exhibit a design which ensures that work can be carried out in the long-term regardless of age and gender. Since the superposition of the cold climate and the high physical workload results in elevated stress and strain for the human organism and therefore may pose a significant health risk.

In order to objectify cold-induced strain, 30 female subjects (Ss) of two age groups (15 females, aged between 20 and 35 and 40 and 65 years, respectively) had to carry out whole working day tasks in a cold-storage depot with a chill room ( $\sim +3^{\circ}\text{C}$ ) and a cold store ( $\sim -24^{\circ}\text{C}$ ). For three days, the Ss had to work under predetermined, realistic working conditions with variable working and break times. Simultaneously, the work physiologically relevant parameters such as “body core temperature”, “skin temperature”, “heart rate”, “blood pressure” and “energy expenditure” were measured. Additionally, the Ss were asked to evaluate their subjective experiences while working in the cold. To identify whether besides possible age-related differences any gender-related differences do exist, the findings were also compared with those from a former field-study under identical conditions with 30 male Ss in the same age groups.

Working in the chill room ( $+3^{\circ}\text{C}$ ) caused relatively moderate physiological strain reactions and showed no significant differences between the younger and older or male and female Ss. Also the cold protective clothing – with the exception of the gloves – appears to protect sufficiently, as does a warming-up break of 20 minutes.

Working in the cold store at approx.  $-24^{\circ}\text{C}$  caused considerably higher strain reactions. The older Ss showed the greatest decline in body-core temperature with a maximum drop of 1.5 K compared to 1.3 K (younger Ss). Within both age groups, a 20 minute warming-up phase proved insufficient. It took subjects close to 30 minutes



to reach their nature levels recorded at the outset. Regardless of age, the skin temperature both at the nose and the fingertip decreased considerably in the cold. During the warming-up breaks the decline was compensated quickly. The temperature profile of the toes showed a slightly smaller, yet continuous decrease, with a significant difference between both age groups with lower values for the older Ss. Similar to the results from the chill room, the younger Ss revealed substantially higher work pulses during all three working phases. Taking into consideration individual resting levels and the fact that the maximum heart rate of a human being will be reduced every year, the degree of the capacity utilization on average is approx. 60% for both age groups. The overall higher blood pressure of the older Ss is in accordance with the values determined at home prior to the test series. The gender-related analysis revealed a higher decrease of the core temperature for the males of both age groups, which complies with the findings of the calculated relative heat production with the highest values for the younger female Ss and the lowest values for the older male Ss. Continuous monitoring gave evidence for a comparatively higher skin surface temperature for the female Ss as well. The work pulses of the younger female Ss were clearly higher than those of the male Ss of the same age group, whereas the older male and female Ss showed almost identical values. This may be caused by the high physical capacity of the cardiovascular system of the older female Ss. Blood pressure proved to be higher for men than women. To a large extent, the objectively measured data have been confirmed by the questionnaire.

The results from the field study show that order-picking in deep cold leads to high physical stress and strain with no distinct gender- or age-related disadvantages. In fact, promoting health on both individual as well as operational levels supports the working ability of employees. As indicated by the results from the third test series with varied working and resting times, an optimization of the length of working and break times is mandatory. As the cold protective clothing does not provide an adequately entire protection against cold, there is need for improvements of the cold-insulating boots and gloves. These adjustments may not only create preventive occupational health and safety but ultimately, should increase the efficiency of the work process for every individual.

## 1 Einleitung und Problemstellung

---

Der Mensch macht sich Kälte als Konservierungsmittel bereits seit Jahrtausenden zunutze, wobei sich die eingesetzte Technik den gegebenen Mitteln der Zeit immer weiter anpasste. Erst in den vergangenen 150 Jahren wurde die Kältetechnik maßgeblich präzisiert und die von Carl Linde 1876 zum Patent angemeldete Kältemaschine mit Ammoniakverflüssigung durch Kompression kann dabei als ein Meilenstein angesehen werden (vgl. DIENEL, 2004). An diese Entwicklung anknüpfend, wurden bereits 1880 in den USA die ersten Kühllhäuser gebaut und somit die wesentliche Voraussetzung für die Produktion und Distribution von Tiefkühlkost geschaffen (vgl. KURZHALS, 2007). Nachdem 1911 der Däne Anton J. A. Ottesen das erste industriell nutzbare Tiefgefrierverfahren zum Patent anmeldete (vgl. LEPSIUS, 1996), begann 1915 auch in Europa die Produktion von tiefgefrorenem Fisch. Durch die Wirren des 1. und 2. Weltkrieges hing jedoch Europa im Vergleich zu den USA in der Entwicklung des zukunftsweisenden Wirtschaftszweiges tiefgefrorener Lebensmittel hinterher. Die heimische Industrie bereitete sich zwar u.a. durch das von Dr. Walter Schlienz 1925 gegründete erste deutsche Tiefkühlunternehmen auf den Markttrend aus Übersee vor. Privatverbraucher in Springfield (Massachusetts, USA) konnten bereits am 6. März 1930 erstmalig Tiefkühlkost erwerben. Den deutschen Bürgern blieb das jedoch bis zur internationalen Ernährungsmesse Anuga in Köln im Jahre 1955 verwehrt (vgl. N.N., 2015). Ausgehend von 830 g Tiefkühlkost, die pro Kopf und Jahr (ohne Speiseeis) 1960 in Deutschland konsumiert wurden, setzte fortan ein bis heute andauerndes, kontinuierliches Wachstum des Tiefkühlkostmarktes ein (siehe Abb. 1.1).

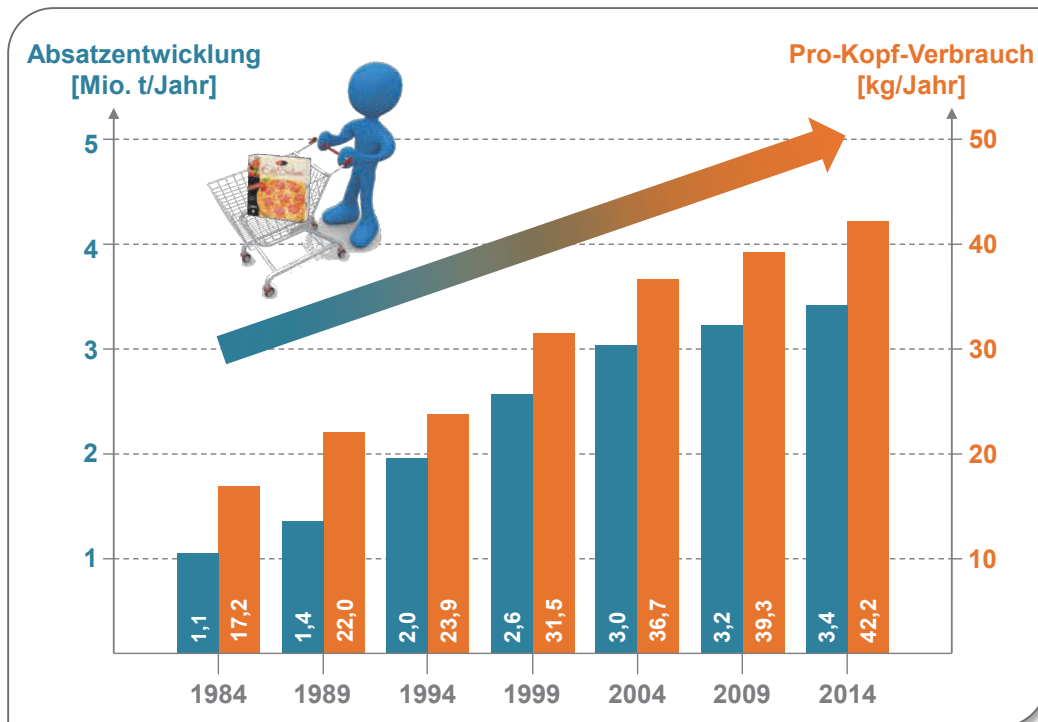


Abb. 1.1: Pro-Kopf-Verbrauch [kg] und Absatzentwicklung [Mio t] von 1984 bis 2014 in Deutschland (modifizierte Darstellung des Deutschen Tiefkühlinstituts e.V., 2015)

Um die aktuell in Deutschland knapp 3,5 Millionen Tonnen an abgesetzten tiefgefrorenen Lebensmitteln pro Jahr vom Produzenten an den Endverbraucher zu bringen, insbesondere unter der Einhaltung einer Vielzahl an Gesetzen und Vorschriften bspw. zum Transport und der Lagerung gekühlter und tiefgefrorener Lebensmittel, bedarf es eines komplexen Logistiksystems. Trotz des teilweise sehr hohen Automatisierungsgrades logistischer Systeme wird das Kommissionieren entsprechender Lebensmittel in einem Warenverteilzentrum als Schnittstelle zwischen Produzent und Einzelhandel noch weitestgehend durch den Menschen realisiert. Eine vollautomatisierte Kommissionierung, selbst tiefgekühlter Lebensmittel, ist zwar technisch machbar und wurde bereits vereinzelt umgesetzt, hält aber aufgrund sehr hoher Investitionskosten und der damit verbundenen Frage nach der Wirtschaftlichkeit bisher flächendeckend noch nicht Einzug in die Warenverteilzentren. Viele Einzelhandelsketten unterhalten zur besseren Erreichbarkeit ihrer Filialen regional verteilt eine Vielzahl an kleinen bis mittelgroßen Warenverteilzentren, die meist aufgrund der insgesamt geringen Anzahl umgeschlagener Artikel als auch aufgrund baulicher Beschränkungen bestehender Lagerbereiche eine Umrüstung auf vollautomatisierte Systeme unmöglich

machen bzw. nicht rentabel erscheinen. Somit bleibt der arbeitende Mensch das zentrale Glied eines Systems, für dessen Aufrechterhaltung die Gesundheit und Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten das maßgebende Kriterium ist.

Dabei sehen Unternehmen, die Kommissionierer\* in Kälte beschäftigen, ebenso wie viele andere Industriezweige der wachsenden Herausforderung einer alternden Gesellschaft entgegen. Nach MAIER et al. (2014) werden, bedingt durch die demografische Entwicklung, zukünftig deutlich mehr Personen aus dem Erwerbsleben ausscheiden als neu hinzukommen. Diese Problematik wird zudem dadurch verstärkt, dass der negative Saldo aufgrund der derzeitigen Bildungsexpansion nicht gleichmäßig über verschiedene Qualifikationsstufen verteilt ist, sodass der Rückgang der Erwerbspersonen voraussichtlich zulasten der einfachen und mittleren Qualifikationsebenen gehen wird, zu denen auch die Kältekommissionierer gehören (vgl. BELLMANN et al., 2015; MAIER et al., 2014). Um dieser Herausforderung zu begegnen, kommt neben der sukzessiven Steigerung der Erwerbsquote und einer erhöhten Zuwanderung potentieller Arbeitskräfte, insbesondere der Erhaltung der Arbeitsfähigkeit vorhandener Erwerbspersonen eine bedeutende Rolle zu. Es ist allgemein bekannt und unausweichlich, dass der Mensch mit fortschreitendem Alter biologische Veränderungen erfährt, die u.a. die physische Leistungsfähigkeit, die Sensorik und Motorik sowie seine kognitiven Eigenschaften und damit insgesamt seine Arbeitsfähigkeit in vielfältiger Weise beeinflussen (siehe u.a. STRASSER, 2007a und 2015). Insbesondere bei einer Superposition von Umwelt- und Arbeitsbelastung, wie es beispielsweise das Kommissionieren von gekühlten und tiefgekühlten Lebensmitteln bei Umgebungstemperaturen von +3°C bzw. -24°C darstellt, kann das Alter bei der Sicherstellung der Arbeitsfähigkeit ein limitierender Faktor sein. Neben den allgemeinen Einschränkungen des Bewegungsapparates und der Organfunktionen nehmen vor allem die Muskelkraft, die Wärmebildungseigenschaften sowie die maximale Sauerstoffaufnahme mit fortschreitendem Alter kontinuierlich ab (vgl. BOOTHBY et al., 1936; HETTINGER, 1968).

---

\* In weiten Teilen der Dissertationsschrift wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit die männliche Form benutzt. Es können dabei aber sowohl männliche als auch weibliche Personen gemeint sein.

Die zuvor genannten Faktoren werden allerdings nicht nur durch das Alter beeinflusst, sondern sind in Abhängigkeit vom Geschlecht unterschiedlich stark ausgeprägt. Dem allgemeinen Konsens nach sollten Frauen aufgrund ihrer physiologischen Eigenschaften für körperlich schwere Tätigkeiten unter zusätzlicher Klimabelastung weniger befähigt sein als Männer. Dennoch verlangt die heutige Arbeitswelt, in der aufgrund der stetig wachsenden Forderung nach Vereinbarkeit von Familie und Beruf auch in zunehmendem Maße Frauen eingesetzt werden, dass beide Geschlechter trotz ihrer weitreichenden physischen Unterschiede (z.B. hinsichtlich Körpergröße und -gewicht) das gleiche Arbeitsaufkommen bewältigen. Dabei wird das geforderte Arbeitspensum meist immer noch allein von der Arbeitsaufgabe definiert und nicht von den individuellen physischen Fähigkeiten des arbeitenden Menschen.

Das Kommissionieren der in einem Warenverteilzentrum eingelagerten Waren für die anschließende Verteilung an den Einzelhandel stellt insbesondere in den Lagerbereichen für Kühlwaren bei  $+3^{\circ}\text{C}$  und Tiefkühlwaren bei  $-24^{\circ}\text{C}$  eine physisch hoch belastende Tätigkeit dar, die u.a. aufgrund der familienfreundlichen Arbeitszeiten von einer Vielzahl von Frauen verrichtet wird (vgl. PENZKOFER, 2013). Die beiden zuvor genannten Lagerbereiche werden nach der DIN 33403-5 (1997) als leicht kalter Bereich (unter  $+10$  bis  $-5^{\circ}\text{C}$ ) und sehr kalter Bereich (unter  $-18$  bis  $-30^{\circ}\text{C}$ ) eingestuft und erfordern für den Arbeitnehmer bereits das Tragen entsprechender Kälteschutzkleidung. Ebenso notwendig ist die Einhaltung von maximalen Expositionszeiten und daran anschließenden Aufwärmepausen, die allerdings erst für Kältebereiche ab  $-25^{\circ}\text{C}$  in der BGR 500 (Kapitel 2.35, 2008) verbindlich geregelt sind. Dem zufolge ist nach einer 2-stündigen Kälteexposition unter  $-25^{\circ}\text{C}$  eine mindestens 15-min Aufwärmepause einzuhalten. Des Weiteren besteht eine Verpflichtung zu Vorsorge- sowie regelmäßigen arbeitsmedizinischen Nachuntersuchungen bei berufsbedingten Kälteexpositionen unter  $-25^{\circ}\text{C}$ , was in der ArbMedVV (Anhang Teil 3, 2013) geregelt ist. Wird allerdings in Räumlichkeiten gearbeitet, deren Temperaturen dauerhaft nicht unter  $-25^{\circ}\text{C}$  fallen, werden nach arbeitsmedizinischen und sicherheitstechnischen Regelwerken diese Untersuchungen für Arbeitnehmer nicht zwingend notwendig. Somit ist eine arbeitsmedizinische Betreuung für Kommissionierer in einem gewerblichen Tiefkühlager mit durchschnittlichen Temperaturen von  $-24^{\circ}\text{C}$  gesetzlich nicht vorgeschrieben. Weiterhin gibt es für die Arbeiter in diesem Temperaturbereich keine bindenden Regelungen

bezüglich der maximalen Kälteexpositionszeit und der darauffolgenden Aufwärmepause. Lediglich die DIN 33403-5 (1997) gibt für definierte Kältebereiche Empfehlungen, die sogar noch über der Forderung aus der BGR 500 (2008) liegen, aber in der Praxis kaum eingehalten werden, was eine von PENZKOFER (2013) an 128 professionellen Kommissionierern in 24 Tiefkühlzentren durchgeführte Befragung belegt. Doch gerade die Pausen zur Wiedererwärmung nach einer Kältebelastung sind unabdingbar für den präventiven Gesundheitsschutz, da die immer wiederkehrenden Abweichungen vom thermischen Behaglichkeitsbereich nach MERCER (2003) und HASSI et al. (2005) Gesundheits- und Leistungsbeeinträchtigungen zur Folge haben können. Bereits leichte Abweichungen vom thermischen Behaglichkeitsbereich senken die physische (OKSA, 1998) und mentale Leistungsfähigkeit (PALINKAS, 2001). Weiterhin kann auch die Gesundheit des Arbeitnehmers bei kalten Arbeitsumgebungen kurz- und langfristig beeinträchtigt werden, bspw. durch vermehrte muskelskelettbezogene Beschwerden (vgl. OKSA et al., 2002; SORMUNEN et al., 2006) oder Erkrankungen der Atemwege (vgl. MÄKINEN, 2007). Auch HASSI et al. (2005) bringen viele Arten chronischer Beschwerden, wie etwa kardiovaskuläre Erkrankungen, Atemwegserkrankungen, muskuläre Beschwerden, periphere Durchblutungsstörungen und Hauterkrankungen, mit Kälteexpositionen in Verbindung. Da die Kälteschutzkleidung und die periphere Vasokonstriktion die Wärmeverluste im Körper beim Arbeiten in Kälte nicht gänzlich kompensieren können, ist ein erhöhter Energieumsatz zwingend notwendig (STRASSER & KLUTH, 2006), weshalb das manuelle Kommissionieren von Warenpaketen mit erfahrungsgemäß durchschnittlichen Gewichten zwischen 2 und 15 kg durch die produzierte Muskelwärme nach KLUTH et al. (2008; 2008/2009) zumindest aus Sicht des Kälteschutzes als vorteilhaft angesehen werden kann, wenngleich hierdurch eine Superposition aus Arbeits- und Umweltbelastung vorliegt.

Die Auswirkungen von Kältearbeit, insbesondere in tiefer Kälte, wurden bisher meist unter standardisierten Bedingungen in Laboratorien oder unter nicht kontrollierbaren Bedingungen im Freien erfasst. Die von KLEINÖDER (1988) und HÄCKER (1989) durchgeführten Untersuchungen in  $-30^{\circ}\text{C}$  kalten Kältekammern dienten sicherlich einer ersten Orientierung zu den Auswirkungen von Kälte auf den arbeitenden Menschen. Jedoch limitieren u.a. die Auswahl der Versuchspersonen (junge, gesunde

Männer) sowie die Simulation der Kältarbeit durch Laufband- bzw. Fahrradergometerarbeit die Aussagekraft der gewonnenen Erkenntnisse bei einem Transfer in die reale Arbeitswelt, bspw. in die von Kältekommissionierern. Eine noch geringere Aussagekraft haben Laborstudien, in denen sich ein kleines Probandenkollektiv von ausschließlich jungen und gesunden Männern, ruhend in einer Kältekammer bei  $-25^{\circ}\text{C}$  befindet und deren Expositionsdauer auf 20 min begrenzt ist (vgl. OZAKI et al. 1998 und TOCHIHARA et al. 1995a). Insbesondere die Superposition aus schwerer körperlicher Arbeit und der kalten Arbeitsumgebung wird hierbei nicht abgebildet. Untersuchungen im Freien, wie sie bspw. von VIROKANNAS (1996) oder KÜPPER (2006) durchgeführt wurden, beziehen zwar die Arbeitsbelastung mit ein, können allerdings keine gleichbleibenden Umgebungsbedingungen sicherstellen. So schwankte die Umgebungstemperatur in den Studien von VIROKANNAS (1996) zwischen  $+3^{\circ}\text{C}$  und  $-27^{\circ}\text{C}$  oder die hohen Windgeschwindigkeiten bei den Untersuchungen von KÜPPER (2006) sorgten bei eigentlich moderater Kälte für eine gefühlte Temperatur von bis zu  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Aus den wenigen durchgeführten arbeitsbegleitenden Feldstudien in Kälte gelang es bisher ebenfalls nicht, die physische Beanspruchung, insbesondere in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht, ganzheitlich abzubilden und hieraus Handlungsempfehlungen für den Arbeitsalltag der Zukunft abzuleiten. FORSTHOFF (1983) untersuchte erstmals neben 6 Gabelstaplerfahrern auch 4 Kommissionierer in ihrer realen Arbeitsumgebung ( $-28^{\circ}\text{C}$ ) und erfasste dabei die arbeitsphysiologisch relevanten Parameter Herzschlagfrequenz, Körperkern- und Hautoberflächentemperatur, Blutdruck sowie den Energieumsatz. Das allerdings lediglich 4 männliche Arbeitspersonen umfassende Probandenkollektiv mit einem durchschnittlichen Alter von 29,6 Jahren limitiert jedoch die Aussagekraft dieser Feldstudie, ebenso wie das damals in der Praxis übliche und daher auch in den Untersuchungen eingesetzte Arbeitszeit-Pausenzeite-Regime von 50 min Arbeit und 10 min Pause. Das von WILLIAMSON et al. (1984) vorgesehene Studiendesign, das sich auf die Analyse der Hautoberflächentemperatur und der subjektiven Kälteempfindungen von 8 männlichen Kühlhausarbeitern bei  $-27^{\circ}\text{C}$  beschränkt, kann ebenso wenig für eine ganzheitliche Bewertung der Belastung und Beanspruchung bei Kältarbeit herangezogen werden. Das gleiche gilt für die Vielzahl an Untersuchungen, die sich auf Gabelstaplerfahrer beziehen, die zum einen der tiefen

Kälte meist nicht dauerhaft ausgesetzt waren und zum anderen keine körperlich schwere Arbeit verrichteten (vgl. FORSTHOFF, 1983; GOLBABAEI et al., 2008; TOCHIHARA et al., 1995a). Es bleibt vor allem hervorzuheben, dass Frauen bisher in den ausgewählten Probandenkollektiven kaum Berücksichtigung fanden oder zumindest keine Differenzierung der Ergebnisse nach dem Geschlecht vollzogen wurde. Bereits 1993 wies HOLMÉR (1993) in einem Review über das Arbeiten in Kälte darauf hin, dass für die Bewertung kältebedingter Belastung und Beanspruchung und den daraus abgeleiteten Vorgaben u.a. hinsichtlich eines Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes oder in Bezug auf die Kälteschutzkleidung weitere Präzisierungen bestehender Bewertungsmodelle erforderlich und vor allem weitere Feldstudien notwendig wären. Trotzdem besteht in der Forschung bis heute ein deutliches Defizit an realitätsnahen Untersuchungen zur Bewertung von Kältearbeit, insbesondere unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht des arbeitenden Menschen.

Um dieses Defizit aufzuarbeiten, wurden zur Objektivierung von Belastung und Beanspruchung jüngerer und älterer männlicher Arbeitspersonen im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsvorhabens "Lebensalter und Kältearbeit" (vgl. STRASSER & KLUTH, 2004) gründliche Analysen durchgeführt und u.a. von PENZKOFER (2013) dargestellt. In der Fortsetzung sollten, ebenfalls im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsvorhabens (vgl. KLUTH, 2009), die altersdifferenzierten Erkenntnisse anhand jüngerer und älterer Frauen verifiziert und zugleich eine geschlechtsdifferenzierte Analyse durchgeführt werden. Weiterhin sollten auch die Zeiten nach einer Kälteexposition betrachtet werden, die in der Forschung bisher kaum Beachtung fanden, denn gerade eine hinreichende Wiedererwärmung soll eine langfristige und gefähderungsfreie Aufgabenerfüllung sicherstellen und insgesamt das Leistungsniveau verbessern. Um diese Aufgabenstellung systematisch abzuarbeiten und unter Einbeziehung des Lebensalters und des Geschlechts der Arbeitspersonen Rahmenbedingungen für ein optimiertes Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime zu entwickeln, wurden entsprechend der in Abbildung 1.2 dargestellten Vorgehensweise angewandter arbeitswissenschaftlicher Feldforschung arbeitsphysiologische Untersuchungen sowie subjektive Befragungen zu unterschiedlichen Themenfeldern (Kälteempfinden, Arbeitsbedingungen, Arbeitszeiten etc.) durchge-



führt. In der langfristigen Zielsetzung sollen die gewonnenen Erkenntnisse beider Forschungsvorhaben dazu genutzt werden, ein für die Praxis verwertbares und im Regelwerk verankertes Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime zu gestalten, das den in der Praxis häufig anzutreffenden willkürlichen Arbeitszeitregelungen entgegenwirkt. Hierdurch soll für präventiven Gesundheitsschutz gesorgt werden und damit der Erhaltung der Arbeitsfähigkeit – unter Einfluss des Lebensalters und des Geschlechts auf die Beanspruchung – Rechnung getragen werden. Ebenso soll damit eine langfristige, gefahrungsfreie Aufgabenerfüllung sichergestellt und insgesamt das Leistungsniveau verbessert werden.

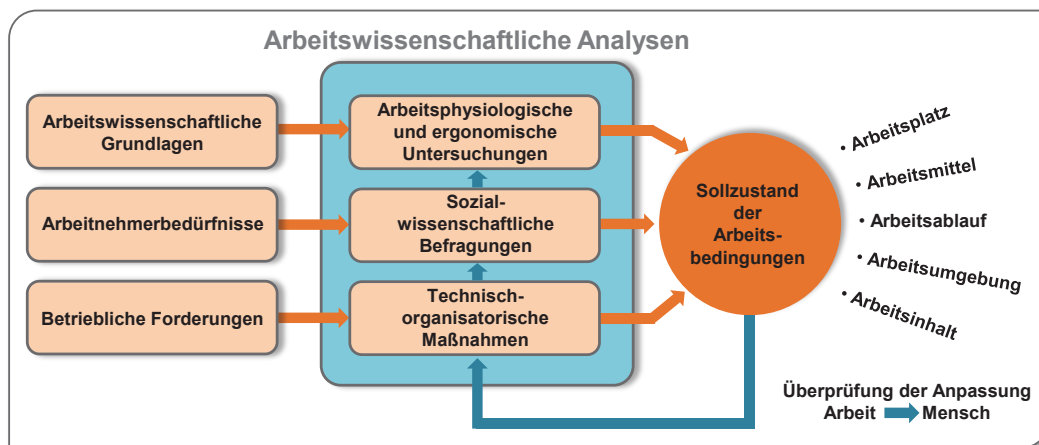


Abb. 1.2: Vorgehensweise angewandter arbeitswissenschaftlicher Feldforschung (STRASSER, 1984)

## 2 Kältarbeit im Lebensmittelgewerbe

---

Der Kältarbeitsplatz im Lebensmittelgewerbe unterscheidet sich deutlich durch eine Vielzahl an Faktoren (z.B. Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung etc.) von anderen Arbeitsbereichen. Durch das Zusammenwirken der besonderen Bedingungen und Anforderungen, die dieser Arbeitsplatz an den arbeitenden Menschen stellt, kommt es zu einer spezifischen Belastung und daraus resultierend zu einer Beanspruchung, deren größtmögliche Kompensation zu den wichtigsten Aufgaben der Arbeitsgestalter gehört. Zur weiteren Analyse der Auswirkungen von Kältarbeit ist es daher unabdingbar, zunächst die örtlichen Gegebenheiten, d.h. das Warenverteilzentrum in dem die Untersuchungen stattfanden, zu analysieren. Hierzu gehören vor allem die klimatischen Arbeitsumgebungsbedingungen, die direkten Einfluss auf den Menschen nehmen. Auch der Arbeitsablauf des Kommissionierens gekühlter und tiefgekühlter Waren sowie die etablierten Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime sollten kritisch dargestellt werden, da sie vom Arbeitnehmer kaum zu beeinflussen sind, sich aber auf dessen Leistungsfähigkeit und Gesundheit direkt auswirken. Gleiches gilt für die eingesetzte Kälteschutzkleidung, die durch einen hohen Anwendungs- und Tragekomfort die Belastung des Herz-Kreislaufsystems bei der körperlich schweren Arbeit minimieren und gleichzeitig über eine hinreichende Isolierung verfügen sollte, um die Auswirkungen von Kälte auf den Organismus auf ein geringstmögliches niedriges Maß zu reduzieren.

### 2.1 Warenverteilzentrum mit Kühl- und Tiefkühlager für den Discounterhandel

Das Warenverteilzentrum (Distributionszentrum) ist für den Lebensmitteleinzelhandel zentraler Bestandteil einer Supply Chain und dient im Wesentlichen der Neuzusammenstellung (Kommissionierung) der zunächst im Zentrum sortenrein angelieferten Waren und im vorliegenden Fall der abschließenden Auslieferung an den Einzelhandel. Hierbei findet zwar keine Wertschöpfung an der Ware statt, aber dennoch sind Warenverteilzentren notwendig, um die zeitliche Diskrepanz zwischen der Herstellung und dem Verbrauch der Ware zu überbrücken und die Verfügbarkeit der

Produkte in unterschiedlichen Regionen sicherzustellen (vgl. u.a. ARNOLD, 2006; ARNOLD & FURMANS, 2009; GLEISSNER & FEMERLING 2008). Das Objekt, in dem die Untersuchungen stattfanden, war nach dem amerikanischen Ansatz konzipiert, d.h. es bestand aus sehr großen Lagerhallen mit einer Vielzahl von Europalettenregalen und Bodenlagern, breiten Verkehrswegen für Umschlag und Sortierung in der Fläche sowie ausreichend Docks für den Wareneingang und Warenausgang. Bei dieser Lagerform wird der Verkehr, im Vergleich zum europäischen Ansatz, der sich durch einen sehr hohen Automatisierungsgrad auszeichnet, weitestgehend mit Staplern, freifahrbaren Kommissionierfahrzeugen und zu Fuß abgewickelt (vgl. u.a. ARNOLD, 2006).

Abbildung 2.1 zeigt die Luftaufnahme eines typischen und repräsentativen Warenverteilzentrums eines Discountunternehmens, in dessen ca. 1000 m<sup>2</sup> großen Bereich für gekühlte und tiefgekühlte Lebensmittel die Untersuchungen durchgeführt wurden. Der temperaturgeführte Teil des Logistikzentrums befindet sich im Erdgeschoss des kleinen Anbaus auf der rechten Seite des Gebäudekomplexes. Im Obergeschoss sind die Umkleide-, Trocknungs- und Sozialräume für die Mitarbeiter sowie die Kälteanlage untergebracht. Die größte Fläche wird von dem sog. Trockenlager eingenommen, in dem nicht-verderbliche Lebensmittel und andere Waren, die keiner besonderen Temperierung bedürfen, zwischengelagert werden. Das dargestellte Warenverteilzentrum beliefert rund 56 Filialen in einem Radius von ca. 70 km mit einer Produktpalette von etwa 1360 Artikeln des täglichen Bedarfs und zusätzlich dreimal wöchentlich insgesamt ca. 80 Aktionsartikeln (N.N., 2017a). Das Sortiment an Tiefkühlwaren umfasst ca. 100 verschiedene Artikel, bei den gekühlten Waren sind es über 200 Produkte, die mittels Kühltransporter in die Filialen gelangen. Insbesondere die Aktionsartikel, aber auch Saisonprodukte und die hohe Nachfrage zu den Feiertagen führen dazu, dass der Arbeitsumfang täglichen Schwankungen unterlegen ist, was u.a. durch Arbeitszeitanpassungen und flexiblen Mitarbeiterereinsatz ausgeglichen werden muss. Des Weiteren bringen stetige Sortimentserweiterungen bestimmte Lagerbereiche zunehmend an die Kapazitätsgrenze und erhöhen insgesamt die Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter.



Abb. 2.1: Luftaufnahme des Warenverteilzentrums in dem die Untersuchungen stattfanden mit einem Trockenlager (links) sowie einem Kühl- und Tiefkühlager (rechts, kleiner Anbau) (Bildquelle: Dr. Jörg Schneider)

### 2.1.1 Exemplarischer Aufbau eines Warenverteilzentrums mit Kühl- und Tiefkühlager

Der temperaturgeführte Bereich des Warenverteilzentrums, in dem auch die Untersuchungen stattfanden, besteht aus einer Vorkühlzone zur Warenannahme und Qualitätskontrolle mit Umgebungstemperaturen von ca.  $+3^{\circ}\text{C}$ , einem Kühllager ( $+3^{\circ}\text{C}$ ) und einem Tiefkühlager ( $-24^{\circ}\text{C}$ ). Wie Abbildung 2.2 zu entnehmen ist, befinden sich im vorderen Bereich zehn klimatisch isolierte LKW-Verladerampen, über die der Wareneingang und Warenausgang abgewickelt werden.

Die ankommenden temperaturgeführten Waren werden unabhängig vom späteren Lagerort kurzzeitig in der Vorkühlzone zur Zähl-, Ident- und Qualitätsprüfung zwischengelagert. Nach erfolgreicher Eingangsprüfung befördert das Wareneingangspersonal die sortenrein bestückten Warenpaletten in den dafür vorgesehenen Lagerbereich (2, 4 und 5). Bis zur Kommissionierung (1), die ausführlich in Abschnitt 2.2 beschrieben wird, verbleiben die Europaletten am Lagerort. Kommissionierte und verpackte Warenpaletten werden von den Kommissionierern auf der Freifläche für den Warenausgang entsprechend ihrer Filialzugehörigkeit zur Abholung bereitgestellt (3). Die kommissionierten Waren werden dann zu einem späteren Zeitpunkt abgeholt und per Kühllastwagen in die Filialen geliefert. In dem kleinen Bereich des Sperrlagers (3) werden Waren gesammelt, die nicht mehr in den Handel gelangen dürfen. Ursächlich hierfür ist meist ein Überschreiten des Mindesthaltbarkeitsdatums, eine Beschädigung der Produktverpackung oder ein offensichtliches Unterbrechen der Kühlkette.

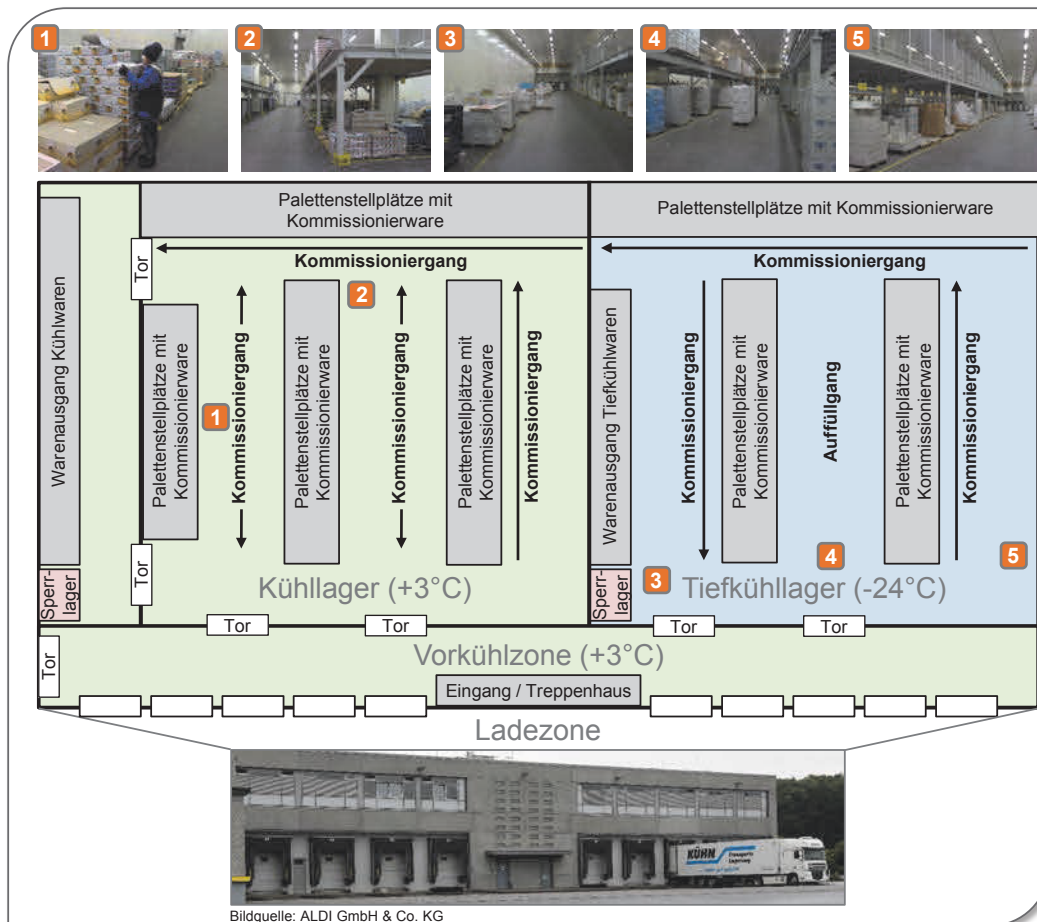


Abb. 2.2: Schematische und bildliche Darstellung des Kühl- und Tiefkühlagerbereichs sowie der Vorkühlzone des Warenverteilzentrums, in dem die Untersuchungen stattfanden

### 2.1.2 Arbeitsumgebungsbedingungen im ausgewählten Warenverteilzentrum

Die Arbeitsumgebung eines Arbeitssystems kann entsprechend DIN EN ISO 6385 (2016) beschrieben werden als die physikalischen, chemischen, biologischen, organisatorischen, sozialen und kulturellen Faktoren, die den arbeitenden Menschen umgeben. Wenngleich alle zuvor genannten Faktoren maßgeblichen Einfluss auf die Belastung und die daraus resultierende Beanspruchung nehmen, soll das Klima als physikalischer Faktor und dessen Auswirkungen der wesentliche Untersuchungsgegenstand dieser Feldstudie sein. Im Folgenden werden daher die Ist-Zustände der Klimafaktoren Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit in den beiden untersuchten Lagerbereichen dargestellt. Die Wärmestrahlung als vierter Klimafaktor entfällt, da diese

nach BUX (2006) negativ in die Wärmebilanz des Menschen eingeht und durch die abschirmende Wirkung der Kälteschutzkleidung nur geringe Werte annimmt.

Das zuvor dargestellte Warenverteilzentrum verfügt über drei verschiedene Lagerbereiche, eine Vorkühlzone und einen Aufenthaltsbereich, die entsprechend ihrem Einsatzzweck unterschiedliche **Lufttemperaturen [°C]** aufweisen. Das Trockenlager, welches der Einlagerung von Waren dient, die keiner besonderen Temperierung bedürfen, weist im Mittel eine Temperatur von +18°C auf. Da bei körperlich schwerer Arbeit und Umgebungstemperaturen von +18°C keine zusätzliche Klimabelastung vorliegt, wurde das Trockenlager nicht als Untersuchungsgegenstand in die Feldstudie einbezogen. Um den Forderungen der EG-Verordnung 852 (2004) und der nationalen Verordnung über tiefgefrorene Lebensmittel (TLMV, 1991) nachzukommen, werden alle Lebensmittel, die nicht bei Raumtemperatur gelagert werden können, im Kühllager mit einer Lufttemperatur von ca. +3°C und im Tiefkühllager bei ca. -24°C aufbewahrt. Damit die Kühlkette auch beim Warenumschlag nicht unterbrochen wird, ist die sogenannte Vorkühlzone, die direkt an die beiden Lagerbereiche angrenzt, auf ca. +3°C temperiert. Während das im Wareneingang eingesetzte Personal zur Qualitätskontrolle zwar immer wiederkehrend, dafür aber nur sehr kurzzeitig den kühlen Lufttemperaturen der Vorkühlzone ausgesetzt ist, halten sich die Kältekommissionierer ununterbrochen für einen längeren Zeitraum in einem der beiden Lagerbereiche auf. Zur Wiedererwärmung stehen den Mitarbeitern des ausgewählten Warenverteilzentrums Sozialräume zur Verfügung, deren Temperatur zwischen 21°C und 24°C liegt, was der in DIN EN 15251 (2012) angegebenen Komfortraumtemperatur von 22°C bis 26°C bzw. dem zugelassenen Toleranzbereich für die operative Raumtemperatur von  $\pm 2$  K entspricht.

Auch die im Sozialbereich gemessenen Werte der relativen **Luftfeuchtigkeit [%]** liegen mit 35% bis 45% innerhalb der Empfehlungen der DIN EN 15251 (2012), welche die unteren und oberen Grenzwerte auf 30% bzw. 65% festlegt. In der Vorkühlzone sowie im Kühllager beträgt die Luftfeuchtigkeit zwischen 40% und 65%. Im Tiefkühllager liegt die relative Luftfeuchte konstant bei 100%, was darin begründet ist, dass Luft bei solch niedrigen Temperaturen nur sehr wenig Wasserdampf aufnehmen kann (vgl. GRANDJEAN, 1962).

Die Strömungsgeschwindigkeit der umgebenden Luft, d.h. die **Windgeschwindigkeit [m/s]** war aufgrund der modernen Konstruktionsweise der Kälteanlage mit Werten von 0,15 - 0,2 m/s in den beiden Lagerbereichen vernachlässigbar klein. Lediglich das Fahren mit dem Flurförderzeug führt zu Windgeschwindigkeiten von bis zu 3 m/s, was unangenehme Kälteempfindungen auslösen kann. Ursächlich hierfür ist das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der Luftgeschwindigkeit, wodurch die „gefühlte Temperatur“ unter der eigentlichen Temperatur liegt (vgl. Tab 2.1). Dieser sogenannte Wind-Chill-Effekt kann beispielsweise dazu führen, dass sich ab einer gefühlten Temperatur von  $-27^{\circ}\text{C}$  auf der ungeschützten Haut Temperaturen von  $-4,8^{\circ}\text{C}$  einstellen, was nach DANIELSSON (1996) zu Erfrierungen führen kann. Im Tiefkühl- lager besteht dieses Risiko nach OSCZEWSKI & BLUESTEIN (2005) bereits bei sehr geringen Luftgeschwindigkeiten. Durch die computergesteuerte Vorgabe der zu kommissionierenden Waren sind aber die Fahrwege derart optimiert, dass sich die ununterbrochene Fahrzeit auf wenige Sekunden beschränkt. Ebenso lässt sich die Fahrgeschwindigkeit des Flurförderzeuges durch den Kommissionierer frei wählen, wodurch Erfrierungen an ungeschützten Körperstellen, im vorliegenden Fall lediglich im Gesicht, nahezu ausgeschlossen werden können.

Tab. 2.1: *Wind-Chill/ Temperatur-Index für unterschiedliche Luftgeschwindigkeit-Lufttemperatur-Kombinationen. Die blaue Unterlegung kennzeichnet den Bereich, in dem Hauterfrierungen auftreten können (modifiziert nach OSCZEWSKI & BLUESTEIN, 2005)*

<b>Wind-Chill / Temperatur-Index</b>									
<b>Luft- geschwindigkeit</b>	<b>Lufttemperatur</b>								<b>gefühlte Temperatur [°C]</b>
	<b>+5°C</b>	<b>0°C</b>	<b>-5°C</b>	<b>-10°C</b>	<b>-15°C</b>	<b>-20°C</b>	<b>-25°C</b>	<b>-30°C</b>	
<b>5 km/h ~ 1,4 m/s</b>	<b>+4</b>	<b>-2</b>	<b>-7</b>	<b>-13</b>	<b>-19</b>	<b>-24</b>	<b>-30</b>	<b>-36</b>	
<b>10 km/h ~ 2,8 m/s</b>	<b>+3</b>	<b>-3</b>	<b>-9</b>	<b>-15</b>	<b>-21</b>	<b>-27</b>	<b>-33</b>	<b>-39</b>	
<b>15 km/h ~ 4,2 m/s</b>	<b>+2</b>	<b>-4</b>	<b>-11</b>	<b>-17</b>	<b>-23</b>	<b>-29</b>	<b>-35</b>	<b>-41</b>	
<b>20 km/h ~ 5,6 m/s</b>	<b>+1</b>	<b>-5</b>	<b>-12</b>	<b>-18</b>	<b>-24</b>	<b>-30</b>	<b>-37</b>	<b>-43</b>	
<b>25 km/h ~ 7,0 m/s</b>	<b>+1</b>	<b>-6</b>	<b>-12</b>	<b>-19</b>	<b>-25</b>	<b>-32</b>	<b>-38</b>	<b>-44</b>	
<b>30 km/h ~ 8,4 m/s</b>	<b>0</b>	<b>-6</b>	<b>-13</b>	<b>-20</b>	<b>-26</b>	<b>-33</b>	<b>-39</b>	<b>-46</b>	

Um den Luftaustausch zwischen den unterschiedlich temperierten Bereichen möglichst gering zu halten, sind die Hallenabschnitte durch Schnellauftore voneinander getrennt, die sich für das Durchfahren mit Förderzeugen lichtschrangesteuert für wenige Sekunden öffnen. Hierdurch werden energetische Verluste vermindert, Kondensbildung aufgrund von einströmender warmer Luft in kältere Bereiche unterbunden und Zugluft möglichst verhindert. Den gleichen Zweck erfüllt die Abdichtung an der Laderampe, die beim Entladen der Lastwagen einen Austausch mit der Außenluft und ggf. eine Unterbrechung der Kühlkette verhindert. Auch der temperierte Sozialbereich ist durch ein Treppenhaus, welches u.a. als Klimaschleuse dient, vom Lagerbereich entkoppelt.

## 2.2 Arbeitsablauf des Kommissionierens

Das Zusammenstellen von Kundenaufträgen (Kommissionieren) stellt die wesentliche Kerntätigkeit in Distributionszentren dar und wird trotz aller Automatisierungserfolge weiterhin maßgeblich durch den Einsatz von Menschen, teilweise unterstützt durch technische Hilfsmittel, vollzogen (vgl. u.a. GERKING, 2009; HABERL, 2009; TEN HOMPEL et al., 2011). Die VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1 (1994) definiert die Arbeitsaufgabe der Kommissionierung wie folgt: „*Kommissionieren hat das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen aufgrund von Anforderungen (Aufträgen) zusammenzustellen.*“ Die Beschreibung und Klassifizierung des untersuchten Kommissioniersystems soll entsprechend der VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1 (1994) auf der Basis der drei Ebenen Materialfluss, Informationsfluss und Organisation erfolgen.

### 2.2.1 Materialfluss

Der Materialfluss bezeichnet den physischen Objektfluss, wie er in Abbildung 2.3 am Beispiel einer Tiefkühlpizza exemplarisch dargestellt ist. Beginnend beim Produzenten durchläuft das Objekt eine Vielzahl von logistischen Prozessen, bis es abschließend vom Endverbraucher konsumiert wird. Innerhalb der dargestellten Stationen finden wiederum logistische Prozesse statt, wobei das Kommissionieren innerhalb eines Warenverteilzentrums im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen soll. Zur Erfüllung



der Arbeitsaufgabe des Kommissionierens von Lebensmitteln in Kältesind im Wesentlichen die folgenden sieben Prozessschritte notwendig, die sich aus der VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1 (1994) sowie den erweiterten Grundfunktionen des Materialflusssystems nach JÜNEMANN & SCHMIDT (1999) ableiten:

- 1 Bereitstellung der Güter
- 2 Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung
- 3 Entnahme der Güter durch den Kommissionierer
- 4 Transport der Güter zum Abgabeort (Palette)
- 5 Abgabe der Güter am Abgabeort (Palette)
- 6 Transport der Güter zum Warenausgang
- 7 Abgabe der Güter am Warenausgang

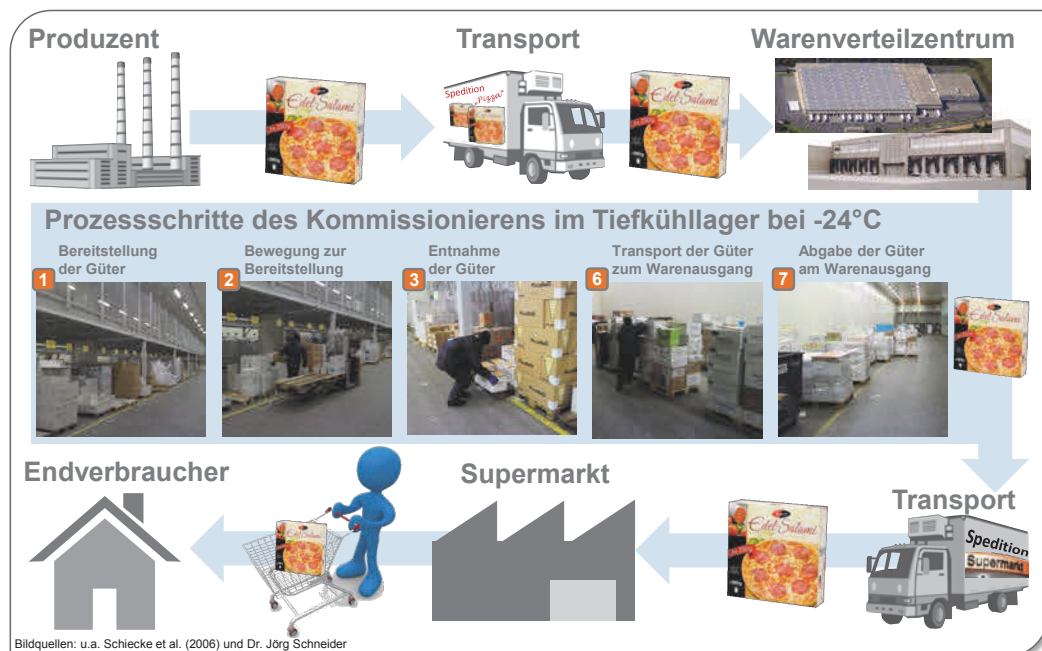


Abb. 2.3: Darstellung des Materialflusses vom Produzenten bis zum Endverbraucher am Beispiel einer Tiefkühlpizza sowie der wesentlichen Prozessschritte des Kommissionierens in einem Warenverteilzentrum

Entsprechend Tabelle 2.2 können die zuvor genannten Prozessschritte aufgrund unternehmensspezifischer Prozessanforderungen, wie im Folgenden beschrieben, unterschiedlich realisiert werden (vgl. VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1, 1994 sowie JÜNEMANN & SCHMIDT, 1999). Im vorliegenden Fall findet eine statische **Bereitstellung** (1) statt, da die Ware während der Bereitstellung an der gleichen Position verbleibt. Weiterhin bewegt sich der Kommissionierer durch das Kommissioniersystem

(sog. „Person-zur-Ware“ Prinzip), da die Bereitstellungsorte im gesamten Lagerbereich verteilt sind. Entsprechend liegt eine dezentrale Bereitstellung vor (vgl. GERKING, 2009). Position und Orientierung der Ware sind nicht immer einheitlich, d.h. die zu greifende Ware liegt mal weiter vorne oder hinten oder höher oder tiefer, je nach Füllgrad der Palette. Somit liegt eine ungeordnete Bereitstellung vor. Hierdurch muss der Kommissionierer wiederholt seine Greifvorgänge zur Aufnahme der Produkte anpassen. Entsprechend dem „Person-zur-Ware“ Prinzip findet eine **Bewegung des Kommissionierers (2)** statt, die vorwiegend zu Fuß (manuell) und in Teilen mit einem angetriebenen Flurförderzeug (mechanisch) realisiert wird. Die Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung erfolgt in der Ebene eindimensional. Lediglich das Auffüllen des Bereitstellungsplatzes mit neuer Ware aus höher gelegenen Regalfächern erfolgt zweidimensional mittels eines Gabelstaplers. Die **Entnahme der Güter (3)** findet ohne technische Hilfsmittel statt, sodass eine rein manuelle Entnahme vorliegt. In der Regel entnimmt der Kommissionierer lediglich ein Teil pro Zugriff, wobei es bei kleiner und leichter Ware durchaus vorkommen kann, dass bei entsprechender Auftragsmenge mehrere Warenpakete pro Zugriff entnommen werden. Der **Transport der kommissionierten Güter zum Abgabeort (4)**, in diesem Fall die auf dem Flurförderzeug mitgeführte Europalette, wird vom Kommissionierer manuell und eindimensional durchgeführt, da sich der Kommissionierer weiterhin in einer Ebene befindet. Die **Abgabe der Güter am Abgabeort (5)** erfolgt statisch, da sich die Europalette während der Abgabe nicht bewegt. Da diese sich aber auf einem im Raum frei bewegbaren Flurförderzeug befindet, erfolgt die Abgabe dezentral. Die Position und Orientierung der kommissionierten Warenpakete auf der Europalette wird zur Reduzierung des Gesamtvolumens seitens des Kommissionierers variiert, sodass die Abgabe ungeordnet erfolgt. Der **Transport der kommissionierten Güter zum Abgabeort (Warenausgangslager) (6)** findet ebenfalls ausschließlich eindimensional mittels eines Flurförderzeuges (mechanisiert) statt. Die **Abgabe (7)** der fertig kommissionierten Palette erfolgt weitestgehend frei im Warenausgangslager (dezentral), aber dennoch geordnet nach aufsteigender Filialnummer. Bis zur Abholung verbleibt die Palette statisch an ihrem Ort.

Tab. 2.2: Teilfunktionen der Prozessschritte des Kommissionierens mit entsprechender Kennzeichnung der Ausprägung (orange), die in dem untersuchten Kühl- und Tiefkühlager zum Einsatz kam (modifiziert nach VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1, 1994 sowie JÜNE-MANN & SCHMIDT, 1999)

Vorgang	Realisierungsmöglichkeit			
<b>1</b> Bereitstellung der Güter	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	
<b>2</b> Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
<b>3</b> Entnahme der Güter durch den Kommissionierer	manuell	manuell	automatisch	
	ein Teil pro Zugriff		mehrere Teile pro Zugriff	
<b>4</b> Transport der Güter zum Abgabeort (Palette)	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
<b>5</b> Abgabe der Güter am Abgabeort (Palette)	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	
<b>6</b> Transport der Güter zum Warenausgang	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
<b>7</b> Abgabe der Güter am Warenausgang	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	

Das Aufgabenspektrum eines Kommissionierers im Lebensmittelgewerbe kann neben den zuvor genannten Prozessschritten noch durch weitere Aufgaben erhöht werden. Hierzu gehören das Entfernen der Verpackungsfolie und von Kartonagen, um an die bereitgestellten Waren zu gelangen, der Abtransport leerer Bereitstellungspaletten und das Auffüllen von Neuware sowie das Umwickeln kommissionierter Paletten mit Verpackungsfolie sowie deren Kennzeichnung mit der entsprechenden Filialnummer. Jede Arbeitsschicht wird zudem mit dem Aufsammeln und Entsorgen von Folien- und Verpackungsresten und dem Kehren von der Kehrmachine nicht zu erreichender Lagerbereiche beendet.

### 2.2.2 Informationsfluss

Gemäß VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1 (1994) wird unter einem Informationselement als Teil des Informationsflusses eine Information verstanden, „die zur Auslösung und/oder Durchführung der zum Kommissionieren notwendigen Materialflussvorgänge erforderlich ist.“ Der Informationsfluss wird dabei anhand folgender Prozesse beschrieben (vgl. VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1, 1994):

- 1 Auftragserfassung
- 2 Auftragsbearbeitung
- 3 Auftragsbereitstellung
- 4 Identifikation des Bereitstellungsortes und des Auftrages
- 5 Quittierung und Kontrolle
- 6 Identifikation des Abgabeortes

Nach LOLLING (2003) sind die Auftragserfassung, -bearbeitung und -bereitstellung für die Durchführung des Kommissionierprozesses nicht relevant, sodass im Folgenden lediglich auf die Punkte 4-6 eingegangen wird. Die **Identifikation des Bereitstellungsortes** (4) erfolgte in dem untersuchten Warenverteilzentrum zunächst beleggebunden anhand von Kommissionierlisten, was später durch ein Pick-by-Voice-System abgelöst wurde. Bei der Kommissionierung mittels einer Kommissionierliste liest der Kommissionierer die Arbeitsanweisung auf der sog. Pickliste ab, führt den Auftrag aus und markiert erledigte Aufträge händisch. Analog zum hohen Ableseaufwand steigt auch das Risiko von Ablesefehlern und damit einhergehend sinkt die Kommissionierqualität. Zudem ist der zeitliche Aufwand erhöht und im Tiefkühlbereich behindert die Kälteschutzkleidung die Handhabung von Pickliste und Stift (vgl. u.a. MARTIN, 2014; TEN HOMPEL et al., 2011). Bei dem derzeit im Einsatz befindlichen Pick-by-Voice-System (vgl. Abbildung 2.4) erhält der Kommissionierer über einen Kopfhörer auditiv die Ansage über die Art und Menge der zu kommissionierenden Ware. Im vorliegenden Fall wird zunächst der Lagerort durchgegeben (hier 70, vgl. Abbildung 2.4, rechts). Daraufhin muss der Kommissionierer seinen korrekten Standort durch die Angabe der Prüfziffer (hier 5832) bestätigen, erst dann gibt das computergesteuerte System die Anzahl der zu entnehmenden Einheiten durch. Auf diese Weise erfolgt die **Quittierung und Kontrolle** (5) des zu kommissionierenden Produktes als qualitätssicherndes Element des Informationsflusses. Um Gewöhnungseffekten vorzubeugen, werden die Prüfziffern entweder regelmäßig ausgetauscht oder das System gibt an, welche Ziffern der 4-stelligen Prüfziffer angesagt werden sollen. Der wesentliche Vorteil des Pick-by-Voice-Systems liegt darin, dass sich der Arbeitnehmer während des Kommissioniervorganges frei bewegen kann. Erfahrene Kältekommissionierer berichten allerdings, dass es u.a. aufgrund der stark isolierten Außenwände und der Vielzahl an Stahlregalen immer wieder zu Störungen in der Funkverbindung kommt,

wodurch der Arbeitsprozess zeitweise behindert wird. Die abschließende **Identifikation des Abgabeortes** (6) ist nicht erforderlich, da die Abgabe der Sammeleinheit an einem zentralen Punkt erfolgt, der nicht identifiziert werden muss (vgl. GLEISSNER und FEMERLING, 2008). Neben dem vorgestellten Pick-by-Voice-System bieten u.a. die hier nicht näher ausgeführten Systeme Pick-by-Light, Pick-by-Scan oder Pick-by-Vision Möglichkeiten des beleglosen Informationsaustausches.



Abb. 2.4: Kältekommissioniererin mit Kopfhörer und Mikrofon eines Pick-by-Voice-Systems (links), Pick-by-Voice-Terminal in einem Warenverteilzentrum (Mitte) sowie eine Prüfkarte am Bereitstellungsort mit Lagerortnummer und Prüfziffer (rechts)

### 2.2.3 Organisation

Die Organisation versucht als drittes Element der Kommissionierung den Materialfluss und den Informationsfluss zusammenzubringen, um daraus ein funktionierendes Kommissioniersystem zu schaffen. Hierzu wird die Organisation gemäß VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1 (1994) wiederum in drei Teilsysteme aufgeteilt (siehe auch Tabelle 2.3):

- 1 Aufbauorganisation
- 2 Ablauforganisation
- 3 Betriebsorganisation

Die **Aufbauorganisation** (1) beschreibt die Struktur eines Kommissioniersystems, was durch die Artikeleigenschaften und die baulichen Gegebenheiten bestimmt wird. Bei einem heterogenen Artikelspektrum, welches wie im Bereich der Kühl- und Tiefkühlwaren zusätzlich durch stark variierende Auftragsvolumina und unterschiedliche Nachfragehäufigkeiten gekennzeichnet ist, erfolgt die Bereitstellung der Artikel mehrzonig. Die Zonenaufteilung dient dabei der artikel- und bedarfsgerechten Bereitstellung mit dem Ziel der Optimierung von Leistung, Qualität und Kosten

(vgl. u.a. BICHLER et al., 2010; GLEISSNER und FEMERLING, 2008). Die **Ablauforganisation** (2) bestimmt die Art und Weise wie ein Kommissionierauftrag zusammengestellt wird. In dem betrachteten Discountunternehmen entsprechen die Kommissionieraufträge den Kundenaufträgen, d.h. der Bestellung aus der Filiale. Auf der Basis dieses Auftrages und ergänzt durch lagerspezifische Parameter fährt der Kommissionierer die bereitgestellten Waren nacheinander ab und fügt diese auftragsorientiert auf der mittels Flurförderzeug mitgeführten Europalette zusammen.

Die **Betriebsorganisation** (3) regelt, sofern eine Optimierung vorliegt, die Reihenfolge in der die Kommissionieraufträge in das System eingelastet werden. Zudem optimiert die Betriebsorganisation entsprechend der Auftragslage den Personaleinsatz und stellt die Nachschubversorgung sicher (vgl. u.a. VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1 1994; TEN HOMPEL et al., 2011).

Tab. 2.3: Teilsysteme der Organisation eines Kommissioniersystems mit entsprechender Kennzeichnung der Ausprägung (orange), die in dem untersuchten Kühl- und Tiefkühlager angewandt wurde (modifiziert nach VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1, 1994)

Teilsystem	Kriterien	Realisierungsmöglichkeiten		Faktoren
1 Aufbauorganisation	Zonenaufteilung	einzonig	mehrzonig	Artikeleigenschaften, bauliche Gegebenheiten
2 Ablauforganisation	Sammeln	nacheinander	gleichzeitig	Durchlaufzeit, Mengendurchsatz
	Entnahme	artikelorientiert	auftragsorientiert	Zugriffshäufigkeit
	Abgabe	artikelorientiert	auftragsorientiert	Auftragsgröße, Auftragsvolumen
3 Betriebsorganisation	Auftragssteuerung	ohne Optimierung	mit Optimierung	Personalbedarf, Versandart, Systemleistung

### 2.3 Arbeits- und Pausenzeiten

Im Folgenden sollen zunächst die recht uneinheitlichen und oftmals ungenau formulierten gesetzlichen Vorgaben und normativen Empfehlungen zu den Arbeits- und Pausenzeiten herausgearbeitet werden. Ergänzt werden die Ausführungen durch Vorgaben in Bezug auf die Beschaffenheit der Pausenräume und weiteren Empfehlungen aus dem Normenwerk, um die aus der Kältebelastung resultierende Beanspruchung für den Arbeitnehmer möglichst gering zu halten. Daran anschließend werden die in

der Praxis etablierten und häufig willkürlich gewählten Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime vorgestellt.

### ***2.3.1 Gesetzliche Vorgaben und normative Empfehlungen***

In der Bundesrepublik Deutschland begrenzt das Arbeitszeitgesetz (ArbZG, 1994) die tägliche Höchstarbeitszeit und legt die Mindestruhepausen während der Arbeit und die Mindestruhezeiten nach Arbeitsende fest. Dabei stehen zum einen die Sicherheit und der Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer und zum anderen die Flexibilität der Unternehmen in einer gewissen Konfliktbeziehung zueinander, die das Arbeitszeitgesetz zu regeln versucht. Beim Kommissionieren von Lebensmitteln erfordern die täglich schwankenden Auftragsvolumina einen flexiblen Einsatz der Arbeitskräfte, weshalb es oftmals keine fest vorgeschriebene Arbeitszeit gibt, sondern innerhalb eines definierten Zeitrahmens (meist von 4 bis 13 Uhr) in Abhängigkeit des Arbeitsaufkommens kommissioniert wird. Auch die unter Beachtung von §4 ArbZG (1994) einzulegenden Mindestruhepausen während der Arbeit sind von den Kommissionierern häufig frei wählbar. Die in §4 verankerte Ruhepause von 30 min bei einer Arbeitszeit von 6 bis 9 Stunden sowie die Begrenzung der ununterbrochenen Arbeitszeit auf maximal 6 Stunden ist für das Arbeiten unter klimaneutralen Bedingungen durchaus akzeptabel, kann aber aus Gründen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes für das Arbeiten in kalter bzw. tiefkalter Umgebung nicht als geeigneter Maßstab angesehen werden.

Im Sinne des präventiven Gesundheitsschutzes und zur Gewährleistung eines schädigungslosen Einsatzes der Beschäftigten wird unter klimatisch extremen Bedingungen eine Begrenzung der maximalen Expositionszeit und eine Festlegung der minimalen Erholzeit notwendig. Denn entsprechend DIN 33403-5 (1997) gehört die zeitliche Begrenzung der Kälteexpositionszeiten und das Einfügen von Aufwärmzeiten *“zu den wirksamen ergonomischen Maßnahmen, um einen zentralen, allgemeinen Wärmeverlust des Menschen oder peripherer Abkühlung, beispielsweise der Hände und Füße, entgegenzuwirken.”* Wenngleich die Notwendigkeit eines festgelegten Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes, das den Grad der Abkühlung des Menschen einschränkt und die Fähigkeit der hinreichenden Wiedererwärmung nach einer Kälteexposition gewährleistet, allgemeine Zustimmung erfährt, mangelt es an eindeutigen sowie praxisrelevanten Vorgaben und Regeln.

Die Berufsgenossenschaftliche Regel BGR 500 (Kapitel 2.35, 2008, ehemals BGV D4, davor VBG 20) sieht beim Arbeiten in Räumen mit Temperaturen unter  $-25^{\circ}\text{C}$  vor, dass sich der arbeitende Mensch nicht länger als 2 Stunden ununterbrochen dort aufhält und ein anschließendes 15-min Aufwärmen außerhalb des Kältebereichs zu gewähren ist. Die Vorschrift birgt einige Schwachstellen, da sie nicht beim betroffenen Personenkreis, nämlich den Kältekommissionierern im Lebensmittelgewerbe greift, die bei Temperaturen zwischen  $-18^{\circ}\text{C}$  und  $-24^{\circ}\text{C}$  arbeiten. Des Weiteren werden die Beschaffenheit und die Temperatur des Aufenthaltsbereiches nicht näher definiert, und die Zeit zum Be- und Entkleiden sowie der Gang zum Aufwärmbereich sind bereits in der Aufwärmzeit enthalten. DIN 33403-5 (1997) weist ebenfalls darauf hin, dass die in der damals gültigen VBG 20 (ersetzt durch BGR 500, Kapitel 2.35, 2008) aufgeführten Kälteexpositions- und Aufwärmzeiten unbedingt einzuhalten sind, gibt aber davon unabhängig die in Tabelle 2.4 aufgeführten Empfehlungen, die von der BG-Vorschrift abweichen. Demnach sollte die maximale Expositionszeit im Kühllager ( $+3^{\circ}\text{C}$ ) bei 150 min liegen, woran sich eine mindestens 10-min Aufwärmpause anschließen sollte. Im Tiefkühllager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  sollte nach einer maximal 90-min ununterbrochenen Tätigkeit eine Aufwärmpause von mindestens 30 min folgen. Die empfohlenen Zeiten gelten allerdings nur für den an Klimaarbeit gewöhnten Menschen und bieten daher keine allgemeine Grundlage für die Vielzahl an rollierend eingesetzten Mitarbeitern, die in einem abwechselnden Rhythmus im Trockenlager (ca.  $+18^{\circ}\text{C}$ ), Kühl- und Tiefkühllager zum Einsatz kommen sowie für die Springer, die in Abhängigkeit vom Arbeitsaufkommen in den einzelnen Lagerbereichen eingesetzt werden. Generell ist ein häufiger Wechsel zwischen den Lagerbereichen möglichst zu vermeiden, da die Umstellung auf die unterschiedlichen Klimabereiche meist mit einer zusätzlichen Belastung einhergeht. Das Normenwerk empfiehlt im Allgemeinen lange, zusammenhängende Kälteexpositionszeiten (bei Einhaltung der maximal zulässigen Expositionszeiten) mit langen, zusammenhängenden Aufwärmzeiten zu kombinieren, die jedoch vor der letzten Kälteexpositionszeit stattfinden müssen.



Tab. 2.4: Nach DIN 33403-5 (1997) empfohlene Kälteexpositions- und Aufwärmzeiten mit entsprechender Kennzeichnung der Kältebereiche II (Kühlung, +3°C) und IV (Tiefkühlung, -24°C)

Kältebereich	Lufttemperatur [°C]	Maximale, ununterbrochene Kälteexpositionszeit [min]	Erforderliche Aufwärmzeit zur Kälteexposition [%]	Mindestdauer der Aufwärmzeit [min]
I	von +15 bis +10	150	5	10
II (Kühlung)	unter +10 bis -5	150	5	10
III	unter -5 bis -18	90	20	15
IV (Tiefkühlung)	unter -18 bis -30	90	30	30
V	unter -30	60	100	60

Während die Berufsgenossenschaftliche Regel BGR 500 (Kapitel 2.35, 2008) keinerlei Hinweise darauf gibt, wie der Aufwärmbereich zu gestalten ist, kommt hier die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättVO, 2004) zum Zuge, die in §3.5(2) vorgibt, dass u.a. in den Pausenräumen eine gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur bestehen muss. Eine genaue Temperaturangabe für Pausenräume von mindestens +21°C findet sich in der DIN 33403-5 (1997). Sie empfiehlt zudem, dass die Aufwärm- und Umkleieräume für Kältarbeiter trocken und zugluftfrei sein sollten. Zudem gibt das Normenwerk vor, dass der Effekt der Aufwärmzeiten nach einer Kälteexposition durch Maßnahmen, wie der Einrichtung von Warmluftgeräten, Wärmeplatten zur Wiedererwärmung der Hände und Füße, einer Möglichkeit, die Kälteschutzkleidung abzulegen und das Angebot von warmen Getränken, verbessert werden kann. Arbeitnehmern, die in den Kältebereichen III bis V eingesetzt werden, sollten zur Trocknung und Erwärmung der Kälteschutzkleidung, der Kälteschutzstiefel und der Kälteschutzhandschuhe Trocknungseinrichtungen (vgl. Kapitel 2.4.3) zur Verfügung gestellt werden (vgl. DIN 33403-5, 1997).

### 2.3.2 In der Praxis etablierte Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime

Ergänzend zu der BG-Regel und den normativen Empfehlungen hinsichtlich der maximalen Expositionszeit in Kälte und der Mindestdauer der daran anschließenden Pausen empfehlen u.a. ZÜHLKE et al. (1997) eine maximal 90-min Kälteexpositionszeit

mit einer Aufwärmphase von 15 min oder länger. Die von FORSTHOFF (1983) für Umgebungstemperaturen von  $-28^{\circ}\text{C}$  empfohlene maximale Arbeitszeit von lediglich 60 min und eine ebenso lange Aufwärmphase finden in der Praxis keine Anwendung, was Tabelle 2.5 verdeutlicht. Tabelle 2.5 zeigt die von PENZKOFER (2013) auf der Basis einer Befragung professioneller Kältekommissionierer ermittelten durchschnittlichen Arbeits- und Pausenzeiten im Kühl- und Tiefkühlbereich. Im Kühllager kommissionierten die Mitarbeiter bei Umgebungstemperaturen von ca.  $+3^{\circ}\text{C}$  zwischen 90 und 240 min und wärmten sich anschließend 10 bis 30 min wieder auf. Die von den Unternehmen vorgegebenen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime empfanden die meisten Arbeitnehmer als „genau richtig“, nur wenige wünschten sich eine Anpassung der Pausenlänge. Unter der Maßgabe einer selbstbestimmten Wahl von Arbeits- und Pausenzeiten würden die im Kühllager eingesetzten Mitarbeiter die Länge der Arbeitsphase zwischen 90 und 180 min ansetzen, worauf eine Pause von 10 bis 45 min folgen sollte. Die im Tiefkühlbereich bei  $-24^{\circ}\text{C}$  eingesetzten Kommissionierer arbeiteten ununterbrochen zwischen 60 und 240 min, woran sich eine 20-min bis 45-min Aufwärmphase anschloss. In Einzelfällen kam es zu Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimen von 135/15 (135 min Arbeit/15 min Pause), 150/30, 210/15 und 240/15. Ebenso wie im Kühllager schätzte ein Großteil der Befragten die Arbeitszeit als „genau richtig“ ein und auch die Pausenlänge wurde nur von wenigen Befragten als zu kurz empfunden. Eine von den Kommissionierern gewünschte Aufteilung sieht eine maximale Arbeitszeit von 90 bis 120 min vor, an die sich eine 20-min bis 30-min Aufwärmphase anschließen sollte (vgl. PENZKOFER, 2013). Die von den Arbeitnehmern gewünschten Aufteilungen der Arbeits- und Pausenzeiten stimmen annähernd mit den Empfehlungen der DIN 33403-5 (1997) überein, die für das Kühllager eine maximale Expositionszeit von 150 min und eine daran anschließende Aufwärmphase von mindestens 10 min vorsieht. Die gewünschte Dauer der Aufwärmphase übertrifft jedoch meist die Minimalforderung, wohingegen die empfohlene maximale ununterbrochene Expositionszeit genau im Mittel dessen liegt, was die Arbeitnehmer als zuträglich empfanden. Im Tiefkühlbereich liegen die Empfehlungen einer maximalen Expositionszeit von 90 min und einer daran anschließenden 30-min Aufwärmphase genau im Bereich dessen, was auch von einer Vielzahl der befragten Arbeitnehmer gewünscht wurde.

Tab. 2.5: *Durchschnittliche Arbeits- und Pausenzeiten professioneller Kommissionierer im Kühl- und Tiefkühlager (modifiziert nach PENZKOFER 2013)*

Durchschnittliche Arbeits- und Pausenzeiten im Kühlager (+3°C)		
	Arbeitsphase [min]	Aufwärmphase [min]
<b>Gesamt (n=58)</b>	<b>137,1 ± 36,5</b>	<b>20,8 ± 7,8</b>
<b>Männer (n=26)</b>	<b>150,0 ± 45,8</b>	<b>19,8 ± 7,6</b>
<b>Frauen (n=32)</b>	<b>127,0 ± 23,2</b>	<b>21,5 ± 8,0</b>
Durchschnittliche Arbeits- und Pausenzeiten im Tiefkühlager (-24°C)		
	Arbeitsphase [min]	Aufwärmphase [min]
<b>Gesamt (n=128)</b>	<b>99,8 ± 24,2</b>	<b>22,5 ± 8,0</b>
<b>Männer (n=62)</b>	<b>101,0 ± 29,7</b>	<b>21,4 ± 8,5</b>
<b>Frauen (n=66)</b>	<b>98,8 ± 17,6</b>	<b>23,5 ± 7,5</b>

Die zuvor vorgestellten gesetzlichen und normativen Vorgaben sowie die von der Wissenschaft empfohlenen Angaben über die maximale Expositionsdauer und die daran anschließende minimale Dauer der Aufwärmphase sind zum einen in ihren Aussagen recht konträr zueinander, zum anderen wird eine Berücksichtigung möglicherweise benachteiligter Arbeitnehmergruppen vermisst. In der Praxis führt das, wie die Befragung von PENZKOFER (2013) verdeutlicht, zu einer recht willkürlichen Aufteilung der Arbeits- und Pausenzeiten, was wiederum die dauerhafte Aufrechterhaltung der Arbeitsfähigkeit gefährden kann. Aus diesem Grund scheint es für unterschiedliche Kältebereiche unabdingbar, unter Berücksichtigung der zu erbringenden Arbeitsleistung, eine maximale Arbeitszeit und minimale Pausenzeit zu definieren, die für präventiven Gesundheitsschutz sorgt. In diesem Zuge ist auch zu überprüfen, ob in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht eine Anpassung erforderlich wird.

#### 2.4 Schutzkleidung für das Arbeiten in unterschiedlichen Kältebereichen

In den nachfolgenden Ausführungen sollen zunächst die überwiegend normativen Vorgaben zum Einsatz von Kälteschutzkleidung sowie die sich daraus ergebenden Eigenschaften vorgestellt werden, ehe anschließend die mit den Testverfahren und der

Auswahl von Kälteschutzkleidung einhergehende Problematik beleuchtet wird. Zuletzt wird die in der Feldstudie eingesetzte Kälteschutzkleidung für den Kühl- und Tiefkühlbereich sowie eine Kleidertrocknungsanlage vorgestellt.

#### ***2.4.1 Vorgaben zum Einsatz von Kälteschutzkleidung sowie deren Eigenschaften***

Entsprechend der BG-Information 515 (2006) sind die im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung eventuell zu treffenden Maßnahmen hinsichtlich ihrer Art im Allgemeinen nach den in § 4 Arbeitsschutzgesetz (1996) geregelten Grundsätzen auszuführen, wobei in der Rangfolge das **TOP-Prinzip** (**T**echnik – **O**rganisation – **P**SA) zugrunde gelegt wird. Für die vorliegende Problemstellung bedeutet das, dass die persönliche Schutzausrüstung (Kälteschutzkleidung) dann eine geeignete Maßnahme darstellt, wenn die Gefährdung (niedrige Umgebungstemperaturen) weder auf technische noch organisatorische Weise ausgeschlossen werden kann. Das trifft beispielsweise auf das Kommissionieren im Tiefkühlager bei ca.  $-24^{\circ}\text{C}$  zu, denn die Verordnung über tiefgefrorene Lebensmittel (TLMV, 1991) schreibt wiederum in §2 (4) vor, dass die Temperatur nach dem Tiefgefrieren bis zur Abgabe an den Verbraucher ständig bei  $-18^{\circ}\text{C}$  oder tiefer gehalten werden muss. Folglich ist die Kältebelastung an Arbeitsplätzen, die mit gekühlten und tiefgekühlten Lebensmitteln in Kontakt stehen, durch technisch-organisatorische Maßnahmen nicht zu kompensieren. Vielmehr sind nach DIN 33403-5 (1997) Schutzmaßnahmen gegen die Umgebungstemperatur bereits im Kältebereich II ( $+10^{\circ}\text{C}$  bis  $-5^{\circ}\text{C}$ ) zu treffen, d.h. dem Arbeitnehmer ist für das Arbeiten im Kühlager bei  $+3^{\circ}\text{C}$  und im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  geeignete Kälteschutzkleidung zur Verfügung zu stellen.

Bei der Auswahl der Kälteschutzkleidung hat sich der Arbeitgeber an die Arbeitsschutzvorgaben zu halten, die eng mit den technischen Standards verbunden sind, was aus § 2 *Bereitstellung und Benutzung* der *Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung, 1996)* hervorgeht. Darin heißt es insbesondere:

*“ (1) Unbeschadet seiner Pflichten nach den §§ 3,4, und 5 des Arbeitsschutzgesetzes darf der Arbeitgeber nur persönliche Schutzausrüstungen auswählen und den Beschäftigten bereitstellen, die*

- 1. den Anforderungen der Verordnung über das Inverkehrbringen von persönlichen Schutzausrüstungen entsprechen,*
  - 2. Schutz gegenüber der zu verhütenden Gefährdung bieten, ohne selbst eine größere Gefährdung mit sich zu bringen,*
  - 3. für die am Arbeitsplatz gegebenen Bedingungen geeignet sind und*
  - 4. den ergonomischen Anforderungen und den gesundheitlichen Erfordernissen der Beschäftigten entsprechen.*
- (2) Persönliche Schutzausrüstungen müssen den Beschäftigten individuell passen. Sie sind grundsätzlich für den Gebrauch durch eine Person bestimmt. Erfordern die Umstände eine Benutzung durch verschiedene Beschäftigte, hat der Arbeitgeber dafür zu sorgen, daß Gesundheitsgefahren oder hygienische Probleme nicht auftreten.*
- (3) Werden mehrere persönliche Schutzausrüstungen gleichzeitig von einer oder einem Beschäftigten benutzt, muß der Arbeitgeber diese Schutzausrüstungen so aufeinander abstimmen, daß die Schutzwirkung der einzelnen Ausrüstungen nicht beeinträchtigt wird.*
- (4) Durch Wartungs-, Reparatur- und Ersatzmaßnahmen sowie durch ordnungsgemäße Lagerung trägt der Arbeitgeber dafür Sorge, dass die persönlichen Schutzausrüstungen während der gesamten Benutzungsdauer gut funktionieren und sich in einem hygienisch einwandfreien Zustand befinden.”*

Kälteschutzkleidung muss, wie jegliche Schutzkleidung, allgemeinen Anforderungen genügen, welche in der Norm DIN EN ISO 13688 (2013) festgeschrieben sind. Hierin finden sich u.a. grundsätzliche Anforderungen hinsichtlich Gesundheit und Ergonomie, wonach Schutzausrüstung Grundsätzen der Unschädlichkeit entsprechen muss. Ebenso ist durch deren Ausführung ein korrektes Anlegen durch den Anwender zu erleichtern und der Sitz soll unter Berücksichtigung der Umgebungseinflüsse sowie Bewegungen und Stellungen des Trägers während der Benutzung für die vorgesehene Gebrauchszeit beibehalten werden. Auch der Tragekomfort ist in DIN EN ISO 13688 (2013) als weiteres Kriterium geregelt und gibt vor, dass er mit dem verliehenen Schutzgrad gegen die Gefährdung sowie den Umgebungsbedingungen, dem Grad der körperlichen Betätigung des Anwenders und der voraussichtlichen Anwendungsdauer der Schutzkleidung vereinbar sein muss. Bei der Auswahl der Materialien der Schutzkleidung ist auf solche mit geringem Wasserdampf Widerstand und/oder hoher Luftdurchlässigkeit zu achten, damit das durch die thermische Belastung induzierte Unbehagen auf ein Minimum herabgesetzt wird. Prüfverfahren und Anforderungen für den Wärme- und Wasserdampf Widerstand von Materialien oder Kleidungsstücken werden zudem in der Norm DIN EN ISO 11092 (2014) geregelt.

In Ergänzung zu den allgemeinen Anforderungen aus der DIN EN ISO 13688 (2013), befasst sich die kältespezifische Norm DIN EN 342 (2004) mit den speziellen Anforderungen an Schutzkleidung gegen kalte Umgebungsbedingungen. Diese Norm dient als Grundlage für Anforderungen und Prüfverfahren für Schutzkleidungssysteme gegen Kälte. Durch die gemessenen Eigenschaften und deren Klassifikation soll ein angemessener Schutzgrad unter Berücksichtigung unterschiedlicher Gebrauchsbedingungen sichergestellt werden. Dabei stellen sowohl die Wärmeisolation der Bekleidung als auch die Luftdurchlässigkeit, die zu prüfenden und auf dem Etikett anzugebenden Eigenschaften dar. Unter Verwendung einer Thermopuppe, die in Größe und Form einer erwachsenen Person gleicht, wird die Wärmeisolation als wichtigste Eigenschaft von Kälteschutzkleidung gemessen. Von ebenso großer Bedeutung ist die Luftdurchlässigkeit, da Wind die Konvektionswärmeverluste deutlich erhöhen kann (vgl. DIN EN 342, 2004). Das Prüfverfahren und die Anforderungen an die Thermopuppe, die mit beweglichen Armen und Beinen ausgestattet ist, um Luftbewegungen zu simulieren, sind in DIN EN ISO 15831 (2004) geregelt. Das beheizbare Körpermodell wird mit der zu prüfenden Kleidung in einer Klimakammer aufgestellt und der trockene Wärmefluss von der "Hautoberfläche" zur Umgebung gemessen. Aus der zugeführten Wärmeenergie wird die Wärmeisolation des Kleidungsstückes oder -systems gemessen (vgl. DIN EN ISO 15831, 2004). Die Leistungsanforderungen und Prüfverfahren für Kleidungsstücke zum Schutz gegen kühle Umgebungen ( $-5^{\circ}\text{C}$  und darüber), wie sie etwa im Kühllager bei  $+3^{\circ}\text{C}$  vorzufinden sind, werden in DIN EN 14058 (2004) aufgeführt.

Unter realen Bedingungen kommt zur allgemeinen Abkühlung, anhand welcher die erforderliche Isolation der Bekleidung (IREQ) ausgelegt wird, auch eine lokale Abkühlung bspw. der Extremitäten hinzu. In DIN EN ISO 11079 (2008) wird diese Form der Abkühlung bei der Auslegung der Kälteschutzkleidung mittels unterschiedlicher Herangehensweisen berücksichtigt, da der derzeitige Wissensstand hierzu nicht ausreicht, um ein einzelnes Bewertungsverfahren zu entwickeln. Vielmehr werden mehrere Herangehensweisen vorgeschlagen, zu denen die Ermittlung der konvektiven und konduktiven Abkühlung (siehe auch Abschnitt 3.1.3) sowie die Abkühlung der Extremitäten und der Atemwege gehören. Zudem werden die Leistungsanforderungen und Prüfverfahren für Schutzhandschuhe gegen konvektive Kälte oder Kontaktkälte

bis  $-50^{\circ}\text{C}$  in DIN EN 511 (2006) festgelegt und ergänzen damit die in DIN EN 420 (2010) geregelten allgemeinen Anforderungen an Schutzhandschuhe sowie die Vorgaben an Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken (DIN EN 388, 2016). Die allgemeinen Anforderungen an Sicherheitsschuhe, als weiteres Element der persönlichen Schutzausrüstung, werden in DIN EN ISO 20345 (2012) festgehalten und durch DIN EN ISO 20344 (2013) (Prüfverfahren für Schuhe) ergänzt.

Nach WANG et al. (2007) muss Kälteschutzkleidung zwei wesentliche Bedingungen erfüllen, deren Realisierung die jeweils andere Bedingung negativ beeinflussen kann: Zum einen sollte die Kleidung eine hinreichende Isolation gegen Kälte bieten, zum anderen muss sie eine hohe Wasserdampfdurchlässigkeit gewährleisten, sodass der vom Körper produzierte Wasserdampf von der Haut durch das Kleidungsstück nach außen hin abgeleitet wird. Auch in der Norm DIN EN 342 (2004) wird darauf hingewiesen, dass bei der Auswahl der Kälteschutzkleidung immer auf die optimale, statt auf die maximale Isolation der Bekleidung zu achten ist, da das mit einer zu hoch gewählten Isolation möglicherweise einhergehende Schwitzen die Isolation der Kleidung durch die Feuchtigkeitsaufnahme in zunehmendem Maße beeinträchtigt. Das Normenwerk empfiehlt daher, die erforderliche Isolation der Bekleidung zu ermitteln, bei der das thermische Gleichgewicht des Körpers bei festgelegten Niveaus der physiologischen Beanspruchung aufrechterhalten werden kann (vgl. DIN EN ISO 11079, 2008). Dieser Wert wird als  $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$  bezeichnet und ist von der Mindest-Wärmeisolation ( $\text{IREQ}_{\text{min}}$ ) zu unterscheiden. Der  $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$  wird mittels der körpereigenen Wärmeerzeugung (Energieumsatz in Watt pro  $\text{m}^2$  Körperoberfläche) sowie der physikalischen Kenngröße der Umgebung (Umgebungstemperatur in  $^{\circ}\text{C}$ ) ermittelt. Der daraus resultierende Wärmeisolationswert wird in der Einheit clo (clothing) oder in der gebräuchlicheren SI-Einheit  $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  angegeben, wobei 1 clo den Wert  $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  ergibt, was nach DIN EN ISO 9920 (2009) einer Arbeitsbekleidungskombination, bestehend aus Unterwäsche mit kurzem Arm und Bein, Hemd, Hose, Jacke, Socken und Schuhe, entspricht.

### ***2.4.2 Problematik bei den Testverfahren und der Auswahl von Kälteschutzkleidung***

Die Testverfahren zur Bewertung und Methoden zur Auswahl von Kälteschutzkleidung erwecken augenscheinlich den Eindruck von hoher Genauigkeit. Allerdings verdeutlicht der folgende Abschnitt, dass man sich insbesondere im bestehenden Normenwerk umfangreich mit der Thematik Kältarbeit befasst hatte, die Empfehlungen aber oftmals doch kritisch zu hinterfragen sind, da sie nur unzureichend auf die betriebliche Praxis eingehen und aktuelle Forschungsarbeit kaum berücksichtigen. Die folgenden Beispiele sollen diesen Missstand im Bereich der Kälteschutzkleidung verdeutlichen.

Um für eine gegebene klimatische Belastung, zum Beispiel das Arbeiten in einem Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$ , die passende Wärmeisolation ( $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$ ) der Schutzausrüstung zu ermitteln, wurde die Norm DIN EN ISO 11079 (2008) herausgegeben. In Abhängigkeit von der operativen Temperatur und bestimmten Aktivitätsniveaus bei einer Windgeschwindigkeit von  $0,4 \text{ m/s}$  kann mittels der Tabellen aus dem normativen Anhang der DIN EN ISO 11079 (2008) der Mindestisolationswert ( $\text{IREQ}_{\text{min}}$ ) und der Wert, bei dem thermische Neutralität erreicht wird ( $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$ ), ermittelt werden. Das Aktivitätsniveau ist dabei nach DIN EN ISO 8996 (2004) zu bestimmen, wobei die in dieser Norm angegebenen Werte für “typische Tätigkeiten” in dem angenehm warmen Umgebungsklima von Laboratorien ermittelt wurden. Es wird weiter darauf hingewiesen, dass unter kalten Bedingungen ein maximaler Anstieg auf Werte bis zu  $200 \text{ W/m}^2$  beobachtet werden kann, falls ein Kältezittern auftritt. Auch das Tragen schwerer Kälteschutzkleidung kann entsprechend DIN EN ISO 8996 (2004) den Energieumsatz erhöhen. Diese Norm lässt daher nur eine sehr grobe Abschätzung des Energieumsatzes beim Kommissionieren in tiefer Kälte zu, und das Ergebnis ist aufgrund vieler unbekannter Korrekturfaktoren sehr fehlerbehaftet. Auf der Basis der orientierenden Angaben zum Brutto-Energieumsatz für verschiedene Tätigkeiten im Kältebereich nach DIN 33403-5 (1997) ist für das “Palettieren und Kommissionieren mäßig schwerer Einheiten” in Kälte von einem Brutto-Energieumsatz von ca.  $360 \text{ W}$  auszugehen, für “manuelle Be- und Entladearbeiten, Palettieren und Kommissionieren schwerer Einheiten” in Kälte sogar von ca.  $420 \text{ W}$ . Diese, nach Tätigkeitsart klassifizierten Werte, schließen nach DIN EN ISO 8996 (2004) ein sehr hohes Fehlerrisiko ein und



liegen noch unter den von PENZKOFER (2013) während des Kommissionierens im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  ermittelten Werten von 473 W für die Gruppe der 20- bis 35-jährigen männlichen Apn und 470 W für die 40- bis 65-jährigen Apn. In den Feldversuchen mit weiblichen Apn konnten Werte von 377 bzw. 387 W für die jüngeren, respektive älteren Apn festgestellt werden (siehe Kapitel 7.4). Bezogen auf die Körperoberfläche als Grundlage für die Ermittlung der notwendigen Wärmeisolation ergaben sich Werte von 223/230  $\text{W}/\text{m}^2$  für die jüngeren/älteren männlichen Apn und 218/220  $\text{W}/\text{m}^2$  für die jüngeren/älteren weiblichen Apn, was deutlich über den in der DIN EN ISO 8996 (2004) angenommenen Maximalwerten unter kalten Bedingungen und bei Kältezittern liegt. Auf der Basis der unter realen Bedingungen ermittelten Werte sind entsprechend der Abbildung 2.5 lediglich Isolationswerte von 1,4 bzw. 1,8 clo notwendig, damit der  $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$  erreicht wird. Diese Werte liegen weit unter den Isolationswerten der üblicherweise in der Praxis getragenen Kälteschutzkleidung, wo beispielsweise der während der Feldstudie getragene Kälteschutzanzug ohne Unterbekleidung bereits einen Wert von 2,98 clo aufwies. Vor dem Hintergrund der von PENZKOFER (2013) und den in dieser Arbeit gelieferten Erkenntnissen (siehe Abschnitt 7) muss die Ermittlung des  $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$  gemäß den Verfahren aus der DIN EN ISO 11079 (2008) als äußerst kritisch angesehen werden.

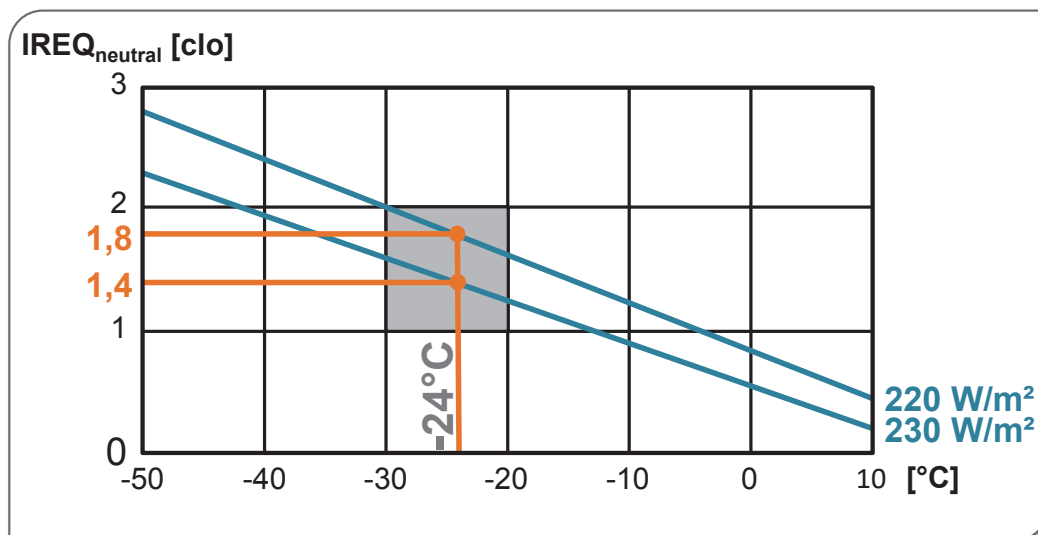


Abb. 2.5:  $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$  [clo] gemäß DIN EN ISO 11079 (2008) bei Energieumsätzen von 220 bzw. 230  $\text{W}/\text{m}^2$  und einer Umgebungstemperatur von  $-24^{\circ}\text{C}$

Ebenso wird in DIN EN ISO 11079 (2008) bei bekanntem Isolationswert der Bekleidung ( $I_{cl}$ ), gegebenem Aktivitätsniveau und bekannter operativer Temperatur (Umgebungstemperatur) die Berechnung der zulässigen Expositionsdauer ermöglicht. Hier werden allerdings nur maximale Aktivitätsniveaus von  $175 \text{ W/m}^2$  und eine maximale Bekleidungsisolationswert von  $2,5 \text{ clo}$  berücksichtigt. Diese beiden Werte angenommen, könnte die Expositionsdauer bei  $-24^\circ\text{C}$  deutlich über 8 Stunden liegen. Selbst bei  $-40^\circ\text{C}$  wäre eine Expositionsdauer von knapp über 2 Stunden problemlos möglich. Diese Angaben stehen allerdings im Widerspruch zu den Vorgaben aus der DIN 33403-5 (1997), die für den Kältebereich IV ( $-18$  bis  $-30^\circ\text{C}$ ) eine maximale ununterbrochene Expositionsdauer von 90 min vorsieht, bei Temperaturen von  $-40^\circ\text{C}$  sind es sogar nur 60 min. Auch die Berufsgenossenschaftliche Regel BGR 500 (2008) sieht vor, dass sich „*Versicherte in Räumen mit Temperaturen unter  $-25^\circ\text{C}$  nicht länger als zwei Stunden ununterbrochen aufhalten*“.

Neben der Schwachstelle bei der Ermittlung der notwendigen Bekleidungsisolationswert auf der Basis des aktuellen Normenwerkes, sind auch die Prüfverfahren bestehender Kälteschutzanzüge fehlerbehaftet. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, wird die Wärmeisolation eines Kleidungssystems mittels einer Thermopuppe entsprechend den Vorgaben aus der Norm DIN EN ISO 15831 (2004) ermittelt. Hierbei wird allerdings die unter realen Bedingungen unweigerlich auftretende Feuchtigkeit durch Schwitzen beim trockenen Wärmefluss nicht berücksichtigt. Dabei ermöglichen schwitzende Thermopuppen, wie u.a. Untersuchungen von FUKAZAWA et al. (2004) sowie MEINANDER & HELLSTEN (2004) beweisen, dass sich die Testbedingungen durchaus an die Realität anpassen lassen. Die American Society for Testing Materials (ASTM) veröffentlichte bereits 2005 eine Norm zu schwitzenden Thermopuppen, die im deutschen Normenwerk bisher keinerlei Berücksichtigung fand. Insbesondere die ASTM F 2370 (2016) behandelt die Testmethoden zur Evaluierung des Verdunstungswiderstandes eines Bekleidungsstückes oder -systems anhand einer schwitzenden Thermopuppe.

Die Hersteller von Kälteschutzstiefeln verweisen in der Produktbeschreibung häufig darauf, dass die Schuhe gemäß DIN EN ISO 20344 (2013) und 20345 (2012) zertifiziert sind, was auch beinhaltet, dass eine Kälteisolierung des Schuhs vorliegt.

KUKLANE et al. (2009) prüften das im vorstehenden Normenwerk empfohlene Testverfahren, was bereits aufgrund seiner Testcharakteristik als „pass/fail“ Test wenig Aussagekraft über die Qualität der Kälteisolationseigenschaften eines Schuhs bietet. Hierbei wurden konventionelle Alltagsschuhe ohne besonderen Kälteschutz sowie ein Kälteschutzstiefel gemäß dem Testverfahren aus DIN EN ISO 20344 (2013) geprüft. Alle Schuhe, selbst ein gewöhnlicher Turnschuh und eine offene Sandale, bestanden den Test und könnten demnach als kälteisolierende Schuhe zertifiziert werden. Das ist vor allem dann problematisch, wenn bei handelsüblichen Sicherheitsschuhen dem Anwender ein Kälteschutz suggeriert wird, der in der Praxis jedoch keinen Bestand hat und somit bei der täglichen berufsbedingten Kälteexposition nur unzureichend gegen Kälte schützt. KUKLANE et al. (2009) empfehlen auf der Basis ihrer durchgeführten Untersuchungen, die gegenwärtigen Methoden aus der DIN EN ISO 20344 (2013) und der DIN EN ISO 20345 (2012) durch valide Testmethoden zu ersetzen.

#### ***2.4.3 Während der Feldstudie eingesetzte Kälteschutzkleidung***

Die persönliche Schutzausrüstung der Kommissionierer in kühler und kalter Umgebung sollte aus einer Bekleidungskombination bestehen, deren Elemente sich in **Unterbekleidung, Oberbekleidung, Kopfbedeckung, Handschuhe** und **Schuhe** gliedern. Auf dem deutschen Markt bieten hauptsächlich die Unternehmen IBV<sup>®</sup>, Fortdress<sup>®</sup>, Tempex<sup>®</sup> und Planam<sup>®</sup> Produkte im Segment der Kälteschutzkleidung an, wobei das Produktportfolio der Hersteller teilweise sehr unterschiedlich ausfällt. Im Folgenden wird die in der Feldstudie eingesetzte Kälteschutzkleidung sowie deren Funktionsweise detailliert beschrieben.

#### ***Unterbekleidung***

Nach einer Befragung von 128 professionellen Kältekommissionierern kommen unterschiedliche Kombinationen von Unterbekleidung zum Einsatz. So gaben knapp 20% an, im Kühl- und Tiefkühlager Thermo-Unterhemd und Thermo-Unterhose zu tragen. Ein Nierengurt wurde von lediglich 8% der Befragten im Tiefkühlager verwendet. 20% der Kommissionierer sagten zudem aus, dass die zur Verfügung gestellte

Kleidung nicht ausreicht, um den gewünschten Kälteschutz zu erreichen, sodass zusätzlich private Kleidungsstücke wie Thermo-Unterwäsche, Socken, Pullover, Hosen oder Schals getragen werden (vgl. PENZKOFER, 2013). Grundsätzlich ist das Übereinandertragen verschiedener Materialien und mehrerer Kleidungsschichten beim Arbeiten in tiefer Kälte zu befürworten, da die zwischen den Kleidungslagen eingeschlossenen Luftschichten mehr zur Isolation beitragen als die Kleidung selbst (vgl. FONSECA, 1970), und es insgesamt zu einer Erhöhung der Gesamtisolation der Kleidung kommt (vgl. BRÖDE et al, 2010). Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass keine wasserdampfdurchlässigen Schichten in der Unter- und Zwischenbekleidung verwendet werden, da nach WANG et al. (2007) nur so das Durchnässen eines Kleidungs-systems erfolgreich unterbunden werden kann. Demnach ist beispielsweise der Einsatz von Funktionswäsche sinnvoll, da diese die verdampfende Körperfeuchtigkeit nach außen ableitet und durch das enge Anliegen zugleich weniger Luftströmungen am Körper zulässt, was wiederum das Mikroklima positiv beeinflusst. Während der Feldstudie wurde, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander und zu denen von PENZKOFER (2013) sicherzustellen, im Tiefkühlager lediglich Alltagskleidung in Form einer bequemen Hose und eines Pullovers und im Kühllager keinerlei besondere Unterbekleidung getragen, was letztlich auch der täglichen Praxis entsprach.

### ***Oberbekleidung***

Beim Arbeiten im  $-24^{\circ}\text{C}$  kalten Tiefkühlager kommt der äußeren Schicht des Bekleidungs-systems die entscheidende Rolle zu, da diese Kleidungsschicht der Umgebung unmittelbar ausgesetzt ist. Meist wird hier ein zweiteiliger Kälteschutzanzug, bestehend aus Jacke und Hose, oder ein einteiliger Kälteschutz-Overall eingesetzt. Neben der isolierenden Wirkung muss der Anzug den arbeitenden Menschen auch gegen Luftzug und ggf. Wasser schützen und eine hohe mechanische Widerstandsfähigkeit aufweisen. Wie zuvor beschrieben, muss auch der unter der Kälteschutzkleidung auftretende Wasserdampf nach außen abgeleitet werden. Bei der Auswahl ist auch auf die passende Konfektionsgröße zu achten, denn nach CHEN et al. (2004) verschlechtern sich die Kälteschutzeigenschaften bei zu enger oder zu weiter Bekleidung. Bei den Versuchen im  $-24^{\circ}\text{C}$  kalten Tiefkühlager kam als Oberbekleidung ein zweiteiliger Kälteschutzanzug, bestehend aus Thermo-Latzhose mit eingebautem Nierenschutz

und einer Thermo-Jacke (vgl. Abb. 2.6, links) zum Einsatz. Die Verschlussmechanismen der beiden Kleidungsstücke weisen thermo-isolierende Abdeckungen auf, die ebenso wie die dicht abschließenden Strickbündchen an den Armen, ein Eindringen von Kälte verhindern sollen. Die Kleidungsstücke sind in drei Lagen aufgebaut: Obermaterial, Füllung und Futter. Das Obermaterial besteht zu 100% aus Polyamid (Nylon), was nach WANG et al. (2007) bei enger Maschung sehr geringe Luftdurchlässigkeitswerte bei gleichzeitig hoher Wasserdampfdurchlässigkeit aufweist. Die Füllung besteht aus einem Stepverbund mit doppellagigem Thermo-Bonding Fleece mit hohem Lufteinschluss. Als Futterstoff wurde Polyester eingesetzt, welches dünn gewebt nach YOON & BUCKLEY (1984) zwar nur geringe Wärmeisolationseigenschaften aufweist, aber aufgrund seines hydrophoben Charakters so gut wie kein Wasser aufnimmt und dadurch die vom Körper abgesonderte Feuchtigkeit in Form von Dampf effektiv ableitet (vgl. SAMU et al., 1999). Die thermische Isolation des Kälteschutzanzuges weist, bei einem größenabhängigen Gesamtgewicht von 2,35 bis 2,45 kg, allein einen Wert von  $0,462 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} = 2,98 \text{ clo}$  auf.

Während der Versuche im Kühllager bei  $+3^\circ\text{C}$  kam lediglich die in Abbildung 2.6 (rechts) abgebildete Oberbekleidung, bestehend aus Thermo-Hemd und Thermo-Weste, zum Einsatz. Das deutlich niedrigere Gewicht von ca. 1 kg und die dünnen Stoffschichten ermöglichen im Gegensatz zum Kälteschutzanzug eine wesentlich größere Bewegungsfreiheit. Den Beinschutz bildete eine übliche Alltagshose in Form einer Jeans.



Abb. 2.6: Oberbekleidung für das Tiefkühllager bestehend aus Thermo-Jacke und -Latzhose (links) sowie für das Kühllager, bestehend aus Thermo-Hemd und -Weste (rechts)

### ***Handschuhe***

Die Hände sind während des Kommissionierens einer besonderen Belastung ausgesetzt, da es durch das Anfassen der auf +3°C und -24°C abgekühlten Waren zur Übertragung von Kontaktkälte auf die Handinnenflächen und Finger kommt. Daher müssen die zur Verfügung gestellten Handschuhe über eine ausreichende Isolierung verfügen, damit lokale Kältereize und -schäden ausgeschlossen werden können. Die Handschuhe dürfen allerdings auch nicht zu dick sein, da der Kommissionierer andernfalls bei den häufigen Greifvorgängen sowie bei der Bedienung eines Cutter-Messers zum Öffnen neuer Warenpaletten und beim Einwickeln der kommissionierten Waren mit PE-Folie zu stark eingeschränkt würde. Die Hersteller von Kälteschutzkleidung bieten mittlerweile eine Vielzahl von Materialkombinationen bei den Kälteschutzhandschuhen an, die teilweise nach den Normen DIN EN 511 (2006) und DIN EN 388 (2016) zertifiziert sind. Das Obermaterial besteht meist aus Vollleder, Fleece oder Aramidfasern, wobei die Handinnenflächen zur besseren Griffbarkeit mit Wildleder oder einer rutschfesten Gel-Beschichtung ausgestattet sind. Das Futter besteht je nach Einsatzbereich meist aus Thinsulate™, Fleece oder anderen isolierenden Materialien. Während der Versuche wurde der in Abbildung 2.8 (links) dargestellte Fleece-Handschuh mit einer Handinnenfläche aus Wildleder und einer Thinsulate™ Fütterung eingesetzt.

Im Kühlbereich bei +3°C sind die Anforderungen an den Kälteschutz weniger hoch, sodass hier Strick-Handschuhe mit Gumminoppen Verwendung fanden (Abbildung 2.8, rechts). Auch hierzu gibt es seitens der Hersteller Alternativen in Form von Neopren-Handschuhen mit Handinnenflächen aus Ziegenleder oder Strick-Handschuhen mit Baumwoll-Fleece-Futter und vollflächiger Latexbeschichtung an der Handinnenfläche.



Abb. 2.8: Während der Arbeit im Tiefkühlager eingesetzte Fleece-Handschuhe (links) und im Kühlager eingesetzte Strick-Handschuhe (rechts)

### Schuhe

Die Schuhe sind durch das Laufen auf dem kalten Lagerboden dauerhaft einer Kontaktkälte ausgesetzt und müssen dem Kommissionierer daher neben der allgemeinen Schutzfunktion gegen mechanische Einflüsse den Kommissionierer zudem vor Kälte schützen. Auch im Bereich der Kälteschutzstiefel, die für den Einsatz im Tiefkühlager konzipiert sind, gibt es seitens der Hersteller inzwischen eine breite Produktpalette, die sich im verwendeten Material, in der Verarbeitung und im Preis deutlich voneinander unterscheiden. Während der Feldstudie kam im Tiefkühlager ein klassischer Thermo-Stiefel der Sicherheitsklasse S2 zum Einsatz (vgl. Abb. 2.9, links), der aus genarbtem Leder mit Lammfellfutter nach den Vorgaben der DIN EN ISO 20345 (2012) und DIN EN ISO 20344 (2013) gefertigt wurde. Die Sohle ist kältebeständig und kälteisolierend, wobei der Zehenbereich mit einer Stahlkappe geschützt wird, sodass an dieser Stelle die Kälte von außen in den Innenbereich des Schuhs geleitet wird. Inzwischen bieten die meisten Hersteller Kunststoffkappen an, um dieser Kältebrücke entgegen zu wirken. Eine noch bessere Entwicklung stellt der Schlupf-Stiefel mit herausnehmbarem Innenschuh dar (vgl. Abb. 2.9, Mitte), dessen Sohle Luftpolster einschließt und somit eine vollständige Entkopplung vom kalten Boden bietet. Der herausnehmbare Innenschuh sorgt für ein besseres Trocknen der Schuhe, und insgesamt ist der Schuh um ca. 600 g leichter als ein klassischer Thermo-Stiefel (ca. 2,1 kg) in vergleichbarer Größe.

Im Kühlbereich werden keine besonderen Anforderungen an den Kälteschutz gestellt, sodass hier lediglich den sicherheitstechnischen Anforderungen entsprechende S2-Sicherheitsschuhe zum Einsatz kamen (vgl. Abb. 2.9, rechts).



Abb. 2.9: Klassischer Thermo-Stiefel (links) und neuartiger Schlupf-Stiefel (Mitte) für das Tiefkühlager sowie Sicherheitsschuhe (rechts) für das Kühllager

### Kopfbedeckung

Die Aussage, dass der Mensch 40 bis 45% seiner Körperwärme über den Kopf verliert, gehört zu den medizinischen Mythen und ist auf ältere Militärstudien zurückzuführen, bei denen die Testpersonen bis auf den Kopf vor extremer Kälte geschützt wurden, um anschließend den Wärmeverlust zu messen (vgl. VREEMAN & CARROLL, 2008). Richtigerweise verliert jedes ungeschützte Körperteil Wärme und reduziert damit die Körperkerntemperatur entsprechend seiner Oberfläche nahezu anteilig (vgl. PRETORIUS et al., 2006). Folglich muss der Kopf nicht im besonderen Maße, aber zumindest im gleichen Umfang wie der restliche Körper vor Kälte geschützt werden, was durch eine, den Umgebungsbedingungen gerecht werdende Kopfbedeckung sichergestellt wird. Hierzu können die Kommissionierer die in Abbildung 2.7 (links) dargestellte Alaska-Mütze tragen, die aus einer Polyester-Baumwoll-Mischung mit Teddyfutter hergestellt wurde und über einen Ohren- und Nackenschutz verfügt. Sollte diese Form der Kopfbedeckung nicht ausreichen, steht den Kommissionierern meist noch eine Sturmhaube zur Verfügung, die nach PENZKOFER (2013) immerhin von 61% der 128 befragten professionellen Kommissionierer regelmäßig getragen wird. Im Kühllager verwenden lediglich 9% der befragten Kommissionierer überhaupt eine Kopfbedeckung, die dann meist in Form einer Strickmütze (vgl. Abb. 2.7, Mitte) benutzt wird. Bei der Feldstudie wurde von den Apn sowohl im Kühllager als auch im Tiefkühlager ausschließlich die Strickmütze getragen.





Abb. 2.7: Während der Arbeit im Tiefkühlager üblicherweise eingesetzte Kopfbedeckungen, bestehend aus einer Alaska-Mütze (links), einer Strickmütze (Mitte) sowie einer Sturmhaube (rechts)

### Kleidertrocknungsanlage

Zur Trocknung der teilweise feuchten Kälteschutzkleidung steht den Kommissionierern idealerweise ein Trocknungssystem zur Verfügung, wie in Abbildung 2.10 dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine Top Trock<sup>®</sup>-Kleidertrocknungsanlage, bei der das abgebildete Ständerwerk mit warmer Luft durchströmt wird, die durch eine Vielzahl an Löchern in die Kleidung gelangt und somit den Trocknungsvorgang deutlich beschleunigt. Dieses System ist sehr zu empfehlen, da feucht-kalte Kleidung, die nach der Aufwärmepause erneut angezogen werden muss, zum einen unangenehm ist und zum anderen auch gesundheitsgefährdend sein kann.



Bildquelle: ALDI GmbH & Co. KG

Abb. 2.10: Im Warenverteilzentrum eingesetzte Kleidertrocknungsanlage für den Kälteschutzanzug (links) und die Kälteschutzstiefel (rechts)

### **3 Physiologische Grundlagen** **zur Beurteilung von Kältearbeit**

---

Im Sinne einer menschengerechten Arbeitsgestaltung ist nach STRASSER (1986) ein Arbeitssystem nicht allein unter dem Blickwinkel der Leistung zu betrachten, vielmehr müssen auch die Humanaspekte einbezogen werden, um sparsam mit der knappen „Ressource“ Mensch, d.h. mit seiner physischen und psychischen Beanspruchung umzugehen, damit neben den wirtschaftlichen auch die physiologischen Kosten niedrig bleiben. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, ist die detaillierte Untersuchung der Auswirkungen von Tätigkeiten auf den Organismus ein wichtiger Bestandteil der arbeitswissenschaftlichen Analyse, die sich nach LUCZAK & VOLPERT (1987) auf die technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen bezieht. Das bedeutet, dass stets zwischen objektbezogenen Belastungsgrößen und -faktoren als Eingangsgrößen eines Arbeitssystems und der subjektbezogenen Beanspruchung als Auswirkung der Eingangsgrößen auf den Menschen zu unterscheiden ist (STRASSER, 1986). Das vom Arbeitskreis um ROHMERT (vgl. u.a. ROHMERT et al. 1975; ROHMERT, 1984) entwickelte „Belastungs-Beanspruchungs-Konzept“ bietet für die Durchführung von Untersuchungen zum Aufzeigen von Ursache-Wirkungs-Beziehungen in definierten Arbeitssituationen einen theoretischen Rahmen, der die Interpretation unterschiedlicher Reaktionen von Menschen auf vermeintlich identische Arbeitsbedingungen zulässt. Hierzu ist im gegebenen Fall ein grundlegendes Verständnis über die autonom stattfindenden physiologischen Mechanismen des menschlichen Körpers als Antwort auf eine vorliegende Arbeitsbelastung – ermittelt durch den Belastungsparameter Arbeitsenergieumsatz – und unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen unabdingbar.

#### **3.1 Wärmehaushalt und Thermoregulation**

Der Mensch ist als homoiothermes (gleichwarmes) Lebewesen bestrebt, unabhängig von seiner Umwelt und den dort vorherrschenden Temperaturschwankungen eine

nahezu konstante Körpertemperatur sicherzustellen. Das setzt allerdings ein Gleichgewicht von Wärmebildung und Wärmeabgabe voraus, welches durch komplexe Mechanismen geregelt wird. Ist der Mensch nicht mehr in der Lage, die Wärmeverluste des Körpers auszugleichen, kann nach BRANDSTRÖM (1996) bereits das Absinken der Körperkerntemperatur unter 37°C zu Kältestress und unter 35°C zu einer gesundheitsgefährdenden Hypothermie (Unterkühlung) führen. Immer wiederkehrende Kälteexpositionen können nach MERCER (2003) und HASSI et al. (2005) Gesundheits- und Leistungsbeeinträchtigungen hervorrufen. Bereits leichte Abweichungen vom thermischen Behaglichkeitsbereich, der in Abhängigkeit von Klimafaktoren, Aktivität, Bekleidung und Nutzungskategorie der Räume zwischen +10°C und +28°C liegt (vgl. DIN EN ISO 7730, 2006; BUX, 2006), können Minderungen der mentalen (PALINKAS, 2001) und physischen Leistungsfähigkeit (OKSA, 1998) zur Folge haben. Letztere definieren OKSA et al. (2002) und FAULKNER et al. (1990) als eine Kombination aus physischen Fähigkeiten, Ausdauer und Muskelkraft. Eine Abkühlung der Muskulatur mindert die physische Leistungsfähigkeit, was wiederum in einer Minderung der funktionellen Eigenschaften Leistung, Kraft und Geschwindigkeit resultiert. Ebenso werden auch die mentalen Fähigkeiten, die nach PILCHER et al. (2002) in den Bereichen Orientierung, Sicherheit, Entscheidungsfindung, Arbeitsproduktivität und im Verhalten während Notfallsituationen eine wesentlich Rolle spielen, durch eine kalte Arbeitsumgebung negativ beeinflusst. Neben der physischen und mentalen Leistungsfähigkeit kann auch die Gesundheit des Arbeitnehmers kurz- und langfristig durch eine dauerhaft kalte Arbeitsumgebung negativ beeinträchtigt werden. Arbeitsbedingte Kälteexpositionen können zudem zu einer Häufung muskelskelettbezogener Beschwerden (vgl. OKSA et al., 2002; SORMUNEN et al., 2006) und Erkrankungen der Atemwege führen (vgl. MÄKINEN, 2007). Hiervon besonders betroffen sind nach KOTANIEMI et al. (2002; 2003) Menschen, die bereits durch chronische Atemwegserkrankungen (z.B. Asthma, chronisch obstruktive Lungenerkrankungen) oder durch Rauchen vorbelastet sind. Weiterhin fand KOSKELA (2007) heraus, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von kältebedingten Atemwegserkrankungen durch körperliche Tätigkeiten, die mit einem verstärkten Einatmen kalter und trockener Luft einhergehen, verstärkt wird. Auch HASSI et al. (2005) bringen viele Arten chronischer Beschwerden wie

etwa kardiovaskuläre Erkrankungen, Atemwegserkrankungen, muskuläre Beschwerden, periphere Durchblutungsstörungen und Hauterkrankungen mit Kälteexpositionen in Verbindung. Im Umkehrschluss können nach KEIM et al. (2002) bereits bestehende kardiovaskuläre Erkrankungen sowie arterielle und venöse Insuffizienzen das Auftreten von Kältestress verschärfen.

### 3.1.1 Körpertemperatur des Menschen

Bei der Betrachtung der Körpertemperatur des Menschen muss zunächst zwischen der Temperatur der inneren Organe, der sogenannten Körperkerntemperatur, und der Temperatur in den peripheren Geweben (Körperschale) unterschieden werden. Dem Körperkern zugehörig sind das Gehirn und das Innere des Rumpfes, in dem die stoffwechselaktiven Organe unter Ruhebedingungen ca. 70% der gesamten Wärme erzeugen (vgl. GEKLE & SINGER, 2010). Abbildung 3.1 verdeutlicht, dass eigentlich nur der Körperkern homiotherm ist, d.h., dass dessen Temperatur bei einer Variation der Umgebungstemperatur weitestgehend konstant bleibt. In warmem Umgebungsklima erstreckt sich der Körperkern bis in die distalen Extremitäten, wohingegen Kälte den Körperkern zunächst bis auf den Bereich der wichtigsten Organe verkleinert, bevor er insgesamt abkühlt (siehe u.a. ASCHOFF, 1958; LLOYD, 1994; KAMPMANN, 2000).

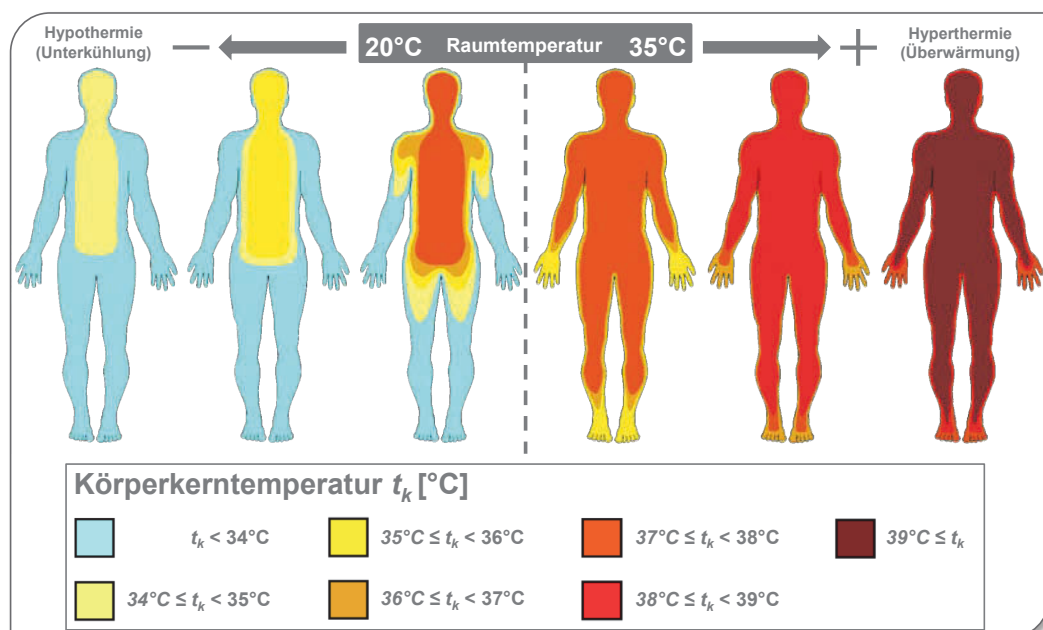


Abb. 3.1: Temperatur von Körperkern und Körperschale bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen (modifiziert nach KAMPMANN, 2000)

### *Körperkerntemperatur*

Eine Temperatur von 37°C wird meist als „normale“ Körperkerntemperatur bezeichnet, wobei 95% der Bevölkerung eine am Morgen gemessene Temperatur von 36,3-37,1°C aufweist, d.h. es existieren erhebliche inter-individuelle Schwankungen (vgl. GEKLE & SINGER, 2010). Weiterhin kann die Körperkerntemperatur nach BIRBAUMER & SCHMIDT (2006) nicht durch eine einzige Zahl ausgedrückt werden, da bereits unter normalen Umgebungsbedingungen in Abhängigkeit der Lokalität im Körper Unterschiede von 0,2 bis 1,2 K feststellbar sind. Daher wird meist die an einem bestimmten Ort erfasste Temperatur (hier bspw. die Tympanumtemperatur) als repräsentativ angenommen. Die Körperkerntemperatur weist zudem sowohl in der räumlichen Verteilung als auch im Zeitverlauf physiologische Schwankungen auf. Neben dem Einfluss durch das Umgebungsklima kann beispielweise starke körperliche Aktivität die Körperkerntemperatur kurzfristig auf bis zu 40°C ansteigen lassen. Ebenso kommt es durch zirkadiane Schwankungen, die auf den Hell-Dunkel/Schlaf-Wach-Rhythmus zurückzuführen sind, zu tageszeitabhängigen Differenzen, bei denen die Körperkerntemperatur am Abend um ca. 0,5 bis 0,7 K höher ist als am Morgen. Nach ASCHOFF (1971) treten die tageszeitbedingten Schwankungen weitestgehend unabhängig von der Umgebungstemperatur und der Arbeitsleistung auf und werden durch diese überlagert. Während zirkadiane Schwankungen an sich unabhängig von Alter und Geschlecht auftreten, wird die Körperkerntemperatur der Frau zusätzlich durch den Menstruationszyklus beeinflusst (vgl. GEKLE & SINGER, 2010). Kommt es in Folge einer oder mehrerer der zuvor beschriebenen Einflussfaktoren zu einem Über- oder Unterschreiten festgelegter Toleranzgrenzen, entsteht eine pathologische Hyperthermie (Überwärmung) oder Hypothermie (Unterkühlung). Da das Arbeiten unter kalten bis sehr kalten Bedingungen in aller Regel mit einer unterschiedlich stark ausgeprägten Hypothermie einhergeht, sollen im Weiteren deren Folgen betrachtet werden. Nach BEHRENDTS et al. (2010) wird dabei zwischen fünf verschiedenen Stadien der Hypothermie unterschieden (vgl. Tab 3.1). Bei Körperkerntemperaturen zwischen **32 bis 35°C (Stadium I)** setzt der menschliche Körper, wie in Abschnitt 3.1.2 dargestellt, autonome Gegenregulationsmechanismen in Gang, die ein weiteres Absinken der Körperkerntemperatur verhindern sollen. Dennoch können bereits in diesem Stadium

Verwirrtheit und Desorientiertheit sowie ein unangemessenes Verhalten (bspw. „paradoxal undressing“) auftreten. Bei einer moderaten Hypothermie (**28-32°C, Stadium II**) sind vermehrt Bewusstseinsstörungen, Schläfrigkeit und Apathie bis hin zum Koma zu beobachten. Der Körper ist in diesem Stadium nicht mehr in der Lage, aus eigener Kraft Wärme zu erzeugen und somit eine Wiedererwärmung herbeizuführen. Bei der schweren Hypothermie, die bei Temperaturen zwischen **24-28°C (Stadium III)** auftritt, ist der Mensch bewusstlos, Muskeln und Gelenke sind starr und der Puls kaum tastbar. Der Blutdruck ist zudem erniedrigt und die Atmung vermindert, was insgesamt jederzeit zu einem tödlichen Herzversagen durch Kammerflimmern führen kann. Körperkerntemperaturen **unter 24°C (Stadium IV)** bzw. **unter 22°C (Stadium V)** führen unweigerlich zu einem reversiblen respektive irreversiblen Kreislaufstillstand.

Sicherheitsgebende Maßnahmen, wie beispielsweise der Einsatz von mindestens zwei Kommissionierern innerhalb eines Lagers, die zudem ununterbrochen in Blickkontakt zueinander stehen müssen, oder Notruf-Knöpfe auf Bodenniveau sollen das Eintreten der Stadien außerhalb der milden Hypothermie während des Kommissionierens in Kälte ausschließen.

Tab. 3.1: *Hypotherme Körperkerntemperaturbereiche und deren klinischer Schweregrad (in Anlehnung an BEHRENDTS et al., 2010)*

Körperkerntemperatur [°C]	Klinischer Schweregrad der Hypothermie
<b>32 – 35°C (Stadium I)</b>	<b>Milde Hypothermie</b>
<b>28 - 32°C (Stadium II)</b>	<b>Moderate Hypothermie</b>
<b>24 - 28°C (Stadium III)</b>	<b>Schwere Hypothermie</b>
<b>24 - 22°C (Stadium IV)</b>	<b>Reversibler hypothermer Kreislaufstillstand</b>
<b>&lt; 22°C (Stadium V)</b>	<b>Irreversibler hypothermer Kreislaufstillstand</b>

### *Hautoberflächentemperatur*

Neben den zuvor genannten temporär oder chronisch auftretenden kälteinduzierten Erkrankungen ist insbesondere die Haut, als die den menschlichen Körper umgebende Schicht, dem Umgebungsklima direkt, oder lediglich durch Kleidung geschützt, ausgesetzt und daher in besonderem Maße gefährdet. Zum einen können Kälteexpositionen und das damit oftmals einhergehende Absinken der Hautoberflächentemperaturen zu unangenehmen Kälteempfindungen, Kälteschmerzen bis hin zu Taubheitsgefühlen führen, zum anderen kann die Haut zeitweise oder dauerhaft Schaden nehmen (vgl. u.a. ENANDER, 1984; LEHMUSKALLIO, 2001). Nach ASCHOFF (1971), NEUROTH (1948) und PARSONS (2003) ist die Hautoberflächentemperatur der Füße und der Hände in Kälte meist deutlich niedriger als beispielsweise die von Rumpf und Stirn. Weiterhin beschreiben RAPAPORT et al. (1949), dass die Fingerspitzen den Bereich der Hand darstellen, der unter Kälteeinwirkung als erstes abkühlt, sich aber auch am schnellsten wiedererwärmt. Ursächlich hierfür ist die im folgenden Abschnitt detailliert beschriebene Drosselung der peripheren Durchblutung bei Kälteexpositionen, was nach GEKLE & SINGER (2010) zu einer Ausbildung von radialen und axialen Gradienten in den peripheren Hautschichten führt, sodass sich eine isolierende Schale von variabler Dicke ergibt (siehe auch Abb. 3.1). Daher stehen Hauttemperaturveränderungen nach DAY (1968) in einer engen Beziehung zur Hautdurchblutung, die an einigen Körperstellen unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Während am Rumpf ein Verhältnis von 1:7 zwischen der minimal und maximal möglichen Durchblutungsmenge vorliegt, beträgt es an der Hand bereits 1:30 und am Finger sogar 1:600. Die durch Kältereize und eine Durchblutungsminderung auftretenden Kälteempfindungen und insbesondere das Risiko eines Kälteschadens bspw. in Form lokaler Erfrierungen hängt auch von verschiedenen individuellen Faktoren ab (z.B. peripheren vaskulären Erkrankungen, früheren Kälteschäden, psychischen Erkrankungen, Alkoholkonsum, Medikamenteneinnahme, Wasserhaushalt). Zudem spielen die Umweltbedingungen (z.B. Expositionsdauer, Windgeschwindigkeit, Feuchtigkeit, Kontakt mit kalten Oberflächen) eine wichtige Rolle (vgl. u.a. CASTELLANI & O'BRIEN, 2005; ERVASTI et al., 2004; RINTAMÄKI, 2000). Dennoch lassen sich nach RISIKKO (2009) auf der Basis eines Reviews von ENANDER (1984) für die Hautoberfläche Temperaturbereiche definieren,

die sich lokal auf die manuelle Leistungsfähigkeit sowie auf die Funktion und das Empfinden auswirken (siehe Tab. 3.2).

Tab. 3.2: *Auswirkungen unterschiedlicher Hautoberflächentemperaturen auf die manuelle Leistungsfähigkeit, Funktion und Empfindung (modifiziert nach RISIKKO, 2009)*

Hautoberflächentemperatur [°C]	Auswirkungen der Temperatur auf den betroffenen Bereich
32-36°C	Optimaler Temperaturbereich
< 32°C	Verschlechterung bei der Oberflächenwahrnehmung
< 28°C	Verminderung der Muskelkraft
20-27°C	Verminderung von Genauigkeit und Ausdauer
12-16°C	Verminderung der manuellen Geschicklichkeit
< 16°C	Schmerzen (bei Abkühlung großer Bereiche, bspw. ganze Hand)
< 10°C	Schmerzen (bei Abkühlung kleiner Bereiche)
< 8°C	Verlust der Sensitivität
< 6°C	Nervenblockade
6-7°C	Gefühlsverlust

Wenngleich die verschiedenen Temperaturbereiche für den Betroffenen bereits mit diversen Leistungseinschränkungen und unangenehmen Schmerzen verbunden sind, ist ein Absinken der Hautoberflächentemperatur unter +8°C unbedingt zu vermeiden. Der zuvor schon aufgetretene Kälteschmerz und eine Nervenblockade kann nämlich dafür sorgen, dass die Gefahr einer bevorstehenden Erfrierung nicht mehr wahrgenommen wird (vgl. LEHMUSKALLIO, 2001). Einmaliges oder wiederholtes Absinken der Hautoberflächentemperatur in Folge von Kälteexpositionen kann zu Hautproblemen führen, die sich nach LEHMUSKALLIO (2001) zum einen in Kälteschäden in Folge einer physiologischen Reaktion auf die Kälte, zum anderen in Erkrankungen in Folge abnormer Empfindlichkeit gegenüber Kälte unterscheiden lassen. Letztere bestehen aus Erkrankungen wie Perniones (Frostbeulen), Kälteurtikaria (kälteinduzierte Nesselsucht), Akrozyanose (Blaufärbung der Akren) und dem Raynaud-Syndrom. Personen, bei denen diese Grunderkrankungen vorliegen, sind für das Arbeiten in Kälte nicht geeignet und sollten idealerweise im Rahmen einer arbeitsmedizinischen Untersuchung im Vorfeld der Tätigkeitsaufnahme davon ausgeschlossen werden. Diese Untersuchung wird allerdings erst Pflicht, wenn im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung nach §5 ArbSchG (1996) eine extreme Kältebelastung mit Umgebungstemperaturen



unter  $-25^{\circ}\text{C}$  vorliegt (ArbMedVV, 2008). Im Gegensatz zu den beschriebenen Erkrankungen, die sich bei Kältereiz verstärken und von denen nur vergleichsweise wenige Menschen betroffen sind, können die Kälteschäden der Haut in Folge natürlicher physiologischer Reaktionen jeden Menschen betreffen, wenn Dauer und Intensität der Kälteexposition hoch genug sind. Angaben über die Hauttemperatur, bei der erste Erfrierungen auftreten, unterscheiden sich häufig in Abhängigkeit von der Untersuchungsmethode und vom Messort. So gaben beispielsweise KEATINGE & CANNON (1960) an, dass die Haut bereits ab  $-0,6^{\circ}\text{C}$  zu frieren beginnt, wohingegen DANIELSSON (1996) eine lineare Beziehung aufstellte, bei der das Erfrierungsrisiko von 5% auf 95 % steigt, wenn die Hautoberflächentemperatur von  $-4,8^{\circ}\text{C}$  auf  $-7,8^{\circ}\text{C}$  fällt. Kommt es zu Erfrierungen, ist der Schweregrad – der sich in 4 Kategorien einteilen lässt – meist erst nach einigen Stunden (Schweregrad I und II) bzw. Tagen bis Wochen (Schweregrad III und IV) feststellbar. **Erfrierungen 1. Grades** machen sich in der Kälte bereits durch lokales Kribbeln und Schmerzen bemerkbar, die anschließend in ein Taubheitsgefühl übergehen. Befindet sich der zuvor kälteexponierte Mensch wieder in Wärme, stellt sich an den betroffenen Hautstellen wieder ein Tastgefühl ein, was mit Kribbeln und Schmerzen einhergeht und zusätzlich durch eine rötliche Schwellung geprägt ist. Das Hautareal erlangt seinen ursprünglichen Zustand erst nach einigen Wochen wieder, wobei die Haut dann immer noch spröde und schuppig wirken kann. Eine **Erfrierung 2. Grades** betrifft auch tiefere Hautschichten, wobei die Symptome während der Kälteexposition zunächst der Erfrierung 1. Grades ähneln, wenngleich sie etwas stärker ausgeprägt sind. Nach der Wiedererwärmung bilden sich innerhalb von 2 bis 20 Stunden (blutige) Blasen, die oftmals von einem roten, ödematösen Bereich umgeben sind. Nach ca. 2 Wochen erholt sich die Haut von den Erfrierungen, meist unter Krustenbildung und der anschließenden Neubildung berührungsempfindlicher Haut. Bei **Erfrierungen 3. Grades** bildet sich eine Nekrose der Dermis oder tieferer Hautschichten. Selbst Bänder, Sehnen, Muskeln, Nerven und Knochen können betroffen sein. In Wärme bildet sich dann eine feuchte Gangrän (Faulbrand), die nach einigen Wochen meist chirurgisch operativ entfernt werden muss. **Erfrierungen 4. Grades** zeichnen sich durch die gleichen Eigenschaften aus wie Erfrierungen 3. Grades, jedoch sind dabei zusätzlich tiefere Hautschichten betroffen (vgl. LEHMUSKALLIO, 2001).

### *3.1.2 Regelung der Körpertemperatur*

Die Regelung der Körpertemperatur (sog. Thermoregulation) erfolgt über einen Regelkreis, dem eine geschlossene Wirkungskette mit negativer Rückkopplung zugrunde liegt. Nach PERSSON (2007) zeichnet sich die Temperaturregulation, ebenso wie andere homöostatische Regelsysteme, durch das Vorhandensein mehrerer Messfühler und Stellglieder aus, wobei eine Analogie zu technischen Regelkreisen nur annähernd gegeben ist. Das liegt darin begründet, dass der sogenannte Sollwert, den der Mensch durch die Regelungsmechanismen zu erreichen anstrebt, funktionell verstanden werden muss, da bisher keine morphologische Referenzgeberstruktur gefunden wurde, die ein vom Umgebungsklima unabhängiges Eichsignal abgibt. Vielmehr ist der hypothetische Sollwert dann erreicht, wenn eine ausgeglichene Wärmebilanz vorliegt, d.h. der Körper keine Mechanismen zur Wärmebildung oder Wärmeabgabe aktiviert (vgl. u.a. SIMON, 1997; PERSSON, 2007). Kommt es, wie Abbildung 3.2 zeigt, aufgrund von Störgrößen zu einer Temperaturveränderung des Körpers, wird diese zunächst durch innere und äußere Thermosensoren erfasst. Äußerlich nehmen Wärme- und Kälterezeptoren den entsprechenden Reiz auf und leiten die Impulse über afferente Nervenbahnen an das Regelzentrum der Thermoregulation – den Hypothalamus – weiter. Zusammen mit den Signalen der inneren Thermosensoren, die sich vor allem im Rückenmark und im rostralen Hirnstamm finden, wird ein Istwert der Körpertemperatur generiert. Dass das Kälteempfinden wesentlich differenzierter ausgeprägt ist, als das Wärmeempfinden ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Haut über 250.000 Kälterezeptoren, aber lediglich 25.000 Wärmerezeptoren verfügt. Zudem sind die Hautareale in der Nähe des Körperkerns mit wesentlich mehr Kälterezeptoren bestückt als die peripheren Bereiche, wodurch zur besseren Wärmeerhaltung im Inneren, die Arme und Beine auskühlen können, ohne dass der Mensch unerträglich friert. Weiterhin werden die im Hypothalamus ankommenden Signale gewichtet, sodass eine Temperaturänderung an den äußeren Sensoren ca. 10-mal größer sein muss als die der inneren Sensoren, um einen gleich großen Effekt auszulösen (vgl. u.a. BEHRENDTS et al., 2010; GEKLE & SINGER, 2010; PERSSON, 2007; THEWS & VAUPEL, 2005). Nach NIELSEN & NIELSEN (1984) dienen die kutanen Rezeptoren dabei nicht nur als Messfühler des thermoregulatorischen Regelkreises, sondern vermitteln gleichzeitig auch

die Temperaturempfindung. Der durch innere und äußere Reizaufnahme im Hypothalamus generierte Istwert der Körperkerntemperatur wird mit dem hypothetischen Sollwert verglichen, woraufhin nach GEKLE & SINGER (2010) bei Abweichungen von mehr als  $\pm 0,1$  K (Interthreshold Range) Effektormechanismen (d.h. autonome Thermoregulationen) in Gang gesetzt werden, zu denen vor allem eine Veränderung der peripheren Durchblutung, willkürliche Muskelkontraktionen, die zitterfreie Thermogenese und eine erhöhte Schweißabsonderung gehören. Die autonome Thermoregulation wird zudem durch eine Verhaltensregulation unterstützt, die ebenso dazu beitragen soll, dass der Mensch bei Klimabelastung den Wärmehaushalt seines Körpers ausgleichen kann. Beim kälteexponierten Menschen zeichnet sich die Verhaltensregulation durch das Anlegen weiterer Kleidungsstücke, das Aufsuchen warmer Räumlichkeiten oder durch eine Steigerung der körpereigenen Wärmeproduktion bspw. durch eine erhöhte Bewegung aus. Für das Kommissionieren in Kälte, bei dem der Arbeitgeber einen Großteil der Kleidung zur Verfügung stellt, das Aufsuchen warmer Räumlichkeiten jedoch nur innerhalb der Pausen vollzogen werden kann, und das Arbeitsaufkommen die körpereigene Wärmeproduktion weitestgehend bestimmt, kann die Verhaltensregulation nur begrenzt zu einer ausgeglichenen Wärmebilanz beitragen. Daher muss den Mechanismen der autonomen Thermoregulation eine besondere Aufmerksamkeit zuteilwerden, damit die Körperkerntemperatur ein Niveau halten kann, bei dem kurzfristige und langfristige Gesundheitsschäden ausgeschlossen werden können. Im Folgenden werden die bei Kälteexpositionen und der damit einhergehenden Temperaturabnahme eintretenden autonomen Regulationsmechanismen näher beleuchtet.

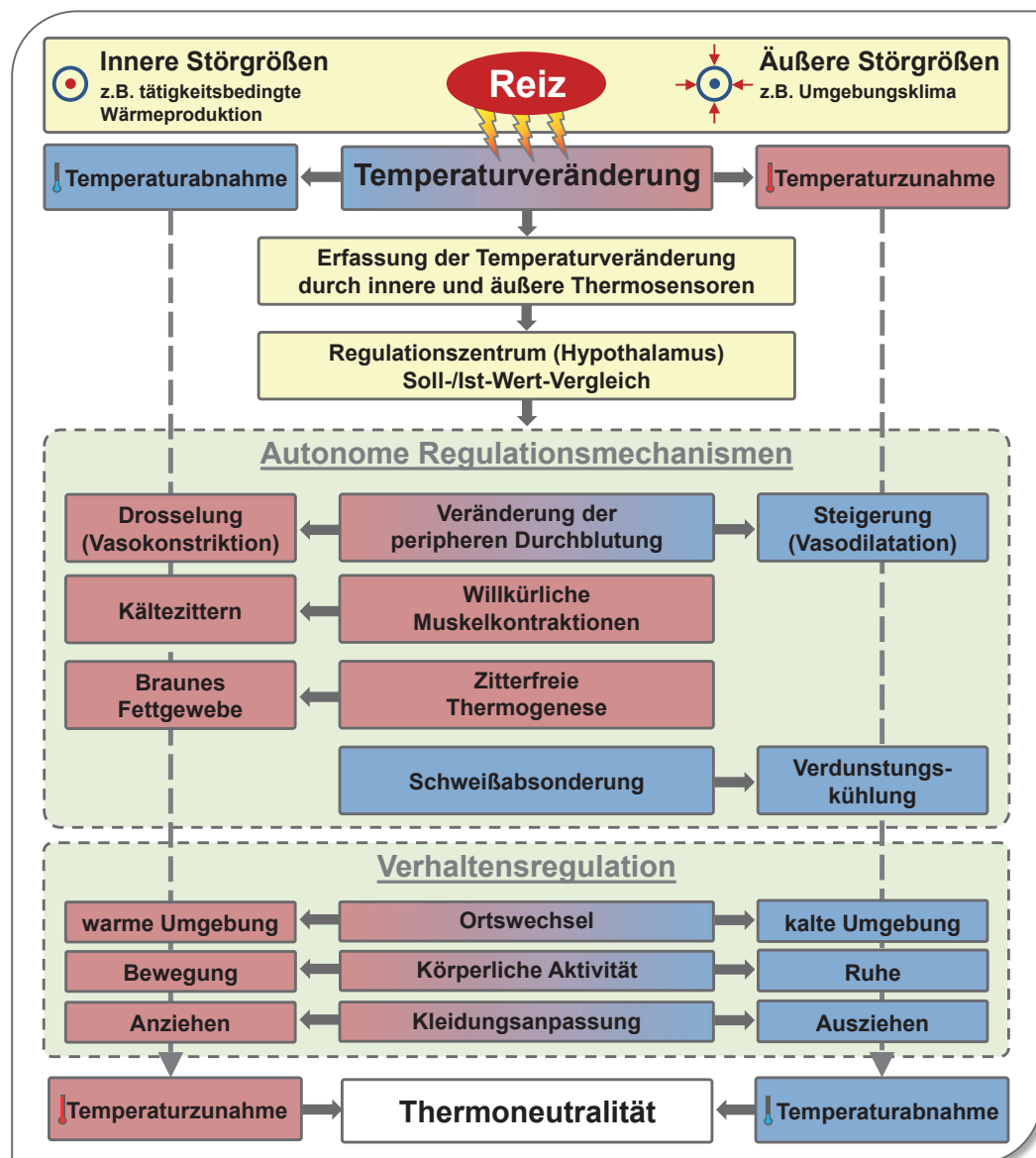


Abb. 3.2: Zusammenfassende Darstellung autonomer und verhaltensbasierter Regulationsmechanismen auf reizinduzierte Temperaturveränderungen des menschlichen Körpers

### *Veränderung der peripheren Durchblutung*

Die Veränderung der peripheren Hautdurchblutung gehört zu den drei Effektormechanismen der Thermoregulation und kann nach GEKLE & SINGER (2010) ausgehend von der Ruhedurchblutung um das 0,5- bis 10-fache reguliert werden. Bei Kältebelastung wird der Wärmetransfer in die oberen Hautschichten mittels Vasokonstriktion (Gefäßverengung) gedrosselt, was zu einer Senkung der Hauttemperatur führt, wodurch sich der Temperaturgradient zwischen Hautoberfläche und Umgebung

zunehmend verringert. Die gedrosselte Blutzirkulation lässt die Hautoberflächentemperatur der Akren derart absinken, dass lokale Kälteschäden drohen. Um diesem entgegenzuwirken, setzt nach GEKLE & SINGER (2010) bei einem Absinken der Hauttemperatur unter  $10^{\circ}\text{C}$  im Abstand von etwa 20 min eine kurz andauernde Vasodilatation (Gefäßerweiterung) in den Akren ein, die erstmals von LEWIS (1930) beschriebene sogenannte *Lewis-Reaktion*, auch bekannt als *Hunter's response* oder *cold-induced vasodilation (CIVD)*.

Die Wärmeabgabe des Blutes an das kalte Umgebungsklima kann auch durch das Schließen arteriovenöser Anastomosen beeinflusst werden. Entsprechend Abbildung 3.3 (links) wird das Blut vor dem Erreichen der Extremitäten „kurzgeschlossen“, wodurch der venöse Rückstrom über tiefe Venen erfolgt, die den Arterien eng anliegen. Hierdurch wird an jeder Stelle ein Wärmeübergang von der Arterie zur Vene ermöglicht, was dafür sorgt, dass das venöse Blut teilweise die Wärme des arteriellen Blutes zum Rumpf zurückführt (vgl. GEKLE & SINGER, 2010).

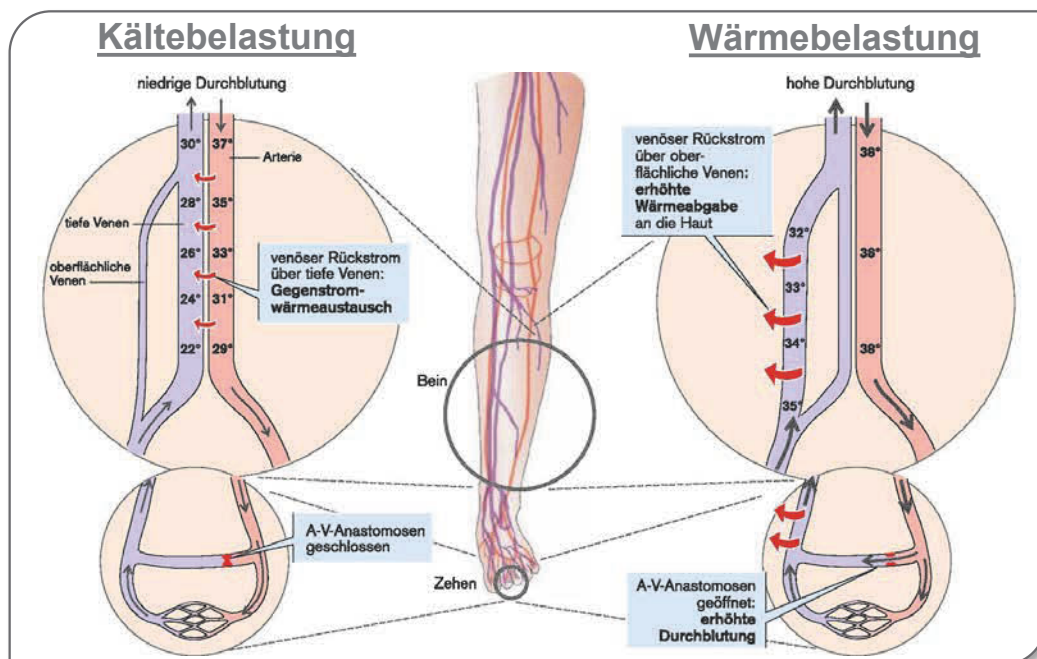


Abb. 3.3: Wärmestrom in den Extremitäten unter Kälte- und Wärmebelastung (modifiziert nach GEKLE & SINGER, 2010)

Nach ASCHOFF (1958) ist die maximale Wärmeisolation der Körperschale bei einem Temperaturgefälle von ca. 6 K zwischen Hautoberfläche und Körperkern erreicht. Größere Temperaturgefälle führen in der Folge dazu, dass die Wärmeverluste die Wärmebildung übersteigen und damit die Möglichkeiten der physikalischen Temperaturregulation ausgeschöpft sind. Dieser Status ist dadurch erkennbar, dass der zunächst steile Abfall der Hautoberflächentemperatur mit der Zeit flacher wird, bis der verbliebene Wärmetransfer vom Körperkern zur Körperschale der Wärmeabgabe von der Haut an die Umgebung entspricht. Ohne das Einsetzen der im Folgenden beschriebenen weiteren Effektormechanismen der Thermoregulation könnte die Körperkerntemperatur nicht mehr auf dem gegebenen Niveau gehalten werden (vgl. FORSTHOFF, 1983).

#### ***Willkürliche Muskelkontraktionen (Kältezittern)***

Neben der zuvor beschriebenen Veränderung der peripheren Durchblutung zur Konservierung der Wärme im Körper, gehört eine gesteigerte metabolische Wärmeenergieerzeugung, das sog. Kältezittern, zu den weiteren Strategien einer physiologischen Anpassung an Kälteexpositionen. Das Einsetzen des Kältezitterns ist demnach ein Indikator dafür, dass die Möglichkeiten der Vasokonstriktion erschöpft sind (vgl. DEGROOT & KENNEY, 2007). Nach HOLMÉR (1993) führen Körperkerntemperaturen von 33 bis 35°C zu extrem starkem Kältezittern, das die mentale und physische Arbeitsfähigkeit einschränkt. TANSEY & JOHNSON (2015) führen hingegen an, dass entgegen der weit verbreiteten Meinung nicht eine verminderte Körperkerntemperatur das Kältezittern auslöst, sondern vielmehr eine niedrigere Hautoberflächentemperatur. Nach HORVATH et al. (1956) werden dabei die Höhe der kritischen Hauttemperaturen sowie die Zeit bis zum Einsetzen des gesteigerten Energieumsatzes aufgrund des zeitlich versetzten Auftretens des Kältezitterns an unterschiedlichen Bereichen des Körpers uneinheitlich angenommen, weshalb grundsätzlich zwischen dem Beginn des Kältezitterns am Rumpf und an den Akren zu unterscheiden ist. Nach BEHRENDTS et al. (2010) werden unter Kälteeinwirkung zunächst die Kaltrezeptoren der Haut angeregt, was reflektorisch zu einer Aktivierung der tonischen Muskelfasern führt. Die kontinuierlichen Kontraktionen dieser Muskelfasern erhöhen bereits den Energieverbrauch, allerdings ohne sichtbares Zittern. Fällt die Umgebungstemperatur weiter ab oder

bleibt die Kälteeinwirkung bestehen, werden auch die phasischen Muskelfasern aktiviert, die diskontinuierlich kontrahieren und erschlaffen. Hierdurch wird das Kältezittern sichtbar („Schüttelfrost“) und/oder hörbar („Zähneklappern“). ADOLPH & MOLNAR (1946) sowie EYOLFSON et al. (2001) geben an, dass der Energieumsatz durch das Kältezittern durchschnittlich um das Fünffache des Ruheumsatzes ansteigen kann, was bedingt, dass dieser Zustand nur zeitlich begrenzt und in Abhängigkeit vom individuellen Stoffwechselmaximum aufrecht erhalten werden kann. Auch der reale Nutzen des Kältezitterns ist nach HORVATH et al. (1956) durchaus eingeschränkt, da die durch Kältezittern erzeugte Wärmemenge nur zu etwa 10% im Körper gespeichert wird. Das ist maßgeblich darauf zurückzuführen, dass durch das Muskelzittern, vor allem an Stellen, an denen große Muskelmassen unter der Haut liegen, die Hauttemperaturen bei gleichzeitig erhöhter Durchblutung leicht ansteigen und dadurch die Wärmeisolation der Körperschale abnimmt (vgl. NEUROTH, 1948). Dieser Effekt wird nach GEKLE & SINGER (2010) zudem dadurch verstärkt, dass in Folge des Muskelzitterns die isolierende Luftschicht an der Hautoberfläche aufgewirbelt wird.

### *Zitterfreie Thermogenese (Verbrennung von braunem Fettgewebe)*

Neugeborene, deren Skelettmuskulatur noch nicht vollständig ausgebildet ist, sind kaum in der Lage, Temperaturverluste durch Kältezittern auszugleichen. Deshalb kommt hier die zitterfreie Thermogenese im braunen Fettgewebe zum Einsatz (vgl. u.a. LEAN, 1989; STERN, 1980). Auch beim Erwachsenen kann dieser chemische Effektormechanismus eine wirksame Form der Wärmebildung darstellen, wenngleich in der Vergangenheit die Bedeutung unterschätzt wurde und die Umsatzerhöhung durch zitterfreie Wärmebildung in den Organen bei erwachsenen Menschen kaum nachweisbar war (vgl. FORSTHOFF, 1983). Es gehörte zum weit verbreiteten Meinungsbild, dass das vorhandene braune Fettgewebe nach der Geburt zügig abgebaut wird, sodass Erwachsene lediglich noch über marginale Mengen braunen Fettgewebes verfügen. In der Folge wurden daher jegliche Erklärungsversuche abgewiesen, die braunes Fettgewebe mit einer verminderten Kältebelastung und insbesondere einer erhöhten wärmebildenden Kapazität als Antwort auf langanhaltende Kälteexpositionen in Verbindung brachten. Das bedeutete wiederum, dass der erwachsene Mensch entweder nicht über die Eigenschaften der klassischen zitterfreien Thermogenese verfügen kann (z.B. die

Entwicklung von wärmeerzeugenden Mechanismen als Ersatz für das Kältezittern bei wiederkehrenden Kälteexpositionen) oder, dass der Mensch über andere alternative Methoden der zitterfreien Thermogenese verfügen muss, als sie bisher in Laborstudien an Tieren (Ratten) entdeckt wurden (vgl. NEDERGAARD et al, 2007), wobei allerdings nach GOLOZOUBOVA et al. (2001) jegliche zitterfreie Thermogenese von braunem Fettgewebe abhängt. Neben früheren Annahmen über die Existenz braunen Fettgewebes beim Erwachsenen (siehe Reviews von LEAN, 1989 sowie LEAN & JAMES, 1986) gab es jedoch keine konkreten, wissenschaftlich fundierten Beweise. Erst zufällige Entdeckungen aus dem Bereich der Nuklearmedizin im Jahr 2002 konnten feststellen, dass auch Erwachsene über braunes Fettgewebe verfügen und zumindest einige zehn Prozent der Bevölkerung dieses auch aktivieren können, weshalb es als Organ von physiologischer und pharmazeutischer Wichtigkeit berücksichtigt werden muss (vgl. u.a. NEDERGAARD et al. 2007; SAITO et al., 2009; VAN DER LANS et al., 2013). Es wird allerdings auch debattiert, ob das Fett, das sich wie braunes Fettgewebe verhält, auch wirklich braunes Fettgewebe ist, oder ob es sich um das sogenannte beige Fettgewebe handelt, das sich als Antwort auf Kälte oder  $\beta_3$ -Adrenorezeptoren aus weißen Fettzellen bildet (vgl. u.a. WU et al., 2013). Soweit vorhanden, findet sich braunes Fettgewebe beim Erwachsenen nach NEDERGAARD et al. (2007) analog zu den von AHERNE & HULL (1966) beschriebenen Bereichen beim Neugeborenen hauptsächlich supraklavikulär (oberhalb des Schlüsselbeins) und im Nacken. Erwachsene Menschen, die über solche Fettdepots verfügen, können zusätzlich braunes Fettgewebe im Mediastinum (Mittelfellraum im Brustkorb), paravertebral (neben der Wirbelsäule) und suprarenal (oberhalb der Niere) besitzen. Aus dem alleinigen Vorhandensein braunen Fettgewebes lassen sich allerdings keine Automatismen bei der Thermogenese ableiten, vielmehr hängt die Aktivierung im Wesentlichen von der Umgebungstemperatur ab. CANNON & NEDERGAARD (2004) gaben an, dass das in Tieren vorhandene braune Fettgewebe im warmen Umgebungsklima inaktiv war, sich aber innerhalb von wenigen Minuten aktivierte, sobald die Tiere Kälte ausgesetzt wurden. Demnach muss auch die Aktivierung des braunen Fettgewebes bei erwachsenen Menschen vom aktuellen Umgebungsklima abhängen, was durch eine Reihe von Studien (vgl. u.a. CHRISTENSEN et al., 2006; GARCIA et al., 2004; GARCIA et al., 2006; HEIBA et al., 2005) belegt wurde. Des Weiteren konnte an Nagetieren festgestellt werden, dass die Menge braunen Fettgewebes



(und daher die Kapazität zur zitterfreien Thermogenese) von der das Tier dauerhaft umgebenden Temperatur maßgeblich beeinflusst wird (vgl. NEDERGAARD et al., 2007). KLINGENSPOR (2003) führte hierzu an, dass das sympathische Nervensystem, welches auch das braune Fettgewebe aktiviert, durch Kältereize stimuliert wird, und daher die zitterfreie Thermogenese zunimmt. Neben dem Umgebungsklima wird braunes Fettgewebe allerdings auch durch eine Reihe nichtthermischer Faktoren beeinflusst, wozu beispielsweise Hypoxie (herabgesetzter Sauerstoffpartialdruck im arteriellen Blut), Hypoglykämie (Unterzuckerung) und psychischer Stress gehören (vgl. MORRISON & MADDEN, 2014).

### 3.1.3 Wärmebildung und Wärmeabgabe

#### *Wärmebildung unter klimaneutralen Bedingungen*

Die Wärmebildung ist unter klimaneutralen Bedingungen eine Funktion des Energieumsatzes, dessen Wirkungsgrad bei weniger als 25% liegt. Dabei hängt die Wärmebildung u.a. von der Aktivität der Skelettmuskulatur, Herz und Atmung, dem spezifisch-dynamischen Effekt nach Nahrungsaufnahme (z.B. dem Schwitzen beim Essen) und der Sekretion von Thyroxin und Adrenalin ab (vgl. GEKLE & SINGER, 2010). Unter Ruhebedingungen entspricht die Wärmebildung in etwa dem Ruheumsatz, der zwischen 70 bis 100 W liegt. Bei körperlicher Arbeit steigt dieser Wert signifikant an (Gehen: 280-350 W, maximale Belastung: >1000 W), wobei nunmehr 70-100% der metabolisch erzeugten Energie in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben wird (vgl. u.a. KEIM et al., 2002; NOVAK, 1991). Wäre bei Dauerleistung keine Wärmeabgabe möglich, würde die Körperkerntemperatur um ca. 1-2 K pro 10 Minuten bis zu einem Wert von ca. 40°C ansteigen. Dieser Fall tritt in der Regel nicht ein, da der menschliche Organismus im Rahmen der Thermo-regulation gegensteuert und Wärme an die Umgebung abgibt (vgl. GEKLE & SINGER, 2010). In Abhängigkeit von der Belastungssituation (Ruhe oder körperliche Arbeit) produziert der Körper Wärme auf unterschiedliche Weise. Wie aus Abbildung 3.4 hervorgeht, bildet der Körper in Ruhe ca. 56% seiner Wärme in den inneren Organen des Körperkerns. Für die metabolischen Um- und Aufbauprozesse in den Zellen wird Energie in Form des Moleküls Adenosintriphosphat (ATP) benötigt, welches beispielsweise aus Glucose bereitgestellt wird.

Aufgrund des geringen Wirkungsgrades wird bei diesen Prozessen sehr viel Energie in Form von Abwärme frei. Bei körperlicher Arbeit verschieben sich die relativen Anteile der Organe an der insgesamt um ein Vielfaches zunehmenden Wärmebildung. Während die inneren Organe lediglich noch 8% der Wärme liefern, steigt der Anteil von Haut und Muskeln auf ca. 90% an (vgl. BEHRENDTS et al., 2010).

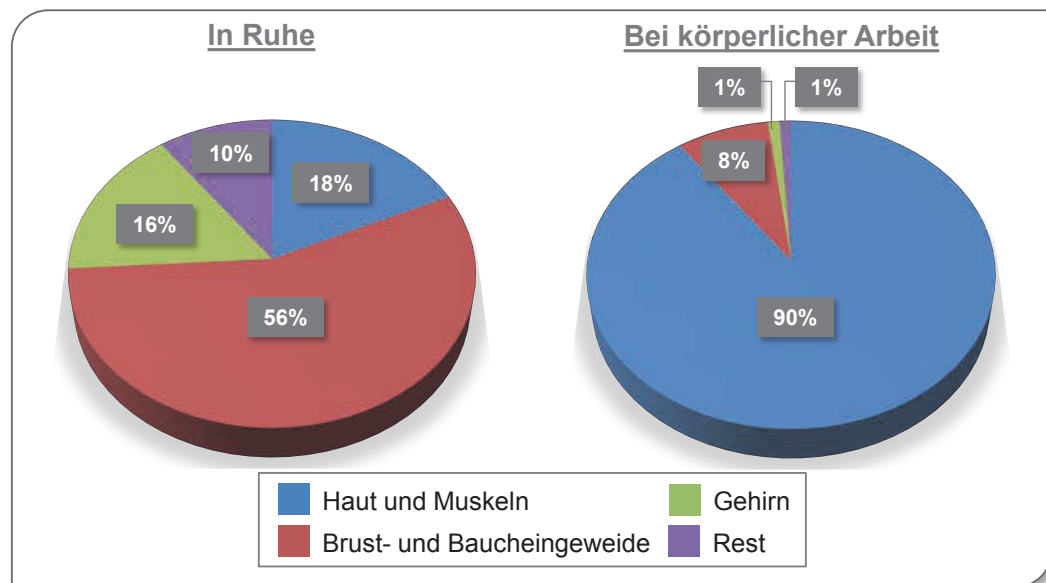


Abb. 3.4: Relativer Anteil der Organe an der Wärmebildung (modifiziert nach BEHRENDTS et al., 2010)

### ***Wärmetransfer im Körper und Wärmeaustausch mit der Umwelt***

Der Wärmetransfer im Körper, d.h. vom Körperkern zur Körperoberfläche, wird nach BEHRENDTS et al. (2010) auch als innerer Wärmestrom bezeichnet, der konvektiv und konduktiv abläuft, wobei der Konvektion beim Menschen quantitativ die größte Bedeutung zukommt, denn nach XU et al. (1999) wird ca. 70% der endogen erzeugten Wärme von der arbeitenden Muskulatur ausschließlich durch Konvektion nach außen transportiert. Unter Ruhebedingungen ist die Temperatur im Körperkern um ca. 2-4°C höher als in der Körperperipherie (z.B. Skelettmuskel). Hierdurch kommt es zur Konvektion, bei der die Wärme durch das Blut vom Körperkern in die Peripherie übertragen wird. Bei schwerer körperlicher Arbeit kann die Wärme sowohl zum Körperkern hin als auch nach außen abgegeben werden, da es durchaus möglich ist, dass sich die Muskulatur auf über 37°C erwärmt. Dabei kann die Wärme mittels Konduktion bzw. Wärmediffusion durch das Gewebe zur Haut hin abgeleitet werden. Bei der

Konvektion hingegen erfolgt der Wärmetransfer bei schwerer körperlicher Arbeit ebenso wie unter Ruhe durch den Blutstrom vom Körperinneren in Haut und Lunge, zwei Organe mit großer Oberfläche und direktem Kontakt zur Umwelt. Durch die gesteigerte Muskeldurchblutung mit sinkendem Gefäßwiderstand und einem zunehmendem Herzzeitvolumen wird der Wärmetransfer zudem verstärkt. Mit dem Blutstrom gelangt allerdings auch wieder Wärme in den Körperkern zurück, welche die Körperkerntemperatur ebenfalls ansteigen lässt. Der Wärmeaustausch mit der Umwelt, d.h. von der Körperoberfläche an die Umgebung, wird auch als äußerer Wärmestrom bezeichnet und geschieht neben der Lunge bzw. Atemwege hauptsächlich über die Haut (vgl. u.a. BEHRENDTS et al., 2010; GEKLE & SINGER, 2010). Der Wärmeaustausch mit der Umwelt findet auf der Basis der vier physikalischen Mechanismen Wärmeleitung (Konduktion), Wärmeströmung (Konvektion), Wärmestrahlung (Radiation) und Verdunstung (Evaporation) statt, wobei nach KEIM et al. (2002) jeder Mechanismus durch physiologische Eigenschaften und bestimmte Verhaltensweisen beeinflusst werden kann. Die Anteile der Wärmetransportmechanismen an der Gesamtwärmeabgabe über die Haut und die Atemwege bei Indifferenztemperatur, 50% Luftfeuchte und Windstille sind in Tabelle 3.3 für den ruhenden Menschen dargestellt. Die Werte unterliegen allerdings einer starken Variation, wenn es bspw. zur Klimabelastung (Hitze oder Kälte), schwerer körperlicher Arbeit oder zu einer Variation der Luftfeuchte oder der Windgeschwindigkeit kommt.

Tab. 3.3: *Anteile der einzelnen Wärmetransportmechanismen an der Gesamtwärmeabgabe unter den Bedingungen Indifferenztemperatur, 50% Luftfeuchte und Windstille (modifiziert nach THEWS & VAUPEL 2005)*

Haut		Atemwege	
Wärmestrahlung (Radiation)	<b>45%</b>		
Wärmeleitung (Konduktion) und Wärmeströmung (Konvektion)	<b>25%</b>	Wärmeleitung und Ventilation	<b>2%</b>
Verdunstung (Evaporation)	<b>20%</b>	Wasserverdunstung	<b>8%</b>
	<b>90%</b>		<b>10%</b>

**Wärmeleitung (Konduktion) und Wärmeströmung (Konvektion)**

Bei der Wärmeleitung (**Konduktion**) wird die Wärme innerhalb eines unbewegten Mediums (z.B. wie zuvor beim inneren Wärmestrom beschrieben) von Innen durch das Gewebe zur Haut hin oder durch unmittelbaren Kontakt zwischen zwei verschiedenen Medien (z.B. von der Hand des Kommissionierers auf das kalte Warenpaket) übertragen. Die Konduktion folgt grundsätzlich dem Diffusionsgesetz und ist daher proportional zum Temperaturgradienten und der Kontaktfläche (vgl. GEKLE & SINGER, 2010). Ebenso besteht eine starke Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (Konduktivität) der Transportmedien (vgl. XU et al., 1999; YOUNG et al., 1987). Daher ergibt sich u.a. nach THEWS & VAUPEL (2005) folgende Gleichung 3.1 für den Wärmestrom je Flächeneinheit ( $\dot{q}_L$ ).

	$\dot{q}_L = \alpha_L (T_H - T_L)$	(3.1)
mit:	$\alpha_L$ : Wärmeübergangszahl	
	$T_H$ : Hauttemperatur	
	$T_L$ : Temperatur der Luftgrenzschicht	

Nach STRASSER (2002) ist die Wärmeübergangszahl  $\alpha_L$  von Luft jedoch im Vergleich zu Wasser und auch zu Feststoffen um mehrere Zehnerpotenzen niedriger. Bei „stehender“ Luft wird somit kein nennenswerter Beitrag zum Wärmeaustausch geleistet. Luftbewegungen mit einer Geschwindigkeit  $v$  sorgen jedoch dafür, dass die durch Konduktion an die den Menschen umgebende Luftgrenzschicht abgegebene Wärme durch **Konvektion** weitertransportiert wird. Hieraus ergibt sich für den Wärmestrom je Flächeneinheit ( $\dot{q}_C$ ) näherungsweise folgender Zusammenhang (vgl. Gleichung 3.2), bei dem sich die Luftgeschwindigkeit offensichtlich nicht linear, sondern unterproportional auswirkt.

	$\dot{q}_C = (T_H - T_L) \cdot \sqrt{v}$	(3.2)
mit:	$v$ : Luftgeschwindigkeit	
	$T_H$ : Hauttemperatur	
	$T_L$ : Temperatur der Luftgrenzschicht	

Die Gleichung verdeutlicht auch, dass die Windgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Wärmeabgabe hat, da mit zunehmender Luftbewegung die Grenzschicht an der

Haut des Menschen abnimmt. Tiere erweitern in Kälte die Luftgrenzschicht durch das Aufrichten von Haaren und Federn und schützen sich damit vor Wärmeverlusten. Der Mensch muss diesen Effekt durch die Wahl geeigneter Kleidung herbeiführen (vgl. THEWS & VAUPEL 2005). Da sich der Mensch in aller Regel mit zweckmäßiger Kleidung vor Kälte zu schützen weiß, spielt nach HAVENTH (2002) die Konduktion beim äußeren Wärmestrom im Vergleich zum inneren Wärmestrom nur eine untergeordnete Rolle (vgl. auch Tab. 3.3). Dennoch kommt es im Fall der Kommissionierer in einem gewissen Grad zur Konduktion durch die Kleidungsschichten bei der Handhabung der Warenpakete (Hand/Ware), beim Anlehnen an das Flurförderzeug während der Fahrt (Gesäß/Fahrzeug) und beim Gehen auf dem kalten Fußboden (Füße/Boden).

### ***Wärmestrahlung (Radiation)***

Radiation bezeichnet den Übergang von Wärmeenergie zwischen der Umgebung und dem Menschen durch langwellige Infrarotstrahlung und ist eine Kombination von direkter Sonneneinstrahlung, der reflektierten Bodenstrahlung und der von der Kollision atmosphärischer Moleküle ausgehenden diffusen Strahlung (vgl. FLOURIS & CHEUNG, 2006). Ebenso wie bei der Konduktion und Konvektion folgt auch die Radiation einem Temperaturgradienten, jedoch ist der Wärmetransport nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz der 4. Potenz der absoluten Temperaturen (in Kelvin) proportional, weshalb bereits geringe Temperaturunterschiede zu einer wirksamen radiativen Wärmeabgabe führen (vgl. u.a. GEKLE & SINGER, 2010; THEWS & VAUPEL 2005). Aufgrund der geringen Temperaturgradienten im physiologischen Bereich kann die Wärmeabgabe je Flächeneinheit ( $\dot{q}_S$ ) durch Strahlung mit einer ähnlichen Formel wie bei der Konvektion nach THEWS & VAUPEL (2005) abgeschätzt werden (vgl. Gleichung 3.3):

$$\dot{q}_S = \alpha_S (T_H^4 - T_W^4) \quad (3.3)$$

mit:	$\alpha_S$ : Proportionalitätsfaktor
	$T_H$ : Hauttemperatur
	$T_W$ : Temperatur der strahlenden Flächen

Die Emissions- und Absorptionseigenschaften der Haut und der umgebenden Flächen kennzeichnen den Proportionalitätsfaktor  $\alpha_S$ , wobei sich die Haut hinsichtlich

der Strahlungseigenschaften ähnlich einem schwarzen Körper verhält (vgl. THEWS & VAUPEL 2005). Nach BEHRENDTS et al. (2010) benötigt Wärmestrahlung, da es sich wie beim Licht um elektromagnetische Strahlung handelt, kein leitendes Medium. Der Großteil der Wärme wird von der Körperoberfläche unter klimaneutralen Bedingungen hauptsächlich über Strahlung abgegeben (siehe auch Tab. 3.3).

### *Verdunstung (Evaporation)*

Die Verdunstung (Evaporation) an der Hautoberfläche und in den Atemwegen stellt aufgrund der hohen spezifischen Verdampfungsenthalpie von Wasser einen wichtigen Mechanismus der Wärmeabgabe dar, der mit zunehmender Wärmeproduktion weiter an Bedeutung gewinnt. Im Unterschied zu den anderen, zuvor vorgestellten Mechanismen ist die Wärmeabgabe durch Verdunstung je Flächeneinheit ( $\dot{q}_V$ ) nicht von der Temperatur-, sondern von der Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Haut und Umgebung abhängig (vgl. GEKLE & SINGER, 2010), was nach THEWS & VAUPEL (2005) durch folgende Gleichung 3.4 ausgedrückt wird:

	$\dot{q}_V = \alpha_V (P_H - P_L)$	(3.4)
mit:	$\alpha_V$ : Proportionalitätsfaktor (Verdunstungszahl)	
	$P_H$ : Wasserdampfdruck der Haut	
	$P_L$ : Wasserdampfdruck der Luft	

Da die Wasserdampfdrücke vom Wassergehalt und der Temperatur der Haut bzw. der Luft bestimmt werden, kann auch dann noch Wärme durch Verdunstung abgegeben werden, wenn die Körpertemperatur unter der Umgebungstemperatur liegt. Voraussetzung ist, dass der Wasserdampfdruck der Luft unter dem Wasserdampfdruck der Haut liegt (trockenes Wüstenklima). Umgekehrt kann die Wärmeabgabe selbst dann erschwert sein, wenn die Umgebungstemperatur (mit hohem Wasserdampfdruck) unterhalb der Körpertemperatur liegt (schwüles Urwaldklima). Analog zur Konvektion steigt auch die Wärmeabgabe durch Verdunstung mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit der den Menschen umgebenden Luft an, da diese den evaporierten Wasserdampf von der Hautoberfläche entfernt. Die Wärme kann via Verdunstung zum einen unmerklich (Perspiratio insensibilis) und daher auch nicht regulierbar

über die Haut- und Schleimhautoberfläche an die Umgebung abgegeben werden. Aufgrund der Diffusion von Wasser durch die Haut und über die Expirationsluft (als feuchte Wärmeabgabe der Atmung) verliert der Körper dabei täglich ca. 1 l Wasser – überwiegend über den Kopf und den Oberkörper – was einer Wärmeabgabe von 2400 kJ bzw. 580 kcal und damit etwa 30% des Grundumsatzes entspricht. Zum anderen kommt es bei erhöhten Umgebungstemperaturen und schwerer körperlicher Arbeit zu einer Schweißsekretion (Perspiratio sensibilis), bei der die hohe Verdampfungswärme von Wasser zur Kühlung genutzt werden kann. Dabei wird 2,5 kJ Wärme je 1 g verdunstetem Wasser verbraucht, sodass bei der maximalen Schweißproduktion eines Erwachsenen (2 kg/h) die maximale Wärmeabgabe theoretisch bei ca. 5000 kJ/h (~1400 W) liegt. Dabei ist zu beachten, dass die Schweißproduktion an sich thermoregulatorisch wirkungslos ist, denn erst über die Verdunstung des Schweißes und die damit einhergehende Entstehung von Verdunstungskälte wird der Körper abgekühlt (vgl. u.a. BEHRENDTS et al., 2010; EPSTEIN & SOHAR, 1985; GEKLE & SINGER, 2010; HAVENITH et al., 1999; THEWS & VAUPEL, 2005; WEINER, 1945). Nach HEISING (1989) wird dabei der Schwellwert für den Einsatz des Schwitzens sowie die Höhe der Schweißrate sowohl von der Körperkerntemperatur als auch von der lokalen Hauttemperatur beeinflusst. Durch das Tragen von Schutzkleidung wird der evaporative Wärmeaustausch vermindert, da die Bekleidungsschichten den Wasserdampftransport behindern. Bei schwerer körperlicher Arbeit und/oder zusätzlicher Wärmebelastung kommt es durch die Schutzkleidung zu vermehrtem Schwitzen, wobei der Großteil des Schweißes vom Körper abtropft oder von den äußeren Gewebeschichten der Schutzkleidung eingeschlossen wird, was die weitere Verdunstung zum Abtransport von Wärmeenergie aus dem Körper signifikant beeinträchtigt (vgl. EPSTEIN & SOHAR, 1985). In Kälte führt eine vermehrte Schweißsekretion (bspw. in Folge schwerer körperlicher Arbeit) zu einer Herabsetzung der isolierenden Eigenschaften der Kälteschutzkleidung, was ein weiteres Auskühlen zur Folge haben kann.

### ***3.1.4 Kälteadaptation***

Im deutschsprachigen Raum wird für die kurz- oder langfristige Adaptation von Organismen an sich ändernde klimatische Lebensbedingungen, wie beispielsweise eine

veränderte Umgebungstemperatur, der Begriff Akklimatisation verwendet (vgl. SAUERMOST & FREUDIG, 1998), der sich in der angelsächsischen Literatur als *acclimation* und *acclimatization* wiederfindet. Beide Begriffe sind nach der IUPS Thermal Commission (2001) etymologisch allerdings nicht unterscheidbar, weshalb beiden Wörtern in der Vergangenheit mehrere unterschiedliche Bedeutungen zugewiesen wurden. Auf der Basis der Arbeiten von HART (1957) und EAGAN (1963) konnten die Begriffe klar voneinander abgegrenzt und zusammen mit dem Begriff *habituation* (Gewöhnung) unter dem allgemeinen Terminus *Adaptation* zusammengefasst werden (vgl. FOLK, 1974). Der Begriff *acclimation* beschreibt die physiologischen und verhaltensgesteuerten Anpassungsvorgänge innerhalb eines Organismus, die dazu führen, dass der Stress, der durch eine experimentell herbeigeführte äußere Veränderung (bspw. klimatische Faktoren wie Umgebungstemperatur oder die Windgeschwindigkeit) auftritt, verringert wird (vgl. u.a. HART, 1957; EAGAN, 1963; MÄKINEN, 2006). Eng damit verbunden ist die sogenannte *habituation*, die nach der IUPS Thermal Commission (2001) die Reduzierung von Reaktionen auf Kälte oder die Wahrnehmung von Kälte aufgrund wiederholter Stimulation beschreibt, d.h. es treten gewisse Gewöhnungseffekte ein. Untersuchungen zu beiden Mechanismen basieren meist auf wiederholten Expositionen in kalter Luft oder kaltem Wasser. Ein immer wieder kälteexponierter Körper scheint zu lernen, dass die vorliegende Situation nicht gefährlich ist und daher auch keine Notwendigkeit besteht, gesteigerte thermoregulatorische Maßnahmen einzuleiten (LEBLANC, 1992). Hat sich der menschliche Organismus im Laufe der Zeit an die Kälte gewöhnt (*habituated*), werden auch die autonomen Regulationsmechanismen angepasst. Bei dann auftretenden Kältereizen zeigt sich das Kältezittern und die Vasokonstriktion nur noch in abgeschwächter Form, gleichzeitig wird der entstehende Kältestress reduziert, was sich nach MÄKINEN (2006) in einem weniger starken Anstieg des arteriellen Blutdrucks und in einer reduzierten Ausschüttung von Stresshormonen bemerkbar macht. Allerdings kann das verminderte Kältezittern und die eingeschränkte Vasokonstriktion auch dazu führen, dass an Kälte gewöhnte Personen eine stärkere Abnahme der Körperkerntemperatur aufweisen als Personen, die nicht dauerhaft niedrigen Umgebungstemperaturen ausgesetzt sind (vgl. MÄKINEN, 2006). Ein weiterer autonomer Regulationsmechanismus – die sogenannte zitterfreie Thermogenese durch



die Aktivierung braunen Fettgewebes – kann jedoch durch wiederholte Kälteexpositionen aktiviert werden und daher im positiven Sinne zum Schutz vor Kälte beitragen (vgl. u.a. VAN DER LANS et al., 2013; HANSSEN et al., 2016). Der Begriff *acclimatization* beschreibt die physiologischen und verhaltensgesteuerten Anpassungsvorgänge, die sich im Laufe des Lebens eines Organismus ausbilden und dazu führen, dass die auftretende Belastung durch natürliche klimatische Veränderungen (z.B. saisonal oder geografisch) reduziert wird (vgl. u.a. IUPS Thermal Commission, 2001; MÄKINEN, 2006). Da alle Kühl- und Tiefkühlkommissionierer eines Landes einem nahezu identischen natürlichen Umgebungsklima ausgesetzt sind, spielt die Kälteadaptation durch die Akklimatisation bei der Analyse alters- und geschlechtsbedingter Unterschiede keine Rolle.

Eng mit der Kälteadaptation verbunden sind die Kältetoleranz und das subjektive Kälteempfinden. Der Mensch toleriert bis zu gewissen Grenzen Kälteeinwirkungen, wobei die Toleranzschwellen (z.B. unbehagliche subjektive Temperaturempfindungen, Kälteschmerzen oder gesundheitliche Schädigungen) von individuellen Faktoren geprägt sind und häufig von der physischen Konstitution abhängen. So wird die Höhe des Wärmeverlustes u.a. vom Verhältnis der Körperoberfläche zu seinem Volumen bestimmt. Auch das subkutane Fettgewebe ist aufgrund seiner wärmeisolierenden und wärmespeichernden Wirkung für die Kältetoleranz von großer Bedeutung, ebenso wie die körperliche Leistungsfähigkeit, die maßgeblich für die Wärmeproduktion verantwortlich ist (vgl. FORSTHOFF, 1983). Nach PERSSON (2007) existiert gegenüber Kälte zudem eine Art Toleranzadaptation, die sich bei regelmäßig auftretender zeitweiliger Kältebelastung einstellt. Die Klimabelastung lässt sich neben objektiv messbaren Werten (bspw. der Hauttemperatur) durch die Temperaturempfindung, die naturgemäß mit der Hauttemperatur korreliert, subjektiv messen (vgl. FORSTHOFF, 1983). Dabei führt HENSEL (1950) an, dass die Temperaturempfindung eine Funktion der Hauttemperatur, ihrer Änderungsgeschwindigkeit und der Größe der Reizfläche ist. Letztere ist insbesondere deshalb von Bedeutung, weil die Dichte und Verteilung der Thermorezeptoren am Körper variiert (vgl. Abb. 3.5) und die Temperaturempfindung mit der Anzahl der gereizten Thermorezeptoren zunimmt. Abbildung 3.5 zeigt auch, dass sich die meisten Kaltpunkte im Bereich des Körperkerns befinden, wodurch die peripheren

Bereiche (Arme und Beine) auskühlen können, ohne dass der Mensch unerträglich friert.

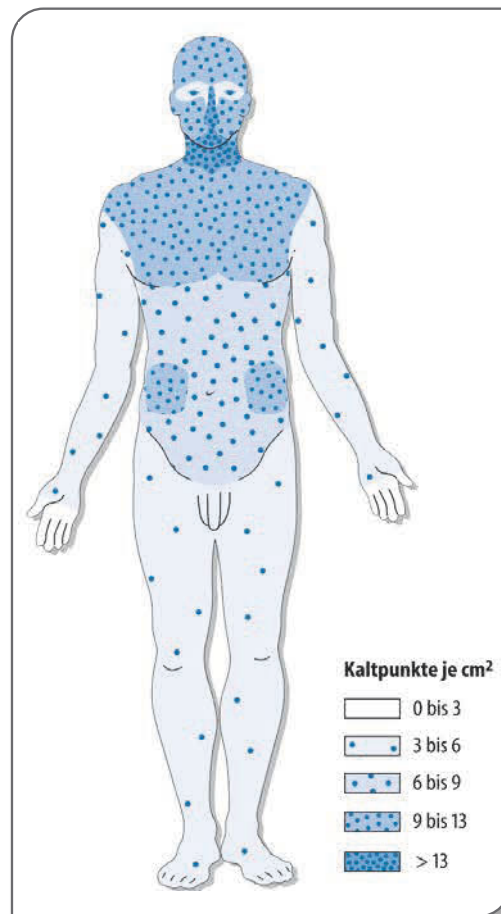


Abb. 3.5: Verteilung der Kaltpunkte je cm<sup>2</sup> Körperoberfläche (PERSSON, 2007)

### 3.2 Physiologische Beanspruchungsreaktionen des Herz-Kreislaufsystems

Das Herz-Kreislaufsystem reagiert durch die Veränderung der Herzschlagfrequenz und des Blutdrucks auf äußere Belastungen, wodurch diese Werte in der Arbeitswissenschaft als die wesentlichen Beanspruchungsparameter angesehen werden. Zur Interpretation und Beurteilung ermittelter Werte ist es unerlässlich, ein Verständnis für die Regulationsmechanismen (ggf. als Antwort auf eine äußere Belastung), die Einflussfaktoren und die Grenzen der Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems zu entwickeln.

Das Herz – als Motor des Herz-Kreislaufsystems – ist ein Hohlmuskel, der die nötige mechanische Energie liefert, um den Organismus über den Körperkreislauf mit

Blut zu versorgen und das Blut im Lungenkreislauf mit Sauerstoff zu beladen. Nach FRÖMKE (2006) ist die Versorgung des Organismus mit Sauerstoff neben der Wärmeregulierung und der Verteilung von Hormonen die wichtigste Aufgabe des Herz-Kreislaufsystems. Durch den rhythmischen Wechsel der Herzkammern zwischen Kontraktion (Systole) und Erschlaffung (Diastole) entsteht eine Pumpwirkung, die während der Systole das im Herzen befindliche venöse Blut in den Lungenkreislauf befördert und arterielles Blut über die Aorta in den Körperkreislauf pumpt. In der Entspannungs- bzw. Füllungsphase, der sog. Diastole, füllen sich die einzelnen Herzkammern erneut mit Blut, während Taschenklappen verhindern, dass das Blut an der Einmündung der Aorta und der Lungenarterie aus dem Körperkreislauf zurück in das Herz fließt (vgl. BEHRENDTS et al., 2010; SILBERNAGL & LANG, 1998). Arterien und Arteriolen versorgen in dem vom Herzen wegführenden Verteilersystem die einzelnen Organe mit sauerstoffreichem Blut. Das sauerstoffarme Blut wird wiederum über das zum Herzen hinführende Venensystem zur rechten Herzhälfte und von dort aus wieder zurück zur Lunge transportiert. In der Lunge erfolgen die Sättigung des Blutes mit Sauerstoff und der Abtransport von CO<sub>2</sub>, bevor der erneute Rückfluss in die linke Herzhälfte stattfindet. Die Häufigkeit der Herzkontraktionen sowie der dabei entstehende Druck, mit dem das Blut durch den Körper gepumpt wird, lässt sich durch die Beanspruchungsparameter Herzschlagfrequenz und Blutdruck darstellen (vgl. FRÖMKE, 2006).

### *3.2.1 Herzschlagfrequenz als globaler Beanspruchungsparameter*

Die Herzschlagfrequenz (HSF) ist die Anzahl der Herzkontraktionen pro Zeiteinheit (Minute) und nach TOMASITS & HABER (2008) der am einfachsten zu registrierende physiologische Beanspruchungsparameter. Unter einer gegebenen Belastung nimmt die HSF linear mit der Belastungshöhe zu, bis der individuelle Maximalwert erreicht wird. Die maximale Herzschlagfrequenz (HSF<sub>max</sub>) ist unabhängig vom Geschlecht und den Körpermaßen, zeigt aber eine Abhängigkeit vom Alter, wodurch sich die maximale HSF durch die häufig verwendete Formel 3.5 nach FOX et al. (1971) abschätzen lässt.

$$HSF_{max} = 220 - \text{Alter [Jahren]} \quad (3.5)$$

Bei der dargestellten Formel werden allerdings die Personen oberhalb des 40. Lebensjahres unterschätzt, sodass die von WHALEY et al. (1992) sowie TANAKA et al. (2001) empfohlene Formel 3.6 ein genaueres Ergebnis liefern sollte.

$$HSF_{max} = 208 - (0,7 \times \text{Alter [Jahren]}) \quad (3.6)$$

Es muss allerdings beachtet werden, dass die mathematisch ermittelte  $HSF_{max}$  lediglich einen mittleren statistischen Schätzwert abbildet, der im Einzelfall erheblich in beide Richtungen abweichen kann. Die Höhe der maximalen HSF ist kein Indikator für die sportliche Leistungsfähigkeit, vielmehr signalisiert das Herz-Kreislaufsystem damit, dass es an seinen Grenzen angelangt ist. Um detaillierte Informationen über diese Größe zu erhalten, ist eine ergometrische Ermittlung notwendig (vgl. SUCH & MEYER, 2010). Die maximale HSF ist für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen allerdings nur dahingehend von Bedeutung, dass damit die prozentuale Ausschöpfung der individuellen Herzschlagfrequenzkapazität ermittelt werden kann.

In der Arbeitsphysiologie stellt die erstmals von KARRASCH & MÜLLER (1951) definierte Dauerleistungsgrenze (DLG) das wesentlich bedeutendere Maß dar, die von ROHMERT (1973) auf den Verlauf der HSF bei schwerer dynamischer Arbeit adaptiert wurde (vgl. Abb. 3.6). Die HSF scheint nach ROHMERT (1973) ein beinahe idealer Indikator für die Beurteilung der physischen Beanspruchung zu sein, weil sie ein indirektes Maß für die Muskeldurchblutung ist. Bei Belastungen unterhalb oder an der DLG steigt die HSF mit Arbeitsbeginn leicht an und erreicht nach kurzer Zeit ein sog. „steady state“. Nach dem Arbeitsende fällt die HSF relativ schnell wieder auf die Ruhepulsfrequenz ab. Bei Belastungen oberhalb der DLG erreicht die HSF nach einem anfänglichen steilen Anstieg kein „steady state“ mehr, sondern steigt nach weiterer Tätigkeitsausführung kontinuierlich mit der Zeit an und kehrt nach dem Arbeitsende nur verzögert zu ihrem Ausgangswert zurück. Demnach lässt sich aus dem Verhalten der HSF während der Tätigkeitsausführung und dem Verhalten nach Arbeitsende eine Beurteilung der physischen Beanspruchung ablesen. In Abhängigkeit der Körperposition liegt die DLG für allseitig dynamische Muskelarbeit nach STRASSER (1986) im Stehen bei 30 Schlägen/min, im Sitzen bei 35 Schlägen/min und im Liegen bei

40 Schlägen/min oberhalb des Ruhepulses. Arbeitsbedingte Herzschlagfrequenzerhöhungen werden als Arbeitspulsfrequenz (APF) bezeichnet und definieren sich durch die aktuelle Pulsfrequenz abzüglich der Ruhepulsfrequenz (RPF) (vgl. GRANDJEAN, 1991; HETTINGER & MÜLLER, 1985). Die mittlere RPF eines erwachsenen Menschen beträgt 60-80 Schläge/min, wengleich physische und psychische Faktoren hier eine gewichtige Rolle spielen. So nimmt die RPF mit zunehmendem Alter ab und der Wert der Frauen liegt in der Regel über dem von Männern, wobei auch der Trainingszustand einen großen Einfluss nimmt. Das heißt, dass trainierte Menschen eine deutlich niedrigere Ruhepulsfrequenz (<50 Schläge/min) aufweisen als weniger trainierte (vgl. SAMMITO et al., 2016). Für die Herzschläge, die im Verlauf einer Erholungspause nach einer Arbeitsbelastung notwendig sind, um sich wieder auf die Ruhepulsfrequenz einzustellen, wird der Terminus Erholungs-Puls-Summe (EPS) verwendet. Auch die EPS wird durch regelmäßiges Ausdauertraining positiv beeinflusst. Die Anpassung der Herzschlagfrequenz als Antwort auf eine Kälteexposition wird ausführlich in Abschnitt 4.2 erläutert.

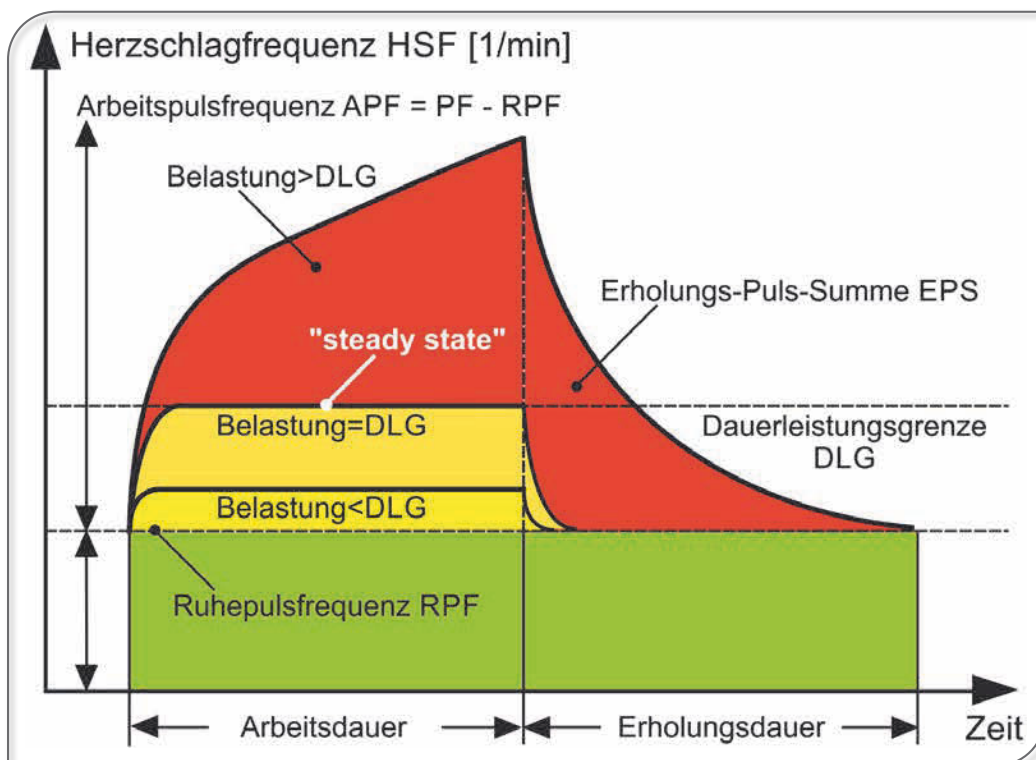


Abb. 3.6: Verlauf der Herzschlagfrequenz an, unterhalb und oberhalb der Dauerleistungsgrenze bei schwerer dynamischer Muskelarbeit (modifiziert nach ROHMERT, 1973)

### *3.2.2 Arterieller Blutdruck*

Damit das Blut, das durch einen Herzschlag in die Arterien gedrückt wird, alle Organe, Kapillargefäße, Muskeln, Knochen und die Haut im Körperkreislauf erreichen kann, muss es mit einem bestimmten Druck, dem sog. Blutdruck, gepumpt werden. Ohne diesen Druck könnten die Organe nur unzureichend mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt und Abfallprodukte nicht ausgeschieden werden. Unter körperlicher Ruhe nimmt das Herz mit jeder Diastole ca. 70-80 ml aus den herznahen Venen auf und drückt es mit jeder Systole in die Arterien (Schlagvolumen). In der Folge steigt der Druck in den Arterien des großen Kreislaufs auf über 100 mmHg. Die relativ geringe Dehnbarkeit der Arterien und der hohe Strömungswiderstand in den peripheren Abschnitten des Arteriensystems (sog. Widerstandsgefäße) sorgen für den hohen Druck. Hiervon ausgenommen ist die thorakale Aorta, die zahlreiche elastische Fasern enthält und sich deshalb durch eine große Dehnbarkeit kennzeichnet. Durch die Aufweitung der thorakalen Aorta während der Systole wird der Druckanstieg gedämpft und Schwankungen der Blutströmung gemildert. Hierdurch tritt der sog. Windkessel-effekt ein, durch den der vom Herzen diskontinuierlich geförderte Blutstrom in einen kontinuierlichen Blutfluss umgewandelt wird. Hat das vom Herzen geförderte Volumen die Widerstandsgefäße passiert, kehrt es über die kleinsten Gefäße des Austauschsystems (Kapillaren) wieder in das venöse System zurück. Dieser Vorgang erzeugt die für den Kreislauf notwendige Druckdifferenz zwischen den Arterien und den Venen, der sich bei körperlicher Ruhe etwa 60-80 mal in der Minute – ausgedrückt durch die Herzschlagfrequenz – wiederholt (vgl. BEHRENDTS et al., 2010; EHMKE, 2010).

Nach SEIBT & SCHEUCH (1998) ist der arterielle Blutdruck aus arbeitsphysiologischer Sicht eine quantifizierbare Beanspruchungsgröße, die eine Beurteilung des Aktivitätszustandes des Herz-Kreislaufsystems während einer Tätigkeitsausführung und in den anschließenden Ruhepausen zulässt. Der leicht zu erfassende Blutdruck hat sich in der Vergangenheit als Indikator für Risikofaktoren von Herz-Kreislauf-Erkrankungen etabliert, der auch für die Erhaltung der Arbeitsfähigkeit von essentieller Bedeutung ist. Aus einer Vielzahl an Studien lässt sich eine Beziehung zwischen dem Blutdruck und kardiovaskulären Erkrankungen (z.B. Schlaganfall, Myokardinfarkt, plötzlicher Herztod, Herzinsuffizienz, periphere arterielle Verschlusskrankheiten) sowie

renalen Endorganschäden (terminale Niereninsuffizienz) herstellen (vgl. u.a. BAER, 2009; MANCIA et al., 2013). So klassifiziert die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V. sowie die Deutsche Hochdruckliga e.V. in ihrer Leitlinie für das Management der arteriellen Hypertonie entsprechend den älteren Ausführungen der WHO den arteriellen Blutdruck in unterschiedliche Kategorien (vgl. Tab. 3.4).

Tab. 3.4: *Definition und Klassifikation des arteriellen Blutdrucks in mmHg entsprechend der Leitlinien für das Management der arteriellen Hypertonie (vgl. MANCIA et al., 2013)*

Kategorie	Systolisch		Diastolisch
Optimal	<120	und	<80
Normal	120-129	und/oder	80-84
Hochnormal	130-139	und/oder	85-89
Hypertonie Grad 1	140-159	und/oder	90-99
Hypertonie Grad 2	160-179	und/oder	100-109
Hypertonie Grad 3	≥180	und/oder	≥110
Isolierte systolische Hypertonie	≥140	und	<90

Die Regulation des arteriellen Blutdrucks ist Teil und Ziel der Kreislaufregulation unter der man die Summe aller Abläufe versteht, durch die alle für die Organdurchblutung wesentlichen hämodynamischen Größen (neben dem arteriellen Blutdruck auch das Herzzeitvolumen, der Strömungswiderstand und das Blutvolumen) aufeinander abgestimmt werden. Selbst in Ruhe sind ständige Anpassungsmechanismen des Kreislaufs notwendig, die allerdings bei erhöhter Stoffwechselaktivität (z.B. bei Muskelarbeit) oder veränderten Umgebungsbedingungen (z.B. Klimaveränderungen) einer gezielten Anpassung bedürfen. Die Anpassung erfolgt durch eine Reihe zentraler Steuerungsvorgänge, die entweder über die vegetativen Nerven (neurogen) oder über zirkulierende Hormone (endokrin) übermittelt werden. Diese Vorgänge werden in der Körperperipherie durch lokal gebildete Wirkstoffe (parakrine) und muskuläre (myogene) Einflüsse verstärkt. Die Regulation des arteriellen Blutdrucks kann durch eine kurzfristige sowie eine mittel- bzw. langfristige Anpassung differenziert erfolgen. Schnelle und kurzfristige Regulationsvorgänge werden von einer neurogenen Regulation über Kreislaufreflexe dominiert, die nach dem Prinzip des Regelkreises mit nega-

tiver Rückkopplung funktionieren. Diese Reflexe treten innerhalb von wenigen Sekunden ein, sind zu Beginn stark wirksam, schwächen sich aber im Verlauf immer weiter ab. Die an diesem Mechanismus beteiligten Sensoren sind Pressorezeptoren und Chemorezeptoren, die u.a. im Bereich der Aorta und Arteria carotis lokalisiert sind, sowie im rechten Vorhof des Herzen befindliche Volumenrezeptoren. Bei der längerfristigen Blutdruckregulation sind neben den nervalen Mechanismen auch Hormone, intrarenale Mechanismen sowie Wachstumsprozesse des Gefäßsystems und des Herzens beteiligt. Für eine langfristige Einstellung des arteriellen Blutdrucks sind vor allem die funktionellen Beziehungen zwischen Blutdruckregulation und dem Salz-Wasser-Haushalt wesentlich, das heißt, die Mechanismen greifen in den Wasser- und Elektrolythaushalt ein und beeinflussen so den Blutdruck über das Blutvolumen (vgl. BEHRENDTS et al., 2010; EHMKE, 2010).

Unter körperlicher Belastung wird der Sympathikus aktiviert, was wiederum den systolischen Blutdruck ansteigen lässt, während der diastolische Blutdruck annähernd konstant bleibt oder gar absinkt. Ursächlich hierfür ist die Dilatation der Blutgefäße in der arbeitenden Skelettmuskulatur, wodurch der totale periphere Widerstand gleich bleibt oder sogar kleiner wird. Hierdurch ergibt sich ein Anstieg des arteriellen Mitteldrucks (als Differenz zwischen Systole und Diastole) bei körperlicher Belastung. Da die Dilatation der Widerstandsgefäße in den Armen den totalen peripheren Widerstand weniger stark absenken kann als die Dilatation der Widerstandsgefäße in den Beinen, kann man bei Armarbeit einen stärkeren Blutdruckanstieg beobachten als bei Beinarbeit (vgl. BEHRENDTS et al., 2010; FRIEDRICH, 2007). Das Verhalten des arteriellen Blutdrucks in Kälte wird ausführlich in Abschnitt 4.2 erläutert.



### 3.3 Energieumsatz als Belastungsparameter zur Bestimmung der Arbeitsschwere

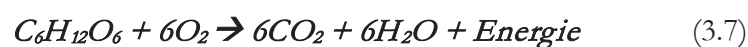
Entsprechend der DIN EN ISO 8996 (2004) ist der (körpereigene) Energieumsatz bzw. die körpereigene Energieerzeugung, als Umwandlung von chemischer in mechanische und thermische Energie, ein Maß für den Energieaufwand der Muskelarbeit und ermöglicht es so, gewissen Tätigkeiten eine numerische Kennziffer u.a. als Maß für die Belastung zuzuordnen. Auch das umgebende Klima beeinflusst den Energieumsatz, weshalb Kälteexpositionen zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur mit einer gesteigerten Wärmeproduktion und somit einem gesteigerten Energieumsatz einhergehen. Nicht zu vernachlässigen ist in diesem Zusammenhang der Einfluss der zum Teil schweren Kälteschutzkleidung auf den Energieumsatz des Menschen. Hierdurch wird während der Tätigkeitsausführung (bspw. beim Heben, Tragen und Umsetzen von Warenpaketen) durch die schwere Kleidung vom Körper eine deutlich höhere Blindleistung abverlangt (siehe hierzu auch STRASSER, 1993), was sich wiederum in einem erhöhten Energieumsatz niederschlägt. RINTAMÄKI (2007) quantifizierte jedes zusätzliche kg Kleidergewicht mit einer Steigerung des Energieumsatzes um 3%. Auch in einer im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsvorhabens durchgeführten Ergänzungsstudie von GEESE (2012), konnte ein gesteigerter Energieumsatz beim Tragen der bis zu 5 kg schweren Kälteschutzkleidung im Vergleich zu handelsüblicher Sportkleidung festgestellt werden. GEBHARDT & MÜLLER (2000) fassten für verschiedene Tätigkeiten in Kälte die Brutto-Energieumsätze zusammen, die eine erste Orientierung über das Maß „Energieumsatz“ als Belastungsparameter liefern sollten (vgl. Tab. 3.5). Für ein tiefergehendes Verständnis zur Interpretation der im Rahmen der Feldstudie gewonnenen Erkenntnisse, ist jedoch ein Grundwissen über die im Folgenden beschriebenen Energieumsatzgrößen sowie die Verfahren zur Bestimmung des Energieumsatzes zwingend notwendig.

Tab. 3.5: Abschätzung der Brutto-Energieumsätze für unterschiedliche Tätigkeiten in Kälte (modifiziert nach GEBHARDT & MÜLLER, 2000; PENZKOFER, 2013)

Beispiel für Kältearbeit	Brutto-Energieumsatz je Arbeitsaufgabe [W]	Brutto-Energieumsatz je Arbeitsaufgabe [kcal/h]	Arbeitsschweregrad in Abhängigkeit vom Brutto-Energieumsatz
Überwachung von Anlagen, Kontrolltätigkeiten	180	155	leichte Arbeit
Maschinenbetätigung, Transport von Gefriergut mit einem Gabelstapler	240	206	mittelschwere Arbeit
Transporte mit handbetriebenen Flurförderfahrzeugen, Verpackungsarbeiten, manuelles Sortieren	300	258	schwere Arbeit
Palettieren und Kommissionieren mäßig schwerer Einheiten	360	310	
Manuelle Beladearbeiten und Entladearbeiten, Palettieren und Kommissionieren schwerer Einheiten	400	344	schwerste Arbeit

### 3.3.1 Energieumsatzgrößen

Zwischen der Energieaufnahme durch Nahrung und dem Energieverbrauch durch geleistete Arbeit, Wärmeproduktion oder andere Prozesse entsteht eine Differenz, die sog. Energiebilanz. **Energie (Einheit Joule [J])** ist dabei im physikalischen Sinne die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten. Eine spezielle Energieform stellt die **Wärme (Einheit Kalorie [cal])** dar, da sie mit der ungeordneten Bewegung, der sog. Wärmebewegung der Moleküle, unmittelbar verknüpft ist. Die Temperatur ist hierbei das Maß für die kinetische Energie der Moleküle. Zur Bereitstellung der benötigten Energie im menschlichen Körper dient die Nahrung in Form von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen mit jeweils unterschiedlichem Energiegehalt. Die Energieausbeute der Nährstoffe kann, wie bei der direkten Kalorimetrie angewandt (siehe Abschnitt 3.3.2), auch aus dem Sauerstoffverbrauch abgeleitet werden, denn die wichtigsten Ausgangsprodukte des Stoffwechsels sind Glucose und Sauerstoff (vgl. KEUL & BERG, 1986). Gemäß der Gleichung 3.7



entstehen aus den beiden genannten Ausgangsprodukten im Körper die Stoffwechselprodukte Kohlensäure und Wasser, wobei die für die Körperfunktion benötigte Energie frei wird (vgl. ÅSTRAND & RODAHL, 1970). Wichtige Größen im Zusammenhang mit der Bestimmung des Energieumsatzes sind das Kalorische Äquivalent und der Respiratorische Quotient.

Das **Kalorische Äquivalent (KÄ)** [kJ/IO<sub>2</sub>] eines Substrats ist der Quotient aus der bei der vollständigen Oxidation freiwerdenden Energie und der hierfür aufgenommenen Sauerstoffmenge (vgl. Gleichung 3.8).

$$K\ddot{A} = \frac{\text{Energiefreisetzung}}{\text{Sauerstoffverbrauch}} = \frac{\Delta E}{\dot{V}_{O_2}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{IO}_2} \right] \quad (3.8)$$

Da die Nahrungsbestandteile Kohlenhydrate (21,4 kJ/IO<sub>2</sub>), Fett (19,6 kJ/IO<sub>2</sub>) und Proteine (18,8 kJ/IO<sub>2</sub>) unterschiedliche kalorische Äquivalente aufweisen und zum Zeitpunkt der Verbrennung nicht genau bekannt ist, welcher Stoff gerade verbrannt wird, ist für die Bestimmung des Energieverbrauchs ein Mittelwert anzunehmen, der bei Mischkost in etwa 20,2 kJ/IO<sub>2</sub> beträgt (vgl. u.a. BEHRENDTS et al., 2010; PERSSON, 2007; ULMER, 1997).

Mit dem **Respiratorischen Quotienten (RQ)** lässt sich über das Verhältnis der abgeatmeten CO<sub>2</sub>-Menge zur aufgenommenen O<sub>2</sub>-Menge jedoch in etwa abschätzen, welche Nährstoffe am Energieumsatz beteiligt sind (vgl. Gleichung 3.9).

$$RQ = \frac{\text{CO}_2\text{-Abgabe}}{\text{O}_2\text{-Aufnahme}} = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{O_2}} \quad (3.9)$$

Für reine Kohlenhydrate ergibt sich gemäß der Formel 3.5 ein RQ von 1, für Fett ist es 0,7, da für die Verbrennung von Fetten mehr Sauerstoff benötigt wird. Für Proteine (Eiweiß) liegt der RQ bei 0,85, einem Wert, der dem durchschnittlichen mitteleuropäischen RQ von 0,82 sehr nahe kommt. In Kenntnis des RQ kann mittels der u.a. von Bartsch (2017) angegebenen Gleichung 3.10 und der hierdurch aufgestellten Zusammenhänge bei der Oxidation von Kohlenhydraten und Fett auch das entsprechende Kalorische Äquivalent bestimmt werden.

$$K\ddot{A} = 5,16 \frac{\text{kJ}}{\text{l}} \cdot RQ + 16 \frac{\text{kJ}}{\text{l}} \quad (3.10)$$

Wird dieser Wert wiederum mit der Sauerstoffaufnahme über die Zeit multipliziert, erhält man den Energieumsatz (vgl. u.a. BEHRENDTS et al., 2010; PERSSON, 2007; PICHOTKA, 1985). Der Energieumsatz setzt sich, wie Abbildung 3.7 zeigt, aus den Komponenten nahrungsinduzierte Thermogenese, Grundumsatz, Freizeitenergieumsatz und Arbeitsenergieumsatz zusammen.

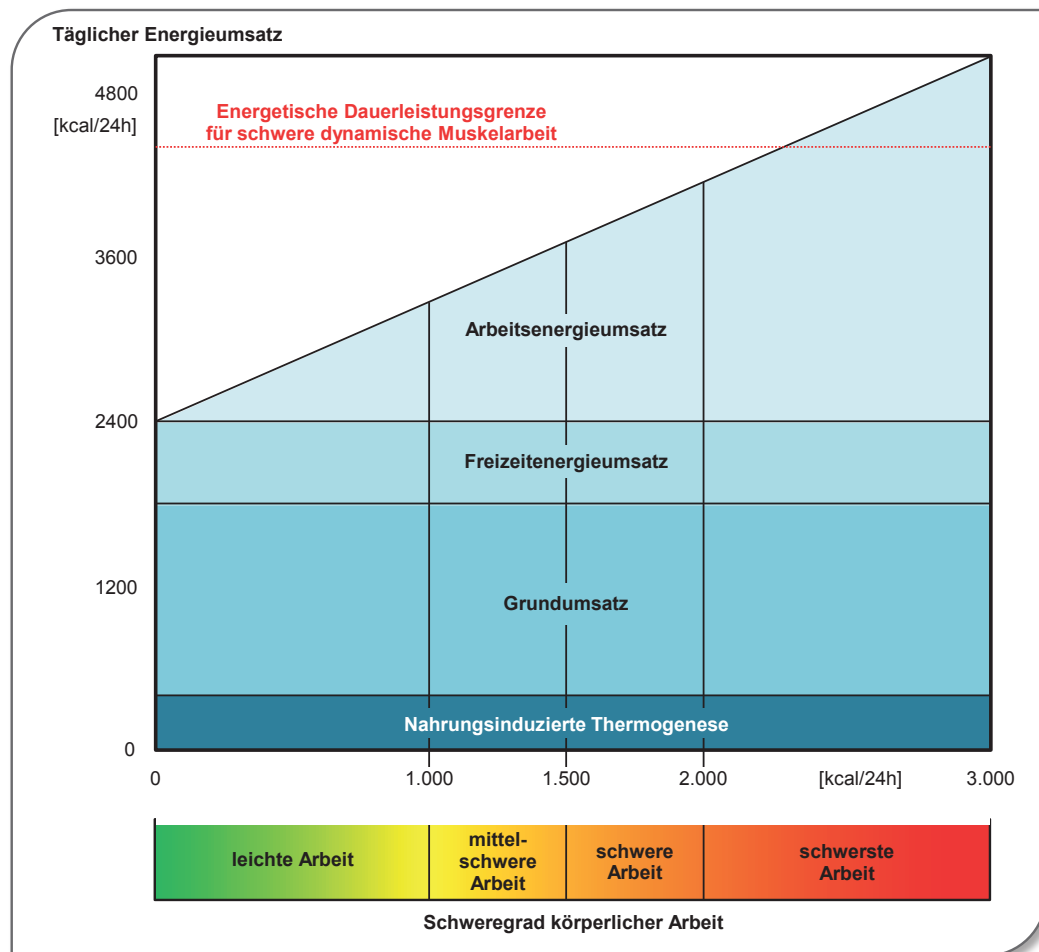


Abb. 3.7: Zusammensetzung des täglichen Energieverbrauchs in Abhängigkeit der Arbeitsbelastung (nach HETTINGER et al., 1980; PENZKOFER, 2013)

Die sog. **nahrungsinduzierte Thermogenese** bedingt einen erhöhten Energieumsatz, der sich aus der eigentlichen Nahrungsaufnahme, der benötigten Energie während der Verdauung, und dem Nährstofftransport im Körper zusammensetzt und zu etwa 10% am Energieumsatz des Menschen beteiligt ist. Die genaue Höhe ist allerdings von der Art der aufgenommenen Nahrung abhängig. Nach der Nahrungsaufnahme ist eine vier- bis zwölfstündige Erhöhung des Stoffwechsels zu beobachten, bei

Eiweiß (Proteinen) kann der Wert sogar auf 18 Stunden ansteigen (vgl. ELMADFA & LEITZMANN, 2015; HENSEL, 1985; PICHOTKA, 1985; ULMER, 1997).

Beim **Grundumsatz (GU)** handelt es sich nach ROHMERT & RUTENFRANZ (1983) um den „morgentlichen Ruhe-Nüchternumsatz bei Indifferenztemperatur“, wobei der Definitionsbegriff gleichzeitig die Standardbedingungen bei der Messung angibt. Da der Energieumsatz tageszyklischen Schwankungen unterliegt, mit einem Maximum am Vormittag und einem Minimum während der Nacht- und den frühen Morgenstunden, wird er morgens gemessen. Die Messung sollte während körperlicher und geistiger Ruhe im Liegen erfolgen, da Kopf- und Muskelarbeit den muskulären Energieumsatz steigern. Weiterhin muss die zu vermessende Person nüchtern sein, da nach dem Essen Verdauungsvorgänge einsetzen, die Stoffwechselfvorgänge in Gang setzen, die weitere Energie verbrauchen. Als letztes Kriterium zur Bestimmung des Grundumsatzes gilt die Indifferenztemperatur (Behaglichkeitsbereich), da Kälte den muskulären Energieumsatz erhöht und Wärme die Kreislaufarbeit steigert (vgl. u.a. BIRBAUMER & SCHMIDT, 2006; MAIBÄURL, 2010; PERSSON, 2007). Da diese Bedingungen zur Messung des Grundumsatzes, gerade während der Durchführung von Felduntersuchungen, nur schwer zu gewährleisten sind, kann der Grundumsatz auch auf der Basis bestimmter Parameter mathematisch ermittelt werden. Bereits zum Ende des 19. Jahrhunderts stellte RUBNER (1883) fest, dass der Grundumsatz direkt mit der Körpergröße und nur indirekt mit dem Körpergewicht zusammenhängt. Demnach nimmt das Verhältnis von Kilokalorien pro Kilogramm und Tag mit größer werdendem Gewicht ab, wobei die Körperoberfläche aufgrund der damit verknüpften Wärmeabgabe und somit auch der Wärmebildung direkten Einfluss nimmt. Mehr als drei Jahrzehnte später entwickelten HARRIS & BENEDICT (1918) zwei lineare und damit das Geschlecht einbeziehende Formeln, die anstelle der von RUBNER (1883) angeführten Körperoberfläche die Variablen Alter, Körpergewicht und Körperlänge berücksichtigen. Letztendlich veränderten MIFFLIN et al. (1990) die sog. *Harris-Benedict-Gleichung* dahingehend, dass Schätzungsfehler korrigiert wurden und sich lediglich eine Gleichung mit einer geschlechterdifferenzierenden Variable ergab, die sog. *Mifflin-St.Jeor-Formel* (vgl. Gleichung 3.11).

$$GU_{m/w} = (9,99 \cdot w + 6,25 \cdot h - 4,92 \cdot a + 166 \cdot x - 161) \left[ \frac{\text{kcal}}{24\text{h}} \right] \quad (3.11)$$

mit  $GU_{m/w}$  = Grundumsatz Mann/Frau  
 $w$  = Körpergewicht (weight) [kg]  
 $h$  = Körperlänge (height) [cm]  
 $a$  = Lebensalter (age) [Jahre]  
 $x$  = geschlechtsdifferenzierende Variable (1 für Männer; 0 für Frauen)

Die Organe des menschlichen Körpers haben unterschiedliche Anteile am gesamten Grundumsatz, wobei vorrangig die Skelettmuskulatur, das Gehirn und die Leber beteiligt sind (vgl. Abb 3.8). Bei Betrachtung des organspezifischen Energieverbrauchs (Energieverbrauch pro Organgewicht und Zeit), gemessen am spezifischen O<sub>2</sub>-Verbrauch, fällt jedoch auf, dass die Skelettmuskulatur einen wesentlich geringeren spezifischen Energieverbrauch aufweist als die inneren Organe. Auch wenn der spezifische Energieverbrauch von Gehirn, Leber, Herz und Nieren in Ruhe ca. 10-20 mal höher ist als derjenige der Skelettmuskulatur, macht letztere aufgrund ihrer im Vergleich großen Masse dennoch den Hauptanteil am Grundumsatz aus (vgl. BEHRENDTS et al., 2010).

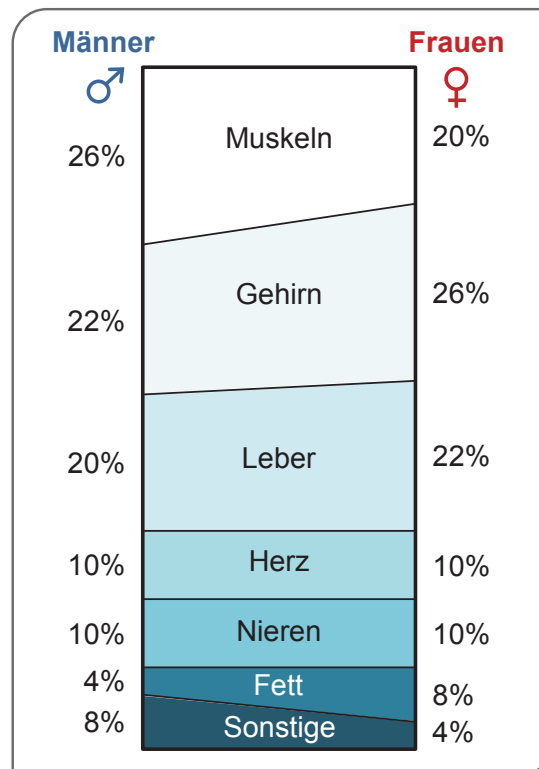


Abb. 3.8: Prozentualer Anteil der Organe am Grundumsatz erwachsener Frauen und Männer im Alter zwischen 22 und 31 Jahren (modifiziert nach BEHRENDTS et al., 2010)

Analog zur zuvor vorgestellten geschlechtsabhängigen prozentualen Organbeteiligung am Grundumsatz konnten Untersuchungen von BOOTHBY et al. (1936) feststellen, dass der Grundumsatz bei Frauen trotz gleicher Ausgangsbedingungen um ca. 10% geringer ist als bei Männern. Nach ULMER (1997) liegt der Grundumsatz eines ca. 70 kg schweren Mannes bei ca. 1700 kcal/24h, der einer gleichgewichtigen Frau bei lediglich ca. 1500 kcal/24h, was durch die geschlechtsdifferenzierende Variable in Formel 3.6 von MIFFLIN et al. (1990) Berücksichtigung findet. Nach BOOTHBY et al. (1936) weist der Grundumsatz auch einen Altersgang auf, der mit einer Abnahme von ca. 10% (Frauen) und ca. 20% (Männer) zwischen dem 20. und 60. Lebensjahr einhergeht.

Der **Freizeitenergieumsatz** bezeichnet den Bedarf eines nicht körperlich arbeitenden Menschen, bspw. einer Person, die ausschließlich am Schreibtisch arbeitet, und repräsentiert somit zusammen mit dem Grundumsatz und der nahrungsinduzierten Thermogenese den Gesamtumsatz weiterer Bevölkerungskreise. Aber auch bei geistiger Arbeit kann man eine Zunahme des Energieumsatzes beobachten, der allerdings nur zu einem geringen Teil durch die höhere Aktivität des Gehirns bedingt ist. Vielmehr liegt der größte Teil der Zunahme in der reflektorisch erhöhten Grundspannung der Muskulatur begründet, also einem erhöhten Muskeltonus. Der Gesamtumsatz körperlich nicht arbeitender Menschen beläuft sich demnach bei Männern auf ca. 2300 kcal und bei Frauen auf etwa 2100 kcal pro Tag (vgl. BIRBAUMER & SCHMIDT, 2006; PERSSON 2007; ULMER, 1997).

Mit dem **Arbeitsenergieumsatz** wird der aktivitätsabhängige Energieverbrauch bezeichnet, der in einer nahezu linearen Beziehung zur erbrachten Leistung steht und von der Art und der Dauer der Aktivität abhängt. Auf einen 8-stündigen Arbeitstag bezogen, kann vom Mann ein Arbeitsenergieumsatz von ca. 2000 kcal (8400 kJ) erbracht werden. Der Wert für die Frau liegt bei ca. 1333 kcal (5600 kJ). Das entspricht einer geschlechtsspezifischen Leistungsaufnahme an der Dauerleistungsgrenze von 300 Watt (18kJ/min) respektive 200 Watt (12 kJ/min) (siehe hierzu u.a. STRASSER, 2007b). Von der aufgenommenen Energie wird allerdings nur wenig in mechanische Arbeit umgesetzt, weshalb sich bei isolierter Muskelarbeit ein Wirkungsgrad  $\eta$  von maximal 35%, bei allseitig dynamischer Muskelarbeit lediglich von 25% ergibt. Demnach

werden nur 75 Watt (4,5 kJ/min) bzw. 50 Watt (3 kJ/min) der aufgenommenen Leistung vom Mann bzw. der Frau unter Laborbedingungen wieder an Leistung abgegeben. Nach STRASSER (1986) liegt der Wirkungsgrad industrieller Tätigkeiten bei gerade einmal 5-10%, wodurch an der Dauerleistungsgrenze ein deutlicher Überschuss an Wärme produziert wird, was den Gesamtumsatz (Brutto-Energieumsatz) zu einem maßgeblichen Faktor im Wärmehaushalt macht. Für den geringen Wirkungsgrad bei Muskelarbeit ist im Wesentlichen die Energiebereitstellung verantwortlich, denn der Muskel benötigt zur Kontraktion ausschließlich Adenosintriphosphat (ATP). Da ATP im Muskel allerdings nur in geringen Mengen vorhanden ist, muss dieses bei längeren Aktivitäten ständig produziert werden, was wiederum viel Energie vereinnahmt. Dieser Energieverlust kann anhand der Gleichung 3.7 aus Abschnitt 3.3.1 für 1 Mol Glukose (180 g) beispielhaft abgeleitet werden (vgl. Gleichung 3.12).



1 Mol Glukose liefert 36 Mol ATP, der Energieunterschied zwischen 1 Mol Adenosindiphosphat (ADP) und 1 Mol ATP beträgt ca. 30,5 kJ. Das bedeutet, aus dem Energieinhalt von 1 Mol Glukose (2868 kJ) können lediglich ca. 1100 kJ (36x30,5kJ) an Energie in ATP umgesetzt werden, woraus sich ein Wirkungsgrad von 0,39 ergibt, der sich allein auf die Bereitstellung, also noch ohne jegliche Muskelkontraktion, bezieht und bei isolierter bzw. allseitig dynamischer Muskelarbeit deutlich geringer ausfällt (vgl. BEHRENDIS et al., 2010).

Wie in Abschnitt 3.1.2 beschrieben, führen Kälteexpositionen dazu, dass im menschlichen Körper autonome Regulationsmechanismen in Gang gesetzt werden, um den Wärmeverlust zu kompensieren. Dabei können die willkürlichen Muskelkontraktionen (Kältezittern) den Grundumsatz und somit auch den gesamten Energieumsatz maßgeblich erhöhen. Auch die zitterfreie Thermogenese kann ggf. zu einer Steigerung des Grundumsatzes als Antwort auf eine Absenkung der Umgebungstemperatur beitragen. Die nahrungsinduzierte Thermogenese sowie der Freizeit- und Arbeitsenergieumsatz werden nicht direkt durch Kälte beeinflusst. Allerdings lässt das notwendige Tragen der schweren Kälteschutzkleidung den Arbeitsenergieumsatz ebenfalls ansteigen.



### *3.3.2 Bestimmung des Energieumsatzes*

In dem folgenden Abschnitt soll ein grundsätzliches Wissen um die Bestimmung des Energieumsatzes vermittelt werden. Bei der Messung des Energieumsatzes wird nach ROHMERT & RUTENFRANZ (1983) zunächst zwischen der direkten und der indirekten Kalorimetrie unterschieden. Bei der indirekten Kalorimetrie kommen offene, halboffene und geschlossene spirometrische Systeme zum Einsatz, wobei das hier eingesetzte offene System, kurz vorgestellt werden sollen. Zur Auswertung der ermittelten Parameter dienen dann letztlich die Partial- oder Integralmethode.

#### *Direkte Kalorimetrie*

Der französische Gelehrte Antoine Laurent Lavoisier erfand eine Einrichtung, um den Energieumsatz eines Lebewesens zu messen, das sog. Kalorimeter. Auch wenn es verschiedene Methoden der direkten Kalorimetrie gibt, so beruhen diese auf dem gleichen Prinzip, welches vereinfacht in Abbildung 3.9 dargestellt wird. Eine Testperson verrichtet in einer hochisolierten und luftdichten Kammer körperliche Arbeit, worauf der Körper mit einer gesteigerten Wärmeabgabe reagiert. Diese Wärme wird nach DIN EN ISO 8996 (2004) durch den nicht verdunsteten Wärmeverlust (Strahlung, Konvektion, Leitung) und durch das Verdunsten von Wasser übertragen. Die nicht verdunstete Wärme wird durch ein Wärmetauschersystem von einem Kühlwasserkreislauf aufgenommen und mittels der gemessenen Durchflussmenge und der Temperatur des Kühlwassers bestimmt (sog. Wärmeableitkalorimetrie). Der Wärmeverlust durch Verdunstung verändert den Feuchtigkeitsgehalt der Abluft und wird unabhängig gemessen. Aus der Summe der verdunsteten und nicht verdunsteten Komponenten lässt sich anschließend die gesamte Wärmeleistung des Menschen und daher sein Energieumsatz bestimmen (vgl. u.a. FERRANNINI, 1988).

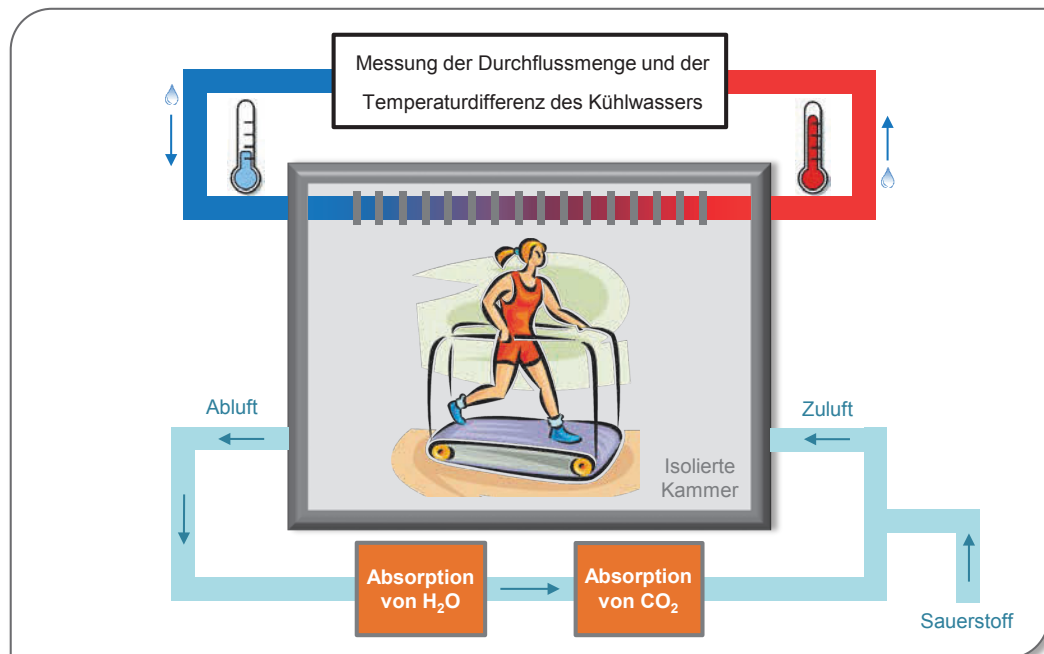


Abb. 3.9: Verfahrensweise zur Bestimmung der Energieaufwendung pro Zeiteinheit mittels direkter Kalorimetrie (modifiziert nach N.N., O.J.)

### Indirekte Kalorimetrie

Das Verfahren der direkten Kalorimetrie ist technisch sehr aufwendig, weshalb in der Regel das Verfahren der indirekten Kalorimetrie als Alternative benutzt wird (vgl. KLINGENSPOR, 2013). Hierbei wird der Energieumsatz aus der Sauerstoffaufnahme des getesteten Menschen auf die von HILL & LUPTON (1923) gewonnenen Erkenntnisse über den Zusammenhang von Sauerstoffverbrauch und körperlicher Leistung abgeleitet. Ist die genaue Zusammensetzung der verbrannten Nahrung und damit das in Abschnitt 3.3.1 beschriebene Kalorische Äquivalent (KÄ) bekannt, kann die Energiefreisetzung durch Umstellung der Gleichung 3.8 bestimmt werden (vgl. PERSSON, 2007). Moderne Spirometriesysteme sind hochkomplexe Systeme, die u.a. die Ermittlung der Nahrungszusammensetzung übernehmen, indem sie die Anteile von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> in der Atemluft analysieren und hieraus den in Abschnitt 3.3.1 beschriebenen Respiratorischen Quotienten ableiten, aus dem wiederum über das KÄ der Energieumsatz bestimmt werden kann.

### *Offenes Spirometriesystem zur Leistungsdiagnostik*

Heutzutage kommen wegen der geringen Baugröße, der für die Testpersonen angenehmeren Messbedingungen und der günstigeren hygienischen Verhältnisse vermehrt offene Spirometriesysteme zum Einsatz, wobei in der Vergangenheit noch geschlossene (z.B. Glockenspirometer) oder halboffene (Keilbalg-Spirometer) Systeme die Vorherrschaft in der Leistungsdiagnostik hatten. Bei der offenen Messmethodik strömt die Atemluft, die aus der freien Atmosphäre gezogen wird, in der Regel über einen ventillosen Flussensor (Pneumotachograph). Der Sensor misst den Atemstrom und bildet mittels elektrischer Integration ein Volumensignal, gleichzeitig werden aus der ausgeatmeten Luft die O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Fraktionen bestimmt. Wird während der Testdurchführung Arbeit geleistet, so nennt sich die Bestimmung von Ventilation und Gasaustausch auch Ergospirometrie. Ein Ergospirometriesystem, welches im klassischen Fall im Labor mittels eines Belastungsgeräts (Ergometer) Anwendung findet, aber bspw. auch für arbeitsphysiologische Untersuchungen mobil im Feld eingesetzt werden kann, besteht aus einem Sensor zur Bestimmung der Ventilation, Gasanalytoren für O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> sowie einem im Spirometer integrierten Mikroprozessor oder PC zur Online-Erfassung und Auswertung der Messdaten (vgl. BUSS et al., 2017; PERSSON, 2007). Bei dem in der vorliegenden Felduntersuchung eingesetzten mobilen Ergospirometriesystem kam das „offene“ Atemzug-zu-Atemzug-Verfahren (auch Breath-by-Breath-Verfahren) zum Einsatz, welches in Abschnitt 6.2.5 für das verwendete Gerät detailliert beschrieben wird.

### *Partial- und Integralmethode*

Bei der Auswertung der aus einer spirometrischen Untersuchung ermittelten Parameter kommen zur Bestimmung des Energieumsatzes die Partial- oder die Integralmethode zur Anwendung. Nach LEHMANN et al. (1950) kommt es bei Belastungen die unterhalb der DLG stattfinden nach einer kurzen Anpassungsphase (3-5 Minuten nach Arbeitsbeginn) zu einer Gleichgewichtssituation zwischen dem Sauerstoffbedarf und der Sauerstoffaufnahme, weshalb zur Energieumsatzbestimmung die Messung innerhalb der Gleichgewichtsperiode ausreicht. Bei der somit angewandten **Partialmethode** können die nur kurzzeitig erfassten Werte auf die gesamte Belastungsphase extrapoliert werden. Bei schwerer Arbeit, die in der Nähe oder oberhalb der DLG

stattfindet, kann das angestrebte Gleichgewicht nicht mehr hergestellt werden, da der  $O_2$ -Bedarf größer sein kann als das maximale  $O_2$ -Aufnahmevermögen. In der Folge entsteht neben der geringen  $O_2$ -Schuld während der Anlaufphase ein mit der Arbeitszeit ständig steigendes  $O_2$ -Defizit, das nach dem Aufbrauchen der Reserven zwangsläufig zur Erschöpfung führt. In diesem Fall reicht eine Messung während der Gleichgewichtsperiode nicht aus, vielmehr muss eine Messung über den gesamten Zeitraum der Belastungs- und Rekonstruktionsphase stattfinden, dem Anwendungsgebiet der Integralmethode (vgl. LEHMANN et al., 1950; SCHLICK et al., 2010). Abbildung 3.10 stellt neben der jeweiligen Dauer des Respirationsversuches beider Methoden unter anderem auch den Sauerstoff-Ruheverbrauch, das entstehende Sauerstoffdefizit und die Sauerstoffschuld dar und macht damit die Notwendigkeit in der Differenzierung beider Verfahren deutlich.

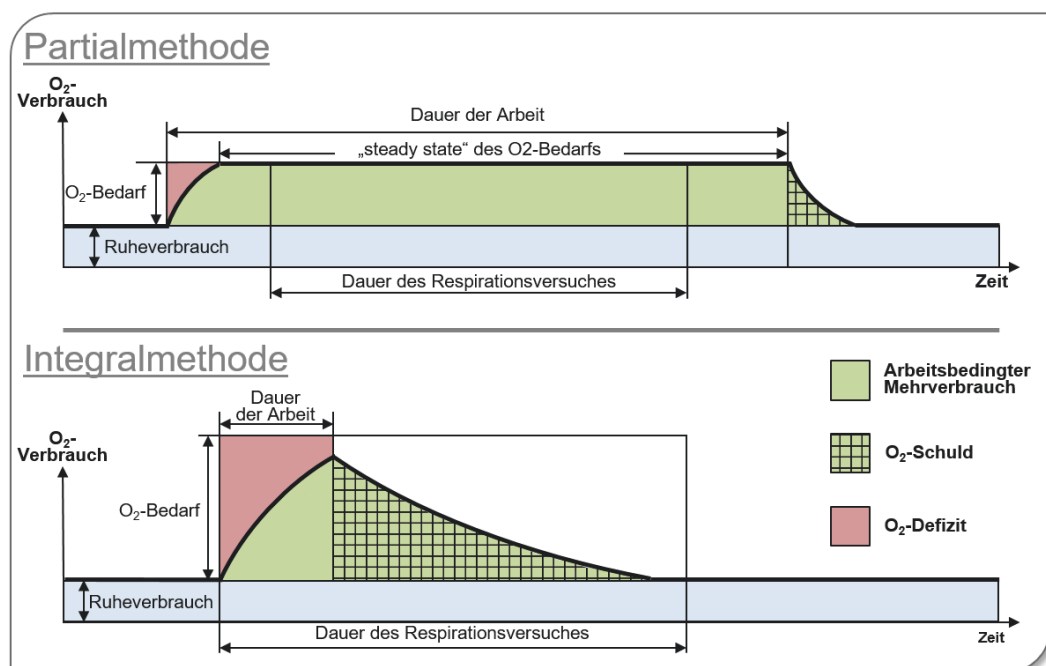


Abb. 3.10: Bestimmung des Energieumsatzes beim Respirationsversuch mittels Partial- und Integralmethode (modifiziert nach MÜLLER & HEISING, 1949)

In Belastungssituationen, die oberhalb der DLG stattfinden und die eigentlich die Anwendung der Partialmethode erfordern, kann es aufgrund nicht beeinflussbarer äußerer Bedingungen dazu kommen, dass eine Messung während der Belastungsphase und der sich anschließenden Erholungsphase nicht möglich ist und somit auf die Integralmethode zurückgegriffen werden muss. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz im

-24°C kalten Tiefkühlager, bei dem die der Umgebung direkt ausgesetzten Komponenten in ihrer Funktionsweise der Kälte nicht Stand halten (siehe hierzu auch PENZKOFER, 2013). Trotz konstruktiver Veränderungen von KOLLMANN (2009), mit denen immerhin eine kontinuierliche Messung von bis zu 30 min bei -24°C gewährleistet werden konnte, ist es daher in bestimmten Fällen notwendig auf die Partialmethode als Analyseverfahren zurückzugreifen. Hierbei stellt sich zwangsläufig die Frage, ob die Anwendung der Partialmethode im Grenzbereich knapp oberhalb der DLG zu reliablen Werten führt. Eine ergänzende Studie von GRIFFEL (2014) analysierte den Fehlerkoeffizienten zwischen den beiden Methoden und kam zu der Erkenntnis, dass eine durchschnittliche Abweichung von ca. zwei Prozent vor allem im Hinblick auf die ohnehin bestehende Messungengenauigkeit, durchaus als gering und daher vernachlässigbar angesehen werden kann.

## 4 Problematik der Kältearbeit unter den besonderen Aspekten Alter und Geschlecht

Im Laufe der Evolution hat es der Mensch verstanden, sich weitestgehend an die klimatischen Gegebenheiten seines Lebensumfeldes anzupassen. Dennoch machen es Abweichungen von der thermischen Komfortzone notwendig, dass geeignete Schutzmaßnahmen eingeleitet werden müssen, zu denen das Aufsuchen warmer Räumlichkeiten oder das Anlegen adäquater Schutzkleidung zählen. Oftmals ist es allerdings nicht möglich, die kalte Umgebung zu verlassen, oder die Schutzkleidung reicht nicht aus, um für ein gesundes Mikroklima unterhalb der Bekleidungsschichten zu sorgen. Viele Bevölkerungsgruppen sind aufgrund der geografischen Lage in der sie leben auf natürliche Weise viele Tage im Jahr einem extremen Klima ausgesetzt, was langfristig zu gesundheitlichen Schäden führen kann (vgl. u.a. KOCHAN et al., 2008; LITTLE & HANNA, 1977; MÄKINEN, 2007). Besonders betroffen sind allerdings Menschen, die zusätzlich beruflich im Freien tätig sind (bspw. Hochseefischer, Bauarbeiter, Forstarbeiter sowie Landwirte) und sich somit täglich aufs Neue den vorherrschenden Bedingungen anpassen müssen. Neben einer in Abhängigkeit von der geografischen Lage bestehenden Bandbreite an Temperaturen sind Arbeiter in der freien Natur zudem Wind, Regen und Schnee ausgesetzt. Aufgrund der Variabilität der klimatischen Bedingungen wird deshalb eine valide Analyse der Auswirkungen auf den Menschen und eine daraus abgeleitete allgemeingültige Definition von Richtlinien für Kältearbeit im Freien deutlich erschwert.

Anders kann hingegen die Arbeit bei künstlich erzeugter Kälte unter standardisierten klimatischen Bedingungen untersucht werden und aus den gewonnenen Ergebnissen können Empfehlungen und Richtlinien abgeleitet werden. Einen besonderen Einfluss auf die arbeitsbedingte Belastung und Beanspruchung während der Kältearbeit haben dabei die genauen Klimafaktoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit) sowie die Schwere der körperlichen Arbeit aufgrund ihrer wärmeerzeugenden Wirkung. Deshalb können Laborstudien (bspw. HÄCKER, 1989; KLEINÖDER, 1988; OZAKI et al., 1998; TOCHIHARA et al., 1995a) sicherlich einer ersten Orientierung dienen, aber nicht an die Qualität und Aussagekraft von Feldstudien heranreichen.

Auch die ausschließlich auf Befragungen basierten Untersuchungen zu arbeits- und kältebedingten Beschwerden (u.a. CHEN et al., 1991; DOVRAT & KATZ-LEURER, 2007; OLIVEIRA et al., 2008 & 2014) haben nur eine beschränkte Aussagekraft über die möglichen langfristigen Folgen von Kältearbeit und den daraus abzuleitenden vorbeugenden Maßnahmen. Fragebogenbasierte Studien können insbesondere dann nicht für die Beurteilung des nach DIN 33403 Teil 5 (1997) definierten Kältebereich IV (-18 bis -30°C) herangezogen werden, wenn die Befragten in Bereichen zwischen -5 und +15°C arbeiten, wie es u.a. in Studien von GRIEFAHN et al. (1997) und SORMUNEN et al. (2009) der Fall ist. Das gleiche gilt zudem auch für Felduntersuchungen, bspw. von ENANDER et al. (1979) in Temperaturbereichen von +4°C bis +10°C oder MÄKINEN (1992) bei +2°C bis +12°C.

Realitätsnahe bzw. arbeitsbegleitende Feldstudien wurden bisher u.a. von FORSTHOFF (1983) durchgeführt, der 4 Kommissionierer und 6 Gabelstaplerfahrer während ihrer Arbeit bei -28°C umfassend untersuchte. WILLIAMSON et al. (1984) erfassten die Hautoberflächentemperaturen und die subjektiven Kälteempfindungen von 8 Kühlhausarbeitern bei -27°C. Auch Gabelstaplerfahrer, die den tiefen Temperaturen meist nicht dauerhaft ausgesetzt sind und zudem keine körperlich schwere Arbeit verrichten, waren häufig Gegenstand von Feldstudien (u.a. GOLBABAEI et al., 2008; MORIOKA et al., 2005; TOCHIHARA et al., 1995b).

Durch schichtbegleitende Analysen an 12 Kommissionierer(innen) in einem Tiefkühlager bei -24°C stellten STRASSER & KLUTH (2008) das subjektive Kälteempfinden sowie die physiologischen Reaktionen in der Körperkern- und Fußsohlentemperatur fest. Zudem wurde die Messung von Herzfrequenz und Blutdruck während der Arbeit und in den Aufwärmphasen vorgenommen (vgl. KLUTH & STRASSER, 2008). Durch die Untersuchungen von KLUTH et al. (2008/2009) und PENZKOFER et al. (2008/2009) wurden erstmalig die Auswirkungen von Kältearbeit auf die physiologisch relevanten Parameter Körperkern- und Hautoberflächentemperatur sowie Herzschlagfrequenz und Blutdruck bei schichtbegleiteten Ganztagsanalysen im Kühlager bei +3°C und Tiefkühlager bei -24°C altersdifferenziert untersucht. Bei allen zuvor erwähnten Feldstudien, mit Ausnahme der Analysen von STRASSER & KLUTH (2008) sowie KLUTH & STRASSER (2008), die allerdings nicht auf eine geschlechterdifferen-

zierte Bewertung abzielten, bestand das Probandenkollektiv ausschließlich aus männlichen Teilnehmern. Dabei zeigte eine von PENZKOFER et al. (2010) durchgeführte Befragung von 128 professionellen Tiefkühlkommissionierer(innen), dass mehr als 50% (n=66) weiblich waren. Vor diesem Hintergrund und der Tatsache, dass immer mehr ältere Menschen, unter ihnen auch eine zunehmende Anzahl an Frauen, in Zukunft körperlich schwere Arbeit in Kälte verrichten werden, sollen im Folgenden neben den bisherigen allgemeinen auch die alters- und geschlechtsdifferenzierten Erkenntnisse über die physiologischen Anpassungs- und Regulationsmechanismen bei Kälteexpositionen von bis zu  $-24^{\circ}\text{C}$  herausgearbeitet werden.

#### **4.1 Mechanismen zur Herstellung einer ausgeglichenen Wärmebilanz bei Kältarbeit**

Durch äußere Einflüsse eingeleitete Wärmeverluste setzen im menschlichen Körper sehr komplexe Mechanismen in Gang, die darauf abzielen, stets eine ausgeglichene Wärmebilanz herzustellen (vgl. Abschnitt 3.1). Sind diese Mechanismen aufgrund individueller Gegebenheiten gestört oder reichen sie nicht mehr aus, kann es in der Folge zu kurz- und langfristigen Schädigungen der Gesundheit kommen. Die Effekte der ebenfalls in Abschnitt 3.1 dargestellten Mechanismen zum Ausgleich von Temperaturverlusten werden neben den natürlichen individuellen Schwankungen zudem in unterschiedlichem Maße von Alter und Geschlecht beeinflusst. Während zu den altersbedingten Einfluss- und Differenzierungsfaktoren in Bezug auf den Wärmehaushalt die Thermoregulation und der Energieumsatz in den vergangenen Jahrzehnten intensiv geforscht wurde, war das Geschlecht weniger häufig in den Fokus wissenschaftlicher Studien gerückt.

##### ***4.1.1 Einfluss des Alters auf die Thermoregulation***

Unter Kältestress werden autonome Regulationsmechanismen in Gang gesetzt (vgl. Abb. 3.2 in Kapitel 3.1.2), die im Idealfall dafür sorgen, den weiteren Wärmeverlust einzustellen oder zumindest zu verringern. Mit dem Alter lassen diese Abwehrmechanismen allerdings nach, und es ist im Allgemeinen bekannt, dass ältere Menschen oftmals nicht in der Lage sind, die Körperkerntemperatur während schwerem Kältestress



konstant zu halten (vgl. u.a. FALK et al., 1994; FRANK et al., 2000; HORVATH et al., 1955; INOUE et al., 1992; KENNEY & ARMSTRONG, 1996; KHAN et al., 1992; WAGNER & HORVATH, 1985a,b). Vor allem die beiden grundlegenden Mechanismen zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur in Kälte – die Vasokonstriktion und das Kältezittern – sind u.a. nach KHAN et al. (1992) und WAGNER et al. (1974) bei älteren Menschen im Vergleich zu Jüngeren weniger effektiv, was im Wesentlichen den folgenden altersbedingten Veränderungen geschuldet ist.

Bei Kälteexpositionen steuert das sympathische Nervensystem die initiale thermoregulatorische Reaktion – die sog. periphere kutane Vasokonstriktion – um die Körperkerntemperatur auf dem Soll-Wert-Niveau zu halten und einer drohenden Hypothermie vorzubeugen (vgl. FOX & EDHOLM, 1963; GREEN & KEPCHAR, 1959). Dabei führen u.a. DEGROOT & KENNEY (2007), FRANK et al. (2000) und THOMPSON & KENNEY (2004) an, dass die Vasokonstriktion in Kälte deutlich durch das Alter eines ansonsten gesunden Menschen beeinträchtigt wird. Auch unter Berücksichtigung altersbedingter Unterschiede in der Körperzusammensetzung und der verhaltensgesteuerten Thermoregulation, die die Vasokonstriktion beeinflussen, ist dennoch eine Einschränkung der reflektorischen Vasokonstriktion bei älteren Menschen feststellbar (DEGROOT et al., 2006; DEGROOT & KENNEY, 2007). Diese abgeschwächte Reduktion der Hautdurchblutung bei älteren Menschen führt zu einem erhöhten Wärmeverlust, der länger anhaltend zu einer Hypothermie führen kann (siehe u.a. COLLINS et al., 1977; DEGROOT & KENNEY, 2007; KENNEY & ARMSTRONG, 1996; THOMPSON & KENNEY, 2004). Es existieren zwar nur wenige Beweise, dass die afferente Thermoregulation durch das Alter beeinflusst wird, dennoch sind die Veränderungen der verhaltensgesteuerten Thermoregulation eingeschränkt. Beispielsweise haben ältere Menschen nach FRANK et al. (2000), NATSUME et al. (1992) und TAYLOR et al. (1995) ein durch reduzierte thermische Sensitivität induziertes eingeschränktes Kälteempfinden. Damit einhergehend ist auch die Schwelle zum Einsetzen der thermoregulatorischen Vasokonstriktion bei älteren Menschen reduziert (vgl. FRANK et al., 2000).

Das Kältezittern und die damit verbundene Steigerung der metabolischen Wärmeproduktion sind weitere wichtige Mechanismen zur Kälteabwehr, denen ein abnehmender Effekt mit zunehmendem Alter zugesprochen wird. Neben einem ohnehin – bedingt durch die natürliche und mit fortschreitendem Alter einsetzende Degeneration der Muskelmasse (sog. Sarkopenie) (vgl. Abb. 4.1 in Abschnitt 4.1.2) – reduzierten Grundumsatz, der zwischen dem 30. und 70. Lebensjahr um ca. 20% abnimmt (vgl. HETTINGER, 1968; POEHLMAN et al., 1994), wird auch die kälteinduzierte metabolische Wärmeproduktion mit fortschreitendem Alter verringert (vgl. hierzu u.a. Abb. 4.1 in Abschnitt 4.1.2 sowie BERNSTEIN et al., 1956; BOOTHBY et al., 1968; HORVATH et al., 1955; KRAG & KOONTZ, 1950; WAGNER et al., 1974). Es gibt allerdings auch Untersuchungen, die keine altersbedingten Veränderungen der metabolischen Wärmeproduktion in Kälte feststellen konnten, insbesondere dann, wenn die untersuchten Gruppen u.a. nach Kriterien der Körperzusammensetzung (Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis, Körperfett, etc.) gruppiert wurden (vgl. u.a. MATHEW et al., 1986; O'HANLON & HORVATH, 1970; WAGNER & HORVATH 1985b). Aus den bisherigen Untersuchungen lässt sich schließen, dass nicht das Alter als solches einen negativen Effekt auf das Kältezittern und die damit verbundene Wärmeproduktion hat, sondern, dass vielmehr die Körperzusammensetzung und dabei insbesondere die fettfreie Körpermasse (Muskeln) eine entscheidende Rolle spielen. In diesem Zusammenhang sei zudem darauf hingewiesen, dass neben den beiden zuvor genannten wesentlichen Mechanismen zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur in Kälte auch das weiße Fettgewebe als isolierender Faktor – und unter Umständen das braune Fettgewebe für die zitterfreie Thermogenese – eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen. Während die Menge weißen Fettgewebes ausschließlich aus den Ernährungsgewohnheiten des Menschen resultiert, und daher nicht direkt vom Alter beeinflusst wird, fanden HANSEN et al. (2016) heraus, dass die Möglichkeit zur Aktivierung braunen Fettgewebes mit dem Alter abnimmt.

Zusammenfassend ist feststellbar, dass das Alter und die damit einhergehenden physiologischen Veränderungen unterschiedliche Auswirkungen auf den Umgang mit einer Kältebelastung haben. Während die Vasokonstriktion und die dadurch bedingte Konservierung von Wärme im Körper unweigerlich mit zunehmendem Alter nachlassen, kann die metabolische Wärmeproduktion durch das Kältezittern der Muskulatur

noch in gewissen Grenzen durch die Steigerung der fettfreien Masse im Körper beeinflusst werden. Aber auch das Gegenteil, nämlich viel Körperfett, zeigt durch seine isolierende Wirkung einen positiven Effekt auf Kälte. Dennoch ist insgesamt anzunehmen, dass der durchschnittliche ältere Mensch, der weder über überdurchschnittlich viel Muskulatur noch zu viel Körperfett verfügt, insbesondere durch die schlechte Vasokonstriktion mehr Körperwärme verliert als ein jüngerer Mensch, was auch durch die Untersuchungen von PENZKOFER (2013) in einem  $-24^{\circ}\text{C}$  kalten Tiefkühlager bestätigt wurde. Hier nahm die am Trommelfell erfasste Körperkerntemperatur der 15 jüngeren männlichen Kommissionierer (20 bis 35 Jahre) in den 80-min, 100-min und 120-min Arbeitsphasen um maximal 1,3 K, 1,4 K und 1,6 K im Vergleich zum morgendlichen Ausgangswert ab. Bei den 15 älteren Apn (40 bis 65 Jahre) waren die Körperkerntemperaturabnahmen im Vergleich um ca. 0,5 K höher, d.h. es zeigten sich mittlere Temperaturverluste um 2,0 K. Am Ende der 120-min Arbeitsphase waren es sogar 2,2 K. Allen gemein war allerdings die Tatsache, dass die 20-min Aufwärmphase nicht ausreichte, um eine vollständige Wiedererwärmung zu erreichen, sodass am Ende noch ein Temperaturdefizit von mindestens 0,3 K bestand (siehe hierzu auch KLUTH et al., 2008). Die von PENZKOFER (2013) erfassten Hautoberflächentemperaturen zeigten vor allem an den Fingern altersbedingte Unterschiede. Größere Abnahmen kamen bei den jüngeren Apn vor, was die Theorie der verminderten Vasokonstriktion und der damit einhergehenden größeren Wärmeverluste des Körperkerns der älteren Apn bestätigt. Der vielfach untersuchte „typische“ Alterseffekt, mit einem geringeren Anstieg der metabolischen Wärmeproduktion und einer verminderten Vasokonstriktion in Kälte, kann sich allerdings auf Männer beschränken, wie einige der wenigen mit Frauen durchgeführten Laboruntersuchungen u.a. von BERNSTEIN et al. (1956) sowie WAGNER & HORVATH (1985b) beweisen. In beiden Untersuchungen verfügten die älteren Frauen über mehr Körperfett und ein geringeres Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis, beides Faktoren, die den Wärmeverlust in Kälte reduzieren. In der Untersuchung von BERNSTEIN et al. (1956) wurden keine Unterschiede der Rektaltemperatur zwischen den jüngeren (21-28 Jahre) und älteren (60-72) Frauen in  $+17^{\circ}\text{C}$  kalter Luft festgestellt. WAGNER & HORVATH (1985b) hingegen konnten bei einer 2-stündigen Exposition in  $+10^{\circ}\text{C}$  kalter Luft sogar eine Abnahme der Rektaltemperatur von 0,2 K

bei jüngeren Frauen feststellen, wohingegen die Temperatur der älteren Frauen konstant blieb. Auch YOUNG (1991) fasst in einem Review über die Alterseffekte in Bezug auf Kältereize zusammen, dass bisherige Untersuchungen eine Benachteiligung älterer Menschen in Kälte feststellten, sich dieser Effekt aber wohlmöglich nur auf Männer beschränkt. Weitere Untersuchungen hierzu sind insbesondere im Hinblick auf eine älter werdende Arbeitsgesellschaft mit wachsendem Frauenanteil zwingend notwendig, weshalb im Folgenden auch die speziellen geschlechtsbedingten Einfluss- und Differenzierungsfaktoren auf Kälteexpositionen dargestellt werden.

#### ***4.1.2 Einfluss des Geschlechts auf die Thermoregulation***

Morphologische und physiologische Unterschiede, insbesondere hinsichtlich der Muskelmasse, der Verteilung und Menge von Körperfett, der Körperoberfläche sowie des Verhältnisses von Körperoberfläche zur Masse und hinsichtlich der Proportionen der Extremitäten, beeinflussen im Wesentlichen die Thermoregulation in einer kalten Umgebung. Da Männer und Frauen in aller Regel geschlechtsspezifisch die genannten Merkmale in unterschiedlicher Ausprägung aufweisen, sind auch deren Eigenschaften zur Wärmebildung und Wärmeerhaltung mehr oder weniger stark ausgeprägt. Die Muskelmasse ist unter körperlicher Arbeit der wesentliche Faktor zur Wärmebildung (siehe Abbildung 3.4 in Abschnitt 3.1.3), d.h. je mehr Muskelmasse vorhanden ist, desto mehr Wärme kann produziert werden. Da Frauen nach HETTINGER (1968) nur etwa 70% der Muskelkraft von Männern besitzen und die Muskelmasse im Mittel nur etwa 36% des Körpergewichtes ausmacht (Männer 42%), muss die Fähigkeit zur Wärmebildung bei Frauen nach BOOTHBY et al. (1936) zwangsläufig schlechter sein (vgl. Abb. 4.1). Körperfett zeichnet sich zwar durch eine isolierende Wirkung aus, allerdings konnte bisher nicht eindeutig belegt werden, ob der prozentual höhere Körperfettanteil bei Frauen zwangsläufig dafür sorgt, dass diese die Körperkerntemperatur unter Kältebelastung besser halten können. MCARDLE et al. (1984) stellten bei ihren Untersuchungen keinen Vorteil für das weibliche Geschlecht durch deren höheren Körperfettanteil unter Ruhebedingungen in kaltem Wasser fest. SLOAN & KEATINGE (1973) hingegen konstatierten durchaus eine reziproke Proportionalität zwischen dem Anteil

an Körperfett und der Abnahme der Körperkerntemperatur während des Schwimmens in kaltem Wasser. BURSE (1979) führt dieses Ergebnis darauf zurück, dass sich die Blutgefäße in der Haut und in der nicht arbeitenden Muskulatur besser verengen können, was wiederum zu einem Vorteil für Menschen mit einem hohen Körperfettanteil führt. Dennoch gibt BURSE (1979) an, dass dieser Vorteil nur wenig dazu beiträgt, die Extremitäten vor Erfrierungen zu schützen, da vor allem die Hände und Füße, die in besonderem Maße gefährdet sind, über einen vergleichsweise geringen Anteil an Körperfett verfügen. Vielmehr sieht er die Extremitäten der Frauen stärker gefährdet, da die in der Regel dünneren Extremitäten der Frauen, aufgrund der dennoch großen Oberfläche, mehr Wärme an die kalte Umgebung abgeben bezogen, auf den zirkulatorischen Wärmeeintrag pro Einheit Gewebemasse. Insgesamt kann das Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis der Frau als benachteiligend angesehen werden, da Frauen zwar lediglich über zwei Drittel der fettfreien „aktiven“, d.h. wärmeerzeugenden Körpermasse von Männern verfügen, ihre Körperoberfläche allerdings nicht im gleichen Verhältnis abnimmt, sondern immer noch durchschnittlich 78 bis 85% der Körperoberfläche von Männern entspricht (DUBOIS & DUBOIS, 1916).

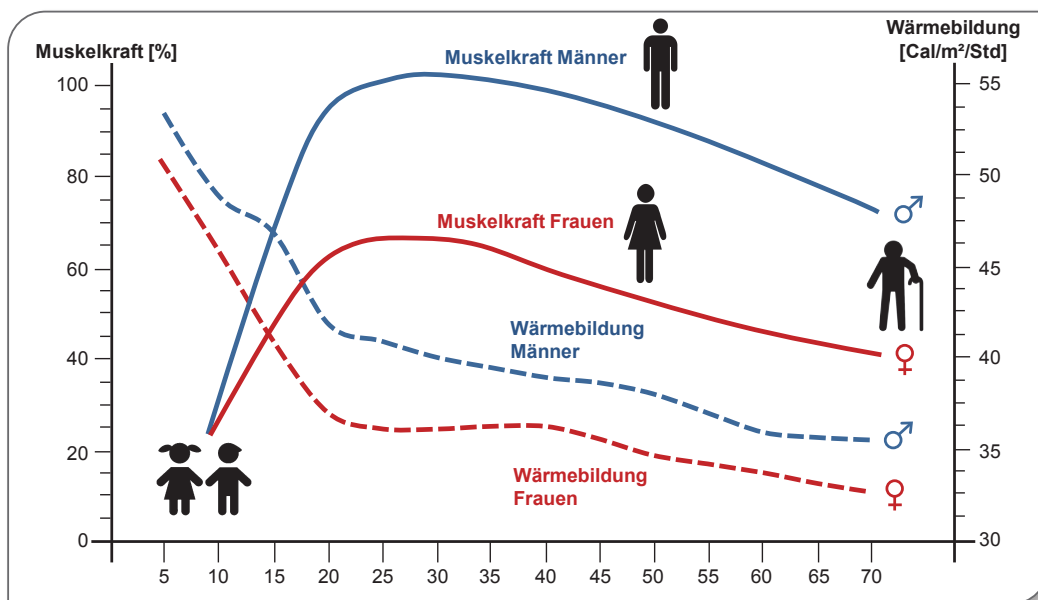


Abb. 4.1: Muskelkraft und Wärmebildungseigenschaften des Menschen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht (modifiziert nach BOOTHBY et al., 1968 und HETTINGER, 1968)

Unter körperlich schwerer Arbeit ist auch die maximale Sauerstoffaufnahme bei Frauen geringer als bei Männern, und damit einhergehend ergibt sich nach ÅSTRAND (1960) eine um ein Drittel reduzierte maximale Wärmeproduktion. Eine Vielzahl an Untersuchungen aus der Vergangenheit belegen allerdings, dass Frauen gegenüber Männern, insbesondere unter körperlicher Arbeit, vor allem in Bezug auf die Wärmebildung und die Erhaltung der Körperkerntemperatur, nicht zwangsläufig schlechter gestellt sind. Zu Beginn einer Tätigkeitsausführung steigt die metabolische Wärmeproduktion beim Menschen an, gefolgt von einem verzögerten und langsamen Wärmeverlust. Die anfängliche Diskrepanz zwischen Wärmebildung und Wärmeverlust führt zu einer Veränderung der Körperwärme, nicht zu verwechseln mit der Körperkerntemperatur. Die Zeit, die vergeht bis sich Wärmebildung und Wärmeverlust bilanziell ausgeglichen haben, bestimmt letztlich die gespeicherte Wärme im Körper, wobei die Veränderung der Körperwärme ebenso zu einer Veränderung der Körperkerntemperatur führt. Damit die Körperkerntemperatur ein steady-state erreicht, muss ein Gleichstand zwischen der Höhe des Wärmeverlustes und der Wärmebildung herrschen (vgl. u.a. BURSE, 1979; GAGGE & GONZALES, 1996). Unter dieser Annahme müssen Frauen und Männer, die unter einer gegebenen Rate der metabolischen Wärmeproduktion Arbeit verrichten, gleiche Wärmeverluste aufweisen, um ein ausgeglichenes Wärmebilanzniveau zu erreichen. Stellt sich bei beiden Geschlechtern eine ausgeglichene Wärmebilanz in der gleichen Zeit unter der gleichen metabolischen Wärmeproduktionsrate ein, muss eine identische Veränderung der Körperwärme vorliegen, woraus geschlossen werden kann, dass die Veränderung der Körperkerntemperatur zwischen den Geschlechtern ebenfalls gleich sein muss.

Es ist jedoch bekannt, dass die Veränderung der Körperkerntemperatur während körperlicher Arbeit vor allem von physischen Kriterien beeinflusst wird (siehe hierzu u.a. ANDERSON, 1999; AUSTIN & LANSING, 1986; CHEUNG et al., 2000; HAVENITH 2001; HAVENITH et al., 1998). Das ist darin begründet, dass die Veränderung der Temperatur eines Körpers nicht nur eine Funktion der Veränderung seiner Körperwärme ist, sondern auch seiner Masse und seiner Gewebezusammensetzung (mager, fett, Bindegewebe etc.), bedingt durch die spezifische Wärme des Gewebes des menschlichen Körpers. Zum Beispiel hat ein Mann mit einem Körpergewicht von 80 kg und einem Körperfettanteil von 19% eine spezifische Wärme von  $\sim 3,48 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , wohingegen

eine Frau mit einem Gewicht von 63 kg und einem Körperfettanteil von 25% eine spezifische Wärme von  $3,43 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  aufweist (JAY et al., 2007). Eine Veränderung der Körperwärme um 250 kJ würde die kalkulierte mittlere Körperwärme um  $\sim 0,9 \text{ K}$  für den Mann und  $\sim 1,16 \text{ K}$  für die Frau verändern. Auch wenn die mittlere Körperwärme nur eine theoretische Temperatur des ganzen Körpers darstellt, wird sich dennoch der Unterschied von  $0,26 \text{ K}$  zwischen den Geschlechtern in einer unterschiedlichen Veränderung der jeweiligen Körperkerntemperaturen niederschlagen müssen (vgl. GAGNON et al., 2009). Unter anderem basierend auf dieser theoretischen Annahme führten GAGNON et al. (2009) Untersuchungen durch, bei denen Männer und Frauen unter einer gegebenen metabolischen Wärmeproduktion unterbrochene Arbeit (3 Arbeitszyklen) verrichteten. Trotz gleicher Raten im gesamten Wärmeverlust während der Tätigkeitsausführung und gleicher Veränderungen der Körperwärme zeigten die Frauen im Vergleich zu den Männern eine signifikante Erhöhung der Ösophagus-temperatur am Ende der ersten und dritten Arbeitsphase sowie eine signifikant höhere Rektal- und Hautoberflächentemperatur am Ende aller drei Arbeitsphasen. Unter der Prämisse, dass die Untersuchungen unter klimaneutralen Bedingungen stattfanden ( $30^\circ\text{C}$ , 30% Luftfeuchte) und in Folge der Arbeitsbelastung der Fokus auf einem vermeintlichen Hitzestress lag, zeigten die Frauen keine weniger effektive Thermoregulation. Vielmehr wurden die höheren Körperkerntemperaturen auf physische Unterschiede (z.B. Körpermasse und -zusammensetzung) zurückgeführt, da die Temperaturveränderung eines Körpers abhängig von seiner Veränderung der Körperwärme ist, geteilt durch das Produkt seiner Masse und der spezifischen Wärme.

Die spezifische Wärme des Gewebes des menschlichen Körpers ist wiederum eine Funktion seiner Körperzusammensetzung. Eine magere Körpermasse hat im Vergleich zu einer fetten Masse eine größere spezifische Wärme, in der Hinsicht, dass sie mehr Energie benötigt (bspw. eine größere Veränderung der Körperwärme), um 1 g magere Körpermasse um 1 K zu erhöhen. Weil Frauen typischerweise eine geringere Körpermasse aufweisen (siehe auch BEHNKE & WILMORE, 1974), mit einem höheren prozentualen Fettanteil, benötigen sie im Vergleich zu Männern eine geringere Veränderung der Körperwärme, um die mittlere Körpertemperatur um 1 K zu erhöhen (vgl. ANDERSON, 1999). CHEUNG et al. (2000) fassen daher zusammen, dass die mittlere

Körpertemperatur unter einer gegebenen Veränderung der Körperwärme bei Frauen stärker ansteigt als bei Männern.

Die zuvor vorgestellten Untersuchungen von GAGNON et al. (2009) fanden unter einer gegebenen Rate der Wärmeproduktion ( $\sim 500\text{W}$ ) statt, d.h. Männer und Frauen arbeiteten auf unterschiedlichen Niveaus ihrer maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität (ca.  $41\pm 9\%$  Männer;  $62\pm 13\%$  Frauen). Eine weitere Untersuchung von GAGNON et al. (2008), bei der die Arbeitsschwere auf eine fixe Rate an maximaler Sauerstoffaufnahme normiert wurde, führte bei Männern im Vergleich zu Frauen zu einer signifikant höheren metabolischen Wärmeproduktion und zu einem höheren Wärmeverlust durch Schwitzen (Ganzkörper-Schweißrate). Da die Zeit, die benötigt wurde, um ein steady-state beim Wärmeverlust durch Schwitzen zu erreichen bei beiden Geschlechtern identisch war, führte die größere Rate an metabolischer Wärmeerzeugung bei Männern zu einer größeren Veränderung der Körperwärme. Das wiederum ging parallel mit einer größeren Veränderung aller drei Körperkerntemperaturwerte (rektal, ösophageal und tympanal) einher. Die Ergebnisse zeigen, dass die absolute Sauerstoffaufnahme durchaus eine tragende Rolle spielt, wenn thermoregulatorische Unterschiede zwischen den Geschlechtern untersucht werden, da nach NISHI (1981) die Rate der metabolischen Wärmeproduktion eine direkte Funktion der absoluten Sauerstoffaufnahme ist. Das bedeutet, dass Arbeitsbelastungen, die auf der Basis eines gegebenen prozentualen Anteils der maximalen Sauerstoffaufnahme stattfinden, zu unterschiedlichen Werten der metabolischen Wärmeproduktion bei Männern und Frauen führen (vgl. BAR-OR, 1998). Das bedeutet aber auch, dass bei Männern und Frauen, die unter einer identischen absoluten metabolischen Wärmeproduktion Arbeit verrichten, die Frauen unter einem größeren prozentualen Anteil ihrer  $V_{O_{2\max}}$  arbeiten (vgl. BAR-OR, 1998; FRYE & KAMON, 1981; LOE et al., 2013). Nach SALTIN & HERMANSEN (1966) lässt das die Körperkerntemperatur bei Frauen stärker ansteigen, da diese u.a. durch die relative Arbeitsintensität bestimmt wird.



Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Untersuchungen von GAGNON et al. (2009) machten zudem deutlich, dass auch innerhalb des Geschlechts Veränderungen der Körperkerntemperatur trotz gleicher Veränderungen der Körperwärme aufgrund unterschiedlicher physischer Gegebenheiten möglich sind. Verglichen wurden zwei Frauen mit sehr ungleichen Körpermassen (Frau 1: 54,5 kg, 19,8% Körperfett; Frau 2: 78,3 kg, 26,7% Körperfett), die während der Tätigkeitsdurchführung ähnliche Raten der metabolischen Wärmeproduktion aufwiesen, und am Ende vergleichbare Verluste der gesamten Körperwärme hatten. Dennoch konnte für die Person mit der geringeren Körpermasse rektal (1,08 vs. 0,58 K) und ösophageal (0,93 vs. 0,51 K) eine erhöhte Körperkerntemperatur nachgewiesen werden. Das zeigt auf, dass das Körpergewicht und die Körperzusammensetzung mit in Betracht gezogen werden müssen, wenn die Thermoregulation auf der Basis der Körperkerntemperatur zwischen den Geschlechtern untersucht wird. Die Ergebnisse stützen auch die Aussagen von HAVENITH et al. (1998) sowie HAVENITH (2001), nach denen Körperkerntemperaturunterschiede maßgeblich auf physische Unterschiede zurückzuführen sind und nicht auf Geschlechtsunterschiede per se. Gleiches fasste NUNNELEY (1978) auf der Basis einer Vielzahl von Forschungsergebnissen zusammen. Das Geschlecht habe per se zwar einen geringen Einfluss auf die thermoregulatorischen Reaktionsmechanismen des menschlichen Körpers, die individuelle Körpergröße und -zusammensetzung, die physische Konstitution, die Leistungsfähigkeit sowie der Grad der Akklimatisation spielen jedoch eine weitaus größere Rolle. Frauen zeigen zwar unter Kälteexpositionen oftmals, vermutlich bedingt durch den im Vergleich zu Männern höheren Anteil an Körperfett, geringere Hautoberflächentemperaturen (siehe u.a. HARDY & DU BOIS, 1940; STEVENS et al., 1987; WYNDHAM et al., 1964). Das vermindert allerdings auch den Temperaturgradienten zwischen der Hautoberfläche und der Umgebung und reduziert somit das weitere Absinken der Körperkerntemperatur in Kälte (vgl. HARDY & DU BOIS, 1940). Während HARDY & DU BOIS (1940) sowie WYNDHAM et al. (1964) ähnliche Körperkerntemperaturen bei kälteexponierten Frauen und Männern unter Ruhebedingungen feststellten, konnten CUNNINGHAM et al. (1978) und WAGNER & HORVATH (1985b) sogar leicht erhöhte Körperkerntemperaturen bei Frauen aufzeigen.

## 4.2 Anpassungsmechanismen des Herz-Kreislaufsystems bei Kältearbeit

Wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, finden im menschlichen Körper permanente Regulationsmechanismen statt, die den Blutkreislauf den gegebenen Bedingungen anpassen. Hierzu gehören auch die Herzschlagfrequenz als ein Faktor des Herzzeitvolumens und der arterielle Blutdruck. Beide Parameter sind, ebenso wie die anderen hämodynamischen Größen, in besonderem Maße von der Stoffwechselaktivität und den Umgebungsbedingungen abhängig, d.h. durch das körperlich schwere Arbeiten in Kälte, unterbrochen durch Pausen in Ruhe und Wärme, muss sich das gesamte Herz-Kreislaufsystem ständig neuen Gegebenheiten anpassen.

Zu den Auswirkungen einer Kältebelastung auf die Herzschlagfrequenz gibt es bisher – im Gegensatz zu einer Hitzebelastung, die immer mit einer deutlichen Erhöhung der HSF einhergeht – keine eindeutigen Ergebnisse. In einer Vielzahl von Laboruntersuchungen konnten in unterschiedlichen Kältebereichen und mit variierender Expositionsdauer diverse Ausprägungen einer Bradykardie (Verringerung der HSF) beobachtet werden (vgl. hierzu u.a. BUDD & WARHAFT, 1966; COLLINS et al., 1996; GAVHED et al., 2000; LEBLANC et al., 1975, 1976, 1978; MANNINO & WASHBURN, 1987; WALSH et al., 1995). Nach MÄKINEN et al. (2008) ist diese kältebedingte Absenkung der HSF ein Indikator für eine verminderte parasympathische Aktivität in Kälte. Ebenso zeigten aber auch Untersuchungen u.a. von RAVEN et al. (1970); STROUD (1991) sowie VOGELAERE & DEMEYER (1990) keine Veränderungen der HSF bei einer Kälteexposition. Nach FORSTHOFF (1983) sind diese weniger eindeutigen Ergebnisse dahingehend nachvollziehbar, dass die Kälte zwei – die HSF betreffend – gegensätzliche Mechanismen hervorruft, die mit einer Steigerung bzw. Senkung der HSF einhergehen. Zum einen wird die periphere Durchblutung gemindert (HSF↓), zum anderen aber auch die Muskeltätigkeit in Folge des Kältezitterns gesteigert (HSF↑). Diese Theorie ist auch im Einklang mit den Untersuchungsergebnissen von FORSTHOFF (1983), der bei einem Temperaturwechsel von +22°C auf -28°C bis zum Einsetzen des Kältezitterns keine kältebedingten Veränderungen der HSF feststellen konnte.

Im Gegensatz zur Herzschlagfrequenz sind die bisherigen Erkenntnisse über das Verhalten des arteriellen Blutdrucks in Kälte eindeutiger. In einer Vielzahl von Untersuchungen (vgl. u.a. COLLINS et al., 1996; GAVHED et al., 2000; KOMULAINEN et al., 2000, 2004; KORHONEN, 2006; LEBLANC et al., 1978; MANNINO & WASHBURN, 1987; STROUD, 1991) kam es immer zu einer kältebedingten Erhöhung des Blutdrucks. Auch bei den Untersuchungen von FORSTHOFF (1983) bei  $-28^{\circ}\text{C}$  traten bereits nach einer 5-min bis 10-min Kälteexposition signifikante Blutdruckerhöhungen auf, unabhängig davon, ob die Probanden ruhten oder arbeiteten. Spätestens nach 20 min erreichte der Blutdruck ein Niveau, das sich auch bei längerer Expositionszeit nicht mehr veränderte. Nach den Ausführungen von FORSTHOFF (1983) muss die erfasste Blutdruckveränderung auf die Kälte zurückzuführen sein. Denn die Höhe des arteriellen Blutdrucks ist vom peripheren Gefäßwiderstand, vom Herzminutenvolumen und von der zirkulierenden Blutmenge abhängig. Zum Zeitpunkt der Messung (4 min nach Ende der Arbeitsbelastung) konnte ein Anstieg des Herzminutenvolumens und eine Veränderung der zirkulierenden Blutmenge ausgeschlossen werden. Daher muss die Blutdruckänderung auf einen erhöhten peripheren Widerstand zurückgeführt werden, ausgelöst durch die in Kälte einsetzende Vasokonstriktion. Vergleichende Untersuchungen in einem Umgebungsklima von  $+22^{\circ}\text{C}$  zeigten 5 min nach Arbeitsende keine signifikanten Blutdruckänderungen, weshalb die vorangegangene Arbeitsbelastung als Grund für den Blutdruckanstieg ausgeschlossen werden kann. KORHONEN (2006) gibt an, dass ein kältebedingter Anstieg des arteriellen Blutdrucks von verschiedenen Faktoren abhängt, wie etwa der Intensität und Art (Ganzkörper, Lokal, Wasser, Luft) der Kühlung sowie individuellen Faktoren. Dabei sollen schlagartig auftretende, lokale und dabei besonders starke Kältereize eine größere Wirkung auf den Blutdruck haben als langfristige, milde Ganzkörperexpositionen. So lassen plötzliche Kältereize im Gesicht oder der sog. „cold pressor test“, bei dem eine Hand kurzzeitig in Eiswasser gehalten wird, den Blutdruck signifikant ansteigen (vgl. u.a. LEBLANC et al., 1976, 1978; WOOD et al., 1984). In der langfristigen Betrachtung können wiederholte Kälteexpositionen das Risiko für Bluthochdruck ansteigen lassen. Untersuchungen von KIM et al. (2003) zeigen, dass Männer, die ca. 3 Stunden/Tag in tiefer Kälte arbeiten ( $-20$  bis  $-50^{\circ}\text{C}$ ) häufiger unbemerkten Bluthochdruck und insgesamt höhere Blutdruckwerte aufweisen als vergleichbare Arbeitnehmer in einer warmen Umgebung. Nach

FORSTHOFF (1983) sind die kältebedingten Veränderungen des Blutdrucks auch von der Arbeitsbelastung und der Kälteschutzkleidung abhängig.

#### 4.2.1 Einfluss des Alters auf die Funktionen des Herz-Kreislaufsystems

Unsere Organsysteme unterliegen natürlichen, altersbedingten, funktionellen Veränderungen (vgl. Abb. 4.2), die unsere Leistungsfähigkeit auch im Laufe unseres Arbeitslebens maßgebend beeinflussen. Nach REYBROUCK (2008) ist es allerdings schwierig, zwischen den Veränderungen zu unterscheiden, die in Folge des Alterns auftreten und den Veränderungen, die auf pathologische Prozesse durch Krankheiten zurückzuführen sind.

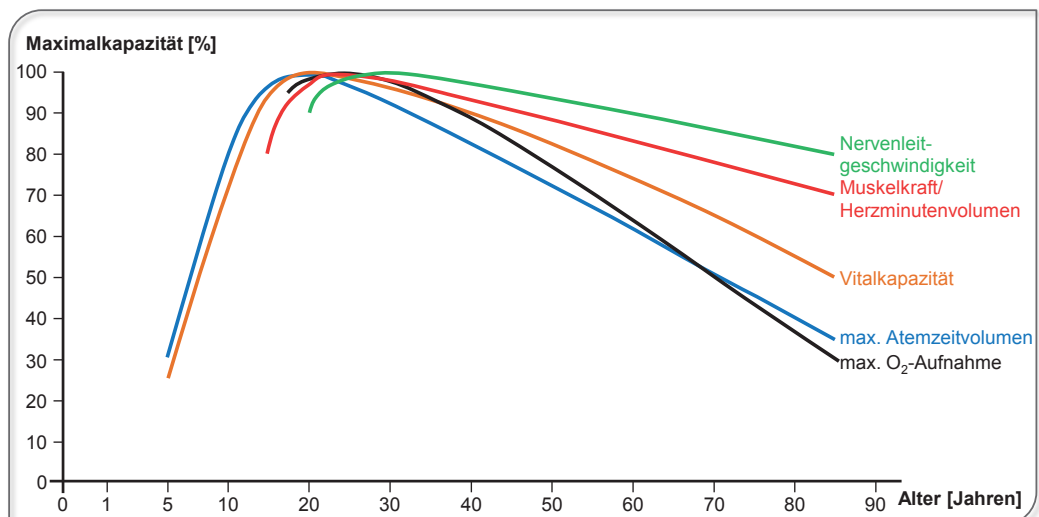


Abb. 4.2: Altersphysiologische Veränderungen verschiedener Organsysteme (modifiziert nach BAFITIS & SARGENT, 1977; LAKATTA, 1990; LARSSON et al., 1979; SHOCK, 1983 und VON ZGLINICKI & NIKOLAUS, 2007)

Ursprünglich wurde aufgrund der mit fortschreitendem Alter einsetzenden Leistungsabnahme angenommen, dass das Herz mit zunehmendem Alter atrophiert. Inzwischen ist allerdings bekannt, dass die Herzgröße im Alter unverändert bleibt und die Herzwanddicke des linken Ventrikels sogar zwischen dem 20. und 70. Lebensjahr zunimmt, ebenso das Gewicht (vgl. GERSTENBLITH et al., 1977; LAKATTA, 1979). Nach VON ZGLINICKI & NIKOLAUS (2007) werden daher die im Alter feststellbaren Abnahmen der Leistungsfähigkeit und der maximalen Sauerstoffaufnahme weniger

durch kardiale (das Herz betreffende), sondern vielmehr durch periphere Veränderungen (z.B. Abnahme der Gesamtmuskelmasse) hervorgerufen. Dennoch hat der Alterungsprozess aufgrund seiner strukturellen und morphologischen Veränderungen einen Einfluss auf die Herz-Kreislauf-Funktionen. So nimmt bspw. das Schlagvolumen mit zunehmendem Alter ab. Ursächlich hierfür sind eine Verminderung der diastolischen Entspannung der linken Herzkammer und eine Abnahme der Dehnbarkeit in Ruhe (vgl. GERSTENBLITH et al., 1977; COBB et al., 2000). Hierdurch kann sich die linke Herzkammer in der Füllungsphase (Diastole) nicht mehr so gut mit Blut füllen, da sie steifer geworden ist. Um das Herzzeitvolumen den Bedürfnissen des Organismus anzupassen, müsste theoretisch der Druck erhöht werden, was in der Folge eine zusätzliche Erhöhung des Blutdrucks verursachen würde.

Nach ÅSTRAND et al. (2003) und LOE et al. (2013) nimmt auch die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}_{O_{2max}}$ ) als ein Indikator für die maximale Leistungsfähigkeit (aerobe Kapazität) ab dem 20. Lebensjahr progressiv ab (vgl. Abb. 4.2). Wird die maximale Sauerstoffaufnahme zur gesamten Muskelmasse des Körpers, wovon sie u.a. abhängig ist, in Beziehung gesetzt, fällt die Abnahme von  $\dot{V}_{O_{2max}}$  vergleichsweise geringer aus. Während ein Teil der verringerten  $\dot{V}_{O_{2max}}$  auf die gesunkenen Bedürfnisse des Körpers zurückzuführen ist, gibt es darüber hinaus auch noch eine rein altersabhängige Erscheinung, die sowohl bei vorwiegend sitzenden, untrainierten und aktiven Personen (vgl. ÅSTRAND et al. 2003) als auch von BROOKS et al. (1996) bei ehemaligen (Leicht-) Athleten beobachtet wurde. FLEG (1994) konnte allerdings auch nachweisen, dass sich bei ehemaligen Sportlern, die ihre Trainingsintensität drosselten,  $\dot{V}_{O_{2max}}$  um 13% pro Lebensdekade reduzierte, wohingegen bei gleichbleibender Trainingsintensität  $\dot{V}_{O_{2max}}$  nur um 2% pro Lebensdekade abnahm. Hieraus lässt sich ableiten, dass sich die Herzleistung vor allem den Bedürfnissen des Körpers anpasst (vgl. REYBROUCK, 2008). Die Verringerung der maximalen Leistungsfähigkeit wird zum Teil auch der in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen altersabhängigen Abnahme der maximalen Herzfrequenz angelastet. Bei Belastungen im submaximalen Bereich konnte an ausschließlich gesunden Personen festgestellt werden, dass ältere Menschen unter einer identischen Belastung niedrigere Herzfrequenzen haben als jüngere (vgl. RODEHEFFER et al., 1984).

Die Zunahme des systolischen Blutdrucks mit dem Alter ist auf zwei Ursachen zurückzuführen. Zum einen auf die nachlassende Elastizität der großen Körperarterien, wodurch das Herz einen größeren Druck erzeugen muss, um das Blut in die Peripherie zu pumpen. Ursächlich hierfür ist, dass das Blut in der Diastole nicht mehr durch das Zusammenziehen der elastischen Gefäße weitertransportiert wird. Diese sogenannte Zunahme der Nachlast des Herzens wird auch oft mit der zuvor beschriebenen Zunahme der Herzwanddicke des linken Ventrikels in Zusammenhang gebracht (AMERY et al., 1978). Zum anderen nimmt der systolische Blutdruck auch aufgrund von Arteriosklerose zu. Diese degenerative Verengung der Schlagadern wird durch Ablagerungen an den Gefäßwänden verursacht und sorgt, zusammen mit der allgemeinen Elastizitätsminderung der Blutgefäße, im Alter für eine kontinuierliche Zunahme des totalen peripheren Widerstands, gegen den das Herz mit erhöhtem Druck anpumpen muss (vgl. SCHOLZE, 1999).

#### ***4.2.2 Einfluss des Geschlechts auf die Funktionen des Herz-Kreislaufsystems***

Die vielfältigen Unterschiede zwischen Frauen und Männern lassen sich durch anatomische, physiologische und psychologische Kenngrößen abbilden. Nach TOMASITS & HABER (2008) unterscheidet sich die körperliche Leistungsfähigkeit bis zum Einsetzen der Pubertät kaum voneinander. Erst mit dem Beginn der Pubertät entwickeln sich die evolutionsbedingt sicherlich sinnvollen und gewollten, aber aus leistungsphysiologischer Sicht mit Nachteilen behafteten Merkmale wie bspw. die geringere Körpergröße, ein breiteres und tieferes Becken, ein tieferer Körperschwerpunkt sowie ungünstige Hebelverhältnisse.

Auch im kardiopulmonalen System zeigen sich nach HOTTENROTT (2015) Unterschiede zwischen den Geschlechtern in Bezug auf die Merkmale Herzgröße, Herzgewicht, Dicke der Herzkammern und den Aortendurchmesser. Diese morphologischen und strukturellen Unterschiede rufen auch regulatorische Unterschiede im Herz-Kreislauf-System hervor. Aufgrund des kleineren Herzmuskels weisen Frauen im Vergleich zu Männern in Ruhe und während submaximaler Ausdauerbelastung höhere Herzschlagfrequenzen auf. Untersuchungen u.a. von HOTTENROTT & NEUMANN (2007)

sowie GAGNON et al. (2009) konnten hierzu einen signifikanten Geschlechtsunterschied bei muskulärer Stoffwechselbeanspruchung nachweisen. GAGNON et al. (2009) führten dabei an, dass die erhöhte Herzschlagfrequenz der Frau bei einer gegebenen Arbeitsbelastung dazu führt, dass diese früher ermüden als Männer, was wiederum mit einer verminderten Produktivität und dem gesteigerten Bedürfnis nach längeren Ruhepausen einhergeht. Auch LINDBECK & KJELLBERG (2001), PUNNETT & HERBERT (2000) sowie VAN DER BEEK et al. (2000) leiten aus den anatomischen und physiologischen Besonderheiten der Frau bei gleichem Arbeitsaufkommen eine im Vergleich zum Mann höhere Beanspruchung ab. Ergebnisse einer bundesweit repräsentativen Querschnittstudie DEGS1 zeigten erwartungsgemäß, dass die kardiorespiratorische Fitness bei Frauen geringer ist als bei Männern (vgl. Finger et al., 2013). Die Ergebnisse decken sich auch mit anderen vergleichbaren Bevölkerungsstudien, u.a. von BATCHO et al. (2012), GORE et al. (1999) und WANG et al. (2010).

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2max}$ ) ist neben der Herzschlagfrequenz bzw. dem Herzvolumen ein weiterer wichtiger Indikator für die Leistungsfähigkeit des kardipulmonalen Systems. Auch hier gibt es nach HOTTENROTT & NEUMANN (2012) bis zur Pubertät keine Differenzen zwischen den Geschlechtern. Doch bereits zu Beginn des Erwachsenenalters liegt die absolute maximale Sauerstoffaufnahme von Männern um 33% bzw. 35% über der gleichaltriger Frauen, wie Untersuchungen von ARMSTRONG & WELSMAN (2001) bzw. FREDRIKSEN et al. (1999) belegen. Ältere Untersuchungen von SALTIN & ÅSTRAND (1967) weisen eine um 30% erhöhte relative  $\dot{V}O_{2max}$  bei Männern nach. In einer großen Untersuchung mit insgesamt 3816 Probanden konnten LOE et al. (2013) über alle Altersklassen (20-90 Jahre) hinweg einen geschlechtsspezifischen Unterschied von der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme von 34,1 bis 35,6% feststellen, bei der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme waren es 18,5 bis 20,9%.

Auch in der Muskelkraft, die einen wesentlichen Einfluss auf das Leistungsvermögen hat, zeigen sich bei Kindern zunächst keine geschlechtsspezifischen Unterschiede (vgl. Abb 4.1 in Abschnitt 4.1.2). Erst mit dem Einsetzen der Pubertät nimmt die Muskelkraft, die u.a. vom Durchmesser der Muskelfasern abhängt, bei Männern vergleichsweise deutlich zu. NEUMANN & BUHL (1981) konnten hierzu nachweisen, dass der

Muskelfaserdurchmesser untersuchter Frauen deutlich kleiner war als der von Männern. Auch die geringere Ausdauerleistung der Frau ist nach Untersuchungen von HOPPELER et al. (1973) auf muskelzelluläre Differenzen zurückzuführen, da die Muskeln der Frau im Vergleich zu denen eines Mannes weniger Mitochondrien und ein um etwa 22% geringeres Mitochondrienvolumen aufweisen. Auch LOE et al. (2013) konnten nachweisen, dass die erbrachte Leistung auf einem Laufband unter der maximalen Sauerstoffaufnahme bei Frauen um 33% niedriger liegt als bei Männern (121 W vs. 181 W).

Zudem gibt es beim arteriellen Blutdruck geschlechtsspezifische Unterschiede, wonach Frauen bis zu den Wechseljahren deutlich niedrigere Werte aufweisen als Männer. Erst nach der Menopause, dem Zeitpunkt der letzten spontanen Menstruation, steigt der Blutdruck der Frau derart stark an, dass eine Angleichung der Werte erfolgt und später sogar leicht höhere Werte als bei Männern im gleichen Alter auftreten können (vgl. AUGUST & OPARIL, 1999; RECKELHOFF, 2001). Nach RECKELHOFF (2001) sind die Ursachen für diese Unterschiede zwischen den Geschlechtern noch nicht gänzlich geklärt, aber es wird angenommen, dass Androgene und weibliche Sexualhormone eine wesentliche Rolle spielen, was auch Untersuchungen über das Zusammenspiel steroider Sexualhormone und vaskulärer Veränderungen bestätigen (vgl. BARBAGALLO et al., 2001a, 2001b).





## 5 Arbeitshypothesen

---

Nachdem die physiologischen Grundlagen zur Beurteilung von Kältarbeit sowie die Problematik der Kältarbeit unter den besonderen Aspekten Alter und Geschlecht ausführlich dargestellt wurden, lassen sich hieraus eine Vielzahl zu prüfender Arbeitshypothesen ableiten.

Zunächst kann aufgrund einheitlicher, d.h. im Allgemeinen nicht von Alter und Geschlecht beeinflusster Mechanismen davon ausgegangen werden, dass jeder Mensch, wenn auch in der Ausprägung teilweise sehr individuell, durch die Anpassung physiologischer Parameter auf eine Kältebelastung reagiert. Basierend auf den autonomen Thermoregulationsmechanismen des menschlichen Körpers sollte somit davon ausgegangen werden, dass es aufgrund der Vasokonstriktion zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur zu einer mit zunehmender Expositionszeit fortschreitenden Abnahme der Hautoberflächentemperatur an den Extremitäten und Akren kommen muss. Gleichzeitig sollte die Arbeit in Kälte zu einer deutlichen Steigerung des körpereigenen Energieumsatzes führen, um einer signifikanten Abnahme der Körperkerntemperatur entgegenzuwirken. Analog ist davon auszugehen, dass es während der Kommissioniertätigkeit in Kälte zu einem deutlichen Anstieg der physiologischen Parameter des Herz-Kreislaufsystems (Herzschlagfrequenz und Blutdruck) kommen muss, woraus sich die *Hypothesen 1-4* ableiten lassen.

- 1** Die Hautoberflächentemperaturen an den Extremitäten und Akren nehmen mit zunehmender Expositionszeit in Kälte proportional ab.
- 2** Das Arbeiten in Kälte geht mit einer Zunahme des körpereigenen Energieumsatzes einher.
- 3** Die Zunahme des Energieumsatzes bewirkt eine begrenzte Abnahme der Körperkerntemperatur.
- 4** Das Arbeiten in Kälte führt zu einer deutlichen Steigerung der Herzschlagfrequenz und des Blutdrucks.

Durch die gesteigerte Belastung aus den klimatischen Bedingungen der Arbeitsumgebung mit sinkenden Temperaturen und dem Tragen deutlich schwerer Kälteschutzkleidung war darüber hinaus zu erwarten, dass die Abnahme der Hautoberflächen- und Körperkerntemperaturen sowie die Zunahme der Herzschlagfrequenz, des Blutdrucks und des Energieumsatzes im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  deutlich stärker ausfallen als bei gleicher Arbeit im  $+3^{\circ}\text{C}$  kalten Kühlager. Das führt zur Formulierung von *Hypothese 5*.

**5** Die Abnahme der Hautoberflächen- und Körperkerntemperaturen sowie die Zunahme der Herzschlagfrequenz, des Blutdrucks und des Energieumsatzes fallen im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  deutlich stärker aus, als bei gleicher Arbeit im  $+3^{\circ}\text{C}$  kalten Kühlager.

Ergänzend zu den allgemeinen Hypothesen sollte die vorliegende Untersuchung auch auf evtl. auftretende alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede bzgl. der aus der Superpositionsbelastung resultierenden Beanspruchung schließen lassen. Denn mit dem Alter nimmt die Intensität autonomer Regulationsmechanismen, wie die periphere Vasokonstriktion und das Kältezittern ab. Ebenso unterliegen die Organsysteme natürlichen, altersbedingten, funktionellen Veränderungen, welche die Leistungsfähigkeit im Alter merklich sinken lassen. In den *Hypothesen 6 und 7* wird daher davon ausgegangen, dass ältere Arbeitnehmer bei gleicher Arbeitsbelastung einer deutlich höheren Kältebeanspruchung ausgesetzt sind, was wiederum mit einem verstärkten subjektiv empfundenen Kältereiz einhergehen sollte.

**6** Ältere Arbeitnehmer sind bei gleicher Arbeitsbelastung einer deutlich höheren Kältebeanspruchung ausgesetzt als jüngere Arbeitnehmer.

**7** Die deutlich höhere Kältebeanspruchung älterer Arbeitnehmer geht mit einem verstärkten subjektiv empfundenen Kältereiz einher.

Bei Frauen sind die Eigenschaften zur Wärmebildung und Wärmeerhaltung unterschiedlich stark ausgeprägt, da Frauen zwar schlechtere Wärmebildungseigenschaften besitzen als Männer, aber durch ihren deutlich höheren Körperfettanteil Wärmeverluste besser vermeiden können, was aber wiederum durch das schlechtere Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis weitestgehend relativiert wird. Da die körperliche Reaktion auf Kälte mehr von den individuellen physiologischen Eigenschaf-

ten eines Menschen als vom Geschlecht per se abhängt, sollten, wie in den *Hypothesen 8 und 9* formuliert, bei der Abnahme der Körperkern- und Hautoberflächentemperaturen keine deutlichen geschlechtsspezifischen Unterschiede erkennbar sein, was wiederum ähnliche subjektive Kälteempfindungen hervorrufen muss.

**8** Bei der Abnahme der Körperkern- und Hautoberflächentemperaturen sind keine deutlichen geschlechtsspezifischen Unterschiede erkennbar.

**9** Die zwischen den Geschlechtern nicht erkennbaren Unterschiede bei der Abnahme der Hautoberflächen- und Körperkerntemperaturen rufen auch ähnliche subjektive Kälteempfindungen hervor.

Frauen unterscheiden sich auch in ihrem anatomischen und physiologischen Aufbau deutlich von Männern, was mit einer vergleichsweise geringeren körperlichen Leistungsfähigkeit bei gleicher Trainiertheit einhergeht. Ursächlich hierfür sind vor allem die verminderte Muskelkraft und die geringeren anatomischen Maße im Vergleich zum Mann. Daher sollte entsprechend *Hypothese 10* das körperlich schwere Arbeiten in Kälte bei Frauen im Vergleich zu Männern zu deutlich höheren Herzschlagfrequenzen führen. Lediglich der arterielle Blutdruck ist bei Frauen bis zu den Wechseljahren deutlich niedriger und sollte daher nach *Hypothese 11* auch bei Kältearbeit vermindert sein.

**10** Das körperlich schwere Arbeiten in Kälte führt bei Frauen im Vergleich zu Männern zu einer deutlich höheren Herzschlagfrequenz.

**11** Das körperlich schwere Arbeiten in Kälte führt bei Frauen im Vergleich zu Männern zu einem niedrigeren arteriellen Blutdruck.

Weiterhin war die grundsätzliche Frage zu klären, ob eine Anpassung des derzeit bestehenden und in der Praxis häufig willkürlich auftretenden Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes dazu beiträgt, die aus der Arbeitsbelastung resultierende Beanspruchung zu mindern. Denn es ist davon auszugehen, dass eine Verkürzung der Kälteexpositionen und eine Verlängerung der Aufwärmphasen altersunabhängig in einer verminderten Kältebeanspruchung resultieren sollte, was sich wiederum in einem reduzierten subjektiv verspürten Kälteempfinden niederschlägt, woraus sich *Hypothese 12* ableiten lässt.

**12** Eine Verkürzung der Kälteexpositionszeiten und eine Verlängerung der Aufwärmphasen sollte altersunabhängig in einer verminderten Kältebeanspruchung resultieren, die sich wiederum in einem reduzierten subjektiv verspürten Kälteempfinden niederschlägt.

Zur Verifizierung bzw. Falsifizierung der Arbeitshypothesen 1-11 sollten in **Versuchsreihe I** (Kühlager, +3°C) und **Versuchsreihe II** (Tiefkühlager, -24°C) an jeweils 15 jüngeren (20-35 Jahre) sowie älteren (40-65 Jahre) weiblichen Arbeitspersonen schichtbegleitende Ganztagsanalysen durchgeführt werden. Hierbei wurden die relevanten arbeitsphysiologischen Parameter während des Kommissionierens in Kälte registriert. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten zur Prüfung der Hypothesen 8-11 mit der von PENZKOFER (2013) ermittelten Beanspruchungen männlicher Arbeitspersonen verglichen werden. Ergänzend zu den Versuchsreihen I und II wurde mit dem gleichen Probandenkollektiv **Versuchsreihe III** durchgeführt, bei der die Arbeits- und Pausenzeiten im Tiefkühlager variiert wurden, um letztlich eine Prüfung der 12. Arbeitshypothese zu erlauben.

## 6 Versuchsdesign und Methodik

---

Im Sinne einer ganzheitlichen, objektiven und subjekt-bezogenen arbeitswissenschaftlichen Analyse zu den Arbeitsbedingungen in Tiefkühlzentren und ihren Auswirkungen wurden Feldstudien zur Objektivierung von Belastung und Beanspruchung beim Arbeiten in Kälte durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf dem in den Arbeitshypothesen bereits angesprochenen alters- und geschlechtsdifferenzierten Vergleich der Arbeitspersonen sowie der kritischen Betrachtung des Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes und der eingesetzten Kälteschutzkleidung. Hierzu wurden die Veränderungen ausgewählter physiologischer Parameter während der Tätigkeitsdurchführung messtechnisch erfasst und durch eine Befragung des subjektiven Beanspruchungserlebens ergänzt.

### 6.1 Beschreibung des Versuchsdesigns

Zur Datengewinnung wurden insgesamt 102 schichtbegleitende Ganztagsanalysen in einem gewerblichen Warenverteilzentrum durchgeführt, an denen 30 weibliche Arbeitspersonen (Apn) ohne Kommissioniererfahrung und 4 professionelle Kommissioniererrinnen mit langjähriger Berufserfahrung teilnahmen. Im Folgenden werden der Versuchsablauf und die spezifischen Merkmale des ausgewählten Probandenkollektivs detailliert beschrieben.

#### *6.1.1 Versuchsablauf der Feldstudien in einem Warenverteilzentrum*

Die Ganztagsanalysen wurden entsprechend dem in Abb 6.1 dargestellten standardisierten Ablaufschema in einem gewerblichen Warenverteilzentrum durchgeführt. Der erste Versuchstag begann im +21°C warmen Sozialbereich mit der Aufnahme persönlicher und körperrelevanter Daten, wie beispielsweise den spezifischen Merkmalen Alter, Größe und Gewicht, aber auch verhaltensbezogenen Charakteristika, wie etwa der regelmäßigen sportlichen Betätigung oder dem Konsum von Nikotin und Alkohol. Weiterhin wurden die Apn umfassend zu vergangenen oder fortbestehenden Erkrankungen und Medikamenteneinnahmen befragt, um festzustellen, ob die Teil-

nehmerin geeignet war oder vom Versuch ausgeschlossen werden musste. Nach positiver Anamnese erfolgte eine ausführliche Instruktion in den Versuchsablauf einschließlich des Hinweises, dass der Versuch jederzeit durch die Teilnehmerin abgebrochen werden kann. Weiterhin wurde über die zu erwartenden physischen Belastungen und die möglichen gesundheitlichen Risiken aufgeklärt, wie beispielsweise Kreislaufstörungen, Kopfschmerzen oder eine Erkältung.

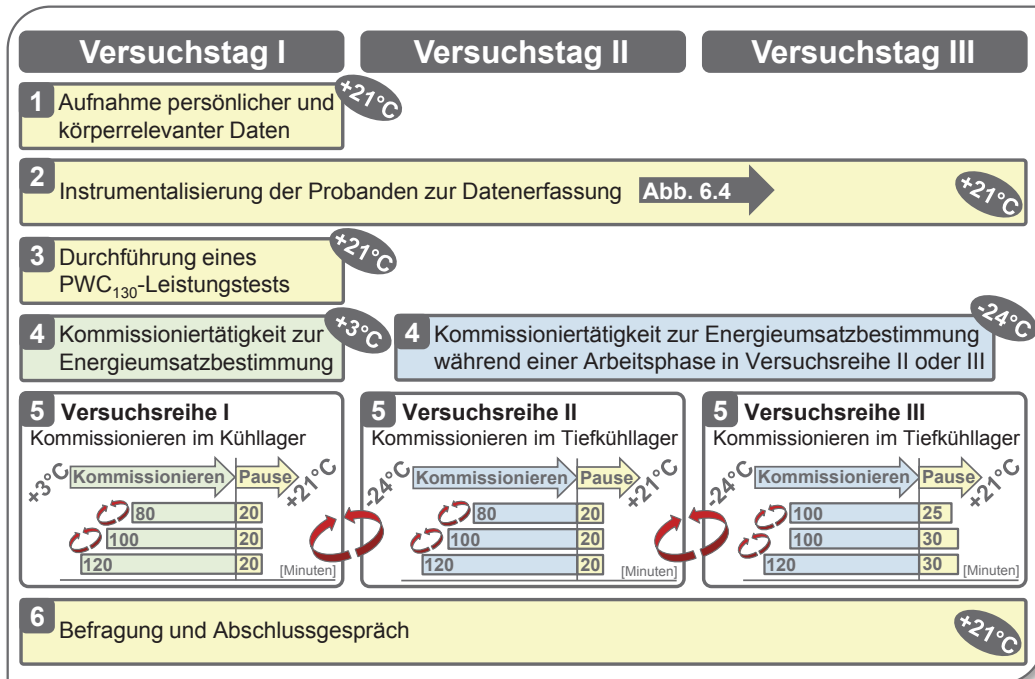


Abb. 6.1: Grobe Darstellung der Ablauffolge der drei Versuchsreihen sowie deren Vor- und Nachbereitung

Im Anschluss fand die Instrumentalisierung der Apn mit der in Abschnitt 6.2 ausführlich beschriebenen Messtechnik statt. Nach positiver Funktionsüberprüfung der Geräte wurden zur Erfassung möglichst unbeeinflusster Basiswerte erste Messungen der physiologischen Parameter durchgeführt. Die Messung der Ruheherzschlagfrequenz erfolgte über die Dauer von 5 min im Sitzen, woran sich die Erfassung von Blutdruck und Körperkerntemperatur anschloss.

Nach erneuter Überprüfung der körperlichen Tauglichkeit auf Basis der zuvor ermittelten Werte, wurde der vielfach angewendete **Physical Working Capacity** (PWC<sub>130</sub>)-Test (vgl. u.a. ÅSTRAND, 1958; FINGER et al. 2013) zur Feststellung der kardiorespiratorischen Fitness im submaximalen Bereich auf dem *ergobike medical 8i* von

*daum* durchgeführt. Der Index 130 gibt bei diesem standardisierten Stufentest die mindestens zu erreichende Herzschlagfrequenz an und wird von WASTL (2005) für Personen über 50 Jahre empfohlen. Da eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur innerhalb einer Testvariante gewährleistet ist, und es galt, sich bei der Festlegung maximal zumutbarer Grenzwerte im Hinblick auf eine Belastung stets an der „kritischsten“ Personengruppe zu orientieren, wurden die weiteren möglichen Testformen (PWC<sub>150</sub>, PWC<sub>170</sub> und PWC<sub>max</sub>) ausgeschlossen. Das eingesetzte Fahrradergometer ist laut Herstellerangaben nach dem Medizinproduktegesetz gemäß DIN EN ISO 13485 (2003) und der Richtlinie 93/42/EWG Anhang II zertifiziert, wodurch der Fahrradergometercomputer zu sämtlichen medizinisch-diagnostischen Zwecken eingesetzt werden darf. Demnach erfolgte die Ermittlung der individuellen Leistungsfähigkeit ( $rPWC_{130}$ ) vollautomatisch auf der Basis eines vorprogrammierten Testschemas, individuell eingetragener Körperdaten der Apn und der mittels Polar<sup>®</sup> Brustgurtsender an den Computer übertragenen Herzschlagfrequenz. Das Untersuchungsprogramm folgte dabei den Empfehlungen der Leitlinie zur Belastungsuntersuchung in der Sportmedizin (DGSP, 2002). Demnach begann die Belastungsphase mit einer abzugebenden Leistung von 50 Watt bei einer Drehzahl von 60 U/min. Die Belastungsintensität wurde anschließend alle 2 min um 25 Watt erhöht, bis sich eine Herzschlagfrequenz von 130 1/min einstellte. Dem Test schloss sich eine mindestens 6-min Erholungsphase an, die eine Abkühlung und die Einstellung der Vitalparameter auf das Ausgangsniveau gewährleisten sollte, wobei zuvor 2 min widerstandslos in die Pedale getreten wurde, um evtl. auftretenden Schwindelgefühlen entgegen zu wirken. Abb. 6.2 zeigt eine Ap mit angeschlossener Messtechnik auf dem Fahrradergometer sowie den Verlauf der Herzschlagfrequenz bei definierter Leistungsabgabe am Beispiel von Ap 15. Während der gesamten Testphase hatte der Versuchsleiter darauf zu achten, dass keine Überlastung auftrat und die vorgegebene Drehzahl eingehalten wurde.



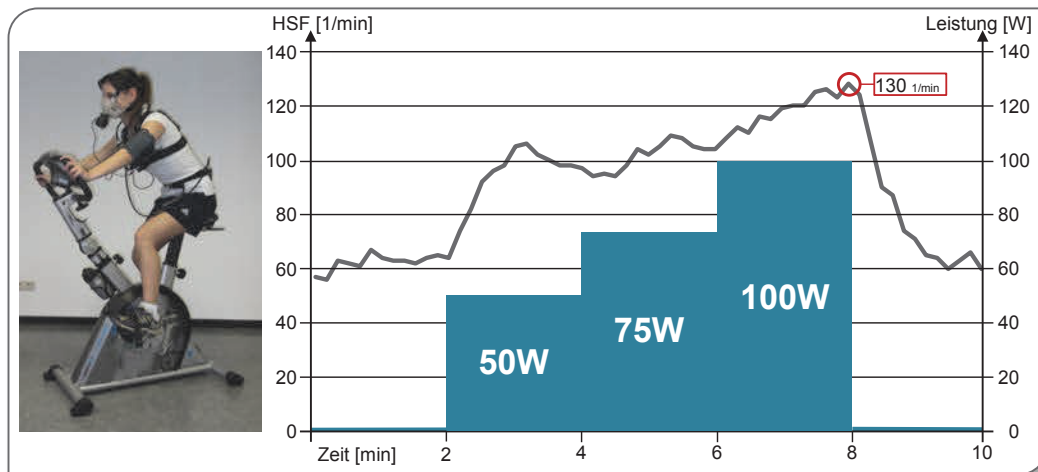


Abb. 6.2: Ap (Symbolfoto) mit angelegter Messtechnik auf dem Fahrradergometer (links) sowie der Verlauf von Herzschlagfrequenz und zu erbringender Leistung während des PWC<sub>130</sub>-Tests, beispielhaft dargestellt für Ap 15

Der nach Testende vom Fahrradcomputer ausgegebene rPWC<sub>130</sub>-Wert wurde protokolliert und entsprechend der Angaben in Tab. 6.1 eingestuft. Bei der Berechnung fand vor allem die zuvor erfasste Körpermasse der Apn Berücksichtigung, da die abgegebene Leistung in Bezug auf die Körperstatur relativiert werden musste. Kritisch bleibt an dieser Stelle anzumerken, dass die von ROST & HOLLMANN (1982) ermittelten Werte bereits geringer waren als diejenigen aus dem Jahre 1957 von DRANSFELD & MELLEROWICZ. Der Trend einer pulsbezogenen Leistungsabnahme über den Zeitverlauf scheint sich nach den Ergebnissen von FINGER et al. (2013) weiterhin fortzusetzen, insbesondere dadurch, dass der PWC-Test auf das Körpergewicht normiert wird. Demnach kann steigendes Übergewicht und der Lebenswandel der modernen Gesellschaft im Wesentlichen dazu beitragen, dass die pulsbezogene relative Leistungsfähigkeit heutzutage geringer ausfällt als noch vor einigen Jahrzehnten.

Tab. 6.1: *Einstufung der erreichten relativen Leistungsfähigkeit während des PWC<sub>130</sub>-Tests nach ROST & HOLLMANN (1982)*

Klassifikation	Männer	Frauen
Sehr gut	>2,5	>2,0
Gut	2,0-2,5	1,6-2,0
Befriedigend	1,5-2,0	1,25-1,6
Unbefriedigend	1,0-1,5	1,0-1,25
Ungenügend	<1,0	<1,0

Um einen Vergleich zwischen der körperlichen Belastung beim Kommissionieren in unterschiedlichen Temperaturbereichen herstellen zu können, wurde im Vorfeld zur eigentlichen Kommissioniertätigkeit in den Lagerbereichen eine Energieumsatzbestimmung in der +3°C kalten Vorkühlzone durchgeführt. Hierzu mussten innerhalb von 15 min 4 Paletten mit jeweils 20 Kisten Kommissionierersatzware umgesetzt werden. Basierend auf den von KLUTH & STRASSER (2001) durchgeführten Feldversuchen, entsprachen die Kisten in Größe und Gewicht (2 bis 15 kg) realer Kühl- und Tiefkühlware. Im Anschluss an die Vorbereitungsphase konnte mit der eigentlichen Kommissioniertätigkeit begonnen werden. Es galt insgesamt drei Versuchsreihen in zwei unterschiedlichen Temperatur- bzw. Lagerbereichen zu durchlaufen. Um Gewöhnungs- und Lern-effekte zu unterbinden, wurde die Verteilung der drei Versuchsreihen auf die drei Versuchstage variiert.

In **Versuchsreihe I** durchliefen die Probanden drei Arbeitsphasen von 80, 100 und 120 min Länge im Kühlbereich bei +3°C, woran sich jeweils eine 20-min Aufwärm-pause im +21°C warmen Sozialbereich anschloss. In **Versuchsreihe II** war für die Probanden eine identische Expositionszeit-Pausenzeit-Regelung wie in Versuchsreihe I vorgesehen, allerdings im -24°C kalten Tiefkühlager mit entsprechend angepasster Schutzkleidung. Die gewählten Arbeits- und Pausenzeiten entsprachen den mit männlichen Apn durchgeführten Versuchen von PENZKOFER (2013), wodurch die geschlechtsspezifische Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet werden sollte. Durch das gewählte Probandenkollektiv und die identischen Arbeitsschemata konnte

– zudem in Ergänzung zu den Ergebnissen von PENZKOFER (2013) – eine zweite altersdifferenzierte Analyse ermöglicht werden. Die zuvor durchgeführten Versuche mit Männern zeigten, dass die vorgesehenen Pausenzeiten von 20 min in vielerlei Hinsicht nicht ausreichend waren. Um langfristig für präventiven Arbeits- und Gesundheitsschutz zu sorgen, ist es unabdingbar die Länge der Pausen derart auszulegen, dass eine hinreichende Erholung und vor allem Wiedererwärmung gewährleistet ist. Eine von PENZKOFER (2013) durchgeführte Befragung von 128 professionellen Kommissionierern ergab, dass im  $-24^{\circ}\text{C}$  kalten Tiefkühlager im Regelfall ohne Unterbrechung 90 min bis 120 min gearbeitet wird, woraus sich das Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime in **Versuchsreihe III** ableitete. Es sollte ermittelt werden, ob bereits eine Pausenverlängerung um 5 min auf insgesamt 25 min im Anschluss an eine 100-min Arbeitsphase ausreichend ist oder ob doch insgesamt 30 min benötigt werden. Weiterhin galt es festzustellen, ob eine 30-min Pause im Anschluss an eine 120-min Arbeitsphase als ausreichend erachtet werden kann. Hieraus ergaben sich zwei Arbeitsphasen von jeweils 100 min Länge und daran anschließende Pausen von 25 min und 30 min sowie eine 120-min Arbeitsphase mit einer 30-min Aufwärmphase. In einer der insgesamt sechs Arbeitsphasen von Versuchsreihe II und III wurde zudem eine zweite, maximal 20-min Energieumsatzbestimmung durchgeführt. Zur Vermeidung durch die Kältebelastung hervorgerufener Transfereffekte wurde die Abfolge der Arbeitsphasen mit den dazugehörigen Pausenzeiten innerhalb der jeweiligen Versuchsreihen randomisiert.

Basierend auf der von KLUTH & STRASSER (2001) ermittelten durchschnittlichen Kommissionierleistung von 1,6 t/h wurde die von jeder Ap zu absolvierende Arbeitshöhe und -schwere festgelegt. Um hinsichtlich Belastungshöhe und Zeitverlauf identische Bedingungen zu gewährleisten, galt es die in Tabelle 6.2 aufgeführte Anzahl an vorbereiteten Paletten mit jeweils 20 Kisten in unterschiedlichen Gewichtsklassen (2 bis 15 kg) zu kommissionieren. So wurden beispielsweise während der 120-min Arbeitsphasen 3,2 t an Ware umgesetzt, woraus sich für Versuchsreihe III eine Gesamtleistung von 8,6 t für einen Arbeitstag ergab.

Tab. 6.2: *Zu kommissionierende Gewichte, Kartons und Paletten während der drei Arbeitsphasen*

Arbeitsphase	Anzahl Paletten	Anzahl Kartons	Gesamtgewicht
<b>80 Minuten</b>	14	280	2,1 t
<b>100 Minuten</b>	18	360	2,7 t
<b>120 Minuten</b>	21	420	3,2 t

Am Ende eines Versuchstages wurde die Messtechnik entfernt, die gewonnenen Messdaten über den PC ausgelesen und die Ap entsprechend dem in Anhang A abgebildeten Fragebogen zu den physischen Auswirkungen der Kältearbeit, eventuell aufgetretenen Beschwerden sowie den verwendeten Arbeitsmitteln und den Arbeitsumgebungsbedingungen befragt.

Anhang B bildet den detaillierten Versuchsablaufplan mit minutengenauen Zeitangaben der drei Versuchsreihen ab, wobei zu berücksichtigen bleibt, dass es bei Feldstudien durchaus zu zeitlich individuell unterschiedlichen Arbeitsabläufen kommen kann. Würden die registrierten Messergebnisse allein auf der Basis der festgelegten Zeitabschnitte betrachtet, könnte es bei der Mittelung der Daten aller Probanden zu Überlagerungen von Arbeits- und Pausenzeiten kommen (STRASSER, 1982). Demnach sind die gewonnenen Daten nutzlos, wenn der tatsächliche Arbeitsablauf mit allen eventuell aufgetretenen Vorkommnissen unbekannt wäre.

Aus diesem Grund wurden während des gesamten Versuchstages für jede Arbeitsperson **harmonografische Arbeitsablaufanalysen** auf entsprechend vorbereiteten Formblättern erstellt. Diese enthalten die in Abbildung 6.3 aufgeführten Tätigkeiten bzw. Arbeitsunterbrechungen, die im Nachhinein zeitlich exakt den gewonnenen Messdaten zugeordnet werden konnten.

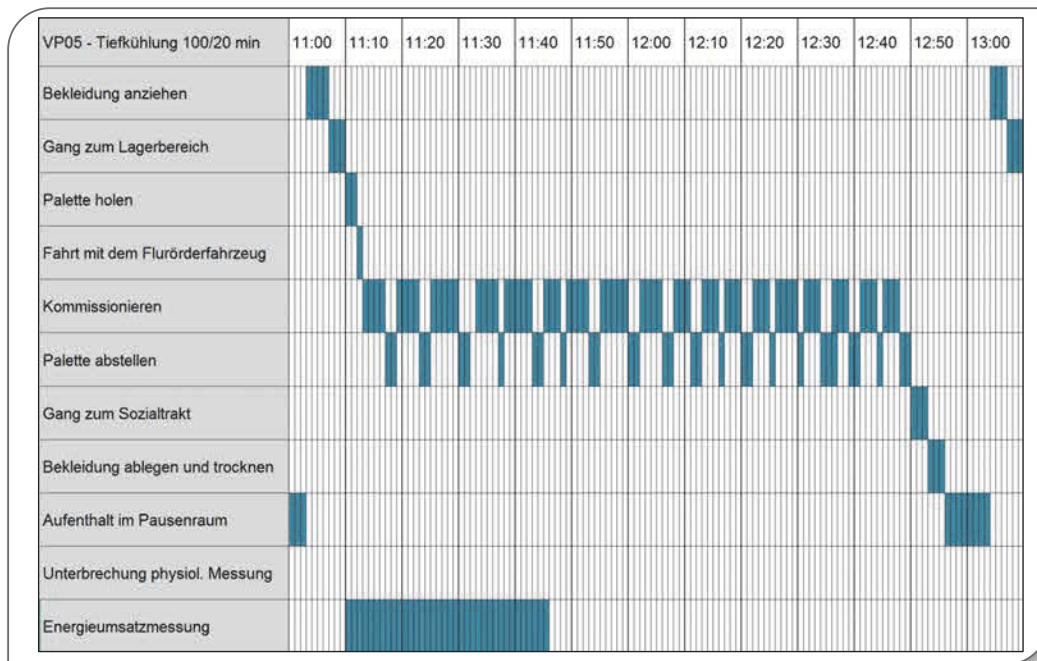


Abb. 6.3: Beispielhafter Auszug aus einem Harmonogramm von Ap 05 in der 100-min Arbeitsphase im Tiefkühlager mit anschließender 20-min Aufwärmphase. Registrierte Zeit von 11:00 bis 13:10 Uhr

### 6.1.2 Untersuchtes Probandenkollektiv

An den Feldversuchen nahmen insgesamt 30 weibliche Arbeitspersonen (Apn) teil, die jeweils zur Hälfte entsprechend ihres Alters in die Gruppe der jüngeren (20 bis 35 Jahre) und älteren Apn (40 bis 65 Jahre) klassifiziert wurden. Die spezifischen Angaben zu den Apn der Altersklasse 20 bis 35 Jahre bzw. 40 bis 65 Jahre sind in den Tabellen 6.3 respektive Tabelle 6.4 zusammengefasst. Bei der Zusammenstellung des Kollektivs war darauf zu achten, dass der Altersdurchschnitt in den beiden Gruppen annähernd dem der Untersuchungen von PENZKOFER (2013) entsprach, damit sowohl ein Geschlechtervergleich als auch eine weitere altersbezogene Betrachtung der Ergebnisse möglich wurden. Die ausgewählten Apn durften keine das Herz-Kreislaufsystem beeinflussenden Medikamente eingenommen haben, wie beispielsweise Betablocker zur Senkung der Ruheherzfrequenz und des Blutdrucks. Ferner mussten die Arbeitsdurchführung beeinträchtigende Muskel-Skelett-Erkrankungen im Vorfeld ausgeschlossen und ein guter gesundheitlicher Allgemeinzustand der potentiellen Apn festgestellt werden. Da bei wiederholter Kälteexposition durchaus unterschiedliche Adaptionsmechanismen einsetzen können (vgl. u.a. LAUNAY & SAVOUREY, 2009), sollte das Kollektiv

der 30 „unerfahrenen“ Apn durch professionelle Kältekommissioniererinnen ergänzt werden. Hierzu wurden vier weibliche Apn mittleren Alters mit langjähriger Berufspraxis in Kälte ausgewählt, deren spezifische Angaben in Tabelle 6.4 (P1-P4) aufgeführt sind.

Tab. 6.3: Spezifische Angaben zu den 15 weiblichen Arbeitspersonen der Altersklasse „20 bis 35 Jahre“

„jüngere“ Apn	Alter [Jahre]	Größe [m]	Masse [kg]	BMI	rPWC <sub>130</sub> [W/kg]	Sport	Zigaretten [Stk./Tag]	Alkohol
01	23	1,76	67	21,6	1,5	ja	0	selten
02	25	1,66	56	20,3	1,8	nein	0	selten
03	27	1,74	73	24,1	1,7	ja	0	regelmäßig
04	24	1,76	68	22,0	1,1	nein	0	selten
05	22	1,76	64	20,7	1,6	nein	<20	regelmäßig
06	20	1,62	54	20,6	1,4	ja	0	selten
07	20	1,70	77	26,6	1,0	ja	0	selten
08	20	1,70	65	22,5	1,2	ja	0	selten
09	21	1,80	66	20,4	1,5	ja	0	regelmäßig
10	22	1,60	59	23,0	1,7	ja	0	regelmäßig
11	25	1,70	58	20,1	1,3	ja	<20	regelmäßig
12	27	1,69	59	20,7	1,3	ja	0	selten
13	21	1,58	51	20,4	1,0	ja	0	selten
14	32	1,71	77	26,3	1,3	ja	<20	regelmäßig
15	26	1,58	71	28,4	1,8	ja	0	regelmäßig
$\bar{x} \pm S_d$	23,7±3,4	1,69±0,1	64,3±8,1	22,1±2,7	1,41±0,3			

Tab. 6.4: Spezifische Angaben zu den 15 weiblichen Arbeitspersonen der Altersklasse „40 bis 65 Jahre“ sowie den vier professionellen Kommissioniererinnen (P1-P4)

„ältere“ Apn	Alter [Jahre]	Größe [m]	Masse [kg]	BMI	rPWC <sub>130</sub> [W/kg]	Sport	Zigaretten [Stk./Tag]	Alkohol
16	59	1,69	80	28,0	1,6	ja	0	selten
17	54	1,63	52	19,6	1,4	ja	0	regelmäßig
18	61	1,68	61	21,6	2,0	ja	0	selten
19	52	1,56	57	23,4	1,8	ja	0	regelmäßig
20	53	1,70	61	21,1	1,6	ja	0	regelmäßig
21	59	1,61	53	20,4	2,4	ja	0	selten
22	57	1,70	71	24,6	1,4	ja	0	selten
23	43	1,58	73	29,2	1,4	ja	0	regelmäßig
24	44	1,66	67	24,3	2,2	ja	0	regelmäßig
25	51	1,68	60	21,3	1,7	ja	0	regelmäßig
26	44	1,76	77	24,9	1,8	ja	0	regelmäßig
27	50	1,64	60	22,3	1,7	ja	0	häufig
28	64	1,73	104	34,7	1,4	nein	0	regelmäßig
29	61	1,73	103	34,4	1,2	nein	<20	nie
30	48	1,68	55	19,5	2,3	ja	0	häufig
$\bar{x} \pm S_d$	53,3±6,8	1,67±0,1	68,9±16,4	24,6±4,9	1,73±0,4			
P1	41	1,56	56	23,0	2,2	ja	<40	selten
P2	42	1,69	81	28,4	1,5	nein	0	selten
P3	42	1,68	69	24,4	1,8	ja	<20	regelmäßig
P4	40	1,68	68	24,1	1,8	nein	<20	regelmäßig
$\bar{x} \pm S_d$	41,3±0,1	1,65±0,1	68,5±10,2	25,0±2,3	1,83±0,3			

Die 20- bis 35-jährigen Arbeitspersonen waren im Durchschnitt 23,7 Jahre alt und damit im Schnitt 2 Jahre jünger als die von PENZKOFER (2013) untersuchten männlichen Apn. Die durchschnittliche Größe betrug 1,69 m bei einem mittleren Gewicht von 64 kg. Die mittels PWC<sub>130</sub>-Fahrradergometertest festgestellte relative Leistungsfähigkeit kann für die Gruppe insgesamt mit einem Wert von 1,41 Watt/kg noch als befriedigend eingestuft werden, allerdings zeigten 4 Apn mit Werten unter 1,25 Watt/kg eine unbefriedigende relative Leistungsfähigkeit, was nach den eigenen Vorgaben eigentlich zum Ausschluss von der Untersuchung hätte führen müssen. Die geringen Werte waren aber vor allem auf die hohe Nervosität und die damit verbundene erhöhte Herzschlagfrequenz zu Beginn des Tests zurückzuführen, was dazu führt, dass die „wahre“ relative Leistungsfähigkeit der Apn mittels des ausgewählten Testverfahrens nicht genau ermittelt werden konnte. Da alle während der Heimmessung ermittelten Ruheblutdruck- und Ruhepulswerte im Normbereich lagen, die Apn selbst angaben, bisher keine Herz-Kreislaufkrankung gehabt zu haben, regelmäßig Sport zu treiben und sich zum Zeitpunkt der Untersuchung uneingeschränkt gesund zu fühlen, wurden sie dennoch zur Untersuchung zugelassen, standen aber unter besonderer Beobachtung. Drei der 15 jüngeren Apn gingen in ihrer Freizeit keiner sportlichen Betätigung nach. Ebenso gaben 3 Apn an, regelmäßig zu rauchen, knapp die Hälfte nahm regelmäßig alkoholische Getränke zu sich, alle anderen eher selten.

Die 40- bis 65-jährigen Apn waren mit 53 Jahren genau 30 Jahre älter als die Apn der „jüngeren“ Altersklasse und im Schnitt 2 Jahre jünger als die von PENZKOFER (2013) untersuchten älteren männlichen Apn. Die älteren weiblichen Apn waren durchschnittlich 4 kg schwerer und 2 cm kleiner als ihre „jüngeren“ Kolleginnen, allerdings zeugte ein mittlerer PWC<sub>130</sub>-Wert von 1,73 W/kg von einer guten relativen Leistungsfähigkeit. Dieser Unterschied war vor allem darauf zurückzuführen, dass ein Großteil der älteren Apn regelmäßiger und konsequenter Sport trieb als es bei den jüngeren der Fall war. Auch der eigene Haushalt, oftmals verbunden mit Gartenarbeit, scheint die relative Leistungsfähigkeit im Vergleich zum vorwiegend studentischen Leben der jüngeren Apn zu begünstigen. Der mit 1,2 nur knapp befriedigende Wert von Ap 29 war ebenso auf die zuvor angesprochene, nervositätsbedingte erhöhte Herz-

schlagfrequenz zu Testbeginn zurückzuführen. Beim Konsum von Alkohol und Nikotin zeigte das Kollektiv der älteren Apn ein ähnliches Verhalten wie das der jüngeren Apn, wobei lediglich eine Ap angab, regelmäßig zu rauchen.

Die 4 professionellen Kommissioniererinnen waren im Schnitt 41 Jahre alt und bildeten somit in etwa das mittlere Alter der beiden untersuchten Kollektive ab. Die weiteren Körperdaten entsprachen weitestgehend denen der älteren Apn, wobei die ebenfalls gute relative Leistungsfähigkeit von 1,83 W/kg vorwiegend auf die tägliche körperliche Arbeit des Kommissionierens zurückzuführen war, denn 2 von 4 „Profis“ gaben an, keinerlei Sport zu treiben und 3 von 4 konsumierten regelmäßig Nikotin.

Aus den angegebenen Körperdaten wurde für alle Apn der Body-Mass-Index (BMI) als Maßzahl für die Bewertung des Körpergewichts nach folgender Formel 6.1 berechnet:

$$BMI = \frac{\text{Körpermasse [kg]}}{\text{Körpergröße}^2 [\text{m}^2]} \quad (6.1)$$

Während seitens der Weltgesundheits-Organisation (WHO) nur eine grobe Einteilung der BMI-Werte in unterschiedliche Gewichtsklassen erfolgte, berücksichtigen die in Tabelle 6.5 dargestellten Werte auch Alter und Geschlecht. Die von der *Deutschen Gesellschaft für Ernährung e.V. (DGE)* aufgestellte Klassifizierung nach Geschlecht (vgl. Tabelle 6.5, links) beachtet dabei, dass Männer, bedingt durch ihren höheren Muskelanteil, in der Regel einen höheren BMI aufweisen. Weiterhin stufte das amerikanische *National Research Council (NRC)* mit zunehmendem Alter einen höheren BMI als „normalgewichtig“ ein (vgl. Tabelle 6.5, rechts). Zu beachten bleibt allerdings, dass KEYS et al. (1972) als Begründer des Begriffs *Body-Mass-Index* empfehlen, den BMI nicht für die Beurteilung von Einzelpersonen, sondern ausschließlich zum statistischen Vergleich bestimmter Populationen heranzuziehen. Der BMI kann nämlich nicht zwischen fettem und magerem Gewebe unterscheiden, was häufig zu Fehlinterpretationen führt (vgl. BOGIN & VARELA-SILVA, 2012). Aus diesem Grund wird der BMI in der vorliegenden Untersuchung auch nicht dazu benutzt, einzelne Personen dahingehend zu bewerten, ob sie in besonderem Maße für die Arbeit in Kälte geeignet oder ungeeignet sind, auch wenn bestimmte körperliche Voraussetzungen die Kälteresistenz begünstigen können.



Entsprechend den Einteilungen in Tabelle 6.5 waren die jüngeren Apn mit einem mittleren BMI von 22,1 normalgewichtig, wohingegen die älteren Apn mit einem Wert von 24,6 und die Profis mit sogar 25,0 entsprechend der lediglich geschlechtsspezifischen Einteilung im linken Tabellenbereich leicht übergewichtig waren. Wird allerdings, wie im rechten Tabellenteil dargestellt, der natürlicherweise mit zunehmendem Alter ebenfalls steigende BMI berücksichtigt, so lagen alle Werte im Normalbereich.

Tab. 6.5: *Klassifikation des BMI nach Geschlecht (links) (nach DGE, 1992) und Darstellung „normalgewichtiger“ BMI-Werte in Abhängigkeit des Alters (rechts) (nach NRC, 1989)*

Klassifikation	Männer	Frauen	Alter [Jahre]	BMI
Untergewicht	<20	<19	19-24	19-24
Normalgewicht	20-25	19-24	25-34	20-25
Übergewicht	25-30	24-30	35-44	21-26
Adipositas	30-40	30-40	45-54	22-27
massive Adipositas	>40	>40	55-64	23-28

## 6.2 Methoden zur Erfassung der Auswirkungen von Kältearbeit

Im Vergleich mit den von PENZKOFER (2013) gewonnenen Erkenntnissen hinsichtlich der Kältebeanspruchung bei männlichen Kommissionierern, wurden bei den Feldstudien mit weiblichen Arbeitspersonen die gleichen, in der Arbeitsphysiologie als wichtig erachteten Parameter erfasst. Hierbei kamen zur Sicherstellung miteinander vergleichbarer Untersuchungsergebnisse – sowohl innerhalb der Versuchsreihen mit Frauen als auch im Vergleich zu den Ergebnissen mit Männern – identische Messverfahren und die gleiche bewährte Messtechnik zum Einsatz. Um ein hohes Maß an Beweglichkeit garantieren zu können, das die Arbeitsausführung nicht behinderte, wurde ausschließlich mobile Messtechnik verwendet, bei der u.a. am Körper getragene Datenlogger eine Entkopplung der untersuchten Person von stationärer Messtechnik gewährleisten (KLUTH & STRASSER, 2006). Abbildung 6.4 stellt die eingesetzte Messtechnik dar, mit der die thermoregulatorischen Parameter **Körperkerntemperatur**

(Tympanumtemperatur) (1) und **Hautoberflächentemperatur** (2, 3), die Beanspruchungsparameter des Herz-Kreislaufsystems **Herzschlagfrequenz** (4) und **Blutdruck** (5) sowie der Belastungsparameter **Energieumsatz** (6) bestimmt wurden.

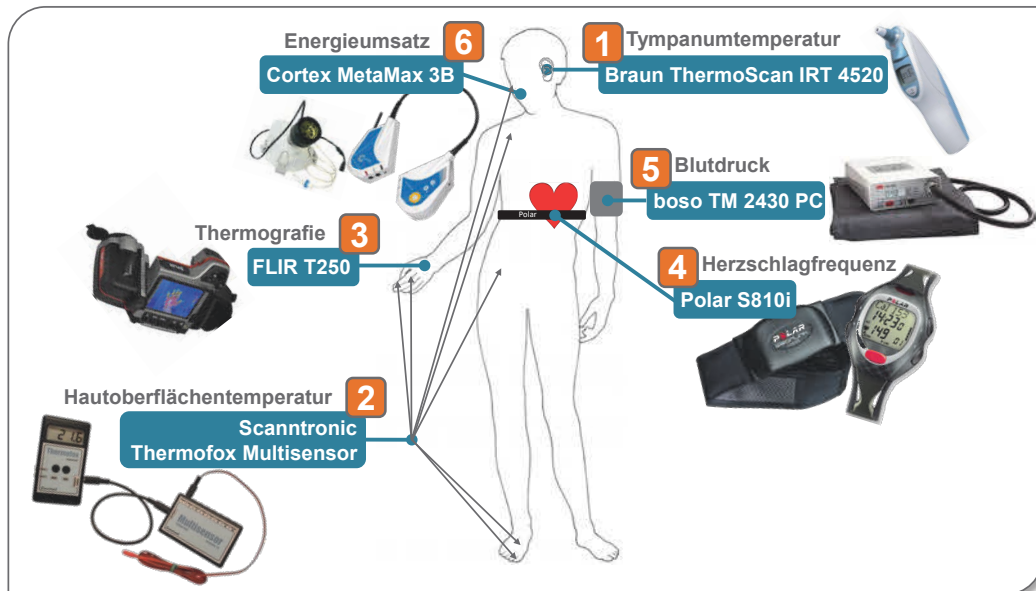


Abb. 6.4: *Eingesetzte Messtechnik zur Objektivierung kälte- und arbeitsbedingter Belastung und Beanspruchung*

### 6.2.1 Körperkerntemperatur

Es gibt keine grundlegende Definition für den Begriff des „Körperkerns“, vielmehr wird nach DIN EN ISO 9886 (2004) hierzu sämtliches Gewebe gezählt, welches sich in ausreichender Körpertiefe befindet und nicht durch Temperaturgradienten zum Oberflächengewebe beeinträchtigt wird. Dementsprechend vielfältig sind die Bereiche des menschlichen Körpers, die zum Körperkern zählen, bzw. die Grundlage zur Messung der Körperkerntemperatur bilden. Zur Ermittlung der thermischen Beanspruchung beim arbeitenden Menschen führt das Normenwerk sieben nachfolgend beschriebene, unterschiedliche Methoden der physiologischen Messung der Kerntemperatur an (vgl. DIN EN ISO 9886, 2004).

Bei der Messung der **Ösophagus-Temperatur** (Temperatur in der Speiseröhre) wird ein Temperatursensor in den unteren Teil des Ösophagus eingeführt, wo er die Temperaturveränderungen des arteriellen Blutes mit einer sehr kurzen Ansprechzeit erfasst (DIN EN ISO 9886, 2004). Die Messung der Temperatur im Ösophagus ist für einen Menschen im wachen Zustand unangenehm (IMRIE & HALL, 1990), weshalb sich das Verfahren vorwiegend zur Patientenüberwachung in der Anästhesie und als wissenschaftlicher Standard in der Medizin etabliert hat (BRÄUER et al., 1997). Die genaue Platzierung

des Temperatursensors im Ösophagus ist für ein exaktes Messergebnis von hoher Relevanz, da im Ösophagus ein Temperaturunterschied von bis zu 1,2°C möglich ist (KAUFMAN, 1987). Da aufgrund der kontinuierlichen Bewegungen des Oberkörpers während des Kommissionierens eine gleichbleibende Platzierung des Sensors nicht sichergestellt werden kann und auch das Einführen der Sonde ausschließlich medizinischem Fachpersonal vorbehalten ist, wurde dieses Verfahren zur Erfassung der Körperkerntemperatur in der Feldstudie nicht berücksichtigt.

Zur Messung der **Rektaltemperatur** wird ebenfalls von medizinisch ausgebildetem Personal ein Temperatursensor in das Rektum eingeführt. Da die Temperaturen im Rektum aufgrund der unterschiedlichen Blutzufüsse variieren, muss auch hierbei auf eine gleichbleibende Messtiefe geachtet werden (PERSSON, 2007). Die Messung der Rektaltemperatur ist bei der Verrichtung körperlich schwerer Arbeit und zur Bestimmung der Beanspruchung einer Versuchsperson unter thermischer Belastung weniger geeignet. Ursächlich hierfür ist die Wärmeerzeugung der lokalen Muskeln, vor allem wenn die Arbeit im Wesentlichen mit den Beinen ausgeführt wird, was im Vergleich zur Bluttemperatur – und damit der Temperatur der Wärmeregulationszentren – eine erhöhte Rektaltemperatur verursacht. Weiterhin gibt die Rektaltemperatur Temperaturveränderungen der Wärmeregulationszentren aufgrund von thermischer Belastung nur zeitverzögert wieder (DIN EN ISO 9886, 2004). Aufgrund der Ungenauigkeit der Ergebnisse bei Beinarbeit und der Tatsache, dass das Einführen des Rektalsensors ausschließlich medizinischem Fachpersonal vorbehalten ist, kam auch dieses Verfahren zur Erfassung der Körperkerntemperatur in der Feldstudie nicht in Betracht.

Die **intraabdominale Temperatur** wird bestimmt, indem die Versuchsperson einen Temperatur-aufnehmer in Form einer Telemetriekapsel schluckt. Während des Durchlaufs durch den Magen-Darm-Kanal können in Abhängigkeit von der genauen Position der Kapsel Temperaturschwankungen auftreten. In der Nähe von großen arteriellen Gefäßen und in der Nähe von Organen mit einem hohen lokalen Energieumsatz werden höhere Temperaturen aufgezeichnet, als es beispielsweise in der Nähe der Bauchdecke der Fall ist (DIN EN ISO 9886, 2004). Da die Zeit eines Durchlaufs der Kapsel durch den menschlichen Körper eine sehr individuelle Größe ist, kann eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Versuchspersonen bei diesem Verfahren nicht sichergestellt werden. Auch die Akzeptanz zum Schlucken der Kapsel mit einer Länge von 26,8 mm und einem Durchmesser von 11,7 mm kann auf Seiten der Studienteilnehmer gering sein und somit die Versuchsdurchführung gefährden (PARSONS, 2003; SAAD & HASLER, 2011). Aus diesem Grund wird diese Form der intraabdominalen Temperaturmessung vorwiegend für medizinische Untersuchungen im Bereich der Gastroenterologie verwendet, worauf sich auch die meisten wissenschaftlichen Studien zur Validität und Reliabilität des Systems stützen (siehe u.a. CAMILLERI et al., 2010; KUO et al., 2008; RAO et al., 2009). Neben der Temperaturmessung kann das System auch den pH-Wert sowie den Druck im Magen-Darm-Trakt erfassen und so zur Aufklärung krankhafter Veränderungen dieses Bereiches beitragen (SAAD & HASLER, 2011). Ein weiteres Ausschlusskriterium zur Verwendung der Telemetriekapseln bei der Feldstudie waren die von

ALLAN (2006) und CANNIZZARO (2007) angegebenen Kosten für das System der Firma SmartPill Corporation, die sich auf 15.000 USD (~14.100 EUR) für Hard- und Software zum Auslesen der Kapseln und zusätzlich 500 USD (~470 EUR) pro Einwegkapsel beliefen.

Zur Bestimmung der **Oraltemperatur** (auch Sublingualtemperatur genannt), wird der Temperaturaufnehmer unter die Zunge gelegt, damit ein Kontakt mit den tiefen arteriellen Verzweigungen der Zungenschlagader besteht. Diese Art der Temperaturmessung wird von den thermischen Bedingungen, in denen sich die Versuchsperson befindet, im Wesentlichen beeinflusst. Ein geöffneter Mund, Speichel und das Atmen führen zu einer vermeintlich verringerten Körperkerntemperatur. Auch die Abnahme der Hautoberflächentemperatur im Gesicht, was beim Arbeiten unter sehr kalten Bedingungen durchaus vorkommt, führt zu einer verringerten Oraltemperatur (DIN EN ISO 9886, 2004; PARSONS, 2003). Aufgrund der Einschränkungen für die Versuchsteilnehmer bei einer kontinuierlichen Messung der Oraltemperatur als auch aufgrund der starken thermischen Beeinflussung konnte dieses Verfahren zur Bestimmung der Körperkerntemperatur während der Feldstudie nicht berücksichtigt werden.

Die Messung der **Urintemperatur** kann entweder durch einen in einem Urinkatheter integrierten Temperatursensor erfolgen (LOCHNER, 2013) oder, wie es das Normenwerk zur Ermittlung thermischer Beanspruchungen empfiehlt, durch das Messen der Urintemperatur beim Entleeren der Blase geschehen (DIN EN ISO 9886, 2004). Da die erste Methode wie alle Verfahren, bei denen das Platzieren von Sensoren im Körperinneren eines Menschen ausschließlich medizinischem Personal vorbehalten ist, wäre ausschließlich das Messen der Urintemperatur nach dem Ausscheiden in einem Auffangbehälter in Frage gekommen. Da das in Kapitel 6.1 beschriebene Versuchsdesign allerdings eine Vielzahl von Messungen der Körperkerntemperatur während eines Versuchstages vorsah, konnte auch dieses Verfahren bei der Auswahl der möglichen Messmethoden nicht mit einbezogen werden.

Bei der Platzierung eines Temperaturaufnehmers an die Wände des Gehörgangs und in unmittelbarer Nähe zum Trommelfell wird die **Gehörgangstemperatur** gemessen. Diese bildet allerdings nur eine kombinierte Temperatur aus Kern und Haut ab, da sowohl die Temperatur des Arterienblutes im Herzbereich einbezogen wird als auch die Temperatur des Blutes, das die Haut um die Ohren und benachbarte Teile des Kopfes versorgt (DIN EN ISO 9886, 2004). Aus diesem Grund kann die Gehörgangstemperatur leicht durch thermische Umwelteinflüsse verfälscht werden, weshalb der Sensor nach außen hin gut zu isolieren ist (PARSONS, 2003). Trotz der Ungenauigkeit gegenüber anderen Messmethoden liegt der Vorteil in der höheren Akzeptanz bei den Versuchspersonen (DIN EN ISO 9886, 2004), wobei lange Tragezeiten und eine evtl. eingeschränkte Hörfähigkeit störend wirken können (PARSONS, 2003). Ist es möglich, die Einflüsse der tiefen Umgebungstemperaturen von bis zu  $-24^{\circ}\text{C}$  abzuschalten, bietet die Messung der Gehörgangstemperatur eine Option zur kontinuierlichen Messung der Veränderungen der Körperkerntemperatur während der Arbeit in Kälte. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen war die Technik allerdings noch nicht zufriedenstellend ausgereift, sodass diese Methode keine Berücksichtigung finden konnte.

BENZINGER (1959) untersuchte als Erster das Trommelfell (Membrana tympani) als möglichen Ort, um die Körperkerntemperatur zu messen, woraus sich die **tympanische Temperatur** ergab. Seitdem wurde die Tympanumtemperatur von einer Vielzahl an Wissenschaftlern untersucht (vgl. u.a. BRINNEL & CABANAC, 1989; CHILDS et al., 1999; DICKEY et al., 1969). Da die Durchblutung des Trommelfells in Teilen durch die innere Kopfschlagader erfolgt, die auch den Hypothalamus mit Blut versorgt, gibt dessen Temperatur die Temperatur in den Wärmeregulationszentren sehr gut wieder. Das Trommelfell wird allerdings auch durch die äußere Kopfschlagader versorgt, deren Wärmeaustausch in anderen Bereichen des Kopfes die Temperatur am Trommelfell beeinflussen kann (DIN EN ISO 9886, 2004). Aus diesem Grund wurde oftmals gegen die Messung der Körperkerntemperatur am Trommelfell argumentiert (vgl. u.a. COOPER et al., 1964; NADEL & HORVATH, 1970; MARCUS, 1973). Da das direkte Messen der Temperatur am Trommelfell mittels eines Sensors sehr schmerzhaft sein kann, hat sich die Messung mittels eines Infrarot-Oberflächentemperaturmessgerätes etabliert.

Aufgrund der zuvor genannten Vergleichbarkeit mit den von PENZKOFER (2013) gewonnenen Untersuchungsergebnissen mit männlichen Kommissionierern in Kälte, wurde bei den Untersuchungen mit Frauen ebenfalls die tympanische Temperatur mittels eines Infrarot-Oberflächentemperaturmessgerätes erfasst. Entsprechend den Empfehlungen aus der DIN EN ISO 9886 (2004) wurde vor der Untersuchung evtl. vorhandenes Ohrenschmalz entfernt, das äußere Ohr durch eine Wollmütze zu den Umgebungsbedingungen thermisch isoliert und die Messungen über den Versuchstag hinweg immer von der gleichen Person durchgeführt. Da nicht alle in der Norm genannten Störfaktoren ausgeschlossen werden konnten – und hierdurch eine Beeinflussung der absoluten Körperkerntemperatur möglich war – wurden lediglich die Veränderungen der Tympanumtemperatur ( $\Delta KKT$ ) zur Bewertung der thermischen Beanspruchung während der Arbeit in Kälte betrachtet.

Als Messgerät diente das Infrarot-Ohrthermometer „Thermoscan IRT 4520“ des Herstellers Braun® (siehe Abb. 6.4, **1**), welches die Wärmestrahlung des Trommelfells berührungslos erfasst. Nach Herstellerangaben ist das Thermometer für die Verwendung bei Umgebungstemperaturen zwischen +10°C und +40°C geeignet, wobei die Messspitze des Gerätes vor jeder Verwendung auf nahezu Körperkerntemperatur erwärmt wird, wodurch die Eigentemperatur des Thermometers die Messung nicht beeinflusst. Stellt das Thermometer bei diesem Kalibriervorgang fest, dass die Messspitze zu kalt ist, stellt es nicht in den betriebsbereiten Modus um und eine Messung ist nicht durchführbar. Um das zu verhindern, wurde das Thermometer unter der Thermoschutzkleidung eng am Körper des Versuchsleiters getragen und nur kurzzeitig für die

Temperaturmessung den kalten Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Die eigentliche Messung erfolgte innerhalb weniger Sekunden und wurde durch einen Signalton und das Aufleuchten einer Diode am Gerät quittiert.

Da das eingesetzte Infrarot-Ohrthermometer unter den vorliegenden Umgebungsbedingungen im technischen Grenzbereich arbeitete, wurde in einer ergänzenden Studie mit 12 Versuchspersonen die Validität des an der TU München entwickelten und vom Start-Up Unternehmen *cosinuss*<sup>o</sup> weiterentwickelten und vertriebenen Ohrsensors beim Einsatz in unterschiedlichen Temperaturbereichen (+18°C, +3°C und -24°C) überprüft (vgl. ENKE, 2012). Bei dem Sensor handelt es sich um ein Widerstandsthermometer, das durch eine hörgeräteähnliche Vorrichtung im Ohr in der Nähe des Trommelfells appliziert wird und dort die Temperatur der Haut des Gehörgangs misst. Zum Zeitpunkt der Untersuchung standen zunächst nur Prototypen des Sensors zur Verfügung, die lediglich Temperaturveränderungen aufzeichnen konnten und wenig Anwenderkomfort boten. Abbildung 6.5 zeigt den damaligen Stand (2011) des Temperaturlaufnehmers mit einer Kabelverbindung, die mit einem mitgeführten Datenlogger verbunden wurde. Selbige Abbildung veranschaulicht den aktuell (2017) im Handel befindlichen Sensor *cosinuss*<sup>o</sup> One, der eine mobile Messung und direkte Überwachung der Körperkerntemperatur, Herzschlagfrequenz und Herzratenvariabilität durch eine ANS+ oder Bluetooth 4.0 Smart Funkverbindung auf einem beliebigen Gerät möglich macht. In der durchgeführten Vergleichsstudie zwischen dem Prototypen des *cosinuss*<sup>o</sup>-Ohrsensors und dem Braun<sup>®</sup> Infrarot-Ohrthermometer wurde deutlich, dass das Sensorsystem für den Einsatz in tiefer Kälte nur bedingt geeignet ist, da die Messergebnisse von den niedrigen Umgebungstemperaturen stark beeinflusst werden. Da das neuartige Sensorsystem jedoch eine sehr gute Möglichkeit der arbeitswissenschaftlichen Bewertung der Beanspruchungsparameter Körperkerntemperatur und Herzschlagfrequenz bietet, sollte die Validität des Sensors unter extremen klimatischen Bedingungen weiter untersucht werden. Um allerdings eine optimale messtechnische Beurteilung vornehmen zu können, ist es weiterhin zu empfehlen, den *cosinuss*<sup>o</sup>-Sensor mit einem anderen kontinuierlich messenden System zu vergleichen.



Abb. 6.5: Prototyp (Stand 2011) und verkaufsfähiger Sensor (Stand 2017) des *cosinuss*<sup>°</sup>-Sensorsystems

### 6.2.2 Hautoberflächentemperatur

Die Hautoberflächentemperatur wurde kontinuierlich an den in Abbildung 6.6 dargestellten 7 Messpunkten des Körpers mittels NTC-Oberflächensensoren erfasst. Bei den Sensoren handelt es sich wie bei dem *cosinuss*<sup>°</sup>-System ebenfalls um Widerstandsthermometer, bei denen sich mit zu- oder abnehmender Temperatur der elektrische Widerstand ändert. Die Sensoren wurden an die Buchsenleiste des Sensormoduls angeschlossen, das wiederum an die Basiseinheit (*Scanntronic*<sup>®</sup> Thermofox-Multi-sensor-Temperatur-Datenlogger) gekoppelt war (siehe Abb. 6.4, 2). Mit dieser Messeinheit können bis zu 10 Temperaturen gleichzeitig über Sensoren erfasst werden, und auch die interne Temperatur des Gerätes kontinuierlich aufgezeichnet werden. Da der Datenlogger unter der Kälteschutzkleidung getragen wurde, konnte somit auch die Lufttemperatur unter der Kleidung durch den internen Sensor erfasst werden. Die Temperaturen wurden in 5-Sekunden-Intervallen aufgezeichnet und am Ende des Versuchstages über eine serielle Schnittstelle an den PC übertragen. Die dazugehörige Software erlaubte umfangreiche Analysen der einzelnen Sensoren und einen Datenexport zur weiteren Auswertung in *Microsoft Excel*<sup>®</sup>.

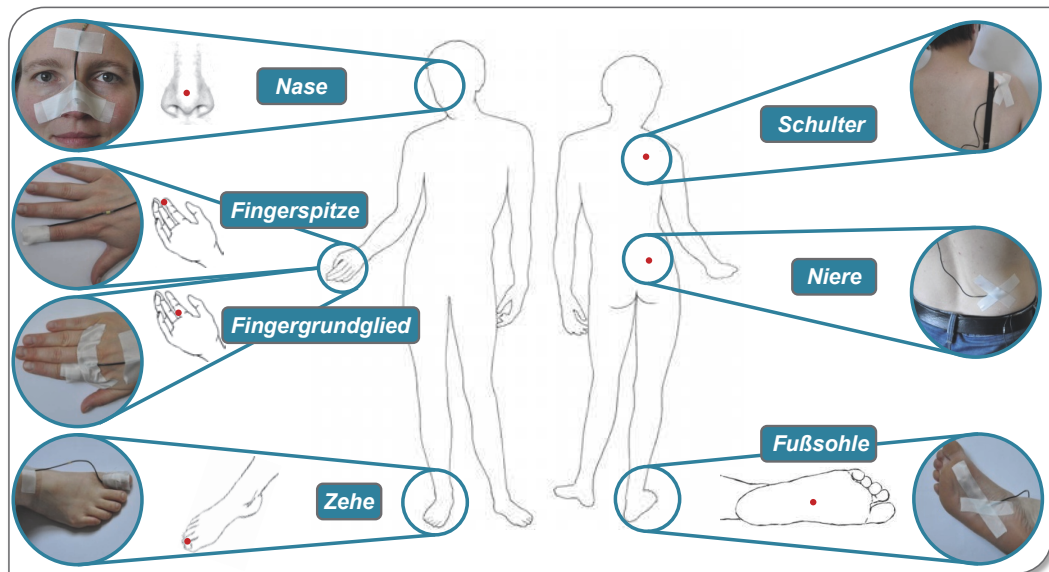


Abb. 6.6: Messpunkte zur kontinuierlichen Erfassung der Hautoberflächentemperaturen

Die Applikation der NTC-Sensoren erfolgte mittels Heftpflaster-Vlies an den in Abbildung 6.6 dargestellten Bereichen, die sich in zwei Messpunkte am Rumpf (Schulter und Niere), 4 Messpunkte an den Akren (Fingerspitze /-grundglied, Fußsohle und Zehe) sowie die der Kälte ungeschützt ausgesetzte Nase unterteilen. Die Festlegung der Messpunkte erfolgte aufgrund der bereits angesprochenen Vergleichbarkeit zu den Untersuchungsergebnissen mit Männern auf der Basis der von PENZKOFER (2013) getroffenen Auswahl. Diese basierte zum einen auf einer mit 30 Tiefkühlkommissionieren durchgeführten Befragung von KLUTH & STRASSER (2001) aus der hervorging, dass insbesondere an den Akren (Hände, Finger, Füße und Zehen) sowie an der Nase unangenehme Empfindungen während der Arbeit in Kälte verspürt wurden. Zum anderen sind nach Einschätzung von PENZKOFER (2013) Auskühlungen im Bereich des Rumpfes als besonders kritisch anzusehen.

Zur visuellen Unterstützung bei der Bewertung der Hautoberflächentemperatur und der Isolation von Kälteschutzkleidung wurden Wärmebildaufnahmen mit dem Thermografie-Messsystem FLIR T250 (siehe Abb. 6.4, 3) gemacht. Hierdurch konnten thermische Verluste der Arbeitspersonen dokumentiert und thermische Schwachstellen in der Kälteschutzkleidung erkannt werden. Weiterhin erlaubt das System die Darstellung von Temperaturmustern der menschlichen Haut, wodurch kältebedingte Durchblutungsstörungen sichtbar gemacht werden konnten.



### 6.2.3 Herzschlagfrequenz

Zur kontinuierlichen Erfassung der Herzschlagfrequenz als zentralem Beanspruchungsparameter wurde die vor allem für wissenschaftliche, medizinische und leistungsdiagnostische Untersuchungen konzipierte Pulsuhr S810i™ von Polar® (vgl. LÖLLGEN et al., 2004) eingesetzt (vgl. Abb. 6.4, 4). Hierbei werden über zwei in den Brustgurt eingelassene Elektroden die bei der Herztätigkeit entstehenden elektrischen Potentialschwankungen nach dem EKG-Prinzip abgeleitet (vgl. RUHA et al., 1997). Anschließend erfolgt vom Brustgurt aus die telemetrische Übertragung der Daten an den externen Armbanduhrempfänger, welcher die aktuellen Herzfrequenzdaten kontinuierlich auf dem Uhrendisplay anzeigt und intern speichert. Am Ende einer Messreihe können die mittels „beat-to-beat-Messung“ aufgezeichneten Herzfrequenzen mit Hilfe der Software *Polar Precision Performance* über ein Infrarot Interface vom Armbanduhrempfänger aus zum PC übertragen werden, wo die Rohdaten auch im ASCII-Format zur weiteren Datenauswertung zur Verfügung stehen (vgl. BÜRKLEIN et al., 2005; HACKE, 2008). Vergleichende Studien zwischen einem EKG und dem mobilen Herzfrequenzmessgerät Polar® S810i™, die u.a. von VANDERLEI et al. (2008) und NUNAN et al. (2008) durchgeführt wurden, bestätigen die hohe Messgenauigkeit des Systems von Polar®.

Während der Versuchsreihen im Warenverteilstadium kam es immer wieder zu Datenartefakten bis hin zur Nicht-Auswertbarkeit der Herzschlagfolgen, was bei funkübertragenden Pulsuhr-Systemen ein bekanntes Problem darstellt, insbesondere im Bereich elektromagnetischer Felder (vgl. HOTTENROTT, 2007; SAMMITO et al., 2011). Die Ursache für die Störungen während des Kommissionierens in Kälte konnten nicht lokalisiert und somit auch nicht abgeschaltet werden. Daher musste ein zweites, funktionsfähiges, Messsystem die etablierte Technik von Polar® ergänzen. Der Suunto Memory Belt, dessen Validität im Vergleich zum klassischen EKG, aber auch zum Polar® S810i™ vielfach nachgewiesen wurde (vgl. HACKE, 2008; SAMMITO et al., 2011; WEIPPERT et al., 2010), bot dabei eine adäquate Lösung. Der Memory Belt arbeitet in gleicher Weise wie der Brustgurt von Polar, allerdings werden die Daten nicht an einen externen Empfänger übertragen sondern intern gespeichert. Das Auslesen der Daten erfolgt mit Hilfe der Auswertungssoftware *Suunto Training Manager*, indem der Gurt an ein spezielles Datenübertragungskabel gekoppelt wird, das via USB die

Herzschlagfolgen auf einen PC übermittelt. Damit beide Systeme simultan eingesetzt werden konnten, wurde der Brustgurt von Polar<sup>®</sup> ventral und der Suunto Memory Belt dorsal über dem unteren Brustbeindrittel des Thorax befestigt. Da sich während der Untersuchungen zeigte, dass die Transpiration bei den Frauen weniger stark ausgeprägt war als bei den von PENZKOFER (2013) untersuchten Männern, musste zusätzlich ein Kontaktgel auf den Brustgurten dafür sorgen, dass die lückenlose Aufzeichnung der Herzfrequenzdaten über den gesamten Versuchstag hinweg gesichert war.

#### **6.2.4 Blutdruck**

Die diskontinuierliche Erfassung des Beanspruchungsparameters Blutdruck erfolgte Mittels des für Langzeitmessungen konzipierten Blutdruck-Computers boso<sup>®</sup> TM2430 PC2 (vgl. Abb. 6.4, 5). Nach Herstellerangaben liegt der Messbereich zwischen 40 und 280 mmHG mit einer Genauigkeit von  $\pm 3$  mmHg. Vor Beginn der Messungen wurde den Apn die Blutdruckmanschette mit einem Abstand von 2-3 cm zur Ellenbeuge und einer Markierung über der Aorta brachialis angelegt. Das korrekte Anlegen der Manschette ist für die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse unabdingbar (vgl. RÄDLE et al., 2009). Vor den Messungen wurde das automatische Messintervall des Blutdruck-Computers über eine serielle Schnittstelle mit Hilfe der dazugehörigen Software „Profil Manager 2“ auf 15 min eingestellt. Bei Bedarf konnte eine Messung während des Versuchstages auch manuell ausgelöst werden, bspw. wenn eine automatische Messung durch exogene Störfaktoren beeinflusst wurde. Sowohl die Blutdruckmanschette als auch der Blutdruck-Computer wurden unter der Kälteschutzkleidung getragen, um den vom Hersteller für den Betrieb vorgegebenen Temperaturbereich von +10°C bis +40°C einzuhalten. Die Apn wurden vorab in einem Aufklärungsgespräch dazu angeleitet, sofort die Arbeit einzustellen, sobald das Gerät mit der Messung beginnt und den linken Arm auf Herzhöhe am Flurförderzeug bequem abzustützen. Da das Gerät über eine automatische Anpassung der Aufpumphöhe verfügt, die nach der sechsten Messung die Manschette nur noch auf einen Druck von ca. 40 mmHg über dem gewichteten Durchschnitt der zuletzt gemessenen Systolen aufpumpt, wurde die Messung von den meisten Apn als angenehm empfunden. Am Ende des Versuchstages wurden die vom Blutdruckmessgerät gespeicherten Daten ebenfalls über eine serielle Schnittstelle mit Hilfe der Software

„Profil Manager 2“ ausgelesen, ausgewertet und zur weiteren Verarbeitung in unterschiedlichen Dateiformaten gespeichert.

Die am Morgen vor der Versuchsdurchführung ermittelten Blutdruckwerte konnten nur bedingt als vergleichende Ruhewerte angenommen werden. Es kann nämlich durchaus vorkommen, dass Menschen aufgrund der besonderen Situation als Proband eingesetzt zu werden, einen erhöhten Blutdruck aufweisen, obwohl ihr Blutdruck zu anderen Zeitpunkten eigentlich normal ist. In der Fachwelt wird dieses Phänomen auch als „Weißkittelsyndrom“ (bzw. isolierte klinische Hypertonie) bezeichnet. Es ist Menschen zuzuordnen, die unter einer „Iatrophobie“ leiden, d.h. deren Körper unbewusst auf einen Arztbesuch reagiert und dabei vorübergehend auch den Blutdruck ansteigen lässt (siehe u.a. DOLAN et al., 2004; PICKERING et al., 2002; VERDECCHIA et al., 1995). Da sich in der Kürze der Voruntersuchung am Versuchstag nicht feststellen lässt, ob eine Hypertonie krankhaft bedingt und somit dauerhaft besteht, oder ob lediglich eine isolierte klinische Hypertonie vorliegt, wurde den Apm im Vorfeld das für Heimmessungen konzipierte Blutdruckmessgerät boso-medicus PC2 zur Verfügung gestellt, mit dem an 3 Tagen jeweils Morgens, Mittags und Abends zur gleichen Uhrzeit Selbstmessungen nach genauer Anleitung durchgeführt werden sollten. Das Auslesen erfolgte via serieller Schnittstelle und ebenfalls über die Software „Profil Manager 2“. Die Daten der Heimmessung dienten auch als Indikator dafür, ob die Person überhaupt für den Versuch geeignet war, oder ob bspw. schon eine krankhafte Veränderung des Blutdrucks in Form einer Hypertonie oder Hypotonie vorlag und deshalb ein Ausschluss erfolgen musste.

Die Durchführung der Blutdruckmessungen erfolgte entsprechend den Empfehlungen der Leitlinie zur Blutdruckmessung in der Arbeitsphysiologie (vgl. SEIBT & SCHEUCH, 1998). Dabei beruht die Messung beider Geräte auf dem Manschettenprinzip und den Korotkowgeräuschen, die erstmals 1896 von dem italienischen Arzt Scipione Riva Rocci beschrieben wurden (vgl. SILBERNAGL & LANG, 1998). Nach EHMKE (2010) wird der Blutstrom durch den Druck einer um den Oberarm liegenden aufblasbaren Manschette ganz oder teilweise unterbrochen und so der Blutdruck der großen Oberarmarterie (Aorta brachialis) gemessen. Klassisch wird hierzu eine aufblasbare Manschette in Herzhöhe straff am Oberarm angebracht und unter Manometerkontrolle auf einen Wert, der circa 30 mmHG über dem erwarteten systolischen Druck liegt, aufgepumpt. Anschließend wird der Druck langsam aus der Manschette abgelassen (2-4 mmHg/s) und dabei die pulssynchronen Strömungsgeräusche mit einem auf der Ellenbeuge aufgesetzten Stethoskop überwacht (vgl. SILBERNAGL & LANG, 1998). Wird der systolische

Druck unterschritten, werden die sogenannten Korotkowgeräusche hörbar. Bei weiterer Druckminderung werden die Töne mit der Zeit leiser und dumpfer, bis sie nicht mehr hörbar sind. In diesem Moment ist die Arterie wieder offen und das Blut kann laminar durch die Arterie strömen, was den diastolischen Druck kennzeichnet (vgl. HUCH & BAUER, 2003). Eine elektronische Weiterentwicklung bei der Blutdruckmessung stellt das oszillometrische Prinzip dar, nach dem auch die beiden eingesetzten Geräte arbeiten. Das Aufpumpen der Manschette wird per Knopfdruck ausgelöst und auch die kontinuierliche Druckreduzierung erfolgt vollautomatisch. Während dieser Vorgänge treten in der Manschette kleine Druckschwankungen (Oszillationen) in Folge der arteriellen Blutdruckschwankungen auf. Das Messsystem erfasst die zunächst stärker und dann wieder schwächer werdenden Oszillationen und speichert diese mit dem zugehörigen Manschettendruckwert im Gerät ab. Mittels geeigneter Algorithmen werden die gespeicherten Werte in den systolischen und den diastolischen Blutdruck umgewandelt (DIN EN 1060-3, 2010). Beide Geräte entsprechen den europäischen Vorschriften, die dem Medizinproduktegesetz zugrunde liegen und ebenso der DIN EN 80601-2-30 (2011) sowie der DIN EN 1060-3 (2010).

### **6.2.5 Bruttoenergieumsatz**

Der Bruttoenergieumsatz wurde mit Hilfe des in Abbildung 6.4, **6** dargestellten mobilen Ergospirometrie-Systems MetaMax 3B der Firma Cortex® bestimmt. Die Geräteserie MetaMax (bestehend aus I, II und 3B) war in der Vergangenheit oftmals Gegenstand diverser Untersuchungen, sowohl was die Validität und Reliabilität der Geräte angeht als auch deren praktische Anwendung in Feld- und Laborstudien (vgl. u.a. MEYER et al., 2005). VOGLER et al. (2010) und MACFARLANE & WONG (2012) beziehen sich dabei auf den aktuellen und auch in den hier dargestellten Untersuchungen eingesetzten Gerätetyp, das MetaMax 3B, das eine hohe Reliabilität bei der Bestimmung des Energieumsatzes gewährleistet und valide Aussagen erlaubt. MEYER et al. (2005) heben zudem hervor, dass das ohnehin geringe Gewicht des Gerätes symmetrisch auf die Vorder- und Rückseite des Rumpfes verteilt wird, was einen hohen Anwender- und Tragekomfort bietet. Aus diesem Grund eignet sich das MetaMax 3B insbesondere für Untersuchungen, in denen die Studienteilnehmer u.a. schwere Kleidung tragen müssen, die das Herz-Kreislaufsystem zusätzlich belastet und die Bewegungsfreiheit einschränkt (vgl. u.a. HOLMÉR & GAVHED, 2007; DORMAN 2007).

Die Systematik ergospirometrischer Messverfahren und die damit zu messenden spirometrischen Parameter wurden bereits ausführlich in Kapitel 3.3 erläutert. Daher wird in diesem Abschnitt ausschließlich die technische Funktionsweise und die Adaption des MetaMax 3B an die sehr kalte Umgebung beschrieben. Das System besteht

aus einer Atemmaske mit aufgestecktem Volumensensor und einer Absaugstrecke, die beide wiederum mit einem über der Schulter getragenen System verbunden sind. Hierbei handelt es sich um eine Gasanalyseeinheit und einen Datenspeicher sowie eine Sendeeinheit, die ihre Daten per Funk an eine Empfangseinheit überträgt, die wiederum mit einem PC verbunden ist. Vor einer relevanten Messung müssen gerätespezifische Einstellungen vorgenommen und Tests durchgeführt werden, wie beispielsweise eine Umgebungsluftmessung die einer besonderen Sorgfalt bedürfen, um fehlerfreie Messergebnisse zu gewährleisten.

Das MetaMax 3B arbeitet mittels „Breath-by-Breath“ bzw. „Intra-Breath“-Messtechnik, bei der in- und expiratorisch der Atemstrom direkt durch den in Mundnähe befindlichen Volumensensor erfasst wird. Durch den Atemstrom wird die im Volumensensor integrierte Turbine angetrieben, deren Flügel wiederum vom Volumensensor ausgesandte Lichtstrahlen reflektieren oder unterbrechen. Photodioden wandeln diese Lichtstrahlen in elektrische Impulse um, woraus sich Atemstrom und Atemgasvolumen ableiten lassen. Die in den Volumensensor gesteckte Absaugstrecke entnimmt kontinuierlich eine Gasprobe der Atemluft und leitet diese zur Auswertung des Sauerstoff- und Kohlendioxidgehaltes an die Analyseeinheit des Ergospirometrie-systems weiter. Die Messung der O<sub>2</sub>-Konzentration erfolgt über eine elektrochemische Zelle, die CO<sub>2</sub>-Konzentration wird mit Hilfe einer nichtdispersiven Infrarotabsorptionsanalyse bestimmt. Während der Messung werden die Daten per Funk an die Empfangseinheit und dann auf den PC übertragen und gleichzeitig im geräteinternen Datenspeicher gesichert. Hierdurch konnte eine spätere Verwertbarkeit der Messergebnisse garantiert werden, wenn es – wie bereits bei dem Pulsuhr-System von Polar® – zu Datenartefakten bis hin zum Abbruch der Datenübertragung kam. Nach der Energieumsatzmessung können die über den PC ausgelesenen Daten mit Hilfe der dazugehörigen Software MetaSoft angezeigt, ausgewertet und in unterschiedliche Dateiformate exportiert werden.

Die Firma Cortex® liefert für das MetaMax 3B ein spezielles Trockenschlauchsystem, das stabile Messungen bei tiefen Temperaturen gewährleisten sollte. Vorangegangene Untersuchungen bei -24°C zeigten, dass es trotz der zusätzlichen Trocknungseinheit zum Gefrieren funktionsrelevanter Fluidströme und Eisbildung an wichtigen

Bauteilen kam, wodurch die Energieumsatzmessung nur kurzzeitig durchgeführt werden konnte (vgl. PENZKOFER, 2013). Nach genauer Problemanalyse und der Betrachtung mehrerer Lösungsansätze, wurde ein Prototyp entwickelt, der mittels elektrischer Wärmeerzeugung der Eisbildung an der Ansaugdüse und einem Teil der Absaugstrecke weitestgehend entgegenwirken konnte. Weitere Testphasen und die darauf basierende kontinuierliche Entwicklung des Heizsystems und die Isolierung der Absaugstrecke führten letztlich dazu, dass die Bestimmung des Energieumsatzes einer Arbeitsperson bei  $-24^{\circ}\text{C}$  über einen Zeitraum von ca. 30 min durchgeführt werden konnte. Die Phasen der Produktentwicklung sowie eine detaillierte Darstellung des Heizsystems sind ausführlich in KOLLMANN (2009) beschrieben.

### **6.3 Methoden zur Erfassung der subjektiven Wahrnehmung bei Kältarbeit**

In Ergänzung zu den Methoden der objektiven Belastungs- und Beanspruchungsmessung, die in Abschnitt 6.2 erläutert wurden, stellt die subjektive Beanspruchungsermittlung ein weiteres Verfahren dar, mit dem die ganzheitliche arbeitswissenschaftliche Analyse komplettiert wird. Im Folgenden werden die Ziele und Methoden der subjektiven Befragung während der Feldstudie dargestellt.

#### ***6.3.1 Subjektive Kälteempfindungen während der Feldstudie***

Die kälteexponierten Arbeitspersonen sollten zu festgelegten Zeitpunkten zu ihren subjektiven Kälteempfindungen in unterschiedlichen Bereichen des Körpers befragt werden. Hierbei kam der in Abb. 6.7 für die 120-min Arbeitsphase beispielhaft dargestellte standardisierte Fragebogen zum Einsatz, in den die vom Versuchsleiter abgefragten Empfindungen im Bereich des Kopfes (Stirn, Nase, Mund und Ohren), des Oberkörpers, der Arme, Hände und Finger, am Unterleib und Gesäß sowie den unteren Extremitäten (Beine, Füße und Zehen) im Zahlenformat eingetragen wurden. Hieraus ließen sich Kälteempfindungen im zeitlichen Verlauf abbilden, die dann in Teilen mit den gemessenen Hautoberflächentemperaturen verglichen werden konnten.

Wie beurteilen Sie die körperliche Kälteempfindung in den nachfolgenden Körperbereichen zu den jeweils angegebenen Zeitpunkten (Minutenwerte) und am Ende einer Aufwärmphase?  
Geben Sie bitte jeweils eine der rechts stehenden Antwortmöglichkeiten an.

Tiefkühlager	15'	30'	45'	60'	75'	90'	105'	120'	Am Ende der Pause
Stirn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nase	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mund	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ohren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oberkörper	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hände	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Finger	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Unterleib/Gesäß	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Füße	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

keine  
 1 kühl  
 2 kalt  
 3 sehr kalt  
 4 unerträglich kalt

Abb. 6.7: Fragebogen zu den Kälteempfindungen in verschiedenen Körperbereichen im zeitlichen Verlauf während der 120-min Arbeitsphase im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  und zum Ende der daran anschließenden Aufwärmphase bei ca.  $+21^{\circ}\text{C}$

Nach LEHMUSKALLIO et al. (2000) sind Kälteempfindungen von einigen unterschiedlichen Faktoren abhängig, verhalten sich aber auch äquivalent zur Hautoberflächentemperatur der betrachteten Körperstelle. Demnach werden Hautoberflächentemperaturen unter  $+29^{\circ}\text{C}$  als kühl, unter  $+25^{\circ}\text{C}$  als kalt und unter  $+18^{\circ}\text{C}$  als schmerzhaft empfunden. Das Schmerzempfinden nimmt allerdings bei Temperaturen zwischen  $+15$  und  $+10^{\circ}\text{C}$  wieder ab und geht bei Temperaturen unter  $+8^{\circ}\text{C}$  gänzlich verloren. Die gewählten Örtlichkeiten der Befragung sollten nicht nur einen Vergleich zu der gemessenen Hautoberflächentemperatur zulassen, sondern auch Schwachstellen in der verwendeten Kälteschutzkleidung lokalisieren. Die Befragungszeitpunkte, vor allem zum Ende der Kälteexposition und am Ende der Aufwärmphase, erlaubten zudem Aussagen zum eingesetzten Arbeitszeit- und Pausenzeitregime.

### *6.3.2 Subjektive Beurteilung der Arbeitsbedingungen während der Feldstudie*

Um eine Beurteilung der Arbeitsbedingungen während der Feldstudie vornehmen zu können, wurden die eingesetzten Arbeitspersonen detailliert zu folgenden Themengebieten befragt. Der vollständige Fragebogen ist Anhang A zu entnehmen.

Zunächst waren die **Arbeitsumgebungsbedingungen** zu beurteilen, d.h. die **Beleuchtung**, der **Geräuschpegel**, die **Windgeschwindigkeit** und die **Luftfeuchtigkeit**. Die eingesetzte **Kälteschutzkleidung** war hinsichtlich ihres **Behinderungsgrades**, der **Kälteschutzfunktion** und des **Komforts** zu klassifizieren. Ebenso war von Interesse, ob es während der Arbeit zu einer **Schweißabsonderung** in den Kleidungsstücken kommt und ob die Pausenzeiten ausreichen, um eventuell verschwitzte Kleidung wieder vollständig zu trocknen. Von besonderem Interesse war die Einschätzung des eingesetzten **Arbeitszeit- und Pausenzeit-Regimes** und welches Verhältnis von Arbeits- und Pausenzeit die Apn selbst wählen würden. Den Abschluss der Befragung bildete **das körperliche Befinden** sowohl während der Arbeit im jeweiligen Lagerbereich als auch nach dem Versuchstag.

## **6.4 Statistische Auswertungen**

Die Erhebung empirischer Daten stellt häufig eine zwingend notwendige Basis für wissenschaftliche Erkenntnisse dar, allerdings muss hierzu die Fülle an gewonnenen Rohdaten aufbereitet und anschaulich dargestellt werden. Methoden der deskriptiven Statistik, d.h. der „beschreibenden Statistik“, erlauben es, umfangreiches Datenmaterial aufzubereiten, in übersichtlicher und geordneter Form darzustellen und abschließend zu analysieren. Die Analyse beschränkt sich bei der deskriptiven Statistik allerdings ausschließlich auf den erhobenen Datensatz, wie es beispielsweise beim Mittelwert einer Variablen innerhalb einer untersuchten Stichprobe der Fall ist. Sollte eine weitergehende Datenanalyse erwünscht sein, die über die Stichprobe hinausgehen soll – und somit Aussagen über die Grundgesamtheit erlaubt – sind Methoden der induktiven Statistik, d.h. der „schließenden Statistik“ anzuwenden. Mit Verweis auf die einschlägige Literatur zu den Grundlagen der deskriptiven Statistik und mit den damit verbundenen wichtigsten und gebräuchlichsten deskriptiven Maßen, behandelt dieser



Abschnitt ausschließlich die verwendeten Methoden der induktiven Statistik. Hierdurch kann entweder auf der Basis der in einer Stichprobe erhobenen Daten (Ergebnisse der Feldstudie) auf die Eigenschaften der Grundgesamtheit (alle Kommissionierer in Kälte) geschlossen werden, bzw. die in der Theorie angenommenen Eigenschaften einer Grundgesamtheit werden durch stichprobenartig erhobene Daten bestätigt. In der vorliegenden Untersuchung findet letzterer Fall Anwendung, bei dem die in Abschnitt 5 aufgestellten Hypothesen durch die in der Feldstudie gewonnenen Ergebnisse mittels der in Abbildung 6.8 dargestellten Vorgehensweise beim Nullhypothesen-Signifikanztest überprüft werden. Im Folgenden findet die klassische Testtheorie Anwendung, die von NEYMAN & PEASON (1928a, 1928b) sowie FISHER (1925) begründet wurde, wobei die im weiteren Verlauf beschriebenen Hypothesen- und Signifikanztests auf den Werken von BORTZ & SCHUSTER (2010), CLAUB & EBNER (1972), JANCZYK & PFISTER (2013), KUCKARTZ et al. (2013), SACHS & HEDDERICH (2009) sowie TIMISCHL (2013) zurückgehen.

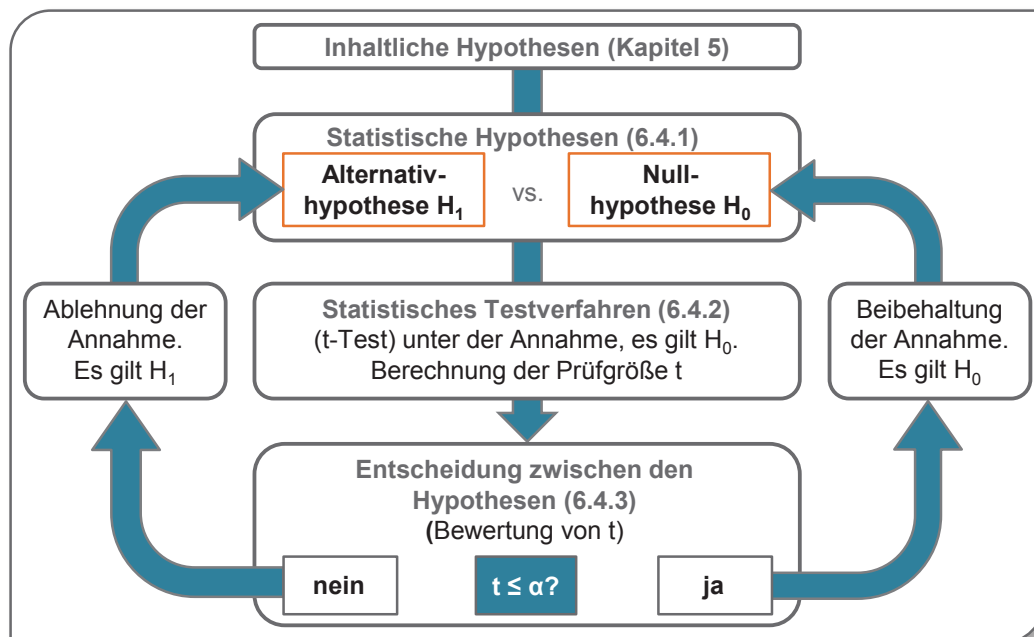


Abb. 6.8: Vorgehensweise beim angewendeten Nullhypothesen-Signifikanztest (modifiziert nach JANCZYK & PFISTER, 2013)

Die Vorgehensweise beim Nullhypothesen-Signifikanztest wird beispielhaft am Beanspruchungsparameter Körperkerntemperatur (KKT) beim Arbeiten im Tiefkühl- lager erläutert. Hierzu werden Abnahmen der Körperkerntemperatur im Vergleich zum morgendlichen Ausgangswert ( $\Delta_{\text{KKT}}$ ) zwischen Männern und Frauen der Altersklasse 40 bis 65 Jahre während der 120-min Arbeitsphase analysiert.

#### 6.4.1 Statistische Hypothesen

Statistische Hypothesen sind Behauptungen, die aus allgemeinen Theorien (inhaltlichen Hypothesen) abgeleitet werden, wobei immer zwischen zwei Arten von statistischen Hypothesen zu unterscheiden ist. Eine Hypothese, deren Inhalt als neu bzw. „innovativ“ bezeichnet werden kann, da sie versucht die Realität durch eine neue Alternative besser zu erklären, wird *Alternativhypothese* genannt. Hierbei ist nochmals zwischen „gerichteten“ Hypothesen – bei denen die Richtung des Unterschiedes vorgegeben wird – und „ungerichteten“ Alternativhypothesen zu unterscheiden. Letztere bezeichnen Hypothesen, bei denen vorab kein Unterschied in eine bestimmte Richtung postuliert wird, d.h. es sind sowohl negative als auch positive Zusammenhänge hypothesenkonform. Diese Annahme wurde bei allen in der Feldstudie durchgeführten Signifikanztests getroffen, da in der Wissenschaft eine diskrepante Meinung darüber herrscht, ob jüngere oder ältere Menschen bzw. Frauen oder Männer eine größere Beanspruchung bei der Arbeit in Kälte erleben. Die zweite Art der statistischen Hypothese, die behauptet, dass der durch die Alternativhypothese dargestellte Unterschied nicht vorhanden ist, wird *Nullhypothese* genannt.

Das Stichprobenmittel der Beobachtungsreihe  $x_i$  ( $\Delta_{\text{KKT}}$  der älteren weiblichen Apn im TKL) sei  $\mu_x$  und für  $y_i$  ( $\Delta_{\text{KKT}}$  der älteren männlichen Apn im TKL)  $\mu_y$ , dann sind die Nullhypothese ( $H_0$ ) und die Alternativhypothese ( $H_1$ ) wie folgt definiert:

$$H_0 : \mu_x = \mu_y \quad (6.2)$$

$$H_1 : \mu_x \neq \mu_y \quad (6.3)$$

### 6.4.2 Statistische Testverfahren

Zur Überprüfung der beiden zuvor vorgestellten konkurrierenden Hypothesen muss die Vereinbarkeit der Nullhypothese mit der Empirie überprüft werden. Kommt es zu einer Ablehnung der Nullhypothese, weil die Realität nicht durch diese erklärbar ist, wird im Umkehrschluss die Alternativhypothese angenommen. Zur Hypothesenüberprüfung muss ein statistisches Testverfahren durchgeführt werden, welches im vorliegenden Fall aufgrund der ungerichteten Alternativhypothesen als zweiseitiger Test durchgeführt wurde. In der Auswertung kam der zweiseitige t-Test nach Student<sup>1</sup> zur Anwendung, der häufig zur Untersuchung der statistischen Signifikanz zweier Mittelwerte herangezogen wird. Vor dessen Durchführung müssen drei wichtige Annahmen getroffen werden (siehe u.a. BORTZ & SCHUSTER, 2010; JANCZYK & PFISTER, 2013 sowie KUCKARTZ et al., 2013):

- Durch ein angemessenes Versuchsdesign muss sichergestellt werden, dass die Stichproben *zufällig gezogen* wurden.
- Die untersuchte Variable muss in den Grundgesamtheiten *normalverteilt* sein.
- Die untersuchte Variable muss mindestens *Intervallskalenniveau* besitzen oder es sollte zumindest unterstellt werden dürfen.

Sind eine (oder mehrere) dieser Voraussetzungen nicht erfüllt, steigt die Wahrscheinlichkeit signifikanter Ergebnisse, d.h. es ist wahrscheinlicher die Alternativhypothese  $H_1$  anzunehmen, obwohl in der Grundgesamtheit die Nullhypothese  $H_0$  gilt. Nach JANCZYK & PFISTER (2013) ist der t-Test allerdings recht robust gegenüber Verletzungen der o.g. Voraussetzungen. Vor der Durchführung eines t-Tests muss wie in Abbildung 6.9 dargestellt, in Abhängigkeit des Untersuchungsdesigns eine der drei möglichen Testvarianten ausgewählt werden. Zunächst ist zu unterscheiden, ob es sich um abhängige oder unabhängige Stichproben handelt. Bei unabhängigen Stichproben muss weiter unterschieden werden, ob homogene oder heterogene Varianzen vorliegen, was eine Überprüfung der Varianzhomogenität erfordert. Wie in KUCKARTZ et al. (2013) und SACHS & HEDDERICH (2009) beschrieben, steht hierfür der sogenannte Levene-Test zur Verfügung.

---

<sup>1</sup> Student ist das Pseudonym des englischen Statistikers Gosset (CLAUB & EBNER, 1972)

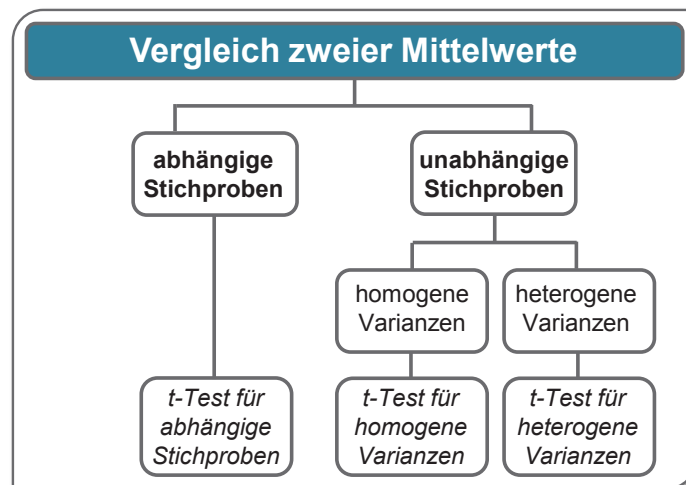


Abb. 6.9: Entscheidungsbaum für die Auswahl eines geeigneten t-Tests zum Vergleich zweier Mittelwerte (nach KUCKARTZ et al., 2013)

Weiterhin bedarf es der Grenzwertfestlegung, was mit Hilfe des Signifikanzniveaus ( $\alpha$ ) erfolgt, das dabei den Übergang zwischen Annahme und Ablehnung der Nullhypothese markiert. Diese Grenze kann, in Abhängigkeit von der Bereitschaft, eine Fehlentscheidung zu treffen, unterschiedlich gewählt werden. Der Wert  $\alpha = 0,05$  entspricht dabei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%, d.h. die Aussage, die getroffen wird, trifft nur mit einer statistischen Sicherheit von 95% zu. In diesem Fall kann das Risiko der Fehlentscheidung im Mittel in 5 von 100 Fällen zutreffen. Daher wird für  $\alpha \leq 0,05$  von einer schwachen Signifikanz gesprochen. Für alle Werte  $\alpha > 0,05$  gilt hingegen, dass sie nicht signifikant sind.

Wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,01$  festgelegt, ist der Anspruch an die Zuverlässigkeit der Entscheidung höher, da es im Durchschnitt mit dieser Entscheidung nur in einem von 100 Fällen zu einer Fehlentscheidung kommt. Demnach wird eine statistische Sicherheit von 99% zugrunde gelegt, weshalb für  $\alpha \leq 0,01$  gilt, dass das Ergebnis signifikant ist.

Als hoch signifikant werden solche Ergebnisse bezeichnet, für die eine Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 0,1% zugrunde gelegt wurde, d.h. es gilt  $\alpha \leq 0,001$ . In diesem Fall liegen nur sehr große Unterschiede zwischen den untersuchten Variablen vor, die dann zu einer Ablehnung der Nullhypothese führen. Dadurch soll eine Fehlentscheidung mit einer möglichst großen Sicherheit vermieden werden.

### *t-Test für abhängige Stichproben*

Wird mit ein und derselben Stichprobe vom Umfang  $n$  eine Messwiederholung zu unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt, lassen sich die Werte der einen Bedingung ( $x_A$ ) eindeutig den Werten der zweiten Bedingung ( $x_B$ ) zuweisen. In diesem Fall wird der t-Test für abhängige Stichproben angewendet, der zum Ausdruck bringen soll, das ein Unterschied zwischen den beiden Bedingungen vorliegt. Zunächst müssen die Beobachtungen paarweise zugeordnet werden, um daraus die Differenz  $d_i$  für jedes Messwertpaar zu bilden.

$$d_i = x_A - x_B \quad (6.4)$$

Da die Bildung der Differenzen aus den einzelnen Beobachtungspaaren als eine Stichprobe von Differenzwerten betrachtet werden kann, gilt für das Mittel der Differenzwerte  $\bar{d} = \bar{x}_A - \bar{x}_B$  die Gleichung 6.5.

$$\bar{d} = (\sum_{i=1}^n d_i)/n \quad (6.5)$$

Aus der Abschätzung der Standardabweichung nach der Gleichung

$$s_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - (\sum_{i=1}^n d_i)^2/n}{n(n-1)}} \quad (6.6)$$

ergibt sich die Prüfgröße  $t$ , deren Wert für den in Gleichung 6.8 ermittelten Freiheitsgrad  $f$  mit dem in Tabelle C1 (s. Anhang C) gewählten Wert für die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  verglichen werden muss.

$$t = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)/n}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - (\sum_{i=1}^n d_i)^2/n}{n(n-1)}}} \quad (6.7)$$

$$f = n - 1 \quad (6.8)$$

### *Berechnung der Prüfgröße $t$ für abhängige Stichproben an einem ausgewählten Beispiel*

Stellvertretend für alle Berechnungen der Prüfgröße  $t$  der Feldstudie, welche die Bedingungen zur Durchführung des t-Tests für abhängige Stichproben erfüllen, sollen die gemittelten Abnahmen der Körperkerntemperatur ( $\Delta_{\text{KKT}}$ ) von älteren weiblichen Kommissionierern während der 120-min Arbeitsphase im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  ( $x_A$ ) und im Kühlager bei  $+3^{\circ}\text{C}$  ( $x_B$ ) überprüft werden (siehe Tab. 6.6).

Tab. 6.6: Temperaturveränderungen der älteren weiblichen Apn während der 120-min Arbeitsphase im Kühl- bzw. Tiefkühlager

n	Messzeitpunkt (min)	Temperaturveränderungen im Kühlager ( $\Delta_{\text{KKT}}$ von $x_A$ )	Temperaturveränderungen im Tiefkühlager ( $\Delta_{\text{KKT}}$ von $x_B$ )	$d_i = x_A - x_B$	$d_i^2$
1	0	-0,2	-0,3	0,1	0,01
2	15	-0,5	-0,8	0,3	0,09
3	30	-0,5	-1,0	0,5	0,25
4	45	-0,6	-1,2	0,6	0,36
5	60	-0,4	-1,3	0,9	0,81
6	75	-0,5	-1,4	0,9	0,81
7	90	-0,6	-1,5	0,9	0,81
8	105	-0,5	-1,3	0,8	0,64
9	120	-0,6	-1,5	0,9	0,81
				$\sum d_i = 5,90$	$\sum d_i^2 = 4,59$

Werden die in Tabelle 6.6 ermittelten Werte in Gleichung 6.7 eingesetzt, ergibt sich

$$t = \frac{5,9/9}{\sqrt{\frac{4,59 - 5,9^2/9}{9(9-1)}}} = \left[ \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} \right] = \frac{0,65}{0,1001} = 6,549.$$

Die Interpretation von  $t$  erfolgt in Abschnitt 6.4.3.

### *t-Test für unabhängige Stichproben*

Stehen die Personen von zwei Stichproben (X und Y) vom Umfang  $n_x$  und  $n_y$  in keiner sich beeinflussenden Beziehung zueinander, können hieraus keine gleichzusetzenden Wertepaare mehr gebildet werden und die Durchführung eines t-Test für unabhängige Stichproben wird notwendig. In Kenntnis der Mittelwerte ( $\bar{x}_x$  und  $\bar{x}_y$ ) aus

den beiden Grundgesamtheiten ( $n_x$  und  $n_y$ ) kann nach der Bestimmung der Varianzen  $s_x^2$  und  $s_y^2$  (nach Gleichung 6.9) und des gewogenen Mittels  $s$  (nach Gleichung 6.10) die Prüfgröße  $t$  nach Gleichung 6.11 bestimmt werden.

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_x)^2}{n_x - 1}; s_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{x}_y)^2}{n_y - 1} \quad (6.9)$$

$$s = \sqrt{\frac{(n_x - 1)s_x^2 + (n_y - 1)s_y^2}{n_x + n_y - 2}} \quad (6.10)$$

$$t = \frac{\bar{x}_x - \bar{x}_y}{s} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y}{n_x + n_y}} \quad (6.11)$$

Die Anzahl der Freiheitsgrade  $f$  zur Ermittlung der Signifikanzschranke  $t_{\alpha, f}$  wird durch die Formel  $f = n_x + n_y - 2$  (6.12) errechnet.

Vor der Durchführung des t-Tests zweier unabhängiger Stichproben ist allerdings durch die Prüfgröße  $F$  (Gleichung 6.13) zu überprüfen, ob deren Varianzen gleich, bzw. homogen sind. Da die Werte in der tabellierten F-Verteilung (siehe u.a. Tabelle 5 in BOSCH, 1998) stets größer als 1 sind, muss die größere Varianz im Zähler des Bruches stehen. Somit gilt für  $s_x^2 \geq s_y^2$  das Verhältnis

$$F = \frac{s_x^2}{s_y^2} \quad (6.13)$$

Bei einem Varianzvergleich, der wie in diesem Fall als Vortest einem Mittelwertvergleich vorgeschaltet ist, sei nach SACHS & HEDDERICH (2009) das 10%-Niveau zu bevorzugen, wobei der kritische Bereich bei zweiseitigen Fragestellungen durch  $\alpha/2$  gekennzeichnet ist (CLAUB & EBNER, 1972). Daher gilt für die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0,05$  die Signifikanzschranke  $F_{\alpha; n_x - 1 / n_y - 1}$ . Ist  $F < F_{0,05; n_x - 1 / n_y - 1}$ , dann kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  davon ausgegangen werden, dass die Varianzen gleich sind, und somit zur Bestimmung der Prüfgröße  $t$  die Formeln 6.9 bis 6.11 anzuwenden sind, bzw. der t-Test für homogene Varianzen das adäquate Verfahren ist. Sind die Varianzen ungleich (heterogen), d.h. es gilt  $F_{0,05; n_x - 1 / n_y - 1} \geq F$ , dann sind, nach vorheriger Bestimmung von  $\epsilon$  (nach Gleichung 6.16) die Prüfgröße  $t$  (Gleichung 6.14) und der Freiheitsgrad  $f$  (Gleichung 6.15) wie folgt zu ermitteln:

$$t = \frac{\bar{x}_x - \bar{x}_y}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}}} \quad (6.14)$$

$$f = \frac{1}{\frac{c^2}{n_x - 1} + \frac{(1-c)^2}{n_y - 1}} \quad (6.15)$$

$$c = \frac{\frac{s_x^2}{n_x}}{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}} \quad (6.16)$$

Als Beispiel möge hier der Vergleich der mittleren Körperkerntemperaturabnahmen zwischen den beiden Stichproben älterer weiblicher ( $x_i$ ) und männlicher ( $y_i$ ) Apn während der Arbeit im Tiefkühlager ( $-24^\circ\text{C}$ ) dienen. Tabelle 6.7 zeigt die mittlere Temperaturabnahme eines jeden älteren weiblichen und männlichen Kommissionierers während der 120-min Arbeitsphase sowie die daraus resultierenden Mittelwerte  $\bar{x}_x$  und  $\bar{x}_y$  und die Varianzen  $s_x^2$  bzw.  $s_y^2$ .

Tab. 6.7: Temperaturveränderungen der älteren weiblichen und männlichen Apn während der 120-min Arbeitsphase im Tiefkühlager

n	Mittlere Temperaturveränderungen „ältere weibliche Apn“	Mittlere Temperaturveränderungen „ältere männliche Apn“
	$x_{xi}$	$x_{yi}$
1	-1,72	-1,68
2	-1,31	-1,50
3	-0,81	-1,29
4	-0,96	-1,93
5	-0,67	-1,63
6	-1,49	-1,91
7	-1,27	-1,04
8	-0,84	-2,16
9	-1,04	-1,02
10	-0,48	-1,34
11	-1,52	-2,18
12	-1,59	-0,82
13	-1,07	-2,10
14	-1,68	-0,98
15	-0,52	-2,06
	$\bar{x}_x = -1,13$	$\bar{x}_y = -1,58$
	$s_x^2 = 0,16$	$s_y^2 = 0,21$



Die Varianzen  $s_x^2$  und  $s_y^2$ , eingesetzt in Gleichung 6.13, ergibt sich für  $F$

$$F = \frac{s_y^2}{s_x^2} = \frac{0,21}{0,16} = 1,3125$$

Da für eine Testpersonenanzahl von 15 und ein Signifikanzniveau von 5% ein zu überschreitender F-Wert von  $F_{0,05;14;14}=2,48$  gilt, der tatsächliche F-Wert aber kleiner ist ( $F < F_{0,05;14;14}$ ), sind die Varianzen „gleich“ bzw. homogen, wodurch das Signifikanzniveau durch die Parameter  $s$  (Gleichung 6.10),  $t$  (6.11) und  $f$  (6.12) bestimmbar wird. Unter Verwendung zuvor ermittelter Werte ergeben sich:

$$s = \sqrt{\frac{(n_x-1)s_x^2 + (n_y-1)s_y^2}{n_x+n_y-2}} = \sqrt{\frac{(15-1)0,16 + (15-1)0,21}{15+15-2}} = 0,43$$

$$t = \frac{\bar{x}_x - \bar{x}_y}{s} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y}{n_x + n_y}} = \frac{(-1,13) - (-1,58)}{0,43} \cdot \sqrt{\frac{15 \cdot 15}{15 + 15}} = 2,84$$

$$f = n_x + n_y - 2 = 15 + 15 - 2 = 28$$

Die Interpretation von  $t$  erfolgt in Abschnitt 6.4.3.

### 6.4.3 Entscheidung zwischen den Hypothesen

Für die in Abschnitt 6.4.2 ermittelten Prüfgrößen  $t$  für abhängige und unabhängige Stichproben gilt die Nullhypothese  $H_0$  als angenommen, wenn  $|t| < t_{\alpha,f}$ . Trifft hingegen  $|t| \geq t_{\alpha,f}$  zu, wird  $H_0$  abgelehnt und im Umkehrschluss die Alternativhypothese  $H_1$  angenommen. Für die Annahme der Alternativhypothese können unterschiedlich strenge Maßstäbe angelegt werden. Hierbei werden in Abhängigkeit von der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  die Signifikanzen nach Tabelle 6.8 klassifiziert und durch entsprechende Symbole gekennzeichnet.

Tab. 6.8: Klassifizierung der Signifikanzgrenzen nach der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  und symbolische Kennzeichnung

$\alpha$	Bezeichnung	Symbol
$\alpha > 0,05$	nicht signifikant	—
$\alpha \leq 0,05$	schwach signifikant	★
$\alpha \leq 0,01$	signifikant	★★
$\alpha \leq 0,001$	hoch signifikant	★★★

Bezogen auf die in Abschnitt 6.4.2 durchgeführte Bestimmung der Prüfgröße  $t = 6,549$  für abhängige Stichproben wird die Nullhypothese  $H_0$  abgelehnt und die Alternativhypothese  $H_1$  mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,001$  akzeptiert. Es gilt nämlich  $t = 6,549 > 5,041 = t_{0,001/8}$  (siehe Tabelle C1 in Anhang C), womit der Unterschied zwischen der Abkühlung im Tiefkühlager und im Kühlager während der 120-min Arbeitsphase bei älteren Kommissioniererinnen als hoch signifikant bezeichnet werden darf.

Bei der Überprüfung der Unterschiede zwischen den älteren weiblichen und männlichen Apn während der 120-min Arbeitsphase im Tiefkühlager bei  $-24^\circ\text{C}$  wird  $H_0$  ebenfalls abgelehnt und die Alternativhypothese  $H_1$  akzeptiert.  $H_1$  kann in diesem Fall immerhin noch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% ( $\alpha = 0,01$ ) angenommen werden. Der Unterschied zwischen den beiden untersuchten Gruppen ist also signifikant, da der errechnete t-Wert von 2,84 für den Paarvergleich den gesetzten Grenzwert von 2,763 für die 1% Schwelle bei einem Wert von  $F=28$  überschreitet ( $t = 2,84 > 2,763 = t_{0,01/28}$ , siehe Tabelle C1 in Anhang C).



## 7 Ergebnisdarstellung

---

Zur Objektivierung von Belastung und Beanspruchung durch die Arbeit in Kälte wurden insgesamt 102 schichtbegleitende Ganztagsanalysen mit jeweils 15 jüngeren und älteren weiblichen Apn sowie 4 professionellen Kommissioniererinnen in einem gewerblichen Warenverteilzentrum durchgeführt. Hierbei absolvierten immer zwei Apn gleichzeitig an drei aufeinander folgenden Tagen unterschiedliche Versuchsreihen, die in ihrem Ablauf einem fest definierten Schema folgten. Versuchsreihe I fand im Kühllager bei +3°C statt und beinhaltete drei randomisierte Arbeitsphasen von 80, 100 und 120 min Länge, woraufhin sich jeweils eine 20-min Aufwärmphase im +21°C warmen Sozialbereich anschloss (siehe Abschnitt 7.1). Mit dem gleichen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime wurde Versuchsreihe II im -24°C kalten Tiefkühlager durchgeführt (siehe Abschnitt 7.2). Ebenfalls im Tiefkühlager fand Versuchsreihe III mit modifizierten Arbeits- und Pausenzeiten statt. Hierbei wurde zwei Mal 100 min gearbeitet mit anschließenden Pausen von 25 min bzw. 30 min Länge. Darauf folgten nochmals 120 min Arbeit mit einer 30-min Aufwärmphase (siehe Abschnitt 7.3). Während der Versuchsreihen wurden die arbeitsphysiologisch relevanten Parameter **Körperkern-temperatur** und **Blutdruck** diskontinuierlich im 15-min-Turnus sowie die **Hautoberflächentemperatur** und die **Herzschlagfrequenz** kontinuierlich erfasst. Die Schwere der körperlichen Arbeit wurde zudem durch die Messung des **Energieumsatzes** bestimmt (siehe Abschnitt 7.4). Das subjektive Empfinden wurde zum einen in Form von Kälteempfindungen in unterschiedlichen Körperbereichen während der Arbeit registriert, zum anderen wurde der allgemeine Eindruck zu unterschiedlichen Fragestellungen am Ende des Versuchstages abgefragt (siehe Abschnitt 7.5).

### 7.1 Kommissioniertätigkeit mit variabler Arbeitszeit und fester Pausenzeit bei +3°C

Versuchsreihe I wurde im Kühllager bei +3°C durchgeführt, wobei alle weiblichen Arbeitspersonen (Apn) drei Arbeitsphasen von 80, 100 und 120 min Länge durchliefen, an die sich jeweils eine 20-min Aufwärmphase anschloss. Die Arbeits- und Pausenzeiten sind identisch zu denen aus den Untersuchungen von PENZKOFER (2013) gewählt worden, um neben einem weiteren altersdifferenzierten Vergleich auch eine geschlechtsspezifische Betrachtung der Ergebnisse zu ermöglichen. Weiterhin sollten die Ergebnisse mit Maß und Zahl belegen, dass das Arbeiten bei +3°C zu weniger starken physiologischen Beanspruchungsreaktionen führt als das beim Arbeiten unter Umgebungstemperaturen von -24°C der Fall ist. Hinsichtlich Arbeitsschwere und zeitlicher Abfolge waren die Bedingungen zwischen den Versuchsreihen I und II identisch, lediglich die persönliche Schutzausrüstung wurde den Lagerbereichen entsprechend angepasst.

#### *Körperkerntemperatur*

Im Kühllager konnten die während der Arbeitszeit mittels eines Infrarot-Ohrthermometers alle 15 min am Trommelfell erfassten Abnahmen der Körperkerntemperatur insgesamt als moderat bezeichnet werden. Im Mittel erreichten die maximalen Abnahmen der Körperkerntemperatur im Vergleich zum morgendlichen Ausgangswert bei den jüngeren bzw. älteren Apn Werte von 0,7 K respektive 0,6 K (siehe Abb. 7.1). Unabhängig von der Expositionszeit stellte sich bei den Temperaturabnahmen ein „steady-state“ ein, sodass eine Verlängerung der Expositionszeit zwangsläufig nicht mit einem weiteren Absinken der Kerntemperatur einherging. Dass es in Einzelfällen zu deutlich stärkeren Temperaturabnahmen kam, zeigten die Werte von Ap 22 (graue Balken), wo es in allen drei Arbeitsphasen zu Abnahmen um mindestens 1,0 K kam, in der 120-min Arbeitsphase in der Spitze sogar 1,8 K. Am Ende der 20-min Aufwärmphasen zeigte sich im Mittel über alle Apn immer noch ein leichtes Temperaturdefizit von 0,1-0,3 K, was aber nicht überbewertet werden soll. Die am Ende des Versuchstages, 30 min nach der letzten Kälteexposition erfasste Körperkerntemperatur lag nämlich bei beiden Altersklassen im Mittel sogar schon wieder 0,1 K über dem morgendlichen Ausgangswert. Auch hier zeigten die Werte von Ap 22 am Ende aller drei

Pausen immer noch ein Temperaturdefizit von 0,5 K, was ein deutlicher Indikator dafür ist, dass die Erholungspause in diesem Fall nicht ausreichte, um eine hinreichende Wiedererwärmung zu gewährleisten.

Im altersdifferenzierten Vergleich waren die Unterschiede in allen drei Arbeitsphasen nicht signifikant, wohingegen im Geschlechtervergleich bereits im Kühllager unterschiedliche Temperaturabnahmen zu verzeichnen waren. Unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse von PENZKOFER (2013) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den männlichen und weiblichen Apn in der Altersklasse der 40- bis 65-jährigen während der 80-min Arbeitsphase ermittelt werden. So betrug die maximale Abnahme der Körperkerntemperatur bei den 20- bis 35-jährigen Männern 0,8 K und bei den 40- bis 65-jährigen Männern 0,9 K. In allen anderen Arbeitsphasen waren die Unterschiede zwischen den Geschlechtern allerdings nicht signifikant. Bei Betrachtung der 4 professionellen Kommissioniererinnen zeigten sich interessanterweise im Mittel deutlich stärkere Abnahmen um bis zu 1,1 K am Ende der 100-min und 120-min Arbeitsphasen. Sowohl die individuellen Unterschiede innerhalb dieser Gruppe als auch das kleine Kollektiv mindern allerdings die Aussagekraft dieser Werte, wobei deutlich wird, dass es durch regelmäßige Arbeit in Kälte bei diesen Personen zu keiner gewohnheitsbedingten Kälteresistenz im Kühlbereich kam.

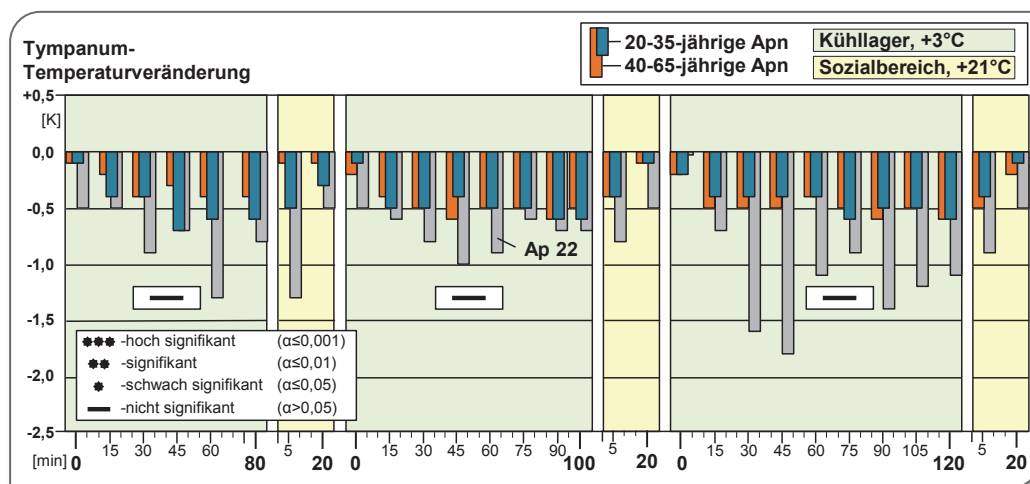


Abb. 7.1: Verlauf der Tympanum-(Körperkern-)Temperatur [K] während der 80-, 100- und 120-min Kälteexpositionen im Kühllager bei +3°C und der daran anschließenden 20-min Aufwärmphase im +21°C warmen Sozialbereich. Mittelwerte über jeweils 15 weibliche Apn in zwei Altersklassen (türkise und orange Balken) sowie von Ap 22 (graue Balken). Zwischen den beiden Altersklassen konnten mit dem 2-seitigen *t*-Test für unabhängige Stichproben keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden

### Hautoberflächentemperatur

Während des Kommissionierens im Kühllager bei  $+3^{\circ}\text{C}$  blieb die Hautoberflächentemperatur der Fußsohle unabhängig vom Alter konstant auf einem Niveau von ca.  $35^{\circ}\text{C}$  (vgl. Abb. 7.2), und lag damit sogar leicht über den von PENZKOFER (2013) ermittelten Werten für männliche Apn.

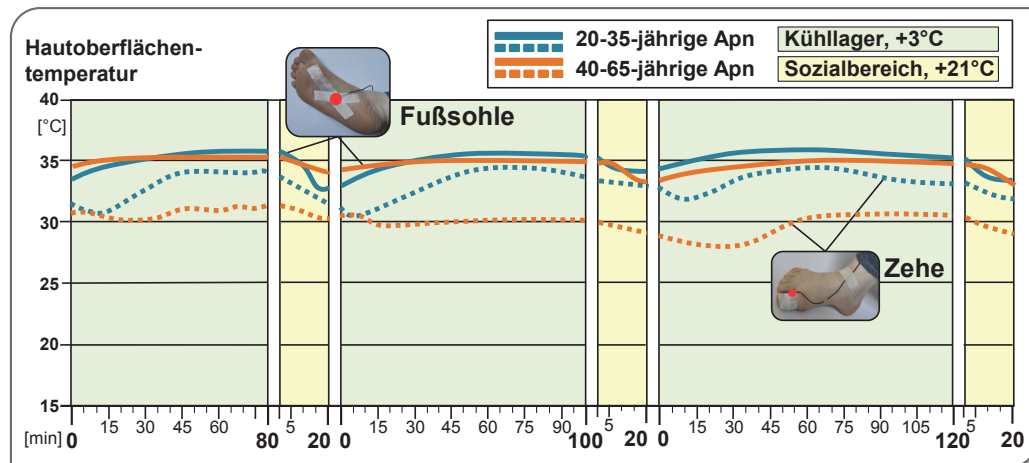


Abb. 7.2: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an Zehe und Fußsohle während der Arbeit im Kühllager bei  $+3^{\circ}\text{C}$  sowie in der Aufwärmphase bei  $+21^{\circ}\text{C}$ . Mittelwerte über jeweils 15 weibliche Apn in zwei Altersklassen

Die Zehentemperatur der jüngeren Apn fiel zu Beginn jeder Arbeitsphase leicht ab, erreichte dann aber im Arbeitsverlauf wieder Werte von knapp  $35^{\circ}\text{C}$ , wohingegen die älteren Apn meist ein konstantes Temperaturniveau von ca.  $30^{\circ}\text{C}$  hielten. Das entspricht in etwa auch der über alle männlichen Apn gemittelten Zehentemperatur. Trotz des Tragens normaler Sicherheitsschuhe ohne besondere Wärmeisolierung kam es im Kühllager zu keiner Auskühlung der Füße, vielmehr führte das permanente Gehen in Kombination mit der Kommissioniertätigkeit im Arbeitsverlauf teilweise sogar zu einem Anstieg der Hautoberflächentemperatur.

Ebenso wie an den Füßen führte die körperlich schwere Arbeit auch an den Händen zu einer durchblutungssteigernden Wirkung. Aus Abbildung 7.3 wird ersichtlich, dass die Fingertemperatur zu Beginn der Kälteexposition stark abnimmt, aber das Arbeiten und die damit verbundene Vielzahl an Greifvorgängen das Temperaturniveau zunächst wieder anhebt. Dennoch erfolgt die Erholung von dem anfänglichen Temperatursturz

nur sehr zögerlich, und das Ausgangsniveau wird zumindest die Fingerspitze betreffend nicht mehr erreicht. Während sich die Temperatur am Fingergrundglied meist im Bereich zwischen 25 und 30°C bewegte, fiel die Fingerspitzentemperatur zu Beginn aller drei Arbeitsphasen auf Werte um ca. 15 bis 18°C ab, was nach LEHMUSKALLIO et al. (2000) bereits mit Kälteschmerzen einhergehen kann.

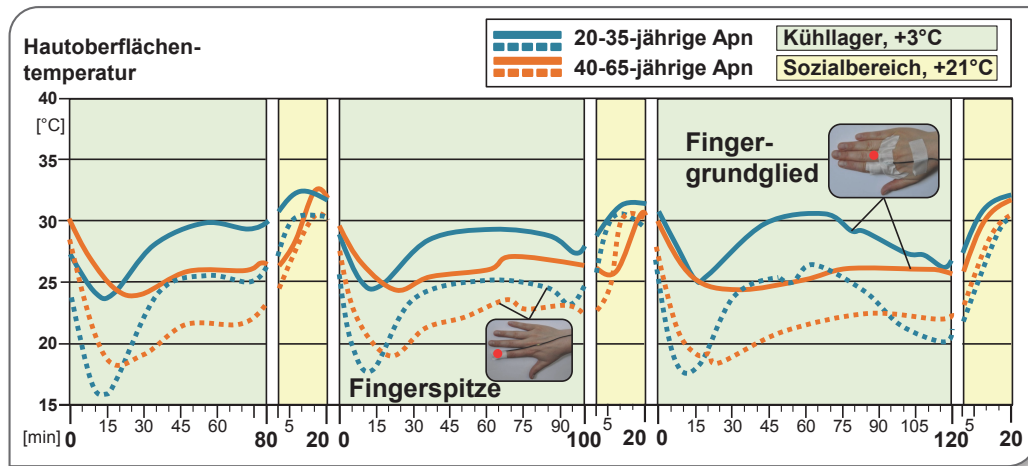


Abb. 7.3: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an Fingergrundglied und Fingerspitze während der Arbeit im Kühllager bei +3°C sowie in der Aufwärmphase bei +21°C. Mittelwerte über jeweils 15 weibliche Apn in zwei Altersklassen

Im altersdifferenzierten Vergleich zeigten sich sowohl am Fingergrundglied als auch an der Fingerspitze deutliche Unterschiede von ca. 3 bis 5°C, wobei die jüngeren Apn meist höhere Werte aufwiesen. Hervorzuheben bleibt hier allerdings, dass die Fingerspitzentemperatur der jüngeren Apn zu Beginn jeder Arbeitsphase deutlich stärker abfiel, als es bei den älteren Apn der Fall war. Während des Kommissionierens stiegen die Werte jedoch schnell wieder an, sodass zeitweise sogar während der Kälteexposition das morgendliche Ausgangsniveau nahezu wieder erreicht werden konnte. Bei den älteren Apn hingegen fiel die Wiedererwärmung während der Tätigkeitsdurchführung deutlich geringer aus. Im Vergleich zu den Ergebnissen von PENZKOFER (2013) mit männlichen Apn zeigten die Hautoberflächentemperaturen am Fingergrundglied keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Die mittlere Fingerspitzentemperatur der Männer bewegte sich im Arbeitsverlauf meist um ca. 25°C, wobei die Temperaturabfälle zu Beginn der Arbeitsphasen mit einem Minimum von ca. 23°C deutlich geringer ausfielen als bei den Frauen. In den Aufwärmphasen stellte sich bei



allen weiblichen Apn innerhalb kürzester Zeit in den Fingern wieder ein Temperaturniveau von über 30°C ein.

Die Nase zeigte über den Versuchstag hinweg ein ähnliches Temperaturprofil wie die Fingerspitze, obwohl davon auszugehen war, dass es zu deutlich stärkeren Temperaturabnahmen kommen kann, da die Nase den Umgebungsbedingungen ungeschützt ausgesetzt ist. Abbildung 7.4 macht deutlich, dass es unmittelbar nach Betreten des Kühllagers zu einem starken Temperaturabfall knapp unter 20°C kam, was aber noch über den Werten der Fingerspitzen liegt. Ähnlich wie bei der Fingerspitzentemperatur zeigte die Nasentemperatur der jüngeren Apn nach kurzer Tätigkeitsausführung einen Anstieg auf Werte zwischen 23-25°C, wohingegen sich die Temperatur der älteren Apn auf Werte um die 20°C einpendelte. Nach dem Betreten des +21°C warmen Sozialbereiches in den Aufwärmphasen kam es auch hier zu einem kräftigen Anstieg der Nasentemperatur auf über 30°C. Die männlichen Apn zeigten im Mittel Werte um ca. 23°C (vgl. PENZKOFER, 2013) mit gleichem Erwärmungsprofil, was in etwa auch dem mittleren Temperaturniveau der Frauen entspricht, sodass die Nase betreffend keine geschlechtsspezifischen Unterschiede erkennbar sind.

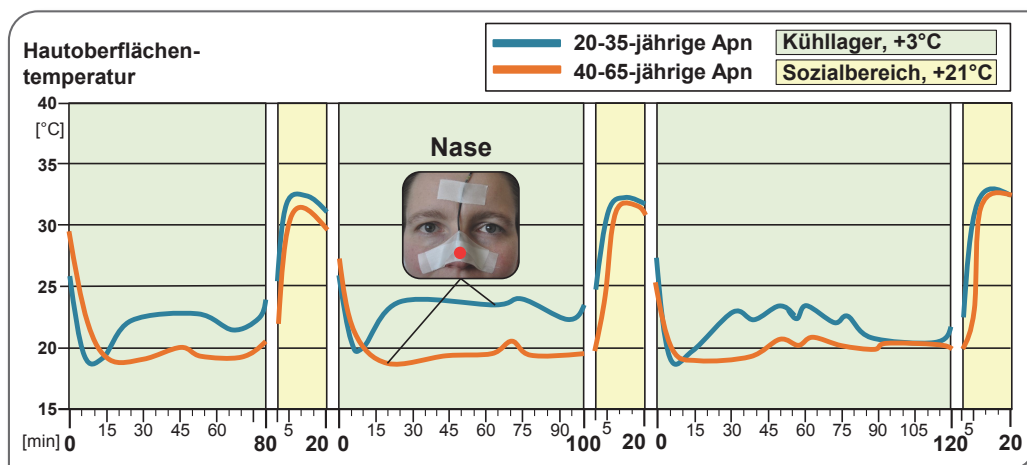


Abb. 7.4: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an der Nase während der Arbeit im Kühllager (+3°C) sowie in der Aufwärmphase bei +21°C. Mittelwerte über jeweils 15 weibliche Apn in zwei Altersklassen

Die an der Schulter und im Bereich über der Niere applizierten Sensoren erfassten über den Versuchstag hinweg ein konstantes Temperaturniveau von ca. 35°C bzw. 33°C, das in beiden Altersklassen nahezu identisch verlief. Der interne Sensor, der

unter der Kleidung getragen, einen guten Indikator für das Mikroklima in den inneren Luftschichten darstellt, wies während den Arbeitsphasen Werte zwischen 20 und 23°C auf.

### *Herzschlagfrequenz*

Abbildung 7.5 zeigt den arbeitsbedingten Anstieg der Herzschlagfrequenz während des Kommissionierens im Kühllagerbereich bei +3°C. Die Arbeitspulsprofile beider Altersklassen lassen unabhängig von der Länge der Arbeitszeit ein „steady state“ erkennen, was für ein Arbeiten unterhalb der Dauerleistungsgrenze spricht. Wie aus dem Arbeitspulsprofil der jüngeren Apn (vgl. türkise Balken) erkennbar wird, liegen die durchschnittlichen Erhöhungen der Herzschlagfrequenz mit 32 bis 34 Schlägen/min im Vergleich zum im Sitzen gemessenen Ruhepuls nach STRASSER (1986) jedoch nur knapp unterhalb der Dauerleistungsgrenze (35 Schlägen/min). Im altersdifferenzierten Vergleich war zwar in allen drei Arbeitsphasen für die älteren Apn ein niedrigerer Arbeitspuls feststellbar, allerdings ist der Unterschied nach dem 2-seitigen t-Test als nicht signifikant einzustufen.

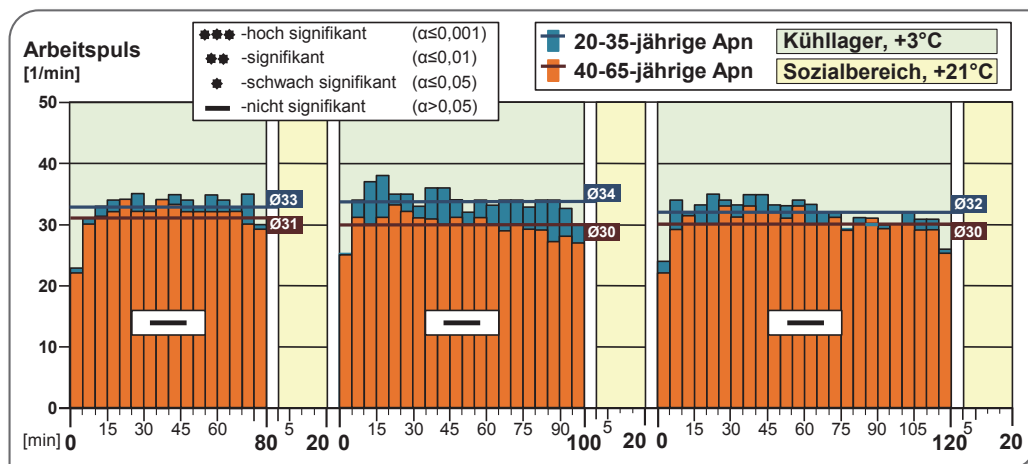


Abb. 7.5: Durchschnittliches Arbeitspulsprofil [1/min], dargestellt in 5-min-Mittelwerten über drei Arbeitsphasen im Kühllager (+3°C). Mittelwerte von jeweils 15 weiblichen Apn in zwei Altersklassen. Zwischen den beiden Altersklassen konnten mit dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden

Dennoch spiegelt das Ergebnis zumindest tendenziell die zuvor ermittelte unterschiedliche relative Leistungsfähigkeit wider, bei der die jüngeren Apn deutlich schlechter abschnitten als die älteren Apn. Der positive Einfluss regelmäßigen Herzkreislauf-Trainings, wie es auch beim täglichen Kommissionieren der Fall ist, zeigte sich neben der sehr guten relativen Leistungsfähigkeit der 4 professionellen Kommissioniererinnen auch in deren Arbeitspulsen. Diese lagen mit 25, 23 und 20 Schlägen/min in den 80-min, 100-min und 120-min Arbeitsphasen deutlich unter den Werten der Novizen, die diese Art der körperlich schweren Arbeit nicht gewohnt waren. Im Vergleich zwischen den Geschlechtern konnten ebenfalls deutliche Unterschiede festgestellt werden, vor allem in der Altersklasse der 20- bis 35-jährigen Apn. Obwohl die arbeitsbedingten Herzschlagfrequenzerhöhungen von 27 Schlägen/min bei den jüngeren Männern in allen drei Arbeitsphasen deutlich geringer ausfielen, waren die Unterschiede nach dem 2-seitigen t-Test lediglich in der 100-min Arbeitsphase schwach signifikant. In den beiden anderen Arbeitsphasen konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Ebenfalls nicht signifikant waren die Unterschiede zwischen den älteren männlichen und weiblichen Apn, wobei die durchschnittlichen Arbeitspulse der älteren Männer mit Werten von 28 (80 min), 29 (100 min) und 30 (120 min) Schlägen/min im Bereich der älteren Frauen lagen.

### ***Blutdruck***

Die über den Versuchstag hinweg diskontinuierlich erfassten Blutdruckwerte sind in Abbildung 7.6 durch türkis/weiße Säulen für die jüngeren und mit orange/grauen Säulen für die älteren Apn dargestellt. Während der Arbeit im Kühllager ergaben sich für die 20- bis 35-jährigen Apn über alle drei Arbeitsphasen mittlere Werte von 128/78 mmHg. Der systolische Wert lag damit entsprechend den Vorgaben der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V. sowie der Deutschen Hochdruckliga e.V. noch im Normalbereich (vgl. Tab 3.4 in Abschnitt 3.2.2). Die diastolischen Werte lagen sogar im optimalen Bereich. Die im Sozialbereich unter Ruhe gemessenen Werte liegen mit 129/76 mmHg im Bereich der während der Arbeit im Kühllager gemessenen Werte und lassen somit den Schluss zu, dass es zu keinem

kältebedingten Anstieg des Blutdrucks kommt. Unter Einbeziehung der zu Hause gemessenen Werte von 113/70 mmHg ist aber durchaus ein arbeitsbedingter zeitweiliger Anstieg des Blutdrucks bei den jüngeren Apn erkennbar. Gleiches gilt für die 40- bis 65-jährigen Apn, deren Ruhewerte mit 126/77 mmHg ebenfalls deutlich unter den Werten während des Versuchstages lagen. Hier konnten während der Kälteexposition mittlere Werte von 135/84 mmHg, während der Aufwärmphase von 133/81 mmHg festgestellt werden. Auch diese Werte lassen erkennen, dass es zu einem vernachlässigbar kleinen Unterschied zwischen den Arbeits- und Pausenwerten kommt und damit kein anhaltender Kälteeinfluss besteht, der Blutdruck am Versuchstag aber insgesamt im Vergleich zur Heimmessung deutlich erhöht ist. Nach den in Abschnitt 3.2.2 definierten Vorgaben sind die systolischen Werte der älteren Apn als „Hochnormal“ einzustufen, die diastolischen Werte zumindest noch im Normalbereich. Auch hier dürfen allerdings die über jeweils 15 Apn gemittelten Werte nicht darüber hinwegtäuschen, dass es in Einzelfällen zu deutlich höheren Werten kam. Besonders in der Gruppe der älteren Apn waren über die Arbeitsphasen gemittelte Werte von über 140/90 mmHg keine Seltenheit, was bereits als leichte Hypertonie einzustufen ist.

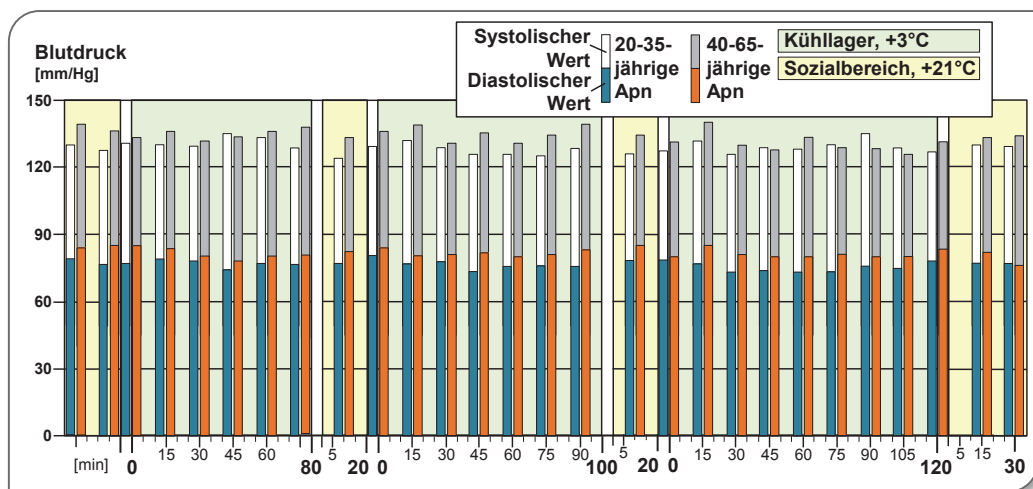


Abb. 7.6: Verlauf des Blutdrucks [mmHg] über drei Arbeitsphasen im Kühllager (+3°C) sowie in der Aufwärmphase im Sozialraum (+21°C). Mittelwerte von jeweils 15 weiblichen Apn in zwei Altersklassen

Abbildung 7.7 fasst noch einmal die Blutdruckwerte während der Arbeit im Kühllager und in den Aufwärmphasen im Sozialraum für die weiblichen und männlichen Apn beider Altersklassen zusammen. Violett unterlegt sind die in der „Heimmessung“

ermittelten Werte, die belegen, dass sich die systolischen Werte der Frauen altersbedingt hoch signifikant voneinander unterscheiden, die diastolischen Werte immerhin auch noch signifikant sind. Während des Versuchstages hingegen waren keine signifikanten altersbedingten Unterschiede in den systolischen Werten erkennbar. Allerdings waren die Werte für die Diastole bei den älteren Apn im Vergleich zu den jüngeren Apn während der Arbeit signifikant und während der Pause noch schwach signifikant erhöht. Im Geschlechtervergleich kam es zumindest bei den jüngeren Apn zu signifikanten Unterschieden der systolischen Werte, wobei die männlichen Apn durchweg höhere Werte aufwiesen. Auch war der systolische Blutdruck der älteren männlichen Apn im Vergleich zu den Frauen erhöht. Allerdings war dieser Unterschied nicht signifikant. Die diastolischen Werte waren für die Frauen und Männer nahezu identisch. Dass das regelmäßige Arbeiten in tiefer Kälte keinen wesentlichen und bleibenden Einfluss auf den Blutdruck hat, d.h. keine signifikant höheren Werte auftreten als bei Menschen, welche die Kälte nicht gewohnt sind, zeigt auch der Vergleich zwischen den 4 professionellen Kommissioniererinnen und den älteren Novizen. Hier sind zwar höhere Werte für Systole und Diastole feststellbar, allerdings ist dieser Unterschied ebenfalls nicht signifikant, und es bleibt auch zu berücksichtigen, dass die 4 „Profis“ im Schnitt 41,3 Jahre alt sind, die Gruppe der älteren mit 53,3 Jahren immerhin um ca. 10 Jahre älter war.

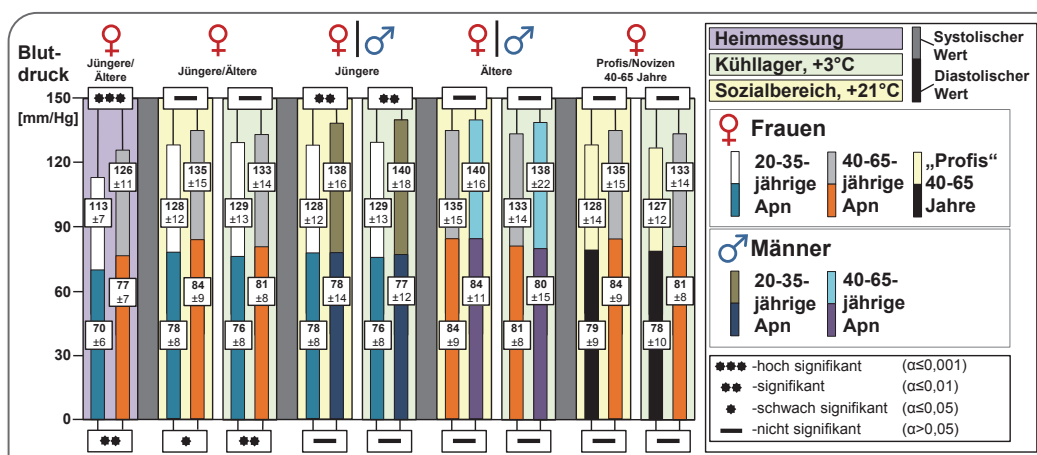


Abb. 7.7: Mittelwerte des Blutdrucks [mmHg] von jeweils 15 Apn in unterschiedlichen Probandengruppen sowie der 4 professionellen Apn während der Arbeit im Kühllager (+3°C), während der Aufwärmphase im Sozialraum (+21°C) sowie für die weiblichen Apn während der 3-tägigen „Heimmessung“. Signifikanzanalyse zwischen den Gruppen nach dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben

## 7.2 Kommissioniertätigkeit mit variabler Arbeitszeit und fester Pausenzeit bei -24°C

Versuchsreihe II wurde im Tiefkühlager bei -24°C durchgeführt, wobei alle weiblichen Arbeitspersonen (Apn) drei Arbeitsphasen von 80, 100 und 120 min Länge durchliefen, an die sich jeweils eine 20-min Aufwärmphase anschloss. Durch das gewählte Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime sollte wiederum eine alters- und geschlechtsdifferenzierte Bewertung ermöglicht werden. Darüber hinaus sollten die unterschiedlichen Auswirkungen des Arbeitens unter Umgebungstemperaturen von +3°C und -24°C miteinander verglichen werden können.

### *Körperkerntemperatur*

Während der Arbeit im Tiefkühlager bei Temperaturen von -24°C zeigten sich erwartungsgemäß deutlich stärkere Abnahmen der Körperkerntemperatur als im Kühlager bei +3°C. Die Unterschiede waren nach dem 2-seitigen t-Test für abhängige Stichproben für die jüngeren Apn in der 80-min Arbeitsphase signifikant, für alle anderen Arbeitsphasen und in beiden Altersklassen hoch signifikant. Die Kerntemperatur (vgl. Abb. 7.8) sank mit zunehmender Expositionszeit immer weiter ab und erreichte im Mittel maximale Abnahmen von 1,3 K bei den 20- bis 35-jährigen (türkise Balken) und 1,5 K bei den 40- bis 65-jährigen Apn (orange Balken), wobei die Unterschiede zwischen den Altersklassen in allen drei Arbeitsphasen nicht signifikant waren. Abweichend vom Mittelwert kam es auch hier in Einzelfällen zu deutlich stärkeren Temperaturabnahmen um 2,3 K bzw. 2,5 K in der Gruppe der jüngeren respektive älteren Apn. In den 20-min Aufwärmphasen kam es zu keiner hinreichenden Wiedererwärmung, sodass die Apn meist vorbelastet in die nächste Arbeitsphase gingen. Die Temperaturmessung am Ende des Versuchstages, die 30 min nach der letzten Kälteexposition erfolgte, zeigte für beide Probandengruppen noch ein Defizit von 0,1 K, was aber aufgrund von potentiellen Messungenauigkeiten vernachlässigbar ist. Bei den vier professionellen Kommissioniererinnen kam es in allen drei Arbeitsphasen im Mittel ebenfalls zu maximalen Temperaturabnahmen von 1,4 K bis 1,5 K, wobei Ap P2 kaum Temperaturveränderungen während der Kälteexposition aufwies, Ap P1 und P3 hingegen Abnahmen um bis zu 1,9 K bzw. 2,1 K erfuhren.

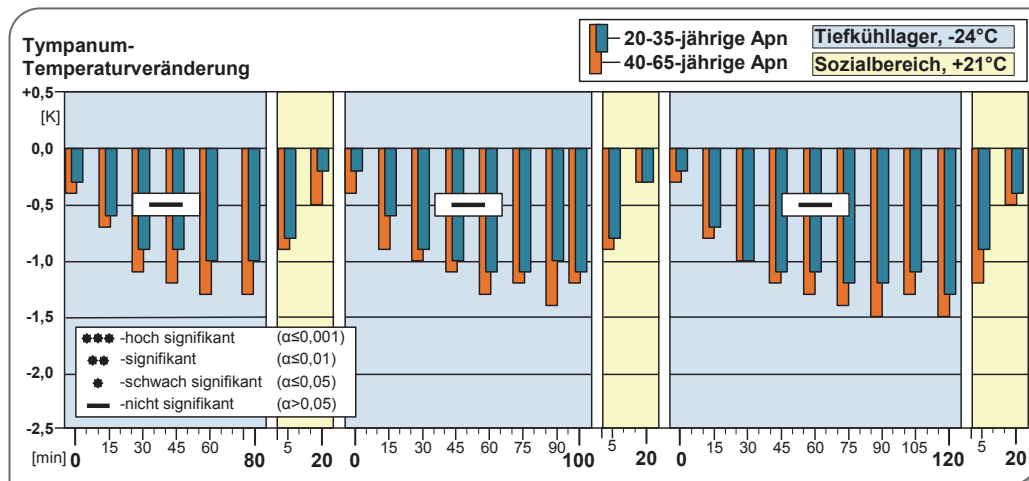


Abb. 7.8: Verlauf der Tympanum-(Körperkern-)Temperatur [K] während der 80-, 100- und 120-min Kälteexpositionen im Tiefkühlager bei -24°C und der daran anschließenden 20-min Aufwärmphase im +21°C warmen Sozialbereich. Mittelwerte über jeweils 15 weibliche Apn in zwei Altersklassen. Zwischen den beiden Altersklassen konnten mit dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden

Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse von PENZKOFER (2013) konnten im geschlechtsdifferenzierten Vergleich ebenfalls Unterschiede in den Körperkerntemperaturabnahmen verzeichnet werden. In der Gruppe der 20- bis 35-jährigen sind in Abbildung 7.9 vor allem zum Ende der Arbeitsphasen deutliche Temperaturdifferenzen zu erkennen. Die Signifikanzberechnung, die der statistischen Absicherung dient, ergab allerdings, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern in dieser Altersklasse vorliegen. Anders sieht es hingegen in der Gruppe der 40- bis 65-jährigen aus, wo vor allem während der 80-min und 120-min Kälteexposition signifikante Unterschiede – mit größeren Abnahmen bei den Männern – deutlich wurden.

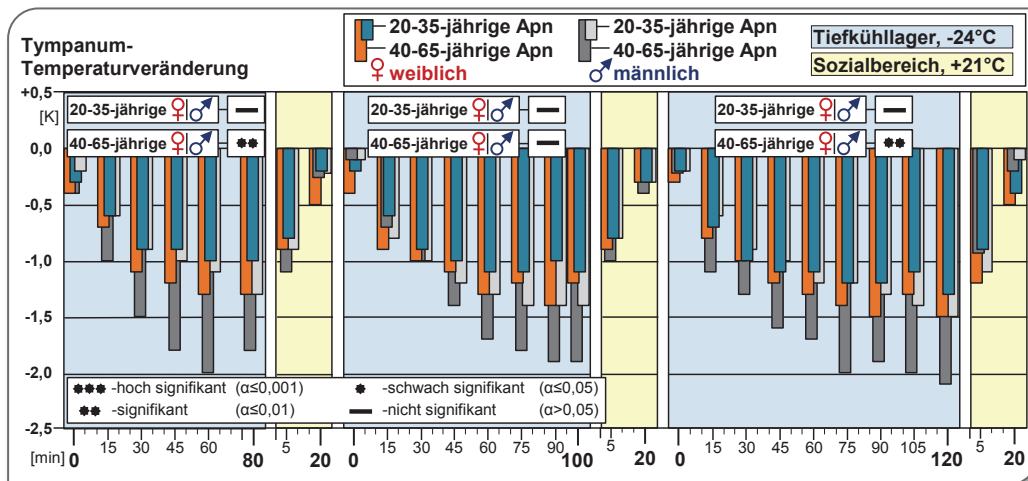


Abb. 7.9: Verlauf der Tympanum-(Körperkern-)Temperatur [K] während der 80-, 100- und 120-min Kälteexpositionen im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  und der daran anschließenden 20-min Aufwärmphase im  $+21^{\circ}\text{C}$  warmen Sozialbereich. Mittelwerte über jeweils 15 weibliche (türkise und orange Säulen) und männliche Apn (hellgraue und dunkelgraue Säulen) in jeweils zwei Altersklassen. Signifikanzanalyse zwischen den beiden Geschlechtern nach dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben

### Hautoberflächentemperatur

Während der Arbeit im Tiefkühlager bei Umgebungstemperaturen von  $-24^{\circ}\text{C}$  herrschte unter der Kälteschutzkleidung stets ein angenehmes Mikroklima mit Temperaturen die meist zwischen  $20$  und  $23^{\circ}\text{C}$  schwankten. Wie in Abbildung 7.10 dargestellt, zeichnete der interne Sensor einen nahezu identischen Temperaturverlauf zwischen  $20$  bis  $25^{\circ}\text{C}$  auf. Die sehr guten Isolationseigenschaften der Kälteschutzkleidung wirken sich deshalb positiv auf die Hautoberflächentemperatur am Rumpf aus. Denn die an Schulter (vgl. Abb. 7.10) und im Bereich über der Niere applizierten Sensoren erfassten während der Kälteexpositionen konstante Temperaturen von knapp unter  $35^{\circ}\text{C}$ . Im altersdifferenzierten Vergleich konnten in beiden Körperarealen keine Unterschiede festgestellt werden. Im geschlechtsdifferenzierten Vergleich mit den Ergebnissen von PENZKOFER (2013) zeigte sich, dass der Verlauf der Temperatur an der Schulter nahezu identisch war, wohingegen die Hautoberflächentemperatur im Bereich der Niere bei den Männern meist um  $2$  bis  $4$  K niedriger war als bei den Frauen. Ein ähnliches Bild zeigte sich auch bei dem internen Sensor, dessen Werte bei den Männern stets um ca.  $5$  K niedriger waren als bei den Frauen.



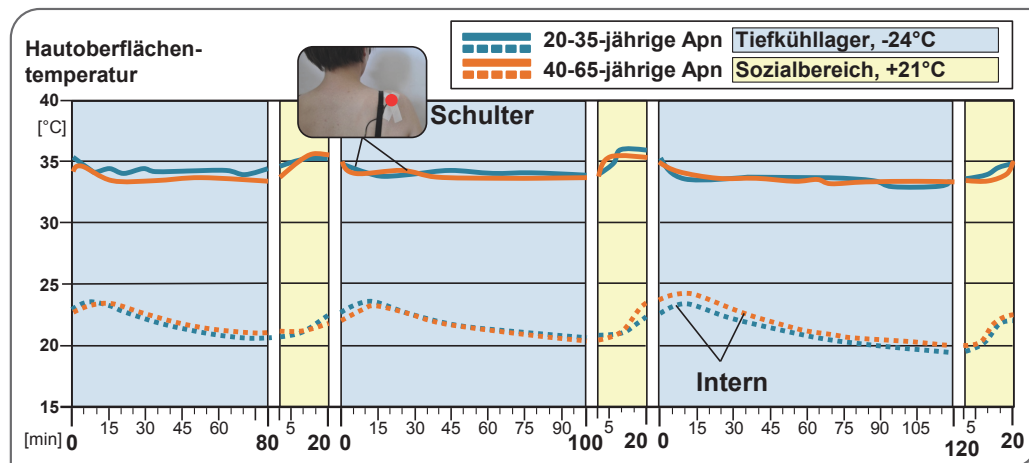


Abb. 7.10: Verlauf der Temperatur des internen Sensors, der unter der Kälteschutzkleidung getragen wurde und Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an der Schulter während der Arbeit im Tiefkühlager (-24°C) sowie in der Aufwärmphase bei +21°C. Mittelwerte über jeweils 15 Apn in der Altersklasse 20-35 und 40-65 Jahre

Die Hautoberflächentemperatur an der Fußsohle war während der Arbeitsphasen bei -24°C um ca. 2 K bis 3 K niedriger als es bei +3°C der Fall war. Abbildung 7.11 zeigt einen kleinen altersbedingten Unterschied von ca. 1 K mit durchweg höheren Temperaturen bei den 20- bis 35-jährigen Apn. Die Zehen betreffend führte die körperlich schwere Arbeit im Tiefkühlager zu keinem Anstieg, sondern vielmehr zu einem konstanten Absinken der Hautoberflächentemperatur im Zeitverlauf. Dabei kam es zu einer deutlichen Ausprägung der Temperaturunterschiede zwischen den beiden Altersklassen. Während die jüngeren Apn in der 80-min Arbeitsphase um ca. 3 K höhere Werte aufwiesen, waren es in der 120-min Arbeitsphase bis zu 7 K. Wie in Abbildung 7.11 dargestellt, kam es in Einzelfällen sogar zu deutlich stärkeren Abnahmen, wobei mit einer Hautoberflächentemperatur von knapp über 10°C (rote Linie von Ap 22) nach LEHMUSKALLIO et al. (2000) bereits Taubheitsgefühle auftreten können. Im Geschlechtervergleich sind zwar in allen drei Arbeitsphasen Unterschiede in der Zehentemperatur erkennbar, allerdings zeichnet sich keine klare Tendenz ab. So sind die Werte der jüngeren weiblichen Apn in der 100- und 120-min Arbeitsphase um ca. 5 K höher als die der jüngeren männlichen Apn. Die älteren Männer zeigten in der 80-min Arbeitsphase ebenfalls eine um 4 K niedrigere Zehentemperatur, in der 120-min Arbeitsphase war diese allerdings im Vergleich zu den älteren Frauen wieder um bis zu 2 K höher (vgl. PENZKOFER, 2013).

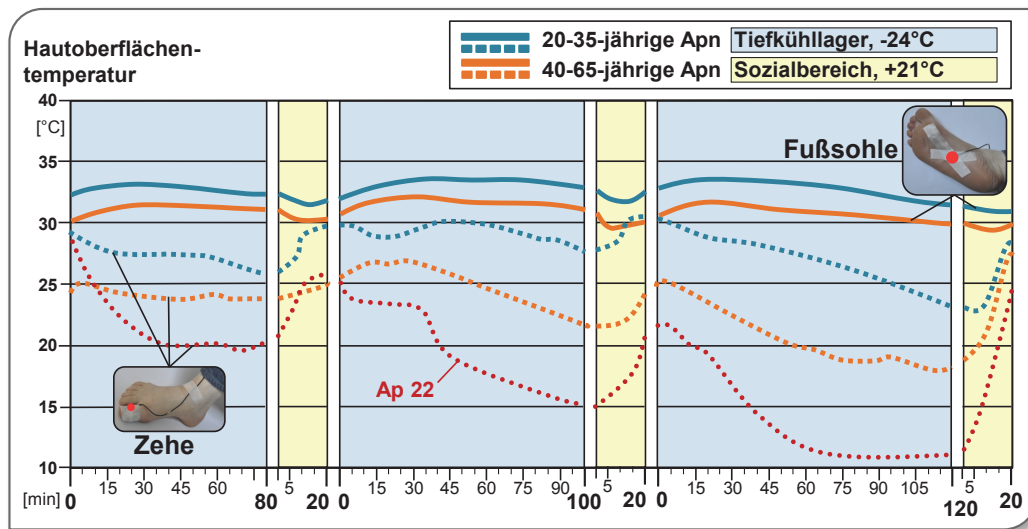


Abb. 7.11: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an Fußsohle und Zehe, gemittelt über jeweils 15 Apn in der Altersklasse 20-35 und 40-65 Jahre sowie Zehentemperatur von Ap 22 während der Arbeit im Tiefkühlager (-24°C) und in der Aufwärmphase bei +21°C

Die Thermografiebilder in Abbildung 7.12 zeigen exemplarisch die Temperaturverteilung am Fuß nach einer 120-min Kälteexposition bei -24°C. Demnach befindet sich der wärmste Bereich unterhalb des Fußes, mittig in der Fußwölbung, also an dem Ort, wo auch der Temperatursensor platziert wurde. Das kann im Wesentlichen darauf zurückzuführen sein, dass die natürliche Wölbung der Fußsohle bei den meisten Menschen einen kleinen Luftspalt zwischen Fuß und Schuhsohle einschließt, wodurch dieser Bereich nicht so stark von der Kontaktkälte mit der Schuhsohle betroffen ist, wie Zehen und Ferse. Damit während des Gehens keine Druckschmerzen entstehen, musste der Temperaturfühler auch exakt an dieser Stelle platziert werden und nicht in den wesentlich kälteren Bereichen. Ebenso verdeutlicht Abbildung 7.12, dass es zwischen dem Knöchel und den Zehen zu einem starken Temperaturabfall um ca. 20 K kam. Die Thermografiebilder sollen allerdings auch verdeutlichen, dass die ThermoStiefel immer noch eine Schwachstelle im Bereich des ganzheitlichen Schutzes vor Kälte durch Kälteschutzkleidung darstellen. Es gibt aber neue Modelle, die bereits für einen weniger starken Temperaturabfall an den Füßen sorgen. So zeigt die obere Bildhälfte den klassischen Leder-Thermostiefel mit fest eingebrachter Lammfellfüterung, wie er auch während der Feldstudie von den Apn getragen wurde. Hier kam es insbe-

sondere im vorderen Bereich der Stahlkappe – als gutem Kälteleiter – und an der Fußsohle, die im ständigen Kontakt zum kalten Fußboden stand, zu starken Abkühlungen. Im Laufe der Kälteexposition wurde die Kälte in das Innere des Schuhs geleitet, wodurch sich am Fuß ein zu den Schuhen ähnliches Temperaturprofil ausbildete. Der untere Bereich von Abbildung 7.12 zeigt die Wirkung des von der gleichen Person am rechten Fuß getragenen neuartigen Schlupf-Stiefels aus Synthetik, der zwar ebenfalls über eine Stahlkappe verfügt, aber zusätzlich mit einem herausnehmbaren gefütterten Innenschuh ausgestattet ist. Die veränderte Materialauswahl sowie die Luftpolster zwischen Innenschuh und Außenschuh und in die Schuhsohle integrierte Luftkammern sorgen dafür, dass es zu einer weit weniger starken Abkühlung des Fußes kommt als es beim klassischen Leder-Thermostiefel der Fall war. Im Mittel beträgt der Unterschied der Hautoberflächentemperatur in den einzelnen Bereichen der beiden verglichenen Füße ca. 3 K.

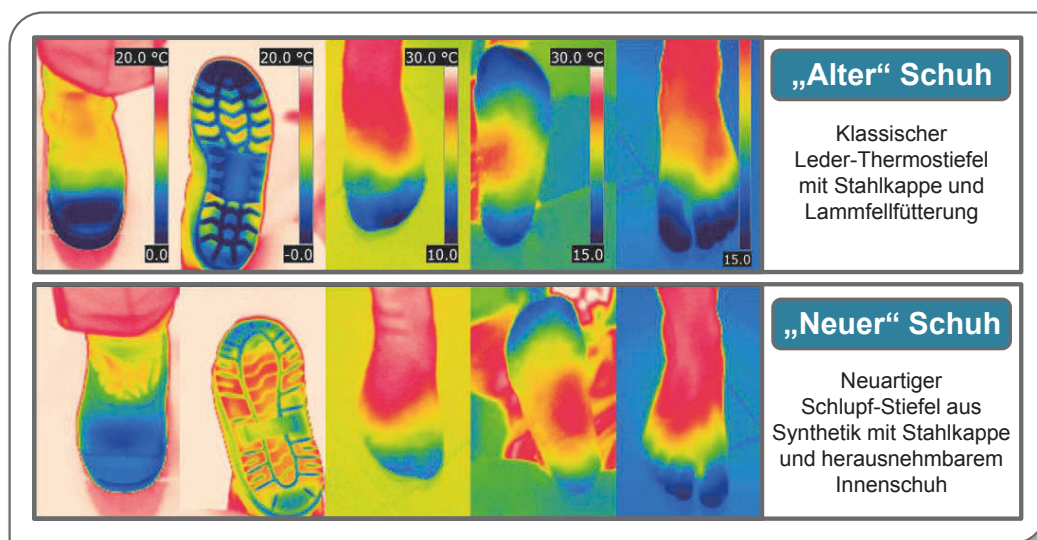


Abb. 7.12: Thermografiebilder von Schuhen und Füßen zum Vergleich zwischen klassischem Leder-Thermostiefel (oben) und neuartigem Schlupf-Stiefel (unten) nach einer 120-min Kälteexposition bei  $-24^{\circ}\text{C}$

Die Temperaturverläufe am Fingergrundglied und an der Fingerspitze zeigen zu Beginn der Kälteexposition einen abrupten Abfall der Hautoberflächentemperatur, dem sich entweder sofort oder nach einem leichten Anstieg ein meist geradliniger Verlauf anschloss (vgl. Abb. 7.13). In den Pausen kam es innerhalb kurzer Zeit zu einer vollständigen Wiedererwärmung. Im Vergleich zu den Füßen zeigten die älteren Apn

hier keinen kontinuierlich auftretenden, verstärkten Temperaturabfall. Im Gegenteil, zu Beginn der 80-min und 100-min Arbeitsphase sank die Hautoberflächentemperatur der jüngeren Apn sogar wesentlich stärker ab. Im geschlechtsdifferenzierten Vergleich zeigten sich ganz ähnliche Verläufe wie von PENZKOFER (2013) vorgestellt. Demnach sank die Fingerspitzentemperatur zu Beginn der Kälteexposition bei den jüngeren Apn deutlich stärker ab als bei den älteren Apn. Dem schloss sich zumindest bei den 20- bis 35-jährigen eine erneute Erwärmungsphase an, worauf nach ca. 60 min wieder ein Absinken der Temperatur folgte. Insgesamt waren die Hautoberflächentemperaturen der Frauen allerdings deutlich höher als die der Männer. Während die Temperatur am Fingergrundglied der Frauen zwischen 25°C und 30°C schwankte, wurden bei den Männern Werte zwischen 18°C und 23°C, also im Schnitt um ca. 7 K niedrigere Werte gemessen. Auch an der Fingerspitze konnten die Frauen, abgesehen von kurzweiligen Ausreißern, meist Werte im Bereich zwischen 20-23°C halten, während sich bei den Männern meist Werte zwischen 15-20°C einstellten.

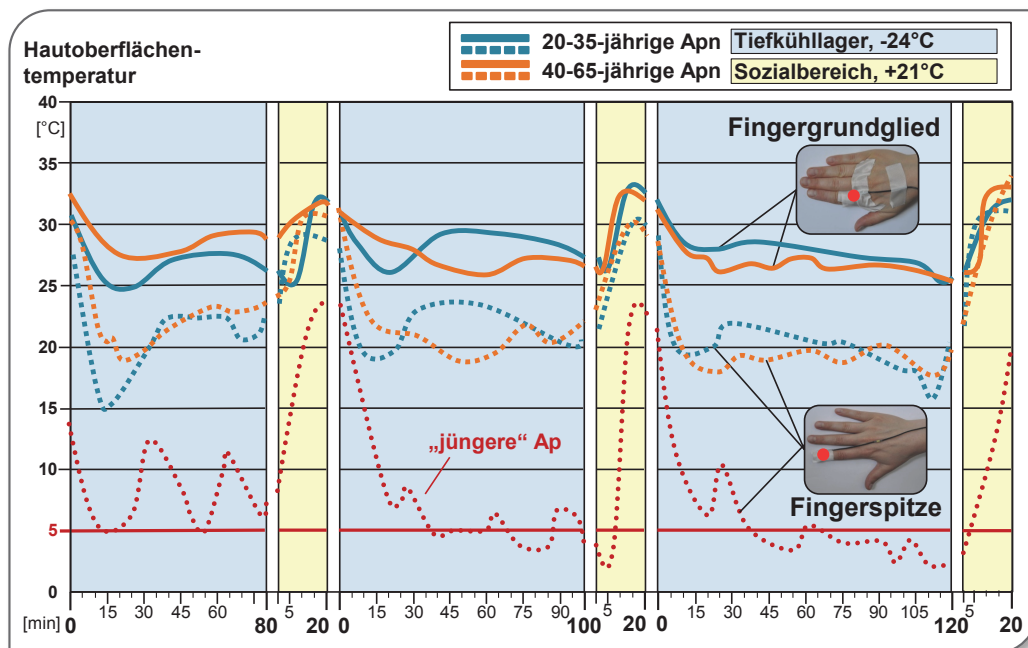


Abb. 7.13: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an Fingergrundglied und Fingerspitze, gemittelt über jeweils 15 Apn in der Altersklasse 20-35 und 40-65 Jahre sowie Fingerspitzentemperatur einer jüngeren Apn (nicht im Kollektiv erfasst) während der Arbeit im Tiefkühlager (-24°C) und in der Aufwärmphase bei +21°C

Mittlere Temperaturverläufe dürfen allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass es in Einzelfällen zu weitaus stärkeren Abnahmen kommen kann, bei denen sogar kritische Grenzwerte unterschritten werden. So zeigt Abbildung 7.13 (rote Linie) die Fingerspitzentemperatur einer 26-jährigen, nach eigener Einschätzung und auf der Basis der Untersuchungsergebnisse aus der Voruntersuchung gesunden Probandin. Während des für die Probandin ersten Versuchstages (Versuchsreihe II), kam es zu den dargestellten Temperaturabnahmen, die mit Werten unter  $5^{\circ}\text{C}$  durchaus als kritisch einzustufen sind. Da die Werte allerdings nicht online überwacht werden konnten und die Probandin bei der subjektiven Befragung nach ihren Kälteempfindungen in den Fingern nur in der 100-min Arbeitsphase entsprechend der 5-stufigen Skala zwei Mal mit einer „3“ für „kalt“ antwortete, aber nie über Schmerzen klagte, kam es nicht (zum eigentlich nötigen) Versuchsabbruch. Interessanterweise klagte die Probandin am darauffolgenden Tag während Versuchsreihe III (ebenfalls bei  $-24^{\circ}\text{C}$ ) bereits nach einer sehr kurzen Kälteexposition bei ähnlichen Fingerspitzentemperaturen über sehr heftige Schmerzen in den Fingern, sodass der Versuch auch abgebrochen wurde. Da sie aufgrund von andauernden Schmerzempfindungen nicht mehr weiterarbeiten konnte und auch der 3. Versuchstag mit Versuchsreihe I nicht mehr absolviert wurde, konnte diese Probandin im Gesamtkollektiv nicht berücksichtigt werden. Eine Auswertung von Thermobildern, die während der Aufwärmphase aufgenommen wurden (vgl. Abb. 7.14, links), lässt die Vermutung zu, dass die Probandin unter dem sogenannten Raynaud-Syndrom leidet, einer Erkrankung, die zu krampfartigen Verengungen der Blutgefäße unter Kälteeinfluss führt (vgl. u.a. DELP & NEWTON, 1986; HERRICK, 2006).

Abbildung 7.14 zeigt auch, dass bei „normalen“ Umgebungsbedingungen eine gleichmäßige Temperaturverteilung auf der gesamten Handfläche vorliegt, es aber bei einer Kälteexposition, ähnlich wie bei Füßen, zu einem starken Temperaturgefälle zwischen Handgelenk und Fingerspitzen kommt. Ebenso wird aus Abbildung 7.14 (rechts) deutlich, dass die körperlich schwere Arbeit des Kommissionierens den Wärmeeintrag in die Finger durchaus begünstigt, denn die dargestellten Hände zeigen ohne Tätigkeitsausführung sehr kritische Hautoberflächentemperaturen nach einer 60-min Kälteexposition bei  $-24^{\circ}\text{C}$ . Solch niedrige Temperaturen wurden bei keiner, außer der zuvor beschriebenen Ap erreicht.

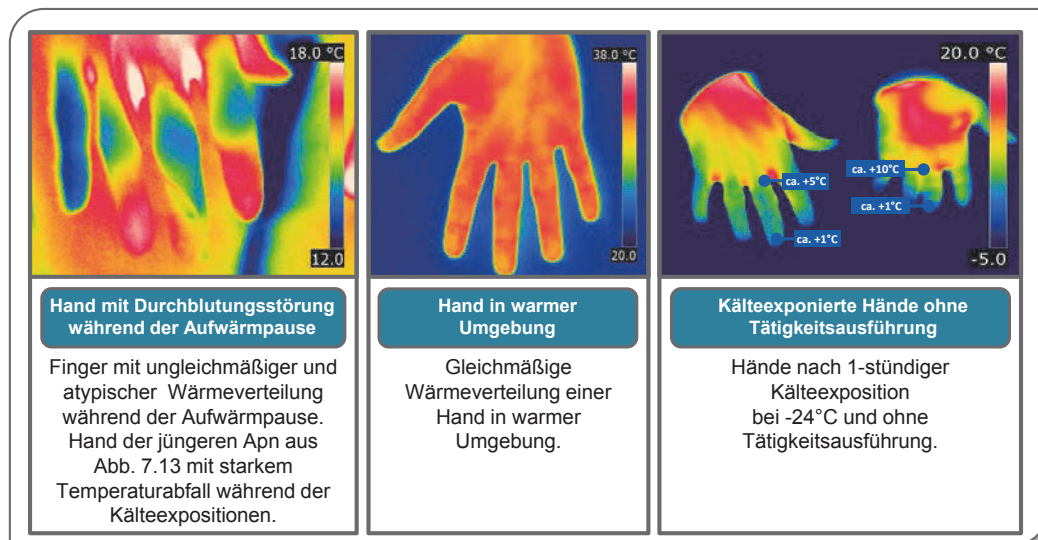


Abb. 7.14: Thermografiebilder unterschiedlicher Hände in warmer Umgebung, während der Aufwärmphase nach einer Kälteexposition und während des Aufenthalts bei Umgebungstemperaturen von  $-24^{\circ}\text{C}$

Erwartungsgemäß zeigte die der Kälte ungeschützt ausgesetzte Nase mit Temperaturabfällen um bis zu 20 K die deutlichsten Kältereaktionen. Bereits unmittelbar nach Betreten des Tiefkühlagers kam es zu einem abrupten Absinken der Hautoberflächentemperatur von knapp über  $30^{\circ}\text{C}$  auf Werte zwischen  $15\text{--}18^{\circ}\text{C}$  (vgl. Abb. 7.15). Wie auch an der Fingerspitze, kam es bei den jüngeren Apn zu einem kurzzeitigen Temperaturanstieg, dem sich nach ca. 30 min ein erneutes Absinken anschloss. Die Hautoberflächentemperatur der älteren Apn sank meist kontinuierlich weiter ab oder lag auf einem konstant niedrigen Niveau mit Werten zwischen  $12^{\circ}\text{C}$  und  $15^{\circ}\text{C}$ . Insgesamt zeigten die älteren weiblichen Apn ein meist um ca. 2 K bis 4 K niedrigeres Temperaturniveau als die Gruppe der 20- bis 35-jährigen Apn. Bei den von PENZKOFER (2013) dargestellten Temperaturverläufen an der Nase zeigten sich keine altersbedingten Unterschiede, hier hielten beide Gruppen ein konstantes Niveau von ca.  $15^{\circ}\text{C}$ . Folglich kann festgestellt werden, dass es in der Gruppe der jüngeren Apn zu einem systematischen Unterschied zwischen den Geschlechtern kam, wobei die weiblichen Apn höhere Werte aufwiesen. Bei den älteren Apn konnten in der 80-min und 100-min Arbeitsphase keine Unterschiede festgestellt werden, wohingegen in der 120-min Arbeitsphase die älteren weiblichen Apn geringfügig schlechter gestellt waren.

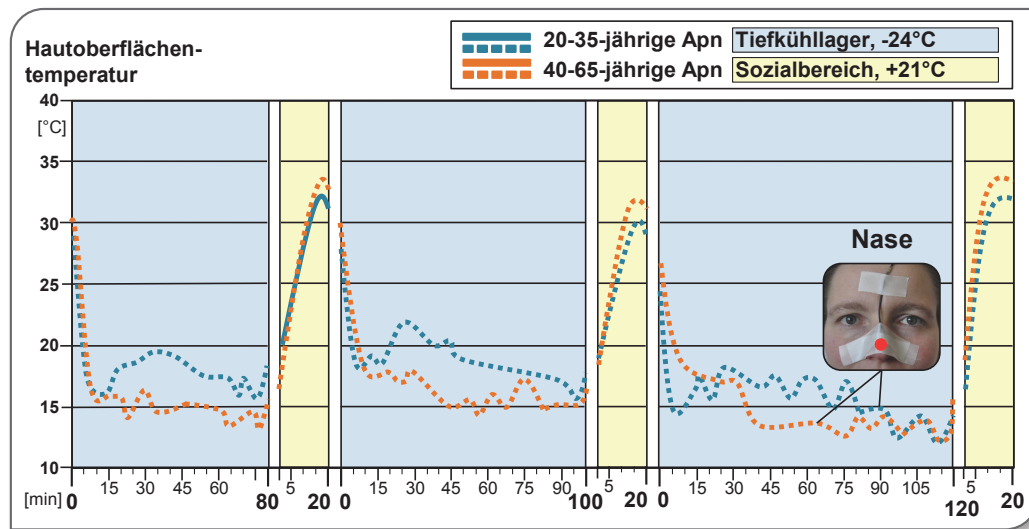


Abb. 7.15: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an der Nase während der Arbeit im Tiefkühlager (-24°C) sowie in der Aufwärmphase bei +21°C. Mittelwerte über jeweils 15 Apn in der Altersklasse 20-35 und 40-65 Jahre

Nicht alle Bereiche des Gesichtes, welches den Umgebungsbedingungen ungeschützt ausgesetzt war, zeigten die gleichen Kältereaktionen. Wie aus Abbildung 7.16 hervorgeht, kam es auch hier zu stark unterschiedlichen Temperaturverteilungen. Demnach konnten an der Stirn noch Temperaturen von ca. 25°C festgestellt werden, wohingegen die nur wenige cm darunter befindliche Nase lediglich 5°C aufwies. Das Temperaturgefälle macht einmal mehr deutlich, dass der menschliche Organismus dafür sorgt, dass unter Extrembedingungen das warme Blut in den lebenswichtigen Bereichen (in den inneren Organen und im Gehirn) zurückbehalten wird, und dabei die Versorgung der Akren mit körperwarmen Blut eher vernachlässigt wird.

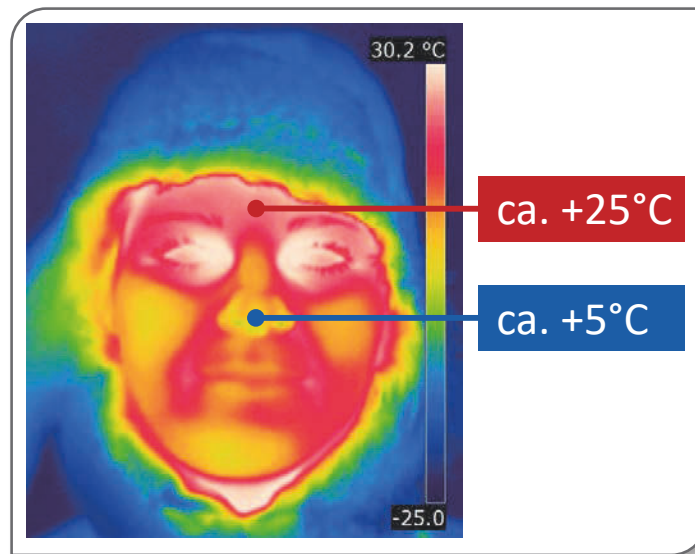


Abb. 7.16: Thermografiebild eines Gesichtes nach 2-stündiger Kälteexposition bei  $-24^{\circ}\text{C}$

### **Herzschlagfrequenz**

Im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  führte die gleiche Arbeit zu einem erkennbar höheren Niveau der arbeitsbedingten Herzschlagfrequenzen als bei einer Umgebungstemperatur von  $+3^{\circ}\text{C}$  im Kühlager. Die Unterschiede waren für alle drei Arbeitsphasen nach dem 2-seitigen t-Test für abhängige Stichproben hoch signifikant. Wie aus Abbildung 7.17 hervorgeht, zeigten auch hier die jüngeren Apn deutlich höhere mittlere Arbeitspulse als die Älteren, wenngleich sich die Unterschiede lediglich in der 120-min Arbeitsphase als schwach signifikant erwiesen. Die arbeitsbedingten Herzschlagfrequenzerhöhungen sprechen bei den 40- bis 65-jährigen für ein Arbeiten knapp unterhalb der Dauerleistungsgrenze. Mit Werten zwischen 38 und 41 Schlägen/min arbeiteten die 20- bis 35-jährigen hingegen nach den Ausführungen von STRASSER (1986) bereits über der Dauerleistungsgrenze. Interessanterweise weist das Arbeitspulsprofil bei den jüngeren Apn dennoch ein „steady-state“ auf. Bei den älteren Apn kam es im letzten Drittel aller drei Arbeitsphasen sogar zu einer Abnahme der Arbeitspulse. Während der Aufwärmphasen im  $+21^{\circ}\text{C}$  warmen Sozialbereich lag die Herzschlagfrequenz bei mehr als der Hälfte der Apn deutlich über dem am Morgen erfassten Ruhewert. Die Arbeitspulse der 4 professionellen Kommissioniererinnen blieben auch im Tief-



kühlager mit durchschnittlichen Werten von 22 Schlägen/min in der 80-min Arbeitsphase, 22 und 21 Schlägen/min in der 100-min und 120-min Arbeitsphase deutlich unter den Werten der übrigen älteren Apn.

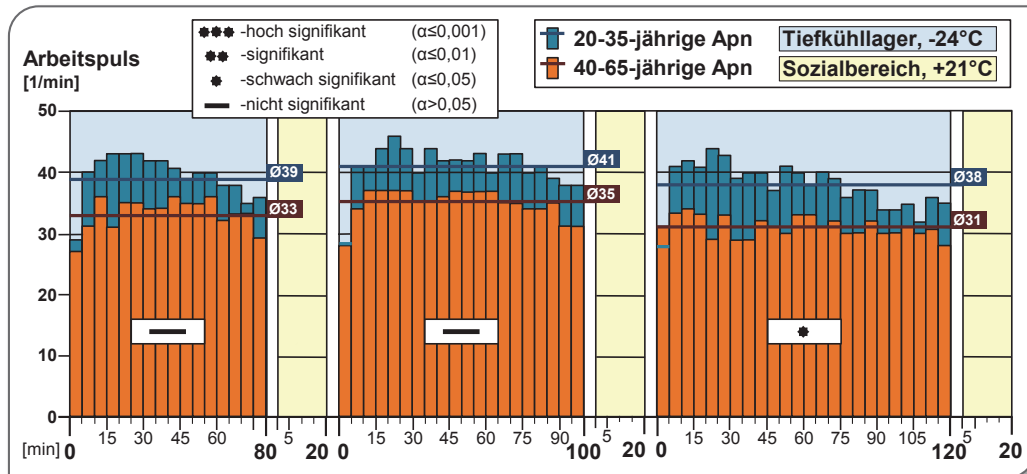


Abb. 7.17: Durchschnittliches Arbeitspulsprofil [1/min], dargestellt in 5-min-Mittelwerten über drei Arbeitsphasen im Tiefkühlager (-24°C). Mittelwerte von jeweils 15 weiblichen Apn in zwei Altersklassen. Signifikanzanalyse zwischen den beiden Altersklassen nach dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben

Im geschlechtsspezifischen Vergleich waren die arbeitsbedingten Herzschlagfrequenzerhöhungen bei den jüngeren weiblichen Apn in allen drei Arbeitsphasen deutlich höher ausgefallen als bei den Männern der gleichen Alterskategorie (vgl. Abb. 7.18).

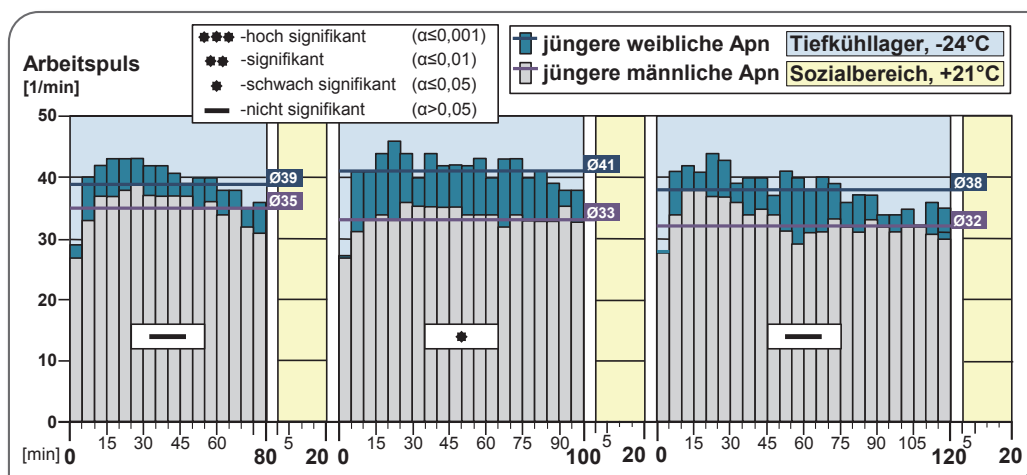


Abb. 7.18: Durchschnittliches Arbeitspulsprofil [1/min], dargestellt in 5-min-Mittelwerten über drei Arbeitsphasen im Tiefkühlager (-24°C). Mittelwerte von jeweils 15 weiblichen und männlichen Apn in der Altersklasse 20-35 Jahre. Signifikanzanalyse zwischen den beiden Geschlechtern nach dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben

Allerdings sind diese Unterschiede nach dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben in der 80-min und 120-min Arbeitsphase nicht signifikant, in der 100-min Arbeitsphase hingegen schwach signifikant.

Wie aus Abbildung 7.19 hervorgeht, sind dagegen zwischen den Gruppen der älteren Apn keine geschlechtsspezifischen Unterschiede zu erkennen. In der 80-min Arbeitsphase waren die Arbeitspulse beider Geschlechter nahezu identisch. In der 100-min Arbeitsphase wiesen die älteren weiblichen Apn höhere Werte auf, und in der 120-min Arbeitsphase waren die Arbeitspulse der männlichen Apn höher.

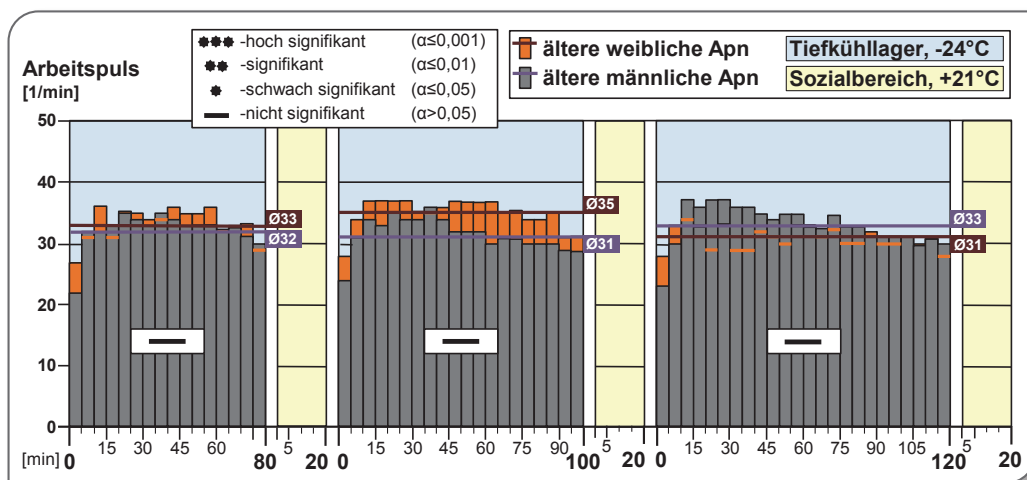


Abb. 7.19: Durchschnittliches Arbeitspulsprofil [1/min], dargestellt in 5-min-Mittelwerten über drei Arbeitsphasen im Tiefkühllager (-24°C). Mittelwerte von jeweils 15 weiblichen und männlichen Apn in der Altersklasse 40-65 Jahre. Zwischen den beiden Geschlechtern konnten mit dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden

### Blutdruck

Das Arbeiten bei -24°C führte in beiden Altersklassen zu erhöhten Blutdruckwerten (vgl. Abb. 7.20). Wenngleich wertemäßig im Gegensatz zur Arbeit bei +3°C (siehe Abschnitt 7.1) eine deutliche Erhöhung feststellbar war, so kann nach der Signifikanzanalyse keine klare Aussage darüber getroffen werden, ob das Umgebungsklima den Blutdruck systematisch beeinflusst. Die Unterschiede zwischen den beiden Lagerbereichen waren systolisch für die Jüngeren in der 80-min und 120-min Arbeitsphase nicht signifikant, in der 100-min Arbeitsphase signifikant. Bei den Älteren konnten für die 80-min und 100-min Arbeitsphase signifikante und für die 120-min Arbeitsphase

hoch signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die diastolischen Werte unterschieden sich in beiden Altersklassen lediglich in der 120-min Arbeitsphase signifikant voneinander. Der systolische Blutdruck der älteren Apn überschritt sogar oftmals den kritischen Wert von 140 mmHg. In Einzelfällen kam es bei Apn, bei denen in der Voruntersuchung ein normaler Blutdruck festgestellt wurde, während der Arbeitsphasen sogar zu Werten von über 160/100 mmHg.

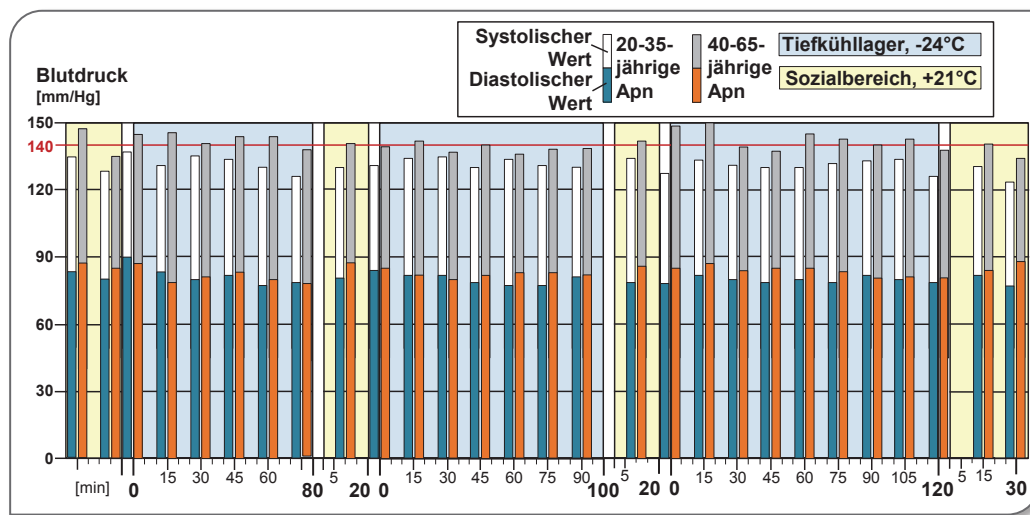


Abb. 7.20: Verlauf des Blutdrucks [mmHg] über drei Arbeitsphasen im Tiefkühlager (-24°C) und in der Aufwärmphase im Sozialraum (+21°C). Mittelwerte von jeweils 15 weiblichen Apn in zwei Altersklassen

Abbildung 7.21 visualisiert vergleichend für die untersuchten Personengruppen den systolischen und diastolischen Blutdruck während der Arbeit im Tiefkühlager und während des Aufenthalts im Sozialbereich. Hierbei wird ebenso wie im Kühlager deutlich, dass für die älteren Apn höhere Blutdruckwerte festgestellt werden konnten. Der in Anbetracht der Tätigkeitsausführung in Kälte, unter der zusätzlichen Last der Kälteschutzkleidung insgesamt als niedrig zu bewertende Blutdruck der jüngeren weiblichen Apn hatte auch zur Folge, dass zumindest die systolischen Werte während der Arbeit hoch signifikant und während der Pausen immerhin noch signifikant niedriger waren als die Werte der männlichen Apn der gleichen Altersklasse. Bei den älteren Apn war der wertemäßig leicht höhere Blutdruck der männlichen Apn jedoch nicht signifikant, sodass hieraus kein klarer geschlechtsspezifischer Unterschied erkennbar wird. Gleiches gilt für den Vergleich zwischen den 4 professionellen Kommissioniererinnen und den älteren Novizen, deren Werte zwar ebenfalls höher ausfielen, aber nach dem

2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben nicht signifikant waren. Erkennbar ist auch, dass die Werte des Blutdrucks der weiblichen Apn während des Versuchstages insgesamt wesentlich höher waren als die zuvor in der „Heimmessung“ ermittelten Werte. Da sich die in der Pause und während der Arbeit ermittelten Werte kaum voneinander unterscheiden, ist die Differenz zur Heimmessung weniger auf die Kälte als vielmehr auf die Tätigkeitsausführung und evtl. auf eine durch Nervosität erzeugte Erhöhung zurückzuführen.

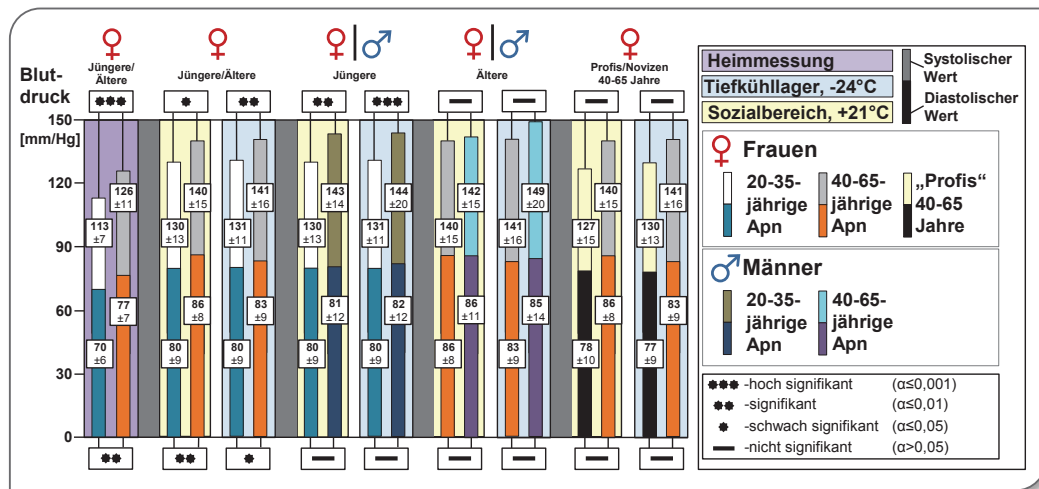


Abb. 7.21: Mittelwerte des Blutdrucks [mmHg] von jeweils 15 Apn in unterschiedlichen Probandengruppen sowie der 4 professionellen Apn während der Arbeit im Tiefkühlager (-24°C), während der Aufwärmphase im Sozialraum (+21°C) sowie für die weiblichen Apn während der 3-tägigen Heimmessung. Signifikanzanalyse zwischen den Gruppen nach dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben

### 7.3 Kommissioniertätigkeit mit variabler Arbeits- und Pausenzeit bei -24°C

Versuchsreihe III wurde ebenso wie Versuchsreihe II im Tiefkühlager bei -24°C durchgeführt, wobei alle weiblichen Arbeitspersonen (Apn) drei Arbeitsphasen mit variabler Arbeits- und Pausenzeit zu absolvieren hatten. Zwei Arbeitsphasen waren jeweils 100 min lang, woran sich eine 25-min bzw. 30-min Aufwärmphase anschloss, auf eine weitere 120-min Arbeitsphase folgte eine Pause von 30 min. Das Hauptaugenmerk sollte dem „Erholungserfolg“ der Pausen gelten, die im Vergleich zu den durchschnittlichen Pausenzeiten professioneller Kommissionierer (vgl. PENZKOFER, 2013) und den vorangegangenen Untersuchungen um 5 min bzw. 10 min verlängert wurden.

### *Körperkerntemperatur*

Während der Tätigkeitsausübung in Versuchsreihe III waren die mittleren Körperkerntemperaturabnahmen trotz identischer Bedingungen wie in Versuchsreihe II geringfügig höher ausgefallen. Auch hier wiesen die älteren Apn mit maximalen Abnahmen von 1,7 K (im Vergleich zum morgendlichen Ausgangswert) höhere Werte auf als die jüngeren Apn mit 1,4 K (vgl. die Höhe der orangenen mit türkisen Säulen in Abb. 7.22). Die Unterschiede waren aber in allen drei Arbeitsphasen nicht signifikant. Zum Ende der 25-min Aufwärmphase, die auf die 100-min Arbeitsphase folgte, zeigten beide Probandengruppen noch ein Temperaturdefizit von 0,3 K. Eine Verlängerung der Pause um 5 min auf 30 min bewirkte nach einer weiteren ebenfalls 100-min Arbeitsphase, dass das Temperaturdefizit immerhin auf 0,2 K gemindert werden konnte. Am Ende der ebenfalls 30-min Pause, die sich an die 120-min Kälteexposition anschloss, zeigten die jüngeren Apn lediglich ein Temperaturdefizit von 0,1 K, die älteren Apn aber immerhin noch ein Defizit von 0,3 K. Alles in allem zeigen die in Abb. 7.22 visualisierten Verläufe der Körperkerntemperatur, dass in allen drei Arbeitsphasen das Temperaturdefizit umso geringer war, umso länger die Dauer der Pause war.

Abbildung 7.22 verdeutlicht auch, dass Vorsicht geboten ist, wenn mittlere Beanspruchungswerte für die Beurteilung eines Arbeitssystems herangezogen werden. Individuell kann es nämlich zu sehr starken Abweichungen vom Mittelwert kommen. Das war beispielsweise bei Ap 27 (graue Balken in Abb. 7.22) der Fall. Ausgehend von 36,8°C am Morgen kam es in allen drei Arbeitsphasen zu maximalen Abnahmen um bis zu 2,7 K, wodurch immer wieder der kritische Wert von 34°C nahezu erreicht wurde. Auch während Versuchsreihe II waren – wie bereits früher geschildert – im Laufe des Versuchstages öfters individuelle Abnahmen um 2,3 K bis 2,8 K gemessen worden. Interessanterweise gab diese Ap während der Kälteexpositionen jedoch häufiger an, überhaupt kein ausgeprägtes Kälteempfinden zu verspüren. Bei ihr konnte auch während des Arbeitens im Kühllager bei +3°C kaum eine Abnahme der Körperkerntemperatur gemessen werden. Eine weitere Kommissioniererin, nämlich Ap 22, die bereits im Kühllager deutliche Abweichungen vom Mittelwert zeigte, hatte hingegen auch in den Arbeitsphasen der Versuchsreihen II und III Temperaturdefizite von 2,2 K bis 2,6 K.

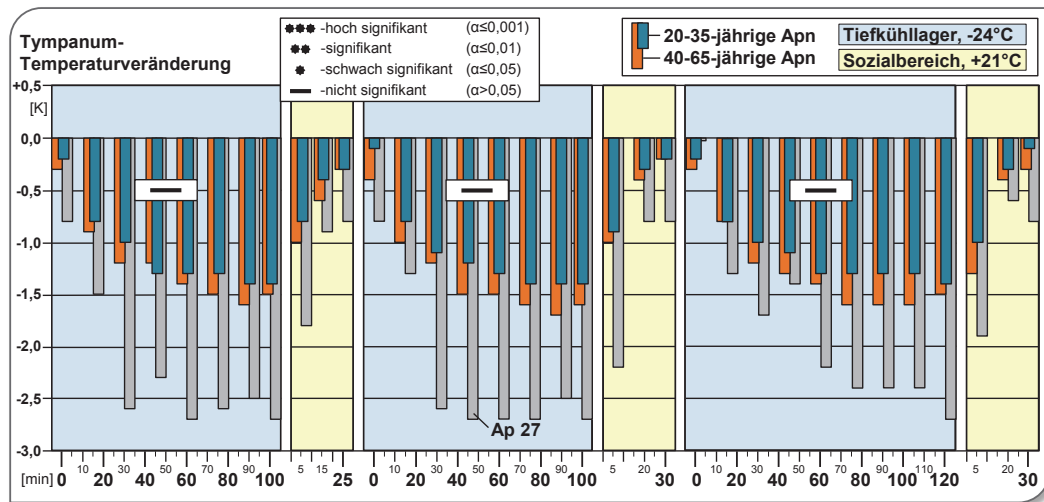


Abb. 7.22: Veränderungen der Tympanum-(Körperkern-)Temperatur [K] während der 100-min und 120-min Kälteexpositionen im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  und den daran anschließenden 25-min bzw. 30-min Aufwärmphasen im  $+21^{\circ}\text{C}$  warmen Sozialbereich. Mittelwerte über jeweils 15 weibliche Apn in zwei Altersklassen sowie (in den grauen Säulen) von Ap 27. Zwischen den beiden Altersklassen konnten mit dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden

### Hautoberflächentemperatur

Die Variation von Arbeits- und Pausenzeiten hatte keinen erkennbaren Einfluss auf die Hautoberflächentemperaturen an Nase und Zehe. Aus Abbildung 7.23 geht zwar hervor, dass die Zehentemperatur in der 120-min Arbeitsphase, an die sich eine 30-min Aufwärmphase (120/30) anschloss, deutlich niedriger war als es bei der Kombination 100/30 min der Fall war. Genau anders herum verhielt es sich aber bei der Nasentemperatur, die in der längeren Arbeitsphase deutlich höher lag. Auch die in Teilen signifikanten, jedoch nur geringen Temperaturunterschiede zwischen den beiden 100-min Arbeitsphasen lassen keine Aussage darüber zu, dass ein Zusammenhang zwischen der Expositionsdauer und dem Absinken der Hautoberflächentemperatur besteht. Auch eine Verlängerung der Pausenzeit bewirkt nicht zwangsläufig eine höhere Temperatur zum Ende der Pause. Das ist z.B. an der Zehentemperatur in den beiden Aufwärmphasen zum Ende der 100-min Arbeitsphasen ersichtlich. Während die jüngeren Apn (vgl. türkise Linien in Abb. 7.23) am Ende der 30-min Aufwärmphase eine um 2 K höhere Hautoberflächentemperatur an der Zehe aufzuweisen hatten als nach der 25-min Aufwärmphase, waren die Werte bei den älteren Apn (vgl. orange Linien in Abb. 7.23) am Ende der längeren Pause um ca. 2 K niedriger, obwohl sogar

das Ausgangsniveau am Ende der Arbeitsphase um ca. 3 K höher lag. Der Verlauf der Zehentemperatur zeigt allerdings auch, dass gerade die älteren Apn, bei denen es zu besonders starken Temperaturabfällen während des Kommissionierens kam, ausreichend Zeit zur Wiedererwärmung benötigen, da die Hautoberflächentemperatur mit fortschreitender Pausenzeit deutlich ansteigt.

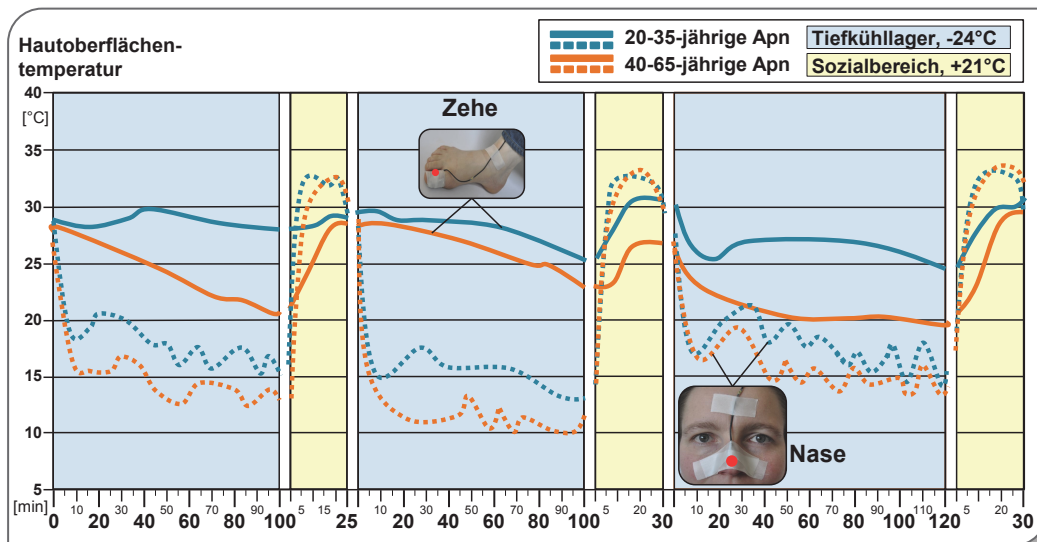


Abb. 7.23: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an der Nase und an der Zehe während der Arbeit im Tiefkühlager (-24°C) sowie in der Aufwärmphase bei +21°C. Mittelwerte über jeweils 15 Apn in der Altersklasse 20-35 und 40-65 Jahre

Die Temperaturen an den Händen wurden durch die Variation von Arbeits- und Pausenzeiten nicht erkennbar positiv oder negativ beeinflusst. Der Verlauf der Hautoberflächentemperatur am Fingergrundglied (vgl. Abb. 7.24) bewegte sich wie bereits in Versuchsreihe II meist konstant zwischen 25°C und 30°C. Eine Verlängerung der Aufwärmphase führte zu keinem weiteren Anstieg der Temperatur, da das Ausgangsniveau bereits nach 10 bis 15 min erreicht war. Gleiches gilt für die Fingerspitze. Auch hier erfolgte trotz starker Abkühlung während der Arbeitsphasen gleich zu Beginn der Aufwärmphasen eine starke Wiedererwärmung, sodass eine Verlängerung der Pausenzeit keine weiteren positiven Effekte nach sich zog. Auch eine Verlängerung der Expositionszeit blieb ohne besondere Wirkungen, denn auch hier führten die beiden Arbeitsphasen von 100 min Länge zu keinen identischen Ergebnissen, und bei den älteren Apn stellten sich am Ende der 120-min Arbeitsphase im Vergleich zu den beiden 100-min Arbeitsphasen sogar um 2 K bis 5 K höhere Werte ein. Bei den jüngeren Apn

lag die Hautoberflächentemperatur an der Fingerspitze nach 120 min einmal um 4 K niedriger und einmal um 1 K höher als nach 100 min Kälteexposition.

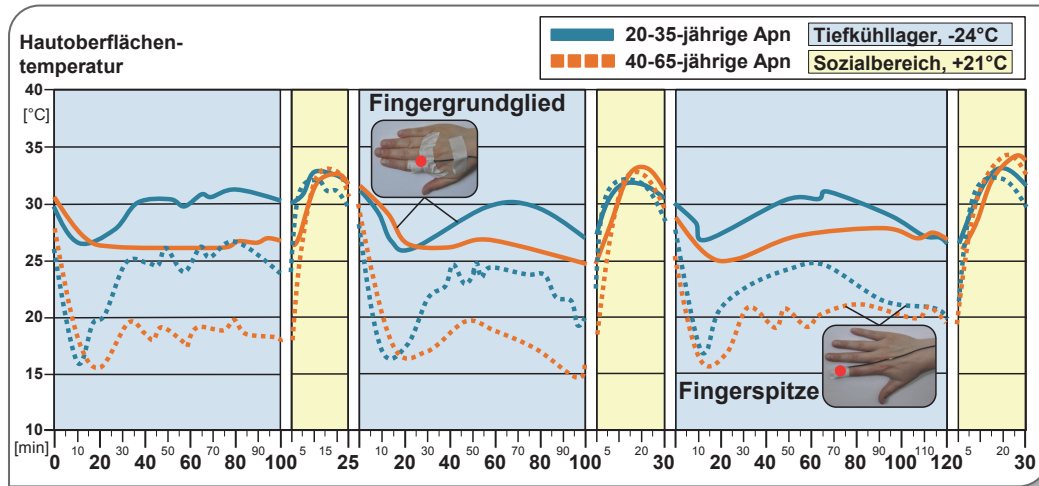


Abb. 7.24: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] am Fingergrundglied und an der Fingerspitze während der Arbeit im Tiefkühlager (-24°C) sowie in der Aufwärmphase bei +21°C. Mittelwerte über jeweils 15 Apn in der Altersklasse 20-35 und 40-65 Jahre

### Herzschlagfrequenz

Wie aus Abbildung 7.25 ersichtlich, hatte die Länge der Arbeitszeit keinen Einfluss auf die arbeitsbedingten Herzschlagfrequenzerhöhungen. Zum einen ist, wie zuvor in Versuchsreihe II, kein Zusammenhang zwischen der Expositionszeit und dem durchschnittlichem Arbeitspuls erkennbar, zum anderen kommt es mit fortwährender Tätigkeitsausführung zu keinem Anstieg der Herzschlagfrequenz, was ein deutliches Indiz für das Überschreiten der Dauerleistungsgrenze wäre. Vielmehr stellte sich nach dem arbeitsbedingten Anstieg der Herzschlagfrequenz ein „steady-state“ ein, oder es kam im letzten Drittel der Arbeitsphase sogar zu einem Absinken des Arbeitspulses. Die Pausen im Sozialbereich führten immer zu einer deutlichen Erholung, wenngleich das morgendliche Ausgangsniveau der Herzschlagfrequenz im Mittel nicht mehr erreicht werden konnte. Eine Verlängerung der Pausenzeiten hatte dennoch positive Wirkungen auf die Herzschlagfrequenz, da hierdurch eine weitere Annäherung an das Ruhepulsniveau erreicht werden konnte. Interessanterweise zeigten die jüngeren Apn zwar während der Tätigkeitsdurchführung durchweg die höheren Arbeitspulse (siehe türkise Säulen in Abb. 7.25), aber in den Pausen war in allen drei Arbeitsphasen bei



den älteren Apn das Defizit zum morgendlichen Ausgangswert der Herzschlagfrequenz wesentlich höher als es bei den jüngeren Apn der Fall war (nicht in Abb. 7.25 dargestellt).

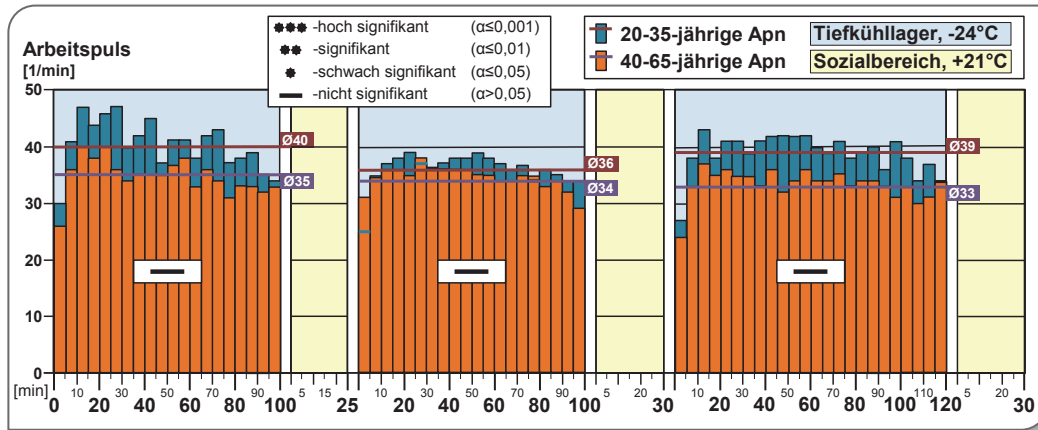


Abb. 7.25: Durchschnittliches Arbeitspulsprofil [1/min], dargestellt in 5-min-Mittelwerten über drei Arbeitsphasen im Tiefkühlager (-24°C). Mittelwerte von jeweils 15 weiblichen Apn in zwei Altersklassen. Zwischen den beiden Altersklassen konnten mit dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden

### Blutdruck

Die im 15-min Abstand erfassten Blutdruckwerte (vgl. Abbildung 7.26) unterliegen im Zeitverlauf leichten Schwankungen, insgesamt ist jedoch mit zunehmender Kälteexpositionszeit kein Anstieg der Werte erkennbar. Der systolische und der diastolische Blutdruck ist auch in Versuchsreihe III mit Mittelwerten von 134/80 mmHg während der Arbeit und 129/78 mmHg während der Pausen für die jüngeren Apn und 138/81 mmHg (Arbeit) bzw. 136/84 mmHg (Pausen) für die älteren Apn deutlich höher als unter Ruhebedingungen. Die in der „Heimmessung“ ermittelten Werte betragen 113/70 mmHg für die 20- bis 35-jährigen und 126/77 mmHg für die 40- bis 65-jährigen. Die Verlängerung der Pausenzeit zeigt hingegen, dass zumindest der systolische Blutdruck stufenweise mit fortschreitender Ruhezeit absinkt, für den diastolischen Wert sind allerdings keine Effekte erkennbar. Im altersdifferenzierten Vergleich wiesen die älteren Apn, ebenso wie in den Versuchsreihen I und II, durchweg höhere Werte auf, wobei die Unterschiede zumindest während der Arbeit nicht signifikant waren. Während der Pausen waren die Differenzen der systolischen Werte schwach

signifikant. Für den diastolischen Blutdruck konnten signifikante Differenzen nachgewiesen werden.

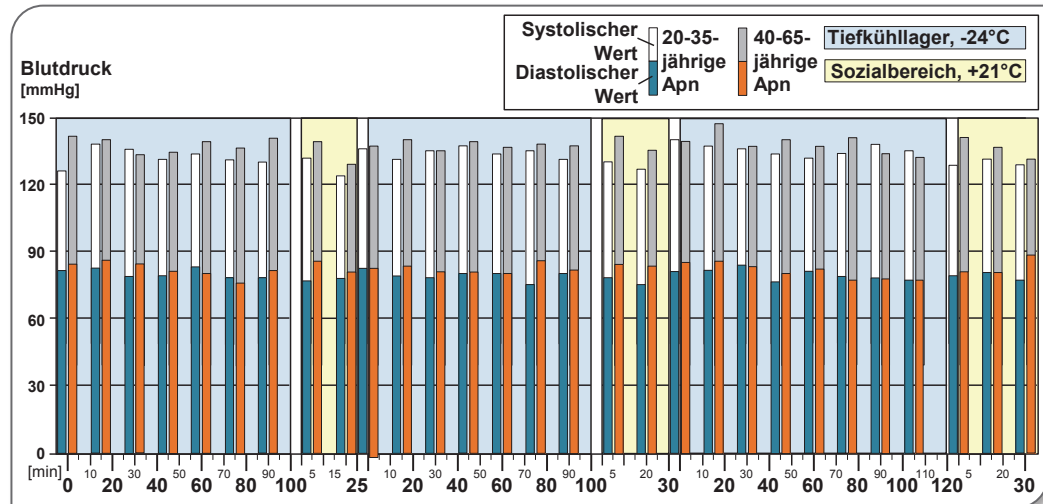


Abb. 7.26: Verlauf des Blutdrucks [mmHg] über drei Arbeitsphasen im Tiefkühlager (-24°C) und in der Aufwärmphase im Sozialraum (+21°C). Mittelwerte von jeweils 15 weiblichen Apn in zwei Altersklassen

#### 7.4 Kommissioniertätigkeit zur Bestimmung des Bruttoenergieumsatzes

Neben den zuvor dargestellten physiologischen Parametern, mit denen die körperliche Beanspruchung objektiviert werden konnte, werden im Folgenden die Ergebnisse der Messung des Bruttoenergieumsatzes als Belastungsparameter präsentiert. Um die körperliche Belastung beim Kommissionieren in unterschiedlichen Lagerbereichen vergleichen zu können, wurden Messungen des Energieumsatzes in der +3°C kalten Vorkühlzone und im Tiefkühlager bei -24°C durchgeführt. Da die äußere Belastung – hervorgerufen durch die Superposition des körperlich schweren Kommissionierens und der niedrigen Umgebungstemperaturen – aufgrund des standardisierten Versuchsdesigns für alle Apn gleich war, wurde erwartet, dass sich die Werte der Frauen beider Altersklassen innerhalb eines Temperaturbereiches kaum voneinander unterscheiden.

Die Ergebnisse aus den Herzschlagfrequenzmessungen zeigten bereits, dass die Frauen während ihrer Tätigkeit im Kühlager knapp unterhalb oder nur etwas oberhalb der Dauerleistungsgrenze (DLG) gearbeitet hatten (vgl. Abschnitt 7.1). Arbeiten an oder knapp über der DLG bedingen eigentlich die Anwendung der Integralmethode, was aber erfordern würde, dass das verwendete Messsystem MetaMax 3B dauerhaft

den extrem kalten Umgebungsbedingungen Stand hält und verlässliche Werte liefert. Aktuell ist allerdings kein System verfügbar, das diesem Anspruch genügt, und selbst konstruktive Veränderungen, wie von KOLLMANN (2009) beschrieben, schafften nur bedingt Abhilfe. Da die gemessenen Herzschlagfrequenzen annehmen lassen, dass an oder allenfalls knapp oberhalb der DLG Arbeit geleistet wurde, sollte der zu erwartende Messfehler auch bei der in dieser Untersuchung angewandten Partialmethode gering und daher akzeptabel sein, was auch in einer Ergänzungsstudie von GRIFFEL (2014) bestätigt wurde (vgl. hierzu Abschnitt 3.3.2).

#### *7.4.1 Ermittlung der Arbeitsschwere in der Vorkühlzone bei +3°C*

Zur Ermittlung der reinen Arbeitsschwere des Kommissioniervorgangs, d.h. ohne die Einflüsse der tiefen Kälte und der schweren Kälteschutzkleidung zu berücksichtigen, wurde eine Umsetztätigkeit in der +3°C kalten Vorkühlzone unter Verwendung der in Abschnitt 2.4.3 beschriebenen einfachen Schutzkleidung für das Kühlager durchgeführt. Hierbei galt es, innerhalb von 15 min 4 Paletten mit jeweils 20 Kisten Kommissioniersatzware umzusetzen. Die Kisten entsprachen in Größe und Gewicht (2 bis 15 kg) realer Kühl- und Tiefkühlware, sodass innerhalb der 15 min Waren mit einem Gesamtgewicht von 600 kg umgesetzt wurden. Die Paletten, zwischen denen die Waren „kommissioniert“ werden mussten, standen in geringer Entfernung zueinander (max. 3 Meter), wodurch die kurze Wegstrecke eine mögliche Erholung auf dem Rückweg nach dem Ablegen der Kiste ausschloss.

Das zur Energieumsatzbestimmung eingesetzte Messsystem liefert über 100 spirometrische Parameter, wobei im Folgenden lediglich die Sauerstoffaufnahme ( $V_{O_2}$ ) und die Kohlendioxidabgabe ( $V_{CO_2}$ ) für die Berechnung der weiteren relevanten Kennzahlen herangezogen wurden. Abbildung 7.27 verdeutlicht die aus der  $O_2$ -Aufnahme und  $CO_2$ -Abgabe errechneten Werte im alters- und geschlechtsdifferenzierenden Vergleich, wobei für letzteres die von PENZKOFER (2013) ermittelten  $O_2$ - und  $CO_2$ -Werte für die Männer zugrunde gelegt wurden.

Energieumsatzbestimmung in der Vorkühlzone bei +3°C				
	Frauen ♀		Männer ♂	
	20-35 Jahre (64kg)	40-65 Jahre (69kg)	20-35 Jahre (79kg)	40-65 Jahre (90kg)
1 $\dot{V}_{O_2}$ [l/min]	1,25	1,25	1,50	1,55
2 $\dot{V}_{O_2}$ [l/h]	75,0	75,0	90,0	93,0
3 $\dot{V}_{CO_2}$ [l/min]	1,01	0,96	1,26	1,30
4 RQ	0,81	0,77	0,84	0,84
5 KÄ [kJ/IO <sub>2</sub> ]	20,18	19,97	20,33	20,33
6 EU [kJ/h]	1514	1498	1830	1891
7 EU [Watt]	421	416	508	525
8 rel. EU [Watt/kg]	6,58	6,03	6,43	5,83
9 GU [Watt]	67	63	88	85
10 Arbeits-EU [Watt]	354	353	420	440
11 Wärmeerzeugung [Watt]	319	318	378	396
12 rel. Arbeits-EU [Watt/kg]	5,53	5,12	5,32	4,88
13 rel. Wärmeerzeugung [Watt/kg]	4,98	4,61	4,78	4,40

Abb. 7.27: Zusammenstellung der Werte für die O<sub>2</sub>-Aufnahme und CO<sub>2</sub>-Abgabe. Für die daraus resultierenden (relativen) Brutto- und Arbeitsenergieumsätze sowie für die (relative) Wärmeerzeugung männlicher und weiblicher Apn zweier Altersklassen in der Vorkühlzone bei +3°C

Über den 15-min Umsetzversuch in der Vorkühlzone hinweg lag die mittlere O<sub>2</sub>-Aufnahme (1) für die Frauen beider Altersklassen bei 1,25 l/min. In Bezug auf die Dauerleistungsgrenze decken sich die Ergebnisse in etwa mit denen aus der Herzschlagfrequenzmessung (Arbeit knapp unter DLG), da u.a. nach STRASSER (2002) eine O<sub>2</sub>-Aufnahme von 1,2 l/min ein Arbeiten knapp oberhalb der DLG indiziert, weshalb insgesamt davon auszugehen ist, dass im Mittel an der DLG gearbeitet wurde. Durch die erfasste CO<sub>2</sub>-Abgabe (3) ließ sich gemäß der beispielhaften Gleichung 7.1 für die jüngeren weiblichen Apn der Respiratorische Quotient RQ (4) bestimmen.

$$RQ = \frac{CO_2\text{-Abgabe}}{O_2\text{-Aufnahme}} = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{O_2}} = \frac{1,02}{1,25} = 0,81 \quad (7.1)$$

Unter Berücksichtigung der Formel 3.10 in Abschnitt 3.3.1 kann das entsprechende Kalorische Äquivalent (5) von 20,18 [kJ/IO<sub>2</sub>] bestimmt werden. Unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten O<sub>2</sub>-Aufnahme pro Stunde (2), ergibt sich letztlich der Wert für die Energiefreisetzung bzw. den Energieumsatz EU (6) von 1514 kJ/h

(vgl. Gleichung 7.2). Der Ausgangswert von 1514 kJ, wiederum dividiert durch den Umrechnungsfaktor für kJ in Watt von 3,6, ergibt einen Energieumsatz von 421 Watt (7).

$$EU = \text{Sauerstoffverbrauch} \cdot K\ddot{A} = 75 \left[ \frac{lO_2}{h} \right] \cdot 20,18 \left[ \frac{kJ}{lO_2} \right] = 1514 \left[ \frac{kJ}{h} \right] \hat{=} 421 \text{ Watt} \quad (7.2)$$

Wird der absolute Brutto-Energieumsatz auf das Gewicht der Apn bezogen, ergibt sich ein relativer Energieumsatz von 6,58 [Watt/kg]. Nach der Berechnung des Grundumsatzes mittels der Formel 3.10 in Abschnitt 3.3.1 ergab sich im Mittel über alle jüngeren weiblichen Apn ein Grundumsatz GU (9) von 67 Watt. Abgezogen vom Brutto-Energieumsatz resultiert daraus ein Arbeits-Energieumsatz (10) von 354 Watt. Da der Wirkungsgrad des Menschen bei industrieller Tätigkeit bestenfalls 10% beträgt (vgl. u.a. STRASSER, 1986), werden lediglich 35 Watt in Arbeit umgesetzt und ca. 319 Watt in Wärme (11). Letztlich ergibt sich hieraus, bezogen auf die Körpermasse der Apn, eine relative Wärmeerzeugung von 4,98 Watt/kg (13).

Bei der Betrachtung der Ergebnisse zeigt sich, dass die älteren Arbeitnehmer innerhalb eines Geschlechts einen geringeren Brutto-Energieumsatz aufweisen und in der Folge u.a. auch über schlechtere Eigenschaften in Bezug auf die relative Wärmeerzeugung verfügen. Nach den bisherigen theoretischen Erkenntnissen sollten auch die Frauen über schlechtere Fähigkeiten der Wärmebildung verfügen. Allerdings lassen die Ergebnisse im vorliegenden Fall vermuten, dass Frauen bei schwerer Arbeit zwar geringere Werte für den Brutto- und Arbeits-Energieumsatz aufweisen, aber aufgrund ihres deutlich niedrigeren Körpergewichts mehr Wärme pro kg Körpermasse erzeugen können.

#### 7.4.2 Ermittlung der Arbeitsschwere im Tiefkühlager bei -24°C

Im Tiefkühlager fand die spirometrische Messung zu Beginn eines willkürlich ausgewählten Versuchsdurchlaufs statt. Aufgrund der zurückzulegenden Wegstrecken mit dem Flurförderzeug konnte hier während der Messdauer mit 40 Kisten innerhalb von 15 min lediglich die Hälfte der Umsetzleistung aus der Vorkühlzone erreicht werden (80 Kisten/15 min). Gerade durch die „Erholzeiten“ während der Fahrten war insge-

samt trotz der schweren Kälteschutzkleidung und der tiefen Kälte mit einem geringeren Energieumsatz zu rechnen. Die Ergebnisse aus Abbildung 7.28 verglichen mit denen aus Abbildung 7.27 zeigen auch, dass der Energieumsatz im Tiefkühlager um durchschnittlich 7-10% niedriger war als in der Vorkühlzone. Dennoch verdeutlichen die Ergebnisse ebenso wie die zuvor dargestellten, dass die älteren Apn innerhalb eines Geschlechts über schlechtere Wärmebildungseigenschaften verfügen als die jüngeren Apn. Aber auch hier lagen die Werte für die relative Wärmeenerzeugung bei den Frauen, nicht wie erwartet, deutlich unter denen der Männer in der gleichen Altersklasse. Die jüngeren Frauen und Männer zeigten mit 4,38 bzw. 4,39 W/kg sehr ähnliche Werte auf, wohingegen die älteren Frauen mit ihrem Wert von 4,25 W/kg deutlich über den 3,86 W/kg der älteren Männer lagen.

Energieumsatzbestimmung im Tiefkühlager bei -24°C				
	Frauen ♀		Männer ♂	
	20-35 Jahre (64kg)	40-65 Jahre (69kg)	20-35 Jahre (79kg)	40-65 Jahre (90kg)
1 $V_{O_2}$ [l/min]	1,13	1,17	1,40	1,4
2 $V_{O_2}$ [l/h]	67,8	70,2	84,0	84,0
3 $V_{CO_2}$ [l/min]	0,89	0,88	1,17	1,14
4 RQ	0,79	0,75	0,84	0,81
5 KÄ [kJ/ $lO_2$ ]	20,08	19,87	20,33	20,18
6 EU [kJ/h]	1361	1395	1708	1695
7 EU [Watt]	378	388	474	471
8 rel. EU [Watt/kg]	5,91	5,62	6,0	5,23
9 GU [Watt]	67	63	88	85
10 Arbeits-EU [Watt] $\eta=10\%$	311	325	386	386
11 Wärmeenerzeugung [Watt]	280	293	347	347
12 rel. Arbeits-EU [Watt/kg]	4,86	4,71	4,89	4,29
13 rel. Wärmeenerzeugung [Watt/kg]	4,38	4,25	4,39	3,86

Abb. 7.28: Zusammenstellung der Werte für die  $O_2$ -Aufnahme und  $CO_2$ -Abgabe, für die daraus resultierenden (relativen) Brutto- und Arbeitsenergieumsätze sowie für die (relative) Wärmeenerzeugung männlicher und weiblicher Apn zweier Altersklassen im Tiefkühlager bei -24°C

## 7.5 Subjektive Beurteilung der Kältarbeit

In Ergänzung zu den zuvor vorgestellten, objektiv gewonnenen Erkenntnissen zur Kältarbeit, enthält der folgende Abschnitt das von den Apn subjektiv wahrgenommene Beanspruchungserleben. Von besonderer Bedeutung ist dabei das in Abschnitt 7.5.1 beschriebene Kälteempfinden während der Feldstudie, bei dem die Apn alle 15 min während der Arbeit sowie am Ende der Aufwärmphase zu Kälteempfindungen in den in Abschnitt 6.3.1 dargestellten Körperbereichen befragt wurden. Abschnitt 7.5.2 gibt einen groben Überblick über das subjektive Erleben des Versuchstages. Da die Antworten der 34 Apn – mit Ausnahme der 4 professionellen Apn – lediglich auf einem ersten Eindruck beruhen, sind deren Antworten nur begrenzt aussagekräftig. In diesem Zusammenhang sei auf die von PENZKOFER (2013) ausführlich dargestellte Befragung von 128 langjährigen Kältekommissionierern (davon 66 weiblich) verwiesen.

### *7.5.1 Subjektive Kälteempfindungen während der Feldstudie*

Das Arbeiten im Kühllager bei +3°C führte in Häufigkeit des Auftretens und Intensität insgesamt zu geringen Kälteempfindungen. Die Mehrheit der Apn gab an, an der ungeschützten Nase sowie an den Fingern ein kühles bis zeitweise kaltes Empfinden zu verspüren. Abbildung 7.29 zeigt für die 120-min Arbeitsphase, wie viele Personen überhaupt Kälteempfindungen in den definierten Körperbereichen hatten und wie stark diese nach einer vorgegebenen Skala mit Werten von 1 („kühl“) bis 4 („unerträglich kalt“) ausgeprägt waren. Keine der Apn gab jedoch im Kühllager eine sehr kalte bis unerträglich kalte Empfindung an. Das Kälteempfinden an den Fingern ist überwiegend darauf zurückzuführen, dass die Strickhandschuhe die Wärmeleitung zwischen den Fingern und dem kalten Medium (zu kommissionierende Ware) nicht in ausreichendem Maße unterbinden können.

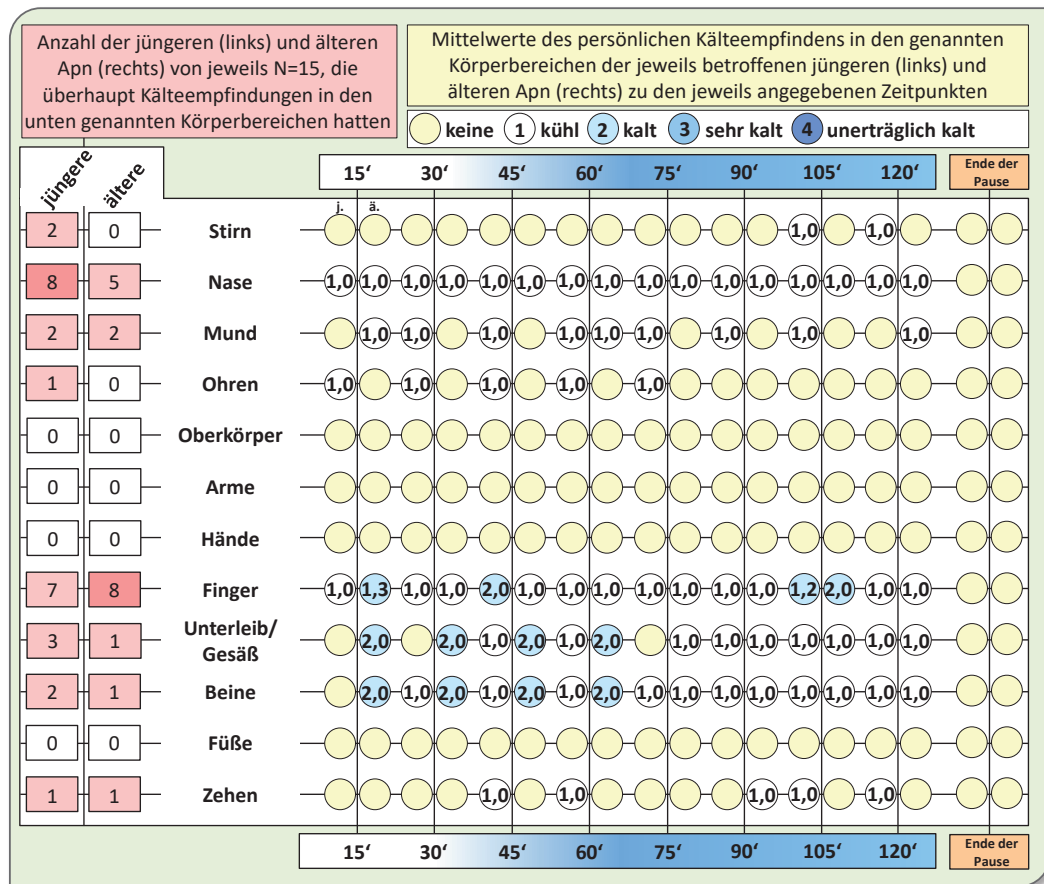


Abb. 7.29: Kälteempfindungen in unterschiedlichen Körperbereichen während der 120-min Arbeitsphase im Kühllager bei ca. +3°C und am Ende der 20-min Aufwärmphase bei +21°C. Dargestellt sind die Mittelwerte derjenigen Apn, die überhaupt Kälteempfindungen hatten

Auch die, allerdings nur von sehr wenigen Apn verspürten Kälteempfindungen im Bereich Gesäß/Beine sind auf die Kontaktkälte mit dem Flurförderzeug zurückzuführen, an das sich die betreffenden Apn während der Fahrt gelehnt haben. Altersbedingte Unterschiede bei der subjektiven Empfindung von Kälte konnten weder in der Häufigkeit des Auftretens, noch in der Intensität festgestellt werden. Von den 4 professionellen Kommissioniererinnen gab keine an, ein kühles Gefühl in den unterschiedlichen Körperbereichen zu verspüren.

Erwartungsgemäß nahm im -24°C kalten Tiefkühlager im Vergleich zum Kühllager sowohl die Anzahl der Personen deutlich zu, die überhaupt Kälteempfindungen verspürten, als auch die Intensität. Abbildung 7.30 zeigt die Kälteempfindungen in den am häufigsten genannten Bereichen während der drei Arbeitsphasen und in den daran



anschließenden 20-min Aufwärmphasen von Versuchsreihe II. Hierbei fällt auf, dass vor allem in der 80-min und 100-min Arbeitsphase insgesamt mehr jüngere Apn überhaupt Kälteempfindungen verspürten als es bei den älteren Apn der Fall war. In der 120-min Arbeitsphase war das Verhältnis hingegen nahezu ausgeglichen. Bei der Intensität konnten, alle Körperbereiche zusammengenommen, keine klaren altersdifferenzierten Unterschiede festgestellt werden. Die Angaben über die Höhe der Kälteempfindungen bewegten sich meist im Bereich zwischen 1 („kühl“) und 2 („kalt“). In Einzelfällen wurde die Intensität mit einer 3 („sehr kalt“) bewertet, und lediglich eine jüngere Apn gab jeweils kurzzeitig an, dass die Nase, der Mund und die Zehen „unerträglich kalt“ seien.

Für die Bewertung der Länge der Arbeitszeit ist feststellbar, dass mit zunehmender Expositionsdauer meist eine Zunahme der kältebedingten Empfindungen verbunden ist. Vor allem für die längste Arbeitsphase mit 120 min waren an deren Ende für alle abgebildeten Körperbereiche, unabhängig von der Altersklasse, deutliche Ausprägungen der Kälteempfindungen feststellbar und auch die anschließende 20-min Aufwärmphase reichte in vielen Fällen nicht aus, um die negativen Empfindungen gänzlich zu vermeiden. Die als „kühl“ empfundenen Zehen am Ende der an die 80-min und 100-min Arbeitsphase anschließenden Pausen beruhen auf der Angabe lediglich einer älteren Ap, und sind daher nicht symptomatisch. Bei den professionellen Kommissio-niererinnen verspürten 3 der 4 Apn Kälteempfindungen, die sowohl in der Verteilung auf die einzelnen Körperbereiche als auch in der Intensität ein ähnliches Bild abliefern, wie die der 30 nicht professionellen Apn.

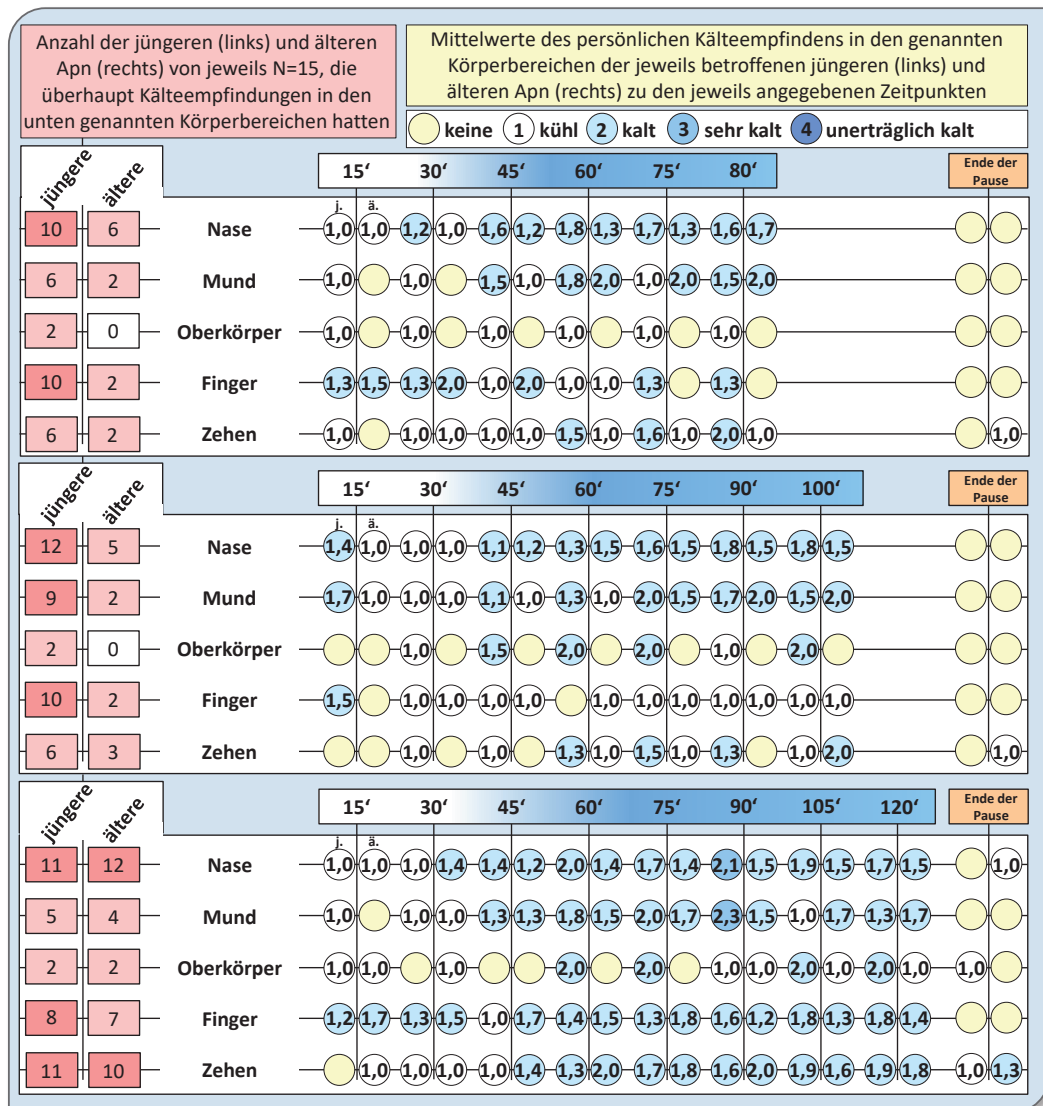


Abb. 7.30: Kälteempfindungen in unterschiedlichen Körperbereichen während der 80-min, 100-min und 120-min Arbeitsphasen im Tiefkühlager bei ca. -24°C und am Ende der 20-min Aufwärmphase bei +21°C. Dargestellt sind die Mittelwerte derjenigen Apn die überhaupt Kälteempfindungen hatten

Im Geschlechtervergleich konnten zu den Kälteempfindungen während der Arbeit im Tiefkühlager zwischen den jüngeren Frauen und Männern kaum Unterschiede festgestellt werden (vgl. Abb. 7.31). Die Anzahl der Personen, die überhaupt Kälteempfindungen verspürten, war recht ähnlich, ebenso die Stärke der Ausprägung. Während die Frauen deutlichere Kältereize im Gesicht (an Nase und Mund) empfanden, waren die negativen Empfindungen an den Akren (an den Fingern und Zehen) meist bei den Männern stärker ausgeprägt.

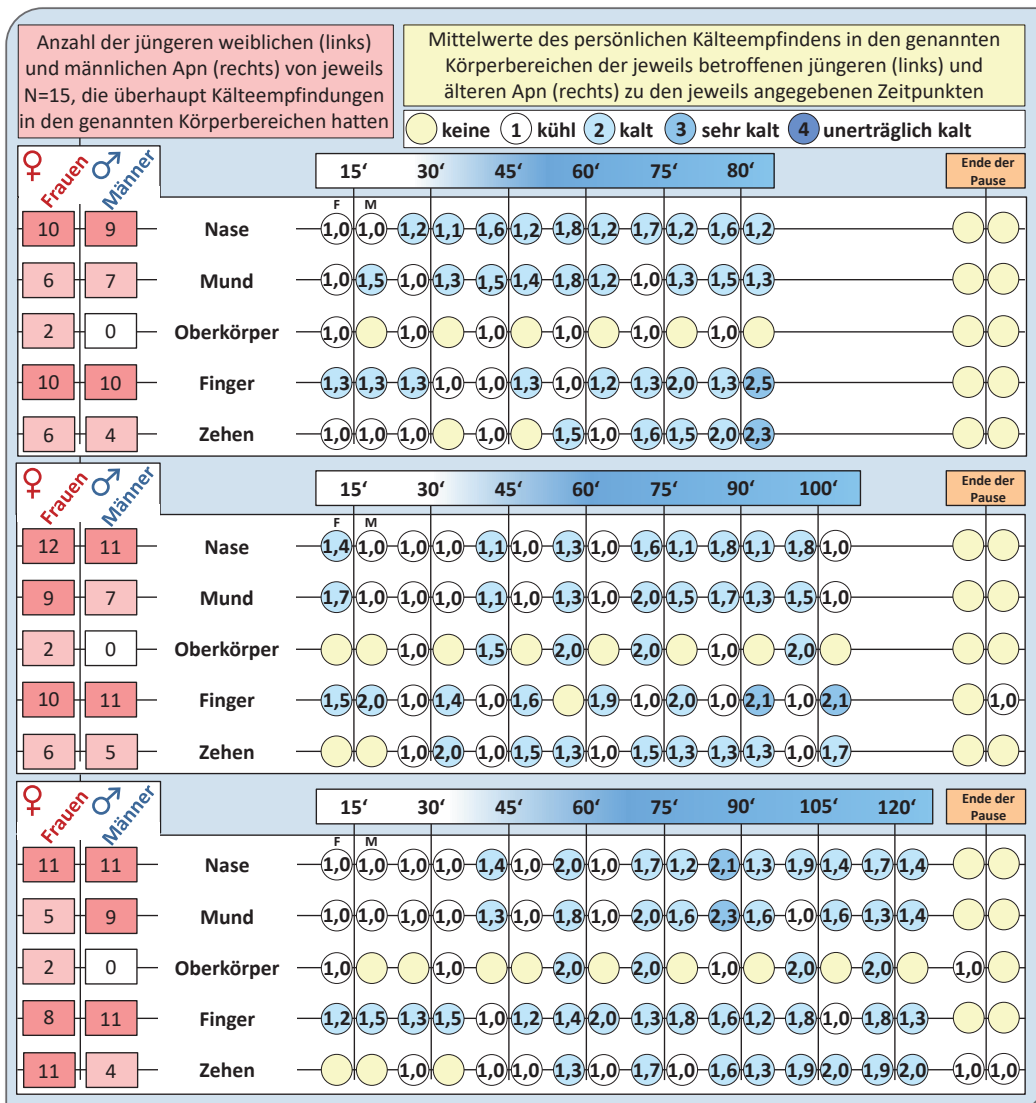


Abb. 7.31: Kälteempfindungen der jüngeren Frauen und Männer in unterschiedlichen Körperbereichen während der 80-min, 100-min und 120-min Arbeitsphasen im Tiefkühlager bei ca. -24°C und am Ende der 20-min Aufwärmphase bei +21°C. Dargestellt sind die Mittelwerte derjenigen Apn, die überhaupt Kälteempfindungen hatten

Abbildung 7.32 zeigt den Geschlechtervergleich noch einmal anhand der Ergebnisse der älteren weiblichen und männlichen Apn. Auch hier wird kein signifikanter Unterschied zwischen den von PENZKOFER (2013) erhobenen subjektiven Daten für die Männer und den im Rahmen dieser Feldstudie gewonnenen Erkenntnissen deutlich. Wie auch bei den jüngeren Apn, gaben die Frauen bei den Kältereizen im Gesicht eine stärkere Ausprägung an als die Männer, wohingegen die Männer an den Akren deutlich stärker Kälte empfanden.

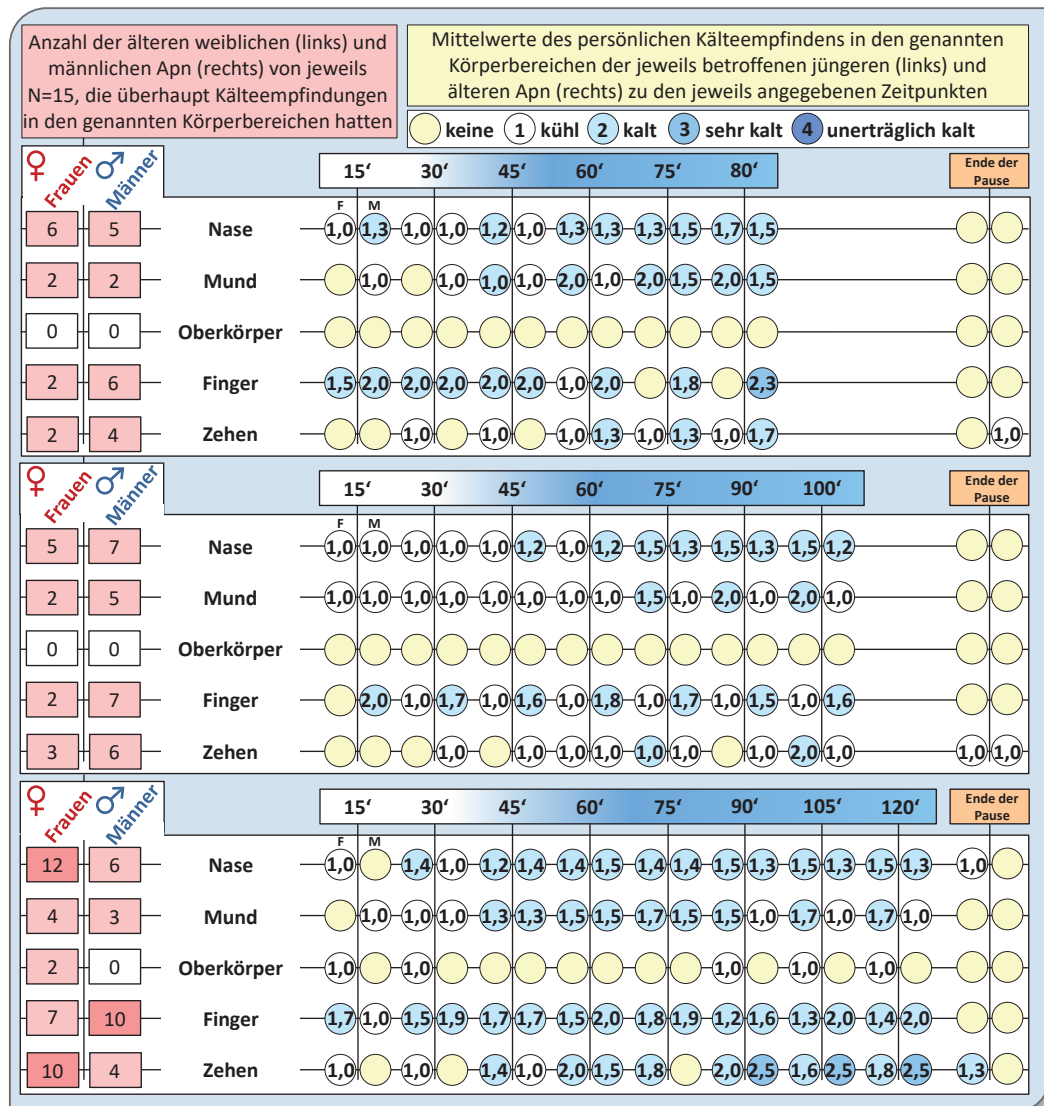


Abb. 7.32: Kälteempfindungen der älteren Frauen und Männer in unterschiedlichen Körperbereichen während der 80-min, 100-min und 120-min Arbeitsphasen im Tiefkühlager bei ca.  $-24^{\circ}\text{C}$  und am Ende der 20-min Aufwärmphase bei  $+21^{\circ}\text{C}$ . Dargestellt sind die Mittelwerte derjenigen Apn, die überhaupt Kälteempfindungen hatten

Wie aus Abbildung 7.33 hervorgeht, hatte die Variation der Arbeits- und Pausenzeiten in Versuchsreihe III auch Einfluss auf das subjektive Kälteempfinden. Analog zu den Arbeitsphasen von Versuchsreihe II nahm die Höhe der Kälteempfindungen im Zeitverlauf zu und erreichte den Höchstwert meist am Ende der 120-min Arbeitsphase. Nach ca. 75 min in der Kälte beklagten einige Apn „kalte“ bis „sehr kalte“ Zehen, eine jüngere Apn gab diese sogar als „unerträglich kalt“ an. Anders als in Versuchsreihe II konnte die verlängerte Aufwärmphase in den meisten Fällen jedoch für

eine hinreichende Wiedererwärmung sorgen. Am Ende der 30-min Aufwärmphase im Anschluss an die 100-min Arbeitsphase beklagte sich jeweils nur eine Person in jeder Altersgruppe über „kühle“ Zehen. Nach der 120-min Arbeitsphase waren es noch zwei jüngere Apn. Die Mehrheit verspürte jedoch keinerlei Kälteempfindungen nach einer Wiedererwärmungszeit von 30 min. Eine Verkürzung der Pause um lediglich 5 min hatte allerdings schon zur Folge, dass doch noch eine ältere Apn die Nase als „kalt“ empfand, und insgesamt 5 Personen die Zehen für „kühl“ befanden.

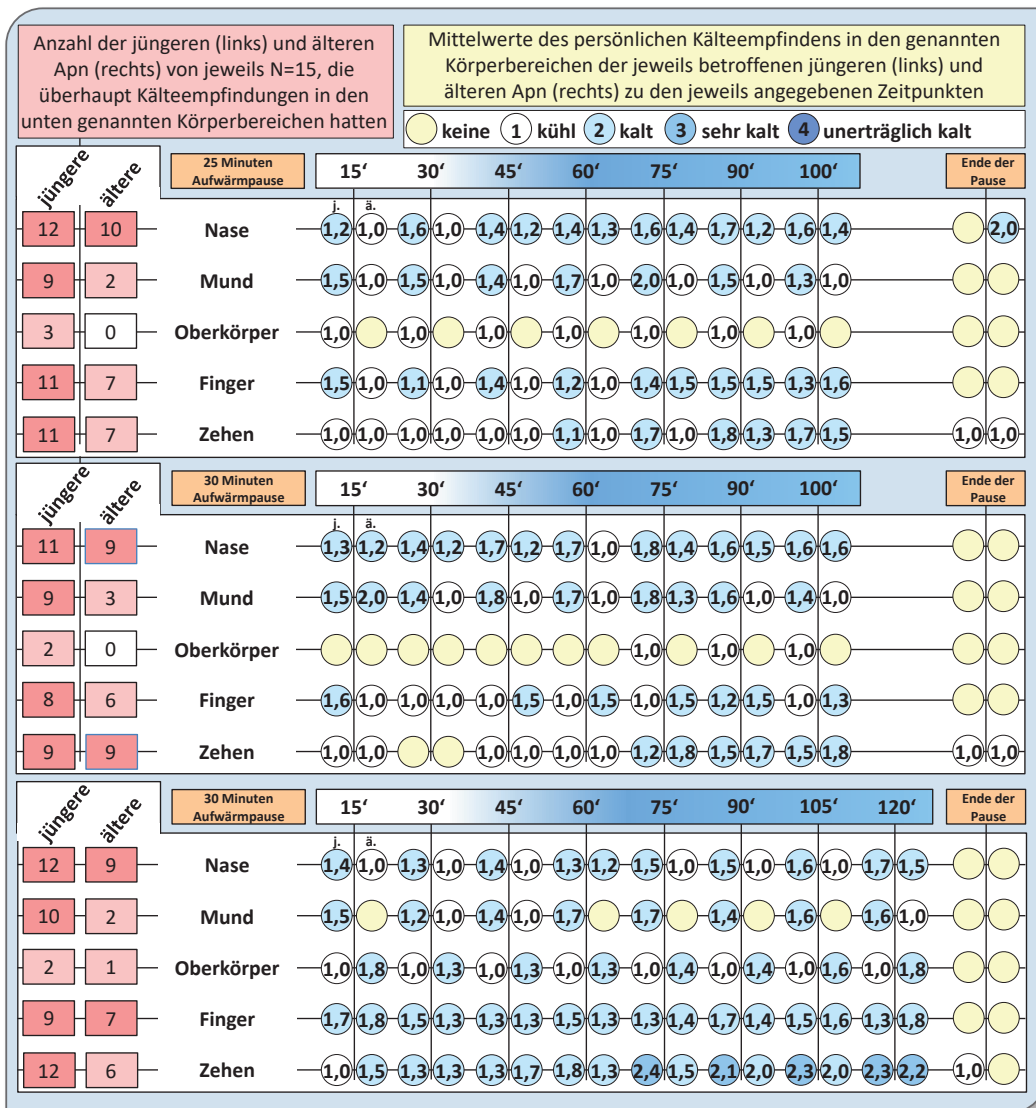


Abb. 7.33: Kälteempfindungen in unterschiedlichen Körperbereichen während der 100-min und 120-min Arbeitsphasen im Tiefkühlager bei ca. -24°C und am Ende der 25-min bzw. 30-min Aufwärmphasen bei +21°C. Dargestellt sind die Mittelwerte derjenigen Apn, die überhaupt Kälteempfindungen hatten

Im Altersvergleich zeichnete sich ein ähnliches Bild wie zuvor ab, denn auch hier verspürten insgesamt mehr jüngere Apn überhaupt Kälteempfindungen. Die Intensität der negativen Empfindungen war jedoch bei keiner der beiden Altersgruppen eindeutig stärker ausgeprägt.

### *7.5.2 Subjektive Beurteilung der Arbeitsbedingungen während der Feldstudie*

Am Ende des Versuchstages wurden die Arbeitspersonen entsprechend dem in Anhang A ausführlich dargestellten Fragebogen zu den Themenbereichen **Arbeitsumgebung**, **Kälteschutzkleidung**, **Arbeitsmittel**, **Arbeitszeitregelung**, **Arbeitsbedingungen** sowie dem **körperlichen Befinden** befragt. Die Antworten der nicht professionellen Apn auf Fragen zur subjektiven Beurteilung von Kältearbeit beruhen zwar nur auf kurzfristigen Erfahrungen, und können nicht die Erfahrungen langjähriger Kältearbeiter ersetzen (siehe hierzu auch die umfassende subjektive Befragung von 128 Kältekommissionierern in PENZKOFER (2013)). Dennoch liefern diese – immerhin absolut unvoreingenommenen – Erfahrungen wichtige Erkenntnisse, die im Zusammenspiel mit den auf objektive Weise gewonnenen Daten aus arbeitsphysiologischen Untersuchungen die ganzheitliche arbeitswissenschaftliche Analyse in der Feldforschung abrunden sollen.

#### *Arbeitsumgebung*

Im Zuge der Beurteilung der Arbeitsumgebung wurde zunächst die **Beleuchtung** in beiden Lagerbereichen anhand einer vierstufigen Skala von „0“ (angenehm) bis „-4“ (zu dunkel / zu hell) eingeschätzt. Für das Kühllager (+3°C) bewerteten alle Apn die Beleuchtung einvernehmlich mit  $0,0 \pm 0,0$  als absolut „angenehm“. Lediglich im Tiefkühllager (-24°C) gab es eine nicht nennenswerte Tendenz von  $-0,2 \pm 0,4$  in die Bewertung „zu dunkel“. Mit der Anpassung der Augen an die Lichtverhältnisse hatte im Kühllager lediglich eine Ap leichte Schwierigkeiten, im Tiefkühllager waren es vier Apn. Bei der Beurteilung des **Geräuschpegels** in den Lagerbereichen gab es zwar kein einheitliches Bild, aber ein Großteil der Befragten empfand diesen als „angenehm“. Es gab lediglich marginale Abweichungen in den Bereichen „zu still“ oder „zu laut“. Als

einzig besonders störendes Geräusch wurde das gelegentlich „schiefe Anfahren der Palette“ genannt, bei dem aufgrund von Reibung zwischen der Gabel des Flurförderzeuges und des Palettenholzes ein sehr lautes, quietschendes Geräusch verursacht wird.

Aufgrund modernster Kältetechnik in dem vergleichsweise neuen Warenverteilzentrum, in dem die Feldversuche stattfanden, konnte von den Apn so gut wie keine Zugluft in den Lagerbereichen wahrgenommen werden. Lediglich der **Fahrtwind**, der beim Fahren mit den Flurförderzeugen auftritt, wurde, wie Abbildung 7.34 verdeutlicht, insbesondere im Tiefkühlager mit einem Mittelwert von -1,93 auf der vierstufigen Skala als „ziemlich hoch“ empfunden. Wie die Standardabweichung von  $\pm 1,2$  erahnen lässt, gab es auch deutlich stärkere Empfindungen, sodass immerhin 3 der Befragten den Fahrtwind als „unangenehm hoch“ angaben. Gleiches gilt für die Auswirkungen des Fahrtwindes, die mit einem Mittelwert von 2,17 als „ziemlich kalt“ eingestuft wurden, von 5 Apn sogar mit einem Wert von „-4“ als „sehr kalt“. Die **Luftfeuchtigkeit** bereitete, wie Abbildung 7.34 ebenfalls verdeutlicht, so gut wie keine Probleme. Keiner der Befragten konnte im Tiefkühlager Eisbildung entdecken, was sicherlich der modernen Kältetechnik zu verdanken ist. Lediglich an den Kleidungsstücken, hierbei vorwiegend an der Mütze, am Kragen der Thermo-Jacke und an den Handschuhen, wurde gehäuft (von 60% der Apn) eine Eisbildung beobachtet, was aber weniger der vorhandenen Luftfeuchte im Tiefkühlager, als vielmehr der Expiration (der Ausatmung) und Transpiration (dem Schwitzen) geschuldet ist. Immerhin 93% der Personen, die an ihrer Kleidung Eisbildung beobachten konnten, gaben an, dass diese keine Auswirkungen auf das Kälteempfinden an der betroffenen Stelle hat. Insgesamt wurde die Arbeitsumgebung auf einer vierstufigen bipolaren Skala von „-4“ „sehr schlecht“ bis „+4“ „sehr gut“, für das Kühlager mit  $+1,4 \pm 1,6$  und für das Tiefkühlager mit  $+1,3 \pm 1,6$  durchaus positiv bewertet.

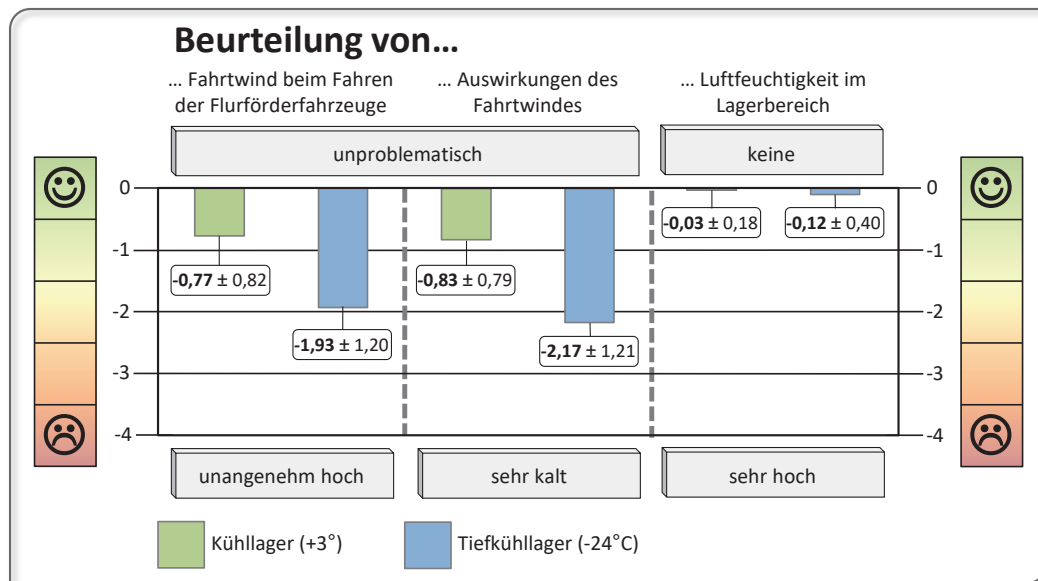


Abb. 7.34: *Empfindungen und Auswirkungen von Luftfeuchtigkeit und Fahrtwind im Kühl- und Tiefkühlager. Mittelwerte und Standardabweichungen über alle 30 Apn*

### Kälteschutzkleidung

Die ausführlich in Abschnitt 2.4.3 dargestellte und während der Feldstudie eingesetzte Kälteschutzkleidung wurde am Ende des jeweiligen Arbeitstages von den Apn insbesondere hinsichtlich des Behinderungsgrades, des Komforts und der Kälteschutzfunktion bewertet. Bei der Bewertung des **Behinderungsgrades** konnten sich die Apn auf einer vierstufigen Skala von „0“ für „keine Behinderung“ bis „4“ „kann Tätigkeit kaum ausführen“ festlegen. Wie Abbildung 7.35 verdeutlicht, fühlten sich die Apn im Kühllager bei der Tätigkeitsausführung von dem zur Verfügung gestellten Thermo-Hemd und der Thermo-Weste nicht behindert. Lediglich 2 Personen empfanden das Gehen mit den Arbeitsschuhen „mittelmäßig“ beeinträchtigend. Immerhin 5 Apn fühlten sich von den Noppenhandschuhen und der Mütze „leicht“ bis „mittelmäßig“ stark beeinträchtigt, was in den meisten Fällen auf eine unangemessene Größe zurückzuführen war. Insbesondere die teilweise langen Haare der Frauen sorgten dafür, dass die Mützen immer wieder hoch rutschten und so die empfindlichen Ohren und die Stirn frei legten. Die im Tiefkühlager eingesetzte Kälteschutzkleidung rief aufgrund ihrer deutlich höheren Steifigkeit und Schwere im Vergleich zur Kühlhauskleidung auch häufiger Beeinträchtigungen hervor. Während lediglich 3 Apn die Thermo-



Jacke als leicht behindernd einstufen, waren es bei der Thermo-Hose 7 Apn, von denen 6 Apn eine „leichte“ und 1 Apn eine „mittlere“ Beeinträchtigung wahrnahmen. Von den Thermo-Stiefeln fühlten sich nur 3 Apn beim Gehen „leicht“ behindert, die Mütze empfanden wiederum 6 Apn als störend. Die größte Beeinträchtigung (11 Apn) ging allerdings von den Fleece-Handschuhen aus (vgl. Abb. 7.35, rechts), die immerhin 40% der Befragten nicht richtig passten (17% zu groß, 23% zu klein). Drei der 11 Apn gaben an, dass von den Fleece-Handschuhen eine „mittlere“ Behinderung ausgeht. Für eine Apn war die Behinderung sogar „stark“.

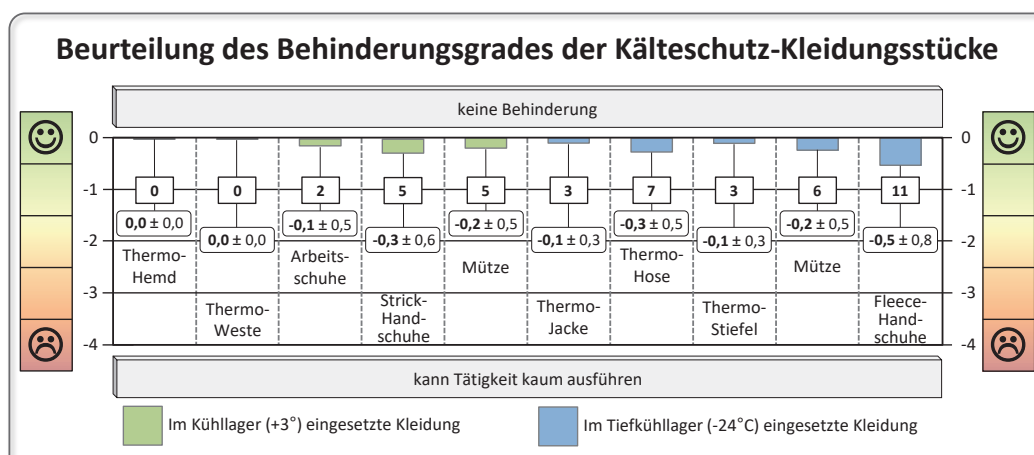


Abb. 7.35: Behinderungsgrad der verwendeten Kleidungsstücke. Mittelwerte, Standardabweichungen und Anzahl der Personen, die überhaupt Beeinträchtigungen verspürten

Während sich nur wenige Personen von den Kälteschutz-Kleidungsstücken in ihrer Bewegung eingeschränkt fühlten, wurde der **Komfort** weitaus negativer eingeschätzt. Auch hier konnten Bewertungen von „0“ = „sehr bequem“ bis „4“ = „kaum zu verwenden“ vorgenommen werden, wobei insgesamt sehr wenige Apn überhaupt die Kleidungsstücke als „sehr bequem“ einstufen. Aus Abbildung 7.36 wird ersichtlich, dass vor allem das Thermo-Hemd, die Strick- sowie die Fleece-Handschuhe von einer Vielzahl der Apn im Mittel als nur „bequem“ bis „ausreichend“ eingestuft wurden. Die recht hohe Standardabweichung lässt aber auch erahnen, dass deutlich negativere Bewertungen abgegeben wurden, wonach Kleidungsstücke bzgl. des Komforts häufig als „unpraktisch“ eingestuft wurden. Keine der Apn gab jedoch an, dass eines der zur Verfügung gestellten Kleidungsstücke „kaum zu verwenden“ sei.

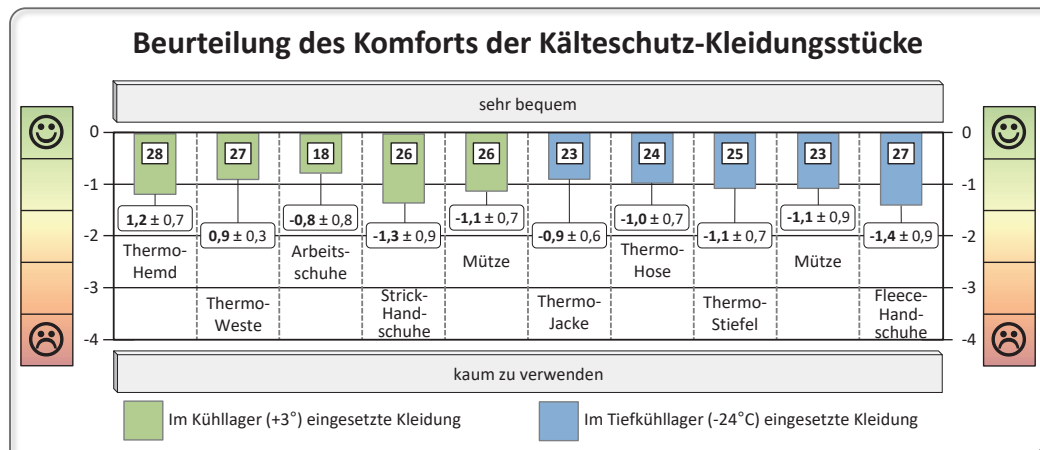


Abb. 7.36: Tragekomfort der verwendeten Kleidungsstücke. Mittelwerte, Standardabweichungen und Anzahl der Personen, die den Komfort nicht mit „sehr bequem“ bewerteten

Wie aus Abbildung 7.37 hervorgeht, wurde der **Kälteschutz** – als eines der wichtigsten Kriterien – weitaus besser als der Komfort bewertet. Auch hier diente zur Beurteilung eine vierstufige Skala, wobei das Optimum mit der Zahl „0“ = „genau richtig“ einzustufen war. „+1“ galt als „eher zu warm“, „-3“ und nicht „-4“ stand dieses Mal für „überhaupt kein Kälteschutz“. Keines der eingesetzten Kleidungsstücke wurde von den Apn als „zu warm“ oder als „überhaupt keinen Kälteschutz“ bietend empfunden. Das im Kühllager eingesetzte Thermo-Hemd und die Thermo-Weste empfand lediglich eine Ap als „kühl“. Zwei Apn gaben diese Bewertung für die Arbeitsschuhe und die Mütze ab, wohingegen bereits 6 Apn die Strick-Handschuhe als „kühl“ bzw. „wenig Kälteschutz“ bietend einstufen. Der im Tiefkühlager eingesetzte Kälteschutzanzug kann, was den subjektiv empfundenen Kälteschutz angeht, durchaus als gelungen angesehen werden. So bewerteten alle Apn den Kälteschutz der Thermo-Hose als „genau richtig“, lediglich eine Ap sagte aus, die Thermo-Jacke verfüge über „wenig Kälteschutz“. Am schlechtesten schnitten in der Bewertung die Thermo-Stiefel ab. Fünf Apn gaben an, die Thermo-Stiefel seien „kühl“ bzw. verfügten über „wenig Kälteschutz“. Eine Ap empfand die Stiefel als „kalt“ bzw. war der Meinung, dass diese „kaum Kälteschutz“ für die Füße gewähren. Die Fleece-Handschuhe erfuhren mit 5 Apn, die mit dem Kälteschutz unzufrieden waren – eine Ap davon war sehr unzufrieden – eine ähnlich negative Bewertung. Auch die im Tiefkühlager getragene Mütze bot 4 Apn nicht den gewünschten Kälteschutz.

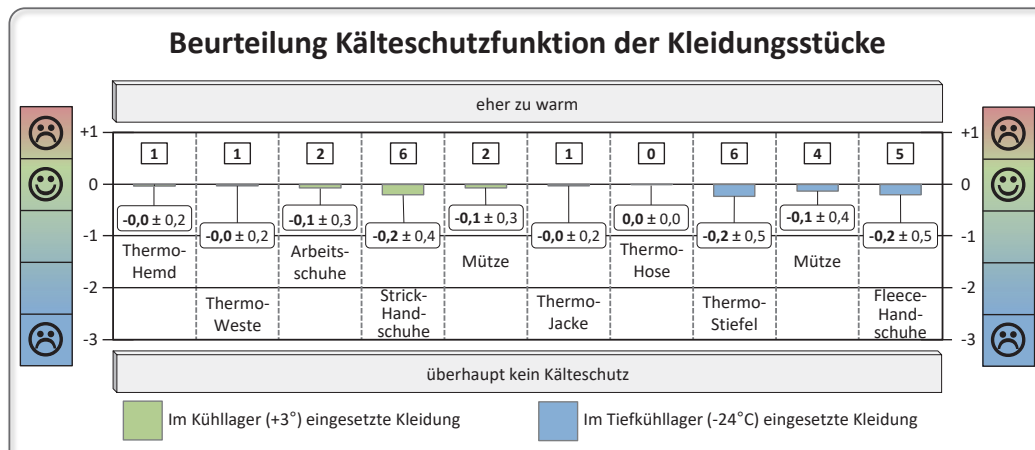


Abb. 7.37: Beurteilung der Kälteschutzfunktion der Kleidungsstücke. Mittelwerte, Standardabweichungen und Anzahl der Personen, die mit dem Kälteschutz des jeweiligen Kleidungsstücks unzufrieden waren

Wie in Abschnitt 2.4.1 ausführlich beschrieben, muss Kälteschutzkleidung neben einer hinreichenden Isolation auch eine hohe **Wasserdampfdurchlässigkeit** gewährleisten, damit der vom Körper produzierte Wasserdampf nach außen hin abgeleitet werden kann. Wird dieses Kriterium nur unzureichend erfüllt, sondert sich der Schweiß in den Kleidungsstücken ab und kann in der Folge zu einem erhöhten Kälteempfinden führen. Abbildung 7.38 zeigt, dass das körperlich schwere Arbeiten in Kälte bei einigen Apn zu einer erhöhten Schweißabsonderung in die Kleidungsstücke führte. Im Kühlager waren hiervon insbesondere die Thermo-Weste und die Mütze betroffen, deren durchschnittliche negative Bewertung von -0,3 bzw. -0,2 auf der vierstufigen Skala jedoch gering ausfällt. Für die Arbeit im Tiefkühlager gaben lediglich 3 Apn überhaupt an, in der Thermo-Jacke zu schwitzen, wovon allerdings 2 Apn die Schweißabsonderung in die Jacke mit „-4“ als besonders „stark erhöht“ einstufen. Eine Schweißabsonderung in die Thermo-Hose wurde lediglich von 1 Apn mit „-2“ auf der vierstufigen Skala vermerkt. Das Tragen der Thermo-Stiefel führte ebenfalls nur bei 3 Apn zu einer erhöhten Schweißabsonderung, wobei auch hier eine Apn diese als besonders „stark erhöht“ empfand. Unter der Mütze schwitzten 4 Apn nur „leicht“, wohingegen die Schweißabsonderung in die Fleece-Handschuhe, die insgesamt von 6 Apn vermerkt wurde, mit einem Mittelwert von -0,3 stärker ausfiel und durch die Standardabweichung von  $\pm 0,8$  auch einer individuellen Schwankung unterlag. 90% der Befragten gaben an, dass die Kälteschutzkleidung am Ende der Aufwärmphase, die auf

eine Kälteexposition im Kühllager folgte, trocken sei. Für die Aufwärmphase nach einer Exposition im Tiefkühlager bewerteten lediglich 50% der Apn die Kleidung als „trocken“, was sicherlich neben der erhöhten Schweißabsonderung auf das wesentlich dickere Material der Kleidung und die damit einhergehenden verschlechterten Eigenschaften zur Trocknung zurückzuführen ist.

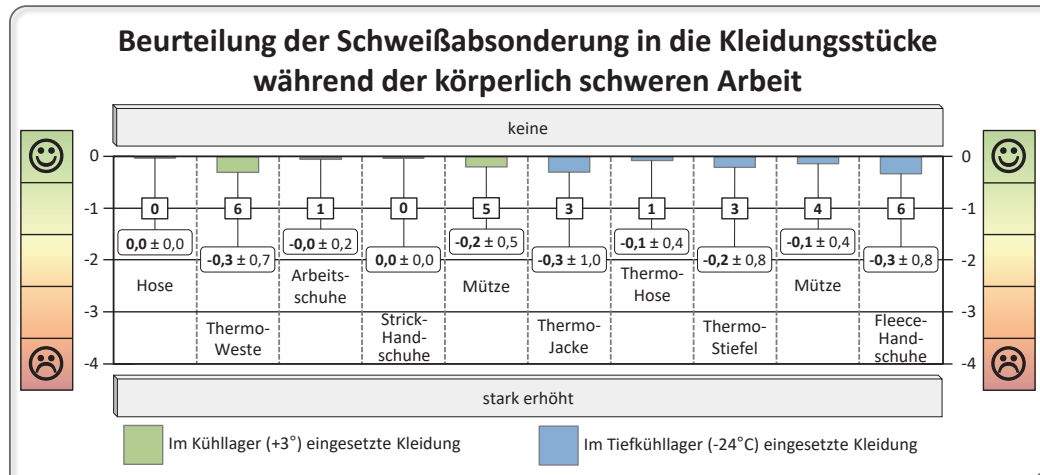


Abb. 7.38: Beurteilung der Schweißabsonderung in die Kleidungsstücke während der körperlich schweren Arbeit. Mittelwerte, Standardabweichungen und Anzahl der Personen, die überhaupt eine Schweißabsonderung feststellen konnten

Trotz einiger bestehender Defizite in der Kälteschutzkleidung, insbesondere im Hinblick auf den Komfort und die Wasserdampfdurchlässigkeit, fiel das **Gesamturteil** über die zur Verfügung gestellte Kälteschutzkleidung weitestgehend positiv aus (vgl. Abb. 7.39). Die Kühllagerkleidung wurde von den jüngeren Apn mit +2,3 etwas positiver bewertet als von den älteren Apn (+2,0). Insgesamt wurde die Kühllagerkleidung auf der bipolaren Skala von „-4“ = „sehr schlecht“ bis „+4“ = „sehr gut“ von 4 Apn mit „+4“ und von 4 Apn neutral mit „0“ bewertet. Lediglich 2 Apn zeigten sich leicht unzufrieden, wohingegen 13 der Befragten eine „+3“ vergaben. Die Tiefkühlagerkleidung wurde vor allem von den älteren Apn mit einer durchschnittlichen Bewertung von „+3“ sehr positiv aufgenommen. Für die Tiefkühlagerkleidung vergaben 9 Apn die bestmögliche Bewertung von „+4“ und keiner der Befragten gab eine negative Bewertung ab.

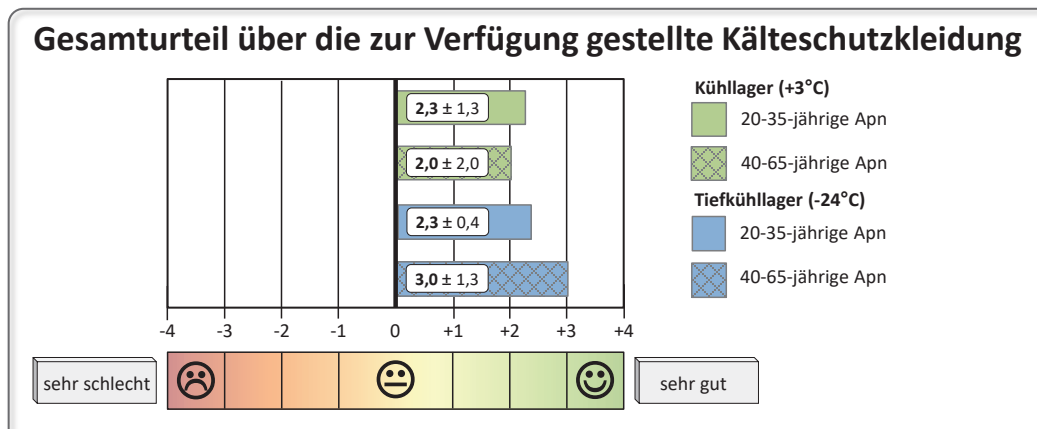


Abb. 7.39: Gesamtbeurteilung der während der Feldstudie eingesetzten Kälteschutzkleidung. Mittelwerte und Standardabweichungen über jeweils 15 Apn in jeder Altersklasse

### Arbeitsmittel

Bei der Bewertung der Arbeitsmittel stand im Wesentlichen das **Flurförderzeug** im Vordergrund. Zunächst galt es, auf einer bipolaren Skala von „-4“ = „sehr schlecht“ bis „+4“ = „sehr gut“ das Bedienen der Paletten mit dem Flurförderzeug zu bewerten. In keinem der beiden Lagerbereiche wurde eine Bewertung unter „0“ abgegeben, so dass ein deutlich positiver Mittelwert von  $3,07 \pm 1,01$  für das Kühllager und  $2,97 \pm 1,13$  für das Tiefkühlager ermittelt werden konnte. Ähnlich positiv fiel die Bewertung für einzelne Arbeitsschritte und deren Durchführbarkeit trotz der Kälteschutzkleidung aus, was mit dem zuvor vorgestellten, recht geringen Behinderungsgrad der Kälteschutzkleidung in Einklang steht. Auf einer vierstufigen Skala von „0“ = „unproblematisch“ bis „-4“ = „schwierig“ gaben im Kühllager lediglich 2 Apn mit „-1“ an, aufgrund der Kälteschutzkleidung, „geringe“ Schwierigkeiten beim Bedienen der Flurförderzeuge zu haben. Das Bereitstellen der Paletten sahen hingegen alle Apn als unproblematisch an, und das Kommissionieren selbst wurde von 4 Apn mit „-1“ und von einer Ap mit „-3“ bewertet. Analog zu den Ergebnissen über den Behinderungsgrad der Kälteschutzkleidung fielen auch hier die Ergebnisse für das Tiefkühlager etwas negativer aus. Das Bedienen des Flurförderzeugs bewerteten hier immerhin 2 Apn mit „-1“ und eine Ap mit „-2“. Das Bereitstellen der Paletten empfanden 2 Apn mit „-1“ als „leicht schwierig“, wohingegen das Kommissionieren nur 60% der Apn als „unproblematisch“ ansahen. Für die Gesamtbeurteilung der eingesetzten Arbeitsmittel verdeutlicht Abbildung 7.40, dass die Apn insgesamt eine recht positive Bewertung

abgaben, wobei die älteren Apn im Durchschnitt positiver urteilten. Auch für die beiden Lagerbereiche zeigten sich Unterschiede, was aber weniger auf die Bedienbarkeit des Flurförderzeugs per se als vielmehr auf die Einschränkungen durch die Kälteschutzkleidung im Tiefkühlager zurückzuführen ist.

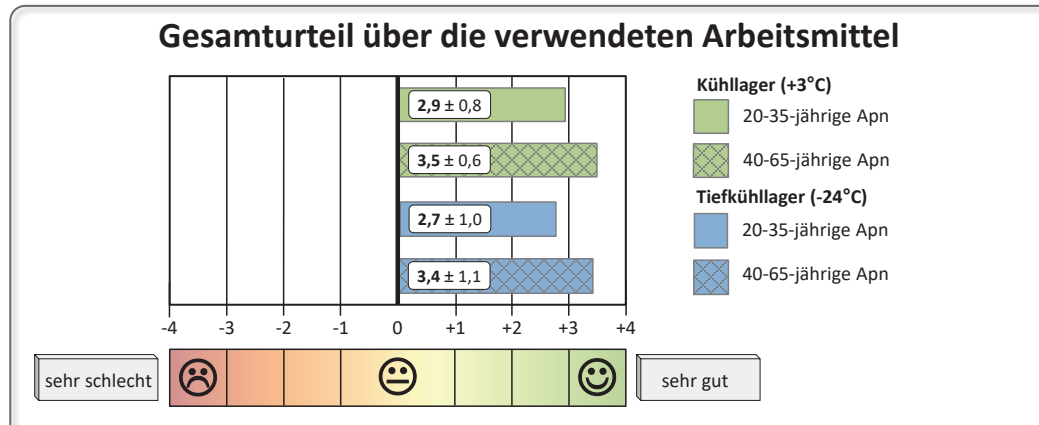


Abb. 7.40: Gesamtbeurteilung der während der Feldstudie verwendeten Arbeitsmittel. Mittelwerte und Standardabweichungen über jeweils 15 Apn in jeder Altersklasse

### Arbeitszeitregelung

Die Arbeitszeitregelung war aufgrund der in der Praxis häufig willkürlich eingesetzten Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime in der vorliegenden Feldstudie von wesentlicher Bedeutung. Daher ist auch das von den Apn subjektive Erleben der variierten Arbeits- und Pausenzeiten von zentraler Bedeutung. Zunächst galt es die Länge der während der Feldstudie durchgeführten Arbeitsphasen und der darauf folgenden Aufwärmphasen zu bewerten. Für das **Kühlager (Versuchsreihe I)** konnte entsprechend der Darstellungen in Abbildung 7.41 die Arbeitsphase von 80 min auf einer bipolaren Skala von „-4“ „zu kurz“ bis „+4“ „zu lang“ bewertet werden. Für die 100-min und 120-min Arbeitsphasen waren lediglich unipolare vierstufige Skalen von „0“ = „genau richtig“ bis „+4“ „zu lang“ vorgesehen, da hier aufgrund der im Vorfeld ermittelten Daten von PENZKOFER (2013) davon auszugehen war, dass keine der beiden Arbeitsphasen als „zu kurz“ empfunden werden wird.

Die **80-min Arbeitsphase** empfand im Kühllagerbereich niemand als „zu lang“. 43% der Befragten stuften die Länge als optimal, 57% der Apn als eher „zu kurz“ ein. Mit Mittelwerten von jeweils -1,0 zeigten sich in der Bewertung keinerlei altersabhängigen Unterschiede bei den Frauen. Bei den männlichen Apn hingegen ergaben sich leichte altersabhängige Unterschiede, die aber mit Werten von  $-1,0 \pm 1,7$  (jüngere Apn) und  $-0,2 \pm 0,7$  (ältere Apn) gering ausfielen.

Die **100-min Arbeitsphase** im Kühllager empfanden die Apn beider Altersklassen mit Werten von  $+0,4 \pm 0,5$  bzw.  $+0,5 \pm 1,1$  als „geringfügig zu lang“. Die männlichen Apn bewerteten die Länge der Arbeit auch hier mit  $+0,4 \pm 0,7$  (jüngere Apn) bzw.  $+0,2 \pm 0,6$  (ältere Apn) recht ähnlich.

Deutliche altersdifferenzierte Unterschiede lieferte die Bewertung der **120-min Arbeitsphase**. Während die älteren Apn diese mit  $+0,7 \pm 1,4$  lediglich als „geringfügig zu lang“ einschätzten, gaben die jüngeren Apn mit  $+1,9 \pm 1,1$  bereits an, dass ihnen diese Arbeitsphase „zu lang“ sei. Auch bei den Männern bewerteten die jüngeren Apn die 120-min Arbeitsphase mit  $+0,9 \pm 1,0$  etwas schlechter als die älteren Apn mit  $+0,4 \pm 0,9$ , wenngleich die Unterschiede weniger stark ausgeprägt sind und die Männer insgesamt die Arbeitsphase als weniger lang empfinden als die Frauen.

Die auf die Arbeitsphasen folgende 20-min **Aufwärmphase** konnte ebenfalls auf einer vierstufigen Skala von „0“ = „genau richtig“ bis „-4“ „zu kurz“ bewertet werden. Auch die Dauer der Aufwärmphase empfanden die jüngeren Apn mit  $-1,4 \pm 0,9$  eher „etwas zu kurz“ als die älteren Apn mit  $-1,1 \pm 1,5$ . Auch bei den Männern zeichnete sich mit  $-0,9 \pm 1,2$  bzw.  $-0,3 \pm 0,7$  für die jüngeren respektive älteren Apn abermals ein ähnliches altersdifferenziertes Bild ab.

Im geschlechtsdifferenzierten Vergleich gaben auch hier für die gewählte Dauer der Aufwärmphase die weiblichen Apn eine etwas schlechtere Bewertung ab als die männlichen Apn. Bei der freien Auswahl der individuellen „idealen“ Länge von Arbeitsphasen und Aufwärmphasen gaben die jüngeren Apn durchschnittlich  $96 \pm 6$  min für die Dauer der Arbeitsphase und  $26 \pm 4$  min für die Aufwärmphase an. Bei den älteren Apn waren es  $109 \pm 10$  min sowie  $24 \pm 5$  min.

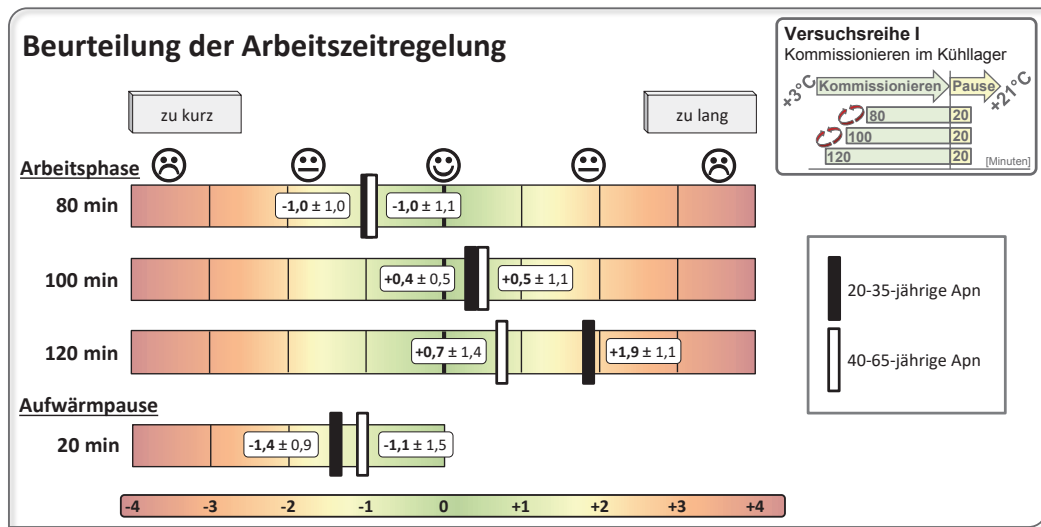


Abb. 7.41: Beurteilung der in Versuchsreihe I durchlaufenen 80-min, 100-min und 120-min Arbeitsphasen sowie der 20-min Aufwärmphasen. Mittelwerte und Standardabweichungen über jeweils 15 Apn in jeder Altersklasse

Trotz der deutlichen Temperaturunterschiede zwischen dem Kühllager und dem Tiefkühllager (**Versuchsreihe II**) konnten in letzterem bei der Bewertung der identischen Arbeits- und Pausenzeiten nur geringfügige Unterschiede in der subjektiven Wahrnehmung festgestellt werden (vgl. Abb. 7.42). Die **80-min Arbeitsphase** wurde von beiden Altersklassen (mit  $-0,7 \pm 0,9$  von den Jüngeren und  $-0,6 \pm 0,9$  von den Älteren) recht ähnlich und erneut als „geringfügig zu kurz“ bewertet. Auch die männlichen Arbeitspersonen empfanden die 80 min mit  $-0,9 \pm 1,3$  (Jüngere) und  $-0,2 \pm 0,6$  (Ältere) ähnlich kurz.

Die **100-min Arbeitsphase** wurde mit Werten von  $+0,5 \pm 0,6$  bzw.  $+0,1 \pm 0,5$  vor allem von den älteren weiblichen Apn als nahezu ideal eingeschätzt. Die jüngeren respektive älteren männlichen Apn bewerteten diese Arbeitsphase mit  $+0,8 \pm 1,1$  bzw.  $+0,5 \pm 0,6$ , und damit geringfügig schlechter, aber dennoch positiv.

Die **120-min Arbeitsphase** hingegen wurde mit Werten von  $+2,3 \pm 1,1$  und  $+1,5 \pm 1,2$  insbesondere von den jüngeren weiblichen und männlichen Apn als „zu lang“ bewertet. Die älteren Apn dagegen empfanden diese Arbeitsphase nur als „geringfügig zu lang“ (Frauen:  $+0,6 \pm 1,1$ ; Männer:  $+0,7 \pm 1,3$ ). Die recht hohen Standardabweichungen lassen allerdings darauf schließen, dass es durchaus auch ältere Apn gab, denen die 120-min Arbeitsphase zu lang war.



Die **20-min Aufwärmphasen** im Anschluss an die Arbeitsphasen wurden von den weiblichen Apn beider Altersklassen im Mittel durchaus als „zu kurz“ eingeschätzt. Aber auch hier lässt die hohe Standardabweichung darauf schließen, dass eine große Streuung innerhalb der Bewertung vorliegt. So gaben 12 der 30 befragten Apn die Aufwärmphase von 20 min als „ideal“ an, 5 Apn hingegen fanden diese Pausenlänge mit einer Bewertung von „-4“ als „zu kurz“. Die männlichen Apn gaben mit Werten von  $-1,6 \pm 1,3$  (Jüngere) und  $-1,2 \pm 1,2$  (Ältere) eine recht ähnliche Bewertung ab wie die weiblichen Apn.

Bei der selbst zu wählenden gewünschten Arbeits- und Pausenzeit zeigte sich ein recht ähnliches Bild wie im Kühllager (Versuchsreihe I). Die jüngeren Apn wünschten sich im Mittel ein Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime von  $97 \pm 9$  min bzw.  $28 \pm 3$  min, bei den älteren Apn waren es  $108 \pm 13$  min bzw.  $26 \pm 5$  min. Keiner der Befragten wünschte sich eine kürzere Arbeitsphase als 80 min oder eine längere Arbeitsphase als 120 min, die knappe Mehrheit von 54% erachtete eine 100-minütige Arbeitsphase als ideal. Bei der gewünschten Pausenzeit gab lediglich eine (ältere) Ap 15 min an, 64% der Befragten hingegen würden eine Aufwärmphase von 30 min bevorzugen.

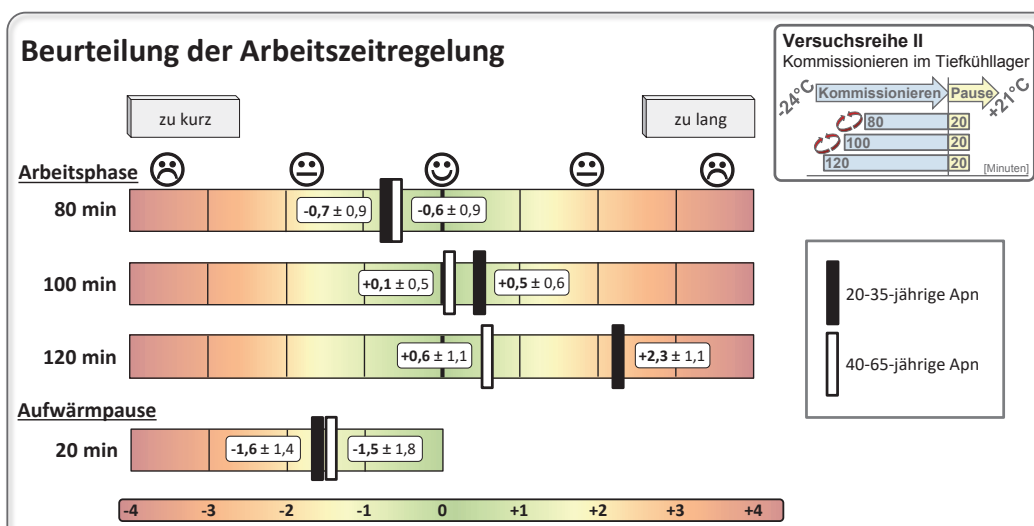


Abb. 7.42: Beurteilung der in Versuchsreihe II durchlaufenen 80-min, 100-min und 120-min Arbeitsphasen sowie der 20-min Aufwärmphasen.  
Mittelwerte und Standardabweichungen über jeweils 15 Apn in jeder Altersklasse

**Versuchsreihe III** diente im Wesentlichen der Überprüfung, wie sich **verlängerte Pausenzeiten** auf das Beanspruchungserleben der Apn auswirken. Abbildung 7.43

verdeutlicht, dass Arbeitsphasen von 100 min bzw. 120 min recht ähnlich bewertet wurden wie in Versuchsreihe II. Abermals wurde die 100-min Arbeitsphase als „ideal“ bezeichnet, die 120-min Arbeitsphase hingegen als „zu lang“. Erneut bewerteten die jüngeren Apn die Arbeitsphasen deutlich schlechter als die älteren Apn. Während eine Aufwärmphase von 20 min Länge sowohl im Kühllager als auch im Tiefkühllager von einem Großteil der befragten Apn als „zu kurz“ empfunden wurde, zeigte die auf eine 100-min Arbeitsphase folgende Aufwärmphase von 25 min mit einer mittleren Bewertung von  $-0,7 \pm 0,8$  (Jüngere) bzw.  $-0,3 \pm 0,5$  (Ältere) bereits wesentlich günstigere Werte. Als nahezu ideale Pausenlänge wurde allerdings erst die 30-min Aufwärmphase angesehen, die sich jeweils an eine 100-min bzw. 120-min Arbeitsphase anschloss. Mit einer durchschnittlichen Bewertung von  $+0,1 \pm 0,5$  bzw.  $+0,1 \pm 0,3$  für die jüngeren respektive älteren Apn konnten zudem keine altersdifferenzierten Unterschiede festgestellt werden. Die von den Apn gewünschte Länge der Arbeits- und Pausenzeiten lag bei  $97 \pm 29$  min (Jüngere) bzw.  $106 \pm 30$  min (Ältere). Ähnlich wie in Versuchsreihe II betrachteten hier 72% der Befragten 100 min als ideale Arbeitszeit und 76% der Befragten 30 min als ideale Pausenzeit. Identisch zu Versuchsreihe II entschied sich keine der Apn für eine kürzere bzw. längere Arbeitsphase als 80 min bzw. 120 min. Lediglich eine Apn empfand eine Pausenzeit von 20 min als „ideal“, für 5 Apn wären 25 min ausreichend gewesen, niemand wählte jedoch mehr als 30 min.

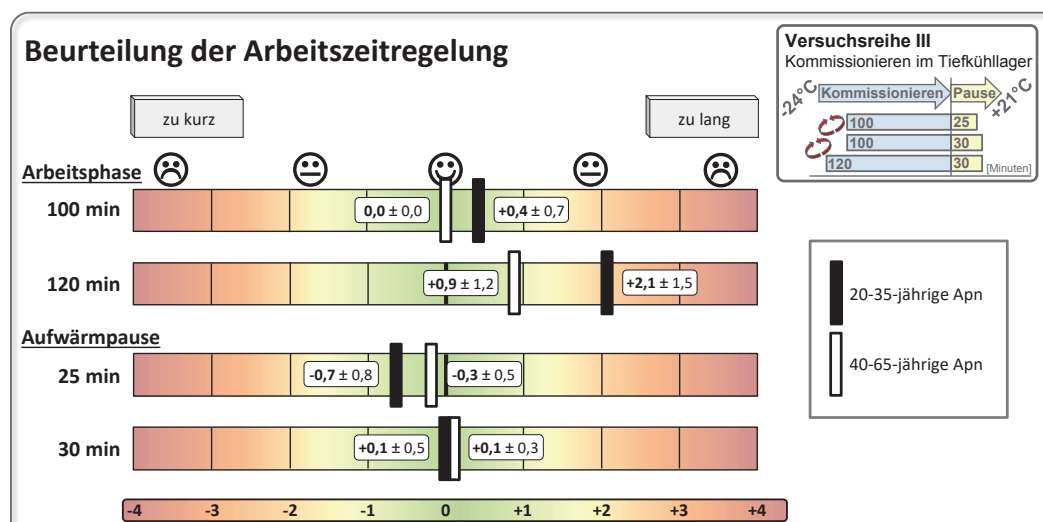


Abb. 7.43: Beurteilung der in Versuchsreihe III durchlaufenen 100-min und 120-min Arbeitsphasen sowie der 25-min und 30-min Aufwärmphasen. Mittelwerte und Standardabweichungen über jeweils 15 Apn in jeder Altersklasse

### Gesamtbeurteilung der Arbeitsbedingungen

Bei der Gesamtbeurteilung der Arbeitsbedingungen, die von der Arbeitsumgebung, der Kälteschutzkleidung, den Arbeitsmitteln und der Arbeitszeitregelung bestimmt wird, gaben die Apn insgesamt ein recht positives Urteil ab (vgl. Abb. 7.44). Die Arbeitsbedingungen im Kühllager wurden geringfügig besser bewertet als im Tiefkühl- lager. Analog zu den vorherigen Ergebnissen empfanden die älteren Apn mit Mittelwerten von +2,7 (Kühllager) bzw. +2,3 (Tiefkühl- lager) die Arbeitsbedingungen in beiden Lagerbereichen deutlich positiver als die jüngeren Apn (+1,9 bzw. +1,3). Bei der Frage nach Möglichkeiten, auf die Arbeitsbedingungen Einfluss nehmen zu können, wurde häufig wärmere und leichtere Kleidung, schnellere Flurförderzeuge mit beheizter Stell- fläche und Windschutzscheibe gegen den Fahrtwind sowie mehr Tageslicht im Lager- bereich gewünscht.

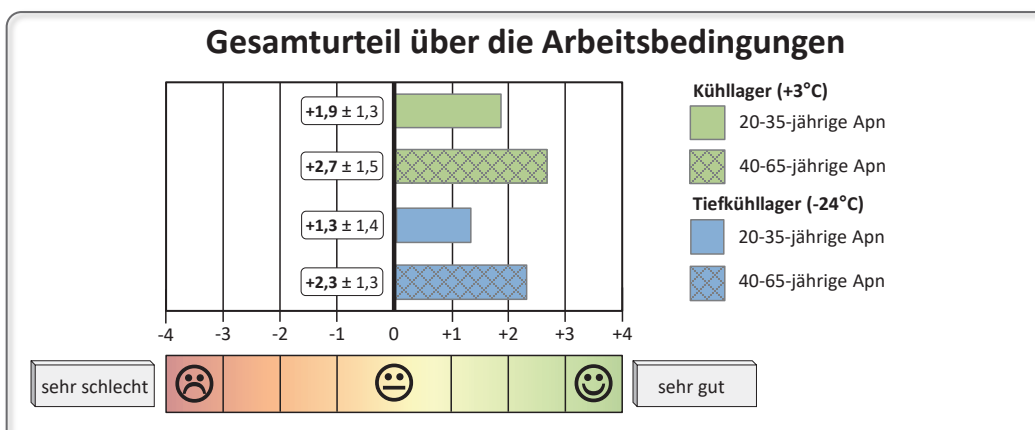


Abb. 7.44: Gesamtbeurteilung der Arbeitsbedingungen in den entsprechenden Lagerbereichen. Mittelwerte und Standardabweichungen über jeweils 15 Apn in jeder Altersklasse

### Körperliches Befinden

Die Apn wurden am Ende eines jeden Versuchstages auch zur Stärke und Dauer möglicher muskel-skelettbezogener Beschwerden befragt. In Abbildung 7.45 markieren schwarze Punkte die Körperbereiche, zu denen Angaben gemacht werden konnten. Von den 25 möglichen Körperarealen (Punkten) wurden während der Kommissi- oniertätigkeit im **Kühllager** lediglich in 13 Bereichen überhaupt Schmerzen fest- gestellt. Auch die absolute Zahl derjenigen Personen, die überhaupt Angaben machten, war mit maximal 4 Apn ebenfalls sehr gering. Die roten Balken markieren die Stärke der Schmerzen auf einer vierstufigen Skala von „0“ = „keine“ bis „4“ = „sehr stark“,

wobei die im Kühllager auftretenden Beschwerden im Mittel meist zwischen „etwas“ und „ziemlich“ angegeben wurden. Die gelben Balken zeigen die Dauer der Beschwerden von „0“ = „nie“ bis „4“ = „über den Versuchstag hinaus“ an. Werte zwischen 2,0 und 4,0 lassen erkennen, dass die Beschwerden nicht kurzzeitig, sondern mindestens bis zum Ende der Arbeitsphase, oftmals sogar über den Versuchstag hinaus andauernden.

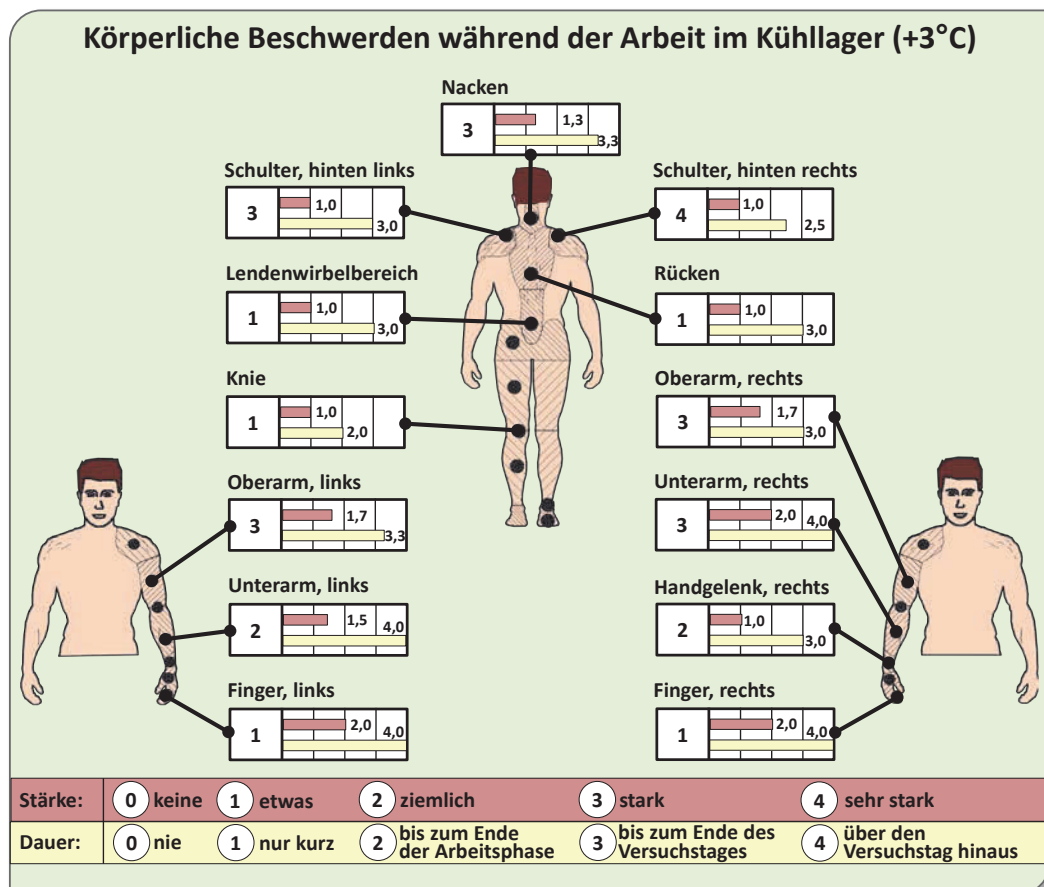


Abb. 7.45: Subjektive Beurteilung der körperlichen Beschwerden während der Arbeit im Kühllager bei +3°C. Absolute Häufigkeit der Arbeitspersonen (N=30), die überhaupt Beschwerden in den visualisierten Körperbereichen hatten, sowie Mittelwerte der Stärke und der Dauer der Beschwerden in verschiedenen Körperarealen

Während Versuchsreihe II im **Tiefkühllager** empfand ebenfalls nur eine sehr geringe Anzahl an Apn überhaupt Beschwerden in lediglich 8 Körperbereichen (vgl. Abb. 7.46). Auch hier wurden für das manuelle Kommissionieren der Warenpakete typische Körperbereiche wie der Nacken, die Schultern, die Oberarme sowie die Finger genannt. Die Stärke der Beschwerden wurde mit Werten zwischen 1,0 und 2,5

erneut als „etwas“ bis „ziemlich stark“ eingeschätzt. Mit einer mittleren Dauer der Beschwerden von 2,0 bis 3,3 hielten diese auch im Tiefkühlager mindestens bis zum Ende der Arbeitsphasen, oftmals bis zum Ende des Versuchstages oder sogar darüber hinaus an. Während Versuchsreihe III mit variierten Arbeits- und Pausenzeiten im Tiefkühlager wurden ähnliche Angaben zu den körperlichen Beschwerden wie in Versuchsreihe II gemacht

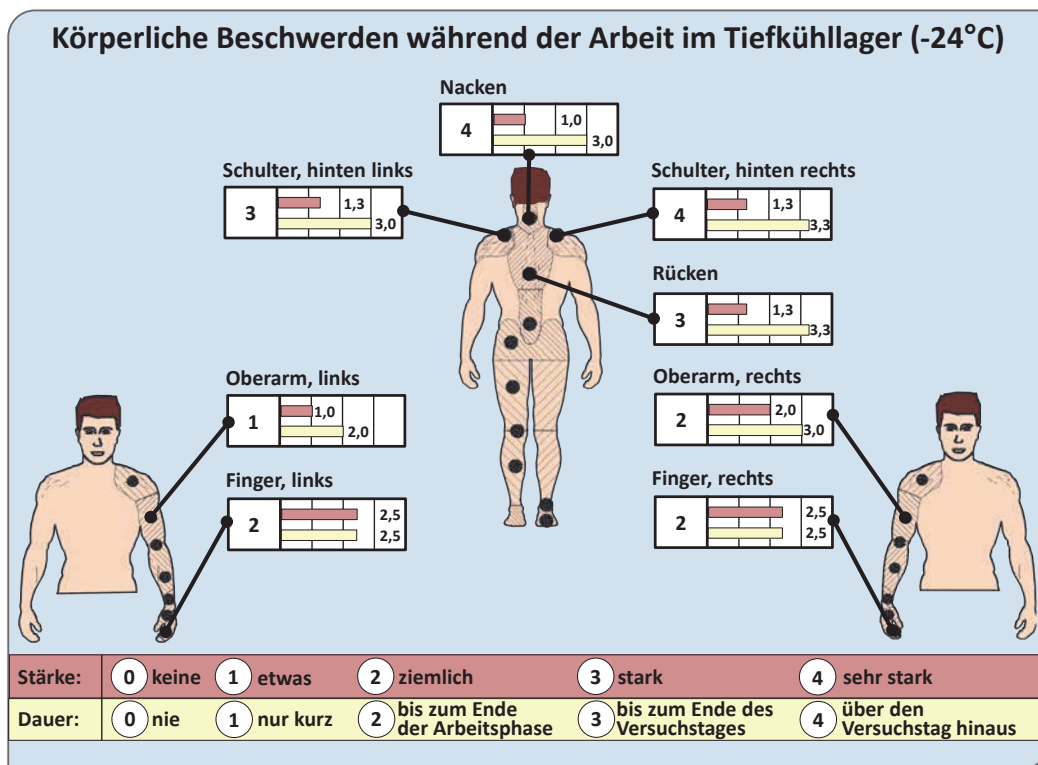


Abb. 7.46: Subjektive Beurteilung der körperlichen Beschwerden während der Arbeit im Tiefkühlager bei -24°C. Absolute Häufigkeit der Arbeitspersonen (N=30), die überhaupt Beschwerden in den visualisierten Körperbereichen hatten, sowie Mittelwerte der Stärke und der Dauer der Beschwerden in verschiedenen Körperarealen

Bei der abschließenden **Gesamtbeurteilung** der subjektiv erfahrenen körperlichen Beanspruchung zeigte sich, wie in Abbildung 7.47 verdeutlicht, im alters- und geschlechtsdifferenzierten Vergleich ein recht inhomogenes Bild. Während der Versuchsreihe I im Kühlager empfanden lediglich die jüngeren weiblichen Apn mit  $-0,1 \pm 1,8$  die Tätigkeit als geringfügig beanspruchend, wohingegen die älteren weiblichen Apn die Tätigkeit mit  $+0,7 \pm 1,8$  insgesamt weniger beanspruchend einstufen. Ein

besonders großer Unterschied zwischen den Geschlechtern wird lediglich bei den jüngeren Apn deutlich, da die jüngeren männlichen Apn hier mittlere Werte von  $+1,4 \pm 2,2$  angaben (vgl. PENZKOFER, 2013). Die älteren männlichen Apn lagen mit  $+0,8 \pm 2,0$  sehr eng im Bereich der weiblichen Apn der gleichen Altersklasse. Während Versuchsreihe II im Tiefkühlager war das subjektive Beanspruchungserleben der weiblichen Apn beider Altersklassen mit  $-1,0 \pm 1,6$  (Jüngere) bzw.  $-1,0 \pm 1,8$  (Ältere) höher und wies kaum noch altersdifferenzierte Unterschiede auf. Im Geschlechtervergleich wurde zudem deutlich, dass sich die Frauen wesentlich höher beansprucht fühlten als die Männer mit Werten von  $+0,1 \pm 2,1$  (Jüngere) und  $-0,1 \pm 2,2$  (Ältere). Die von den weiblichen Apn empfundene körperliche Beanspruchung während Versuchsreihe III mit insgesamt längeren Arbeitsphasen, aber auch verlängerten Pausen, fiel insgesamt niedriger aus als in Versuchsreihe II. Die jüngeren weiblichen Apn fühlten sich mit mittleren Werten von  $-0,5 \pm 2,0$  dennoch weiterhin geringfügig beansprucht, wohingegen die älteren Apn Versuchsreihe III mit Werten von  $+0,3 \pm 2,2$  nur als gering beanspruchend empfanden.

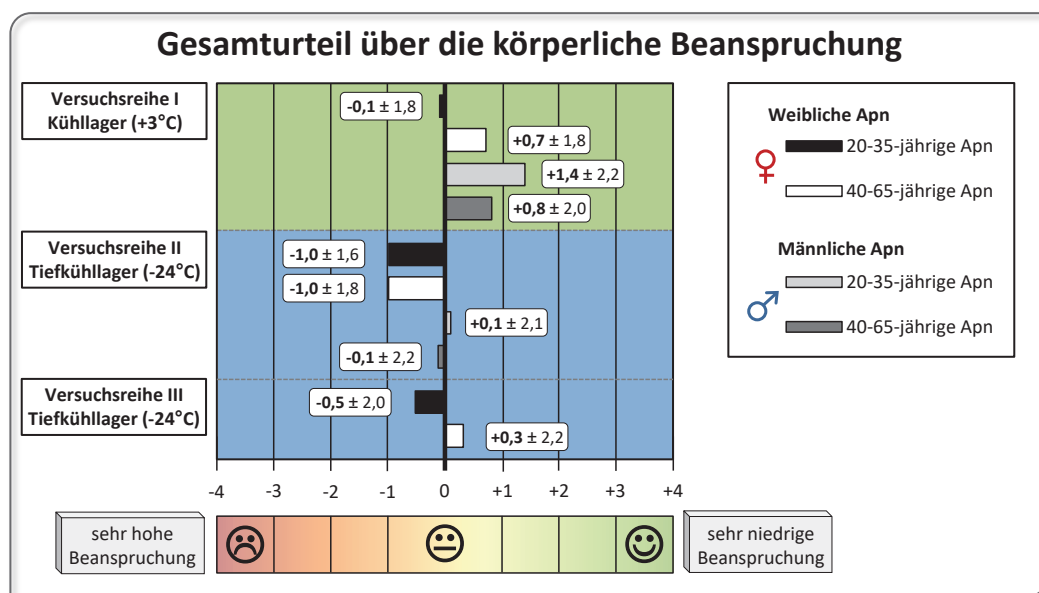


Abb. 7.47: Gesamtbeurteilung der körperlichen Beanspruchung während aller drei Versuchsreihen im Kühl- und Tiefkühlager. Mittelwerte und Standardabweichungen über jeweils 15 Apn in jeder Altersklasse mit zusätzlicher Angabe der körperlichen Beanspruchung der jüngeren und älteren männlichen Apn



## 8 Diskussion der Ergebnisse

---

Im folgenden Abschnitt sollen die im vorherigen Kapitel 7 ausführlich beschriebenen Ergebnisse aus der arbeitswissenschaftlichen Feldstudie unter Berücksichtigung der theoretischen Grundlagen aus den Kapiteln 2, 3 und 4 diskutiert werden. Dabei sind die gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht des arbeitenden Menschen, und die damit möglicherweise einhergehenden Einschränkungen in der Leistungsfähigkeit – und somit zwangsläufig auch der Arbeitsfähigkeit – zu analysieren. Ebenso sollen die Ergebnisse dahingehend genutzt werden, das derzeit in der Praxis recht willkürlich eingesetzte Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime kritisch zu hinterfragen und Schwachstellen in der eingesetzten Kälteschutzkleidung aufzudecken.

### 8.1 Aspekt des Alters

Die unter Kältestress einsetzenden autonomen Regulationsmechanismen – die Vasokonstriktion und das Kältezittern – werden u.a. nach KHAN et al. (1992) und WAGNER et al. (1974) mit zunehmendem Alter eines ansonsten gesunden Menschen schwächer. In der Folge müssten Expositionen in extremer Kälte dazu führen, dass der Körperkern – bedingt durch die verschlechterte Vasokonstriktion der Blutgefäße – eher warmes Blut an die Körperperipherie abgibt. Für ältere Menschen wäre deshalb eine erhöhte Hautoberflächentemperatur (durch den gesteigerten Wärmeeintrag in die Akren) und eine vergleichsweise deutlich stärkere Abnahme der Körperkerntemperatur, zu erwarten. Das konnte PENZKOFER (2013) mit den Ergebnissen für die mit Männern durchgeführten Untersuchungen im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  bereits belegen.

Die Kälteexpositionen im **Kühlager bei  $+3^{\circ}\text{C}$**  führten bei den Gruppen der jüngeren (20-35 Jahre) und älteren (40-65 Jahre) weiblichen Apn – ähnlich wie die Ergebnisse von PENZKOFER (2013) mit männlichen Apn – in allen drei Arbeitsphasen mit maximalen Abnahmen von 0,7 K bzw. 0,6 K zu keinen signifikanten Unterschieden in der erniedrigten Körperkerntemperatur. Die moderaten mittleren Abnahmen lassen den Schluss zu, dass die erhöhte metabolische Wärmeproduktion durch das körperlich



schwere Kommissionieren der Warenpakete ausreicht, um den wohl eher geringen Wärmeverlust in der kühlen Umgebung weitestgehend auszugleichen. Anders als bei den Männern konnten hingegen bei den Frauen Unterschiede in den Verläufen der Hautoberflächentemperatur zwischen den beiden Altersklassen festgestellt werden. So wurden an den Akren (an den Zehen, den Fingerspitzen und am Fingergrundglied) und an der Nase der älteren Apn durchweg niedrigere Hautoberflächentemperaturen gemessen. Das lässt vermuten, dass eine (entgegen der Theorie) gesteigerte Vasokonstriktion die Wärmeverluste zu kompensieren versucht. Die in der Vorkühlzone (ebenfalls bei  $+3^{\circ}\text{C}$ ) bestimmten Energieumsätze mit einer etwas niedrigeren relativen Wärmeerzeugung von  $4,59 \text{ Watt/kg}$  bei den älteren Apn sollten eigentlich zu deutlich größeren Abnahmen der Körperkerntemperatur führen als bei den jüngeren Apn mit  $4,97 \text{ Watt/kg}$  bei gleicher Arbeitsleistung. Da in den beiden Gruppen allerdings nahezu identische Abnahmen über den Versuchstag hinweg ermittelt wurden – bei einer gleichzeitig verminderten Hautoberflächentemperatur der älteren Apn – ist in der Gruppe der älteren Apn eine wesentlich bessere Vasokonstriktion, als zunächst angenommen, zu vermuten.

Von weitaus größerer Bedeutung sind die im **Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$**  erhobenen Daten, die entgegen der Erwartung in allen drei Arbeitsphasen keine signifikanten Unterschiede in der Abnahme der Körperkerntemperatur zwischen den beiden Altersklassen aufwiesen. Bei dem von PENZKOFER (2013) angestellten altersdifferenzierten Vergleich zeigten sich in der 80-min Arbeitsphase hoch signifikante und in der 120-min Arbeitsphase signifikante Unterschiede. Trotz statistisch nicht gesicherter Differenzen zwischen den jüngeren und älteren weiblichen Apn bleibt festzuhalten, dass die 40- bis 65-jährigen Apn in allen drei Arbeitsphasen von Versuchsreihe II und III die höheren mittleren maximalen Abnahmen der Körperkerntemperatur hatten, und auch einzelne „kritische“ Abnahmen von bis zu  $2,7 \text{ K}$  ausschließlich an älteren Apn erfasst wurden.

Analog zu den Verläufen während der Exposition im Kühlager, zeigten die Hautoberflächentemperaturen deutliche altersdifferenzierte Unterschiede an den Akren. Während in den beiden Altersklassen die Hautoberflächentemperaturen an der Schulter und im Bereich der Niere nahezu identisch in den beiden Altersklassen waren, lag

an der Zehe bereits eine Differenz von bis zu 7 K vor. Auch die Nase und die Finger der älteren Apn waren vor allem während Versuchsreihe III wesentlich stärker von der Kälte betroffen als die der jüngeren Apn. Auch diese Ergebnisse lassen erneut vermuten, dass die Vasokonstriktion der älteren Frauen weitaus besser funktioniert als bislang angenommen, da die älteren männlichen Apn – konform zu ihrem deutlich stärkeren Absinken der Körperkerntemperatur während des Arbeitens im Tiefkühlager – keine Unterschiede in der Hautoberflächentemperatur an den Akren erkennen ließen. Auch PENZKOFER (2013) führt das deutlich stärkere Absinken der Kerntemperatur in Verbindung mit den teilweise sogar wärmeren Händen der älteren Männer im Vergleich zu denen der jüngeren Männer auf eine abgeschwächte Vasokonstriktion zurück.

Die von FRANK et al. (2000), NATSUME et al. (1992) und TAYLOR et al. (1995) erfasste reduzierte thermische Sensitivität älterer Menschen, die gleichzeitig zu einem **eingeschränkten Kälteempfinden** führt, konnte ähnlich zu den Ergebnissen von PENZKOFER (2013) auch bei den weiblichen Apn festgestellt werden. Während aller drei Versuchsreihen gaben insgesamt mehr jüngere Apn an, definierte Körperbereiche als kalt zu empfinden, wobei sich aus der Intensität der verspürten Empfindungen kein einheitliches altersdifferenziertes Bild ablesen lässt. FRANK et al. (2000) leiten aus der verminderten thermischen Sensitivität ab, dass auch die Schwelle zum Einsetzen der thermoregulatorischen Vasokonstriktion bei älteren Menschen reduziert ist. Bei Betrachtung der Hautoberflächentemperaturverläufe, insbesondere an Fingerspitze und -grundglied, kann beobachtet werden, dass die mittlere Temperatur der älteren Apn oftmals in den ersten 15 min bis 30 min einer jeden Arbeitsphase über derjenigen der jüngeren Apn lag, was die Theorie einer verzögerten Vasokonstriktion stützt.

Hypothetisch war auch anzunehmen, dass das Kältezittern und die damit verbundene Steigerung der **metabolischen Wärmeproduktion**, insbesondere aufgrund der natürlichen Degeneration der Muskelmasse mit dem Alter abnehmen müsste. MATHEW et al. (1986), O'HANLON & HORVATH (1970) sowie WAGNER & HORVATH (1985b) sehen allerdings nicht das Alter als den entscheidenden Faktor an, sondern vielmehr die Körperzusammensetzung und dabei insbesondere die Muskelmasse. Die von den älteren weiblichen Apn angegebene hohe körperliche Aktivität im Alltag, die

sich u.a. durch die deutlich höhere relative Leistungsfähigkeit von 1,73 W/kg im Vergleich zu 1,41 W/kg der jüngeren Apn quantifizieren lässt (vgl. Tab. 6.3 und 6.4 in Abschnitt 6.1.2), legt die Vermutung nahe, dass die Unterschiede in der Muskelmasse zwischen den beiden Altersklassen weniger stark ausgeprägt sind als es bei gleicher körperlicher Aktivität aufgrund des natürlichen Alterungsprozesses der Fall wäre. Die von PENZKOFER (2013) untersuchten älteren männlichen Apn hingegen gingen einer wesentlich geringeren sportlichen Betätigung nach als die Jüngeren, was sich auch in einer verminderten relativen Leistungsfähigkeit von 1,48 W/kg (40- bis 65-jährige) im Vergleich zu 1,53 W/kg (20- bis 35-jährige) bemerkbar machte. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse stützen auch die Thesen u.a. von BERNSTEIN et al. (1956) WAGNER & HORVATH (1985b) sowie YOUNG (1991), wonach sich der „typische“ Alterseffekt, mit einer verminderten Fähigkeit zur metabolischen Wärmeproduktion und einer eingeschränkten Vasokonstriktion als Antwort auf einen Kältereiz, ausschließlich auf Männer beschränkt. Daher werden in Abschnitt 8.2 auch mögliche geschlechtsbedingte Unterschiede in der Thermoregulation herausgearbeitet, die eine Erklärung für die durchaus unerwarteten Ergebnisse abliefern können.

Der natürliche Alterungsprozess, der zwangsläufig mit funktionellen Veränderungen unseres Organsystems einhergeht, beeinflusst zwangsläufig auch die **Leistungsfähigkeit des menschlichen Herz-Kreislauf-Systems**, wenngleich dieser Effekt durch eine gesunde Lebensweise, insbesondere mit ausgeprägten körperlichen Aktivitäten, abgemildert werden kann, wie u.a. Untersuchungen von FLEG (1994) und REYBROUCK (2008) belegen. Die während der Feldstudie erfassten Herzschlagfrequenzwerte zeigen, dass es während der Kommissioniertätigkeit zunächst, unabhängig vom Alter, ausgehend vom morgendlichen Ruhewert, zu einer deutlichen Erhöhung der

Herzschlagfrequenz kam. Mittlere Arbeitspulse von 30-34 Schlägen/min im Kühllager und von 31-41 Schlägen/min im Tiefkühlager sind durchaus ein Indikator für körperlich schwere Arbeit, wobei die höheren Werte im Tiefkühlager auf das zusätzliche Gewicht der Kälteschutzkleidung zurückzuführen sind. Im altersdifferenzierten Vergleich sind während aller drei Arbeitsphasen im Kühllager bei den jüngeren Apn zwar leicht erhöhte Arbeitspulse erkennbar, allerdings sind die Differenzen nicht signifikant.

In Versuchsreihe II und III im Tiefkühlager liegen deutlich größere Unterschiede zwischen den beiden Altersklassen vor, allerdings sind auch diese Differenzen bis auf die 120-min Arbeitsphase in Versuchsreihe II (schwach signifikant) ebenfalls nicht signifikant. Die vorliegenden Ergebnisse stützen die These von RODEHEFFER et al. (1984), wonach bei älteren im Vergleich zu jüngeren Menschen unter identischen Belastungen im submaximalen Bereich niedrigere Herzschlagfrequenzen zu erwarten sind. Bei der Beurteilung der Herzschlagfrequenz als globalem Beanspruchungsparameter darf allerdings auch nicht die altersabhängige Abnahme der maximalen Herzschlagfrequenz und die hierdurch induzierte Verringerung der maximalen Leistungsfähigkeit außer Acht gelassen werden, denn u.a. nach BEHRENDTS et al. (2010) und KROIDL et al. (2010) ist die sog. Herzfrequenzreserve (HFR) – die Differenz zwischen der maximalen Herzschlagfrequenz und der Herzschlagfrequenz in Ruhe – ein Indikator für die Leistungsfähigkeit. Auf der Basis der von WHALEY et al. (1992) und TANAKA et al. (2001) aufgestellten Formel 8.1 zur Ermittlung der maximalen Herzschlagfrequenz ergab sich für die jüngeren Apn ein Wert von 191 Schlägen/min, für die älteren Apn ein Wert von 171 Schlägen/min.

$$HSF_{max} = 208 - (0,7 \times \text{Alter [Jahren]}) \quad (8.1)$$

Aufgrund der bei den jüngeren Apn ebenfalls erhöhten Ruhepulsfrequenz von 79 Schlägen/min im Vergleich zu den Älteren (69 Schlägen/min), ist die Herzfrequenzreserve mit 112 Schlägen/min für die 20- bis 35-jährigen nur noch geringfügig höher als die Reserve der 40- bis 65-jährigen mit 102 Schlägen/min. Die verminderte Reservekapazität des Herzens der älteren Apn führt zusammen mit der niedrigeren Ruhepulsfrequenz sowie der leicht verminderten Arbeitspulsfrequenz zu einem nahezu identischen Auslastungsgrad des Herzens. Dieser betrug während Versuchsreihe I im Kühlager 57% für die jüngeren bzw. 56% für die älteren Apn, und während Versuchsreihe II im Tiefkühlager konnten für beide Altersklassen 60% ermittelt werden. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass das Herz-Kreislaufsystem beider Probandengruppen in etwa gleichem Maße beansprucht wird. Der theoretische Nachteil der älteren Apn konnte wohl durch bessere Trainiertheit ausgeglichen werden.

Die Messung des **arteriellen Blutdruckes** während der Feldstudie lässt keine eindeutigen Rückschlüsse auf einen kältebedingten Anstieg zu, da in beiden Lagerbereichen kaum Unterschiede zwischen den während der Kälteexpositionen und während der Aufenthalte im warmen Sozialbereich erfassten Werten festgestellt werden konnten. Sowohl der systolische als auch der diastolische Blutdruck war zwar während der Tätigkeitsdurchführung im Kühllager bei +3°C leicht niedriger als im Tiefkühlager bei -24°C, allerdings kann dieser Unterschied durchaus auf die insgesamt höhere Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems durch das zusätzliche Gewicht der schweren Kälteschutzkleidung zurückzuführen sein, was sich ebenfalls in erhöhten Arbeitspulsen widerspiegelt hatte. Die während aller drei Versuchstage erfassten Blutdruckwerte waren immer höher als die vorab durch die Apn in einer Ruheblutdruckmessung erfassten Werte. Das lässt vermuten, dass die insgesamt erhöhten Werte während der Versuchsdurchführung u.a. auf das sog. „Weißkittelsyndrom“ zurückzuführen sind (vgl. Abschnitt 6.2.4). Die Messung des arteriellen Blutdrucks in Ruhe zeigte mit hochsignifikant unterschiedlichen systolischen Werten von 113 mmHg und 126 mmHg für die jüngeren und älteren Apn sowie diastolischen Werten von 70 mmHg bzw. 77 mmHg für die jüngeren respektive älteren Apn den typischen Alterseffekt, d.h. einen mit dem Alter zunehmenden Blutdruck. Wenngleich also die älteren Apn auch während der Tätigkeitsdurchführung in beiden Lagerbereichen einen im Vergleich zu den jüngeren Apn erhöhten Blutdruck aufwiesen, sind die Unterschiede weniger signifikant. Ähnlich zu den Ergebnissen aus der zuvor vorgestellten Herzschlagfrequenzmessung könnte das ein Indikator dafür sein, dass die körperlich gute Konstitution der älteren Apn dazu führte, dass deren Herz-Kreislauf-System weniger stark beansprucht wurde.

Die objektiv messbare und durchaus überraschend – da teilweise abweichend von den Ergebnissen von PENZKOFER (2013) – geringere Beanspruchung der älteren weiblichen Apn spiegelte sich auch in deren **subjektiver Wahrnehmung** wider. Neben der offensichtlich größeren Toleranz gegenüber Kältereizen an der Hautoberfläche, die allerdings, wie zuvor erwähnt, auch auf eine verminderte thermische Sensitivität zurückführbar sein kann, zeigte auch die abschließende fragebogenbasierte subjektive Beurteilung der physiologischen Beanspruchung und der Arbeitsbedingungen deutliche Unterschiede zwischen den beiden Altersklassen. Die älteren Apn waren mit den

Arbeitsbedingungen insgesamt deutlich zufriedener, und wünschten sich im Vergleich zu den jüngeren Apn längere Arbeitsphasen und kürzere Pausen. Die körperliche Beanspruchung wurde von beiden Probandengruppen für Versuchsreihe II nahezu identisch eingestuft, wohingegen für Versuchsreihe I und III die älteren Apn tendenziell eher eine niedrige und die jüngeren Apn eher eine höhere Beanspruchung angaben. Das ist wohl auf die in der Voruntersuchung ermittelte höhere relative Leistungsfähigkeit der älteren Arbeitnehmer zurückzuführen (vgl. Abschnitt 6.1.2). Auch die größere Lebenserfahrung – verbunden mit alltäglicher körperlicher und geistiger Herausforderung – mag dazu beitragen, dass Arbeitsbelastungen von älteren Arbeitnehmern als weniger beanspruchend empfunden werden.

## 8.2 Aspekt des Geschlechts

Unter Einbeziehung der Untersuchungsergebnisse von PENZKOFER (2013) mit jeweils 15 männlichen Apn in zwei Altersklassen in die Ergebnisse dieser Studie wird deutlich, dass bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen, bei denen kombinierte Belastungen aus Kälte und schwerer körperlicher Arbeit vorliegen, auch den vielfältigen Unterschieden zwischen den Geschlechtern Rechnung getragen werden muss. Die physiologischen und morphologischen Differenzen zwischen den Geschlechtern führen zu einer Vielzahl von Einflussgrößen und Faktoren, die sich auf den Wärmehaushalt und die **Thermoregulation** auswirken. Bei „mäßiger“ Kälte während der Tätigkeitsdurchführung im Kühllager (+3°C) konnten zwar sowohl bei der Abnahme der Körperkerntemperatur als auch beim Verlauf der Hautoberflächentemperaturen keine signifikanten Differenzen zwischen den Geschlechtern festgestellt werden. Im Tiefkühllager (-24°C) hingegen wird deutlich, dass innerhalb einer Altersklasse durchaus substantielle und bedeutende Unterschiede zwischen den Geschlechtern bestehen. Bei den jüngeren männlichen und weiblichen Apn sind diese allerdings während aller drei Arbeitsphasen nicht signifikant, bei den älteren Apn hingegen in der 80-min und 120-min Arbeitsphase signifikant.

Die überwiegend – wenngleich nicht durchweg – höheren Hautoberflächentemperaturen der Frauen sprechen eigentlich für einen größeren Wärmeverlust und müssten folglich mit ebenfalls größeren Abnahmen der Körperkerntemperatur einhergehen.

Dem gegenüber steht allerdings die durch die Energieumsatzbestimmung ermittelte relative Wärmeerzeugung, die sich analog zu den Differenzen der Körperkerntemperatur verhält, insbesondere während der Messung unter standardisierten Bedingungen in der Vorkühlzone. Die Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass bei der Thermoregulation das subkutane Fettgewebe als isolierender Faktor, das vermeintlich schlechtere Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis und die geringere Muskelmasse der Frau nur eine untergeordnete Rolle spielen. Vielmehr scheint die körpereigene Wärmeerzeugung, insbesondere bezogen auf die Körpermasse, von zentraler Bedeutung zu sein. Wie bereits in Abschnitt 4.1.2 ausführlich erläutert wurde, ist die Temperaturveränderung eines Körpers abhängig von der Veränderung der Körperwärme, geteilt durch das Produkt aus seiner Masse und spezifischen Wärme (vgl. GAGNON et al., 2009). Auch ANDERSON (1999) konstatierte in diesem Zusammenhang, dass es bei Frauen aufgrund ihres höheren prozentualen Fettanteils (geringere spezifische Wärme als bei magerer Masse) und ihrer typischerweise geringeren Körpermasse nur einer geringen Veränderung der Körperwärme bedarf, um die mittlere Körpertemperatur um 1 K zu erhöhen. Eine Aufteilung der insgesamt 30 weiblichen Apn in zwei Gruppen zu je 15 Apn mit einer Körpermasse von weniger als 65 kg ( $\bar{\text{Masse}}$ : 57 kg;  $\bar{\text{Alter}}$ : 39 Jahre) bzw. mehr als 65 kg ( $\bar{\text{Masse}}$ : 76 kg;  $\bar{\text{Alter}}$ : 38 Jahre) bestätigt diese Theorie, wengleich sich die Aufteilung lediglich auf die Körpermasse bezieht und die spezifische Wärme (Körperzusammensetzung) außer Acht gelassen wird. Abbildung 8.1 verdeutlicht, dass die Gruppe der Apn mit einer Körpermasse von mehr als 65 kg während aller drei Arbeitsphasen deutlich stärkere Körperkerntemperaturabnahmen aufweist als die Gruppe der Apn mit weniger als 65 kg. Während der 80-min Arbeitsphase sind die Differenzen sogar statistisch schwach signifikant.

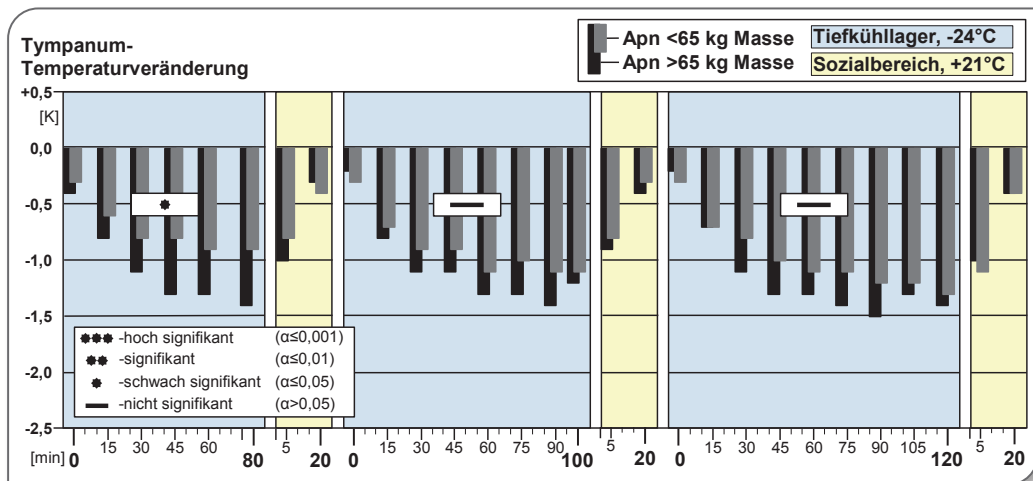


Abb. 8.1: Veränderungen der Tympanum-(Körperkern-)Temperatur [K] während der 80-min, 100-min und 120-min Kälteexpositionen im Tiefkühlager bei -24°C und in der anschließenden 20-min Aufwärmphase im +21°C warmen Sozialbereich. Mittelwerte über jeweils 15 weibliche Apn mit einer Körpermasse von weniger oder mehr als 65 kg (graue bzw. schwarze Balken). Signifikanzanalyse zwischen den beiden Gewichtsklassen nach dem 2-seitigen t-Test für unabhängige Stichproben

Bei der Auswertung der in der Vorkühlzone bei +3°C unter standardisierten Bedingungen erfassten O<sub>2</sub>-Aufnahme und CO<sub>2</sub>-Abgabe und der daraus berechneten Energieumsätze zeigte sich, dass die relative Wärmeerzeugung bei der Gruppe < 65 kg mit einem Wert von 5,96 Watt/kg deutlich über den 4,28 Watt/kg der Gruppe > 65 kg lag. Die hohen Wärmeverluste der „schwergewichtigeren“ Gruppe spiegeln sich auch in einer deutlich höheren Hautoberflächentemperatur an den Akren wider, wie Abbildung 8.2 belegt. Unter der Prämisse, dass die Apn mit einem Gewicht von mehr als 65 kg auch über mehr Körperfett verfügen, wird deutlich, dass das Fett als isolierender Faktor nur eine untergeordnete Rolle spielt. Vielmehr bestätigen auch diese Ergebnisse innerhalb der weiblichen Probandengruppe, dass die körpereigene relative Wärmeerzeugung maßgeblich die Körperkerntemperatur und damit zwangsläufig auch die Hautoberflächentemperaturen beeinflusst. Die vorliegenden Erkenntnisse machen es zudem schwer, im Bereich des Wärmehaushaltes und der Thermoregulation, ein bestimmtes Geschlecht per se als „benachteiligt“ einzustufen. Vielmehr wird die Reaktion auf Kältereize durch die Körperzusammensetzung und die Körpermasse maßgeblich beeinflusst, was auch die Thesen von HAVENITH et al. (1998), HAVENITH (2001) sowie NUNNELEY (1978) stützt. Demnach nehmen die individuelle Körper-



größe und Körperzusammensetzung, die physische Konstitution sowie die Leistungsfähigkeit maßgeblich Einfluss auf die thermoregulatorischen Reaktionsmechanismen des menschlichen Körpers.

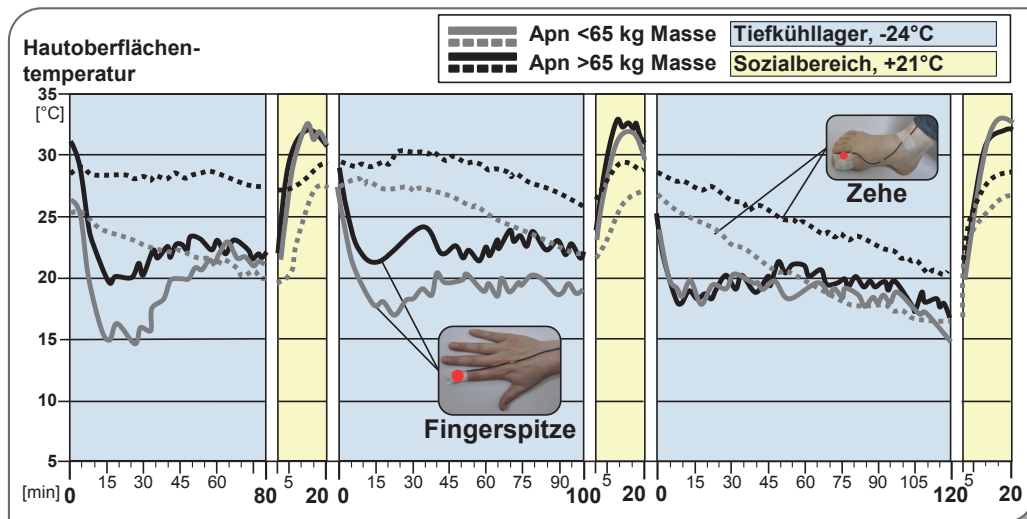


Abb. 8.2: Verlauf der Hautoberflächentemperatur [°C] an Zehe und Fingerspitze während der Arbeit im Tiefkühlager bei -24°C und in der Aufwärmphase bei +21°C. Mittelwerte über jeweils 15 weibliche Apn mit einer Körpermasse von weniger oder mehr als 65 kg (graue bzw. schwarze Linien)

Bei der physiologischen **Beanspruchungsreaktion des Herz-Kreislaufsystems** auf die Arbeit in Kälte konnten in beiden Lagerbereichen teilweise deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern festgestellt werden. In Einklang mit den Ausführungen von HOTTENROTT & NEUMANN (2007) sowie GAGNON et al. (2009), die bei submaximaler Ausdauerbelastung höhere Herzschlagfrequenzen bei Frauen feststellten, zeigten vor allem die jüngeren Frauen im Vergleich zu den jüngeren Männern betragsmäßig deutlich höhere Arbeitspulse. Bei den älteren Frauen hingegen lagen die Arbeitspulse meist im Bereich derer der älteren Männer, was sicherlich auf die mittels des PWC<sub>130</sub>-Tests ermittelte sehr gute relative Leistungsfähigkeit von 1,83 W/kg im Vergleich zu den 1,48 W/kg zurückzuführen ist. Auch diese Ergebnisse bestätigen abermals, dass morphologisch und strukturell bedingte Nachteile durch individuelle Leistungssteigerungen in Form von Ausdauertraining und einer gesunden Lebensweise durchaus kompensiert werden können. Beim arteriellen Blutdruck zeigten sich die typischen geschlechtsbedingten Differenzen, wonach Frauen bis zu den Wechseljahren

deutlich niedrigere Werte aufweisen. Insbesondere der systolische Blutdruck der jüngeren Männer war sowohl während der Arbeitsphasen als auch während der Aufwärmphasen im Sozialbereich signifikant oder sogar hoch signifikant höher als derjenige der jüngeren Frauen. Bei den älteren Apn, wohl bedingt durch die Tatsache, dass sich eine Vielzahl der Frauen bereits in der Menopause oder jenseits der Wechseljahre befand, waren keine Unterschiede mehr erkennbar.

Das **subjektive Empfinden** der männlichen und weiblichen Apn steht weitestgehend im Einklang mit den objektiv gewonnenen Messdaten. Bei den persönlichen Kälteempfindungen in bestimmten Körperbereichen zeichnete sich, ebenso wie bei der Hautoberflächentemperatur, kein einheitliches Bild ab. Die Anzahl der Personen, die überhaupt Kälteempfindungen verspürten, war innerhalb der Altersklassen meist gleich hoch. Die Intensität der Empfindungen war bei den jüngeren Frauen oftmals leicht höher als bei den Männern, wohingegen die älteren Frauen meist angaben weniger starke Kältereize zu verspüren als die älteren Männer. Das subjektive Gesamturteil über die körperliche Beanspruchung ergibt ein ähnliches Bild wie das des Arbeitsprofil als globalem Beanspruchungsparameter. Insbesondere zwischen den jüngeren männlichen und weiblichen Apn zeigten sich auf der vierstufigen bipolaren Skala („-4“ = sehr hohe Beanspruchung; „+4“ = sehr niedrige Beanspruchung) mit Werten von -0,1 bzw. -1,0 (Frauen) und +1,4 bzw. +0,1 (Männer) im Kühl- respektive Tiefkühlager deutliche Unterschiede. Bei den älteren Apn waren die Differenzen bei den Frauen mit +0,7 und +0,8 bei den Männern insbesondere im Kühlager weitaus geringer ausgefallen, wobei sich im Tiefkühlager kein einheitliches Bild abzeichnet. Während Versuchsreihe II mit einem Zeitregime wie bei den Männern und einer identischen Belastung hinsichtlich des Umgebungsklimas und des Gewichts der zu kommissionierenden Waren, fühlten sich die Frauen mit -1,0 noch deutlich stärker beansprucht als die Männer mit -0,1. Das ist sicherlich auf die unterschiedliche Muskelmasse zwischen den Geschlechtern zurückzuführen. Durch die Veränderung der Arbeits- und Pausenzeiten, insbesondere durch die Verlängerung der Aufwärmphase bei ansonsten gleicher Belastung, gaben die Frauen in Versuchsreihe III eine über den Versuchstag hinweg empfundene Beanspruchung von +0,3 an. Hierbei stellt sich

zwangsläufig die Frage, ob die Veränderung der Arbeits- und Pausenzeiten auch objektiv zu einer Reduzierung der Beanspruchung führt, was im folgenden Abschnitt diskutiert werden soll.

### 8.3 Regelung der Arbeits- und Pausenzeiten

Der Einfluss des eingesetzten Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes auf die Beanspruchung von Kältekommissionierern wurde bisher noch nicht in realitätsnahen Ganztagsanalysen untersucht. Im **Kühllager bei +3°C** bedingt eine Verlängerung der Expositionszeit auf bis zu 120 min kein weiteres Absinken der Körperkern- oder Hautoberflächentemperaturen. Auch das Arbeitspulsprofil und der arterielle Blutdruck liegen über die 80-min, 100-min und 120-min Arbeitsphase hinweg auf einem konstanten Niveau. Weiterhin scheinen zudem die folgenden 20-min Aufwärmphasen eine hinreichende Wiedererwärmung und Erholung zu gewährleisten. Vor diesem Hintergrund ist es durchaus sinnvoll, im Kühllagerbereich eine 20-min Aufwärmphase zu etablieren, was sich auch mit der von PENZKOFER (2013) ermittelten durchschnittlichen Pausenzeit von 20,8 min (resultierend aus den Befragungsergebnissen von 58 professionellen Kommissionierern) deckt. Die im Normenwerk empfohlene Aufwärmphase von lediglich 10 min für den kühlen Bereich (vgl. DIN 33403-5, 1997) kann nicht unterstützt werden, da bereits, je nach Bauart des Warenverteilerzentrums, der Gang zu den Sozialtrakten und zurück einige Minuten in Anspruch nehmen kann, und somit die reine Erholzeit nicht ausreichend lang erscheint. Die in der selbigen Norm empfohlene maximale Expositionszeit von 150 min ist vor dem Hintergrund der durchaus großen inter-individuellen Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der Kommissionierer zu lang. Die objektiv gewonnenen Daten lassen durchaus eine 120-min Expositionszeit zu, die jedoch immer noch unter der in der Praxis etablierten durchschnittlichen Arbeitszeit von 137,1 min liegt (vgl. PENZKOFER, 2013). Allerdings zeigte die geschlechtsspezifische Betrachtung, dass die befragten Frauen durchschnittlich nur 127 min arbeiten und sich zudem eine „ideale“ Arbeitslänge von nur 120 min wünschen. Der Wert der Männer lag mit einer tatsächlichen mittleren Arbeitszeit von 150 min und einer gewünschten maximalen Dauer von 130 min deutlich darüber. Bei

der Befragung der während der Feldstudie eingesetzten 30 weiblichen Apn wurde sogar nur die 100-min Arbeitsphase als „ideal“ angesehen, selbst die 20-min Aufwärmphase erschien einigen Apn noch zu kurz. Um allen eingesetzten Kältekommissionierern weitestgehend gerecht zu werden, und um ein der Gesundheit der Beschäftigten zuträgliches Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime im Kühllager zu etablieren, scheint die Empfehlung einer maximalen Expositionszeit von 120 min mit einer sich daran anschließenden Aufwärmphase von 20 min durchaus sinnvoll zu sein.

Während die Länge der Expositionszeit im Kühllager bei  $+3^{\circ}\text{C}$  keinen Einfluss auf die Beanspruchung nahm, war während Versuchsreihe II im **Tiefkühllager bei  $-24^{\circ}\text{C}$**  durchaus zu erkennen, dass mit fortschreitender Arbeitszeit insbesondere die Temperaturabfälle im Körperkern und an der Hautoberfläche weiter zunahmen. Zudem scheinen die weiterhin bestehenden Temperaturdefizite am Ende der 20-min Aufwärmphase ein Indikator dafür zu sein, dass die Pausenlänge nicht ausreicht, um eine hinreichende Wiedererwärmung zu gewährleisten, sodass die Apn „vorbelastet“ in die nächste Arbeitsphase starten, was dann einen weiteren Temperaturabfall zur Folge hat.

Zur Ermittlung eines idealen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes für den Tiefkühllagerbereich war deshalb in der Feldstudie eine weitere Versuchsreihe III vorgesehen, bei der zwei 100-min Arbeitsphasen mit einer 25-min bzw. 30-min Aufwärmphase abgeschlossen wurden, und bei der auf eine weitere 120-min Arbeitsphase ebenfalls eine 30-min Pause folgte. Bei der Betrachtung der Körperkerntemperaturabnahmen während Versuchsreihe II und III wird deutlich, dass das Maximum meist nach einer Kälteexpositionszeit von 100 min erreicht ist, und eine Verlängerung der Arbeitszeit auf 120 min bei diesem Parameter im Mittel kaum Auswirkungen zeigt. Wichtig erscheint allerdings die Dauer der sich daran anschließenden Aufwärmphasen. Die 20-min Aufwärmphasen während Versuchsreihe II sind vor allem nach der 120-min Arbeitsphase bei noch bestehenden Temperaturdefiziten von 0,4 K bei den jüngeren Apn bzw. 0,5 K bei den älteren Apn zu kurz. Eine Verlängerung der Pause auf insgesamt 30 min reduzierte jedoch das Defizit der jüngeren Apn immerhin auf 0,1 K, das der älteren Apn auf 0,3 K, wenngleich bei vereinzelten Apn auch noch nach 30 min ein deutliches Temperaturdefizit von bis zu 0,8 K bestand (vgl. Abb. 7.22 in Abschnitt 7.3). Eine Erhöhung der Pausenzeit um 5 min im Anschluss an die 100-min Arbeitsphase auf

25 min brachte noch nicht den gewünschten Effekt, da die Defizite am Ende der beiden Pausen mit 0,3 K für beide Altersklassen identisch waren. Eine weitere Verlängerung der Pause auf 30 min führte schließlich zu einer weiteren Reduzierung um 0,1 K. Demnach scheint eine möglichst lange Aufwärmphase die Stabilisierung der Körperkerntemperatur zu begünstigen.

Bei den Hautoberflächentemperaturen führte eine Verlängerung der Arbeitszeit nicht zwangsläufig zu einer weiteren Reduktion der Werte. Einzig die Zehentemperatur zeigte über die Expositionszeit hinweg ein nahezu lineares Absinken und eine nur zögerliche Wiedererwärmung während der Pausen. Auf der Basis der Hautoberflächentemperaturen allein eine Empfehlung für die Gestaltung des Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes auszusprechen, gestaltet sich schwierig, da zwar durchaus eine möglichst kurze Expositionsdauer und eine darauf folgende möglichst lange Aufwärmphase die Temperaturverläufe in einigen Bereichen begünstigt, insgesamt aber das Temperaturniveau im Mittel meist über 16°C liegt und damit die Grenze der Zumutbarkeit aufgrund möglicherweise einsetzender Kälteschmerzen nicht unterschritten wird. Dennoch sollte unter Berücksichtigung starker individueller Schwankungen in den Temperaturverläufen, mit einem deutlichen Absinken unter die Schwelle der Zumutbarkeit, ein für die Mehrheit der Arbeitnehmer zuträgliches Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime etabliert werden. Auch bei den subjektiven Kälteempfindungen nahm die Intensität der Beschwerden mit zunehmender Arbeitszeit zu, wobei sich eine Verlängerung der anschließenden Pausenzeit begünstigend auf die negativen Empfindungen auswirkte. Die Länge der Arbeitsphasen hat keinen Einfluss auf die Herz-Kreislaufparameter Herzschlagfrequenz und Blutdruck, lediglich eine Verlängerung der Pausenzeit wirkt sich geringfügig begünstigend auf die Herzschlagfrequenz und den systolischen Blutdruck aus.

Bei der subjektiven Beurteilung der Länge des eingesetzten Arbeits- und Pausenzeit-Regimes von Versuchsreihe III gab eine Vielzahl der befragten Apn an, die 100-min Arbeitsphase in Kombination mit der 30-min Aufwärmphase als „ideal“ zu empfinden. Insbesondere die jüngeren Apn empfanden die 120-min Arbeitsphase „zu lang“ und die 25-min Aufwärmphase „geringfügig zu kurz“. Die Länge der gewünsch-

ten Arbeitsphase entspricht exakt der von PENZKOFER (2013) ermittelten durchschnittlichen Arbeitszeit (99,8 min) von 128 professionellen Kältekommissionierern. Auch die gewünschte Arbeitszeit der professionellen Kommissionierer lag meist zwischen 90 min und 120 min, mit einer anschließenden Aufwärmphase von 20 min bis 30 min, wodurch sich im Mittel über die 128 Befragten ein Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime von 100 min/23 min ergab. Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse sowie der Erkenntnisse aus den subjektiven Befragungen scheinen die in der DIN 33403-5 (1997) empfohlenen maximalen Expositionszeiten von 90 min mit einer anschließenden Aufwärmphase von 30 min durchaus praktikabel zu sein, wenngleich die ununterbrochene Arbeitszeit unter der Prämisse einer garantiert 30-min Aufwärmphase auf bis zu 120 min erhöht werden kann. Die in der BGR 500 (Kapitel 2.35, 2008) angegebene – und für deutlich kältere Bereiche unter  $-25^{\circ}\text{C}$  geltende – Aufwärmphase von lediglich 15 min im Anschluss an eine 120-min Arbeitsphase ist auf der Basis der vorliegenden Erkenntnisse im Sinne eines präventiven Gesundheitsschutzes, der für alle Arbeitnehmer, unabhängig von Alter und Geschlecht, sichergestellt werden muss, keinesfalls zu unterstützen.

Während die organisatorische Gestaltung der Arbeitsbedingungen und damit das eingesetzte Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime eine wichtige Maßnahme für die Sicherstellung des präventiven Gesundheitsschutzes darstellt, kommt der persönlichen Schutzausrüstung eine tragende Rolle zu.

#### **8.4 Schwachstellen und Handlungsbedarf bei der eingesetzten Kälteschutzkleidung**

Schutzkleidung für das Arbeiten in Kälte muss dafür sorgen, dass zum einen die Körperkern- und Hautoberflächentemperaturen bei tiefen Umgebungstemperaturen mit wechselnder physischer Beanspruchung und individuellen thermoregulatorischen Unterschieden der Nutzer aufrechterhalten werden kann, und zum anderen ein hoher Anwendungs- und Tragekomfort gewährleistet ist. Kälteschutzkleidung, die optimalen Schutz vor Kälte bei gleichzeitig maximaler Bewegungsfreiheit bieten soll, wird dabei von Herstellern gerne mit dem Verweis auf Normen, unabhängige Prüfinstitute und Zertifikate beworben. Wie in Abschnitt 2.4.2 ausführlich erläutert, sind allerdings diese

Werbebotschaften, die sich auf Tests unter standardisierten Laborbedingungen stützen, durchaus als kritisch anzusehen, wenngleich sie umfassend Einzug in das deutsche und internationale Normenwerk gefunden haben. Es mangelt nämlich an validen Erkenntnissen aus der Praxis, die eine Aussage über den „wahren“ Nutzen im Berufsalltag zulassen. Aus diesem Grund sollten die Untersuchungsergebnisse aus der vorliegenden Feldstudie auch dazu herangezogen werden, die eingesetzte und dem Stand der Technik entsprechende Kälteschutzkleidung zu bewerten.

Die Bekleidungskombination im Kühllager bei  $+3^{\circ}\text{C}$  birgt nur sehr wenige Schwachstellen, die weniger in einer Ganzkörperabkühlung resultieren, als vielmehr lokale Kältereize auslösen. Der am Oberkörper getragene Verbund aus Thermo-Hemd und Thermo-Weste scheint durchaus gelungen, da die Körperkerntemperatur im Mittel nur um maximal 0,7 K (jüngere Apn) bzw. 0,6 K (ältere Apn) absank. Die im Bereich der Niere und an der Schulter applizierten Thermosensoren erfassten über den Versuchstag hinweg sogar weitgehend konstante Temperaturen von ca.  $33^{\circ}\text{C}$  bzw.  $35^{\circ}\text{C}$ . Abbildung 8.3 verdeutlicht beispielhaft, dass insbesondere die Thermo-Weste Körperwärmeverluste nach außen verhindert und somit der Körper gleichermaßen auch vor eindringender Kälte geschützt ist.

Auch die im Kühllager getragenen Sicherheitsschuhe, die mit keinem besonderen Kälteschutz ausgestattet sind, erscheinen ausreichend, da sich die Fußsohlentemperatur über den Versuchstag hinweg konstant auf einem Niveau um  $35^{\circ}\text{C}$  bewegte. Die Zehentemperatur sank lediglich zu Beginn der Arbeitsphasen leicht ab, stieg dann aber im Verlauf der Arbeitsphase – wohl bedingt durch das kontinuierliche Gehen und die damit verbundene gesteigerte Durchblutung – sogar meist über das Ausgangsniveau an. Für die Beine wurde, wie auch bei den professionellen Kommissionierern üblich, keine besondere Kälteschutzkleidung zur Verfügung gestellt, sodass lediglich eine Jeans getragen wurde. Auch wenn im Bereich der Beine keine Hautoberflächentemperaturen erfasst wurden, zeigt Abbildung 8.3, dass insbesondere die Oberschenkel und das Gesäß viel Körperwärme an die Umgebung abgeben. Konsequenterweise gaben auch einige Apn in der subjektiven Befragung an, diese Bereiche als kühl bzw. kalt zu empfinden. Es ist daher zu empfehlen, die Schutzkleidung für diesen Lagerbereich um eine leicht gefütterte Thermo-Hose zu ergänzen.

Abbildung 8.3 offenbart auch die Strick-Handschuhe als weitere Schwachstelle, was durch die an Fingerspitze und Fingergrundglied erfassten Hautoberflächentemperaturen sowie die subjektive Befragung bestätigt wird. Insbesondere zu Beginn der Arbeitsphasen sank die Fingerspitzentemperatur auf Werte um ca. 15-18°C ab, was durchaus mit leichten Kälteschmerzen einhergehen kann. Da die Fingerspitzentemperatur großen individuellen Schwankungen unterliegt, sollten den Arbeitnehmern für diesen Lagerbereich mehrere Handschuhmodelle mit unterschiedlich starker Isolierung zur eigenen Auswahl angeboten werden.

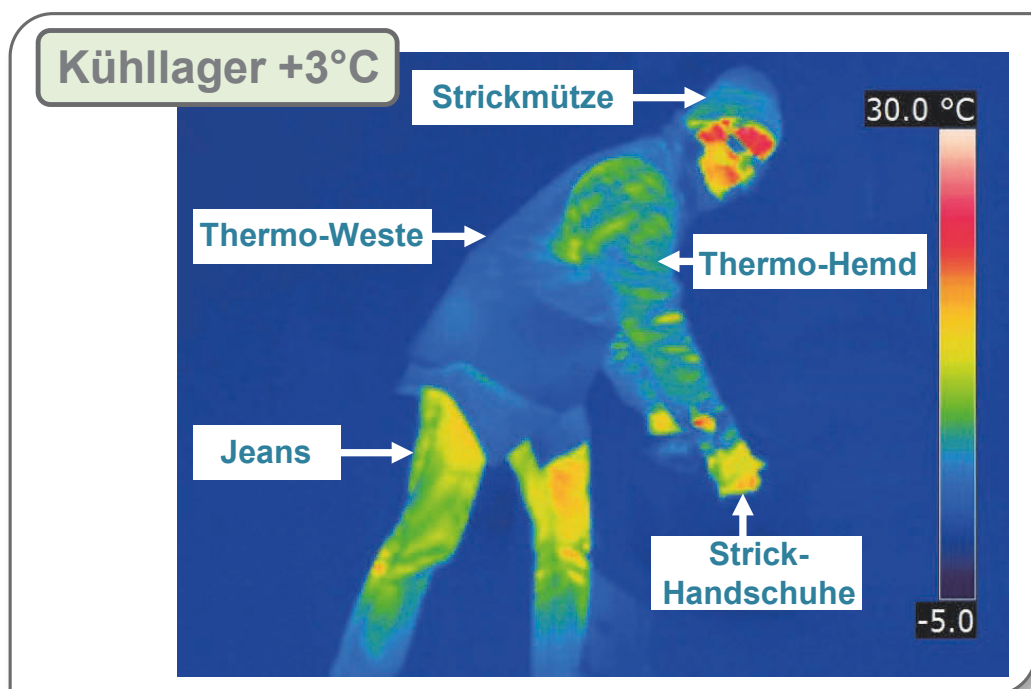


Abb. 8.3: Thermografiebild einer Ap während der Kommissioniertätigkeit im Kühlraum bei +3°C mit Kennzeichnung der in diesem Lagerbereich getragenen Kleidungsstücke

Die im Tiefkühlraum bei -24°C eingesetzte Bekleidungskombination kann weitestgehend als gelungen angesehen werden, wenn auch hier durchaus noch Verbesserungspotenzial besteht. Wie die kontinuierliche Temperaturaufzeichnung des unter der Thermo-Jacke mitgeführten Datenloggers aufzeigt, sorgte der Kälteschutzanzug, bestehend aus Thermo-Latzhose und Thermo-Jacke, für ein angenehmes Mikroklima unterhalb der äußersten Bekleidungsschicht. Eine weitestgehend gleichmäßige Temperatur von 20-24°C unterhalb des Anzuges führte auch zu insgesamt hohen, und über den Versuchstag hinweg nahezu stabilen Hautoberflächentemperaturen im Bereich der



Niere und an der Schulter. Dass die Nahtbereiche des Kälteschutzanzuges das Eindringen von Kälte und die Abgabe von Körperwärme ermöglichen (vgl. Abb. 8.4), erscheint im Hinblick auf die vorliegenden Untersuchungsergebnisse und die Tatsache, dass es sich nur um kleine Areale handelt, vernachlässigbar.

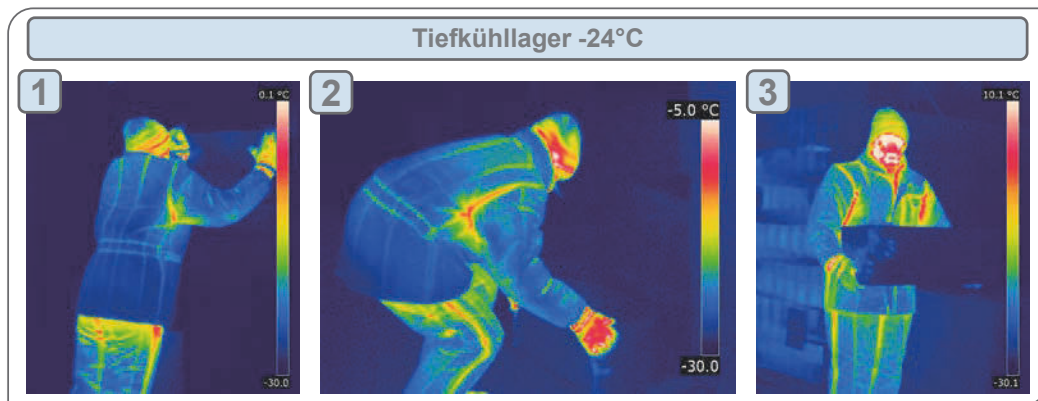


Abb. 8.4: Thermografiebilder einer Ap in unterschiedlichen Körperhaltungen während der Kommissioniertätigkeit im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$

Von weitaus größerer Bedeutung ist der Schutz der Akren und des Kopfes, da der Wärmeverlust über diese Bereiche, aufgrund der ansonsten sehr guten Isolierung durch den Kälteschutzanzug, auch maßgeblich für das Absinken der Körperkerntemperatur verantwortlich zu sein scheint. Besonders viel Wärme wird über das ungeschützte Gesicht und den Kopf abgegeben, der in den Versuchsreihen lediglich mit einer Strickmütze bedeckt war, um das Messen der Tympanumtemperatur zu gewährleisten. In der Praxis sollte die Kopfbedeckung aus einer Kombination von Sturmhaube und Mütze, evtl. einer Alaska-Mütze, wie in Abbildung 2.7 (Abschnitt 2.4.3) dargestellt, bestehen, um Wärmeverluste, wie beispielhaft in Abbildung 8.4 erkennbar, zu vermeiden. Besonders empfehlenswert ist der Einsatz einer Sturmhaube, die zugleich die Nase abdeckt, dabei jedoch die Mundpartie ausspart, damit unbehindertes Sprechen, insbesondere bei Anwendung des Pick-by-Voice Systems, weiterhin möglich ist. Besonders die Nase ist, wie sowohl die Verläufe der Hautoberflächentemperatur als auch das subjektive Kälteempfinden erkennen lassen, in hohem Maße von der Kälte betroffen.

Die eingesetzten Fleece-Handschuhe erfüllen nicht den erhofften Nutzen, da es trotz der ständigen Bewegungen der Hände und Finger durch die vielen Greif- und

Umsetzvorgänge zu erheblichen Abnahmen der Hautoberflächentemperatur kommt, was zudem häufig mit starken Kälteempfindungen bis hin zu Kälteschmerzen einherging. Bild 3 in Abbildung 8.4 lässt sogar schwach erkennen, dass die Hände Körperwärme an den Warenkarton abgegeben haben, da zwei handförmige Stellen etwas wärmer erscheinen. Auch die Füße und dabei insbesondere die Zehen sind nicht ausreichend vor der extremen Kälte geschützt, da es hier ebenfalls trotz des kontinuierlichen Gehens zu größeren Abnahmen der mittleren Zehentemperatur kam, in Einzelfällen sogar in Temperaturbereiche, die mit erheblichen Kälteschmerzen einhergingen. Auch beim subjektiven Kälteempfinden erreichten die Zehen mitunter in der Intensität die höchsten Bewertungen von „sehr kalt“ bis „unerträglich kalt“.

Bei der subjektiven Beurteilung der zur Verfügung gestellten Schutzkleidung am Ende des Versuchstages gaben die befragten Apn insgesamt eine recht positive Bewertung ab. Lediglich die Kälteschutzfunktion der Strick- und Fleece-Handschuhe sowie der Thermo-Stiefel wurde eher schlecht bewertet, was die zuvor objektiv erfassten Daten bestätigt. Auch die von PENZKOFER (2013) durchgeführte Befragung von 128 professionellen Kommissionierern ergab ein sehr ähnliches Bild, wonach ausschließlich die Handschuhe und die Stiefel den Kälteschutz betreffend ein negatives Urteil bekamen.

Den lokalen Abkühlungen, die insbesondere die Hände und die Füße betreffen, kann allerdings auch mit Heizelementen entgegengewirkt werden, die dem Körper aktiv Wärme zuführen. Insbesondere aus dem Sportbereich (z.B. Rennrodler, Skifahrer, etc.) gibt es mittlerweile (kabellos) beheizte Systeme, die dafür sorgen sollen, dass empfindliche Abnahmen der Temperaturen an den Akren vermieden werden. Abbildung 8.5 zeigt beispielhaft den Aufbau und die Funktionsweise eines beheizten Handschuhs sowie einer beheizten Einlegesohle für Stiefel. Aufgrund der vielen Greif- und Umsetzvorgänge während des Kommissionierens und der daraus resultierenden mechanischen Beanspruchung liegt erfahrungsgemäß ein hoher Verschleiß an Handschuhen vor. Daher sollten die in der Anschaffung recht teuren beheizten Handschuhe (bspw. Thermo Gloves<sup>®</sup>, Preis 129 €, Stand 03/2017) unter handelsüblichen Arbeitshandschuhen getragen werden. Die Temperatur der in Abbildung 8.5 dargestellten Hand-

schuhe ist dreistufig regelbar (34°C, 39°C, 44°C), die Schuhsohlen sind sogar mit einem integrierten Thermostatsensor ausgestattet, sodass die Temperatur stufenlos und kontinuierlich dem Ist-Wert der Füße angepasst werden kann. Mit einer Akkulaufzeit von bis zu 5 Stunden für die Handschuhe und bis zu 8 Stunden für die Schuhsohlen erscheinen diese Produkte durchaus eine praktikable Lösung zur Aufrechterhaltung des Temperaturniveaus an den Akren während einer berufsbedingten Kälteexposition darzustellen.

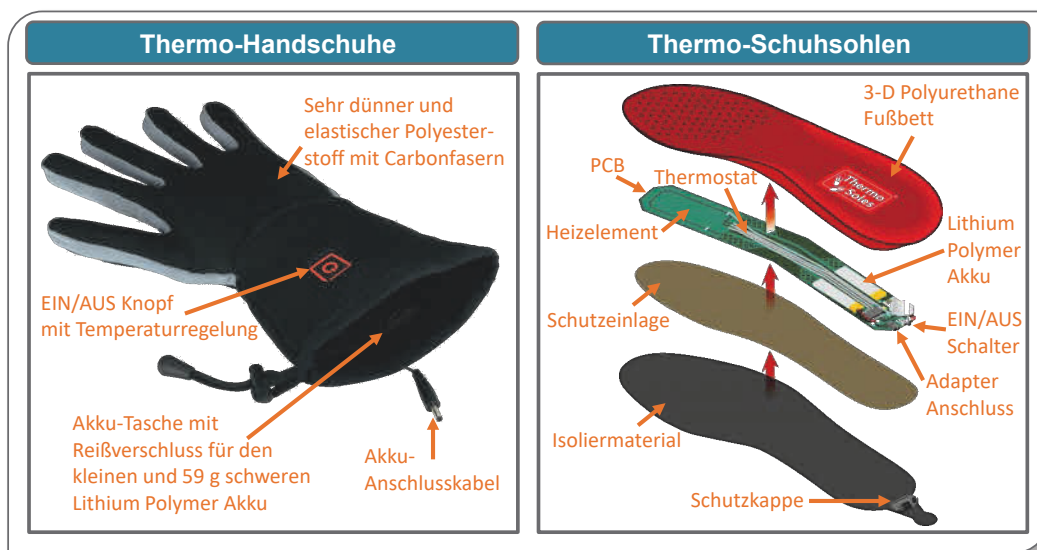


Abb. 8.5: Aufbau und Funktionsweise derzeit auf dem Markt befindlicher beheizter Handschuhe und Schuhsohlen eines Herstellers (modifiziert nach N.N., 2017b,c)

Abschließend bleibt festzuhalten, dass der im Tiefkühlager bei -24°C eingesetzte Kälteschutzanzug, bestehend aus Thermo-Hose und -Jacke mit einer alleinigen Wärmeisolation von 2,98 clo, weitestgehend als gelungen angesehen werden kann. Die vorliegenden Ergebnisse der Untersuchung zeigen aber auch, dass dieser Wärmeisolationswert sicherlich das untere Niveau abbildet und die von der DIN EN ISO 11079 (2008) vorgeschlagenen 1,4 bis 1,8 clo in keinem Falle ausreichend sind, um die Körperkerntemperatur auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Eine Erhöhung der Wärmeisolation sollte allerdings nur dann vorgenommen werden, wenn das Gewicht des Anzuges nicht weiter zunimmt, um eine zusätzliche Belastung des Herz-Kreislauf-Systems zu vermeiden. Ein Vergleich der Arbeitspulsprofile zwischen den beiden Lagerbereichen zeigt, dass die arbeitsbedingten Herzschlagfrequenzerhöhungen im Tiefkühlager um maximal 7 Schlägen/min bei den jüngeren und maximal 5 Schlägen/min

bei den älteren Apn höher waren als im Kühllager, was vorwiegend auf die zusätzliche Belastung durch die schwere Kälteschutzkleidung zurückzuführen ist. Weiterhin ist darauf zu achten, dass ein übermäßiger Kälteschutz nicht dazu führt, dass die externe Kältebelastung zu einem internen Hitzestress mit einer übermäßigen Schweißabsonderung führt, was das Risiko für Erkältungskrankheiten erhöhen würde. Auch die in den vergangenen Jahren geleistete Entwicklungsarbeit seitens der Hersteller von Kälteschutzkleidung sowie der Hersteller von Heizsystemen in Kleidungsstücken sollte weiter fortgeführt werden. Im Sinne des präventiven Gesundheitsschutzes der Kältekommissionierer ist es dringend geboten, dass die Arbeitgeber bei der Auswahl der Kleidung die individuellen Bedürfnisse der Mitarbeiter berücksichtigen und rein ökonomische Kriterien bei der Produktauswahl nicht über Qualitätsaspekte dominieren dürfen.

### 8.5 Abschließende Hypothesenbewertung

Die Superposition aus körperlich schwerer Arbeit und den niedrigen Arbeitsumgebungstemperaturen setzt beim Menschen – unabhängig von Alter und Geschlecht, wohl aber individuell unterschiedlich stark ausgeprägt – physiologische Reaktionsmechanismen in Gang. Aufgrund der Vasokonstriktion, die als Antwort auf Kältereize zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur autonom einsetzt, wird der Wärmeeintrag in die Akren verringert, was die dortigen Hautoberflächentemperaturen absinken lässt. Allerdings wirken die häufigen Greifvorgänge beim Kommissionieren und die damit einhergehende durchblutungssteigernde Wirkung der Vasokonstriktion entgegen, wodurch zumindest die Temperatur an den Fingern im Zeitverlauf nicht weiter absinkt, sondern nach einem anfänglich starken Abfall sogar meist wieder ansteigt. Die Zehentemperatur hingegen nahm vor allem während der Arbeit im Tiefkühllager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  kontinuierlich ab. Diese recht unterschiedlichen Ergebnisse für die Hautoberflächentemperaturen an den Extremitäten lassen weder eine Verifizierung noch eine Falsifizierung von *Hypothese 1* zu. Die Hypothese bedürfte demnach einer weiteren Spezifizierung.

**1**

Die Hautoberflächentemperaturen an den Extremitäten und Akren nehmen mit zunehmender Expositionszeit in Kälte proportional ab.

Die Vasokonstriktion bedingte allerdings zusammen mit dem gesteigerten körpereigenen Energieumsatz nur eine begrenzte Abnahme der Körperkerntemperaturen in beiden Lagerbereichen, womit die *Hypothesen 2* und *3* als angenommen gelten.

**2** Das Arbeiten in Kälte geht mit einer Zunahme des körpereigenen Energieumsatzes einher.

**3** Die Zunahme des Energieumsatzes bewirkt eine begrenzte Abnahme der Körperkerntemperatur.

Auch *Hypothese 4* kann angenommen werden, da das körperlich schwere Arbeiten mit einer Umsetzleistung von 1,6 t/h zu einem deutlichen Anstieg der Herzschlagfrequenz und des Blutdrucks führte.

**4** Das Arbeiten in Kälte führt zu einer deutlichen Steigerung der Herzschlagfrequenz und des Blutdrucks.

Der Vergleich der Ergebnisse aus Versuchsreihe I im Kühllager bei +3°C und Versuchsreihe II im Tiefkühllager bei -24°C zeigt, dass das Arbeiten im Tiefkühllager aufgrund der deutlich niedrigeren Umgebungstemperaturen und aufgrund des Tragens der schwereren Kälteschutzkleidung zu einer gesteigerten Beanspruchungsreaktion führt. Das lässt sich insbesondere durch die höheren Abnahmen der Körperkern- und Hautoberflächentemperaturen, sowie durch die gesteigerten Herzschlagfrequenzen und Blutdruckwerte quantifizieren. Dadurch wird auch *Hypothese 5* verifiziert.

**5** Die Abnahme der Hautoberflächen- und Körperkerntemperaturen sowie die Zunahme der Herzschlagfrequenz, des Blutdrucks und des Energieumsatzes fallen im Tiefkühllager bei -24°C deutlich stärker aus, als bei gleicher Arbeit im +3°C kalten Kühllager.

Im altersdifferenzierten Vergleich führte das Arbeiten in Kälte bei den älteren Apn zu geringfügig stärkeren mittleren Abnahmen der Körperkerntemperatur, wenngleich diese Differenzen in keinem Falle statistisch signifikant waren. Die Hautoberflächentemperaturen hingegen – insbesondere an den Akren – waren bei den älteren Apn deutlich niedriger, sodass insgesamt davon auszugehen ist, dass die älteren Arbeitnehmer bei gleicher Arbeitsbelastung einer höheren Kältebeanspruchung ausgesetzt sind, womit *Hypothese 6* als angenommen gilt.

**6** Ältere Arbeitnehmer sind bei gleicher Arbeitsbelastung einer deutlich höheren Kältebeanspruchung ausgesetzt als jüngere Arbeitnehmer.

Die von FRANK et al. (2000), NATSUME et al. (1992) und TAYLOR et al. (1995) erfasste reduzierte thermische Sensitivität älterer Menschen scheint demnach für die verminderten subjektiv empfundenen Kältereize der älteren Frauen verantwortlich zu sein. Damit ist die *Hypothese 7* zu falsifizieren.

**7** Die deutlich höhere Kältebeanspruchung älterer Arbeitnehmer geht mit einem verstärkten subjektiv empfundenen Kältereiz einher.

Im geschlechtsdifferenzierten Vergleich zeigte sich, dass die Frauen ihre vermeintlichen Nachteile, bedingt durch das schlechtere Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis und die geringere Muskelmasse, durch eine höhere relative Wärmeerzeugung zu kompensieren vermögen. Auch das subkutane Fettgewebe als isolierender und damit die Frauen eigentlich begünstigender Faktor scheint nur eine untergeordnete Rolle zu spielen, wie die Ergebnisse der Körperkern- und Hautoberflächentemperatur nach einer Gruppenzusammensetzung entsprechend der Körpermasse belegen. Die *Hypothesen 8* und *9* gelten somit als angenommen, da bei der Abnahme der Körperkern- und Hautoberflächentemperaturen keine deutlichen geschlechtsspezifischen Unterschiede erkennbar sind, und auch bei beiden Geschlechtern das subjektive Kälteempfinden gleichermaßen stark ausgeprägt ist.

**8** Bei der Abnahme der Körperkern- und Hautoberflächentemperaturen sind keine deutlichen geschlechtsspezifischen Unterschiede erkennbar.

**9** Die zwischen den Geschlechtern nicht erkennbaren Unterschiede bei der Abnahme der Hautoberflächen- und Körperkerntemperaturen rufen auch ähnliche subjektive Kälteempfindungen hervor.

Die bei gleicher Trainiertheit aufgrund anatomischer und physiologischer Unterschiede naturgemäß geringere Leistungsfähigkeit der Frau spiegelte sich auch in den arbeitsbedingten Herzschlagfrequenzerhöhungen während der Kommissioniertätigkeit wider. Insbesondere die jüngeren Frauen zeigten betragsmäßig deutlich, wenngleich auch nur in der 100-min Arbeitsphase in beiden Lagerbereichen statistisch schwach signifikante, ansonsten nicht signifikante höhere Arbeitspulse als die jüngeren Männer. Die nahezu identischen Herzschlagfrequenzerhöhungen zwischen den älteren Frauen und Männern sind insbesondere auf die hohe Leistungsfähigkeit der älteren Frauen zurückzuführen. Demnach führt das körperlich schwere Arbeiten in Kälte bei Frauen im Vergleich zu Männern nicht zwangsläufig zu deutlich höheren Herzschlagfrequenzen, weshalb *Hypothese 10* abgelehnt werden muss.

**10** Das körperlich schwere Arbeiten in Kälte führt bei Frauen im Vergleich zu Männern zu einer deutlich höheren Herzschlagfrequenz.

Vielmehr ist die individuelle körperliche Konstitution und damit die Leistungsfähigkeit für die arbeitsbedingten Herzschlagfrequenzerhöhungen verantwortlich und weniger das Geschlecht per se. Lediglich der arterielle Blutdruck scheint, wie die vorliegenden Untersuchungsergebnisse belegen, bei Frauen niedriger zu sein als bei Männern. Das gilt grundsätzlich für Frauen vor allem bis zur Menopause und unabhängig von einer Belastungssituation. Demnach gilt *Hypothese 11* als angenommen.

**11** Das körperlich schwere Arbeiten in Kälte führt bei Frauen im Vergleich zu Männern zu einem niedrigeren arteriellen Blutdruck.

Die Ergebnisse aus Versuchsreihe II mit Arbeitsphasen von 80 min, 100 min und 120 min und einer sich daran anschließenden Aufwärmphase von lediglich 20 min belegen, dass eine Verlängerung der Arbeitszeit zu einer erhöhten Kältebeanspruchung führt, die innerhalb der 20-min Aufwärmphase nicht gänzlich kompensiert werden kann, sodass viele Arbeitnehmer nach der Aufwärmphase „vorbelastet“, d.h. mit einer verminderten Körperkern- und Hautoberflächentemperatur in die nächste Arbeitsphase starten. Unter Einsatz der Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime von 100 min/25 min, 120 min/25 min und 120 min/30 min während Versuchsreihe III konnte auch *Hypothese 12* verifiziert werden, wonach eine Verkürzung der Arbeitszeit und eine Verlängerung der Aufwärmphase altersunabhängig in einer verminderten Kältebeanspruchung resultiert, was gleichzeitig auch mit einem reduzierten subjektiv verspürtem Kälteempfinden einherging.

**12** Eine Verkürzung der Kälteexpositionszeiten und eine Verlängerung der Aufwärmphasen sollte altersunabhängig in einer verminderten Kältebeanspruchung resultieren, die sich wiederum in einem reduzierten subjektiv verspürtem Kälteempfinden niederschlägt.

## 9 Ausblick

---

Die Ergebnisse der vorliegenden Feldstudie zeigen, dass das manuelle Kommissionieren von Warenpaketen zwischen 2 und 15 kg, insbesondere in tiefer Kälte bei  $-24^{\circ}\text{C}$ , zu einer hohen physischen Belastung und Beanspruchung führt. Eine alters- und geschlechtsspezifische Betrachtung ergab, unter Einbeziehung der Untersuchungsergebnisse von PENZKOFER (2013) an Männern, allerdings kaum signifikante Unterschiede zwischen den Probandengruppen. Vielmehr scheint die Leistungsfähigkeit und somit auch Arbeitsfähigkeit durch eine individuelle und betriebliche Gesundheitsförderung kurz- und langfristig positiv beeinflussbar zu sein. Auch LEINO-ARJAS et al. (2004) führen an, dass ein körperlich aktiver Lebensstil die physische Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmer positiv beeinflusst, und nach MAEDA et al. (2005) zudem die Toleranz gegenüber Kälte erhöht. Die hohen körperlichen Aktivitäten in der Freizeit der älteren weiblichen Apn durch einen eigenen Haushalt, Gartenarbeit und Haustiere scheinen demnach ursächlich dafür zu sein, dass sich bei den Frauen – im Gegensatz zu den Männern – keine Unterschiede in der Beanspruchung zwischen den beiden Altersklassen zeigten. Unabhängig von Alter und Geschlecht scheint es dennoch zwingend notwendig, dass ein Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime, das den menschlichen Belangen adäquat Rechnung trägt, entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 8.3 für unterschiedliche Kältebereiche verbindlich vorgeschrieben wird. Zudem sollten Unternehmen bei der Auswahl von Kälteschutzkleidung qualitative Aspekte rein ökonomischen Überlegungen vorziehen, da mangelhafter Kälteschutz oftmals kurzfristig in Erkältungskrankheiten und langfristig in vielfältigen Erkrankungen der Atemwege, des Muskel-Skelett-Systems etc. resultiert, was wiederum mit hohen Ausfallzeiten und somit Krankheitskosten verbunden ist. Letztlich sorgen eine Kombination von Gesundheitsförderung, Anpassung der Arbeits- und Pausenzeiten sowie die Optimierung der Kälteschutzkleidung für präventiven Gesundheitsschutz, was letztlich auch die Arbeitsprozeffizienz steigert.



Bei den sicherlich notwendigen Verbesserungen vorhandener Systeme dürfen die vielen technologischen Neuerungen im Zuge der derzeitigen 4. Industrierevolution den arbeitenden Menschen nicht außer Acht lassen. Zukunftsvisionen von intelligenten Kühlschränken, die Bestellungen autonom auslösen und Drohnen, die Waren aus den Zentrallägern direkt zum Kunden liefern und damit den klassischen Supermarkt ablösen, stehen sicherlich noch am Anfang ihrer Entwicklung. Es bleibt auch fraglich, ob sich derartige Entwicklungen gänzlich im gesamten Lebensmittelsektor durchsetzen werden, oder ob der Kunde nicht doch weiterhin die eigene Produktauswahl im Supermarkt bevorzugt.

Das manuelle Kommissionieren kann bereits durch vollautomatische Systeme wie beispielsweise OPM (Order Picking Machinery) von WITRON ersetzt werden, bei dem Handeseinheiten vollautomatisch, vom Wareneingang über die Lagerung bis hin zur filialgerechten, fehlerfreien Kommissionierung und dem Versand der Auftragspaletten, bearbeitet werden (N.N. 2017d). OPM wurde auch im Tiefkühlbereich bereits erfolgreich eingesetzt, allerdings eignet sich das System nicht für bestehende Warenverteilzentren, sondern wird vielmehr im Zuge kompletter Neubauten implementiert werden können. Aber auch Neuerungen innerhalb der bestehenden Systeme können den Kommissionierer bei seinem täglichen Arbeitseinsatz entlasten. So konnte beispielsweise der Einsatz von Pick-by-Voice-Systemen das Bearbeiten von Setzlisten mit Papier und Bleistift im Tiefkühlager ablösen und damit die Kommissionierzeit und auch das Fehlerrisiko deutlich reduzieren. Die Kommissionierzeit um bis zu 30% reduzieren soll auch der neue autonom fahrende Horizontalkommissionierer „iGo neo CX 20“ von Still, der sich intuitiv am Standort des Kommissionierers orientiert und mitfährt. Das Fahrzeug kann bisher wegen technologisch unzureichend ausgereifter Sensoren im Tiefkühlbereich nicht zuverlässig eingesetzt werden, obwohl ein Einsatz aus mehreren Gründen zu befürworten wäre: Die Kommissionier- und somit die Kälteexpositionen würden deutlich reduziert. Der Kommissionierer würde größere Strecken zu Fuß neben dem Fahrzeug zurücklegen, anstatt von Ware zu Ware zu fahren. Durch die erhöhte Muskelarbeit würde die körpereigene Wärmeproduktion weiter erhöht und der Wärmeeintrag in die Beine und Füße gesteigert, was einer Auskühlung entgegen wirken würde. Das zusätzliche Gehen wäre aus ergonomischer Sicht für den

gesamten Bewegungsapparat und die allgemeine Leistungssteigerung durchaus zu befürworten. Des Weiteren würde der Kommissionierer durch die geringeren Fahrtstrecken weniger dem Fahrtwind ausgesetzt werden, der insbesondere die Gesichtspartie empfindlich auskühlen lässt. Eine arbeitswissenschaftliche Analyse derartiger neuer Arbeitsbedingungen, die eine Reduzierung der „physiologischen Kosten“ erwarten lassen, wäre sobald der Einsatz in tiefer Kälte sichergestellt werden kann, durchaus sinnvoll.

Bei der Arbeitsplatzgestaltung des Kältekommissionierers scheint eine Differenzierung nach Alter und Geschlecht nicht notwendig zu sein, solange Unternehmen den zuvor vorgestellten Empfehlungen hinsichtlich der Arbeits- und Pausenzeiten und der Beschaffung der Kälteschutzkleidung folgen, und auch den Einsatz neuer und zuweilen auch kostspieliger Technologien nicht scheuen, die sich aber langfristig durchaus amortisieren können. Aber auch die Arbeitnehmer sind gefordert, eine gesunde Lebensweise an den Tag zu legen, bspw. bestehend aus regelmäßiger körperlicher Aktivität, gesunder Ernährung, dem Verzicht auf Nikotin und nur mäßigem Alkoholkonsum. Wie die vorliegenden Untersuchungen belegen, ist letztlich nicht das Alter oder das Geschlecht entscheidend, sondern vielmehr die individuelle Konstitution. Daher sollten Betriebe, ähnlich wie Krankenkassen, Anreizsysteme schaffen, die dazu beitragen, dass der Arbeitnehmer seine Gesundheit nachhaltig fördert. Letztlich dient das dem Erhalt der Arbeitsfähigkeit und damit auch der Minimierung betrieblicher Kosten.



## 10 Literaturverzeichnis

---

1. ADOLPH, E.F. and G.W. MOLNAR: Exchanges of heat and tolerances to cold in men exposed to outdoor weather.  
*American Journal of Physiology* 146, 507-537 (1946)
2. AHERNE, W. and D. HULL: Brown adipose tissue and heat production in the newborn infant.  
*Journal of Pathology and Bacteriology* 91(1), 223-234 (1966)
3. ALLAN, R.: Smart Pill goes on a fantastic voyage. *Electronic Design Magazine*, <http://electronicdesign.com/interconnects/smart-pill-goes-fantastic-voyage>, 2006
4. AMERY, A.; WASIR, H.; BULPITT, C.; CONWAY, J.; FAGARD, R.; LIJNEN, P. and T. REYBROUCK: Aging and the cardiovascular system.  
*Acta Cardiologica* 33(6), 443-467 (1978)
5. ANDERSON, G.S.: Human morphology and temperature regulation.  
*International Journal of Biometeorology* 43(3), 99-109 (1999)
6. ARMSTRONG, N. and J.R. WELSMAN: Peak oxygen uptake to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans.  
*European Journal of Applied Physiology* 85(6), 546-551 (2001)
7. ARNOLD, D.: Intralogistik – Potentiale, Perspektiven, Prognosen.  
Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2006
8. ARNOLD, D. und K. FURMANS: Materialfluss in Logistiksystemen.  
Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2009
9. ASCHOFF, J.: Hauttemperatur und Hautdurchblutung im Dienst der Temperaturregulation.  
*Klinische Wochenschrift* 36(5), 193-202 (1958)
10. ASCHOFF, J.: Temperaturregulation. In: GAUER, O.H.; KRAMER, K. und R. JUNG (Hrsg.): Physiologie des Menschen, Band 2: Energiehaushalt und Temperaturregulation.  
Urban und Schwarzenberg, München/Berlin/Wien, 1971
11. ÅSTRAND, I.: The physical work capacity of workers 50-64 years old.  
*Acta Physiologica Scandinavica* 42(1), 73-86 (1958)
12. ÅSTRAND, I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age.  
*Acta Physiologica Scandinavica* 49(Suppl 169), 1-92 (1960)
13. ÅSTRAND, P.O. and K. RODAHL: Textbook of work physiology.  
McGraw-Hill Book Company, New York, 1970
14. ÅSTRAND, P.O.; RODAHL, K.; DAHL, H.A. and S.B. STROMME: Textbook of Work Physiology – Physiological Bases of Exercise.  
4<sup>th</sup> Edition, Human Kinetics Publishers, Leeds, 2003

15. AUGUST, P. and S. OPARIL: Hypertension in women.  
*Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 84(6), 1862-1866 (1999)
16. AUSTIN, D.M. and M.W. LANSING: Body size and heat tolerance: a computer simulation.  
*Human Biology* 58(2), 153-169 (1986)
17. BAER, F.M.: Arterielle Hypertonie. In: ERDMANN, E. (Hrsg.): *Klinische Kardiologie – Krankheiten des Herzens, des Kreislaufs und der herznahen Gefäße*. 7. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage,  
Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2009
18. BAFITIS, H. and F. SARGENT: Human physiological adaptability through the life sequence.  
*Journal of Gerontology* 32(4), 402-410 (1977)
19. BAR-OR, O.: Effects of age and gender on sweating pattern during exercise.  
*International Journal of Sports Medicine* 19(Suppl 2), S106-S107 (1998)
20. BARBAGALLO, M.; DOMINGUEZ, L.J.; LICATA, G.; SHAN, J.; BING, L.; KARPINSKI, E.; PANG, P.K. and L.M. RESNICK: Vascular effects of progesterone: role of cellular calcium regulation.  
*Hypertension* 37(1), 142-147 (2001a)
21. BARBAGALLO, M.; DOMINGUEZ, L.J.; LICATA, G.; RUGGERO, R.; LEWANCZUK, R.Z.; PANG, P.K. and L.M. RESNICK: Effect of testosterone on intracellular  $Ca^{++}$  in vascular smooth muscle cells.  
*American Journal of Hypertension* 14(12), 1273-1275 (2001b)
22. Batcho, C.S.; Thonnard, J.L. and H. Nielens: PWC 75%/kg, a fitness index not linked to resting heart rate: testing procedure and reference values.  
*Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 93(7), 1196-1200 (2012)
23. BEHNKE, A. and J. WILMORE: Evaluation and regulation of body build and composition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1974
24. BEHRENDTS, J.C.; BISCHOFBERGER, J.; DEUTZMANN, R.; EHMKE, H.; FRINGS, S.; GRISSMER, S.; HOTH, M.; KURTZ, A.; LEIPZIGER, J.; MÜLLER, F.; PEDAIN, C.; RETTIG, J.; WAGNER, C. und E. WISCHMEYER:  
*Physiologie*,  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2010
25. BELLMANN, L.; DUMMERT, S.; EBBINGHAUS, M.; KREKEL, E.M. und U. LEBER: Qualifizierung von Beschäftigten in einfachen Tätigkeiten und Fachkräftebedarf.  
*Zeitschrift für Weiterbildungsforschung* 38(2), 287-301 (2015)
26. BENZINGER, T.H.: On physical heat regulation and the sense of temperature in man. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 45(4), 645-659 (1959)
27. BERNSTEIN, L.M.; JOHNSTON, L.C.; RYAN, R.; INOUE, T. and F.K. HICK: Body composition as related to heat regulation in women.  
*Journal of Applied Physiology* 9(2), 241-256 (1956)

28. BICHLER, K.; KROHN, R.; RIEDEL, G. und F. SCHÖPPACH: Beschaffungs- und Lagerwirtschaft – Praxisorientierte Darstellung der Grundlagen, Technologien und Verfahren. 9. aktualisierte und überarbeitete Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010
29. BIRBAUMER, N. und R.F. SCHMIDT: Biologische Psychologie. 6. vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2006
30. BOGIN, B. and I. VARELA-SILVA: The body mass index: the good, the bad and the horrid.  
*Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie* 18(2), 5-11 (2012)
31. BOOTHBY, W.M.; BERKSON, J. and H.L. DUNN: Studies of the energy metabolism of normal individuals, a standard for basal metabolism, with a nomogram for clinical application.  
*American Journal of Physiology* 116, 468-484 (1936)
32. BORTZ, J. und C. SCHUSTER: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 7. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2010
33. BOSCH, K.: Statistik-Taschenbuch. 3. verbesserte Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München/Wien, 1998
34. BRANDSTRÖM, H.: Accidentell hypotermi. In: HOLMÉR, I.; JOHANSSON, B.W.; GYLLERUP, S. och H. LUNDGREN: Kyla på gott och ont. Arbete och hälsa, Vetenskaplig Skriftserie, Arbetslivsinstitutet, Solna, 1996
35. BRÄUER, A.; WEYLAND, W.; FRITZ, U.; SCHUHMANN, M.U.; SCHMIDT, J.H. und U. BRAUN: Bestimmung der Körperkerntemperatur – Ein Vergleich von Ösophagus-, Blasen- und Rektaltemperatur während der postoperativen Wiedererwärmung.  
*Anaesthesist* 46, 683-688 (1997)
36. BRINNEL, H. and M. CABANAC: Tympanic temperature is a core temperature in humans.  
*Journal of Thermal Biology* 14, 47-53 (1989)
37. BRÖDE, P.; KUKLANE, K. and G. HAVENITH: Thermische Beanspruchung in Schutzkleidung – Ergebnisse eines europäischen Verbundprojekts.  
*Technische Überwachung* 51(6), 14-18 (2010)
38. BROOKS, G.; FAHEY, T.D. and T.P. WHITE: Exercise Physiology: Human bioenergetics and its applications. 2<sup>nd</sup> Edition, Mayfield Publishing Company, London/Toronto, 1996
39. BUDD, G.M. & N. WARHAFT: Body temperature, shivering, blood pressure and heart rate during a standard cold stress in Australia and Antarctica.  
*Journal of Physiology* 186(1), 216-232 (1966)

40. BUESS, C.; SCHLEGELMILCH, R.M. und R. KRAMME:  
Lungenfunktionsdiagnostik. In: KRAMME, R. (Hrsg.): *Medizintechnik: Verfahren – Systeme – Informationsverarbeitung*. 5. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage.  
Springer-Verlag, Berlin, 2017
41. BÜRKLEIN, M.; VOGT, L. und W. BANZER: Messverfahren zur Erfassung der Herzfrequenzvariabilität – Eine vergleichende Studie.  
*Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 56(12), 415-420 (2005)
42. BURSE, R.L.: Sex differences in human thermoregulatory response to heat and cold stress.  
*Human Factors* 21(6), 687-699 (1979)
43. BUX, K.: *Klima am Arbeitsplatz. Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfsanalyse für weitere Forschungen*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA),  
Dortmund/Berlin/Dresden, 2006
44. CAMILLERI, M.; THORNE, N.K.; RINGEL, Y.; HASLER, W.L.; KUO, B.; ESFANDYARI, T.; GUPTA, A.; SCOTT, S.M.; MCCALLUM, R.W.; PARKMAN, H.P.; SOFFER, E.; WILDING, G.E.; SEMLER, J.R. and S.S.C. RAO: Wireless pH-motility capsule for colonic transit: Prospective comparison with radiopaque markers in chronic constipation.  
*Neurogastroenterology & Motility* 22(8), 874-882 (2010)
45. CANNIZZARO, M.: Pills that talk back. *Business 2.0 Magazine*,  
[http://money.cnn.com/magazines/business2/business2\\_archive/2007/07/01/100117046/index.htm](http://money.cnn.com/magazines/business2/business2_archive/2007/07/01/100117046/index.htm), 2007
46. CANNON, B. and J. NEDERGAARD: Brown adipose tissue: function and physiological significance.  
*Physiological Reviews* 84(1), 277-359 (2004)
47. CASTELLANI, J.W. and C. O'BRIEN: Peripheral vasodilation responses to prevent local cold injuries. In: *Prevention of cold injuries*. Meeting Proceedings NATO RTO-MP-HFM-126 Keynote 2, KN2-1 – KN2-14, Neuilly-sur-Seine, France, 2005
48. CHEN, F.; LI, T.; HUANG, H. and I. HOLMÉR: A field study of cold effects among cold store workers in China.  
*Arctic Medical Research* 50(Suppl 6), 99-103 (1991)
49. CHEN, Y.S.; FAN, J. and X. QIAN: Effect of garment fit on thermal insulation and evaporative resistance.  
*Textile Research Journal* 74(8), 742-748 (2004)
50. CHEUNG, S.S.; MCLELLAN, T.M. and S. TENAGLIA: The thermophysiology of uncompensable heat stress. Physiological manipulations and individual characteristics.  
*Sports Medicine* 29(5), 329-359 (2000)

51. CHILDS, C.; HARRISON, R. and C. HODKINSON: Tympanic membrane temperature as a measure of core temperature.  
*Archives of Disease in Childhood* 80, 262-266 (1999)
52. CHRISTENSEN, C.R.; CLARK, P.B. and K.A. MORTON: Reversal of hypermetabolic brown adipose tissue in F-18 FDG PET imaging.  
*Clinical Nuclear Medicine* 31(4), 193-196 (2006)
53. CLAUB, G. und H. EBNER: Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen.  
Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a.M./Zürich, 1972
54. COBB, F.R.; SULLIVAN, M.J.; HIGGINBOTHAM, M.B. and D. KITZMAN: Aging: can the effects be prevented? In: SALTIN, B.; BOUSHELL, R.; SECHER, N. and J.H. MITCHELL (Eds.): Exercise and circulation in health and disease. pp. 245-256, Human Kinetics Publishers, Leeds, 2000
55. COLLINS, K.J.; DORE, C.; EXTON-SMITH, A.N.; FOX, R.H.; MACDONALD, I.C. and P.M. WOODWARD: Accidental hypothermia and impaired temperature homeostasis in the elderly.  
*British Medical Journal* 1(6057), 353-356 (1977)
56. COLLINS, K.J.; ABDEL-RAHMAN, T.A.; EASTON, J.C.; SACCO, P.; ISON, J. and C.J. DORÉ: Effects of facial cooling on elderly and young subjects: interactions with breath-holding and lower body negative pressure.  
*Clinical Science* 90(6), 485-492 (1996)
57. COOPER, K.E.; CRANSTON, W.I. and E.S. SNELL: Temperature in the external auditory meatus as an index of central temperature changes.  
*Journal of Applied Physiology* 19, 1032-1035 (1964)
58. CUNNINGHAM, D.J.; STOLWIJK, J.A and C.B. WENGER: Comparative thermoregulatory responses of resting men and women.  
*Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 45(6), 908-915 (1978)
59. DANIELSSON, U.: Windchill and the risk of tissue freezing.  
*Journal of Applied Physiology* 81(6), 2666-2673 (1996)
60. DAY, R.: Regional heat loss. In: NEWBURGH, L.H. (Ed.): Physiology of heat regulation and the science of clothing.  
Hafner Publishing Co., New York/London, 1968
61. DEGROOT, D.W.; HAVENITH, G. and W.L. KENNEY: Responses to mild cold stress are predicted by different individual characteristics in young and older subjects.  
*Journal of Applied Physiology* 101(6), 1607-1615 (2006)
62. DEGROOT, D.W. and W.L. KENNEY: Impaired defense of core temperature in aged humans during mild cold stress.  
*American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 292(1), R103-R108 (2007)



63. DELP, H.L. and A. NEWTON: Effects of brief cold exposure on finger dexterity and sensibility in subjects with Raynaud's phenomenon.  
*Physical Therapy* 66(4), 503-507 (1986)
64. Deutsches Tiefkühlinstitut e.V.: Cool Facts, Tiefkühlkost 2014 – Zahlen, Daten, Fakten. Berlin, 2015
65. DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.) (Hrsg.): Ernährungsbericht 1992, Frankfurt a.M., 1992
66. DGSP (Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention e.V.): Leitlinien zur Belastungsuntersuchung in der Sportmedizin, 2002
67. DICKEY, W.T.; AHLGREN, E.W. and C.R. STEPHEN: Body temperature monitoring via the tympanic membrane. In: MCLEAN, J.A. (Ed.): The tympanic thermometer in the operating room environment. Radiation Systems, New York, 1969
68. DIENEL, H.-L.: Die Linde AG: Geschichte eines Technologiekonzerns 1879-2004.  
C.H. Beck Verlag, München, 2004
69. DOLAN, E.; STANTON, A.; ATKINS, N.; DEN HOND, E.; THIJS, L.; MCCORMACK, P.; STAESSEN, J. and E. O'BRIEN: Determinants of white-coat hypertension.  
*Blood Pressure Monitoring* 9(6), 307-309 (2004)
70. DORMAN, L.E.: The effects of protective clothing and its properties on energy consumption during different activities.  
Doctoral Thesis, Loughborough University, 2007
71. DOVRAT, E. and M. KATZ-LEURER: Cold exposure and low back pain in store workers in Israel.  
*American Journal of Industrial Medicine* 50(8), 626-631 (2007)
72. DRANSFELD, B. und H. MELLEROWICZ: Untersuchungen über das Verhalten der Herzschlagfrequenz während und nach körperlichen Leistungen.  
*European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 16, 464-471 (1957)
73. DUBOIS, D. and E.F. DUBOIS: A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known.  
*Archives of Internal Medicine, Clinical Calorimetry X* 17, 863-871 (1916)
74. EAGAN, C.J.: Introduction and terminology: Habituation and peripheral tissue adaptations. *Federation Proceedings* 22, 930-933 (1963)
75. EHMKE, H.: Das Kreislaufsystem. In: KLINKE, R.; PAPE, H.-C.; KURTZ, A. und S. SILBERNAGL (Hrsg.): Physiologie. 6. vollständig überarbeitete Auflage,  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York, 2010
76. ELMADFA, I. und C. LEITZMANN: Ernährung des Menschen.  
utb Verlag, Stuttgart, 2015

77. ENANDER, A.: Performance and sensory aspects of work in cold environments: a review.  
*Ergonomics* 27(4), 365-378 (1984)
78. ENANDER, A.; LJUNGBERG, A.-S. and I. HOLMÉR: Effects of work in cold stores on man.  
*Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 5(3), 195-204 (1979)
79. ENKE, J.: Vergleichsstudie zwischen diskontinuierlicher Infrarotmessung und kontinuierlicher Sensormessung der Tympanumtemperatur bei Umgebungstemperaturen von +18°C, +3°C und -24°C.  
Studienarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie der Universität Siegen, Siegen, 2012
80. EPSTEIN, Y. and E. SOHAR: Fluid balance in hot climates: Sweating, water intake, and prevention of dehydration.  
*Public Health Reviews* 13(1-2), 115-137 (1985)
81. ERVASTI, O.; JUOPPERI, K.; KETTUNEN, P.; REMES, J.; RINTAMÄKI, H.; LATVALA, J.; PIHLAJANIEMI, R.; LINNA, T. and J. HASSI: The occurrence of frostbite and its risk factors in young men.  
*International Journal of Circumpolar Health* 63(1), 71-80 (2004)
82. EYOLFSON, D.A.; TIKUISIS, P.; XU, X.J.; WESEEN, G. and G.G. GIESBRECHT: Measurement and prediction of peak shivering intensity in humans.  
*European Journal of Applied Physiology* 84(1-2), 100-106 (2001)
83. FALK, B.; BAR-OR, O.; SMOLANDER, J. and G. FROST: Response to rest and exercise in the cold: effects of age and aerobic fitness.  
*Journal of Applied Physiology* 76(1), 72-78 (1994)
84. FAULKNER, J.A.; ZERBA, E. and S.V. BROOKS: Muscle temperature of mammal: cooling impairs most functional properties.  
*American Journal of Physiology* 259(2), R259-R265 (1990)
85. FERRANNINI, E.: The theoretical bases of indirect calorimetry: A review.  
*Metabolism* 37(3), 287-301 (1988)
86. FINGER, J.D.; KRUG, S.; GÖBWALD, A.; HÄRTEL, S. und K. BÖS: Kardiorespiratorische Fitness bei Erwachsenen in Deutschland – Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1).  
*Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 5/6, 772-778 (2013)
87. FISHER, R.A.: Statistical Methods for Research Workers. 1<sup>st</sup> Edition, Oliver and Boyd, London, 1925
88. FLEG, J.L.: Effects of aging on the cardiovascular response to exercise. In: FLETCHER, G.F. (Ed.): Cardiovascular response to exercise. pp. 387-404, Futura Publishing Company, Mount Kisco, 1994

89. FLOURIS, A.D. and S.S. CHEUNG: Design and control optimization of microclimate liquid cooling systems underneath protective clothing. *Annals of Biomedical Engineering* 34(3), 359-372 (2006)
90. FONESCA, G.F.: Heat-transfer properties of ten underwear – outerwear ensembles. *Textile Research Journal* 40(6), 553-558 (1970)
91. FOLK, G.E. Jr.: Textbook of Environmental Physiology. 2<sup>nd</sup> Edition, Lea & Febiger, Philadelphia, 1974
92. FORSTHOFF, A.: Arbeit in -28°C. Arbeitsphysiologische Untersuchungen zur klimatischen Belastung bei Körperarbeit in extrem tiefen Umgebungstemperaturen unter besonderer Berücksichtigung der Kühlhausarbeit. Dokumentation Arbeitswissenschaft, Band 9, Otto Schmidt Verlag, Köln, 1983
93. FOX, R.H. and O.G. EDHOLM: Nervous control of the cutaneous circulation. *British Medical Bulletin* 19, 110-114 (1963)
94. FOX, S.M.; NAUGHTON, J.P. and W.L. HASKELL: Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Annals of Clinical Research* 3(6), 404-432 (1971)
95. FRANK, S.M.; RAJA, S.N.; BULCAO, C. and D.S. GOLDSTEIN: Age-related thermoregulatory differences during core cooling in humans. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 279(1), R349-R354 (2000)
96. FREDRIKSEN, P.M.; INGJER, F.; NYSTAD, W. and E. THAULOW: A comparison of VO<sub>2</sub>(peak) between patients with congenital heart disease and healthy subjects, all aged 8-17 years. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 80(5), 409-416 (1999)
97. FRIEDRICH, O.: Physiologie In: PRIEWE, J. und D. TÜMMERS (Hrsg.): Kompendium Vorklinik – GK1. Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2007
98. FRÖMKE, J.: Standardoperationen in der Gefäßchirurgie. Steinkopff Verlag, Darmstadt, 2006
99. FRYE, A.J. and E. KAMON: Responses to dry heat of men and women with similar aerobic capacities. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 50(1), 65-70 (1981)
100. FUKAZAWA, T.; LEE, G.; MATSUOKA, T.; KANO, K. and Y. TOCHIHARA: Heat and water vapor transfer of protective clothing systems in a cold environment, measured with a newly developed sweating thermal manikin. *European Journal of Applied Physiology* 92(6), 645-648 (2004)

101. GAGGE, A.P. and R.R. GONZALES: Mechanisms of heat exchange. Handbook of Physiology. Environmental Physiology, American Physiological Society, Bethesda, 45-84, 1996
102. GAGNON, D.; JAY, O.; LEMIRE, B. and G.P. KENNY: Sex-related differences in evaporative heat loss: the importance of metabolic heat production. *European Journal of Applied Physiology* 104(5), 821-829 (2008)
103. GAGNON, D.; DORMAN, L.E.; JAY, O.; HARDCASTLE, S. and G.P. KENNY: Core temperature differences between males and females during intermittent exercise: physical considerations. *European Journal of Applied Physiology* 105(3), 453-461 (2009)
104. GARCIA, C.A.; VAN NOSTRAND, D.; ATKINS, F.; ACIO, E.; BUTLER, C.; ESPOSITO, G.; KULKARNI, K. and M. MAJD: Reduction of brown fat 2-deoxy-2-[F-18]fluoro-D-glucose uptake by controlling environmental temperature prior to positron emission tomography scan. *Molecular Imaging and Biology* 8(1), 24-29 (2006)
105. GARCIA, C.A., VAN NOSTRAND, D.; MAJD, M.; ATKINS, F.; ACIO, E.; SHEIKH, A. and C. BUTLER: Benzodiazepine-resistant "brown fat" pattern in positron emission tomography: two case reports of resolution with temperature control. *Molecular Imaging and Biology* 6(6), 368-372 (2004)
106. GAVHED, D.; MÄKINEN, T.; HOLMÉR, I and H. RINTAMÄKI: Face temperature and cardiorespiratory responses to wind in thermoneutral and cool subjects exposed to -10 degrees C. *European Journal of Applied Physiology* 83(4-5), 449-456 (2000)
107. GEBHARDT, H. und B.H. MÜLLER: Ergonomische Gestaltung von Kältarbeitsplätzen. Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 121 – Forschungsergebnisse für die Praxis. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA), Dortmund, 2000
108. GEESE, S.: Validierung des Einflusses von Kühl- und Tiefkühlhauskleidung auf Körperkerntemperatur und Energieumsatz. Studienarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie der Universität Siegen, Siegen, 2012
109. GEKLE, M. und D. SINGER: Temperaturregulation und Wärmehaushalt. In: KLINKE, R.; PAPE, H.-C.; KURTZ, A. und S. SILBERNAGL (Hrsg.): Physiologie. 6. vollständig überarbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York, 2010
110. GERKING, H.: Kommissionierstrategien: Schleife, Stichgang, Walking the U. In: PULVERICH M. und J. SCHIETINGER (Hrsg.): Handbuch Kommissionierung – Effizient Picken und Packen. Verlag Heinrich Vogel, München, 2009
111. GERSTENBLITH, G.; FREDERIKSEN, J.; YIN, F.C.; FORTUIN, N.J.; LAKATTA, E.G. and M.L. WEISFELDT: Echocardiographic assessment of a normal adult aging population. *Circulation* 56(2), 273-278 (1977)

112. GLEISSNER, H. und C. FEMERLING: Logistik – Grundlagen, Übungen, Fallbeispiele.  
Gabler Verlag, Wiesbaden, 2008
113. GOLBABAIEI, F.; SAJJADI, M.-H.; JELYANI, K.N. and F. AKBAR-KHANZADEH: Assessment of cold stress and its effects on workers in a cold-storage warehouse.  
*International Journal of Occupational Hygiene* 1(1), 9-13 (2008)
114. GOLOZOUBOVA, V.; HOHTOLA, E.; MATTHIAS, A.; JACOBSSON, A.; CANNON, B. and J. NEDERGAARD: Only UCP1 can mediate adaptive nonshivering thermogenesis in the cold.  
*EASEB Journal* 15(11), 2048-2050 (2001)
115. GORE, C.J.; BOOTH, M.L.; BAUMANN, A. and N. OWEN: Utility of pwc75% as an estimate of aerobic power in epidemiological and population-based studies.  
*Medicine and Science in Sports and Exercise* 31(2); 348-351 (1999)
116. GRANDJEAN, E.: Die Luftfeuchtigkeit.  
*Zeitschrift für Präventivmedizin* 7(1), 405-418 (1962)
117. GRANDJEAN, E.: Physiologische Arbeitsgestaltung.  
ecomед, Landsberg, 1991
118. GREEN, H.D. and J.H. KEPCHAR: Control of peripheral resistance in major systemic vascular beds.  
*Physiological Reviews* 39(3), 617-686 (1959)
119. GRIEFAHN, B.; MEHNERT, P.; BRÖDE, P. and A. FORSTHOFF: Working in moderate cold: A possible risk to health.  
*Journal of Occupational Health* 39(1), 36-44 (1997)
120. GRIFFEL, C.: Energieumsatzmessung im Bereich der Dauerleistungsgrenze – Anwendung und Vergleich von Partial- und Integralmethode.  
Bachelorarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie der Universität Siegen, Siegen, 2014
121. HABERL, D.: Der Mensch in der Kommissionierung.  
In: PULVERICH, M. und J. SCHIETINGER (Hrsg.): Handbuch Kommissionierung – Effizient Picken und Packen.  
Verlag Heinrich Vogel, München, 2009
122. HACKE, K.: Herzfrequenzmessungen – Vergleich zwischen Polar S810i, Suunto t6 und mobilem EKG-Gerät.  
Masterarbeit, Institut für Sportwissenschaft, Philosophische Fakultät, Universität Rostock, 2008
123. HÄCKER, H.: Psychologische Determinanten von Kältarbeit bei -30°C.  
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschung, Wirtschaftsverlag NW, Dortmund, 1989

124. HANSEN, M.J.; VAN DER LANS, A.A.; BRANS, B.; HOEKS, J.; JARDON, K.M.; SCHAART, G.; MOTTAGHY, F.M.; SCHRAUWEN, P. and W.D. VAN MARKEN LICHTENBELT: Short-term cold acclimation recruits brown adipose tissue in obese humans.  
*Diabetes* 65(5), 1179-1189 (2016)
125. HARDY, J.D. and E.F. DU BOIS: Differences between men and women in their response to heat and cold.  
*Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America* 26(6), 389-398 (1940)
126. HARRIS, J.A. and F.G. BENEDICT: A biometric study of human basal metabolism.  
*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 4(12), 370-373 (1918)
127. HART, J.S.: Climatic and temperature induced changes in the energetics of homeotherms.  
*Revue Canadienne de Biologie* 16(2), 133-174 (1957)
128. HASSI, J.; RYTKÖNEN, M.; KOTANIEMI, J. and H. RINTAMÄKI: Impacts of cold climate on human heat balance, performance and health in circumpolar areas.  
*International Journal of Circumpolar Health* 64(5), 459-467 (2005)
129. HAVENTH, G.: Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response.  
*Journal of Applied Physiology* 90(5), 1943-1954 (2001)
130. HAVENTH, G.: Interaction of clothing and thermoregulation.  
*Exogenous Dermatology* 1(5), 221-230 (2002)
131. HAVENTH, G.; COENEN, J.M.; KISTEMAKER, L. and W.L. KENNEY: Relevance of individual characteristics for human heat stress response is dependent on exercise intensity and climate type.  
*European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 77(3), 231-241 (1998)
132. HAVENTH, G.; HOLMÉR, I.; DEN HARTOG, E.A. and K.C. PARSONS: Clothing evaporative heat resistance – Proposal for improved representation in standards and models.  
*Annals of Occupational Hygiene* 43(5), 339-346 (1999)
133. HEIBA, S.I.; BERNIK, S.; RAPHAEL, B.; SANDELLA, N.; CHOLEWINSKI, W. and P. KLEIN: The distinctive role of positron emission tomography/computed tomography in breast carcinoma with brown adipose tissue 2-fluoro-2-deoxy-d-glucose uptake.  
*Breast Journal* 11(6), 457-461 (2005)
134. HEISING, M.: Die thermoregulatorische Ansteuerung der lokalen Schweißrate des Menschen.  
Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1989

135. HENSEL, H.: Temperaturempfindung und intracutane Wärmebewegung.  
*Pflügers Archive* 252, 165-215 (1950)
136. HENSEL, H.: Temperaturregulation. In: KEIDEL, W.D. (*Hrsg.*): Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie. 6. überarbeitete Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1985
137. HERRICK, A.L.: Raynaud's Phenomenon. In: GEROULAKOS, G.; VAN URK, H. and R.W. HOBSON II (*Eds.*): *Vascular Surgery: Cases, Questions and Commentaries*. 2<sup>nd</sup> Edition, Springer-Verlag, London, 2006
138. HETTINGER, T.: *Isometrisches Muskeltraining*. 3. Auflage, Thieme-Verlag, Stuttgart, 1968
139. HETTINGER, T.; KAMINSKY, G. und H. SCHMALE: *Ergonomie am Arbeitsplatz. Daten zur menschengerechten Gestaltung der Arbeit*. 2. Auflage, Kiehl Verlag, Ludwigshafen, 1980
140. HETTINGER, T. und B.H. MÜLLER: *Ergonomie*. In: REICHEL, G. (*Hrsg.*): *Grundlagen der Arbeitsmedizin*. Kohlhammer, Stuttgart/Berlin/Köln/Main, 1985
141. HILL, A.V. and H. LUPTON: Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen.  
*The Quarterly Journal of Medicine* 16, 135-171 (1923)
142. HOLMÉR, I.: Work in the cold.  
*International Archives of Occupational and Environmental Health* 65(3), 147-155 (1993)
143. HOLMÉR, I. and D. GAVHED: Classification of metabolic and respiratory demands in fire fighting activity with extreme workloads.  
*Applied Ergonomics* 38(1), 45-52 (2007)
144. HOPPELER, H.; LÜTHI, P.; CLAASSEN, H.; WEIBEL, E.R. and H. HOWALD: The ultrastructure of the normal human skeletal muscle. A morphometric analysis on untrained men, women and well-trained orienteers.  
*Pflügers Archiv: European Journal of Physiology* 344(3), 217-232 (1973)
145. HORVATH, S.M.; RADCLIFFE, C.E.; HUTT, B.K. and G.B. SPURR: Metabolic responses of old people to a cold environment.  
*Journal of Applied Physiology* 8(2), 145-148 (1955)
146. HORVATH, S.M.; SPURR, G.B.; HUTT, B.K. and L.H. HAMILTON: Metabolic cost of shivering.  
*Journal of Applied Physiology* 8(6), 595-602 (1956)
147. HOTTENROTT, K. *Trainingskontrolle mit Herzfrequenz-Messgeräten*. 2. Auflage, Meyer & Meyer Verlag, Aachen 2007

148. HOTTENROTT, K.: Die sportliche Frau: Leistungsphysiologische Unterschiede zum Mann – Relevanz für die ärztliche Beratung.  
*Gynäkologie* 3, 6-10 (2015)
149. HOTTENROTT, K. und G. NEUMANN: Geschlechtsspezifität der Trainingsherzfrequenz bei Ausdauerbelastungen.  
*Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 58(7-8), 275 (2007)
150. HOTTENROTT, K. und G. NEUMANN: Geschlechtsspezifische Formel für optimale Trainingsherzfrequenzen.  
*Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie* 60(3), 202-205 (2012)
151. HUCH, R. und C. BAUER (Hrsg.): Mensch, Körper, Krankheit. Anatomie, Physiologie, Krankheitsbilder. Lehrbuch und Atlas für die Berufe im Gesundheitswesen. 4. überarbeitete und erweiterte Auflage.  
Urban & Fischer Verlag, München, 2003
152. IMRIE, M.M. and G.M. HALL: Body temperature and anaesthesia.  
*British Journal of Anaesthesia* 64, 346-354 (1990)
153. INOUE, Y.; NAKAO, M.; ARAKI, T. and H. UEDA: Thermoregulatory responses of young and older men to cold exposure.  
*European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 65(6), 492-498 (1992)
154. IUPS Thermal Commission: Glossary of terms for thermal physiology.  
*Japanese Journal of Physiology* 51(2), 245-280 (2001)
155. JANCZYK, M. und R. PFISTER: Inferenzstatistik verstehen.  
Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2013
156. JAY, O.; GARIEPY, L.M.; REARDON, F.D.; WEBB, P.; DUCHARME, M.B., RAMSAY, T. and G.P. KENNY: A three-compartment thermometry model for the improved estimation of changes in body heat content.  
*American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 292(1), R167-R175 (2007)
157. JÜNEMANN, R. und T. SCHMIDT: Materialflusssysteme – Systemtechnische Grundlagen.  
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1999
158. KAMPMANN, B.: Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlebergbau.  
Habilitationsschrift, Bergische Universität – Gesamthochschule Wuppertal, 2000
159. KARRASCH, K. und E.A. MÜLLER: Das Verhalten der Pulsfrequenz in der Erholungsperiode nach körperlicher Arbeit.  
*Arbeitsphysiologie* 14(5), 369-382 (1951)
160. KAUFMAN, R.D.: Relationship between esophageal temperature gradient and heart and lung sounds heard by esophageal stethoscope.  
*Anesthesia and Analgesia* 66(10), 1046-1048 (1987)



161. KEATINGE, W.R. and P. CANNON: Freezing-point of human skin.  
*Lancet* 1(7114), 11-14 (1960)
162. KEIM, S.M.; GUISTO, J.A. and J.B. SULLIVAN Jr.: Environmental thermal stress.  
*Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 9(1), 1-15 (2002)
163. KEUL, J. und A. BERG: Energiestoffwechsel und körperliche Leistung. In: HOLLMANN, W.: Zentrale Themen der Sportmedizin. pp. 196-243, 3. neu bearbeitete und ergänzte Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1986
164. KENNEY, W.L. and C.G. ARMSTRONG: Reflex peripheral vasoconstriction is diminished in older men.  
*Journal of Applied Physiology* 80(2), 512-515 (1996)
165. KEYS, A.; FIDANZA, F.; KARVONEN, M.J.; KIMURA, N. and H.L. TAYLOR: Indices of relative weight and obesity.  
*Journal on Chronic Diseases* 25, 329-343 (1972)
166. KHAN, F.; SPENCE, V.A. and J.J. BELCH: Cutaneous vascular responses and thermoregulation in relation to age.  
*Clinical Science* 82(5), 521-528 (1992)
167. KIM, J.Y.; JUNG, K.Y.; HONG, Y.S.; KIM, J.I.; JANG, T.W. and J.M. KIM: The relationship between cold exposure and hypertension.  
*Journal of Occupational Health* 45(5), 300-306 (2003)
168. KLEINÖDER, R.: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeit bei -30°C in Kühl- und Gefrierhäusern. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschung, Wirtschaftsverlag NW, Dortmund, 1988
169. KLINGENSPOR, M.: Cold induced recruitment of brown adipose tissue thermogenesis.  
*Experimental Physiology* 88(1), 141-148 (2003)
170. KLINGENSPOR, M.: Regulation des Energiehaushalts. In: HALLER, D.; RIMBACH, G. und T. GRUNE: Biofunktionalität der Lebensmittelinhaltsstoffe. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2013
171. KLUTH, K.: Lebensalter und Kältearbeit. Fortsetzungsantrag an die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Siegen, 2009
172. KLUTH, K.; PENZKOFER, M. and H. STRASSER: Age-related analysis and assessment of the effects of working in the cold on skin-surface temperature and body-core temperature of male order-pickers. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference of Applied Human Factors and Ergonomics (AEI 2008), 8pp. Las Vegas, USA, 2008

173. KLUTH, K.; PENZKOFER, M. and H. STRASSER: Physiological responses of core and skin temperature of two age groups to working in the cold at +3°C and -24°C.  
*Occupational Ergonomics* 8(4), 147-157 (2008/2009)
174. KLUTH, K. und H. STRASSER: Bericht über die ergonomische Evaluierung der Arbeitsbedingungen und Objektivierung der Beanspruchung des Personals mit arbeitsphysiologischen Methoden sowie subjektive Beurteilung der Arbeitsbedingungen von Tiefkühlhauskommissionierern.  
Fachgebiet für Arbeitswissenschaft/Ergonomie Universität Siegen, Siegen, 2001
175. KLUTH, K. und H. STRASSER: Herzfrequenz und Blutdruck bei Tiefkühlhaus-Kommissionierern während der Arbeit bei -24°C und in der Aufwärmphase. In: Innovationen für Arbeit und Organisation. Proceedings des 52. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. 591-595, GfA-Press, Dortmund, 2006
176. KLUTH, K. and H. STRASSER: Physiological responses of heart rate and blood pressure to order-picking in deep cold.  
*Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 62(4), 239-247 (2008)
177. KOCHAN, T.I.; SHADRINA, V.D.; POTOLITSYNA, N.N.; ESEVA, T.V.; KETKINA, O.A. and N.S. BUBNOVA: Integrated evaluation of the influence of a northern environment on human metabolism and physiological and psychoemotional states.  
*Human Physiology* 34(3), 356-362 (2008)
178. KOLLMANN, C.: Optimierung des Ergospirometriesystems MetaMax 3B für den Einsatz bei Umgebungstemperaturen von ca. -24°C.  
Diplomarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie der Universität Siegen, Siegen, 2009
179. KOMULAINEN, S.; TÄHTINEN, T.; RINTAMÄKI, H.; VIROKANNAS, H. and S. KEINÄNEN-KIUKAANNIEMI: Blood pressure responses to whole-body cold exposure: effect of carvedilol.  
*European Journal of Clinical Pharmacology* 56(9-10), 637-642 (2000)
180. KOMULAINEN, S.; RINTAMÄKI, H.; VIROKANNAS, H. and S. KEINÄNEN-KIUKAANNIEMI: Blood pressure responses to whole-body cold exposure: effect of metoprolol.  
*Journal of Human Hypertension* 18(12), 905-906 (2004)
181. KORHONEN, I.: Blood pressure and heart rate responses in men exposed to arm and leg cold pressor tests and whole-body cold exposure.  
*International Journal of Circumpolar Health* 65(2), 178-184 (2006)
182. KOSKELA, H.O.: Cold air-provoked respiratory symptoms: the mechanisms and management.  
*International Journal of Circumpolar Health* 66(2), 91-100 (2007)

183. KOTANIEMI, J.T.; LATVALA, J.; LUNDBÄCK, B.; SOVIJÄRVI, A.; HASSI, J. and K. LARSSON: Does living in a cold climate or recreational skiing increase the risk for obstructive respiratory diseases or symptoms?  
*International Journal of Circumpolar Health* 62(2), 142-157 (2003)
184. KOTANIEMI, J.T.; PALLASAHO, P.; SOVIJÄRVI, A.; LAITINEN, L.A. and B. LUNDBÄCK: Respiratory symptoms and asthma in relation to cold climate, inhaled allergens and irritants.  
*The Journal of Asthma* 39(7), 649-658 (2002)
185. KRAG, C.L. and W.B. KOONTZ: Stability of body function in the aged. I. Effect of exposure of the body to cold.  
*Journal of Gerontology* 5(3), 227-235 (1950)
186. KROIDL, R.F.; SCHWARZ, S. und B. LEHNIGK: Kursbuch Spiroergometrie – Technik und Befundung verständlich gemacht. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage,  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York, 2010
187. KUCKARTZ, U.; RÄDIKER, S.; EBERT, T. und J. SCHEHL: Statistik.  
2. überarbeitete Auflage, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2013
188. KUKLANE, K.; UENO, S.; SAWADA, S.-I. and I. HOLMÉR: Testing cold protection according to EN ISO 20344: Is there any professional footwear that does not pass?  
*The Annals of Occupational Hygiene* 53(1), 63-68 (2009)
189. KUO, B.; MCCALLUM, R.W.; KOCH, K.L.; SITRIN, M.D.; WO, J.M.; CHEY, W.D.; HASLER, W.L.; LACKNER, J.M.; KATZ, L.A.; SEMLER, J.R.; WILDING, G.E. and H.P. PARKMAN: Comparison of gastric emptying of a nondigestible capsule to a radio-labelled meal in healthy and gastroparetic subjects.  
*Alimentary Pharmacology & Therapeutics* 27(2), 186-196 (2008)
190. KÜPPER, T.: Körperliche und fachliche Anforderungen bei der Rettung aus alpinen Notlagen.  
Habilitationsschrift, RWTH Aachen, 2006
191. KURZHALS, H.-A.: Kühlen und Gefrieren von Lebensmitteln.  
Aus der Schriftenreihe "Lebensmitteltechnologie in der Praxis",  
Behr's Verlag, Hamburg, 2007
192. LAKATTA, E.G.: Alterations in the cardiovascular system that occur in advanced age.  
*Federation Proceedings* 38(2), 163-167 (1979)
193. LAKATTA, E.G.: Changes in cardiovascular function with aging. *European Heart Journal* 11(Suppl C), 22-29 (1990)
194. LARSSON, L. GRIMBY, G. and J. KARLSSON: Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology.  
*Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 46(3), 451-456 (1979)

195. LAUNAY, J.-C. and G. SAVOUREY: Cold adaptations.  
*Industrial Health* 47(3), 221-227 (2009)
196. LEAN, M.E.: Brown adipose tissue in humans.  
*Proceedings of the Nutrition Society* 48(2), 243-256 (1989)
197. LEAN, M.E. and W.P. JAMES: Brown adipose tissue in man. In: TRAYHURN, P. and D.G. NICHOLLS (Eds.): *Brown adipose tissue*. Edward Arnold, London, 1986, p. 339-365.
198. LEBLANC, J.: Mechanisms of adaptation to cold.  
*International Journal of Sports Medicine* 13(Suppl 1), S169-S172 (1992)
199. LEBLANC, J.; DULAC, S.; CÔTÉ, J. and B. GIRARD: Autonomic nervous system and adaptation to cold in man.  
*Journal of Applied Physiology* 39(2), 181-186 (1975)
200. LEBLANC, J.; BLAIS, B.; BARABÉ, B. and J. CÔTÉ: Effects of temperature and wind on facial temperature, heart rate, and sensation.  
*Journal of Applied Physiology* 40(2), 127-131 (1976)
201. LEBLANC, J.; CÔTÉ, J.; DULAC, S. and F. DULONG-TURCOT: Effects of age, sex, and physical fitness on responses to local cooling.  
*Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 44(5), 813-817 (1978)
202. LEHMANN, G.; MÜLLER, E.A. und H. SPITZER:  
Der Kalorienbedarf bei gewerblicher Arbeit.  
*Arbeitsphysiologie* 14, 166-235 (1950)
203. LEHMUSKALLIO, E.: Cold protecting emollients and frostbite.  
Doctoral Thesis, University of Oulu, 2001
204. LEHMUSKALLIO, E.; HASSI, J. and P. KETTUNEN: The skin in the cold.  
*International Journal of Circumpolar Health* 61(3), 277-286 (2000)
205. LEINO-ARJAS, P.; SOLOVIEVA, S.; RIIHIMÄKI, H.; KIRJONEN, J. and R. TELEMA:  
Leisure time physical activity and strenuousness of work as predictors of physical functioning: a 28 year follow up of a cohort of industrial employees.  
*Occupational and Environmental Medicine* 61(12), 1032-1038 (2004)
206. LEPSIUS, C.: Die Entwicklung der deutschen Kühlhauswirtschaft.  
Festschrift: Fünfzig Jahre Kühlhausverband, VDKL, Bonn, 1996
207. LEWIS, T.: Observation upon the reaction of the vessels of the human skin to cold.  
*Heart* 15, 177-208 (1930)
208. LINDBECK, L. and K. KJELLBERG: Gender differences in lifting technique.  
*Ergonomics* 44(2), 202-214 (2001)
209. LITTLE, M.A. and J.M. HANNA: Cold response of high altitude populations.  
*International Journal of Biometeorology* 21(2), 123-134 (1977)

210. LLOYD, E.L.: ABC of Sports Medicine. Temperature and Performance – I: Cold.  
*British Medical Journal* 309, 531-534 (1994)
211. LOCHNER, A.V.: Messung der Körpertemperatur während kardiochirurgischer Eingriffe in tiefer Hypothermie.  
Dissertation an der Medizinischen Fakultät, Charité –  
Universitätsmedizin, Berlin, 2013
212. LOE, H.; ROGNMO, Ø.; SALTIN, B. and U. WISLØFF: Aerobic capacity references data in 3816 healthy men and women 20-90 years.  
*PLOS ONE* 8(5), 1-11 (2013)
213. LÖLLGEN, D.; JUNG, K. und M. MÜCK-WEYMANN. Herzratenvariabilität (HRV) im Sport – Methodische Überlegungen zur vergleichenden Messung mittels Polar® S810 und Standardmethoden in der Medizin.  
In: K. HOTTENROTT (Hrsg.): Herzfrequenzvariabilität im Fitness und Gesundheitssport. 121-135, Czwalina, Hamburg, 2004
214. LOLLING, A.: Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten.  
Shaker-Verlag, Aachen, 2003
215. LUCZAK, H. und W. VOLPERT: Arbeitswissenschaft: Kerndefinition – Gegenstandskatalog – Forschungsgebiete. Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft, Eschborn, 1987
216. MACFARLANE, D.J. and P. WONG: Validity, reliability and stability of the portable Cortex Metamax 3B gas analysis system.  
*European Journal of Applied Physiology* 112(7), 2539-2547 (2012)
217. MAEDA, T.; SUGAWARA, A.; FUKUSHIMA, T.; HIGUCHI, S. and K. ISHIBASHI: Effects of lifestyle, body composition, and physical fitness on cold tolerance in humans.  
*Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science* 24(4), 439-443 (2005)
218. MAIBÄURL, H.: Leistungsphysiologie. In: KLINKE, R.; PAPE, H.-C.; KURTZ, A. und S. SILBERNAGL (Hrsg.): Physiologie. 6. vollständig überarbeitete Auflage,  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2010
219. MAIER, T.; ZIKA, G.; WOLTER, M.I.; KALINOWSKI, M. und R. HELMRICH: Engpässe im mittleren Qualifikationsbereich trotz erhöhter Zuwanderung.  
*BIBB-Report* 23(8), 1-16 (2014)
220. MÄKINEN, H.: Variation in the protection against cold in the food industry. In: LOTENS, W.A. and G. HAVENITH (Eds.): Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Ergonomics. 194-195, Maastricht, 1992
221. MÄKINEN, T.M.: Human cold exposure, adaptation and performance in a northern climate. Oulu University Press, Oulu, 2006

222. MÄKINEN, T.M.: Human cold exposure, adaptation, and performance in high latitude environments.  
*American Journal of Human Biology* 19(2), 155-164 (2007)
223. MÄKINEN, T.M.; MÄNTYSAARI, M.; PÄÄKKÖNEN, T.; JOKELAINEN, J.; PALINKAS, L.A.; HASSI, J.; LEPPÄLUOTO, J.; TAHVANAINEN, K. and H. RINTAMÄKI: Autonomic nervous function during whole-body cold exposure before and after cold acclimation.  
*Aviation, Space, and Environmental Medicine* 79(9), 875-882 (2008)
224. MANCIA, G.; FAGARD, R.; NARKIEWICZ, K.; et al.: 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension: the Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC).  
*Journal of Hypertension* 31(7), 1281-1357 (2013)
225. MANNINO, J.A. and R.A. WASHBURN: Cardiovascular responses to moderate facial cooling in men and women.  
*Aviation, Space, and Environmental Medicine* 58(1), 29-33 (1987)
226. MARCUS, P.: Some effects of cooling and heating areas of the head and neck on body temperature measurement at the ear.  
*Aerospace Medicine* 44, 397-402 (1973)
227. MARTIN, H.: Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 9. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Fachmedien Verlag, Wiesbaden, 2014
228. MATHEW, L.; PURKAYASTHA, S.S.; SINGH, R. and J. SEN GUPTA: Influence of aging in the thermoregulatory efficiency of man.  
*International Journal of Biometeorology* 30(2), 137-145 (1986)
229. MCARDLE, W.D.; MAGEL, J.R.; GERGLEY, T.J.; SPINA, R.J. and M.M. TONER: Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women.  
*Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 56(6), 1565-1571 (1984)
230. MERCER, J.B.: Cold – an underrated risk factor for health.  
*Environmental Research* 92(1), 8-13 (2003)
231. MEINANDER, H. and M. HELLSTEN: The influence of sweating on the heat transmission properties of cold protective clothing studied with a sweating thermal manikin.  
*International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 10(3), 263-269 (2004)
232. MEYER, T.; DAVISON, R.C.R. and W. KINDERMANN: Ambulatory gas exchange measurements – current status and future options.  
*International Journal of Sports Medicine* 26(Suppl 1), S19-S27 (2005)
233. MIFFLIN, M.D.; ST. JEOR, S.T.; HILL, L.A.; SCOTT, B.J.; DAUGHERTY, S.A. and Y.O. KOH: A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals.  
*American Journal of Clinical Nutrition* 51(2), 241-247 (1990)

234. MORIOKA, I.; ISHII, N.; MIYAI, N.; YAMAMOTO, H.; MINAMI, Y.; WANG, T. and K. MIYASHITA: An occupational health study on workers exposed to a cold environment in a cold storage warehouse.  
*Environmental Ergonomics – The Ergonomics of Human Comfort, Health and Performance in the Thermal Environment 3*, 199-204 (2005)
235. MORRISON, S.F. and C.J. MADDEN: Central nervous system regulation of brown adipose tissue.  
*Comprehensive Physiology 4*(4), 1677-1713 (2014)
236. MÜLLER, E.A. und A. HEISING: Die Bestimmung des Energieverbrauchs der beruflichen Arbeit im Respirationsversuch.  
Methoden des Max-Planck-Instituts für Arbeits-Physiologie,  
Dortmund, 1949
237. NADEL, E.R. and S.M. HORVATH: Comparison of tympanic membrane and deep body temperatures in man.  
*Life Sciences 9*, 869-875 (1970)
238. NATSUME, K.; OGAWA, T.; SUGENOYA, J.; OHNISHI, N. and K. IMAI: Preferred ambient temperature for old and young men in summer and winter.  
*International Journal of Biometeorology 36*(1), 1-4 (1992)
239. NEDERGAARD, J.; BENGTSSON, T. and B. CANNON: Unexpected evidence for active brown adipose tissue in adult humans.  
*American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism 293*(2), E444-E452 (2007)
240. NEUMANN, G. und H. BUHL: Biologische Leistungsvoraussetzungen und trainingsphysiologische Aspekte bei trainierenden Frauen.  
*Medizin und Sport 21*(5), 154-160 (1981)
241. NEUROTH, G.: Die Hauttemperatur im Dienste der Wärmeregulation.  
*Pflügers Archiv 250*, 396-413 (1948)
242. NEYMAN, J. and E.S. PEARSON: On the use and interpretation of certain test criteria for purpose of statistical inference, part i.  
*Biometrika 20A*, 175-240 (1928a)
243. NEYMAN, J. and E.S. PEARSON: On the use and interpretation of certain test criteria for purpose of statistical inference, part ii.  
*Biometrika 20A*, 263-294 (1928b)
244. NIELSEN, R. and B. NIELSEN: Influence of skin temperature distribution on thermal sensation in a cool environment.  
*European Journal of Applied Physiology 53*(3), 225-230 (1984)
245. NISHI, Y.: Measurement of thermal balance in man. In: CENA, K. and J. CLARK (Eds.): Bioengineering, thermal physiology and comfort.  
Elsevier, New York, 1981, p. 29-39.
246. N.N.: <http://www.leifiphysik.de/mechanik/arbeit-energie-und-leistung/ausblick/messung-des-energieumsatzes>, o.J.

247. N.N.: dti – Deutsches Tiefkühlinstitut:  
<http://www.tiefkuehlkost.de/tiefkuehlwissen/tiefkuehlgeschichte>,  
2015
248. N.N.: ALDI SÜD: <https://karriere.aldi-sued.de/de/Wir-als-Arbeitgeber/Die-Unternehmensgruppe/Organisation/Regionalgesellschaften/Inland.html>, 2017a
249. N.N.: Thermo Gloves: <http://www.thermogloves.eu>, 2017b
250. N.N.: Thermo Soles: <http://thermosoles.eu>, 2017c
251. N.N.: WITRON OPM:  
[http://www.witron.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/OPM\\_Flyer\\_2013\\_Deutsch.pdf](http://www.witron.de/fileadmin/user_upload/downloads/OPM_Flyer_2013_Deutsch.pdf), 2017d
252. NRC (National Research Council) (Ed.): Diet and Health. Implications for reducing chronic disease risk.  
National Academy Press, Washington D.C., 1989
253. NOVAK, L.: Our experience in the evaluation of the thermal comfort during the space flight and in the simulated space environment.  
*Acta Astronaut* 23, 179-186 (1991)
254. NUNAN, D.; JAKOVLJEVIC, D.G.; DONOVAN, G.; HODGES, L.D.; SANDERCOCK, G.R.H. and D.A. BRODIE: Levels of agreement for RR intervals and short-term heart rate variability obtained from the Polar S810 and an alternative system.  
*European Journal of Applied Physiology* 103(5), 529-537 (2008)
255. NUNNELEY, S.A.: Physiological responses of women to thermal stress: a review.  
*Medicine and Science in Sports* 10(4), 250-255 (1978)
256. O'HANLON, J.F. and S.M. HORVATH: Changing physiological relationships in men under acute cold stress.  
*Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 48(1), 1-10 (1970)
257. OKSA, J.: Cooling and neuromuscular performance in man.  
Doctoral Thesis, University of Jyväskylä, 1998
258. OKSA, J.; DUCHARME, M.B. and H. RINTAMÄKI: Combined effect of repetitive work and cold on muscle function and fatigue.  
*Journal of Applied Physiology* 92(1), 354-361 (2002)
259. OLIVEIRA, A.V.M.; GASPAS, A.R. and D.A. QUINTELA: Occupational exposure to cold thermal environments: a field study in Portugal.  
*European Journal of Applied Physiology* 104(2), 207-214 (2008)
260. OLIVEIRA, A.V.M.; GASPAS, A.R.; ANDRÉ, J.S. and D.A. QUINTELA: Subjective analysis of cold thermal environments.  
*Applied Ergonomics* 45(3), 534-543 (2014)
261. OSCZEWSKI, R. and M. BLUESTEIN: The new wind chill equivalent temperature chart.  
*Bulletin of the American Meteorological Society* 86(10), 1453-1458 (2005)



262. OZAKI, H.; ENOMOTO-KOSHIMIZU, H.; TOCHIHARA, Y. and K. NAKAMURA: Thermal responses from repeated exposures to severe cold with intermittent warmer temperatures.  
*Applied Human Science – Journal of Physiological Anthropology* 17(5), 195-205 (1998)
263. PALINKAS, L.A.: Mental and cognitive performance in the cold.  
*International Journal of Circumpolar Health* 60(3), 430-439 (2001)
264. PARSONS, K.: Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance. 2<sup>nd</sup> Edition,  
Taylor & Francis, London/New York, 2003
265. PENZKOFER, M.: Feldstudien zur Objektivierung von Belastung und Beanspruchung jüngerer und älterer Arbeitspersonen bei berufsbedingten Kälteexpositionen.  
Ergonomia-Verlag, Stuttgart, 2013
266. PENZKOFER, M.; KLUTH, K. and H. STRASSER: Heart rate and work pulses of two age groups associated with working in the cold at +3°C and -24°C.  
*Occupational Ergonomics* 8(4), 135-145 (2008/2009)
267. PENZKOFER, M.; KLUTH, K. and H. STRASSER: Order-picking in deep cold – a gender-related analysis of subjectively assessed effects. In: VINK, P. and J. KANTOLA (Eds.): Advances in Occupational, Social, and Organizational Ergonomics,  
pp. 168-177, CRC Press, Taylor & Francis, 2010
268. PERSSON, P.B.: Energie- und Wärmehaushalt, Thermoregulation. In: SCHMIDT, R.F. und F. LANG (Hrsg.): Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. 30. neu bearbeitete und aktualisierte Auflage,  
Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2007
269. PICHOTKA, J.: Stoffwechsel der Organismen. In: KEIDEL, W.D. (Hrsg.): Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie. 6. überarbeitete Auflage,  
Thieme Verlag, Stuttgart, 1985
270. PICKERING, T.G.; GERIN, W. and A.R. SCHWARTZ: What is the white-coat effect and how should it be measured?  
*Blood Pressure Monitoring* 7(6), 293-300 (2002)
271. PILCHER, J.J.; NADLER, E. and C. BUSCH: Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review.  
*Ergonomics* 45(10), 682-698 (2002)
272. POEHLMAN, E.T.; ARCIERO, P.J. and M.I. GORAN: Endurance exercise in aging humans: effects on energy metabolism.  
*Exercise and sport sciences reviews* 22, 251-284 (1994)
273. PRETORIUS, T.; BRISTOW, G.K.; STEINMAN, A.M. and G.G. GIESBRECHT: Thermal effects of whole head submersion in cold water on nonshivering humans.  
*Journal of Applied Physiology* 101(2), 669-675 (2006)

274. PUNNETT, L. and R. HERBERT: Work related musculoskeletal disorders: Is there a gender differential, and if so, what does it mean? In: GOLDMAN, M.B. and M.C. HATCH (Eds.): Women and health. pp474-492, Academic Press, San Diego (CA), 2000
275. RÄDLE, K.; WELTE, W. und N. JAUCH: Blutdruckmessung. In: WINTERMANTEL, E. und S.-W. HA (Hrsg.): Medizintechnik – Life Science Engineering. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2009
276. RAO, S.S.; KUO, B.; MCCALLUM, R.W.; CHEY, W.D.; DIBAISE, J.K.; HASLER, W.L.; KOCH, K.L.; LACKNER, J.M. MILLER, C.; SAAD, R.; SEMLER, J.R.; SITRIN, M.D.; WILDING, G.E. and H.P. PARKMAN: Investigation of colonic and whole-gut transit with wireless motility capsule and radiopaque markers in constipation. *Clinical Gastroenterology and Hepatology* 7(5), 537-544 (2009)
277. RAPAPORT, S.I.; FETCHER, E.S.; SHAUB, H.G. and J.F. HALL: Control of blood flow to the extremities at low ambient temperature. *Journal of Applied Physiology* 2(2), 61-71 (1949)
278. RAVEN, P.B.; NIKI, I.; DAHMS, T.E. and S.M. HORVATH: Compensatory cardiovascular responses during an environmental cold stress, 5 degrees C. *Journal of Applied Physiology* 29(4), 417-421 (1970)
279. RECKELHOFF, J.F.: Gender differences in the regulation of blood pressure. *Hypertension* 37(5), 1199-1208 (2001)
280. REYBROUCK, T.: Physiologische Veränderungen im Herz-Kreislauf-System im Laufe des Alterns. In: VAN DEN BERG; F. und D. WULF (Hrsg.): Angewandte Physiologie – 6. Alterungsprozesse und das Alter verstehen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2008
281. RINTAMÄKI, H.: Predisposing factors and prevention of frostbite. *International Journal of Circumpolar Health* 59(2), 114-121 (2000)
282. RINTAMÄKI, H.: Performance and energy expenditure in cold environments. *Alaska Medicine* 49(Suppl 2), 245-246 (2007)
283. RISIKKO, T.: Safety, health and productivity of cold work. Doctoral Thesis, University of Oulo, 2009
284. RODEHEFFER, R.J.; GERSTENBLITH, G.; BECKER, L.C.; FLEG, J.L.; WEISFELDT, M.L. and E.G. LAKATTA: Exercise cardiac output is maintained with advancing age in healthy human subjects: cardiac dilatation and increased stroke volume compensate for a diminished heart rate. *Circulation* 69(2), 203-213 (1984)

285. ROHMERT, W.: Pulsfrequenz und Dauerleistungsgrenze. In: Pulsfrequenz und Arbeitsuntersuchungen – Beiträge zum Internationalen Kolloquium: “Pulsfrequenzuntersuchungen und ihre Anwendung im landwirtschaftlichen Arbeitsstudium”. Schriftenreihe “Arbeitswissenschaft und Praxis”, Band 28, Beuth-Vertrieb-GmbH, Berlin/Köln/Frankfurt, 1973
286. ROHMERT, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 38(4), 193-200 (1984)
287. ROHMERT, W. und J. RUTENFRANZ: Praktische Arbeitsphysiologie. 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1983
288. ROHMERT, W.; RUTENFRANZ, J. und H. LUCZAK: Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Forschungsbericht für den Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung. Hrsg.: Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn, 1975
289. ROST, R. und W. HOLLMANN: Die Fahrradergometrie in der Praxis. Broschüre der BAYER AG, 1982
290. RUBNER, M.: Über den Einfluss der Körpergröße auf den Stoff- und Kraftwechsel. *Zeitschrift für Biologie* 19, 535-562 (1883)
291. RUHA, A.; SALLINEN, S. and S. NISSILÄ: A real-time microprocessor QRS detector system with a 1-ms timing accuracy for the measurement of ambulatory HRV. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 44(3), 159-167 (1997)
292. SAAD, R.J. and W.L. HASLER: A technical review and clinical assessment of the wireless motility capsule. *Gastroenterology & Hepatology* 7(12), 795-804 (2011)
293. SACHS, L. und J. HEDDERICH: Angewandte Statistik. 13. aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2009
294. SAITO, M.; OKAMATSU-OGURA, Y.; MATSUSHITA, M.; WATANABE, K.; YONESHIRO, T.; NIO-KOBAYASHI, J.; IWANAGA, T.; MIYAGAWA, M.; KAMEYA, T.; NAKADA, K.; KAWAI, Y. and M. TSUJISAKI: High incidence of metabolically active brown adipose tissue in healthy adult humans: effects of cold exposure and adiposity. *Diabetes* 58(7), 1526-1531 (2009)
295. SALTIN, B. and P.O. ÅSTRAND: Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology* 23(3), 353-358 (1967)
296. SALTIN, B. and L. HERMANSEN: Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. *Journal of Applied Physiology* 21(6), 1757-1762 (1966)

297. SAMMITO, S.; DARIUS, S. und I. BÖCKELMANN: Validierungsstudie zum Einsatz eines funklosen Brustgurtsystems zur Messung der Herzratenvariabilität unter Ruhebedingungen und in Fahrzeugen. *Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Umweltmedizin* 46(2), 60-65 (2011)
298. SAMMITO, S.; THIELMANN, B.; SEIBT, R.; KLUSSMANN, A.; WEIPPERT, M. und I. BÖCKELMANN: Arbeitsmedizinische Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. – Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. *Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Umweltmedizin* 51(2), 123-141 (2016)
299. SAMU, R.; MOULEE, A. and V.G. KUMAR: Effect of charge and hydrophobicity on adsorption of modified starches on polyester. *Journal of Colloid and Interface Science* 220(2), 260-268 (1999)
300. SAUERMOST, R. und D. FREUDIG: Lexikon der Biologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1998
301. SCHIEKE, D.; BECKER, T. und S. WALTER: Microsoft Office PowerPoint – Das Ideenbuch für kreative Präsentationen. Microsoft Press Deutschland, Unterschleißheim, 2006
302. SCHLICK, C.; BRUDER, R. und H. LUCZAK: Arbeitswissenschaft. 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2010
303. SCHOLZE, J.: Hypertonie: Risikokonstellationen und Begleiterkrankungen. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 1999
304. SEIBT, R. und K. SCHEUCH: Blutdruckmessung in der Arbeitsphysiologie. Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM), 1998
305. SHOCK, N.W.: Aging of physiological systems. *Journal of Chronic Diseases* 36(1), 137-142 (1983)
306. SILBERNAGL, S. und F. LANG: Taschenatlas der Pathophysiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1998
307. SIMON, E.: Wärmehaushalt und Temperaturregelung. In: SCHMIDT, R.F. und G. THEWS (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 27. korrigierte und aktualisierte Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1997
308. SLOAN, R.E. and W.R. KEATINGE: Cooling rates of young people swimming in cold water. *Journal of Applied Physiology* 35(3), 371-375 (1973)
309. SORMUNEN, E.; OKSA, J.; PIENIMÄKI, S.; RISSANEN, S. and H. RINTAMÄKI: Muscular and cold strain of female workers in meatpacking work. *International Journal of Industrial Ergonomics* 36(8), 713-720 (2006)

310. SORMUNEN, E.; REMES, J.; HASSI, J.; PIENIMÄKI, T. and H. RINTAMÄKI: Factors associated with self-estimated work ability and the prevalence of musculoskeletal symptoms among male and female workers in cooled food-processing facilities. *Industrial Health* 47(3), 271-282 (2009)
311. STERN, L.: Thermoregulation in the newborn infant: historical, physiological and clinical considerations. In: Historical Review and Recent Advances in Neonatal and Perinatal Medicine. Evansville, Mead Johnson Nutritional Division, 1980
312. STEVENS, G.H.; GRAHAM, T.E. and B.A. WILSON: Gender differences in cardiovascular and metabolic responses to cold and exercise. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 65(2), 165-171 (1987)
313. STRASSER, H. Arbeitswissenschaftliche Methoden der Beanspruchungsermittlung. Beanspruchungsprofile unter dem Aspekt der Ausführbarkeit und Erträglichkeit menschlicher Arbeit. Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin, Band 69. Gentner Verlag, Stuttgart, 1982
314. STRASSER, H.: Anspruch und Wirklichkeit eines arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsprojekts. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 38(10NF)4, 217-221 (1984)
315. STRASSER, H.: Physiologische Grundlagen zur Beurteilung menschlicher Arbeit – Belastung/Beanspruchung/Dauerleistung/Ermüdung/Streß. *REFA-Nachrichten* 39(5), 18-29 (1986)
316. STRASSER, H.: Ergonomie – Arbeitsplatz. Kap.2.4. In: HETTINGER, T. und G. WOBBE (Hrsg.): Kompendium der Arbeitswissenschaft. 142-242, Kiehl Verlag, Ludwigshafen/Rhein, 1993
317. STRASSER, H.: Leitfaden „Klima und Arbeit“. 31-seitiger Auszug (mit 51 Abbildungen) aus dem Vorlesungsskript Umwelt-Ergonomie. Universität Siegen, Arbeitswissenschaft/Ergonomie, 2002
318. STRASSER, H.: Leitgedanken zur „Kunst des Alterns“ und Streifzug durch den Altersgang der Leistungsfähigkeit aus ergonomischer Sicht. In: Tagungsband der GfA-Herbstkonferenz 2007 in Kassel am 13./14.09.2007, 5-17, GfA Press, 2007a
319. STRASSER, H.: Zur Entwicklung der Arbeitsphysiologie und Ergonomie im deutschsprachigen Raum – Aufgaben und Ziele in Lehre und Forschung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 61(3), 133-159 (2007b)
320. STRASSER, H.: The „Art of Aging“ from an ergonomics point of view. In: SHIH, Y.-C. and S.-F.M. LIANG (Eds.): Bringing research and good practices towards patients welfare. Healthcare systems ergonomics and patient safety. Taylor & Francis Group, London, 2015

321. STRASSER, H. und K. KLUTH: Lebensalter und Kältarbeit.  
Forschungsantrag an die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Siegen, 2004
322. STRASSER, H. and K. KLUTH: Sensations of cold and physiological responses to groceries handling in cold-storage depots.  
In: Proceedings of the 16<sup>th</sup> Triennial Congress of the International Ergonomics Association. 6pp., Maastricht, The Netherlands, 2006
323. STRASSER, H. and K. KLUTH: Physiological responses of core and skin temperature to groceries handling in cold-storage depots and sensations to cold.  
*Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 62(4), 249-256 (2008)
324. STROUD, M.A.: Effects on energy expenditure of facial cooling during exercise.  
*European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 63(5), 376-380 (1991)
325. SUCH, U. und T. MEYER: Die maximale Herzfrequenz.  
*Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 61(12), 310-311 (2010)
326. TANAKA; H.; MONAHAN, K.D. and D.R. SEALS: Age-predicted maximal heart rate revisited.  
*Journal of the American College of Cardiology* 37(1), 153-156 (2001)
327. TANSEY, E.A. and C.D. JOHNSON: Recent advances in thermoregulation.  
*Advances in Physiology Education* 39(3), 139-148 (2015)
328. TAYLOR, N.A.; ALLSOPP, N.K. and D.G. PARKES: Preferred room temperature of young vs aged males: the influence of thermal sensation, thermal comfort, and affect.  
*The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 50(4), M216-M221 (1995)
329. TEN HOMPEL, M.; SADOWSKY, V. und M. BECK: Kommissionierung.  
Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik.  
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2011
330. THEWS, G. und P. VAUPEL: Vegetative Physiologie. 5. aktualisierte Auflage,  
Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2005
331. THOMPSON, C.S. and W.L. KENNEY: Altered neurotransmitter control of reflex vasoconstriction in aged human skin.  
*Journal of Physiology* 558(Pt 2), 697-704 (2004)
332. TIMISCHL, W.: Angewandte Statistik. 3. Auflage,  
Springer-Verlag, Wien, 2013
333. TOCHIHARA, Y.; TSUZUKI, K. and Y. NAGAI: Effects of repeated exposures to severely cold environments on thermal responses of humans.  
*Ergonomics* 38(5), 987-995 (1995a)

334. TOCHIHARA, Y.; OHKUBO, C.; UCHIYAMA, I. and H. KOMINE: Physiological reaction and manual performance during work in cold storages. *Applied Human Science – Journal of Physiological Anthropology* 14(2), 73-77 (1995b)
335. TOMASITS, J. und P. HABER: Leistungsphysiologie – Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur. 3. neu bearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Wien, 2008
336. ULMER, H.-V.: Energiehaushalt. In: SCHMIDT, R.F. und G. THEWS (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 27. korrigierte und aktualisierte Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1997
337. VAN DER BEEK, A.J.; KLUVER, B.D.; FRINGS-DRESEN, M.H. and M.J. HOOZEMANS: Gender differences in exerted forces and physiological load during pushing and pulling of wheeled cages by postal workers. *Ergonomics* 43(2), 269-281 (2000)
338. VAN DER LANS, A.A.; HOEKS, J.; BRANS, B.; VIJGEN, G.H.; VISSER, M.G.; VOSSelman, M.J.; HANSEN, J.; JÖRGENSEN, J.A.; WU, J.; MOTTAGHY, F.M.; SCHRAUWEN, P. and W.D. VAN MARKEN LICHTENBELT: Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis. *The Journal of Clinical Investigation* 123(8), 3395-3403 (2013)
339. VANDERLEI, L.C.M.; SILVA, R.A.; PASTRE, C.M.; AZEVEDO, F.M. and M.F. GODOY: Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 41, 854-859 (2008)
340. VERDECCHIA, P.; SCHILLACI, G.; BORGIONI, C.; CIUCCI, A.; ZAMPI, I.; GATTOBIGIO, R.; SACCHI, N. and C. PORCELLATI: White coat hypertension and white coat effect. Similarities and differences. *American Journal of Hypertension* 8(8), 790-798 (1995)
341. VIROKANNAS, H.: Thermal responses to light, moderate and heavy daily outdoor work in cold weather. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 72(5-6), 483-489 (1996)
342. VOGELAERE, P. and F. DE MEYER: Rheological modelling of physiological variables during temperature variations at rest. *International Journal of Biometeorology* 34(2), 76-86 (1990)
343. VOGLER, A.J.; RICE, A.J. and C.J. GORE: Validity and reliability of the Cortex MetaMax3B portable metabolic system. *Journal of Sports Sciences* 28(7), 733-742 (2010)
344. VREEMAN, R.C. and A.E. CARROLL: Festive medical myths. *British Medical Journal* 337, a2769 (2008)
345. WAGNER, J.A. and S.M. HORVATH: Cardiovascular reactions to cold exposures differ with age and gender. *Journal of Applied Physiology* 58(1), 187-192 (1985a)

346. WAGNER, J.A. and S.M. HORVATH: Influences of age and gender on human thermoregulatory responses to cold exposures.  
*Journal of Applied Physiology* 58(1), 180-186 (1985b)
347. WAGNER, J.A.; ROBINSON, S. and R.P. MARINO: Age and temperature regulation of humans in neutral and cold environments.  
*Journal of Applied Physiology* 37(4), 562-565 (1974)
348. WALSH, J.T.; ANDREWS, R.; BATIN, P.D. and A.J. COWLEY: Haemodynamic and hormonal response to a stream of cooled air.  
*European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 72(1-2), 76-80 (1995)
349. WANG, C.Y.; HASKELL, W.L.; FARRELL, S.W.; LAMONTE, M.J.; BLAIR, S.N.; CURTIN, L.R.; HUGHES, J.P. and V.L. BURT: Cardiorespiratory fitness levels among US adults 20-49 years of age: findings from the 1999-2004 National Health and Nutrition Examination Survey.  
*American Journal of Epidemiology* 171(4), 426-435 (2010)
350. WANG, S.X.; LI, Y.; TOKURA, H.; HU, J.Y.; HAN, Y.X.; KWOK, Y.L. and R.W. AU: Effect of moisture management on functional performance of cold protective clothing.  
*Textile Research Journal* 77(12), 968-980 (2007)
351. WASTL, P.: Diagnostik – Tests und Testverfahren. Ergänzungen zur Diagnostik der Ausdauerfähigkeit. Institut für Sportwissenschaft, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, <http://user.phil-fak.uni-duesseldorf.de/~wastl/Wastl/Training/TL02-Ausdauerdiagnostik.PDF>, 2005
352. WEINER, J.S.: The regional distribution of sweating.  
*Journal of Physiology* 104(1), 32-40 (1945)
353. WEIPPERT, M.; KUMAR, M.; KREUZFELD, S.; ARNDT, D.; RIEGER, A. and R. STOLL: Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system.  
*European Journal of Applied Physiology* 109(4), 779-786 (2010)
354. WHALEY, M.H.; KAMINSKY, L.A.; DWYER, G.B.; GETCHELL, L.H. and J.A. NORTON: Predictors of over- and underachievement of age-predicted maximal heart rate.  
*Medicine and Science in Sports and Exercise* 24(10), 1173-1179 (1992)
355. WILLIAMSON, D.K.; CHRENKO, F.A. and E.J. HAMLEY: A study of exposure to cold in cold stores.  
*Applied Ergonomics* 15(1), 25-30 (1984)
356. WOOD, D.L.; SHEPS, S.G.; ELVEBACK, L.R. and A. SCHIRGER: Cold pressor test as a predictor of hypertension.  
*Hypertension* 6(3), 301-306 (1984)



357. WU, J.; COHEN, P. and M. SPIEGELMAN: Adaptive thermogenesis in adipocytes: Is beige the new brown?  
*Genes & Development* 27(3), 234-250 (2013)
358. WYNDHAM, C.H.; MORRISON, J.F.; WILLIAMS, C.G.; BREDELL, G.A.G.; PETER, J.; VON RAHDEN, M.J.E.; HOLDSWORTH, L.D.; VAN GRAAN, C.H.; VAN RENSBURG, A.J. and A. MUNRO: Physiological reactions to cold of Caucasian females.  
*Journal of Applied Physiology* 19(5), 877-880 (1964)
359. XU, X.; HEXAMER, M. and J. WERNER: Multi-loop control of liquid cooling garment systems.  
*Ergonomics* 42(2), 282-298 (1999)
360. YOON, H.N. and A. BUCKLEY: Improved comfort polyester – Part I: Transport properties and thermal comfort of polyester/cotton blend fabrics.  
*Textile Research Journal* 54(4), 289-298 (1984)
361. YOUNG, A.J.; SAWKA, M.N.; EPSTEIN, Y.; DECRISTOFANO, B. and K.B. PANDOLF: Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise.  
*Journal of Applied Physiology* 63(3), 1218-1223 (1987)
362. YOUNG, A.J.: Effects of aging on human cold tolerance.  
*Experimental aging research* 17(3), 205-213 (1991)
363. VON ZGLINICKI, T. und T. NIKOLAUS: Alter und Altern. In: SCHMIDT, R.F. & F. LANG (*Hrsg.*): Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. 30. neu bearbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2007
364. ZÜHLKE, D.; KLUTH, K. und H. STRASSER: Bericht über die ergonomische Gestaltung der Arbeitsbedingungen in einem Kühlhaus bei -24°C unter arbeitsphysiologischen, organisatorischen und gesetzlichen Maßgaben. Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen, Siegen, 1997

### Normen und Richtlinien

365. ASTM F 2370: Standard test method für measuring the evaporative resistance of clothing using a sweating manikin.  
Beuth Verlag, Berlin, 2016
366. BGI 515: Berufsgenossenschaftliche Information für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Persönliche Schutzausrüstungen. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstungen“ der BGZ, 2006
367. BGR 500: Berufsgenossenschaftliche Regel zum Betreiben von Arbeitsmitteln. Kapitel 2.35: Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2008

368. DIN 33403: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung.  
Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen.  
Beuth Verlag, Berlin, 1997
369. DIN EN 342: Schutzkleidung – Kleidungssysteme und Kleidungsstücke zum  
Schutz gegen Kälte.  
Beuth Verlag, Berlin, 2004
370. DIN EN 388: Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken.  
Beuth Verlag, Berlin, 2016
371. DIN EN 420: Schutzhandschuhe – Allgemeine Anforderungen und  
Prüfverfahren.  
Beuth Verlag, Berlin, 2010
372. DIN EN 511: Schutzhandschuhe gegen Kälte.  
Beuth Verlag, Berlin, 2006
373. DIN EN 1060: Nichtinvasive Blutdruckmessgeräte – Teil 3: Ergänzende  
Anforderungen für elektronische Blutdruckmesssysteme.  
Beuth Verlag, Berlin, 2010
374. DIN EN 14058: Schutzkleidung – Kleidungsstücke zum Schutz gegen kühle  
Umgebungen.  
Beuth Verlag, Berlin, 2004
375. DIN EN 15251: Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und  
Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität,  
Temperatur, Licht und Akustik.  
Beuth Verlag, Berlin, 2012
376. DIN EN 80601: Medizinisch elektrische Geräte – Teil 2-30: Besondere  
Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen  
Leistungsmerkmale von automatisierten nicht-invasiven  
Blutdruckmessgeräten.  
Beuth Verlag, Berlin, 2011
377. DIN EN ISO 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von  
Arbeitssystemen.  
Beuth Verlag, Berlin, 2016
378. DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische  
Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch  
Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen  
thermischen Behaglichkeit.  
Beuth Verlag, Berlin, 2006
379. DIN EN ISO 8996: Ergonomie der thermischen Umgebung – Bestimmung  
des körpereigenen Energieumsatzes.  
Beuth Verlag, Berlin, 2004
380. DIN EN ISO 9886: Ergonomie – Ermittlung der thermischen Beanspruchung  
durch physiologische Messungen.  
Beuth Verlag, Berlin, 2004

381. DIN EN ISO 9920: Ergonomie der thermischen Umgebung – Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination.  
Beuth Verlag, Berlin, 2009
382. DIN EN ISO 11079: Ergonomie der thermischen Umgebung – Bestimmung und Interpretation der Kältebelastung bei Verwendung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) und lokalen Kühlwirkungen.  
Beuth Verlag, Berlin, 2008
383. DIN EN ISO 11092: Textilien – Physiologische Wirkungen – Messung des Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstands unter stationären Bedingungen.  
Beuth Verlag, Berlin, 2014
384. DIN EN ISO 13485: Medizinprodukte – Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen für regulatorische Zwecke.  
Beuth Verlag, Berlin, 2003
385. DIN EN ISO 13688: Schutzkleidung – Allgemeine Anforderungen.  
Beuth Verlag, Berlin, 2013
386. DIN EN ISO 15831: Bekleidung – Physiologische Wirkungen – Messung der Wärmeisolation mittels einer Thermopuppe.  
Beuth Verlag, Berlin, 2004
387. DIN EN ISO 20344: Persönliche Schutzausrüstung – Prüfverfahren für Schuhe.  
Beuth Verlag, Berlin, 2013
388. DIN EN ISO 20345: Persönliche Schutzausrüstung – Sicherheitsschuhe.  
Beuth Verlag, Berlin, 2012
389. VDI 3590: Blatt 1: Kommissioniersysteme – Grundlagen.  
Beuth Verlag, Berlin, 1994

### **Rechtsvorschriften**

390. Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) vom 7. August 1996, zuletzt geändert durch Artikel 427 der Verordnung am 31. August 2015. BGB1 I, S. 3836
391. Arbeitszeitgesetz (ArbZG) vom 1. Juli 1994, zuletzt geändert durch Artikel 12a des Gesetzes am 11. November 2016. BGB1 I, S. 2500
392. (93/42/EWG): Richtlinie des Rates über Medizinprodukte vom 14. Juni 1993. ABI. EG Nr. L 169, Anhang ii EG-Konformitätserklärung (Vollständiges Qualitätssicherungssystem)
393. (852/2004/EG): Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Lebensmittelhygiene.

394. Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättVO) vom 12. August 2004, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. November 2016, BGB1 I, S. 2681
395. Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung – PSA-BV): Ausfertigungsdatum 04. Dezember 1996, BGB1, I S. 1841
396. Verordnung über tiefgefrorene Lebensmittel (TLMV): Ausfertigungsdatum 29. Oktober 1991. Verordnung über tiefgefrorene Lebensmittel in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Februar 2007 (BGB1, I S. 258), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 13. Dezember 2011 (BGB1, I S. 2720)
397. Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) vom 18. Dezember 2008 (BGB1, I S. 2768), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 23. Oktober 2013. BGB1 I S. 3882

**Auszüge dieser Arbeit finden sich auch bei:**

398. BALDUS, S.; PENZKOFER, M. und K. KLUTH: Abnahme der Körperkerntemperatur beim Kommissionieren unter Kälteexpositionen von +3°C und -24°C – Ein Vergleich zwischen Männern und Frauen zweier Altersklassen. In: SEIBT, R. (Hrsg.): Kurzfassungen der Vorträge des 15. Symposiums “Arbeitsphysiologie für Nachwuchswissenschaftler” des Forums Arbeitsphysiologie, Dresden, 2011
399. BALDUS, S.; K. KLUTH und H. STRASSER: Order-picking in deep cold – physiological responses of younger and older females. Part 2: body core temperature and skin surface temperature. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation* 41(1), 2010-3017 (2012)
400. BALDUS, S.; H. STRASSER und K. KLUTH: Alters- und geschlechtsdifferenzierter Vergleich der Hautoberflächentemperatur beim Kommissionieren in Kälte. In: Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme – Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. Proceedings des 58. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 403-413. GfA-Press, Dortmund, 2012
401. BALDUS, S.; PENZKOFER, M. und K. KLUTH: Abnahme der Körperkerntemperatur beim Kommissionieren unter Kälteexpositionen von +3°C und -24°C – Ein Vergleich zwischen Männern und Frauen zweier Altersklassen. In: Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme – Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. Proceedings des 58. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 917-921. GfA-Press, Dortmund, 2012

402. BALDUS, S. und K. KLUTH: Kommissionieren in Kälte – Ein Arbeitsplatz für Frauen jeden Alters? In: Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme – Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. Proceedings des 58. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 851-854. GfA-Press, Dortmund, 2012
403. BALDUS, S.; PENZKOFER, M. und K. KLUTH: Abnahme der Körperkerntemperatur beim Kommissionieren unter Kälteexpositionen von +3°C und -24°C – ein Vergleich zwischen Männern und Frauen zweier Altersklassen.  
In: HALLIER, E. (Hrsg.): 52. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, Abstracts der Vorträge und Poster, *Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Umweltmedizin* 47(3), 216, 2012
404. BALDUS, S.; PENZKOFER, M. und K. KLUTH: Abnahme der Körperkerntemperatur beim Kommissionieren unter Kälteexpositionen von +3°C und -24°C – ein Vergleich zwischen Männern und Frauen zweier Altersklassen.  
Proceedings zur 52. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, 698-701, Göttingen, 2012
405. GROOS, S. und K. KLUTH: Subjektive Kälteempfindungen versus gemessene Hautoberflächentemperaturen weiblicher Kommissionierer in Kälte.  
In: HARTMANN, B. und A. KLUBMANN (Hrsg.): Kurzfassungen der Vorträge des 16. Symposiums „Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft für Nachwuchswissenschaftler“ des Forums Arbeitsphysiologie, Bad Münder, 2012
406. GROOS, S.; PENZKOFER, M. und K. KLUTH: Wirkung und Nutzen von Kälteschutzkleidung für Tiefkühlarbeitsplätze. In: Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung – Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen.  
Proceedings des 59. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 253-256. GfA-Press, Dortmund, 2013
407. GROOS, S. und K. KLUTH: Subjektive und objektive Kältereaktionen von weiblichen Kommissionierern auf Arbeitsumgebungstemperaturen von +3°C und -24°C.  
In: Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung – Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen.  
Proceedings des 59. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 841-844. GfA-Press, Dortmund, 2013
408. GROOS, S. und K. KLUTH: Subjektive Kälteempfindungen versus gemessene Hautoberflächentemperaturen weiblicher Kommissionierer in Kälte.  
53. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, Abstracts der Vorträge und Poster, Sonderpublikation von DGAUM, ÖGA, SGRAM und ASU, 149 (2013)

409. GROOS, S.; PENZKOFER, M und K. KLUTH: Kälteschutzkleidung: Theoretische Anforderungen und realer Nutzen im sehr kalten Bereich. *Technische Sicherheit* 3(6), 47-51 (2013)
410. GROOS, S.; PENZKOFER, M und K. KLUTH: Alters- und geschlechtsdifferenzierte Analyse und Beurteilung der Auswirkungen von Kältearbeit auf die Körperkerntemperatur. *Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Umweltmedizin* 48, 460-468 (2013)
411. GROOS, S. und K. KLUTH: Subjektive Kälteempfindungen versus gemessene Hautoberflächentemperaturen weiblicher Kommissionierer in Kälte. Proceedings zur 53. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, 807-811, Bregenz (Austria), 2013
412. GROOS, S.; PENZKOFER, M. und K. KLUTH: PSA in tiefer Kälte: Anforderung – Nutzen – Verbesserungspotential. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin* 49(10), 739-741 (2014)
413. KLUTH, K.; BALDUS, S. und R. WEGNER: Kältearbeit – Risikoarbeitsplätze für die körperliche Gesundheit? Deutscher Betriebsärzte Kongress 2011, Sonderpublikation von VDBW und ASU, 25-27 (2011)
414. KLUTH, K.; BALDUS, S. und H. STRASSER: Order-picking in deep cold – Physiological responses of younger and older females. Part I: heart rate. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation* 41(1), 3002-3009 (2012)
415. KLUTH, K. STRASSER, H. und S. BALDUS: Arbeitspuls beim Kommissionieren von Kühl- und Tiefkühlware – Ein altersdifferenzierter Vergleich zwischen Männern und Frauen. In: Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme – Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. Proceedings des 58. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 405-408. GfA-Press, Dortmund, 2012
416. SAMMITO, S.; GROOS, S. und K. KLUTH: Einfluss von Arbeit in tiefer Kälte auf das autonome Nervensystem. 54. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, Abstracts der Vorträge und Poster, *Umweltmedizin – Hygiene – Arbeitsmedizin* 19(2), 236 (2014)
417. SAMMITO, S.; GROOS, S. und K. KLUTH: Einfluss von Arbeit in tiefer Kälte auf das autonome Nervensystem. Proceedings zur 54. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, 412-415, Dresden, 2014



## Anhang

---

### **Anhang A**

*Fragebogen zur subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung..... A1-A24*

### **Anhang B**

*Versuchsablaufplan von Versuchsreihe I..... B1-B3*

*Versuchsablaufplan von Versuchsreihe II..... B4-B6*

*Versuchsablaufplan von Versuchsreihe III..... B7-B9*

### **Anhang C**

*t-Verteilung für zweiseitige Fragestellungen mit der statistischen Sicherheit 1- $\alpha$ ..... C1*







Universität Siegen  
Arbeitswissenschaft/Ergonomie

Paul-Bonatz-Straße 9-11  
57068 Siegen

Evaluierung von Kältearbeitsplätzen in  
Warenverteilzentren mit Kühl- und Tiefkühlager  
im Rahmen des DFG-Forschungsvorhabens  
“Lebensalter und Kältearbeit“

**Fragebogen zur subjektiven Beurteilung der  
physischen Beanspruchung und der  
Arbeitsbedingungen externer Kommissionierer in  
einem Warenverteilzentrum bei +3°C und -24°C**

**ALLGEMEINE ANGABEN****Persönliche Daten**Geschlecht: weiblich    Alter [Jahre]: \_\_\_\_\_    Code-Nummer: \_\_\_\_\_

Gewicht [kg]: \_\_\_\_\_    Größe [cm]: \_\_\_\_\_    Herkunftsland: \_\_\_\_\_

**Gesundheit**Gehen Sie einer sportlichen Betätigung nach?     ja     nein

Wenn ja, geben Sie Art und Dauer der sportlichen Betätigung an:

1. \_\_\_\_\_    \_\_\_\_\_ Stunden/Woche

2. \_\_\_\_\_    \_\_\_\_\_ Stunden/Woche

3. \_\_\_\_\_    \_\_\_\_\_ Stunden/Woche

Wie viele Zigaretten  
Rauchen Sie täglich?

- keine  
 weniger als 20  
 weniger als 40  
 mehr als 40

Wie oft nehmen Sie  
alkoholische Getränke zu sich?

- überhaupt nicht  
 selten  
 regelmäßig  
 häufig

Waren Sie im Laufe des letzten Jahres krank geschrieben?

- ja     nein

Wenn ja, Häufigkeit der  
Krankschreibungen:

- einmal  
 zweimal  
 öfter als zweimal

Insgesamte Dauer der  
Erkrankungen:

- weniger als 5 Tage  
 weniger als 10 Tage  
 mehr als 10 Tage

**VERSUCHSREIHE I  
KÜHLLAGER  
+3°C**

x3°C	Kommissionieren	Pause	x21°C
	80	20	
	100	20	
	120	20	

[Minuten]

**ARBEITSBEDINGUNGEN**

**Arbeitsumgebung - Beleuchtung**

*Frage 1:*

**Wie beurteilen Sie die Beleuchtung im Kühllager?**

-4	-3	-2	-1	0
----	----	----	----	---

zu dunkel ← → angenehm

-4	-3	-2	-1	0
----	----	----	----	---

zu hell ← → angenehm

*Frage 2:*

**Wie beurteilen Sie die Anpassung Ihrer Augen an die Lichtverhältnisse beim Wechsel von der Vorkühlzone ins Kühllager und umgekehrt?**

-4	-3	-2	-1	0
----	----	----	----	---

schwierig ← → problemlos

**Arbeitsumgebung - Geräuschpegel**

*Frage 3:*

**Wie beurteilen Sie den Geräuschpegel während der Arbeit?**

-4	-3	-2	-1	0
----	----	----	----	---

zu still ← → angenehm

-4	-3	-2	-1	0
----	----	----	----	---

zu laut ← → angenehm

*Frage 4:*

**Gibt es besonders störende Geräusche?**  nein

ja, und zwar .....

**Wenn ja, beschreiben und beurteilen Sie diese Geräusche!**

.....

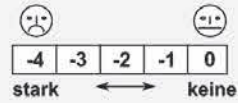
.....

Abb. A3: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 3 von 24

### Arbeitsumgebung - Windgeschwindigkeit

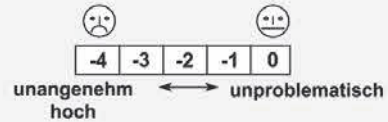
Frage 5:

Wie beurteilen Sie die Zugluft im Kühlager?



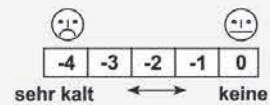
Frage 6:

Wie beurteilen Sie die Windgeschwindigkeit beim Fahren der Flurförderzeuge?



Frage 7:

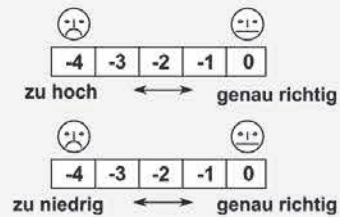
Wie beurteilen Sie die Auswirkungen des Fahrtwindes auf Sie?



### Arbeitsumgebung - Luftfeuchtigkeit

Frage 8:

Wie beurteilen Sie die Luftfeuchtigkeit im Kühlager?



### Arbeitsumgebung - Gesamturteil

Frage 9:

Welches Gesamturteil geben Sie Ihrer Arbeitsumgebung?

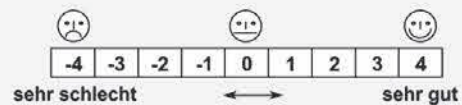


Abb. A4: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 4 von 24

## Kälteschutzkleidung

Frage 10

Welche Kleidungsstücke aus der nachfolgenden Tabelle verwenden Sie?  
(Bitte ankreuzen)

Tabelle:

	Verwendung Frage 10	Behinderung Frage 11	Kälteschutz Frage 12	Komfort Frage 13
Thermo-Hemd	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermo-Weste	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermo-Hose	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermo-Stiefel	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mütze	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Noppenhandschuhe	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fliesshandschuhe	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermo-Unterhemd	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermo-Unterhose	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 11:

Gibt es Kleidungsstücke, die Sie effektiv vor dem Klima schützen, Sie aber bei der Durchführung der Arbeit behindern?  
Wie beurteilen Sie den Behinderungsgrad der Kleidungsstücke?  
(Zahlenwerte bitte in vorstehende Tabelle eintragen)

- ① keine
- ① leichte
- ② mittlere
- ③ starke
- ④ kann Tätigkeit kaum ausführen

Frage 12:

Gibt es Kleidungsstücke, die Sie bei der Durchführung Ihrer Tätigkeit benötigen, Sie aber nicht effektiv vor dem Klima schützen?  
Wie beurteilen Sie die Kälteschutzfunktion der Kleidungsstücke?  
(Zahlenwerte bitte in vorstehende Tabelle eintragen)

- +1 eher zu warm
- ① genau richtig
- 1 kühl / wenig Kälteschutz
- 2 kalt / kaum Kälteschutz
- 3 überhaupt kein Kälteschutz

Frage 13:

Wie beurteilen Sie den Komfort sowohl beim An- und Ausziehen als auch beim Tragen der Kälteschutzkleidung?  
(Zahlenwerte bitte in vorstehende Tabelle eintragen)

- ① sehr bequem
- ① bequem
- ② ausreichend
- ③ unpraktisch
- ④ kaum zu verwenden

Frage 14:

Liegt die Kälteschutzkleidung in Ihrer entsprechenden Größe vor?

	zu klein	genau richtig	zu groß
Thermo-Weste	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Thermo-Hemd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sicherheitsschuhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arbeitshandschuhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Frage 15:

Führt die körperliche Belastung während der Arbeit zu einer erhöhten Schweißabsonderung in den Kleidungsstücken?

	☹️					☺️
Handschuhe	-4	-3	-2	-1	0	
Mütze	-4	-3	-2	-1	0	
Hose	-4	-3	-2	-1	0	
Weste	-4	-3	-2	-1	0	
Schuhe	-4	-3	-2	-1	0	

stark erhöht ← → keine

Frage 16:

Wie stark ist die Schweißabsonderung ...

... auf dem Weg zwischen Kühllager und Pausenraum?

	☹️					☺️
	-4	-3	-2	-1	0	

stark ← → keine

... während der Aufwärmphasen?

	☹️					☺️
	-4	-3	-2	-1	0	

stark ← → keine

Frage 17:

Reichen die Trocknungsphasen aus, oder fühlt sich die Kälteschutzkleidung nach der Pause noch feucht an?

	☹️					☺️
	-4	-3	-2	-1	0	

stark verschwitz ← → komplett trocken

Frage 18:

Wie beurteilen Sie insgesamt die Ihnen zur Verfügung gestellte Kälteschutzkleidung?

	☹️									☺️
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	

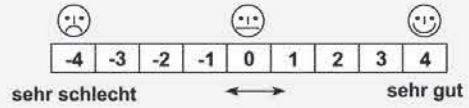
sehr schlecht ← → sehr gut

Abb. A6: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 6 von 24

### Arbeitsmittel

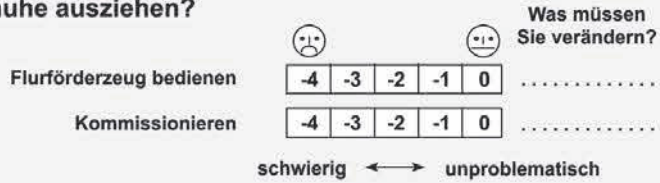
Frage 19:

**Wie lassen sich mit dem Flurförderzeug die Paletten bedienen?**



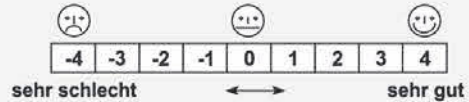
Frage 20:

**Wie gut können Sie die nachfolgenden Arbeitsschritte trotz Kälteschutzkleidung durchführen? Müssen Sie für einen dieser Vorgänge die Kleidung variieren, z.B. die Handschuhe ausziehen?**



Frage 21:

**Welches Gesamturteil geben Sie von Ihnen verwendeten Arbeitsmitteln?**



### Arbeitszeitregelung

Frage 22:

**Wie beurteilen Sie diese Aufteilung: 80-20-100-20-120?**

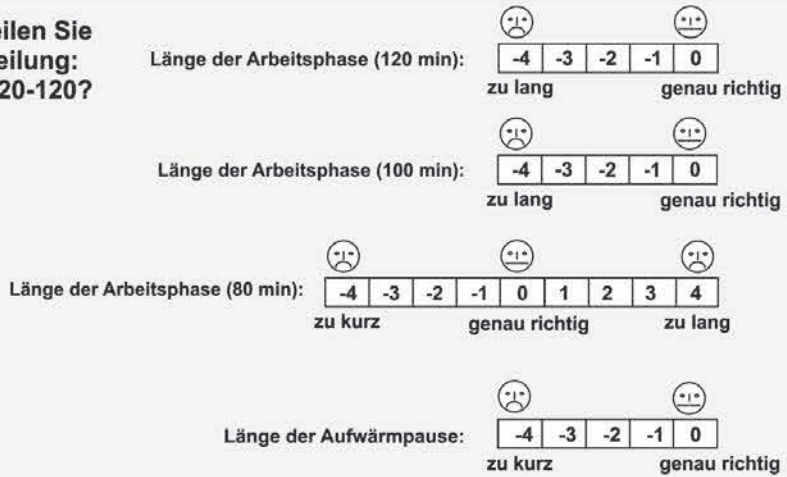


Abb. A7: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 7 von 24



Frage 23:

Wenn Sie eine andere Aufteilung  
wünschen, wie könnte diese unter  
Einhaltung der Tagesarbeitszeit  
(von z.B. 7 h) aussehen?

Arbeitsphase [min]: .....

Aufwärmphase [min]: .....

Frage 24:

Benötigen Sie nach der Arbeit  
noch eine Regenerationszeit  
im Pausenraum?

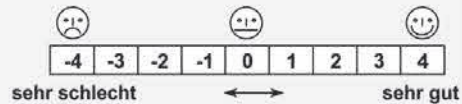
 Nein Ja, und zwar ..... min

### Generelle Beurteilung der Arbeitsbedingungen im Kühllager

Frage 25:

Die  
• Arbeitsumgebung,  
• Kälteschutzkleidung,  
• Arbeitsmittel und  
• Arbeitszeitregelung  
bestimmen die Arbeitsbedingungen.

Wie beurteilen Sie diese insgesamt?



Frage 26:

Was würden Sie gerne ändern, wenn Sie auf die Gestaltung der  
Arbeitsbedingungen Einfluss nehmen könnten?

.....

.....

.....

.....

.....

Abb. A8: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 8 von 24

**KÖRPERLICHES BEFINDEN**

**Körperliches Befinden während des Einsatzes im Kühlager**

Frage 27:

**Verspüren Sie regelmäßig während der Arbeitsphasen eines der nachfolgenden Symptome?  
Wie lange hielten diese Symptome an und wo traten sie auf?**

0 nie  
 1 nur kurzfristig  
 2 bis Ende der Kältephase  
 3 bis Ende der Aufwärmphase

Hustenreiz

Blässe der Haut  Stelle: .....

Gefühllosigkeit der Haut  Stelle: .....

leichte Schmerzen der Haut  Stelle: .....

Juckreiz, Kribbeln  Stelle: .....

Frage 28:

**Wie beurteilen Sie die Temperaturunterschiede beim Wechsel von Arbeits- und Pausenphasen:**

**Beim Wechsel von Kühlhaus zum Pausenraum?**

-4  -3  -2  -1  0  1  2  3  4  
 unerträglich ← → sehr angenehm

**Beim Wechsel von Pausenraum zum Kühlhaus ?**

-4  -3  -2  -1  0  1  2  3  4  
 unerträglich ← → sehr angenehm

Abb. A9: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 9 von 24

Frage 29:

Wie beurteilen Sie die Stärke evtl. Beschwerden in den gekennzeichneten Bereichen?  
(Bitte in grauen Kreis  eintragen)

- 0 keine
- 1 etwas
- 2 ziemlich
- 3 stark
- 4 sehr stark

Frage 30:

Wie beurteilen Sie die Dauer evtl. Beschwerden in den gekennzeichneten Bereichen?  
(Bitte in weißen Kasten  eintragen)

- 0 nie
- 1 nur kurz
- 2 bis zum Ende der Kältephase
- 3 bis zum Ende des Versuchstages

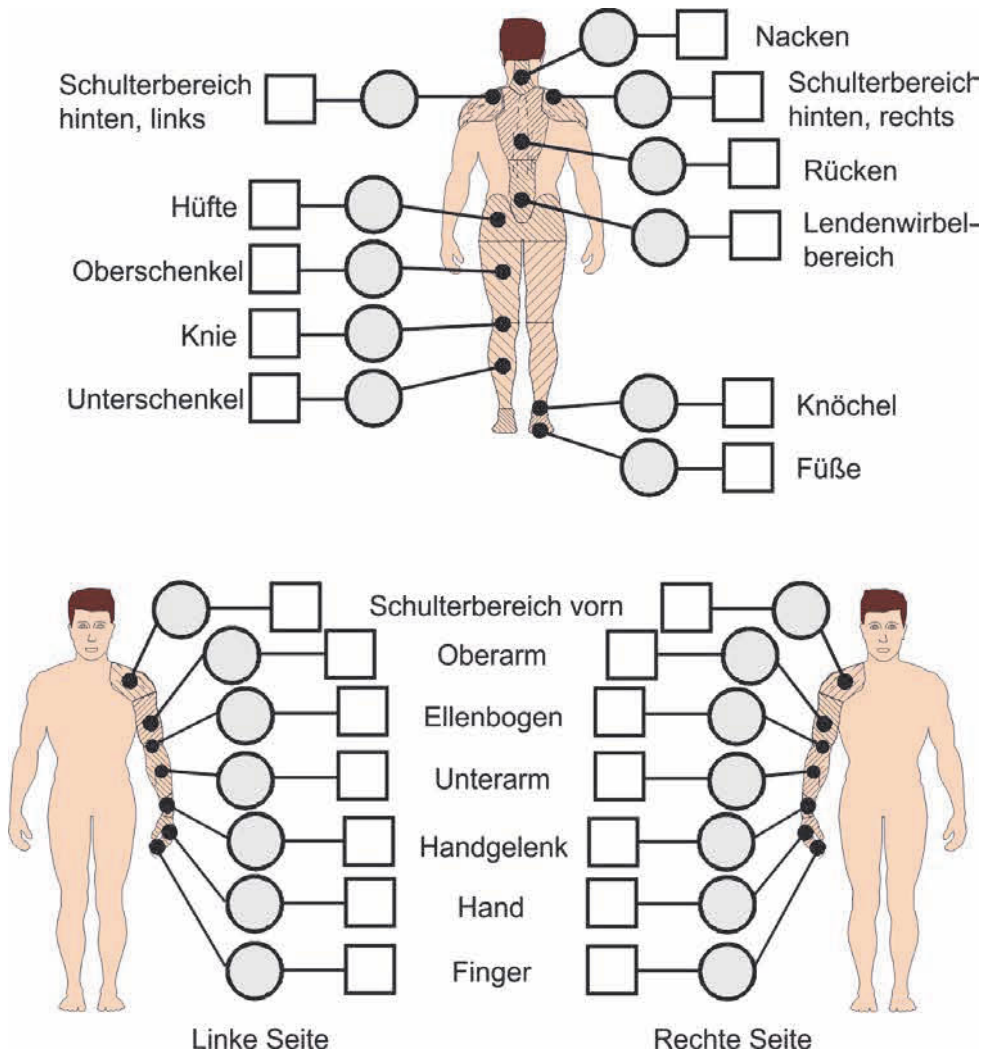


Abb. A10: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 10 von 24

**Frage 31:**

Hatten Sie während oder direkt nach der Arbeit andere, nicht muskel- oder gelenkbezogene Beschwerden?  
Wenn ja, wie stark und wann treten diese auf?

	☹️				☺️	Wann?
Kopfschmerzen	-4	-3	-2	-1	0	.....
Atemnot	-4	-3	-2	-1	0	.....
Schwindel	-4	-3	-2	-1	0	.....
Herzklopfen	-4	-3	-2	-1	0	.....
Schwarzsehen	-4	-3	-2	-1	0	.....

stark ←→ nie

**Frage 32:**

Wie beurteilen Sie insgesamt ihre körperliche Beanspruchung?

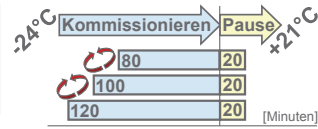
☹️										☺️
-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4		

sehr hohe Beanspruchung ←→ sehr niedrige Beanspruchung

### Anmerkungen/Kritik zu dieser Untersuchung

Hier können Sie sich äußern:

**VERSUCHSREIHE II**  
**TIEFKÜHLLAGER**  
**-24°C**

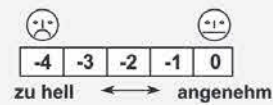
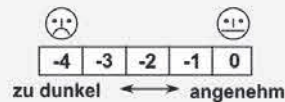


**ARBEITSBEDINGUNGEN**

**Arbeitsumgebung - Beleuchtung**

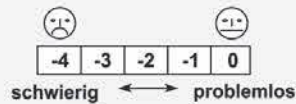
Frage 1:

Wie beurteilen Sie die Beleuchtung im Tiefkühlager?



Frage 2:

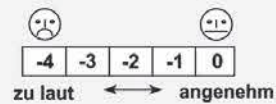
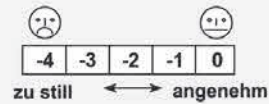
Wie beurteilen Sie die Anpassung Ihrer Augen an die Lichtverhältnisse beim Wechsel von der Vorkühlzone ins Tiefkühlager und umgekehrt?



**Arbeitsumgebung - Geräuschpegel**

Frage 3:

Wie beurteilen Sie den Geräuschpegel während der Arbeit?



Frage 4:

Gibt es besonders störende Geräusche?

nein

ja, und zwar .....

Wenn ja, beschreiben und beurteilen Sie diese Geräusche!

.....  
 .....

Abb. A12: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 12 von 24

**Arbeitsumgebung - Windgeschwindigkeit**

Frage 5: **Wie beurteilen Sie die Zugluft im Tiefkühlager?**

-4 -3 -2 -1 0  
 stark ←→ keine

Frage 6: **Wie beurteilen Sie die Windgeschwindigkeit beim Fahren der Flurförderzeuge?**

-4 -3 -2 -1 0  
 unangenehm hoch ←→ unproblematisch

Frage 7: **Wie beurteilen Sie die Auswirkungen des Fahrtwindes auf Sie?**

-4 -3 -2 -1 0  
 sehr kalt ←→ keine

**Arbeitsumgebung - Luftfeuchtigkeit**

Frage 8: **Wie beurteilen Sie die Luftfeuchtigkeit im Tiefkühlager?**

-4 -3 -2 -1 0  
 zu hoch ←→ genau richtig  
  
  
 -4 -3 -2 -1 0  
 zu niedrig ←→ genau richtig

Frage 9: **Beobachten Sie gelegentlich Eisbildung im Tiefkühlager?**  nein

ja, und zwar .....

**Wenn ja, an welchen Stellen?**

.....

.....

.....

Frage 10: **Beobachten Sie gelegentlich Eisbildung an Ihrer Kälteschutzkleidung?**  nein

ja, und zwar .....

**Wenn ja, an welchen Kleidungsstücken?**

.....

.....

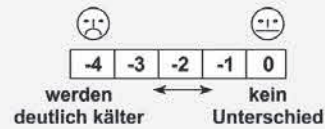
.....

Abb. A13: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 13 von 24

Frage 11:

Wenn vorhanden, wie wirkt sich die Eisbildung an den Kleidungsstücken auf Sie aus?

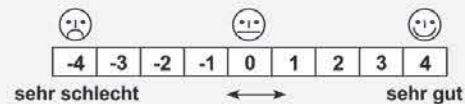
Werden die Stellen mit Eisbildung deutlich kälter?



### Arbeitsumgebung - Gesamturteil

Frage 12:

Welches Gesamturteil geben Sie Ihrer Arbeitsumgebung?



### Kälteschutzkleidung

Frage 13:

Welche Kleidungsstücke aus der nachfolgenden Tabelle verwenden Sie? (Bitte ankreuzen)

Tabelle:

	Verwendung Frage 13	Behinderung Frage 14	Kälteschutz Frage 15	Komfort Frage 16
Thermo-Jacke	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermo-Hose	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermo-Stiefel	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermo-Socken	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mütze	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Noppenhandschuhe	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fliesshandschuhe	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 14:

Gibt es Kleidungsstücke, die Sie effektiv vor dem Klima schützen, Sie aber bei der Durchführung der Arbeit behindern? Wie beurteilen Sie den Behinderungsgrad der Kleidungsstücke? (Zahlenwerte bitte in vorstehende Tabelle eintragen)

- ① keine
- ① leichte
- ② mittlere
- ③ starke
- ④ kann Tätigkeit kaum ausführen

Abb. A14: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 14 von 24

**Frage 15:**

Gibt es Kleidungsstücke, die Sie bei der Durchführung Ihrer Tätigkeit benötigen, Sie aber nicht effektiv vor dem Klima schützen?  
 Wie beurteilen Sie die Kälteschutzfunktion der Kleidungsstücke?  
 (Zahlenwerte bitte in vorstehende Tabelle eintragen)

- +1 eher zu warm
- 0 genau richtig
- 1 kühl / wenig Kälteschutz
- 2 kalt / kaum Kälteschutz
- 3 überhaupt kein Kälteschutz

**Frage 16:**

Wie beurteilen Sie den Komfort sowohl beim An- und Ausziehen als auch beim Tragen der Kälteschutzkleidung?  
 (Zahlenwerte bitte in vorstehende Tabelle eintragen)

- 0 sehr bequem
- 1 bequem
- 2 ausreichend
- 3 unpraktisch
- 4 kaum zu verwenden

**Frage 17:**

Liegt die Kälteschutzkleidung in Ihrer entsprechenden Größe vor?

	zu klein	genau richtig	zu groß
Thermo-Jacke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Thermo-Hose	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Thermo-Stiefel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arbeitshandschuhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Frage 18:**

Führt die körperliche Belastung während der Arbeit zu einer erhöhten Schweißabsonderung in den Kleidungsstücken?

	<span style="margin: 0 10px;">-4</span> <span style="margin: 0 10px;">-3</span> <span style="margin: 0 10px;">-2</span> <span style="margin: 0 10px;">-1</span> <span style="margin: 0 10px;">0</span> <span style="float: right;"></span>				
Handschuhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mütze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hose	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jacke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stiefel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

stark erhöht ← → keine

**Frage 19:**

Wie stark ist die Schweißabsonderung ...

... auf dem Weg zwischen Tiefkühlager und Pausenraum?

	<span style="margin: 0 10px;">-4</span> <span style="margin: 0 10px;">-3</span> <span style="margin: 0 10px;">-2</span> <span style="margin: 0 10px;">-1</span> <span style="margin: 0 10px;">0</span> <span style="float: right;"></span>				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

stark ← → keine

... während der Aufwärmphasen?

	<span style="margin: 0 10px;">-4</span> <span style="margin: 0 10px;">-3</span> <span style="margin: 0 10px;">-2</span> <span style="margin: 0 10px;">-1</span> <span style="margin: 0 10px;">0</span> <span style="float: right;"></span>				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

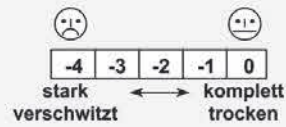
stark ← → keine

Abb. A15: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 15 von 24



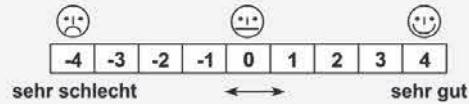
Frage 20:

Reichen die Trocknungsphasen aus, oder fühlt sich die Kälteschutzkleidung nach der Pause noch feucht an?



Frage 21:

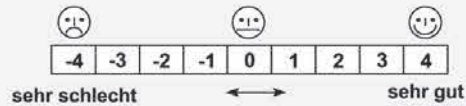
Wie beurteilen Sie insgesamt die Ihnen zur Verfügung gestellte Kälteschutzkleidung?



### Arbeitsmittel

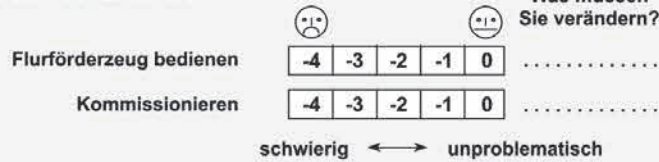
Frage 22:

Wie lassen sich mit dem Flurförderzeug die Paletten bedienen?



Frage 23:

Wie gut können Sie die nachfolgenden Arbeitsschritte trotz Kälteschutzkleidung durchführen?  
Müssen Sie für einen dieser Vorgänge die Kleidung variieren, z.B. die Handschuhe ausziehen?



Frage 24:

Welches Gesamturteil geben Sie den von Ihnen verwendeten Arbeitsmitteln?

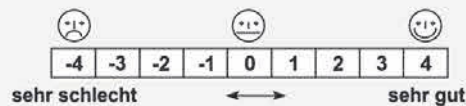


Abb. A16: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 16 von 24

### Arbeitszeitregelung

**Frage 25:** Wie beurteilen Sie diese Aufteilung: 80-20-100-20-120?

Länge der Arbeitsphase (120 min): -4 -3 -2 -1 0  
 zu lang genau richtig

Länge der Arbeitsphase (100 min): -4 -3 -2 -1 0  
 zu lang genau richtig

Länge der Arbeitsphase (80 min): -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4  
 zu kurz genau richtig zu lang

Länge der Aufwärmphase: -4 -3 -2 -1 0  
 zu kurz genau richtig

**Frage 26:** Wenn Sie eine andere Aufteilung wünschen, wie könnte diese unter Einhaltung der Tagesarbeitszeit (von z.B. 7 h) aussehen?

Arbeitsphase [min]: .....

Aufwärmphase [min]: .....

**Frage 27:** Benötigen Sie nach der Arbeit noch eine Regenerationszeit im Pausenraum?

Nein

Ja, und zwar ..... min

### Generelle Beurteilung der Arbeitsbedingungen im Tiefkühlager

**Frage 28:** Die

- Arbeitsumgebung,
- Kälteschutzkleidung,
- Arbeitsmittel und
- Arbeitszeitregelung

bestimmen die Arbeitsbedingungen.

Wie beurteilen Sie diese insgesamt? -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4  
 sehr schlecht ↔ sehr gut

**Frage 29:** Was würden Sie gerne ändern, wenn Sie auf die Gestaltung der Arbeitsbedingungen Einfluss nehmen könnten?

.....

.....

.....

.....

.....

Abb. A17: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 17 von 24

**KÖRPERLICHES BEFINDEN**

**Körperliches Befinden während des Einsatzes im Tiefkühlager**

Frage 30:

Verspüren Sie regelmäßig während der Arbeitsphasen eines der nachfolgenden Symptome?  
Wie lange hielten diese Symptome an und wo traten sie auf?

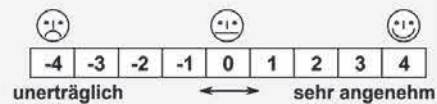
- 0 nie
- 1 nur kurzfristig
- 2 bis Ende der Kältephase
- 3 bis Ende der Aufwärmphase

- Hustenreiz
- Blässe der Haut  Stelle: .....
- Gefühllosigkeit der Haut  Stelle: .....
- leichte Schmerzen der Haut  Stelle: .....
- Juckreiz, Kribbeln  Stelle: .....

Frage 31:

Wie beurteilen Sie die Temperaturunterschiede beim Wechsel von Arbeits- und Pausenphasen:

Beim Wechsel von Tiefkühlager zum Pausenraum?



Beim Wechsel von Pausenraum zum Tiefkühlager ?

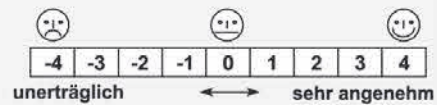


Abb. A18: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 18 von 24

**Frage 32:** Wie beurteilen Sie die Stärke evtl. Beschwerden in den gekennzeichneten Bereichen? (Bitte in grauen Kreis  eintragen)

- 0 keine
- 1 etwas
- 2 ziemlich
- 3 stark
- 4 sehr stark

**Frage 33:** Wie beurteilen Sie die Dauer evtl. Beschwerden in den gekennzeichneten Bereichen? (Bitte in weißen Kasten  eintragen)

- 0 nie
- 1 nur kurz
- 2 bis zum Ende der Kältephase
- 3 bis zum Ende des Versuchstages

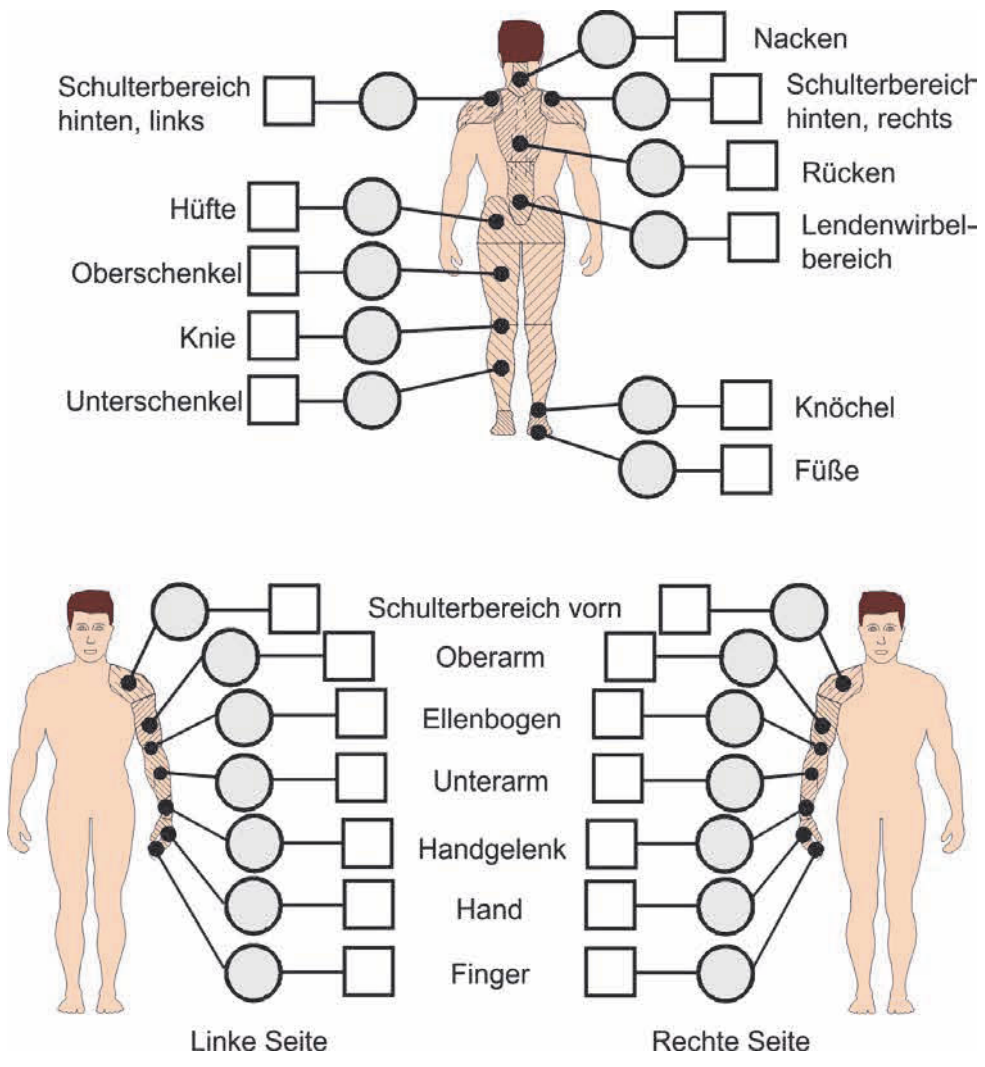


Abb. A19: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 19 von 24

Frage 34:

Hatten Sie während oder direkt nach der Arbeit andere, nicht muskel- oder gelenkbezogene Beschwerden?

Wenn ja, wie stark und wann treten diese auf?

	☹️					☺️	Wann?
Kopfschmerzen	-4	-3	-2	-1	0		.....
Atemnot	-4	-3	-2	-1	0		.....
Schwindel	-4	-3	-2	-1	0		.....
Herzklopfen	-4	-3	-2	-1	0		.....
Schwarzsehen	-4	-3	-2	-1	0		.....

stark ← → nie

Frage 35:

Wie beurteilen Sie insgesamt ihre körperliche Beanspruchung?

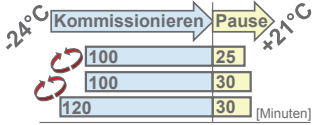
	☹️									☺️
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	

sehr hohe Beanspruchung ← → sehr niedrige Beanspruchung

### Anmerkungen/Kritik zu dieser Untersuchung

Hier können Sie sich äußern:

**VERSUCHSREIHE III  
TIEFKÜHLLAGER  
-24°C**



**Pausengestaltung**

*Frage 1:*

**Wie beurteilen Sie diese Aufteilung: 100-25-100-30-120-30?**

Länge der Arbeitsphase (120 min): ☹️ -4 -3 -2 -1 0 ☺️  
zu lang genau richtig

Länge der Arbeitsphase (100 min): ☹️ -4 -3 -2 -1 0 ☺️  
zu lang genau richtig

Länge der Aufwärmphase (25 min): ☹️ -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 ☺️  
zu kurz genau richtig zu lang

Länge der Aufwärmphase (30 min): ☹️ -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 ☺️  
zu kurz genau richtig zu lang

*Frage 2:*

**Wenn Sie eine andere Aufteilung wünschen, wie könnte diese unter Einhaltung der Tagesarbeitszeit (von z.B. 7 h) aussehen?**

Arbeitsphase [min]: .....

Aufwärmphase [min]: .....

Abb. A21: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 21 von 24

**KÖRPERLICHES BEFINDEN**

**Körperliches Befinden während des Einsatzes im Tiefkühlager**

Frage 3:

Verspüren Sie regelmäßig während der Arbeitsphasen eines der nachfolgenden Symptome?

Wie lange hielten diese Symptome an und wo traten sie auf?

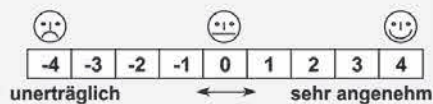
- 0 nie
- 1 nur kurzfristig
- 2 bis Ende der Kältephase
- 3 bis Ende der Aufwärmphase

- Hustenreiz
- Blässe der Haut  Stelle: .....
- Gefühllosigkeit der Haut  Stelle: .....
- leichte Schmerzen der Haut  Stelle: .....
- Juckreiz, Kribbeln  Stelle: .....

Frage 4:

Wie beurteilen Sie die Temperaturunterschiede beim Wechsel von Arbeits- und Pausenphasen:

Beim Wechsel von Tiefkühlhaus zum Pausenraum?



Beim Wechsel von Pausenraum zum Tiefkühlhaus ?

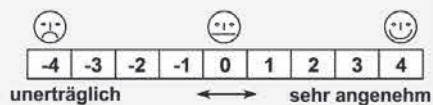


Abb. A22:

Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 22 von 24

Frage 5: **Wie beurteilen Sie die Stärke evtl. Beschwerden in den gekennzeichneten Bereichen?**  
 (Bitte in grauen Kreis  eintragen)

0 keine  
 1 etwas  
 2 ziemlich  
 3 stark  
 4 sehr stark

Frage 6: **Wie beurteilen Sie die Dauer evtl. Beschwerden in den gekennzeichneten Bereichen?**  
 (Bitte in weißen Kasten  eintragen)

0 nie  
 1 nur kurz  
 2 bis zum Ende der Kältephase  
 3 bis zum Ende des Versuchstages

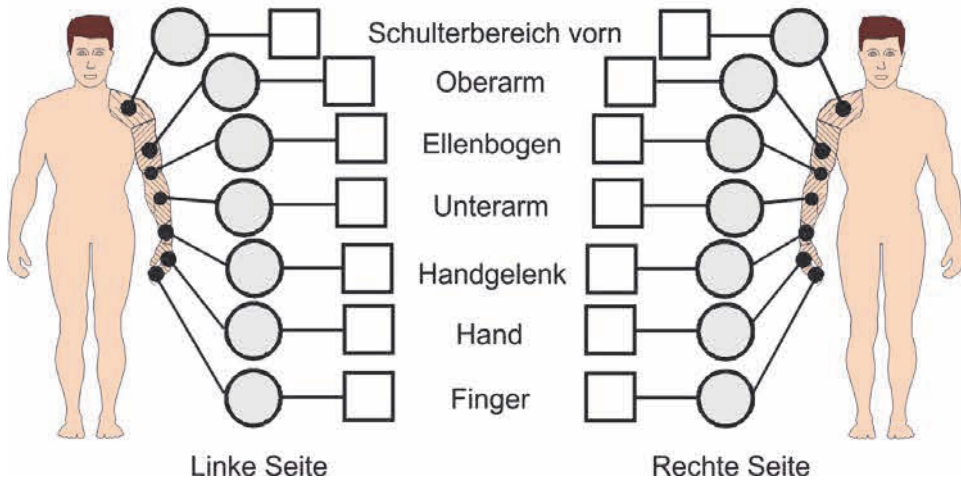
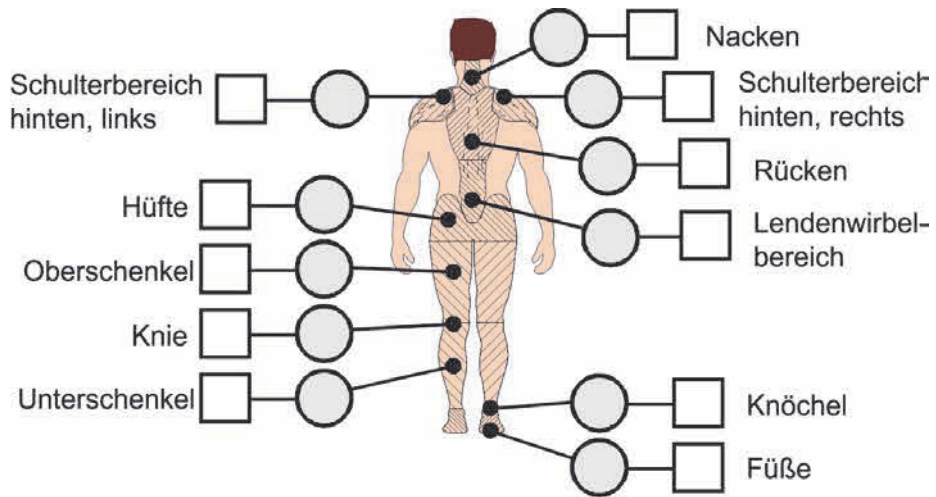


Abb. A23: Fragebogen der subjektiven Beurteilung der physischen Beanspruchung – Seite 23 von 24



Frage 7:

Hatten Sie während oder direkt nach der Arbeit andere, nicht muskel- oder gelenkbezogene Beschwerden?

Wenn ja, wie stark und wann treten diese auf?

	☹️					☺️	Wann?
Kopfschmerzen	-4	-3	-2	-1	0		.....
Atemnot	-4	-3	-2	-1	0		.....
Schwindel	-4	-3	-2	-1	0		.....
Herzklopfen	-4	-3	-2	-1	0		.....
Schwarzsehen	-4	-3	-2	-1	0		.....

stark ← → nie

Frage 8:

Wie beurteilen Sie insgesamt ihre körperliche Beanspruchung?

	☹️										☺️
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4		

sehr hohe Beanspruchung ← → sehr niedrige Beanspruchung

### Anmerkungen/Kritik zu dieser Untersuchung

Hier können Sie sich äußern:

Tab. B1: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe I – Seite 1 von 3

Uhrzeit	Dauer [min]	Arbeitsaufgabe von Versuchsleiter I und der Arbeitsperson (Apn)	Arbeitsaufgabe von Versuchsleiter II	
<b>Versuchsvorbereitung</b>				
10:00	10	Erläuterung der Versuchsdurchführung*	Vorbereitung der Messtechnik und des Versuchsprotokolls	
	5	Aufnahme persönlicher Daten und Körpermaße*		
	2	Anlegen und Starten des Herzfrequenzmessers		
	1	Erfassung der Körperkerntemperatur		
10:18	20	<b>PWC<sub>130</sub>-Test</b> (mit anschließender Pause für die Apn)*		
	2	Eignungsfeststellung auf Basis des Testergebnisses*		
10:40	10	Aufkleben und Anschluss der Thermosensoren		Einschalten des MetaMax®-Systems**
	3	Anlegen der Blutdruckmanschette		
	5	Applizieren des MetaMax®-Systems**		
	2	Starten der Messsysteme „Thermofox“ und „boso PC 2430“		
11:00	1	Messung der Körperkerntemperatur	Vorbereiten der Ersatzware in der Vorkühlzone	
	10	Ruhephase zur Einstellung konstanter Werte		
	2	Anlegen der Arbeitskleidung für das Kühllager		
	2	Gang zur Vorkühlzone		
<b>Umsetztätigkeit in der Vorkühlzone**</b>				
11:15	2	Anlegen der Atemmaske	Bereitstellung des Flurförderfahrzeugs (Ffz) für den weiteren Versuchstag	
	8	Start und Kalibrierung des MetaMax®-Systems		
11:25	15	<b>Simulierte Kommissionierung von 4 Paletten</b>		
	2	Beenden der Energieumsatzmessung		
	2	Ablegen der Atemmaske		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	5	Einweisung in das Flurförderfahrzeug*		
<b>Pause</b>				
11:50	2	Gang zum Sozialraum	Reinigung der Atemmaske des MetaMax®-Systems**	
	2	Ablegen von Thermo-Hemd und -Weste		
	20	Pause für die Apn		
12:14	2	Anlegen von Thermo-Hemd und -Weste		
	2	Gang zum Kühllager	Verteilung der Ersatzware im Kühllager	
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
<b>Kommissioniertätigkeit im Kühllager (Arbeitsphase 80 min)***</b>				
12:20	5	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit		
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	1	Befragung zu Kälteempfindungen		
12:42	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	1	Befragung zu Kälteempfindungen		
12:59	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	1	Befragung zu Kälteempfindungen		

Tab. B2: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe I – Seite 2 von 3

13:16	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
13:33	5	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (20 min)</b>			
13:40	2	Gang zum Sozialraum	
	2	Ablegen von Thermo-Hemd und -Weste	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	10	Pause für die Apn	
	2	Anlegen von Thermo-Hemd und -Weste	
	2	Gang zum Kühllager	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
<b>Kommissioniertätigkeit im Kühllager (Arbeitsphase 100 min)***</b>			
14:00	5	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
14:22	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
14:39	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
14:56	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
15:13	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
15:30	8	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (20min)</b>			
15:40	2	Gang zum Sozialraum	
	2	Ablegen von Thermo-Hemd und -Weste	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	10	Pause für die Apn	
	2	Anlegen von Thermo-Hemd und -Weste	
	2	Gang zum Kühllager	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	

Tab. B3: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe I – Seite 3 von 3

Kommissioniertätigkeit im Kühllager (Arbeitsphase 120 min)***			
16:00	5	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
16:22	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
16:39	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
16:56	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
17:13	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
17:30	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
17:47	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
	11	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (20 min)</b>			
18:00	2	Gang zum Sozialraum	Einräumen der Ersatzware im Kühllager Säuberung des Kühllagers Fahrt mit dem Ffz zur Ladestation im Trockenlager  Reinigung der Messinstrumente
	2	Ablegen von Thermo-Hemd und -Weste	
18:05	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	15	Ausfüllen des Fragebogens	
	10	Entfernung der Messtechnik	
	4	Abschluss des Versuchsprotokolls	
	10	Übertragung der Messdaten	
18:44	<b>Ende des Untersuchungstages</b>		

- \* Die Aufgaben/Tätigkeiten können entfallen, wenn diese bereits an einem anderen Versuchstag durchgeführt wurden.
- \*\* Die Energieumsatzmessung in der Vorkühlzone wurde grundsätzlich am 1. Versuchstag durchgeführt und entfiel daher, wenn Versuchsreihe I nicht am 1. Versuchstag stattfand.
- \*\*\* Beispielhafter Verlauf eines Versuchstages mit dem Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime 80-20-100-20-120-20. Die Arbeitsphasen wurden entsprechend der Erläuterungen in Abschnitt 6.1.1 randomisiert.

Tab. B4: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe II – Seite 1 von 3

Uhrzeit	Dauer [min]	Arbeitsaufgabe von Versuchsleiter I und der Arbeitsperson (Apn)	Arbeitsaufgabe von Versuchsleiter II	
<b>Versuchsvorbereitung</b>				
10:00	10	Erläuterung der Versuchsdurchführung*	Vorbereitung der Messtechnik und des Versuchsprotokolls	
	5	Aufnahme persönlicher Daten und Körpermaße*		
	2	Anlegen und Starten des Herzfrequenzmessers		
	1	Erfassung der Körperkerntemperatur		
10:18	20	<b>PWC<sub>130</sub>-Test</b> (mit anschließender Pause für die Apn)*		
	2	Eignungsfeststellung auf Basis des Testergebnisses*		
10:40	10	Aufkleben und Anschluss der Thermosensoren		Einschalten des MetaMax <sup>®</sup> -Systems**
	3	Anlegen der Blutdruckmanschette		
	5	Applizieren des MetaMax <sup>®</sup> -Systems**		
	2	Starten der Messsysteme „Thermofox“ und „boso PC 2430“		
11:00	1	Messung der Körperkerntemperatur	Vorbereiten der Ersatzware in der Vorkühlzone	
	10	Ruhephase zur Einstellung konstanter Werte		
	2	Anlegen der Arbeitskleidung für das Kühllager		
	2	Gang zur Vorkühlzone		
<b>Umsetztätigkeit in der Vorkühlzone**</b>				
11:15	2	Anlegen der Atemmaske	Bereitstellung des Flurförderfahrzeugs (Ffz) für den weiteren Versuchstag	
	8	Start und Kalibrierung des MetaMax <sup>®</sup> -Systems		
11:25	15	<b>Simulierte Kommissionierung von 4 Paletten</b>		
	2	Beenden der Energieumsatzmessung		
	2	Ablegen der Atemmaske		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	5	Einweisung in das Flurförderfahrzeug*		
<b>Pause</b>				
11:50	2	Gang zum Sozialraum	Reinigung der Atemmaske des MetaMax <sup>®</sup> -Systems** Verteilung der Ersatzware im Kühllager	
	2	Ablegen von Thermo-Hemd und -Weste		
	16	Pause für die Apn		
12:10	2	Anlegen der Schutzkleidung für das Tiefkühlager		
	2	Gang zum Tiefkühlager		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	2	Anlegen der Atemmaske****		
	3	Start des MetaMax <sup>®</sup> -Systems****		
<b>Kommissioniertätigkeit im Tiefkühlager (Arbeitsphase 80 min)***</b>				
12:20	4	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit	Reinigung der Atemmaske des MetaMax <sup>®</sup> -Systems****	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	1	Befragung zu Kälteempfindungen		
12:41	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	2	Ablegen der Atemmaske**** und Befragung zu Kälteempfindungen		

Tab. B5: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe II – Seite 2 von 3

12:59	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
13:16	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
13:33	5	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (20min)</b>			
13:40	2	Gang zum Sozialraum	
	2	Ablegen von Thermo-Hose und -Jacke	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	10	Pause für die Apn	
	2	Anlegen von Thermo-Hose und -Jacke	
	2	Gang zum Kühllager	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
<b>Kommissioniertätigkeit im Kühllager (Arbeitsphase 100 min)***</b>			
14:00	5	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
14:22	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
14:39	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
14:56	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
15:13	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
15:30	8	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (20min)</b>			
15:40	2	Gang zum Sozialraum	
	2	Ablegen von Thermo-Hose und -Jacke	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	10	Pause für die Apn	
	2	Anlegen von Thermo-Hose und -Jacke	
	2	Gang zum Kühllager	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	

Tab. B6: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe II – Seite 3 von 3

Kommissioniertätigkeit im Kühllager (Arbeitsphase 120 min)***			
16:00	5	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
16:22	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
16:39	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
16:56	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
17:13	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
17:30	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
	11	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
17:47	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (20 min)</b>			
18:00	2	Gang zum Sozialraum	Einräumen der Ersatzware im Tiefkühlager
	2	Ablegen von Thermo-Hose und -Jacke	Säuberung des Kühllagers
18:05	1	Messung der Körperkerntemperatur	Fahrt mit dem Pfl zur Ladestation im Trockenlager
	15	Ausfüllen des Fragebogens	
	10	Entfernung der Messtechnik	
	4	Abschluss des Versuchsprotokolls	Reinigung der Messinstrumente
	10	Übertragung der Messdaten	
18:44	<b>Ende des Untersuchungstages</b>		

- \* Die Aufgaben/Tätigkeiten können entfallen, wenn diese bereits an einem anderen Versuchstag durchgeführt wurden.
- \*\* Die Energieumsatzmessung in der Vorkühlzone wurde grundsätzlich am 1. Versuchstag durchgeführt und entfiel daher, wenn Versuchsreihe I nicht am 1. Versuchstag stattfand.
- \*\*\* Beispielhafter Verlauf eines Versuchstages mit dem Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime 80-20-100-20-120-20. Die Arbeitsphasen wurden entsprechend der Erläuterungen in Abschnitt 6.1.1 randomisiert.
- \*\*\*\* Die Energieumsatzmessung im Tiefkühlager fand entweder während Versuchsreihe II oder III statt.

Tab. B7: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe III – Seite 1 von 3

Uhrzeit	Dauer [min]	Arbeitsaufgabe von Versuchsleiter I und der Arbeitsperson (Apn)	Arbeitsaufgabe von Versuchsleiter II	
<b>Versuchsvorbereitung</b>				
10:00	10	Erläuterung der Versuchsdurchführung*	Vorbereitung der Messtechnik und des Versuchsprotokolls	
	5	Aufnahme persönlicher Daten und Körpermaße*		
	2	Anlegen und Starten des Herzfrequenzmessers		
	1	Erfassung der Körperkerntemperatur		
10:18	20	<b>PWC<sub>130</sub>-Test</b> (mit anschließender Pause für die Apn)*		
	2	Eignungsfeststellung auf Basis des Testergebnisses*		
10:40	10	Aufkleben und Anschluss der Thermosensoren		Einschalten des MetaMax®-Systems**
	3	Anlegen der Blutdruckmanschette		
	5	Applizieren des MetaMax®-Systems**		
	2	Starten der Messsysteme „Thermofox“ und „boso PC 2430“		
11:00	1	Messung der Körperkerntemperatur	Vorbereiten der Ersatzware in der Vorkühlzone	
	10	Ruhephase zur Einstellung konstanter Werte		
	2	Anlegen der Arbeitskleidung für das Kühllager		
	2	Gang zur Vorkühlzone		
<b>Umsetztätigkeit in der Vorkühlzone**</b>				
11:15	2	Anlegen der Atemmaske	Bereitstellung des Flurförderfahrzeugs (Ffz) für den weiteren Versuchstag	
	8	Start und Kalibrierung des MetaMax®-Systems		
11:25	15	<b>Simulierte Kommissionierung von 4 Paletten</b>		
	2	Beenden der Energieumsatzmessung		
	2	Ablegen der Atemmaske		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	5	Einweisung in das Flurförderfahrzeug*		
<b>Pause</b>				
11:50	2	Gang zum Sozialraum	Reinigung der Atemmaske des MetaMax®-Systems** Verteilung der Ersatzware im Kühllager	
	2	Ablegen von Thermo-Hemd und -Weste		
	16	Pause für die Apn		
12:10	2	Anlegen der Schutzkleidung für das Tiefkühlager		
	2	Gang zum Tiefkühlager		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	2	Anlegen der Atemmaske****		
	3	Start des MetaMax®-Systems****		
<b>Kommissioniertätigkeit im Tiefkühlager (Arbeitsphase 100 min)***</b>				
12:20	4	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit	Reinigung der Atemmaske des MetaMax®-Systems****	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	1	Befragung zu Kälteempfindungen		
12:41	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>		
	1	Messung der Körperkerntemperatur		
	2	Ablegen der Atemmaske**** und Befragung zu Kälteempfindungen		



Tab. B8: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe III – Seite 2 von 3

12:59	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
13:16	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
13:33	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
13:50	8	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (25 min)</b>			
14:00	2	Gang zum Sozialraum	
	2	Ablegen von Thermo-Hose und -Jacke	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	15	Pause für die Apn	
	2	Anlegen von Thermo-Hose und -Jacke	
	2	Gang zum Kühllager	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
<b>Kommissioniertätigkeit im Kühllager (Arbeitsphase 100 min)***</b>			
14:25	5	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
14:47	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
15:04	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
15:21	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
15:38	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
15:55	8	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (30 min)</b>			
16:05	2	Gang zum Sozialraum	
	2	Ablegen von Thermo-Hose und -Jacke	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	20	Pause für die Apn	
	2	Anlegen von Thermo-Hose und -Jacke	
	2	Gang zum Kühllager	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	

Tab. B9: Versuchsablaufplan von Versuchsreihe III – Seite 3 von 3

Kommissioniertätigkeit im Kühllager (Arbeitsphase 120 min)***			
16:35	5	Vorbereitung der Kommissioniertätigkeit	
	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
16:57	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
16:14	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
16:31	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
17:48	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
18:05	15	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
18:22	11	<b>Kommissioniertätigkeit</b>	
	1	Messung der Körperkerntemperatur	
	1	Befragung zu Kälteempfindungen	
<b>Pause (30 min)</b>			
18:35	2	Gang zum Sozialraum	Einräumen der Ersatzware im Tiefkühlager
	2	Ablegen von Thermo-Hose und -Jacke	Säuberung des Kühllagers
	1	Messung der Körperkerntemperatur	Fahrt mit dem Ffz zur Ladestation im Trockenlager
18:40	15	Ausfüllen des Fragebogens	
	5	Pause für die Apn	
	10	Entfernung der Messtechnik	
	4	Abschluss des Versuchsprotokolls	Reinigung der Messinstrumente
	10	Übertragung der Messdaten	
19:24	<b>Ende des Untersuchungstages</b>		

- \* Die Aufgaben/Tätigkeiten können entfallen, wenn diese bereits an einem anderen Versuchstag durchgeführt wurden.
- \*\* Die Energieumsatzmessung in der Vorkühlzone wurde grundsätzlich am 1. Versuchstag durchgeführt und entfiel daher, wenn Versuchsreihe I nicht am 1. Versuchstag stattfand.
- \*\*\* Beispielhafter Verlauf eines Versuchstages mit dem Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime 100-25-100-30-120-30. Die Arbeitsphasen wurden entsprechend der Erläuterungen in Abschnitt 6.1.1 randomisiert.
- \*\*\*\* Die Energieumsatzmessung im Tiefkühlager fand entweder während Versuchsreihe II oder III statt.



Tab. C1: *t*-Verteilung für zweiseitige Fragestellungen mit der statistischen Sicherheit  $1-\alpha$  (Auszug)

<b>Statistische Sicherheit <math>1-\alpha</math></b>					
<b>f</b>	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>	<b>0,999</b>	<b>f</b>
<b>1</b>	6,314	12,71	63,66	636,6	<b>1</b>
<b>2</b>	2,920	4,303	9,925	31,60	<b>2</b>
<b>3</b>	2,353	3,182	5,841	12,92	<b>3</b>
<b>4</b>	2,132	2,776	4,604	8,610	<b>4</b>
<b>5</b>	2,015	2,571	4,032	6,869	<b>5</b>
<b>6</b>	1,943	2,447	3,707	5,959	<b>6</b>
<b>7</b>	1,895	2,365	3,499	5,408	<b>7</b>
<b>8</b>	1,860	2,306	3,355	5,041	<b>8</b>
<b>9</b>	1,833	2,262	3,250	4,781	<b>9</b>
<b>10</b>	1,812	2,228	3,169	4,587	<b>10</b>
<b>11</b>	1,796	2,201	3,106	4,437	<b>11</b>
<b>12</b>	1,782	2,179	3,055	4,318	<b>12</b>
<b>13</b>	1,771	2,160	3,012	4,221	<b>13</b>
<b>14</b>	1,761	2,145	2,977	4,140	<b>14</b>
<b>15</b>	1,753	2,131	2,947	4,073	<b>15</b>
<b>16</b>	1,746	2,120	2,921	4,015	<b>16</b>
<b>17</b>	1,740	2,110	2,898	3,965	<b>17</b>
<b>18</b>	1,734	2,101	2,878	3,921	<b>18</b>
<b>19</b>	1,729	2,093	2,861	3,883	<b>19</b>
<b>20</b>	1,725	2,086	2,845	3,850	<b>20</b>
<b>21</b>	1,721	2,080	2,831	3,819	<b>21</b>
<b>22</b>	1,717	2,074	2,819	3,792	<b>22</b>
<b>23</b>	1,714	2,069	2,807	3,768	<b>23</b>
<b>24</b>	1,711	2,064	2,797	3,745	<b>24</b>
<b>25</b>	1,708	2,060	2,787	3,725	<b>25</b>
<b>26</b>	1,706	2,056	2,779	3,707	<b>26</b>
<b>27</b>	1,703	2,052	2,771	3,690	<b>27</b>
<b>28</b>	1,701	2,048	2,763	3,674	<b>28</b>
<b>29</b>	1,699	2,045	2,756	3,659	<b>29</b>
<b>30</b>	1,697	2,042	2,750	3,646	<b>30</b>



## Kurzfassung

Der Absatz an gekühlten und tiefgekühlten Lebensmitteln ist in den vergangenen Jahrzehnten stetig gestiegen, was auch mit einer wachsenden Zahl an Beschäftigten in diesem Industriezweig einhergeht. Infolgedessen muss u.a. der Arbeitsplatz des Kältekommissionierers derart gestaltet werden, dass die körperlich schwere Arbeit für alle langfristig ausführbar ist. Um die Auswirkungen der Kältearbeit auf die körperliche Beanspruchung quantifizieren zu können, führten jeweils 15 weibliche Arbeitspersonen zweier Altersklassen (20-35-jährige und 40-65-jährige) unter standardisierten, realen Arbeitsbedingungen mit einem variablen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime Kommissioniertätigkeiten bei  $+3^{\circ}\text{C}$  und  $-24^{\circ}\text{C}$  durch. Simultan wurden die arbeitsphysiologisch relevanten Parameter „Körperkerntemperatur“, „Hautoberflächentemperatur“, „Herzschlagfrequenz“, „Blutdruck“ und „Energieumsatz“ erfasst und durch eine subjektive Befragung ergänzt. Neben möglichen altersbezogenen Differenzen wurden die Ergebnisse zur Identifizierung eventueller geschlechts-spezifischer Unterschiede mit denen einer vorangegangenen Feldstudie mit 30 männlichen Arbeitspersonen der gleichen Altersklassen verglichen.

Die Ergebnisse der Feldstudie zeigen, dass das Kommissionieren in tiefer Kälte zu einer hohen physiologischen Beanspruchung führt, wobei nachweislich kaum signifikante alters- oder geschlechtsspezifische Nachteile bestehen. Die Arbeitsfähigkeit kann vielmehr durch individuelle und betriebliche Gesundheitsförderung positiv beeinflusst werden. Wie die Ergebnisse aus einer Versuchsreihe mit einem variablen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime zeigen, ist eine Optimierung der Arbeits- und Pausenzeiten zwingend notwendig. Insbesondere im Tiefkühlager bei  $-24^{\circ}\text{C}$  reichten 20-minütige Aufwärmepausen nicht aus, um eine hinreichende Wiedererwärmung zu gewährleisten. Da auch die Kälteschutzkleidung nur bedingt vor Kälte schützt, müssen vor allem die Kälteschutzstiefel und Handschuhe weiter entwickelt werden. Diese Anpassungsmaßnahmen sollten für präventiven Gesundheitsschutz sorgen und damit letztlich auch die Arbeitsprozesseffizienz steigern.