

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Fachgebiet für Sportgeräte und Materialien

**Einfluss von Material und Gestaltung der körpernahen
Bekleidungsschicht auf (Dis)Komfortvariablen und
ausgewählte Leistungsparameter bei sportlichen Aktivitäten.**

Sandra Huber

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Sportwissenschaft
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. P. Spitzenpfeil

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. V. St. Senner
2. Univ.-Prof. Dr. H. Bubb

Die Dissertation wurde am 29. Mai 2008 bei der Technischen Universität
München eingereicht und durch die Fakultät für Sportwissenschaft am
19. Februar 2009 angenommen.

Betreuer der Dissertation: Dr. Dr. W. Nocker

Meinen Eltern

Give every day the chance to become the most beautiful day of your life.

Mark Twain (1835 – 1910)

Danksagung

An erster Stelle danke ich sehr herzlich Herrn Prof. Dr. Veit Senner für die Unterstützung meiner Arbeit. Das entgegengebrachte Vertrauen und die gewährte Freiheit ermöglichten es mir, stets die beste Richtung einzuschlagen.

Sehr aufrichtig danken möchte ich auch Herrn Prof. Dr. Heiner Bubb für die Annahme der Zweitkorrektur der Dissertation.

Kaum in Worte zu fassen ist die vom ersten Moment an hervorragende Betreuung des Themas durch Herrn Dr. Dr. Wolfgang Nocker. Sein erstaunliches Fachwissen und seine enorme Hilfsbereitschaft haben es mir überhaupt ermöglicht diese Arbeit erfolgreich abzuschließen. Selbst wenn der Wachdienst mich des Nächtens einsperrte, war er sofort zur Stelle, um mich zu befreien.

Ebenfalls großen Dank aussprechen möchte ich der Firma W.L. GORE & Associates GmbH, die mich finanziell und materiell unterstützt hat, sowie den lieben KollegInnen, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen; allen voran Sabrina Langenmeir und Maria Lanzerath.

Für die Unterstützung in statistischen Belangen und Fragen möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Jürgen Loibl bedanken.

Ohne die Gruppe hoch motivierter Sportstudenten im Feldversuch und den äußerst zuverlässigen und nicht minder motivierten Probanden während des Klimakammerversuchs wäre die Durchführung meiner Untersuchungen nicht so gut möglich gewesen.

Besonders am Herzen liegt mir der Dank an meine Eltern, die mich in all den Jahren meines Studiums und meiner Promotion sowohl finanziell als auch moralisch unterstützt und mir diese berufliche Entwicklung ermöglicht haben.

Auch meiner Schwester Claudia kann ich für ihre Hilfe, ihren Humor und ihren Wortwitz nicht genug danken.

Mein Freund Tom mit seinen Motivationskünsten und seiner Geduld hat entscheidenden Anteil daran, dass ich während einiger Durststrecken durchgehalten habe. Danke!

Ulla, Armin, Ami, Katharina, Mimsch, Mello, Christian und Isabella: Danke für Euer Verständnis und Eure Hilfe!

Zu guter letzt möchte ich Rico erwähnen, der mich immer wieder daran erinnert hat, dass man während ausgiebiger Spaziergänge am besten nachdenken kann.

Kurzübersicht

In der vorliegenden Studie wird am Beispiel des Radfahrens untersucht, ob und wenn ja inwieweit körpernah getragene Funktionsbekleidung ausgewählte physiologische Parameter beeinflusst, und wie die Komfoteigenschaften dieser Kleidung von den Probanden beurteilt werden. Besonderes Augenmerk lag auf dem Breiten- und Freizeitsport und nicht auf dem Leistungssportbereich. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden ein Feldtest mit 20 Sportstudenten und ein kontrollierter Klimakammerversuch mit 12 männlichen Probanden durchgeführt.

Im Feldversuch erfolgte der Vergleich zweier unterschiedlicher Shirts (Polyamid Fahrradtrikot; winddichtes Polyestershirt). Es wurden zum einen die objektiven Parameter Herzfrequenz und Fahrtdauer aufgezeichnet, und zum anderen die subjektiven Empfindungen mittels Fragebogen, sowohl nach der Bergauf- als auch nach der Bergabfahrt abgefragt.

In der Klimakammer wurden drei unterschiedliche Shirts (Polyamid Fahrradtrikot, winddichtes Polyestershirt, funktionell ausgerüstetes Baumwollshirt) bei zwei verschiedenen, kontrollierten Umgebungsbedingungen (20°C und 30°C Umgebungstemperatur, jeweils 50% relative Luftfeuchtigkeit) untersucht. Messungen von Hauttemperatur, relativer Feuchte auf der Haut, Körperkerntemperatur, Herzfrequenz, Laktat wurden durchgeführt und Infrarotbilder aufgenommen. Zur subjektiven Bewertung gaben die Testpersonen während des Versuchs alle fünf Minuten ihre persönlichen Empfindungen zu Körperwärme, Körperfeuchte, Komfortempfinden und Belastungsgefühl mittels Borg Skala an. Nach Abschluss der Testfahrt wurde zusätzlich ein Fragebogen ausgefüllt (analog zum Feldversuch).

Während des Feldversuchs ließen sich bezüglich der subjektiven Parameter eine Reihe von signifikanten Unterschieden zu Gunsten des winddichten Shirts nachweisen. Zusätzlich leiteten sich auch aus den nicht signifikanten Unterschieden weitere positive Tendenzen für das winddichte Material gegenüber dem Polyamidtrikot ab (Ausnahme: Passform). Bei den objektiven Parametern konnten keine Unterschiede bewiesen werden. Jedoch waren hier, im Gegensatz zu den subjektiven Bewertungen, positive Tendenzen in Richtung des Polyamidtrikots erkennbar.

In dem Klimakammerversuch existierte bei den Empfindungen vor allem ein signifikanter Unterschied bezüglich des Tragekomforts. Hier schnitt das funktionell ausgerüstete Baumwollshirt deutlich schlechter ab als die beiden anderen Materialien. In der weiteren subjektiven Beurteilung durch den Fragebogen erhielt das Polyamidtrikot die besten Beurteilungen, das Baumwolltrikot die schlechtesten. Lediglich in der Winddichtigkeit (bei 30°C Umgebungstemperatur) schnitt das winddichte Material besser ab als das Polyamidtrikot. Ein Test auf signifikante Unterschiede bei objektiven Parametern zeigte nur wenige Einflüsse des Materials auf die jeweiligen Parameter. Tendenziell schnitt die funktionell ausgerüstete Baumwolle auch hier am schlechtesten ab. Material und Gestaltung hatten auf die primären objektiven leistungsphysiologischen Parameter (Körperkerntemperatur, Herzfrequenz und absolute Schweißrate) der Probanden ebenso wenig Einfluss wie auf die sekundären objektiven Parameter (Trinkmenge, Gewichtszunahme von Shirt und Hose).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die Ergebnisse aus dem Klimakammerversuch nicht mit denen des Feldversuchs decken. Während im Feldversuch das winddichte Polyester material eine positive Tendenz aufweist und ein deutlicher Unterschied im Gesamturteil nachgewiesen werden kann, ergeben sich in der Klimakammer keine eindeutigen Unterschiede zwischen dem Shirt aus Polyamidfaser und dem winddicht verarbeiteten Polyester. Allein das funktionell ausgerüstete Baumwollshirt fällt in der Beurteilung gegenüber den beiden anderen Shirts deutlich ab.

Abstract

The aim of the presented study is to investigate whether different “next to skin” worn functional textiles have an influence on specific physiological parameters and on subjective comfort evaluations. Only short sleeved shirts made of different materials and different cuts (designs) are compared. The investigation is done on cycling activities, focused on leisure and not on competition activities. To answer the questions mentioned above two experimental tests are performed: a field trial with 20 sport students and a controlled climatic chamber test with 12 male subjects.

In the field trial two different shirts are compared (polyamide bike shirt vs. windproof polyester shirt). Heart rate and driving time are recorded as objective parameters. The sensations of the subjects are documented by scientific questionnaires separately after uphill and downhill ride.

In the climatic chamber a cycling ergometer test is performed to investigate the polyamide bike shirt, the windproof polyester shirt and a modified cotton shirt in two different environmental conditions at 20°C and 30°C (each at 50% relative humidity). Skin temperature, relative humidity on skin, core temperature, heart rate and lactate is recorded and additionally IR-pictures are taken. For the assessment of the subject’s sensations they are asked to note their perception of body heat, body wetness, comfort and work strain (based on Borg scale) every five minutes during the test. Furthermore a questionnaire similar to that of the field trial is handed out afterwards.

The results of the field trial show only low significant influences in favour of the windproof shirt concerning the subjective parameters. Furthermore there are additional positive but not significant tendencies supporting although the windproof shirt. For the objective parameters no significant influences can be detected. However data shows here an advantage of the polyamide shirt compared to the windproof shirt that means a discrepancy to the subjective findings.

The results of the experiment in the climatic chamber show significant differences concerning the wear comfort in such a way, that the functional cotton shirt is constantly rated worse (with one exception) than the other tested materials. In the remaining subjective data predominantly the polyamide tricot gets the best assessments while the cotton shirt is evaluated worst again. Exclusively for the windproofness (in 30°C surrounding) the windproof material is rated better than polyamide. The test of significance for the objective parameters reveals only little influence of the material but the tendency of disadvantage of the cotton shirt is identifiable as well. Just as little significant influences of the materials and design of the shirts can be figured out for the primary physiological performance parameters (core temperature, heart rate and absolute sweat rate) as well as for the secondary objective parameters (drinking mass, weight gain from shirt and trousers).

In conclusion the results of the climatic chamber trial are not completely similar to the field test results. During the field trial a positive trend and an explicit positive difference in the overall result could be demonstrated in favour of the windproof polyester material compared to polyamide.

In the climatic chamber test there are no definite differences between shirts of polyamide yarn and the windproof processed polyester. Solely the modified cotton shirt fails clearly in the assessment of the subjects.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	3
1.2	Fragestellung	6
1.2.1	Experiment im Feld	6
1.2.2	Experiment in der Klimakammer	6
1.3	Stand der Technik	7
1.4	Aufbau der Arbeit	11
2	Material und Methoden	13
2.1	Übersicht	13
2.2	Gegenstand der Untersuchung	15
2.2.1	Polyamid Fahrradtrikot	15
2.2.2	Winddichtes Funktionsshirt	16
2.2.3	Funktionell ausgerüstetes Baumwollshirt	16
2.2.4	Fahrradhose	17
2.2.5	Fleecejacke	17
2.3	Fragebogen und subjektives Empfinden	19
2.4	Feldversuch	23
2.4.1	Stichprobenbeschreibung	23
2.4.2	Vorversuch	24
2.4.3	Hauptversuch	27
2.4.4	Statistische Verfahren	30
2.5	Klimakammerversuch	31
2.5.1	Stichprobenbeschreibung	31

2.5.2	Vorversuch	32
2.5.3	Hauptversuch	35
2.5.4	Statistische Verfahren	40
3	Ergebnisse	43
3.1	Feldversuch	45
3.1.1	Subjektive Daten	45
3.1.2	Objektive Messdaten	52
3.1.2.1	Fahrdauer	53
3.1.2.2	Herzfrequenz	54
3.2	Klimakammerversuch	56
3.2.1	Subjektive Daten	56
3.2.1.1	Kontinuierlich erfasste Empfindungen	57
a)	Temperaturempfinden	57
b)	Feuchteempfinden	59
c)	Tragekomfort	61
d)	Belastungsempfinden	62
e)	Auswertung der einzelnen Phasen	63
3.2.1.2	Fragebogen	64
3.2.2	Objektive Messdaten	71
3.2.2.1	Graphische Darstellung der Kurvenverläufe	71
a)	Hauttemperatur	71
b)	Relative Hautfeuchte	75
c)	Körperkerntemperatur	79
d)	Herzfrequenz	80
3.2.2.2	Auswertung der einzelnen Phasen	81
a)	Hauttemperatur	82

Inhalt	iii
b) Relative Hautfeuchte	84
c) Körperkerntemperatur	87
d) Herzfrequenz	87
3.2.2.3 Nicht kontinuierlich aufgezeichnete Messparameter	88
a) Laktat	88
b) Energieverbrauch und Leistungsumsatz	90
c) Gewichts differenzen	91
d) Infrarotaufnahmen	94
4 Diskussion	97
4.1 Diskussion der verwendeten Methoden	97
4.2 Interpretation der Ergebnisse	105
4.2.1 Feldversuch	105
4.2.1.1 Subjektive Daten	106
4.2.1.2 Objektive Messdaten	110
4.2.2 Klimakammerversuch	111
4.2.2.1 Subjektive Daten	111
4.2.2.2 Objektive Daten	117
4.3 Diskussion der Ergebnisse	121
5 Zusammenfassung	127
Verzeichnisse	131
Literaturverzeichnis	131
Abkürzungsverzeichnis	143
Abbildungsverzeichnis	145
Tabellenverzeichnis	152
ANHANG	157
6 Thermoregulation	157

6.1	Hypothalamus – Temperaturfühler des Menschen	159
6.2	Wärmebildung im Körper	161
6.3	Wärmeabgabe des Menschen an die Umgebung	162
6.4	Wärmebilanz	164
7	Bekleidungsphysiologie	169
7.1	Die Wärmeisolation	169
7.2	Der Wasserdampfdurchgangswiderstand	171
7.3	Einfluss des Umgebungsklimas	173
7.4	Einflüsse der Textilkonstruktion auf Wasserdampfdurchgang	175
	7.4.1 Der Feuchtedurchgangsindex	175
	7.4.2 Die Ventilation der Kleidung	176
7.5	Der Tragekomfort	177
7.6	Hautsensorische Effekte	182
8	Bekleidung und Funktionstextilien im Sport	185
8.1	Zwiebelprinzip	186
8.2	Textilkonstruktionen	188
9	Apparaturbesprechung	195
9.1	Klimakammer	195
9.2	Herzfrequenzmessung	195
9.3	Spiroergometrie	195
9.4	Laktat	196
9.5	Multifunktionsmessgerät für Umgebungsbedingungen	197
9.6	MSR [®] Datenlogger und Messfühler	198
9.7	Infrarot-Kamera	198
9.8	Windrotor	200
9.9	Fahrradergometer Klimakammer und Feldversuch	200

Inhalt	v
10 Definition des subjektiven Empfindens	201
11 Stichwortliste Bekleidungstechnik	205
12 Fragebogen	209
13 Anhang allgemein	213
14 Anhang Ergebnisse	223
14.1 Feldversuch	223
14.1.1 Subjektive Daten	223
14.1.2 Objektive Messdaten	235
14.2 Klimakammer	241
14.2.1 Subjektive Daten	241
14.2.2 Objektive Messdaten	267
15 Berechnung Energieverbrauch	283
16 Abbildungen Anhang	289
17 Formeln	297

1 Einleitung

In Deutschland ist die Zahl der Menschen, die in ihrer Freizeit sportlich aktiv sind sehr hoch. Wie das Institut für Sozialforschung und Kommunikation (SOKO-Institut) durch repräsentative Umfragen über das Sportverhalten in Deutschland 2005 und 2006 ermittelt hat, treibt etwa ein Viertel der deutschen Bevölkerung Wettkampf- oder leistungsorientierten Freizeitsport. Zusätzlich bewegt sich der Anteil der Gelegenheitssportler in allen Altersgruppen zwischen 45% und 50%. Auch nach einer Studie der Bergischen Universität aus dem Jahre 2003 bezeichnen sich 81,2% der 10- bis 70-jährigen Befragten in Bremen als sportlich aktiv, und üben im Durchschnitt zwei Sportarten aus. Angeführt wird die Hitliste vom Radfahren (45,1%), gefolgt von Schwimmen (24,3%) und Fitnessstraining (22,4%) (vgl. HÜBNER 2003). Neben der Freude an der Bewegung ist auch die Entwicklung und Stabilisierung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit wichtig. Zahlreiche Trendsportarten, wie beispielsweise Mountainbiken, konnten sich in den letzten Jahren als Freizeitsportarten etablieren.

Die meisten Sporttreibenden tragen hierzu funktionelle Bekleidung, wobei auf die Kombination von hoher Funktionalität und trendigem Design geachtet wird. Es ist offensichtlich, dass unsere Kleidung durch ihre Gestaltung und ihr Äußeres eine wichtige modische Funktion hat, und ihrem Träger dadurch das gewünschte Erscheinungsbild verleiht. Diese modische Funktion erkennt und beurteilt jeder Käufer im Laden selbst. Auch ob die Bekleidung genügend Bewegungsfreiheit erlaubt, ob sie richtig passt oder ob sie sich bei Körperbewegungen unpraktisch verschiebt ist bei der Anprobe festzustellen (vgl. MECHEELS 1998).

Im ersten Augenblick unerkant bleibt die physiologische Wirkung der Bekleidung auf den Körper, die von enormer Wichtigkeit ist. Die Textilien sollen die physiologischen Vorgänge im Körper, insbesondere die Temperaturregulation, unterstützen. So schreibt z.B. HOCKE et al. (1990): „Aus

physiologischer und arbeitsmedizinischer Sicht ist die Bekleidung als Bindeglied zwischen Mensch und Umgebungsklima zu sehen. Wesentliche Aufgabe der Bekleidung ist es, den Wärme- und Feuchteaustausch des (arbeitenden) Menschen mit der Umgebung so zu regulieren, dass es weder zu Überwärmung (Hyperthermie) noch zu Unterkühlung (Hypothermie) kommt.“ Und MECHEELS formuliert es 1998 so: „Eine gute Kleidung bewirkt für ihren Träger eine erfolgreiche Unterstützung der Temperaturregelung über einen weiten Bereich unterschiedlicher Klimaverhältnisse oder körperlicher Anstrengung. Dabei soll der Träger am besten von der Kleidung gar nichts merken. Dann bietet sie ihm einen guten Tragekomfort“ (MECHEELS 1998).

Die Bekleidung nimmt als thermisches Bindeglied zwischen Mensch und Umgebung eine zentrale Stellung ein. Eine besondere Rolle spielt die hautnahe (körpernahe) Bekleidungsschicht. Sie ist die Basis aller darüber liegenden Schichten und unterstützt bzw. ermöglicht deren Funktion ebenso wie die optimale Thermoregulation des Körpers (siehe Bild 1).

Die Bekleidungsphysiologie ist die Wissenschaft von der Funktion der Kleidung (vgl. UMBACH 2003). Sie beschäftigt sich mit der Ermittlung der physiologischen Belastung des Menschen in Abhängigkeit von Kleidung, Klima und Tätigkeit.

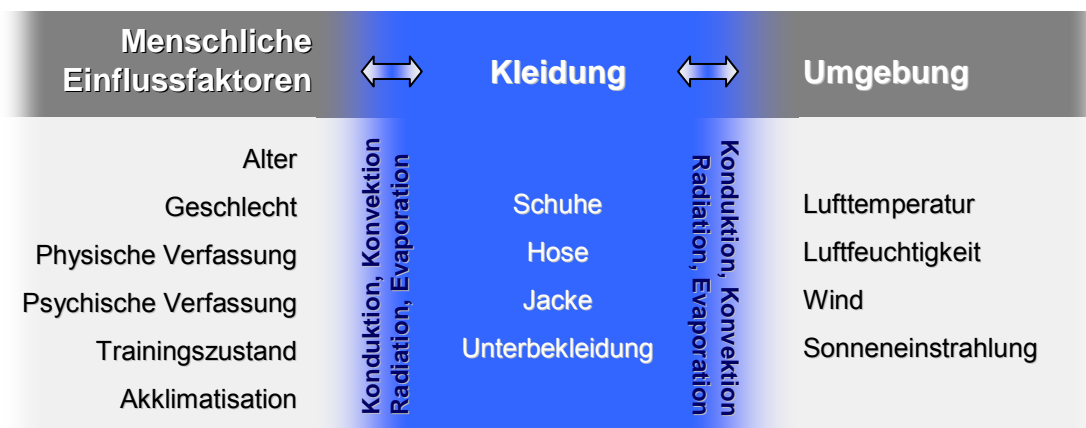


Bild 1: Zentrale Stellung der Bekleidung als thermisches Bindeglied zwischen Mensch und Umgebung

Durch ständige Weiterentwicklung erobern die Sportbekleidungs- und Sportartikelhersteller immer neue Bereiche. Die Anzahl der angebotenen

Funktionsmaterialien wird immer größer und unübersichtlicher. Es ist beispielsweise von einem „sehr atmungsaktiven“ Material die Rede, das über ein „optimales Feuchtigkeitsmanagement“ verfügt (Falke) oder von „hochfunktioneller Unterwäsche speziell für den Einsatz bei hohen sportlichen Belastungen an kalten Tagen“, die durch eingearbeitete Klimazonen eine „perfekte Temperaturregulierung“ garantiert (CRAFT). Bei der Firma namens „DRIZA-BONE ACTIV“ war das Motto „Trocken wie ein Knochen - Dry as a bone“ die Idee für ihre Namensgebung. Bei VAUDE entstand in Zusammenarbeit mit einem Sportmediziner ein „für die Wäsche innovatives Körperzonen-Design“. Es wurde „mit Hilfe einer medizinischen Analyse der Kälte- und Wärmerezeptoren des menschlichen Körpers die oft nur wenige Millimeter auseinander liegenden unterschiedlichen Anforderungen an Schweißtransport und Kühlung präzise ermittelt“. „Vier verschiedene Verarbeitungstechniken garantieren eine optimale Versorgung jeder Körperpartie“ (vgl. KNECHT 2007).

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Der Mensch ist rund um die Uhr von Textilien umgeben. Sie wirken dabei so eng mit den physiologischen Temperaturregelfunktionen zusammen, dass sie als *quasiphsyologisches System* bezeichnet werden können. Solange die Bekleidung nicht bemerkt wird, ist sie angenehm bzw. sie funktioniert gut. Ungeeignete Kleidung kann den Sportler, den arbeitenden Menschen oder Personen im Alltag, beispielsweise bei großer Hitze, erheblich in der Leistungsfähigkeit und auch in der Gesundheit beeinträchtigen (vgl. MECHEELS 1998). GAVIN stellte 2003 fest, dass die Bekleidungskonstruktion die Thermoregulation während Aktivitäten signifikant verändern kann, womit es nahe liegend scheint, dass das Bekleidungssystem, das ein Athlet trägt, die Leistung beeinflussen kann.

Im Leistungssportbereich forschen viele Menschen an wenigen Quadratmetern Textil, um den Aushängeschildern die sportartspezifisch optimale Bekleidung zur Verfügung zu stellen. Es gilt die bestmögliche Zusammensetzung von

Textilarten und -konstruktionen herauszufiltern, die es ermöglichen neue Bestleistungen zu erzielen. So werden beispielsweise Tests mit der exakten Nachbildung einer Skirennläuferin in einem Windkanal, mit Rennbekleidung und in Rennposition, durchgeführt (siehe Bild 2).



Foto: Deutscher Skiverband

Bild 2: Nachbildung der Skirennläuferin Hilde Gerg in Rennposition

Zahlreiche auf dem Markt erhältliche Textilien werden von unabhängigen Forschungsinstituten (z.B. Hohenstein Institute - Deutschland, Bönningheim; Eidgenössische Materialprüfungsanstalt (EMPA) - Schweiz, St. Gallen) bekleidungsphysiologischen Untersuchungen unterzogen – unterstützt durch biophysikalische Messapparaturen und Probandenversuche. Bei derartigen Analysen stehen der Komfort und die Optimierung (wie zum Beispiel die Konstruktion oder Ausrüstung der Textilien) von Arbeits- und Schutzkleidung im Vordergrund. Metabolische Belastungen werden vor allem an der menschlichen Gliederpuppe, am Schwitztorso oder am Hautmodell simuliert und die Ergebnisse berechnet. Bei Probandenversuchen wird die Intensität der Belastung in Höhe von mittelschwerer bis schwerer Arbeit angesetzt (ca. 280 bis 350 Watt

Leistungsumsatz). Damit liegt sie unter der eines leistungsorientierten Freizeitsportlers, da bei einem Arbeiter davon ausgegangen wird, dass die Belastung über den Zeitraum eines Arbeitstages aufrecht erhalten werden muss, während der Sportler durchschnittlich zwei Stunden trainiert. Wenn Aktivitäten, die sich am Freizeit- und Breitensport orientieren, bekleidungsphysiologisch untersucht werden finden sie zumeist unter Laborbedingungen auf dem Laufband statt (z.B. ROBERTS et al. 2007). Eine realitätsnahe Untersuchung von körpernah getragenen Funktionstextilien für den leistungsorientierten Breitensport am Beispiel Radfahren steht aus sportwissenschaftlicher Sicht noch aus.

Eine weitere Besonderheit stellt die Verwendung eines winddichten, körpernah getragenen Materials dar. Solche Materialien sind bisher bei derartigen Untersuchungen nicht berücksichtigt worden.

Deshalb wird im Rahmen dieser Studie anhand objektiver Messdaten untersucht ob, und wenn ja, welchen Einfluss hautnah getragene Kleidung aus unterschiedlichen Materialien bei zwei verschiedenen Umgebungstemperaturen auf die Leistungsfähigkeit von Versuchspersonen hat. Weiterhin soll herausgefunden werden, inwieweit diese unterschiedlichen Materialien den Tragekomfort beeinflussen, also wie die Probanden die körpernahe Kleidung subjektiv beurteilen.

Diese beiden Fragen sollen in dem vorliegenden Forschungsvorhaben am Beispiel des Radfahrens mittels eines Feldversuchs und eines Probandenversuchs in der Klimakammer untersucht werden. Dabei werden unabhängig voneinander der Komfort (subjektives Empfinden) und die ausgewählten physiologischen Leistungsparameter (objektive Messdaten) bewertet.

1.2 Fragestellung

Wie bereits dargestellt sind zahlreiche Aspekte zu berücksichtigen wenn körpernah getragene funktionelle Bekleidung während sportlicher Aktivität anhand von subjektiven Daten und objektiven Messdaten beurteilt werden soll. Es sind die unterschiedlichen Textilien ebenso zu beachten, wie die verschiedenen Umgebungsbedingungen und eine wechselnde Intensität der Belastung während der Testfahrt.

Besonderes Augenmerk wird auf das Material (Textilfaser) und die Gestaltung (Konstruktion der textilen Flächen und Schnitt) gelegt.

In der vorliegenden Studie sollen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

1.2.1 Experiment im Feld

Unterschiedsfragestellungen

1. Ergeben sich beim Tragen der verschiedenen Materialien Unterschiede in der subjektiven Bewertung der Probanden nach der Bergauffahrt?
2. Ergeben sich beim Tragen der verschiedenen Materialien Unterschiede in der subjektiven Bewertung der Probanden nach der Bergabfahrt?
3. Ergeben sich beim Tragen der verschiedenen Materialien Unterschiede bei den objektiven Messdaten?

1.2.2 Experiment in der Klimakammer

Unterschiedsfragestellungen

1. Ergeben sich beim Tragen der verschiedenen Materialien Unterschiede in der subjektiven Bewertung der Probanden?

2. Ergeben sich beim Tragen der verschiedenen Materialien Unterschiede bei den physiologischen Messdaten?
3. Ergeben sich Unterschiede in den subjektiven Bewertungen bei den unterschiedlichen Klimabedingungen 20°C und 30°C?
4. Ergeben sich Unterschiede in den physiologischen Messdaten bei den unterschiedlichen Klimabedingungen 20°C und 30°C?

1.3 Stand der Technik

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss von Bekleidung auf die physiologischen Parameter des menschlichen Organismus unter erhöhtem metabolischem Umsatz bei sportlicher Aktivität.

Einheitliche Standardwerke im Bereich der Bekleidungsphysiologie gibt es in der Literatur kaum. 1998 hat MECHEELS ein Buch über die verschiedenen Aspekte und Faktoren der Bekleidungsphysiologie (Titel: Körper-Klima-Kleidung) geschrieben. LUCKMANN fasst 2001 mit dem „Touchbuch“ die verschiedenen auf dem Markt befindlichen Textilien zusammen. KNECHT gibt 2003 das Buch „Funktionstextilien als High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien. Grundlagen – Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente“ heraus. Hier schreiben verschiedene Autoren Artikel über ihre jeweiligen Spezialgebiete.

Weiterhin gibt es zahlreiche Untersuchungen im Bereich der:

- *Arbeitsphysiologie und Schutzkleidung:*

(Bartels V & Umbach K.H. 1998 – 2006; Rossi R., Weder M., Bruhwiler P.A., Richards M., May H., Huber R. & Fiala D. 2002 – 2006; Fogarty A., Armstrong K., Gordon C., Groeller H., Woods B., Stocks J. & Taylor N. 2004; Pellerin N., Deschuyteneer A. & Candas V. 2004; Smolander J., Kuklane J., Gavhed D., Nilsson H. & Holmer I. 2004; Heled Y., Epstein Y. & Moran D.S. 2004),

- *Unterstützung der Temperaturregulation bei sportlicher Aktivität:*
(Mathews D.K., Fox E.L. & Tanzi D. 1969; Meir R.A., Lowdon B.J. & Davie A.J. 1994; Lee M.S., Kim H.J., Song J., Park K.W. & Moon S.R. 2004; Arngrimsson S.A., Pettitt D.S., Stueck M.G., Jorgensen D.K. & Cureton K.J. 2004; Gavin T.P. 2003; Kulka T.J. & Kenney W.L. 2002; McCullough E.A. & Kenney W.L. 2003; Ainslie P.N., Campbell I.T., Frayn K.N., Humphreys S.M., MacLaren D.P. & Reilly T. 2003),
- *Einfluss besonderer Umgebungsbedingungen auf den Menschen z.B. im Wasser oder in Kälte:*
(Wakabayashi H., Hanai A., Yokoyama S. & Nomura T. 2006; Rintamaki H. & Rissanen S. 2006; Qian X & Fan J. 2006).

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die Vielfältigkeit der Untersuchungen gegeben, die im Zusammenhang mit Bekleidung und Arbeitsschwere stehen.

Ziel der Studien des Forschungsinstituts Hohenstein ist es, Konstruktionsrichtlinien für Textilien und Bekleidungssysteme aufzustellen, so dass dem Träger ein guter Tragekomfort vermittelt werden kann und die physiologischen Belastungen minimiert werden.

Im Bereich des Arbeitsschutzes untersuchte das Institut 2001 moderne Feuerwehr-Schutzbekleidung hinsichtlich des Tragekomforts, da einer Studie aus den USA zu Folge 50% der tödlichen Unfälle bei Feuerwehreinsätzen auf physiologische Überlastung zurückzuführen seien. Deshalb erfolgte die Prüfung aller Komponenten einer Einsatzkleidung wie z.B. Oberstoff, Nässesperre, Isolationsschicht und Futter. Die Materialien wurden einzeln, in Kombination und als Anzüge konfektioniert und detailliert erforscht. Die Ergebnisse wurden aus einer Kombination von Laborprüfverfahren (Hautmodell) und Trageversuchen mit Probanden gewonnen (UMBACH 2001). 2004 wurden konkrete Konstruktionsleitlinien erarbeitet, wie die physiologische Funktion von Chemieschutzanzügen verbessert werden könnte (BARTELS 2004). Eine Grundsatzuntersuchung der bekleidungsphysiologischen Eigenschaften von biofunktionalen Textilien ergab, dass sie genauso guten Tragekomfort bieten

können wie nicht biofunktionelle Materialien. Allerdings wurden im hautsensorischen Bereich negative Auswirkungen mehrerer biofunktionaler Konstruktionen festgestellt, da durch die Ausrüstung die Steifigkeit erhöht war, oder die hydrophobe Veredelung den flüssigen Schweiß länger auf der Haut verbleiben lies (BARTELS 2003). Im Jahr 2003 galt es bei einem Forschungsvorhaben diejenigen Prinzipien zu finden, die das Zusammenwirken von Komponenten eines Kleidungssystems bezüglich des Feuchte-managements bestimmen. Das System bestand aus einem wasserdichten aber atmungsaktiven Membranlaminat sowie einer Funktionsunterwäsche (BARTELS 2003). Eine der neueren Studien des Instituts untersuchte die Verwendung von hydrophilen Futterstoffen in wasserdichter, atmungsaktiver Schutzbekleidung zur Verbesserung des flüssigen Schweißtransports. Hier wurde mit Hilfe des Hautmodells und durch Trageversuche mit Testpersonen in einer Klimakammer bewiesen, dass für das Management von flüssigem Schweiß die Ausrüstung des Futters wichtiger ist als die Maschenkonstruktion (BARTELS 2006).

Auch an der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) werden zahlreiche Forschungen durchgeführt. 2004 wurden beispielsweise drei Feuerwehr-Schutzanzüge mit unterschiedlicher Permeabilität untersucht. Sie waren permeabel, semipermeabel und impermeabel. Die Analyse wurde an einem Manikin gemacht. Es gab drei Ruhe- und zwei Arbeitsphasen. Während der letzten 15 Minuten jeder Arbeitsphase wurde das Manikin von vorne mit 500 Watt/m² Infrarotstrahlung angestrahlt (RICHARDS 2004). Bereits 2004 prüfte die EMPA die Ventilation und den Komfort von Fahrradhelmen. 2006 wurde die Studie ausgeweitet und 24 Helme hinsichtlich Design (Strömung) und Konstruktion (Anordnung und Länge der Ventilationsöffnungen) untersucht. Dazu wurde ein beheizbares Kopfmodel in einen klimaregulierten Windkanal gestellt und zwei verschiedenen Windgeschwindigkeiten ausgesetzt (BRUHWILER et al. 2006).

In Israel, am Heller Medical Institute of Medical Research, wurden von HELED et al. (2004) zwei unterschiedliche Kühlmethoden für ABC Schutzanzüge getestet. Dazu wurden sechs Männer in zwei Gruppen eingeteilt. Beide Gruppen mussten 125 Minuten bei 40°C Raumtemperatur und 40% relativer

Luftfeuchte gehen. Die einen trugen dabei eine Weste aus Trockeneis unter dem Schutzanzug, die anderen wurden in regelmäßigen Abständen durch ein Schlauchsystem mit Wasser bespritzt. Nach zwei Stunden waren die Körperkerntemperatur, die Hauttemperatur und die Herzfrequenz bei den Probanden mit der Trockeneisweste deutlich höher.

Ebenfalls mit einer Kühlweste in warmer Umgebung arbeiteten ARNGRIMSSON et al. (2003). Hier wurden 17 Läufer aus dem Wettkampfsport während eines Fünf-Kilometer-Laufs untersucht. Alle wärmten sich 38 Minuten bei 32°C Raumtemperatur und 50% Luftfeuchte auf. Die eine Gruppe war mit einem T-Shirt bekleidet, die andere Gruppe mit einer mit Eis gefüllten Weste. Anschließend liefen sie fünf Kilometer. Nach der Aufwärmphase waren die Herzfrequenz und die Körpertemperatur (gemessen je sublingual und rektal) und die Hauttemperatur bei den Probanden mit der Eisweste niedriger. Dieser Effekt war nach den ersten 3,2 km des Laufs verschwunden. Aber diejenigen, die sich mit der Weste aufgewärmt hatten, waren in den letzten zwei Dritteln des Laufs schneller.

MATHEWS et al. 1969 machten einen der ersten Probandenversuche unter Laborbedingungen, um den Effekt von Sportbekleidung zu untersuchen. Dabei liefen neun männliche Probanden 39 Minuten bei 9,6 km/h auf einem Laufband und waren entweder nur mit einer Short, einem Fußballdress oder einem zusätzlichen Rucksack bekleidet.

An der Kansas State University wurden von McCULLOUGH et al. 2003 die Wärmeisolation und der Wasserdampfdurchgangswiderstand von American Football Uniformen untersucht; einmal nur mit Football-Shirt und -Short, das andere Mal zusätzlich mit den üblichen Protektoren bekleidet. Die Studie wurde an einem Manikin durchgeführt. Der Feuchtedurchgangsindex (i_m) war mit Schutzbekleidung um 5% erhöht (ohne: $R_{ct} \emptyset = 0,14 \text{ m}^2\text{K}^\circ/\text{Watt}$; $R_{et} \emptyset = 0,2 \text{ m}^2\text{mbar}/\text{Watt}$; $\rightarrow i_m = 0,42$. mit: $R_{ct} \emptyset = 0,206 \text{ m}^2\text{K}^\circ/\text{Watt}$; $R_{et} \emptyset = 0,33 \text{ m}^2\text{mbar}/\text{Watt} \rightarrow i_m = 0,37$).

Wie die vorangegangenen Beispiele zeigen, ist die Zahl der Veröffentlichungen sehr vielfältig; Art und Durchführung der Studien variieren allerdings stark. Einen einheitlichen Standard für bekleidungsphysiologische Untersuchungen gibt es nicht. Wie bereits eingangs erwähnt, steht eine realitätsnahe

Untersuchung von körpernah getragenen Funktionstextilien für den leistungsorientierten Breitensport am Beispiel Radfahren aus sportwissenschaftlicher Sicht noch aus.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Dissertation gliedert sich in drei Teile.

Der erste Teil (Kap. 2) beschäftigt sich mit dem Gegenstand der Untersuchung und den Methoden, die zur Klärung der vorliegenden Fragestellungen gewählt wurden. Hierbei wird deutlich zwischen dem Feld- und dem Klimakammerversuch unterschieden. Die beiden Versuche sind nicht in direktem Zusammenhang zu sehen.

Im zweiten Teil der Arbeit (Kap. 3) werden die Ergebnisse aus beiden Untersuchungen dargestellt.

Anschließend erfolgt die Diskussion der eingangs dargestellten Methoden und Ergebnisse sowie deren Interpretation, getrennt für Feld- und Klimakammerversuch (Kap. 4).

Um dem Leser die notwendigen Hintergrundinformationen zu geben, die zum Verständnis dieser Arbeit beitragen, sind im Anhang ab Seite 157 Details über Thermoregulation, Bekleidungsphysiologie, Sport und Bekleidung, eine Definition des subjektiven Empfindens und eine Stichwortliste textil-technischer Fachbegriffe zu finden.

2 Material und Methoden

Nachfolgend werden Inhalt und Gegenstand der vorliegenden Arbeit detailliert aufgeführt und die Vorgehensweisen beschrieben. Der Übersicht über den Versuchsaufbau folgt die Darstellung des Gegenstands der Untersuchung. Abschließend werden die beiden großen Versuchsblöcke und die zur Auswertung verwendeten statistischen Methoden beschrieben.

2.1 Übersicht

Materialtests sind nur bedingt geeignet um Erkenntnisse über Wärme- und Feuchteempfinden der jeweiligen Shirts zu erlangen. Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine Untersuchung bei der subjektiv bewertete und objektiv gemessene Parameter, von am Oberkörper hautnah getragener Bekleidung, während einer Ausdauerbelastung auf dem Fahrrad bzw. Fahrradergometer ermittelt wurden. Die Studie war in zwei voneinander unabhängige Experimente unterteilt, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf dem kontrollierten Klimakammerversuch.

Während des Feldversuchs waren vor allem die subjektiven Bewertungen des Testmaterials wegen der hohen externen Validität von Interesse. Außerdem wurden während des Feldversuchs, sinnvolle Belastungsschwellen für den anschließenden Klimakammerversuch ermittelt. Das Erheben objektiver Messdaten war gegenwärtig nicht das Ziel.

Tabelle 1: Vergleich Feld- versus Klimakammerversuch

	FELDVERSUCH Mountainbike	KLIMAKAMMERVERSUCH Fahrradergometer
Probanden	20 Studenten (10 ♀/10 ♂)	12 Probanden (alle ♂)
Klima	19,5°C/69%r.F. im Tal 18,1°C/84%r.F. am Berg	20°C/50%r.F. 30°C/50%r.F.
Material	Fahrrad-Trikot 86% Polyamid, 14% Elastan Winddichtes Funktionsshirt 100% Polyester	Fahrrad-Trikot 86% Polyamid, 14% Elastan Winddichtes Funktionsshirt 100% Polyester 100% Baumwolle, funktionell ausgerüstet
Vortest	Stufentest Fahrradergometer	Stufentest Fahrradergometer
Fahrten Hauptversuch	1	6 (jedes Trikot bei 20° und 30°C)
Fahrtdauer	111,16 ± 12,06 Minuten	115 Minuten
Versuchsdesign	Ebene 1 Bergauf Pause Bergab Ebene 2	Einfahren bei 50 Watt 3-stufiger Belastungsanstieg Pause Bergab Ebene
Daten subjektiv	Fragebogen nach Bergauffahrt Fragebogen nach Bergabfahrt	kontinuierliche Bewertung von Temperatur, Feuchte, Komfort und Belastung alle 5 Minuten Fragebogen am Versuchsende
Messdaten objektiv	Herzfrequenz Fahrtdauer	Hauttemperatur Hautfeuchte Körperkerntemperatur Herzfrequenz Laktat Berechnung Energieverbrauch Gewichtsdifferenzen Infrarotaufnahmen

2.2 Gegenstand der Untersuchung

Um den Einfluss von körpernahen Funktionstextilien auf physiologische Parameter des menschlichen Körpers und auf das subjektive Empfinden des Trägers zu untersuchen, wurden möglichst unterschiedliche Materialien verwendet. Die Variation der verschiedenen Materialien war auf den Rumpf beschränkt. Beim praxisnahen Feldtest kamen zwei Materialien zum Einsatz. Es handelte sich hierbei um ein handelsübliches Polyamid Fahrradtrikot (Kunstfaser) und um ein winddichtes Funktionstextil aus Polyester (Kunstfaser mit Membran), beide von der Firma GORE Bike Wear™ (W.L. GORE & Associates GmbH, Feldkirchen-Westerham, Deutschland). Bei dem Trageversuch unter kontrollierten Umgebungsbedingungen in der Klimakammer wurde zusätzlich ein noch in der Entwicklung befindliches Shirt mit in die Testreihe aufgenommen, das aus funktionell ausgerüsteter Baumwolle (Naturfaser) bestand.

Außer den zu testenden Shirts und einer kurzen Fahrradhose wurden keine weiteren Kleidungsstücke getragen, um etwaige Einflüsse anderer, darüber liegender Textilien auszuschließen. Sowohl beim Feld- als auch beim Klimakammerversuch ist das gleiche Modell der Fahrradhose verwendet worden (siehe Kapitel 2.2.4). Die passenden Schuhe brachten die Probanden selbst zu den Trageversuchen mit.

Nachfolgend werden die Eigenschaften der untersuchten Shirts kurz beschrieben.

2.2.1 Polyamid Fahrradtrikot

Im Folgenden *Muster A* genannt.

Bei der Herstellung von Sporttextilien wird häufig Polyamid verarbeitet. Die Faser ist leicht, nimmt wenig Feuchtigkeit auf (ca. 4% des Eigengewichts), verfügt über ein gutes Feuchtetransportvermögen, trocknet schnell und ist pflegeleicht. Darüber hinaus zeichnet sie sich durch eine hohe Reißfestigkeit

und Strapazierfähigkeit aus. In diesem Shirt ist die Faser als einflächige Maschenware (Gestrick) verarbeitet und es liegt eng am Körper an (close fit); siehe Bild 150 und Bild 151, Seite 291.

2.2.2 Winddichtes Funktionsshirt

Im Folgenden *Muster B* genannt

Dieses Shirt ist mit einem WINDSTOPPER® 3-Lagen-Laminat ausgestattet und so entwickelt, dass es direkt auf der Haut getragen werden kann. Durch die besondere Konstruktion der inneren Schicht in Verbindung mit der WINDSTOPPER® Membran soll eine zusätzliche Basisschicht oder ein zusätzlicher Wetterschutz gegen Wind überflüssig werden. Die Innenschicht basiert auf einer so genannten „Push-Pull“ Konstruktion aus Polyester. Die Oberware an der Außenseite ist eine einflächige Maschenware (siehe Bild 152 und Bild 153, Seite 291). Zwischen Oberstoff und Innenschicht ist eine Membran laminiert und das Shirt ist etwas weiter geschnitten (loose fit) als das Polyamidtrikot.

2.2.3 Funktionell ausgerüstetes Baumwollshirt

Im Folgenden *Muster C* genannt

Hierbei handelt es sich um eine noch nicht auf dem Markt erhältliche Neuentwicklung. Baumwolle ist normalerweise stark hygroskopisch und besitzt eine hohe Affinität zur Wasseraufnahme (hydrophil). In diesem Shirt wird die Faser hydrophob ausgerüstet, so dass sie weniger stark quillt als herkömmliche Baumwolle und die Luftdurchlässigkeit in feuchtem Zustand insgesamt weniger reduziert wird. Die Feuchteaufnahme soll dabei jedoch nicht eingeschränkt werden (vgl. HIEKE 2005). Das Shirt ist als zweiflächige Maschenware (Gestrick) verarbeitet und die Innenseite basiert, genau wie bei dem winddichten Shirt, auf einer Push-Pull Konstruktion, einem so genannten Piquet (siehe Anhang Bild 154 und Bild 155 Seite 292). Das Shirt ist weit geschnitten.

Auf Bild 3 sind alle drei unterschiedlichen Materialien nebeneinander gestellt zu betrachten.



Bild 3: Polyamid Fahrradtrikot (links), winddichtes Funktionshirt (Mitte), funktionell ausgerüstetes Baumwollshirt (rechts)

2.2.4 Fahrradhose

Als Fahrradhose wurde eine Short aus 76% Polyamid und 24% Elastan der Firma GORE Bike Wear™ ohne Träger verwendet, da diese Träger die Messdaten am Oberkörper beeinflusst hätten (siehe Bild 4 unten). Sie weist eine spezielle Schnittführung für die radspezifische Körperhaltung auf. Die Nähte sind flach und verlegt um Reibung zu vermeiden. Die Hose hat ein ergonomisches, elastisches Sitzpolster und am Beinabschluss ist ein Haftgummi eingearbeitet (siehe Anhang Bild 156 und Bild 157, Seite 292).

2.2.5 Fleecejacke

Da evtl. kühlere Umgebungsbedingungen im Vorfeld des Feldversuchs nicht ausgeschlossen werden konnten, hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit eine winddurchlässige Fleecejacke der Firma SALEWA (Bozen, Italien) aus 100% Polyester überzuziehen (siehe Bild 4 unten). Während der Klimakammerversuche war diese Möglichkeit nicht gegeben (siehe Anhang Bild 158 und Bild 159, Seite 293).



Bild 4: Fahrradhose (links); Fleecejacke Feldversuch (rechts)

Nachfolgend sind in Tabelle 2 die genauen textiltechnischen Parameter der getesteten Materialien zu finden:

Tabelle 2: Übersicht Textilparameter

Muster	Gewicht für Größe M [g]	Dicke [mm]	Wasserdampfdurchgangswiderstand R_{et} [m ² Pa/W]
A	174,32 ± 1,31	0,91 ± 0,03	3,16
B	154,16 ± 0,38	1,11 ± 0,03	5,31
C	136,96 ± 1,95	0,53 ± 0,02	3,94
Hose	167 ± 2,89	0,44 ± 0	3,68
Fleece	370,2 ± 1,3	2,5 ± 0,15	7,97

2.3 Fragebogen und subjektives Empfinden

Um die Variablen des Komforts zu erfassen ist für den Feld- und Klimakammerversuch ein Fragebogen entwickelt worden (siehe Anhang Bild 90 bis Bild 93, S. 209ff), der von den Probanden auszufüllen war. In der Klimakammer wurde zusätzlich die Möglichkeit einer kontinuierlichen Abfrage der subjektiven Wahrnehmung genutzt (siehe Anhang Tabelle 33, S. 216 und Kap. 10, S. 201). Der Fragebogen enthielt neben allgemeinen Eingangsfragen nach Geschlecht, Alter, Körpergewicht und -größe, Detailfragen zu den subjektiven Empfindungen des jeweils getragenen Shirts. Ebenso wurde ein abschließendes Gesamturteil zum jeweiligen Shirt erbeten (Kap. 2.4.3 und 2.5.3). Die kontinuierliche Abfrage in der Klimakammer beinhaltete Fragen nach Temperatur- und Feuchteempfinden (getrennt nach Brust und Rücken), eine allgemeine Komfortbewertung und ein Anstrengungsempfinden nach Borg des Trägers.

Im Allgemeinen wird Komfort als Abwesenheit von Diskomfort definiert (vgl. HERTZBERG 1972) bzw. kann die Aussage mit BRANTON (1969) so ergänzt werden, dass Komfort nicht unbedingt einen positiven Aspekt mit sich bringt. Spätere Untersuchungen von ZHANG et al. (1996) ergaben, dass Komfort und Diskomfort nicht die Extrema einer kontinuierlichen Skala darstellen, sondern unabhängig voneinander agieren. Bei einer Clusteranalyse fanden sie heraus, dass der Begriff Komfort mit den Aspekten des Gefallens zusammen hängt, während Diskomfort das Erleiden beschreibt. Nach deren Modell stehen die Achsen von Komfort und Diskomfort senkrecht zueinander, was zur Folge hat, dass zur gleichen Zeit Komfort und Diskomfort empfunden werden kann was in Bild 5 veranschaulicht ist (vgl. MENGL 2006).

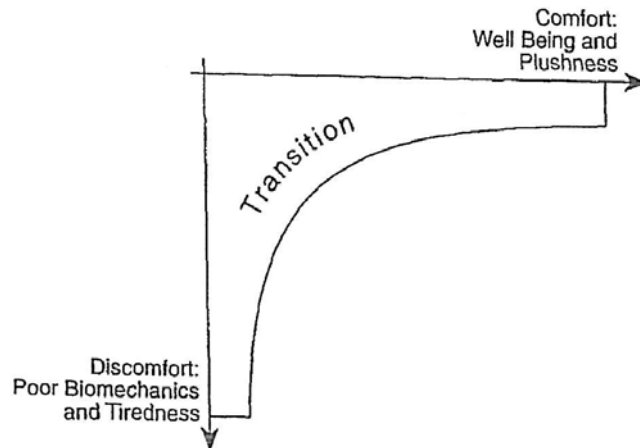


Bild 5: Hypothetical model of discomfort and comfort (ZHANG et al. 1996)

„Nur objektive Größen, [...] sind messtechnisch erfassbar und diese rufen beim Menschen bei hoher Intensität Aspekte des Erleidens (= Diskomfort) hervor. Eine objektive Erfassung [...] des Gefallens ist derzeit nicht möglich“, sagt weiter MENGL 2006. Der Diskomfort wurde in dieser Arbeit bewertet indem die physische Anstrengung des Fahrradfahrens mit objektiven Parametern gemessen und durch eine allgemeine Abfrage des Belastungsempfindens ergänzt wurde. Die anderen, subjektiv zu beantwortenden, Fragen erfassen den allgemein empfundenen (Trage)Komfort. Dieser Tragekomfort wird im Wesentlichen in vier Aspekte unterteilt: thermophysilogischer, hautsen-sorischer, ergonomischer und psychologischer Tragekomfort (vgl. BARTELS 2006).¹

Der Fragenkatalog enthält sowohl nominal als auch ordinal skalierte Fragen. Die Intention der Fragen, zusammen mit einer kurzen Erläuterung wird nachfolgend kurz dargestellt.

¹ Eine Definition des Tragekomforts inklusive einer Erläuterung der Schweißbedeckungsrate der Haut (Diskomfortfaktor d) ist im Anhang in Kap. 7.5, S. 177ff zu finden.

Die nominal skalierten Fragen wurden gestellt zu:

- **Körperwärmeempfinden** Gibt das Wärme- bzw. Kälteempfinden an der jeweiligen an der Brust
- an der Brust
- abgefragten Körperstelle an.
- gesamter Oberkörper
- **Empfinden der Schweißnässestellen** Gibt an, ob die entstandenen Schweißnässestellen am Textil gleichgültig sind oder ob sie als unangenehm und störend empfunden werden.
- **Tragezeitpunkt der Überbekleidung** Erfasst detailliert die Tragezeitpunkte der Überbekleidung (Fleecejacke) während des Feldversuchs.
(Feldversuch)

Die ordinal skalierten Fragen sind fünfstufig und wurden gestellt zu:

- **Allgemeine Tagesform** Allgemeine Eingangsfrage nach dem Wohlempfinden des Probanden am jeweiligen Testtag.
- **Bike Experience** Erfasst die Erfahrung im Radfahren des jeweiligen Probanden (allgemeine Eingangsfrage).
- **Belastungsempfinden** Gibt an, wie leicht bzw. schwer die Belastungsintensität am Versuchstag empfunden wurde.
- **Schweißabsorption** Hier geben die Probanden an, inwieweit die Feuchtigkeit mit Hilfe des Textils vom Körper wegtransportiert wird.
- **Schweißnässestellen** Die *Schweißnässestellen* geben an inwieweit das Textil an bestimmten Punkten des Torso feuchte Stellen aufweist (hierbei ist 1 = trocken und 5 = nass).
- **Thermischer Komfort** Der *Thermische Komfort* beurteilt das klimatische Wohlempfinden des Probanden in dem jeweiligen Material. Des Weiteren stellt diese Frage eine Kontrollfrage bzgl. des *Körperwärmeempfindens* dar.
- **Winddichtigkeit** Bei einem winddicht konstruierten Textil ist die Luftdurchlässigkeit gering. Besonders beim Fahrradfahren und im Besonderen bei einer Bergabfahrt macht sich eine niedrige bzw. hohe Luftdurchlässigkeit positiv bzw. negativ bemerkbar.
- **Passform** Die Frage erfasst, wie die Standardkonfektionierung der Textilien passt. Hintergrund ist, dass der Schnitt und die Konstruktion eines Bekleidungsteils maßgeblich die Ventilation und den Feuchtetransport am Körper beeinflusst.
- **Material Hautempfinden trocken/feucht** Extrem wichtig für ein angenehmes Tragegefühl ist die Hautsensorik, d.h. wie sich das Material auf der Haut anfühlt. Es wird unterteilt in trockenes und feuchtes Textil, da sich die Eigenschaften in dem jeweiligen Zustand verändern können.

- **Geruch** Heutzutage sind die meisten synthetischen Textilien antimikrobiell ausgerüstet. Dennoch kommt es manchmal zu einem unangenehmen Geruch wenn ein Textil über einen längeren Zeitraum mit einer hohen Schweißrate getragen wird.
- **Gesamturteil** Letztendlich entscheidend ist der Gesamteindruck des jeweiligen Textils. In diese Beurteilung spielen alle zuvor abgefragten Eigenschaften hinein. Wird einer der Punkte als *sehr schlecht* empfunden wirkt sich dies negativ auf die Gesamtbeurteilung aus.

Es werden die verwendeten fünfstufigen Wertungen für die ordinalen Fragen folgendermaßen zugeordnet:

- 1 = sehr gut
- 2 = gut
- 3 = geht so
- 4 = schlecht
- 5 = sehr schlecht

2.4 Feldversuch

Im Rahmen einer Studentenexkursion der Technischen Universität München ist im September 2005 der Feldversuch in Bovec/Slowenien durchgeführt worden. So konnten unter realistischen Praxisbedingungen subjektive Aussagen der Testpersonen gewonnen werden (externe Validität) und sinnvolle Belastungsschwellen für den späteren Klimakammerversuch gefunden werden. Zudem standen mit der Fahrtdauer sowie der Herzfrequenz objektive Parameter für die Auswertung zur Verfügung. Zur Datenerhebung fuhren die Probanden eine vorgegebene Strecke mit dem Mountainbike ab. Dabei war eine im Vorfeld mittels Stufentest am Fahrradergometer (siehe Kapitel 2.4.2) individuell ermittelte Herzfrequenz einzuhalten. Insgesamt wurden 20 Shirts (von jedem Modell zehn) in verschiedenen Konfektionsklassen getestet.

2.4.1 Stichprobenbeschreibung

An der Studie nahmen insgesamt $N = 20$ Sportstudenten, je $n = 10$ weibliche und männliche, teil. Sie wurden vor Beginn der Exkursion zufällig aus den Teilnehmern der Exkursion ausgewählt und in zwei Gruppen eingeteilt. Die Verteilung von männlichen und weiblichen Probanden war in beiden Gruppen gleich. Gruppe A erhielt das Polyamidtrikot (Muster A) und Gruppe B das winddichte Shirt (Muster B).

Die anthropometrischen Daten aller 20 Versuchsteilnehmer sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die Körperoberfläche wurde nach der Formel von MOSTELLER (1987) berechnet (siehe S. 297). Es wurden jeweils Mittelwerte $[X]$ und Standardabweichung $[SD]$, zusätzlich aufgeteilt in männlich/weiblich sowie in Gruppe A/B angegeben.

Tabelle 3: Anthropometrische Daten der Personenstichprobe

	N	Alter [J]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI [kg/m ²]	Körperoberfläche [m ²]
gesamt	20	22,05 ± 1,36	65,1 ± 9,69	172,15 ± 9,3	21,8 ± 1,51	1,76 ± 0,17
♀	10	21,4 ± 0,97	58 ± 4,71	165,2 ± 5,53	21,2 ± 1,03	1,63 ± 0,09
♂	10	22,7 ± 1,42	72,2 ± 8	179,1 ± 6,67	22,4 ± 1,71	1,9 ± 0,13
Gr. A	10	22 ± 1,33	67,4 ± 11,2	173,1 ± 10,1	22,2 ± 1,69	1,8 ± 0,2
Gr. B	10	22,1 ± 1,54	62,8 ± 7,8	171,2 ± 8,9	21,4 ± 1,26	1,73 ± 0,15

In der folgenden Tabelle 4 ist der Variabilitätskoeffizient (VK) der anthropometrischen Merkmale der Stichprobe aufgeführt. Zur Berechnung des Koeffizienten in Prozent [%] wird die Standardabweichung durch das arithmetische Mittel dividiert und anschließend mit hundert multipliziert.

Tabelle 4: Variabilitätskoeffizient [VK] der anthropometrischen Merkmale in Prozent [%]

Proband	Alter	Gewicht	Größe	BMI	Körperoberfläche
VK gesamt	6%	15%	5%	7%	10%
VK ♀	5%	8%	3%	5%	6%
VK ♂	6%	11%	4%	8%	7%
VK Gr. A	6%	17%	6%	8%	11%
VK Gr. B	7%	12%	5%	6%	9%

2.4.2 Vorversuch

KINDERMANN (2004) sagt, dass „die anaerobe Schwelle ein zuverlässiger Parameter zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist und im Gegensatz zur VO₂max unabhängig von der Motivation bzw. Ausbelastung“. Zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) wurde deshalb mit den Probanden vor dem Feldversuch ein Fahrradergometer-Test (Stufentest; Bestimmung von Herzfrequenz und Laktat) bis zur subjektiven Ausbelastung durchgeführt.

Vor dem Test wurden die Sitz- und die Lenkerhöhen des Fahrradergometers (siehe Kapitel 9.9) an die körperbaulichen Merkmale der Versuchsteilnehmer angepasst. Die Trittfrequenz betrug 80 – 90 Umdrehungen pro Minute und

wurde der Testperson auf dem Display angezeigt. Die weiblichen Versuchsteilnehmerinnen starteten ihren Versuch bei 70 Watt mit Steigerungen von jeweils 30 Watt alle drei Minuten bis zur individuellen Ausbelastung. Bei den männlichen Probanden lag der Anfangswert bei 100 Watt, die Steigerungen und die Dauer der Stufen war wie oben beschrieben (siehe Bild 6).

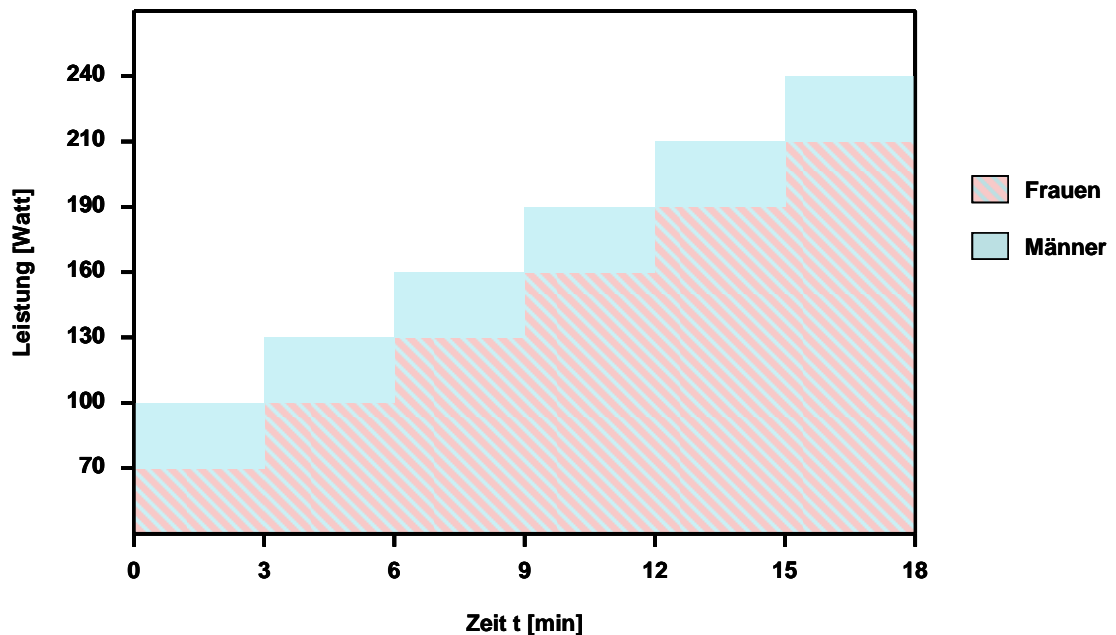


Bild 6: Stufentest für Feldversuch

Die Aufzeichnung der Herzfrequenz erfolgte von Beginn der Belastung minütlich. Ferner wurde sie am Ende und fünf Minuten nach dem Test protokolliert. Zu Beginn, am Ende jeder Stufe, bei Abbruch sowie fünf Minuten nach Ende der Belastung wurde der Laktatwert ermittelt. Nach der Entnahme von 5µl Blut über einen Teststreifen am Ohr erfolgte sofort die Auswertung mit dem Laktat-Messgerät Lactate Pro^{®2} (Firma Arkray, Japan) (siehe Kapitel 9.4). Aus der sich ergebenden Laktatleistungskurve wurde die IAS nach dem Modell von DICKHUTH et al. (1991) mit Hilfe des Programms WinLactat 2.0 (Firma Mesics GmbH, Münster, Deutschland) bestimmt (siehe Tabelle 5). Bei

²Bei einer Untersuchung mobiler Laktat-Messgeräte, bei Messwerten im Kapillarblut aus Belastungstest bis maximal 10 mmol/l, wies Lactate Pro[®] folgenden mittleren absoluten Fehler auf: $0,32 \pm 0,28$ mmol/l (vgl. ZANDER 2006).

Ermittlung der anaeroben Schwelle nach DICKHUTH wird zunächst die aerobe Schwelle bestimmt und auf diesen Wert ein Fixum von 1,5 mmol addiert. Das Ergebnis ergibt die individuell ermittelte anaerobe Schwelle. Die Werte in Tabelle 5 werden jeweils mit Mittelwert [X] und Standardabweichung [SD] angegeben.

Tabelle 5: Leistungsdiagnostische Daten der Personenstichprobe

	N	Laktat IAS [mmol]	HF IAS [S/min]	Leistung/Ge- wicht IAS [W/kg]	HF 75% IAS [S/min]	HF 90% IAS [S/min]
gesamt	20	3,17 ± 0,88	151 ± 12,15	2,45 ± 0,44	115 ± 9,21	138 ± 10,85
♀	10	3,41 ± 1,22	153 ± 12,13	2,29 ± 0,37	111 ± 9,06	133 ± 11
♂	10	2,94 ± 0,22	148 ± 12,12	2,6 ± 0,048	113 ± 9,13	136 ± 10,93
Gr. A	10	3,29 ± 0,59	148 ± 8,6	2,61 ± 0,43	111 ± 6,57	133 ± 7,7
Gr. B	10	3,06 ± 1,13	154 ± 14,74	2,28 ± 0,41	115 ± 11,07	138 ± 13,31

In der folgenden Tabelle 6 ist der Variabilitätskoeffizient aus den leistungsdiagnostischen Daten aufgeführt.

Tabelle 6: Variabilitätskoeffizient [VK] der leistungsdiagnostischen Merkmale in Prozent [%]

Proband	Gr.	Laktat IAS	HF IAS	Leistung/Ge- wicht IAS	Laktat max.	HF max.
VK	gesamt	28%	8%	18%	18%	6%
VK	♀	36%	8%	16%	16%	3%
VK	♂	7%	8%	18%	15%	7%
VK	Gr. A	18%	6%	16%	21%	5%
VK	Gr. B	37%	10%	18%	16%	6%

2.4.3 Hauptversuch

Beim Hauptversuch wurden die Probanden zufällig in vier Gruppen á fünf Personen eingeteilt und starteten in 15-Minuten-Intervallen. Die Teilnehmer fuhren ohne Rucksack, da dieser das hautsensorische Empfinden der Testbekleidung am Rücken erheblich beeinflusst hätte. An den Kontrollstationen lagen Wasser und Energieriegel für die Versuchsteilnehmer bereit. Die vorherrschende Außentemperatur war so, dass die Probanden zu Beginn der Fahrt (in der Ebene), in der Pause und bei der Bergabfahrt die Fleecejacken meist überzogen (siehe Bild 7). Um den Einfluss der Jacken zu kontrollieren wurden die Tragezeitpunkte notiert.



Bild 7: Probanden vor Beginn der Testfahrt

Herzfrequenz und Fahrtdauer

Um die kardiale Beanspruchung während der Testfahrt zu bewerten wurde jede Versuchsperson mit einem Pulsmesser ausgestattet (Pulsuhren Polar® S810™ und S625X™, der Firma Polar Electro Oy, Kempele, Finnland; siehe Kapitel 9.2). Die Modelle gewährleisteten eine genaue Aufzeichnung der Herzfrequenz sowie eine anschließende Auswertung über ein Interface und die Polar Software „Precision Performance SW“ (Firma Polar Electro Oy, Kempele, Finnland). Es wurden die exakte Fahrtzeit, die Herzfrequenz in fünf Sekunden-

Intervallen und Höhenangaben über die gesamte Fahrdauer gemessen. Im Anhang ist in Tabelle 47 und Tabelle 48 (Seite 237f) eine Darstellung der Parameter Herzfrequenz und Fahrdauer jedes Probanden zu finden.

Die Herzfrequenz der Probanden sollte sich während der Testfahrt in den Ebenen im Grundlagenausdauerbereich bewegen. Dem zugrunde lag die errechnete Herzfrequenz an der IAS aus dem Vortest. Als untere Grenze waren 75% der IAS, als obere Grenze 90% der IAS angegeben. Nach unten (70% der IAS) bzw. nach oben (100% IAS) wurde ein Puffer gelassen, da die Versuchsteilnehmer entlang der Strecke nur an drei Punkten kontrolliert werden konnten. Die Gefahr, dass die Testpersonen schon vor Beginn der Bergfahrt zu hohe Belastungsintensitäten erfuhren, konnte so reduziert werden. Die Teilnehmer blieben selbst dann im Laktat-Steady-State Bereich, wenn sie die Strecke etwas über der vorgegebenen Herzfrequenz absolvierten.

Teststrecke

Bei der Auswahl der Teststrecke wurde darauf geachtet, dass eine eindeutige Aufteilung in Ebene – Bergauffahrt – Pause – Bergabfahrt – Ebene gegeben war (siehe Bild 147 bis Bild 149, Seite 289f).

Die Strecke begann in Cezsoca (ca. 326 m über dem Meeresspiegel) und führte zunächst in der Ebene (in der Karte blau) nach Zaga (ca. 310 m über dem Meeresspiegel), dann bergauf zum einem Grenzübergang (in der Karte grün), auf ca. 670 m Höhe. Nach einer 15-minütigen Pause ging es die gleiche Strecke zurück. Ab Zaga fuhren die Probanden auf der Landstraße leicht bergauf nach Bovec (ca. 400 m über dem Meeresspiegel) und von dort zurück nach Cezsoca zum Start- und Zielpunkt (in der Karte gelb). Die Gesamtlänge der Strecke betrug ca. 33 km. Der Verlauf der Teststrecke wurde den Versuchsteilnehmern im Vorfeld beschrieben. Zusätzlich waren Wegweiser angebracht.

Die Fahrdauern der Versuchsteilnehmer im Feldversuch, jeweils angegeben in Mittelwert [X] und Standardabweichung [SD] sind in Tabelle 7 nachzulesen.

Tabelle 7: Fahrdauer Feldtest

	Gesamt	Ebene 1	Bergauf	Pause	Bergab	Ebene 2
Dauer [min:sec]	111:16 ± 12:06	18:17 ± 2:01	36:44 ± 6:09	15:00 ± 0	9:26 ± 1:15	31:44 ± 4:29

Am Start-/Zielpunkt, in Zaga und am Wendepunkt waren Kontrollpunkte (in der Karte rot). Dort wurde die Durchfahrt der Probanden protokolliert.

Fragebogen

Jeder Proband füllte jeweils nach der Bergauffahrt und am Ende der Testfahrt einen Fragebogen (siehe Bild 90 bis Bild 93, Seite 209ff) über subjektive Komfoteigenschaften (Körperwärmeempfinden, Schweißaufnahme, Thermischer Komfort, Winddurchlässigkeit, hautsensorisches Empfinden, Passform und Geruch) aus und gaben ein Gesamturteil ab. Dabei bezogen sich die Angaben auf die vorangegangenen Teilabschnitte, d.h. nach der Bergauffahrt war die Ebene 1 und die Bergauffahrt zu bewerten, am Ende der Testfahrt die Bergabfahrt und die Ebene 2. Insgesamt wurden von den Testpersonen 40 Fragebögen zum subjektiven Empfinden korrekt ausgefüllt.

Klimatische Bedingungen

Die Erfassung der relevanten Informationen über die externen Untersuchungsbedingungen, wie Windgeschwindigkeit, Umgebungstemperatur und relative Luftfeuchte erfolgte durch ein Multifunktionsmessgerät Modell Almemo® der Firma AHLBORN Mess- und Regelungstechnik (Holzkirchen, Deutschland) (siehe Kapitel 9.5). Gemessen wurde am Start-/Zielpunkt, zu Beginn und am Ende des Feldtests. Die Messung der Umgebungsbedingungen am Pass (Wendepunkt und Pausenstation) ist bei Ankunft der ersten und bei Abfahrt der letzten Versuchsperson (Zeitspanne zwischen den Messungen 1:32 h) durchgeführt, und das arithmetische Mittel gebildet worden (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Klimatische Bedingungen

	Beginn	Ende	Pass
Temperatur [°C]	18,4	20,5	18,1
Rel. Luftfeuchtigkeit [%]	72	65	84

2.4.4 Statistische Verfahren

Für die statistische Auswertung des Feldversuchs wurde folgendermaßen vorgegangen:

Fragebogen – subjektive Daten

1. Deskriptive Auswertung aller Variablen mittels relativer Häufigkeitszählung.
2. Da die Daten der Variablen ordinal skaliert waren, wurde ein nichtparametrischer U-Test nach Mann-Whitney angewandt und die Mittleren Ränge auf signifikante Unterschiede geprüft.

Fahrdauer und Herzfrequenz – objektive Messdaten

1. Prüfung auf Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov da alle Variablen metrisch skaliert waren.
2. Test der normalverteilten Daten der Variablen auf Varianzhomogenität nach Levene.
3. Auswertung der Daten mit dem t-Test für unabhängige Stichproben.

2.5 Klimakammerversuch

Im Anschluss an den Feldversuch ist von April bis August 2006 ein kontrollierter Trageversuch (definiertes Klima und definierte Arbeitsschwere) auf dem Fahrradergometer in der Klimakammer der Firma W.L. Gore & Associates GmbH durchgeführt worden. Hier war neben einer exakten kontinuierlichen Aufzeichnung von physiologischen Parametern (Temperatur der Haut, Feuchte der Haut, Körperkerntemperatur, Laktat, Gewichtsveränderungen) auch die regelmäßige Abfrage des subjektiven Empfindens der Versuchspersonen möglich.

2.5.1 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt nahmen an der Untersuchung $N = 12$ gut ausdauertrainierte Männer teil. Das Probandengut beschränkte sich unter kontrollierten Bedingungen ausschließlich auf männliche Versuchsteilnehmer. Aufnahmekriterium für die Studie war eine Leistungsfähigkeit von $3,0 \text{ [W/kg]}$ an der IAS, die anhand eines fahrradergometrischen Stufentests ermittelt wurde (siehe Kapitel 2.5.2 und 9.9).

Jede Versuchsperson wurde im Vorfeld über die Ziele und Inhalte der Studie aufgeklärt und gab ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme.

Die anthropometrischen Daten aller zwölf Versuchsteilnehmer der Klimakammer sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Es werden jeweils Mittelwerte $[X]$ und Standardabweichung $[SD]$ angegeben.

Tabelle 9: Anthropometrische Daten der Personenstichprobe

	N	Alter [J]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI [kg/m ²]	Körperoberfläche [m ²]
gesamt	12	$24 \pm 2,26$	$75,58 \pm 5,6$	$180,83 \pm 4,39$	$23 \pm 1,65$	$1,95 \pm 0,09$

In der folgenden Tabelle 10 ist der Variabilitätskoeffizient der anthropometrischen Daten der Personenstichprobe aus dem Klimakammerversuch aufgeführt:

Tabelle 10: Variabilitätskoeffizient [VK] der anthropometrischen Daten in Prozent [%]

	N	Alter	Gewicht	Größe	BMI	Körperoberfläche
gesamt	12	9%	7%	2%	7%	5%

Die Probanden sind zudem befragt worden was für eine Ausdauersportart sie betreiben, was sie dabei für Bekleidung tragen und wie viele Stunden pro Woche sie diese Sportart ausüben. Alle nannten als Sportart Radfahren, Laufen oder beides. Keiner der Teilnehmer betrieb regelmäßig andere Ausdauersportarten wie beispielsweise Schwimmen oder Rudern (Tabelle 11).

Tabelle 11: Ausdauersport- und Tragegewohnheiten der Personenstichprobe

	N	Polyamid [PA]	Polyester [PES]	Baumwolle [CO]	Polyamid/ Polyester [PA/PES]	Std. Sport/ Woche [h]
Laufen	5	0	1	2	2	6,8 ± 2,77
Radfahren	3	2	0	0	1	9,33 ± 3,06
Laufen/ Radfahren	4	2	2	0	0	11 ± 3,16
gesamt	12	4	3	2	3	8,83 ± 3,3

2.5.2 Vorversuch

Zur Erstellung eines individuellen Versuchsplans für jeden Probanden und zur Eignungsfeststellung mussten die Teilnehmer vor Beginn der Testreihe einen Stufentest absolvieren. Hierbei kam ein Spiroergometrie-Messgerät (MetaMax 3B, Firma Cortex[®] Biophysik, Leipzig, Deutschland; siehe Kapitel 9.3) zum Einsatz, anhand dessen später der Energieumsatz bestimmt werden konnte (siehe Kap.15, S. 283ff). Nach Angaben des Herstellers wurde vor jedem Versuch eine Volumen-, Druck- und Gaskalibration mit Hilfe eines Kontrollgases (12,32 % O₂; 5,05 % CO₂) durchgeführt. Wie bereits in Kapitel 2.4.2 beschrieben, ist auch bei diesem Vorversuch zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit die IAS als Parameter herangezogen worden und nicht die VO₂max. Jeder Proband trug ein kurzärmiges Shirt, das bei dem Hauptversuch nicht zum Einsatz kam (100% Polyester) und die Fahrradhose, die sowohl bei den Feld- als auch bei den Klimakammerversuchen getragen wurde. Die

klimatischen Umgebungsbedingungen waren auf 25°C und 50% relative Feuchte eingestellt.

Die Versuchsteilnehmer starteten ihren Versuch mit jeweils drei Minuten Liegen, Sitzen und Stehen um den Ruhepuls bzw. die Herzfrequenz bei geringer Wärmeproduktion zu bestimmen. Anschließend folgte eine Aufwärmphase von fünf Minuten bei 50 Watt auf dem Fahrradergometer (siehe Bild 8). Die Hauptbelastung begann bei 100 Watt mit Steigerungen von jeweils 30 Watt alle drei Minuten bis zur individuellen Ausbelastung (siehe Bild 9).

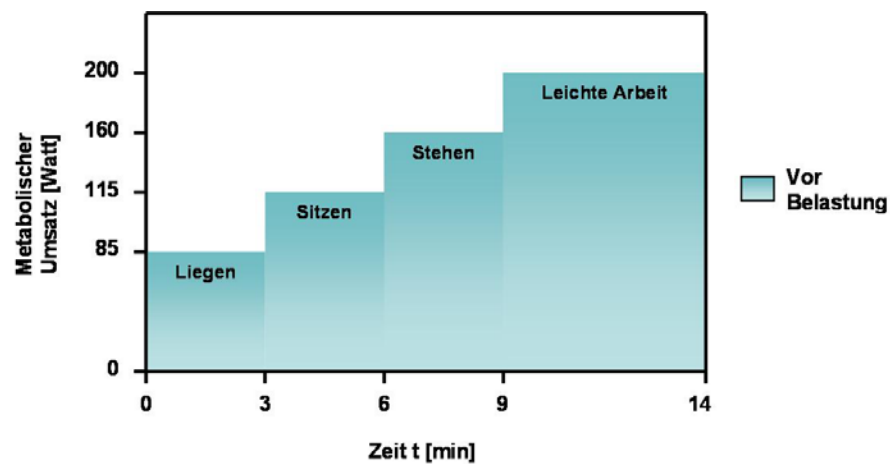


Bild 8: Vorbelastung Vortest Klimakammer

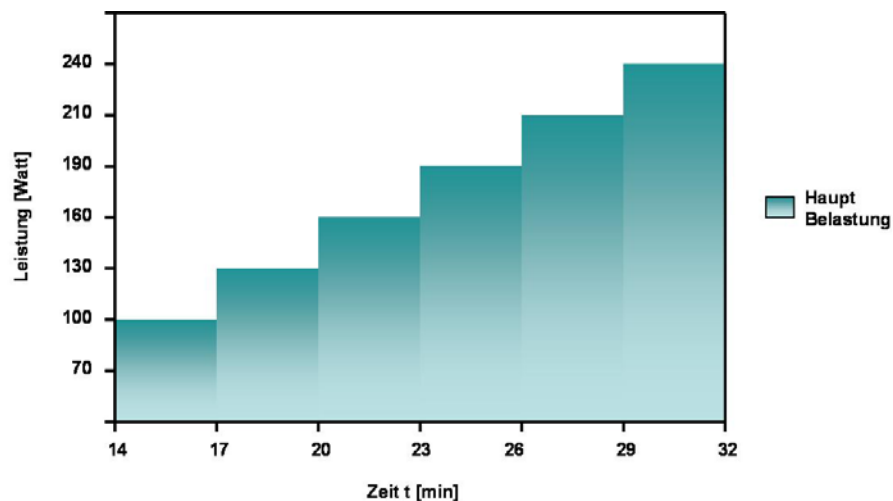


Bild 9: Hauptbelastung Fahrradergometer Vortest Klimakammer

Die Herzfrequenz wurde kontinuierlich mittels Polar® Pulsgurt an das Spiroergometrie-Messgerät MetaMax 3B gesendet und zum Ende jeder Stufe

zusätzlich notiert. Sie wurde ab Testbeginn (liegend) bis fünf Minuten nach der Ausbelastung protokolliert.

Das Laktat wurde zu Beginn des Tests (vor Ruhephase), bei Start des Hauptversuchs, am Ende jeder Stufe, bei Abbruch sowie fünf Minuten nach Ende der Belastung aus dem Ohrläppchen entnommen. Dazu wurden 5µl Blut über einen Teststreifen am Ohr abgenommen und sofort mit dem Laktat-Messgerät Lactate Pro[®] ausgewertet (siehe Kap. 9.4, S. 196). Wie bereits in Kap. 2.4.2 beschrieben, erfolgte die Berechnung der IAS aus der Laktatleistungskurve über das DICKHUTH-Modell mittels des Programms WinLactat 2.0.

Die leistungsdiagnostischen Daten aller zwölf Versuchsteilnehmer des Klimakammerversuchs sind in Tabelle 12 und Tabelle 13 zusammengefasst. Die Herzfrequenz und die Wattangaben sind jeweils auf ganze Werte gerundet. Es werden immer Mittelwerte [X] und Standardabweichung [SD] angegeben.

Tabelle 12: Leistungsdiagnostische Daten der Personenstichprobe 1

	N	Laktat IAS [mmol]	HF IAS [S/min]	HF 65% IAS [S/min]	HF 80% IAS [S/min]	HF 95% IAS [S/min]
X ± SD	12	3,03 ± 0,45	152 ± 6,65	99 ± 4,32	122 ± 5,32	144 ± 6,31

Tabelle 13: Leistungsdiagnostische Daten der Personenstichprobe 2

	N	Lstg/KG IAS [W/kg]	Watt IAS [W]	Watt 65% IAS [W]	Watt 80% IAS [W]	Watt 95% IAS [W]
X ± SD	12	3,23 ± 0,42	242 ± 29,53	157 ± 19,19	193 ± 23,62	230 ± 28,05

In der nachfolgenden Tabelle 14 sind die Variabilitätskoeffizienten aus den beiden vorangegangenen Tabellen berechnet und angegeben. Dabei wird die prozentuale Angabe der Herzfrequenz und der Watt in Abhängigkeit zur individuellen anaeroben Schwelle (wie in Tabelle 12 und Tabelle 13) nicht mit angegeben.

Tabelle 14: Variabilitätskoeffizient [VK] der leistungsdiagnostischen Daten in Prozent [%]

	N	Laktat IAS	HF IAS	Lstg/KG IAS	Watt IAS
VK	12	15%	4%	13%	12%

2.5.3 Hauptversuch

Die Hauptversuche fanden von April bis August 2006 in der Klimakammer (siehe Kap. 9.1, S. 195) der Firma W.L. Gore & Associates GmbH auf dem Fahrradergometer ergo_bike 4000 TRS der Firma Daum electronic (Fürth, Deutschland) statt (siehe Kap. 9.9, S. 200). Jede Versuchsperson hatte sechs Testfahrten zu absolvieren, da jede der drei Testbekleidungen (siehe Kap. 2.2.1 bis 2.2.3) bei jeweils 20°C und 30°C und 50% relativer Feuchte getragen wurde.

Wie aus Bild 10 hervorgeht, differiert die Hauttemperatur bei niedrigerem Umgebungsklima an verschiedenen Körperpositionen deutlich. Um mögliche Grenzbereiche für den Tragekomfort der unterschiedlichen Materialien in der Untersuchung zu berücksichtigen, wurden die oben genannten zwei Klimas gewählt.

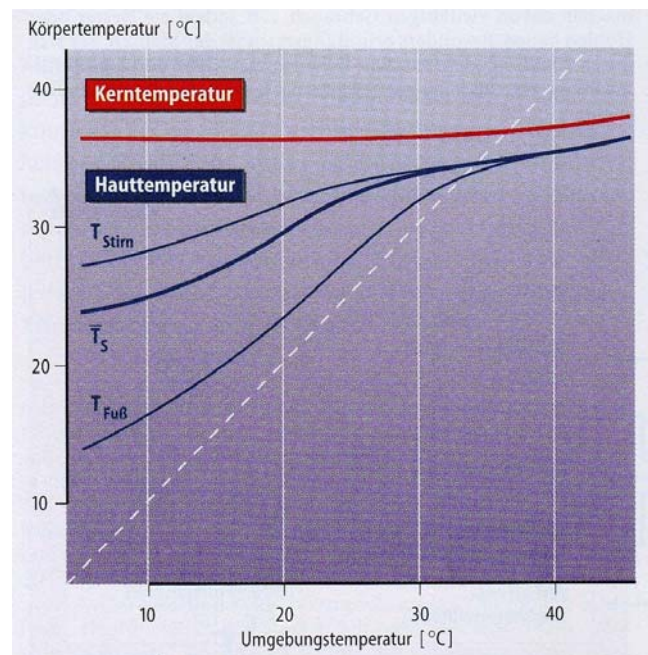


Bild 10: Kerntemperatur, mittlere Hauttemperatur und zwei einzelne Hauttemperaturen in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur³

³ Schematische Darstellung der Kerntemperatur (rot), der mittleren Hauttemperatur (T_s) und zweier einzelner Hauttemperaturen (jeweils blau) als Funktion der Umgebungstemperatur. Beachte das starke Absinken der akralen Hauttemperatur (Fuß) in der Kälte und den leichten Kerntemperaturanstieg in der Hitze. Gestrichelte Linie: Identitätslinie von Abszisse und Ordinate. (SCHMIDT et al. 1995)

Alle Teilnehmer sind dazu angehalten worden sich im Vorfeld jedes Tests gleich zu ernähren, am Vortag nicht intensiv bzw. lang zu trainieren und immer auf die gleiche Weise zu den Trageversuchen anzureisen. Auch wurden die Versuche immer zur gleichen Tageszeit \pm eine Stunde gestartet um den Einfluss von Tagesschwankungen zu kontrollieren (HAVENITH 2002; WATERHOUSE et al. 1999). Zwischen jedem Versuch lag mindestens ein Tag Pause. Insgesamt sollte ein Proband seine Testfahrten in drei Wochen abgeschlossen haben. In zwei Fällen konnte dies nicht eingehalten werden. Der Vergleich dieser Testergebnisse zeigte allerdings keine Abweichung von den anderen Resultaten.

Versuchsdesign

Das Versuchsdesign der Klimakammeruntersuchung war an die Testfahrt des Feldversuchs angelehnt und wurde den dortigen Belastungsphasen nachempfunden. Nach Berechnung der IAS wurde für jeden Probanden ein individuelles Versuchsprotokoll erstellt. Zu Beginn eines jeden Hauptversuchs musste sich jeder Proband locker bei 50 Watt auf dem Fahrradergometer aufwärmen. Inklusiv der Zeit, in der sich die Probanden zur Vorbereitung des Versuchs in dem bei 22°C klimatisiertem Vorraum aufhielten, hatten sie von der Ankunft im Labor bis Testbeginn 30 Minuten Zeit sich zu akklimatisieren. Dadurch hatten alle Probanden immer ein gleiches, reproduzierbares Startniveau. Während der Stufen 1 (0-20 und 85-115 Minuten) ist ein leichter und während der Bergabfahrt ein stärkerer Fahrtwind simuliert worden, um den Windchill Effekt nachzuahmen.

Der Hauptversuch war wie folgt aufgebaut (inkl. Aufwärmphase):

- Einfahren: 5 Minuten, 50 Watt, kein Fahrtwind
- Stufe 1: 20 Minuten, 65% IAS, leichter Fahrtwind (1 m/s)
- Stufe 2: 20 Minuten, 80% IAS, kein Fahrtwind
- Stufe 3: 20 Minuten, 95% IAS, kein Fahrtwind
- Pause: 15 Minuten, ruhig und aufrecht sitzen

- Bergabfahrt: 10 Minuten, 50 Watt, starker Fahrtwind (4 m/s)
- Stufe 1: 30 Minuten, 65% IAS, leichter Fahrtwind (1 m/s)

Eine Übersichtstabelle des Versuchsprotokolls ist im Anhang in Tabelle 33 auf Seite 216 zu finden.

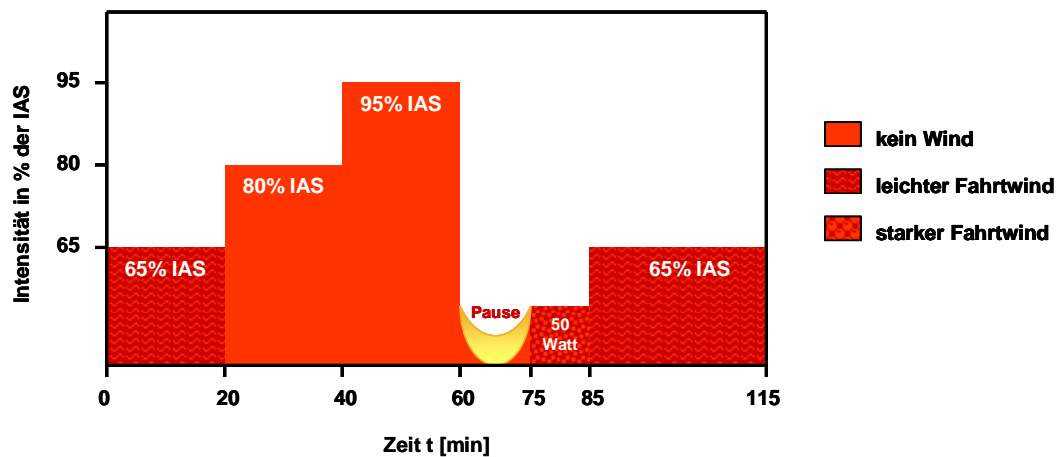


Bild 11: Versuchsdesign Hauptversuch Klimakammer

Randomisierung der Versuchsreihenfolge

Die randomisierte Versuchsreihenfolge ist zufällig den Testpersonen zugeordnet worden. So war sichergestellt, dass sich Trainingseffekte nicht positiv oder negativ auf die Ergebnisse auswirken und der Trainingseffekt war als Störvariable kontrolliert. Auf Grund dieser Tatsache wurde auf einen zusätzlichen Nachtest verzichtet. Die Randomisierung ist im Anhang auf Seite 217 in Tabelle 34 zu finden.

Subjektive Datenerfassung

In der Klimakammer wurden auch die subjektiven Wahrnehmungen des thermophysiologicalen Komforts erfasst. Hier trugen die Probanden alle fünf Minuten ihr Wärmeempfinden (1 = unerträglich kalt bis 9 = unerträglich heiß), Schweißempfinden (0 = trocken bis 7 = unerträglich), den Tragekomfort (1 = sehr gut bis 6 = unbefriedigend) und das Belastungsempfinden nach der Borg - Skala des Anstrengungsempfindens (BORG 1999), die von 6 = sehr, sehr leicht

bis 20 = sehr, sehr anstrengend geht, in eine Liste ein (siehe Anhang Tabelle 35 bis Tabelle 37, S. 218f und Bild 94, S. 219).

Zusätzlich füllten die Teilnehmer nach jedem Test den Fragebogen, der auch beim Feldversuch zum Einsatz kam, über die empfundenen Komforteigenschaften beim Tragen des jeweiligen Textils (Körperwärmeempfinden, Schweißaufnahme, Tragekomfort, Winddurchlässigkeit, hautsensorisches Empfinden, Passform und Geruch) aus und gaben eine Gesamtnote ab; siehe Kapitel 2.3.

Objektive Datenerfassung

Während der Testfahrt sind sämtliche Messdaten in einem Intervall von 30 Sekunden von dem Datenlogger (MSR[®], Firma Prospective Concepts AG, Glattbrugg, Schweiz; siehe Kapitel 9.6) kontinuierlich aufgezeichnet worden.

Zur Messung der Temperatur und Feuchte im Mikroklima der Haut waren vier kombinierte Thermo- und Feuchtesensoren an dem Probanden angebracht. Je ein Fühler befand sich mittig an der Brust, am Bauch, zwischen den Schulterblättern und an der Lende (siehe Bild 12).

Die Erfassung der Körperkerntemperatur erfolgte durch einen Rektalfühler. Dieser Fühler wird 10 cm ins Rektum eingeführt (vgl. MEIR et al. 1994) um eine möglichst genaue Messung zu erhalten und um ein Verrutschen des Fühlers während des Versuchs zu verhindern.

Die Herzfrequenz ist mittels Polargurt an den Datenlogger gesendet worden.

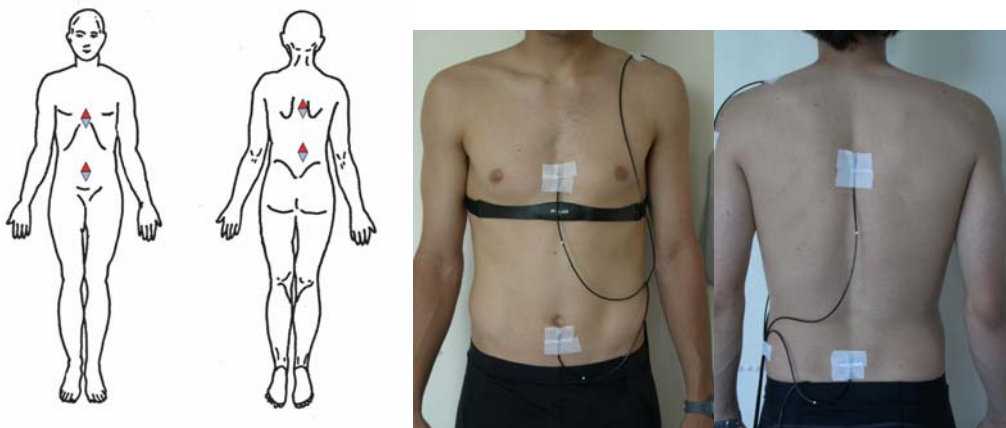


Bild 12: Positionierung der Thermo- und Feuchtesensoren am Körper

Vor und nach der Belastung sind der Proband sowie die gesamte Bekleidung mit einer geeichten Waage (auf 0,01 g genau) gewogen worden, um Gewichtszu- bzw. -abnahmen zu registrieren.

Die Trinkmenge der Versuchspersonen war nicht vorgegeben (ökologische Validität), wurde aber genau protokolliert, sodass am Ende jeder Testfahrt der genaue Flüssigkeitsverlust eines jedes Probanden errechnet werden konnte.

Nach jeder Stufe erfolgte eine Laktatmessung. Dazu wurden 5µl Blut über einen Teststreifen am Ohr abgenommen und mit dem Laktat-Messgerät Lactate Pro[®] ausgewertet und der Messwert sofort auf dem Versuchsprotokoll notiert.

Nach der Hauptbelastungsphase (nach 60 Minuten) sind Aufnahmen mit einer Infrarotkamera der Firma FLIR[®] Systems GmbH (Frankfurt/Main, Deutschland; siehe Kapitel 9.7) gemacht worden. Die Bearbeitung der Bilder erfolgte mit dem Computerprogramm AGEMA[®]Report 5.4 der Firma FLIR[®] Systems GmbH, mit dessen Hilfe anschließend die Durchschnittstemperatur am Oberkörper errechnet worden ist.

Bei den verwendeten Messeinrichtungen für die Datenerhebung handelt es sich um regelmäßig kontrollierte und geeichte Messgeräte. Zusätzlich ist vor dem Start der Versuchsreihe jeder Fühler des MSR[®]-Datenloggers auf sein gleiches Messniveau hin überprüft worden. Dazu wurden in einem Normklima die Temperatur und die relative Feuchtigkeit aufgezeichnet und in einer anschließenden Auswertung auf Korrektheit überprüft. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Datenerfassung in der Klimakammer von reliablen und validen Messinstrumenten erfolgt ist.

Um den Gesamtenergieverbrauch während jeder Testfahrt zu bestimmen ist nach der Herzfrequenz-Monitoring-Methode verfahren worden (siehe Anhang Kap. 15, S. 283ff). So konnte verhindert werden, dass die Probanden über den gesamten Zeitraum eine Atemmaske tragen mussten, die das subjektive Empfinden durch die ungewohnte Situation negativ beeinflusst hätte. Das Prinzip dieser Methode beruht auf der individuell hohen physiologischen Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs von der Herzfrequenz, vor allem unter körperlicher Belastung. Durch einen einfachen Eingangstest (gekoppelt an den Stufentest) wurde bei jeder Testperson die Korrelation bestimmt. So konnte

über die Registrierung der Herzfrequenz der Sauerstoffverbrauch zum jeweiligen Zeitpunkt ermittelt werden. Über den Wert des Sauerstoffverbrauchs wurde mit Hilfe des kalorischen Äquivalents der Energieverbrauch errechnet. Diese Methode wird in der Literatur als zuverlässig und valide beschrieben (vgl. FRÖHLICH 2005).

2.5.4 Statistische Verfahren

Für die statistische Auswertung des Klimakammerversuchs wurde folgendermaßen vorgegangen:

Subjektive Daten

- *kontinuierlich abgefragte Empfindungen*
 1. Deskriptive Auswertung und Beschreibung aller Variablen mittels graphischer Darstellung (Kurvenverläufe über gesamte Versuchsdauer).
 2. Da die Daten der Variablen ordinal skaliert waren, wurde ein nichtparametrischer U-Test nach Mann-Whitney angewandt und die Mittleren Ränge auf signifikante Unterschiede geprüft.

- *Fragebogen*
 1. Deskriptive Auswertung aller Variablen mittels relativer Häufigkeitszählung.
 2. Da die Daten der Variablen ordinal skaliert waren, wurde ein nichtparametrischer U-Test nach Mann-Whitney angewandt, sowie die Mittleren Ränge auf signifikante Unterschiede geprüft.

Objektive Messdaten

- *kontinuierlich aufgezeichnete Messdaten*
 1. Deskriptive Auswertung und Beschreibung aller Variablen mittels graphischer Darstellung (Kurvenverläufe über gesamte Versuchsdauer).
 2. Überprüfung der in einzelne Phasen eingeteilten, metrisch skalierten Daten auf Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov.
 3. Die Daten der Variablen waren normalverteilt und sind mit der einfaktoriellen ANOVA nach Tukey HSD ausgewertet worden.

- *nach Belastungsstufen, bzw. vor und nach dem Versuch gemessene Parameter*
 1. Alle Daten waren metrisch skaliert und wurden auf Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov überprüft.
 2. Waren die Daten der Variablen normalverteilt, sind sie mit der einfaktoriellen ANOVA nach Tukey HSD ausgewertet worden.
 3. Waren die Daten der Variablen nicht normalverteilt (Laktat), wurde der nichtparametrische U-Test nach Mann-Whitney zur Auswertung herangezogen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Daten beider Versuche im Feld und in der Klimakammer wie folgt ausgewertet wurden:

Die Daten der Fragebögen aus dem Feld- und Klimakammerversuch wurden deskriptiv mittels relativer Häufigkeitszählung ausgewertet. Eine Überprüfung auf beweisbare Unterschiede wurde bei den ordinal skalierten Daten unter Verwendung des verteilungsunabhängigen U-Tests nach Mann-Whitney vorgenommen. Vor der Auswertung der Daten mit den jeweiligen statistischen Testverfahren für alle aufgenommenen metrischen Variablen wurde eine Überprüfung auf Normalverteilung mit dem nichtparametrischen Test nach Kolmogorov-Smirnov durchgeführt. Für diese objektiven Daten aus dem Feld-

versuch wurde der t-Test für unabhängige Stichproben angewandt und für jene aus dem Klimakammerversuch die einfaktorielle ANOVA nach Tukey HSD.

Es wird dabei jeweils ein Signifikanzniveau von 5% angenommen. Hierbei ergeben sich folgende Annahmen für die Irrtumswahrscheinlichkeit p (siehe Tabelle 15):

Tabelle 15: Irrtumswahrscheinlichkeit und Symbolisierung

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbolisierung
$p > 0,05$	nicht signifikant	ns
$p \leq 0,05$	signifikant	*
$p \leq 0,01$	hoch signifikant	**
$p \leq 0,001$	höchst signifikant	***

3 Ergebnisse

Nach Durchführung der Trageversuche im Feld und in der Klimakammer wurden die aufgenommenen Daten getrennt nach subjektiven und objektiven Ergebnissen ausgewertet. In Tabelle 16 sind alle während der Feld- und Klimakammerversuche erfassten Parameter aufgelistet.

Tabelle 16: Übersicht der erfassten Daten in Feld- und Klimakammerversuch

	FELDVERSUCH Mountainbike	KLIMAKAMMERVERSUCH Fahrradergometer
Daten subjektiv	<u>Fragebogen:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Allgemein: <ul style="list-style-type: none"> - Tagesform - Bike Experience - Überbekleidung • je Bergauf- und Bergabfahrt: <ul style="list-style-type: none"> - Belastungsempfinden - Körperwärmeempfinden (Brust und gesamt) - Schweißabsorption - Schweißnässestellen - Empfinden der Schweißnässestellen - Thermischer Komfort - Winddichtigkeit - Passform - Hautsensorisches Empfinden (trocken und feucht) - Geruch - Gesamturteil 	<u>Fragebogen:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Allgemein: <ul style="list-style-type: none"> - Tagesform - Bike Experience • je 20°C und 30°C: <ul style="list-style-type: none"> - Belastungsempfinden - Körperwärmeempfinden (Brust und gesamt) - Schweißabsorption - Schweißnässestellen - Empfinden der Schweißnässestellen - Thermischer Komfort - Winddichtigkeit - Passform - Hautsensorisches Empfinden (trocken und feucht) - Geruch - Gesamturteil <u>kontinuierliche Bewertung:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Temperaturempfinden (Brust und Rücken) - Feuchteempfinden (Brust und Rücken) - Komfortempfinden - Belastungsempfinden

	FELDVERSUCH Mountainbike	KLIMAKAMMERVERSUCH Fahrradergometer
Messdaten objektiv	<ul style="list-style-type: none"> • Herzfrequenz: <ul style="list-style-type: none"> - Ebene 1 - Bergauf - Pause - Bergab - Ebene 2 • Fahrtdauer: <ul style="list-style-type: none"> - Ebene 1 - Bergauf - Bergab - Ebene 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Herzfrequenz • Hauttemperatur: <ul style="list-style-type: none"> - vorne - hinten • Hautfeuchte <ul style="list-style-type: none"> - vorne - hinten • Körperkerntemperatur • Energieumsatzberechnung <ul style="list-style-type: none"> - Energieumsatz - Leistungsverbrauch • Laktat <ul style="list-style-type: none"> - Zeitpunkt 0, 20, 40, 60, 75, 85, 115 Minuten • Infrarotaufnahmen

In den nachfolgenden Ergebnistabellen sind der errechnete p-Wert [p] und die dazugehörige Hypothese [H] aufgeführt.

3.1 Feldversuch

Für die Auswertung des Feldversuchs wurden die Daten aller ausgefüllten Fragebögen (subjektive Daten), die gemessenen Herzfrequenzen und die Fahrtdauer (objektive Messdaten) getrennt voneinander ausgewertet.

3.1.1 Subjektive Daten

Die subjektiven Daten sind unterteilt in allgemeine Eingangsfragen, Fragebögen nach der Bergauffahrt und Fragebögen nach der Bergabfahrt, am Ende der Testfahrt.

Für die vorliegenden Vergleiche des Mittleren Ranges durch den U-Test sind für die Unterschiedsfragestellung folgende Hypothesen aufgestellt worden:

H_0 : Es lag kein signifikanter Unterschied bezüglich Material und Gestaltung zwischen Polyamidtrikot und Windstoppershirt in dem jeweiligen subjektiven Empfinden vor.

H_1 : Es lag ein signifikanter Unterschied bezüglich Material und Gestaltung zwischen Polyamidtrikot und Windstoppershirt in dem jeweiligen subjektiven Empfinden vor.

Dabei wurde eine Alternativhypothese H_1 für die Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ angenommen. In den Tabellen sind diejenigen Eigenschaften, bei denen die Alternativhypothese angenommen worden ist, kursiv dargestellt.

Eingangsfragen

Die allgemeine Tagesform und die Erfahrung im Radfahren (Bike Experience) sind in tabellarischer Form dargestellt (siehe Tabelle 17), die Tragezeitpunkte der Überbekleidung anhand eines Diagramms (siehe Bild 13).

Tabelle 17: Eingangswfragen Häufigkeit in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]

	S	N	1	2	3	4	5	p	H	
Tagesform	A	10	10	60	30	0	0	0,897	H ₀	ns
	B	10	10	60	20	10	0			
Bike Experience	A	10	0	20	10	20	50	0,432	H ₀	ns
	B	10	10	10	40	10	30			

Tragen von Überbekleidung

Bild 13 zeigt, dass beim Tragen von Überkleidung keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Materialien zu erkennen sind.

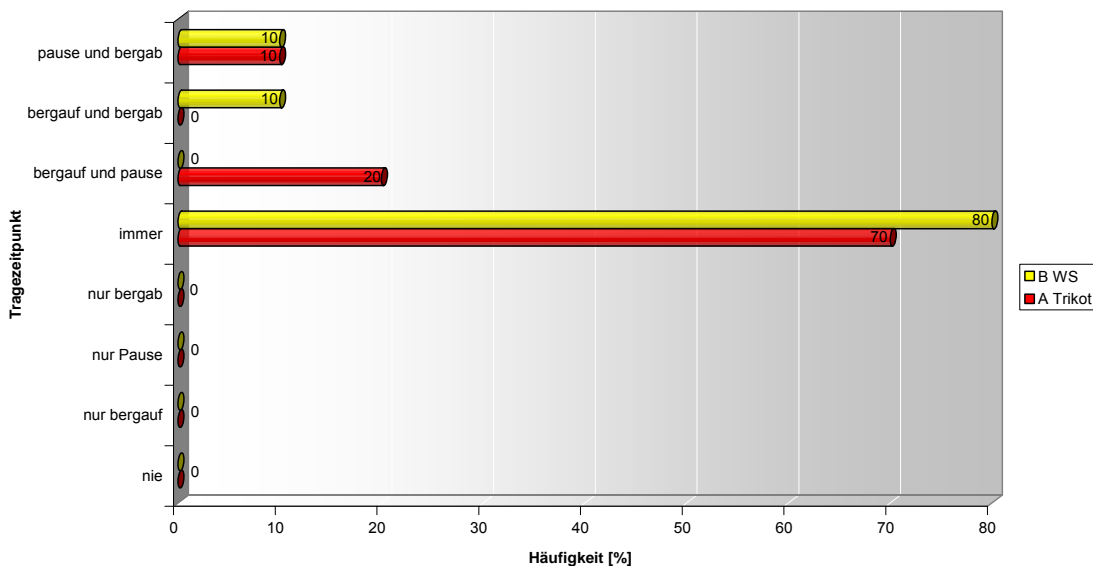


Bild 13: Tragezeitpunkt Überbekleidung

Fragen getrennt nach Bergauf- und Bergabfahrt

Belastungsempfinden

Das Belastungsempfinden gibt Aufschluss darüber, wie anstrengend die Testfahrt an diesem Tag empfunden wurde. Die von Borg entwickelte Skala zur Angabe des Anstrengungsempfindens (BORG 1999) ist sehr differenziert und geht in ihrer Wertigkeit von 6 – *sehr, sehr leicht* bis 20 – *sehr, sehr anstrengend* (siehe Anhang Bild 97 und Bild 98, Seite 224).

Da keiner der Probanden die Werte 19 oder 20 – *sehr, sehr anstrengend* angab, fehlt diese Kategorie in nachfolgender Tabelle 18. Das bedeutet, dass

sich keiner der Probanden durch den Test überfordert fühlte; somit kann eine Verfälschung der Testergebnisse durch körperliche Überlastung ausgeschlossen werden.

Tabelle 18: Belastungsempfinden Häufigkeit in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]

	S	N	sehr, sehr leicht	sehr leicht	ziemlich leicht	etwas schwer	schwer	sehr schwer	p	H	
Bergauf	A	10	0	20	50	10	20	0	0,220	H ₀	ns
	B	10	10	30	40	10	10	0			
Bergab	A	10	0	0	40	40	20	0	0,282	H ₀	ns
	B	10	0	10	40	40	0	10			

Körperwärmeempfinden

Das Körperwärmeempfinden wird in *Körperwärme an der Brust* und *Körperwärme gesamt* unterteilt.

Beim Bergauffahren ergaben sich für das Körperwärmeempfinden an der Brust keine Unterschiede in der Antworthäufigkeit zwischen den Shirts. 90% der Probanden hatten ein angenehmes Körperwärmeempfinden während 10% zu Beginn ein angenehmes Empfinden hatten und später über Wärmestau klagten.

Für den gesamten Oberkörper sind dagegen Unterschiede feststellbar (siehe Bild 14). Das Ergebnis ist allerdings uneinheitlich. Tendenziell wurde das Trikot (Gruppe A) wärmer empfunden als der Windstopper (Gruppe B), der in Bezug auf die Körperwärme von 90% als *angenehm* bewertet wurde.

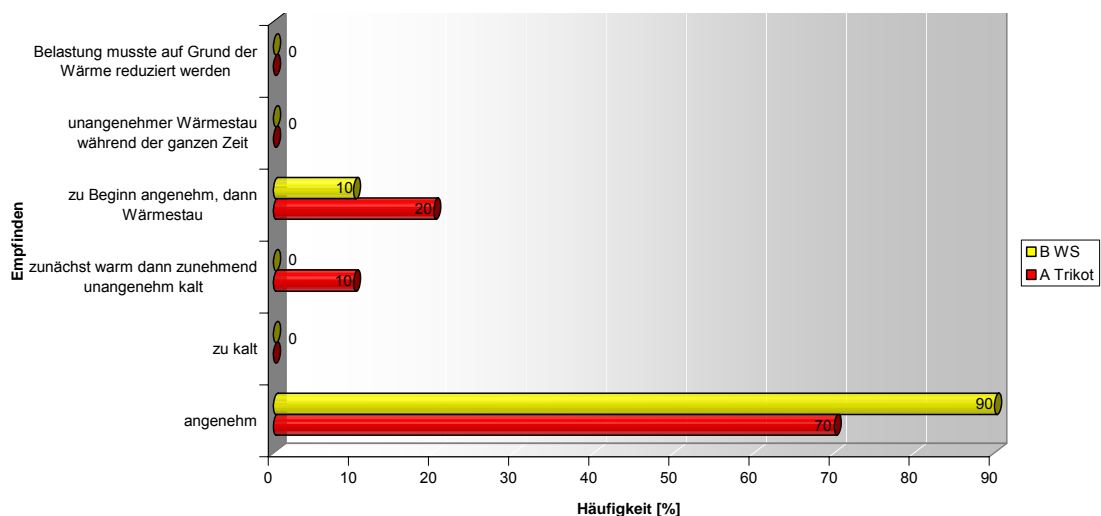


Bild 14: Körperwärmeempfinden gesamt Bergauf

Nach der Bergabfahrt antworteten die Probanden sowohl für den Brustbereich allein, als auch für den Gesamtkörper entweder *angenehm* oder *zu kalt*, wobei sich die Antworten bei Gruppe A (Trikot) gleichmäßig zu je 50% aufteilten. In Gruppe B (Windstopper) ist das Wärmeempfinden für den Gesamtbereich für 60% *angenehm*. Für die Brust alleine gaben das sogar 80% der Probanden an.

Empfinden der Schweißnässestellen

Bild 15 zeigt deutlich, dass die meisten Probanden die Schweißnässestellen nach der Bergauffahrt als *nicht störend* empfanden. Allerdings schnitt das Windstoppershirt auch hier deutlich besser ab als das Trikot. Nur 10% (gegenüber 30% in Gruppe A) empfanden unangenehme oder kalte Nässestellen. Unangenehm kalte und scheuernde Schweißnässestellen traten nur in Gruppe A auf (10%).

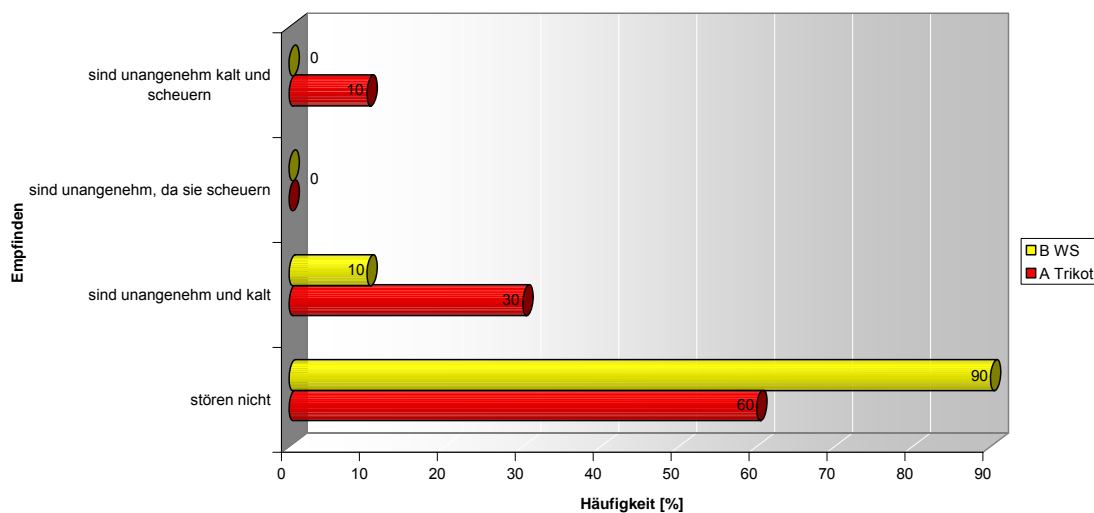


Bild 15: Schweißnässestellen Bergauf

Bei der Bergabfahrt ergaben sich für die Versuchspersonen in Material B keine Unterschiede zur Bergauffahrt. Hingegen ergab sich mit 70% bei der Gruppe die mit Material A fuhr, ein deutlicher Trend von einem *nicht störenden* zu einem *unangenehmen und kalten* Empfinden der Schweißnässestellen (siehe Bild 16).

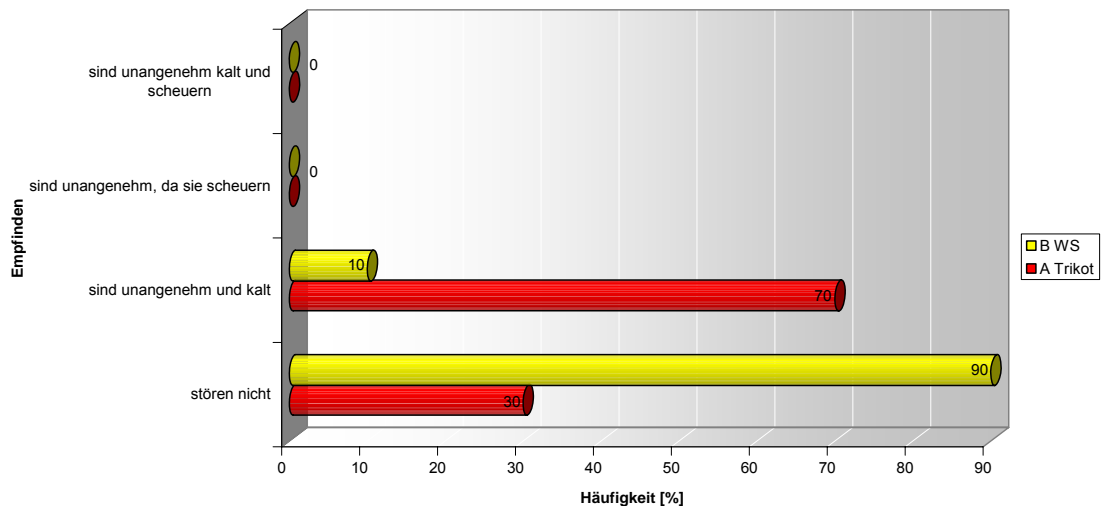


Bild 16: Schweißnässestellen Bergab

Weitere subjektive Beurteilungen

Neben den oben beschriebenen, eher allgemeinen Beurteilungen liegen auch die Ergebnisse der detaillierteren Befragungen getrennt für Bergauf- und Bergabfahrt vor. Die subjektiven Empfindungen bezüglich Schweißabsorption und -nässestellen, Thermischem Komfort, Körperwärmeempfinden, Winddichtigkeit, Passform, Material-Hautempfinden (trocken und feucht), Geruch, sowie ein Gesamturteil über das getragene Textil sind in den Tabelle 19 und Tabelle 20 dargestellt.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass hier ausschließlich untersucht wurde, ob ein Unterschied zwischen den beiden Materialien besteht. Die Beurteilung, wie sich diese Unterschiede auswirken erfolgt in der Diskussion in Kapitel 4.2.

Die graphische Darstellung der Häufigkeiten sowie eine Übersichtstabelle der Rangvergleiche sind im Anhang ab Seite 225ff zu finden.

Tabelle 19: Fragen Bergauf: Häufigkeiten in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]

	S	N	1	2	3	4	5	p	H	
Schweißabsorption	A	10	10	60	30	0	0	0,010	H_1	**
	B	10	60	40	0	0	0			
Schweißnässestellen Brust	A	10	50	20	20	10	0	0,068	H_0	ns
	B	10	90	10	0	0	0			
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	10	10	40	30	10	10	0,083	H_0	ns
	B	10	50	20	30	0	0			
Schweißnässestellen Kragen	A	10	60	20	20	0	0	0,656	H_0	ns
	B	10	70	20	10	0	0			
Schweißnässestellen Achseln	A	10	30	30	10	30	0	0,529	H_0	ns
	B	10	30	40	30	0	0			
Schweißnässestellen Schultern	A	10	60	40	0	0	0	0,342	H_0	ns
	B	10	80	20	0	0	0			
Schweißnässestellen gesamt	A	10	30	50	10	10	0	0,195	H_0	ns
	B	10	70	10	20	0	0			
Thermischer Komfort	A	10	0	60	30	0	10	0,049	H_1	*
	B	10	50	30	10	10	0			
Winddichtigkeit	A	10	0	60	40	0	0	0,001	H_1	***
	B	10	60	30	10	0	0			
Passform	A	10	20	80	0	0	0	0,453	H_0	ns
	B	10	20	60	20	0	0			
Material Hautempfinden trocken	A	10	40	60	0	0	0	0,737	H_0	ns
	B	10	60	20	20	0	0			
Material Hautempfinden feucht	A	10	10	50	40	0	0	0,358	H_0	ns
	B	10	40	30	20	10	0			
Geruch	A	10	30	60	10	0	0	0,752	H_0	ns
	B	10	30	70	0	0	0			
Gesamt	A	10	0	60	40	0	0	0,001	H_1	***
	B	10	70	30	0	0	0			

Für die Bergauffahrt waren drei signifikante Unterschiede in den Detailfragen und ein höchst signifikanter Unterschied beim Gesamturteil feststellbar.

Tabelle 20: Fragen Bergab: Häufigkeiten in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]

	S	N	1	2	3	4	5	p	H	
Schweißabsorption	A	10	10	40	30	20	0	0,210	H ₀	ns
	B	10	50	40	10	0	0			
Schweißnässestellen Brust	A	10	20	10	40	20	10	0,109	H ₀	ns
	B	10	40	30	20	10	0			
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	10	10	10	20	40	20	0,026	H ₁	*
	B	10	10	60	20	10	0			
Schweißnässestellen Kragen	A	10	10	70	20	0	0	0,396	H ₀	ns
	B	10	50	20	20	10	0			
Schweißnässestellen Achseln	A	10	30	30	20	20	0	0,453	H ₀	ns
	B	10	40	30	30	0	0			
Schweißnässestellen Schultern	A	10	60	30	10	0	0	0,584	H ₀	ns
	B	10	50	30	20	0	0			
Schweißnässestellen gesamt	A	10	10	30	50	10	0	0,183	H ₀	ns
	B	10	30	40	20	10	0			
Thermischer Komfort	A	10	20	60	20	0	0	0,089	H ₀	ns
	B	10	50	50	0	0	0			
Winddichtigkeit	A	10	0	10	10	60	20	0,007	H ₁	**
	B	10	50	20	30	0	0			
Passform	A	10	50	40	10	0	0	0,091	H ₀	ns
	B	10	20	40	40	0	0			
Material Hautempfinden trocken	A	10	50	40	10	0	0	0,836	H ₀	ns
	B	10	50	30	20	0	0			
Material Hautempfinden feucht	A	10	0	70	20	10	0	0,464	H ₀	ns
	B	10	20	50	30	0	0			
Geruch	A	10	40	50	10	0	0	0,796	H ₀	ns
	B	10	40	60	0	0	0			
Gesamt	A	10	10	60	30	0	0	0,005	H ₁	**
	B	10	70	30	0	0	0			

Bei der Bergabfahrt gab es zwei signifikante Unterschiede in den Detailfragen, sowie einen hoch signifikanten Unterschied in der Gesamtbewertung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Folgenden nur auf die signifikanten Unterschiede eingegangen.

Bei der Bergauffahrt ergab sich ein hoch signifikanter Unterschied in der Schweißabsorption mit $p = 0,010$; nach der Bergabfahrt hingegen nicht.

Umgekehrt verhielt es sich mit den Schweißnässestellen an der Rückenmitte. Hier lag nach der Bergabfahrt mit $p = 0,026$ ein signifikanter Unterschied vor, während sich mit einem $p = 0,086$ nach der Bergauffahrt kein signifikanter Unterschied nachweisen ließ. Dennoch erlaubt dieser Wert die Vermutung, dass ein deutlicher, wenn auch nicht signifikanter, Unterschied zwischen Trikot und Windstopper besteht.

Bei der Frage nach dem Thermischen Komfort errechnete sich mit einem Wert von $p = 0,049$ ein signifikanter Unterschied zwischen den Materialien während der Bergauffahrt. Dieser ergab sich mit $p = 0,089$ jedoch nicht für die Bergabfahrt, was wieder einen deutlichen Unterschied annehmen, jedoch nicht beweisen ließ.

Sowohl in der Winddichtigkeit als auch im Gesamturteil kam für Bergauf- und Bergabfahrt ein hoch bzw. höchst signifikanter Unterschied beim Vergleich von Trikot und Windstopper zustande.

Somit konnte für die hier dargestellten Bewertungen mit einem $p \leq 0,05$ die Nullhypothese H_0 verworfen, und eine Alternativhypothese H_1 angenommen werden.

3.1.2 Objektive Messdaten

Bei der Messfahrt wurden als objektive Parameter die Herzfrequenz und die exakte Fahrtdauer der einzelnen Streckenabschnitte erhoben. Diese Daten sind in Tabelle 43 und

Tabelle 45 auf Seite 235f dargestellt.

Es handelte sich hier um eine Unterschiedsfragestellung mit zwei unabhängigen Stichproben und metrischen, in der Stichprobe normalverteilten, Daten. Zunächst erfolgte die Prüfung auf Varianzhomogenität nach Levene. Dabei war in einem Fall (Fahrtdauer bergab) die Varianz heterogen.

Als statistisches Prüfverfahren wurde dort der t-Test für nicht gleiche Varianzen (Signifikanzniveau: 5%) angewandt. Ansonsten erfolgte der Mittelwertsvergleich anhand des t-Tests für unabhängige Stichproben, ebenfalls mit einem

Signifikanzniveau von 5%. Dabei wurden für die Unterschiedsfragestellung folgende Hypothesen aufgestellt:

H_0 : Es lag kein signifikanter Unterschied zwischen Polyamidtrikot und Windstoppershirt bezüglich der jeweiligen objektiven Parameter vor.

H_1 : Es lag ein signifikanter Unterschied zwischen Polyamidtrikot und Windstoppershirt bezüglich der jeweiligen objektiven Parameter vor.

Dabei wird eine Alternativhypothese H_1 für die Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ angenommen.

3.1.2.1 Fahrtdauer

Die Fahrtdauer wurde in die vier Abschnitte des Feldversuchs unterteilt: Ebene 1, Bergauf, Bergab und Ebene 2. Die exakten Ergebnisse der einzelnen Gruppen mit Mittelwerten und Standardabweichung, sowie die Varianzhomogenität und die Mittlere Differenz des t-Tests sind im Anhang Tabelle 43 und Tabelle 44, Seite 235, zu finden. Eine Zusammenfassung ist nachfolgend in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Deskriptive Gruppenstatistik für Fahrtdauer Feldversuch und t-Test für unabhängige Stichproben

	S	N	Mittelwert	SD	p	H	
Ebene 1	A	10	0:18:15	0:01:50	0,877	H_0	ns
	B	10	0:18:24	0:02:24			
Bergauffahrt	A	10	0:35:47	0:06:52	0,877	H_0	ns
	B	10	0:37:40	0:05:33			
Pause	A	10	0:15:00	0	0	0	0
	B	10	0:15:00	0			
Bergabfahrt	A	10	0:09:22	0:01:41	0,810	H_0	ns
	B	10	0:09:31	0:00:42			
Ebene 2	A	10	0:30:57	0:04:28	0,451	H_0	ns
	B	10	0:32:31	0:04:35			
Gesamtfahrtdauer	A	10	1:49:23	0:13:49	0,501	H_0	ns
	B	10	1:53:09	0:10:31			

Die Auswertung der Fahrtdauer ergab für keinen der unterschiedlichen Streckenabschnitte einen signifikanten Unterschied zwischen den getesteten

Materialien. Deshalb wurde für alle vier Streckenabschnitte, ebenso wie für die Gesamtfahrdauer, H_0 beibehalten.

3.1.2.2 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde, ebenso wie die Fahrdauer, in vier Abschnitte unterteilt. Zusätzlich ist die Herzfrequenz während der 15-minütigen Pause mit aufgezeichnet worden (siehe Tabelle 22). Die exakten Ergebnisse der einzelnen Gruppen mit Mittelwerten und Standardabweichung, sowie die Varianzhomogenität und die Mittlere Differenz des t-Tests sind im Anhang in

Tabelle 45 und

Tabelle 46 Seite 237f zu finden.

Tabelle 22: Deskriptive Gruppenstatistik für Herzfrequenz Feldversuch und t-Test für unabhängige Stichproben

	S	N	Mittelwert	SD	p	H	
Ebene 1 Minimum	A	10	102	14,71	0,685	H_0	ns
	B	10	100	16,74			
Ebene 1 Maximum	A	10	155	13,44	0,277	H_0	ns
	B	10	163	15,43			
Ebene 1 Mittelwert	A	10	138	11,95	0,319	H_0	ns
	B	10	144	15,31			
Bergauf Minimum	A	10	124	12,67	0,101	H_0	ns
	B	10	132	6,99			
Bergauf Maximum	A	10	171	15,04	0,271	H_0	ns
	B	10	178	13,26			
Bergauf Mittelwert	A	10	163	14,99	0,485	H_0	ns
	B	10	168	13,87			
Pause Minimum	A	10	84	10,24	0,155	H_0	ns
	B	10	91	10,24			
Pause Maximum	A	10	142	47,92	0,334	H_0	ns
	B	10	159	18,19			
Pause Mittelwert	A	10	106	10,16	0,062	H_0	ns
	B	10	114	7,72			
Bergab Minimum	A	10	92	16,34	0,549	H_0	ns
	B	10	97	16,64			
Bergab Maximum	A	10	136	15,39	0,708	H_0	ns
	B	10	139	17,50			
Bergab Mittelwert	A	10	112	20,15	0,777	H_0	ns
	B	10	114	20,28			

	S	N	Mittelwert	SD	p	H	
Ebene 2 Minimum	A	10	103	16,65	0,250	H ₀	ns
	B	10	110	9,47			
Ebene 2 Maximum	A	10	163	15,73	0,332	H ₀	ns
	B	10	170	14,79			
Ebene 2 Mittelwert	A	10	144	13,78	0,431	H ₀	ns
	B	10	149	11,68			

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass sich für die Herzfrequenz keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen und den jeweils getragenen Shirts ergaben. Für alle Werte wurde H₀ beibehalten.

3.2 Klimakammerversuch

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Klimakammerversuchs dargestellt. Auch hier erfolgt gemäß Tabelle 16 die Unterteilung in subjektive Daten und objektive Messdaten. Im Unterschied zum Feldtest sind in der Klimakammer deutlich mehr Daten erhoben worden.

3.2.1 Subjektive Daten

Zunächst werden die Daten der kontinuierlich erfassten subjektiven Empfindungen über die gesamte Versuchsdauer dargestellt. Für die statistische Auswertung (U-Test nach Mann-Whitney) wurde der Zeitraum der Datenerhebung in vier markante Phasen á 10 Minuten unterteilt, der wie folgt festgelegt und in den Diagrammen gekennzeichnet worden ist:

- Phase I: Minute 50 bis 60; die letzten zehn Minuten der intensivsten Belastung.
- Phase II: Minute 65 bis 75; die letzten zehn Minuten während der Sitzpause.
- Phase III: Minute 75 bis 85; die zehn Minuten der simulierten Bergabfahrt mit großer Windgeschwindigkeit (4 m/s) und sehr geringer Belastung.
- Phase IV: Minute 105 bis 115; die letzten zehn Minuten der Testfahrt.

Abschließend erfolgte die Auswertung des Fragebogens. Die ordinal skalierten Daten wurden wiederum statistisch mittels U-Test nach Mann-Whitney ausgewertet.

Für sämtliche Unterschiedsfragestellungen galten folgende Hypothesen:

H_0 : Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen Polyamidtrikot, Windstopper- und Baumwollshirt in den jeweiligen subjektiven Empfindungen.

H_1 : Es gab signifikante Unterschiede zwischen Polyamidtrikot und Windstopper- und Baumwollshirt in den jeweiligen subjektiven Empfindungen.

Dabei wurde eine Alternativhypothese H_1 für die Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ angenommen. In den Tabellen sind diejenigen Eigenschaften, bei denen die Alternativhypothese angenommen worden ist, kursiv dargestellt.

3.2.1.1 Kontinuierlich erfasste Empfindungen

a) Temperaturempfinden

Das Temperaturempfinden wurde getrennt für Brust und Rücken ausgewertet, wobei die Skala von 1 (unerträglich kalt) über 5 (neutral) bis hin zu 9 (unerträglich heiß) geht. Bild 17 (Brust) und Bild 18 (Rücken) zeigen die Ergebnisse für alle Shirts und beide Klimas gemittelt (arithmetisches Mittel) für alle Probanden.

Allgemein ließen sich sehr ähnliche Kurvenverläufe für Brust und Rücken beobachten. Es zeigte sich sowohl für Brust, als auch für den Rücken ein Unterschied bei den empfundenen Temperaturen von durchschnittlich einem Bewertungspunkt zwischen 20°C und 30°C Umgebungstemperatur.

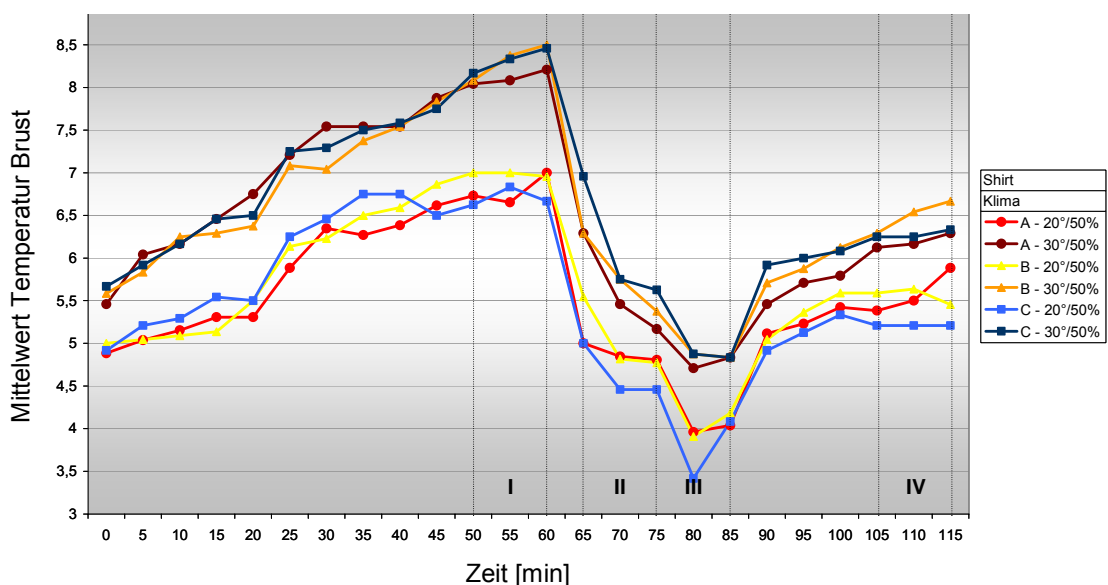


Bild 17: Mittelwerte subjektives Empfinden Temperatur Brust

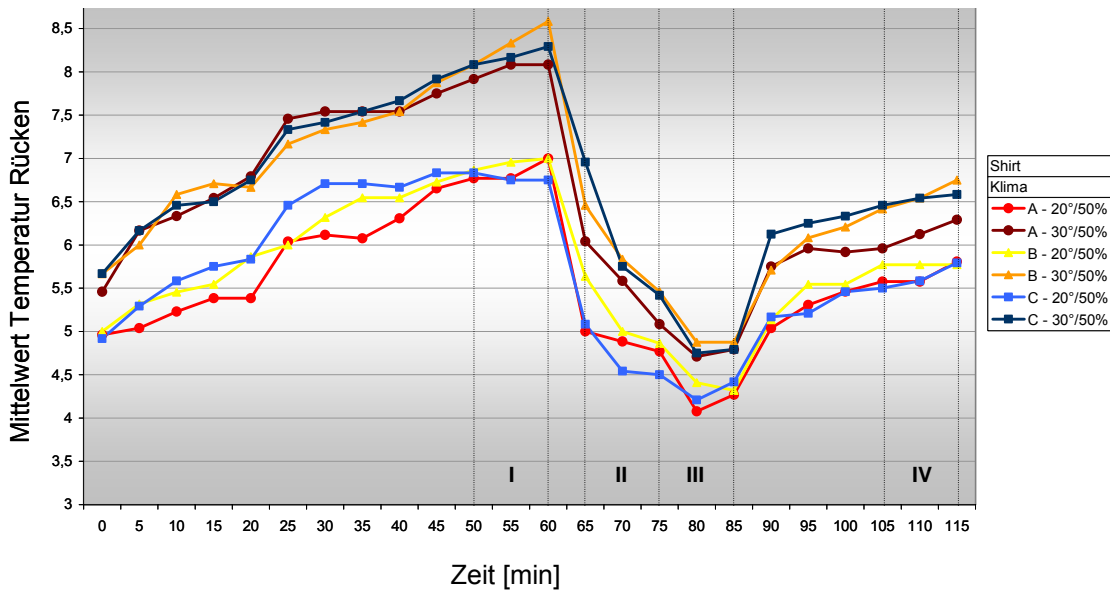


Bild 18: Mittelwerte subjektives Empfinden Temperatur Rücken

Unterschiede zwischen den Shirts (Brust und Rücken) waren bei 20°C vor allem im Bereich zwischen Zeitpunkt (ZP) 70 und 90 vorhanden, wohingegen die Unterschiede im selben Zeitraum bei 30° nur marginal waren.

Mit einer Ausnahme (Shirt B bei 20°C, Rücken) war bei allen Shirts und Temperaturen ein sprunghafter Anstieg der empfundenen Temperatur zwischen ZP 20 und 25 zu beobachten, bei dem die Belastungssteigerung von 65% IAS auf 80% IAS erfolgte. Beim nächsten Belastungsübergang war so ein Anstieg jedoch nicht zu verzeichnen.

Auffällig war weiterhin, dass es bei 20°C im Zeitbereich zwischen ZP 75 und ZP 80 (Phase III, Bergabfahrt mit starkem Fahrtwind) einen deutlichen Unterschied zwischen Brust und Rückentemperatur bei Shirt C (0,8 Bewertungspunkte) und immerhin eine kleine Differenz von 0,5 Punkten bei Shirt B gab. Für Shirt A war dagegen kein nennenswerter Unterschied feststellbar.

Außerdem ging aus den Daten hervor, dass im Brustbereich Shirt C zum ZP 80 bei 20°C als das Kälteste empfunden wurde, während es bei 30°C zum selben Zeitpunkt als das Wärmste bewertet wurde.

b) Feuchteempfinden

Wie das Temperaturempfinden wurde auch das Feuchteempfinden getrennt nach Brust und Rücken ausgewertet (Bild 19 und Bild 20), wobei die Skala von 0 (trocken) bis 7 (unerträglich) reicht.

Die Verläufe des Feuchteempfindens waren für Brust und Rücken sehr ähnlich. Die Differenz der Kurven zwischen 20°C und 30°C Umgebungstemperatur war nicht so eindeutig feststellbar, wie dies beim Temperaturempfinden der Fall war.

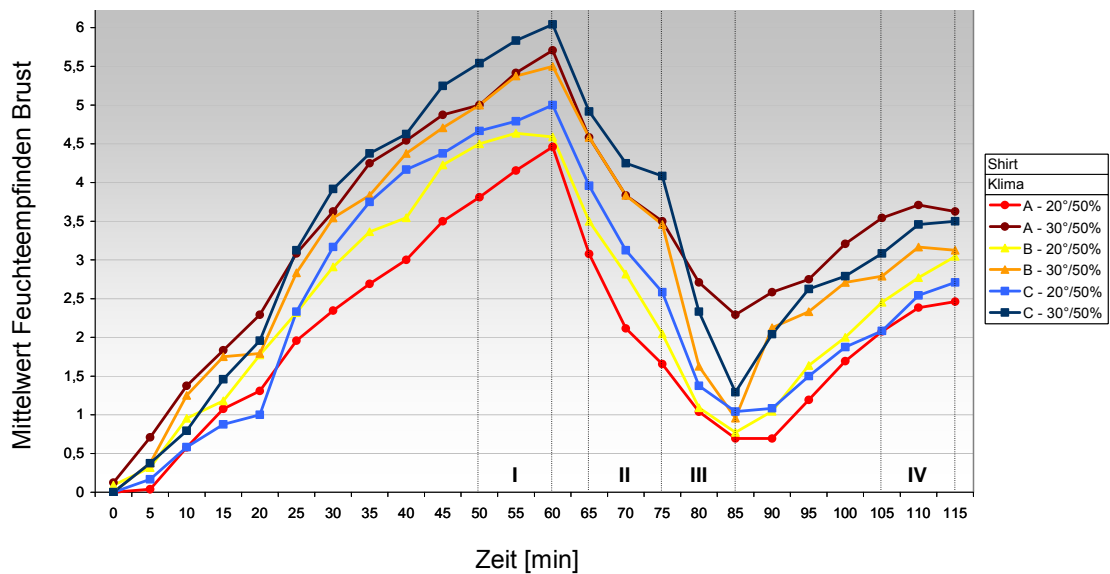


Bild 19: Mittelwerte subjektives Feuchteempfinden Brust

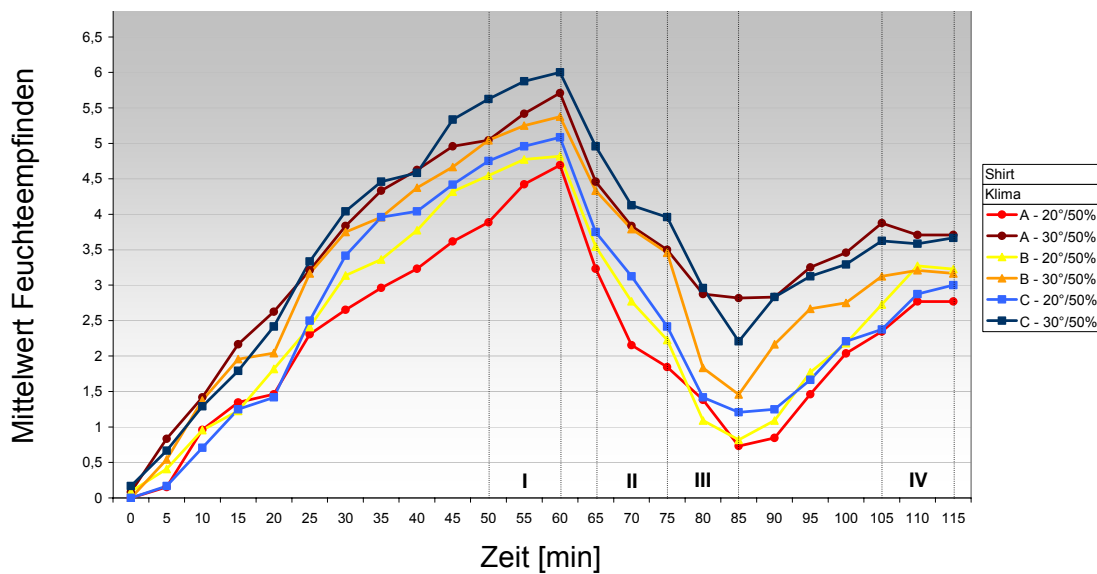


Bild 20: Mittelwerte subjektives Feuchteempfinden Rücken

Im Vergleich zum Temperaturempfinden waren die Unterschiede zwischen den Shirts (Brust und Rücken) bei 20°C gering. Lediglich zum ZP 40 am Rücken differierten die Kurven der Shirts A und C um ca. einen Bewertungspunkt. Bei 30°C ergab sich bis zum ZP 80 ebenfalls kein großer Unterschied im Kurvenverlauf der verschiedenen Shirts. Zum ZP 80 und 85 waren jedoch an Brust und Rücken große Differenzen in der Bewertung des Feuchteempfindens erkennbar. Zum einen wurde der Rücken feuchter empfunden als die Brust (Bewertungsdifferenzen von ca. 0,5 - 1 Punkt) und zum anderen erwies sich das Shirt B beispielsweise um 1,3 (Brust) und 1,4 (Rücken) Punkte trockener als Shirt A.

Aus den Daten ging weiter hervor, dass Shirt C in beiden Umgebungstemperaturen zwischen ZP 50 und 60 (Phase I, intensivste Belastung) die höchsten Feuchtigkeitswerte erzielte.

Auffällig ist, dass es bei 20°C zum ZP 85 (Ende der Phase III, größte Windgeschwindigkeit) in Shirt A die niedrigsten Werte, bei 30°C jedoch mit Abstand die höchsten Werte zum Feuchteempfinden gab.

Außerdem konnte festgestellt werden, dass Shirt B in beiden Umgebungstemperaturen in Phase IV (letzten zehn Minuten der Testfahrt) für Brust und Rücken gleich bewertet wurde [3,1 (Brust) bzw. 3,16 (Rücken)].

c) Tragekomfort

Anders als bei den beiden vorangegangenen Parametern wurde der Tragekomfort für den gesamten Textilbereich (Torso) ausgewertet und nicht nach Brust und Rücken getrennt. Die Tragekomfortnoten waren an Schulnoten angelehnt und gingen von 1 (sehr gut) bis 6 (unbefriedigend).

Hier war die deutliche Unterscheidung der Kurvenverläufe bei den Umgebungstemperaturen von 20°C und 30°C nicht zu erkennen (siehe Bild 21).

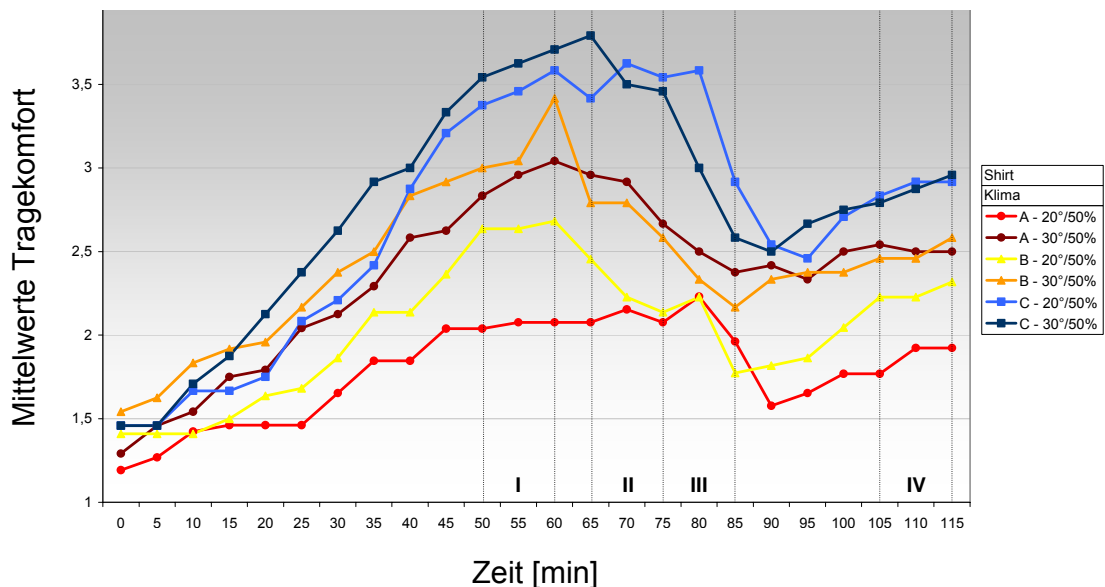


Bild 21: Mittelwerte subjektives Tragekomfortempfinden

Anhand der Bewertungen fallen drei Dinge besonders auf:

- Shirt C erhielt sowohl bei 20°C als auch bei 30°C ab dem ZP 40 die schlechtesten Bewertungen für Tragekomfort, durchgehend bis zum Ende.
- Die Komfortbewertungen der Materialien A und B lagen bei beiden Umgebungstemperaturen eng zusammen, wobei besonders bei 30°C nahezu kein Unterschied feststellbar war.
- Mit Ausnahme des ZP 85 erhielt Shirt A durchgehend die beste Bewertung bei 20°C.

d) Belastungsempfinden

Die Belastungen wurden mit Hilfe der Borg-Skala subjektiv in Abständen von fünf Minuten von den Probanden erfragt. Bild 22 zeigt die Ergebnisse.

Aus den Kurvenverläufen war die stufenförmig ansteigende Belastung gut erkennbar. Zu Beginn war das Belastungsniveau bei allen Shirts und Temperaturen fast identisch. Mit zunehmender Zeitdauer und steigender Belastung divergierten die Bewertungen.

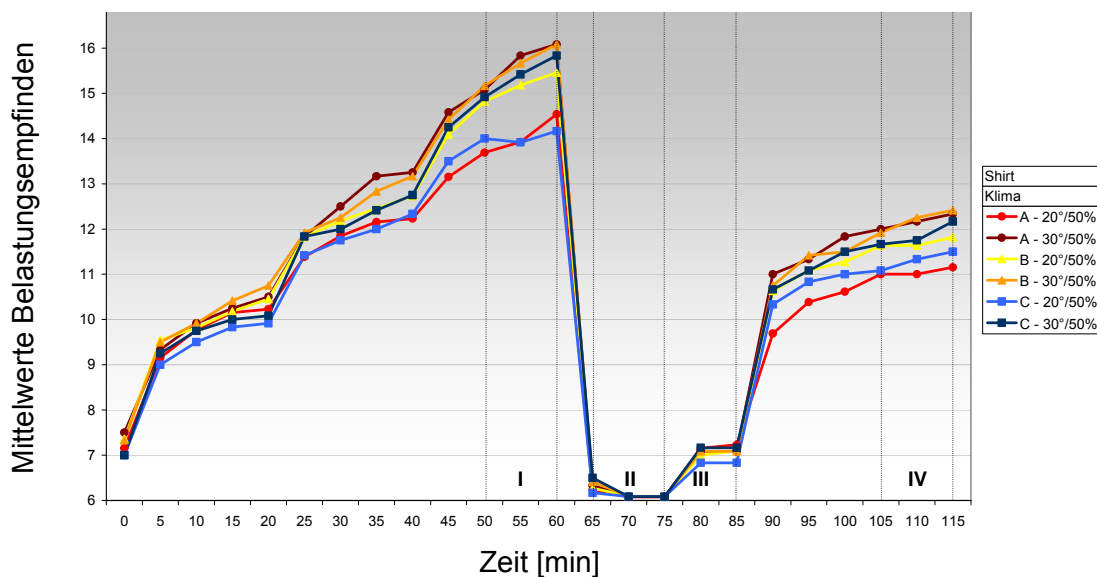


Bild 22: Mittelwerte des subjektiven Belastungsempfindens nach BORG

Die Belastungen für die Shirts A und C waren bei 20°C über den gesamten Testverlauf fast identisch (maximaler Unterschied ca. 0,6 Bewertungspunkte). Shirt B dagegen lag bei 20°C in etwa auf dem Niveau der 30°C – Tests. Der Unterschied zwischen 20°C und 30°C bei Shirt B betrug zum Ende der maximalen Belastung lediglich einen Bewertungspunkt nach Borg.

Außerdem war festzustellen, dass das Level des Belastungsempfindens zum Ende des Tests nicht auf dem gleichen Niveau lag wie zu Beginn (identische Belastung), sondern auf dem Level der nächst höheren Belastungsstufe.

e) Auswertung der einzelnen Phasen

Zur Auswertung des kontinuierlich alle 5 Minuten abgefragten subjektiven Empfindens (Temperatur und Feuchte der Haut, Komfort und Belastungsempfinden) wurden jeweils zehn Minuten aus den vier markanten Phasen (analog Kapitel 3.2.1) verwandt.

Um die Übersicht zu wahren, werden nur die Werte dargestellt, die signifikante Unterschiede beweisen konnten (siehe Tabelle 23). Die vollständigen Ergebnistabellen finden sich im Anhang in Tabelle 49 bis Tabelle 54, Seite 241ff.

Tabelle 23: Kontinuierlich aufgezeichnetes subjektives Empfinden; signifikante Unterschiede

	Phase	Klima		Mittlerer Rang	p	
Komfort	1	20°C	A	7,63	0,001	***
			C	17,38		
Temperaturempfinden Brust	2	20°C	A	15,33	0,039	*
			C	9,67		
Komfort	2	20°C	A	8,17	0,002	**
			C	16,83		
Komfort	3	20°C	A	9,08	0,017	*
			C	15,92		
Komfort	4	20°C	A	9,21	0,018	*
			C	15,79		
Komfort	1	20°C	B	9,71	0,048	*
			C	15,29		
Komfort	2	20°C	B	7,92	0,001	***
			C	17,08		
Komfort	3	20°C	B	9,04	0,016	*
			C	15,96		
Feuchteempfinden Brust	3	30°C	A	15,71	0,025	*
			B	9,29		
Feuchteempfinden Rücken	3	30°C	A	15,67	0,027	*
			B	9,33		
Komfort	2	30°C	B	9,50	0,033	*
			C	15,50		

Bei den in Tabelle 23 dargestellten Werten handelt es sich um die signifikanten Unterschiede. Für diese Parameter wurde die Nullhypothese H_0 verworfen und die Alternativhypothese H_1 angenommen.

3.2.1.2 Fragebogen

Am Ende einer jeder Testfahrt in der Klimakammer wurde von den Probanden ein Fragebogen ausgefüllt, der dem des Feldversuchs entsprach. Bei einer Stichprobengröße von $N = 72$ ergab sich bei sechs Variationsmöglichkeiten aus Shirt und Klima $n = 12$ Fragebögen für die Auswertung.

Die graphischen Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der ordinal skalierten Daten sowie die kompletten Übersichtstabellen des U-Tests sind im Anhang Bild 115 bis Bild 134 und Tabelle 55 bis Tabelle 63, Seite 250ff zu finden.

Körperwärmeempfinden

Das Körperwärmeempfinden wurde in *Körperwärme an der Brust* und in *Körperwärme gesamt* unterteilt.

Die Diagramme Bild 23 und Bild 24 zeigen, dass sich die Angaben über das Körperwärmeempfinden an der Brust gegenüber dem des gesamten Oberkörpers bei 20°C erheblich unterschieden. Auffällig war aber, dass Shirt A bei 20°C sowohl *an der Brust* als auch *gesamt* überwiegend *angenehm* (83,3% bzw. 91,7%) bewertet wurde.

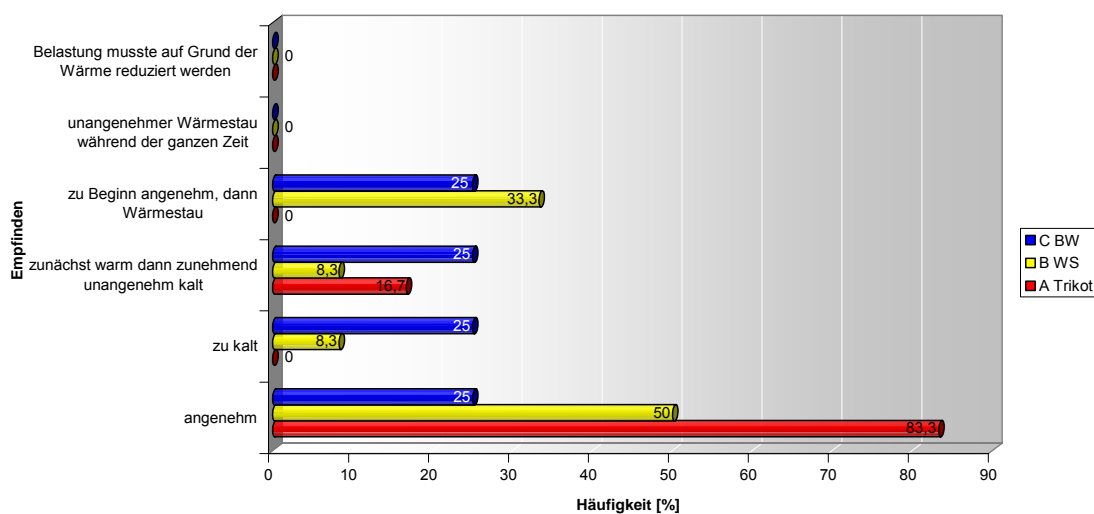


Bild 23: Körperwärmeempfinden Brust bei 20°C

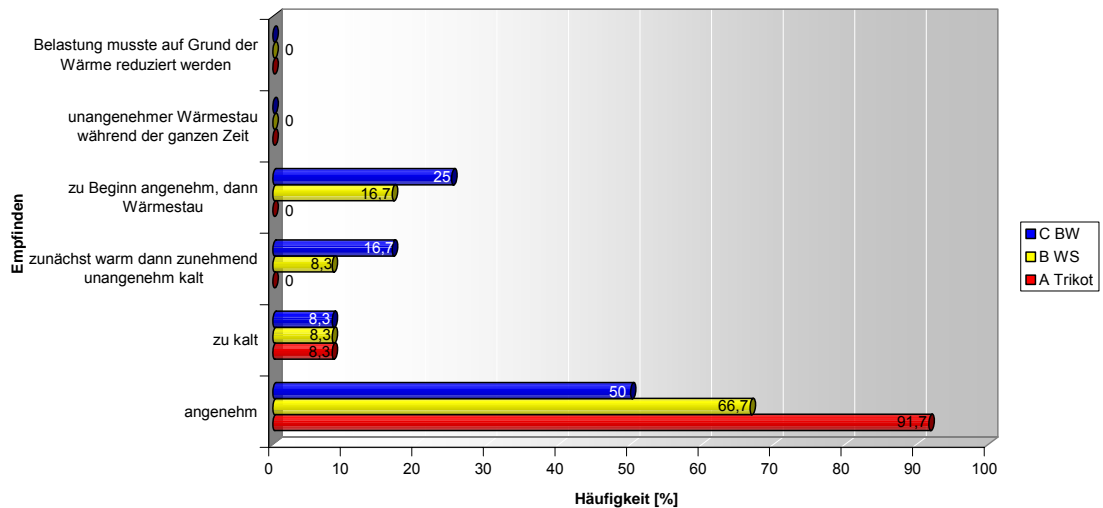


Bild 24: Körperwärmeempfinden gesamt bei 20°C

Bei 30°C war ebenfalls keine einheitliche Beurteilung zwischen dem Körperwärmeempfinden an der Brust und dem gesamten Oberkörper zu verzeichnen, wobei Shirt A wiederum am besten bewertet wurde (Bild 25 und Bild 26).

Bei der Betrachtung von Shirt C fiel auf, dass die meisten Probanden mit zunehmender Dauer des Klimakammertests über Wärmestau klagten. Dieses Empfinden trat allerdings an der Brust allein nicht so ausgeprägt auf (58,3 %), wie am gesamten Oberkörper (91,7 %).

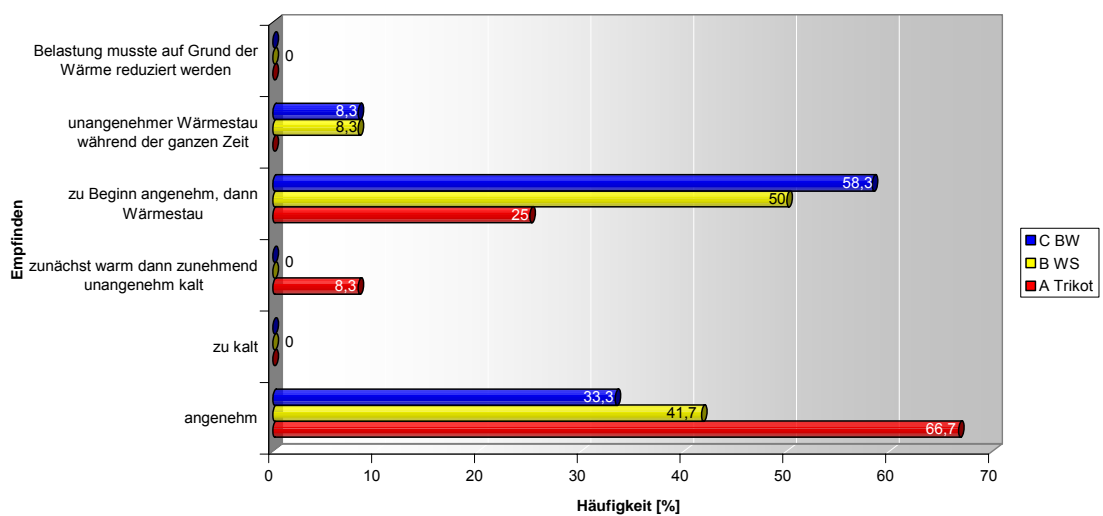


Bild 25: Körperwärmeempfinden Brust bei 30°C

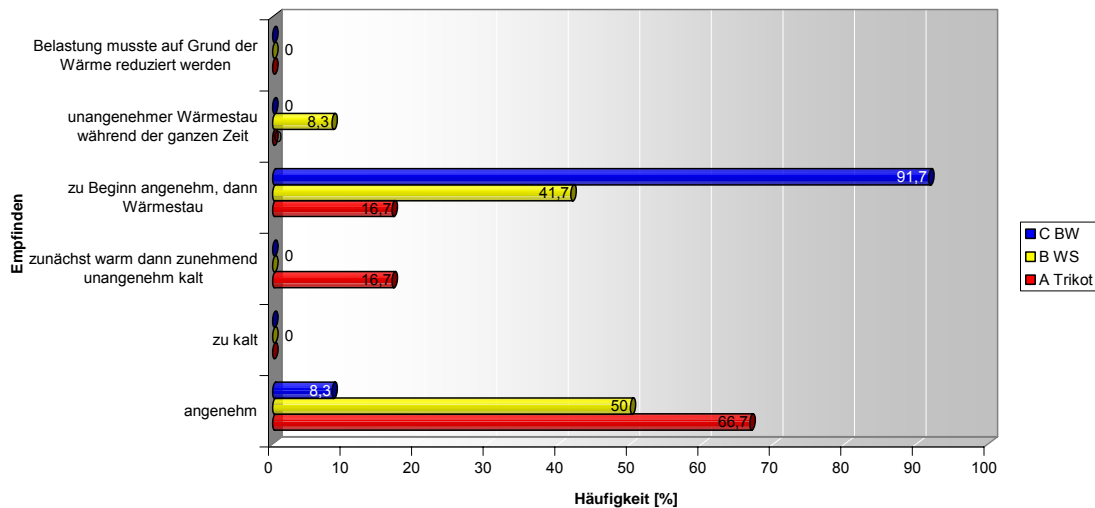


Bild 26: Körperwärmeempfinden gesamt bei 30°C

Empfinden der Schweißnässestellen

Bei beiden Umgebungstemperaturen sagten minimal 67,7% der Probanden aus, dass bei Shirt A und B die Schweißnässestellen *nicht stören* würden. Wenn Schweißnässestellen als *unangenehm* empfunden wurden (vor allem bei Shirt C bei 20°C), dann überwiegend, weil diese *kalt* waren (vergleiche Bild 27 und Bild 28).

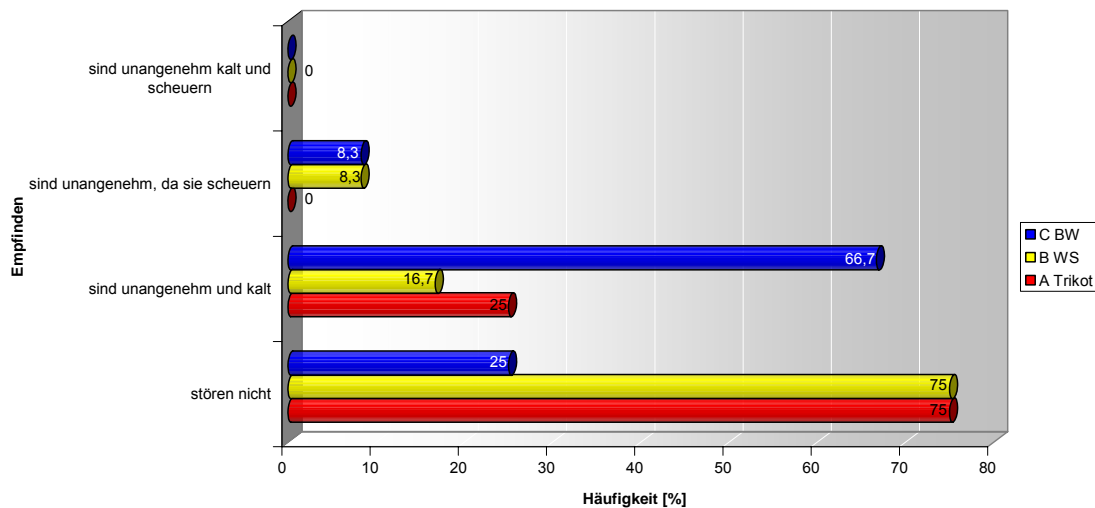


Bild 27: Schweißnässestellen bei 20°C

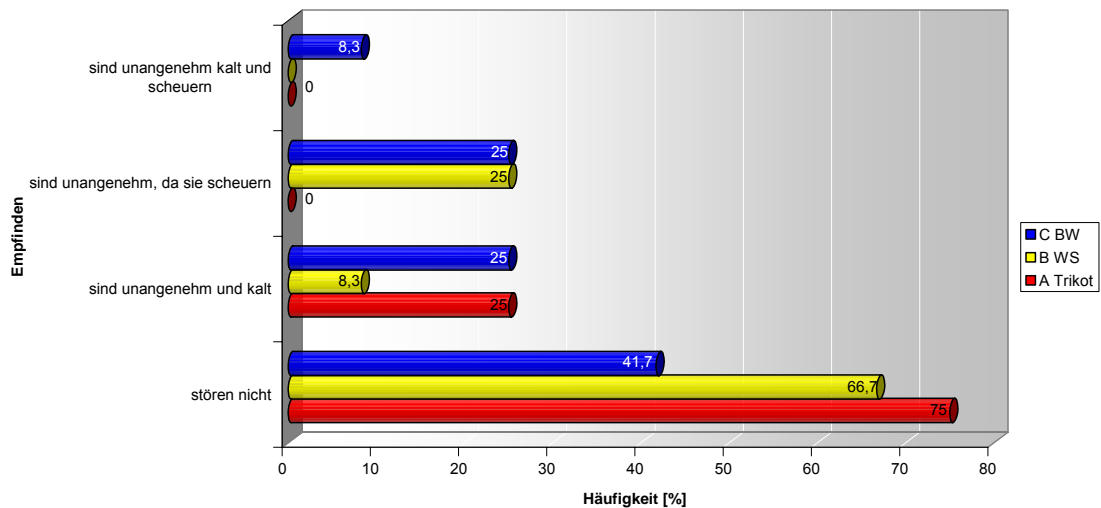


Bild 28: Schweißnässteststellen bei 30°C

In Tabelle 24, Tabelle 25 und Tabelle 26 stehen in den letzten drei Spalten die Mittelwertvergleiche der jeweiligen Shirts. Dabei enthält die erste Zeile den p-Wert [p], die zweite Zeile die angenommene Hypothese [H] und in der dritten Zeile steht, ob das Ergebnis signifikante Unterschiede bewies. Die dazugehörigen Mittleren Ränge sind im Anhang ab Seite 261 in Tabelle 58 bis Tabelle 63 aufgelistet.

Belastungsempfinden

Das Belastungsempfinden nach Borg wird auf Grund der sechsstufigen Antwortmöglichkeiten in einer separaten Tabelle vorab dargestellt (Tabelle 24).

Tabelle 24: Belastungsempfinden Häufigkeit in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]

S	N	sehr, sehr leicht	sehr leicht	zieml. leicht	etwas schwer	schwer	sehr schwer	A_B	A_C	B_C	
20°C	A	12	8,3	0	41,7	50	0	0	0,114	0,977	0,143
	B	12	0	0	33,8	41,7	25	0	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	0	8,3	41,7	41,7	8,3	0	ns	ns	ns
30°C	A	12	0	0	16,7	50	16,7	16,7	0,977	0,590	0,590
	B	12	0	0	25	33,3	33,3	8,3	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	0	0	16,7	66,7	16,7	8,3	ns	ns	ns

Auch hier lagen die Ergebnisse der detaillierten Befragungen, getrennt für 20°C und 30°C Umgebungstemperatur vor.

Die subjektiven Empfindungen sind in der Tabelle 25 und Tabelle 26 dargestellt. Anders als im Feldversuch wurde die *allgemeine Tagesform* hierbei in die Tabelle der Detailfragen aufgenommen, da die Probanden die Testfahrten an sechs unterschiedlichen Tagen unternahmen.

Es sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass hier ausschließlich untersucht wurde, ob es einen Unterschied in der Bewertung zwischen den Materialien gab oder nicht. Die Beurteilung ob, bzw. wie sich diese Unterschiede auswirken erfolgt in der Diskussion in Kapitel 4.2.2.1.

Tabelle 25: Fragen bei 20°C: Häufigkeiten in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]

	S	N	1	2	3	4	5	A_B	A_C	B_C
Tagesform	A	12	16,7	58,3	26	0	0	0,143	0,977	0,128
	B	12	0	50	41,7	8,3	0	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	0	91,7	0	8,3	0	ns	ns	ns
Schweißabsorption	A	12	8,3	75	16,7	0	0	0,266	0,001	0,068
	B	12	8,3	50	26	16,7	0	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	0	16,7	50	25	8,3	ns	***	ns
Schweißnässestellen Brust	A	12	8,3	25	33,3	33,3	0	0,932	0,068	0,033
	B	12	0	33,3	41,7	25	0	H ₀	H ₀	H ₁
	C	12	0	0	41,7	41,7	16,7	ns	ns	*
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	12	0	16,7	41,7	41,7	0	0,713	0,089	0,033
	B	12	0	16,7	58,3	16,7	8,3	H ₀	H ₀	H ₁
	C	12	0	0	33,3	50	16,7	ns	ns	*
Schweißnässestellen Kragen	A	12	16,7	41,7	25	8,3	8,3	0,590	0,551	0,977
	B	12	16,7	25	33,3	16,7	8,3	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	8,3	41,7	25	8,3	16,7	ns	ns	ns
Schweißnässestellen Achseln	A	12	0	16,7	50	16,7	16,7	0,932	0,219	0,242
	B	12	0	16,7	41,7	33,3	8,3	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	0	0	41,7	33,3	25	ns	ns	ns
Schweißnässestellen Schultern	A	12	16,7	41,7	41,7	0	0	0,514	0,008	0,060
	B	12	0	58,3	25	16,7	0	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	0	16,7	41,7	41,7	0	ns	**	ns
Schweißnässestellen gesamt	A	12	0	33,3	41,7	25	0	0,887	0,028	0,033
	B	12	0	16,7	58,3	16,7	8,3	H ₀	H ₁	H ₁
	C	12	0	0	41,7	33,3	16,7	ns	*	*

	S	N	1	2	3	4	5	A_B	A_C	B_C
Thermischer Komfort	A	12	8,3	75	16,7	0	0	0,347	0,014	0,143
	B	12	16,7	41,7	33,3	8,3	0	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	0	33,3	33,3	33,3	0	ns	*	ns
Winddichtigkeit	A	12	0	50	33,3	8,3	8,3	0,219	0,004	0,000
	B	12	16,7	50	33,3	0	0	H ₀	H ₁	H ₁
	C	12	0	0	33,3	58,3	8,3	ns	**	***
Passform	A	12	41,7	50	8,3	0	0	0,078	0,001	0,128
	B	12	25	33,3	33,3	8,3	0	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	0	33,3	41,7	25	0	ns	***	ns
Material Haut-empfinden trocken	A	12	75	25	0	0	0	0,052	0,003	0,210
	B	12	41,7	50	0	8,3	0	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	16,7	58,3	16,7	8,3	0	ns	**	ns
Material Haut-empfinden feucht	A	12	16,7	50	25	8,3	0	0,378	0,003	0,045
	B	12	8,3	41,7	33,3	16,7	0	H ₀	H ₁	H ₁
	C	12	0	8,3	50	33,3	8,3	ns	**	*
Geruch	A	12	16,7	66,7	16,7	0	0	1	0,128	0,128
	B	12	16,7	66,7	16,7	0	0	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	8,3	41,7	33,3	16,7	0	ns	ns	ns
Gesamt	A	12	33,3	58,3	8,3	0	0	0,114	0,001	0,060
	B	12	8,3	58,3	25	8,3	0	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	0	25	50	25	0	ns	***	ns

Tabelle 26: Fragen bei 30°C: Häufigkeiten in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]

	S	N	1	2	3	4	5	A_B	A_C	B_C
Tagesform	A	12	0	66,7	33,3	0	0	0,590	0,932	0,514
	B	12	8,3	50	25	16,7	0	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	8,3	50	41,7	0	0	ns	ns	ns
Schweißabsorption	A	12	0	58,3	25	8,3	8,3	0,755	0,052	0,128
	B	12	25	25	16,7	25	8,3	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	0	16,7	25	50	8,3	ns	ns	ns
Schweißnässestellen Brust	A	12	0	16,7	33,3	25	25	0,443	0,160	0,020
	B	12	0	16,7	41,7	41,7	0	H ₀	H ₀	H ₁
	C	12	0	0	33,3	8,3	58,3	ns	ns	*
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	12	0	8,3	41,7	25	25	0,713	0,039	0,002
	B	12	0	0	58,3	33,3	8,3	H ₀	H ₁	H ₁
	C	12	0	0	0	50	50	ns	*	**
Schweißnässestellen Kragen	A	12	0	33,3	41,7	8,3	16,7	0,514	0,347	0,198
	B	12	16,7	33,3	16,7	25	8,3	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	0	8,3	58,3	16,7	16,7	ns	ns	ns

	S	N	1	2	3	4	5	A_B	A_C	B_C
Schweißnässestellen Achseln	A	12	0	0	50	16,7	33,3	0,478	0,219	0,039
	B	12	0	8,3	50	25	16,7	H ₀	H ₀	H ₁
	C	12	0	0	16,7	33,3	50	ns	ns	*
Schweißnässestellen Schultern	A	12	0	33,3	50	16,7	0	0,242	0,178	0,020
	B	12	8,3	50	33,3	8,3	0	H ₀	H ₀	H ₁
	C	12	0	16,7	41,7	25	16,7	ns	ns	*
Schweißnässestellen gesamt	A	12	0	0	58,3	25	16,7	0,378	0,068	0,006
	B	12	0	25	50	25	0	H ₀	H ₀	H ₁
	C	12	0	0	25	50	25	ns	ns	**
Thermischer Komfort	A	12	8,3	58,3	33,3	0	0	0,887	0,014	0,242
	B	12	33,3	25	8,3	25	8,3	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	0	25	33,3	41,7	0	ns	**	ns
Winddichtigkeit	A	12	0	50	33,3	16,7	0	0,005	0,012	0,000
	B	12	33,3	66,7	0	0	0	H ₁	H ₁	H ₁
	C	12	0	8,3	33,3	58,3	0	**	**	***
Passform	A	12	33,3	41,7	16,7	8,3	0	0,291	0,008	0,039
	B	12	8,3	50	41,7	0	0	H ₀	H ₁	H ₁
	C	12	0	16,7	58,3	25	0	ns	**	*
Material Hautempfinden trocken	A	12	50	33,3	16,7	0	0	0,291	0,045	0,410
	B	12	25	50	16,7	8,3	0	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	0	66,7	33,3	0	0	ns	*	ns
Material Hautempfinden feucht	A	12	8,3	50	41,7	0	0	0,799	0,004	0,045
	B	12	16,7	41,7	16,7	25	0	H ₀	H ₁	H ₁
	C	12	0	8,3	50	33,3	8,3	ns	**	*
Geruch	A	12	8,3	75	8,3	8,3	0	0,977	0,266	0,242
	B	12	16,7	58,3	25	0	0	H ₀	H ₀	H ₀
	C	12	8,3	41,7	41,7	8,3	0	ns	ns	ns
Gesamt	A	12	16,7	58,3	16,7	8,3	0	0,551	0,008	0,078
	B	12	16,7	41,7	25	16,7	0	H ₀	H ₁	H ₀
	C	12	0	16,7	50	33,3	0	ns	**	ns

Von den 90 überprüften Unterschiedsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Materialien gab es 30, die statistisch signifikant waren.

Es fiel auf, dass zwischen Shirt A und B bis auf eine Ausnahme (Winddichtigkeit bei 30°C) keinerlei signifikante Unterschiede bestanden. Ebenfalls auffällig war die durchgängig schlechtere Beurteilung von Shirt C bei den anderen signifikanten Unterschieden.

3.2.2 Objektive Messdaten

Die über die gesamte Versuchsdauer aufgezeichneten, objektiven Messparameter (siehe Tabelle 16) werden anhand von Diagrammen dargestellt.

Für die statistische Auswertung (ANOVA nach Tukey HSD) wurde der Versuch analog zu den subjektiven Daten in die vier markanten Phasen á 10 Minuten unterteilt (siehe Kapitel 3.2.1).

Abschließend erfolgt die Darstellung der phasenweise bzw. vor und nach dem Versuch aufgenommenen Daten, sowie ausgewählte Berechnungen (Laktat, Energieverbrauch und Leistungsumsatz, Gewichtsänderungen, Infrarotbilder).

3.2.2.1 Graphische Darstellung der Kurvenverläufe

a) Hauttemperatur

Hauttemperatur Brust und Bauch

Nach der fünfminütigen Aufwärmphase lagen die gemittelten Temperaturen von Brust und Bauch auf der Haut zum Zeitpunkt (ZP) 0 bei 20°C Umgebungstemperatur bei einem Anfangsniveau von 32,09°C (Shirt C) bis 32,48°C (Shirt B) und bei 30°C Umgebungstemperatur zwischen 33,2°C und 33,3°C.

In den ersten zwanzig Minuten der Belastungsphase sank die Hauttemperatur bei leichtem Wind etwas ab (auf 32,51°C bei Shirt C bis 32,88°C bei Shirt B) und blieb bis zum ZP 20 Minuten auf einem Niveau. Bei den kühleren Bedingungen fiel die Hauttemperatur stärker ab und die Unterschiede zwischen den einzelnen Shirts waren deutlicher ausgeprägt (1,1°C zwischen B und C).

Ohne Wind und mit zunehmender Belastung stieg in der Folge die Hauttemperatur in den ersten vier Minuten (ZP 20 bis 24) stark, im weiteren Verlauf langsamer an. Die Spitzenwerte zum Ende der Belastungsphase lagen bei 20°C Umgebungstemperatur bei 32,44°C (Shirt A und C) bis 32,78°C (Shirt B) und bei 30°C bei 34,46°C (Shirts A und C) bis 34,7°C (Shirt B). Hierbei fiel auf, dass Shirt B stets die höchste Hauttemperatur verursachte.

Während der fünf Minuten der simulierten Bergabfahrt fiel die Hauttemperatur drastisch ab und erreichte bis zum Ende dieser Phase das niedrigste Niveau der ganzen Testfahrt, wobei Shirt C bei beiden Umgebungstemperaturen die Haut am stärksten abkühlen ließ (siehe Bild 29).

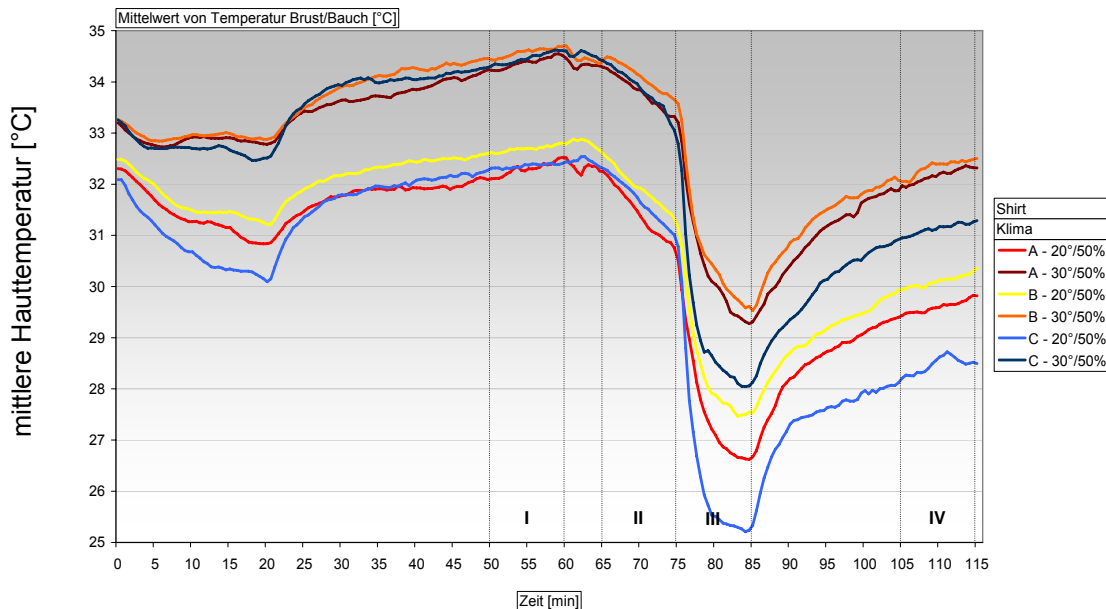


Bild 29: Mittlere Hauttemperatur [°C] an Brust/Bauch

Zur Veranschaulichung der Temperaturdifferenzen beider gemittelter Fühler von Brust und Bauch ist in Bild 30 dargestellt, wie weit sich diese Temperaturen unterschieden.

Auffällig war, dass die Hauttemperatur an der Brust immer um mindestens 1,25°C höher war, als am Bauch. Während der intensiven Belastungsphase war die Differenz bei 20°C bei allen drei Shirts größer als bei 30°C. Während der Pause und der simulierten Bergabfahrt wurde die Differenz allgemein geringer, nahm jedoch gegen Ende der letzten Belastungsphase wieder zu. Den absoluten Spitzenwert stellte Shirt B bei 20°C eine Minute vor Ende der Testfahrt mit einer Differenz von 5,46°C zwischen den beiden Fühlern dar.

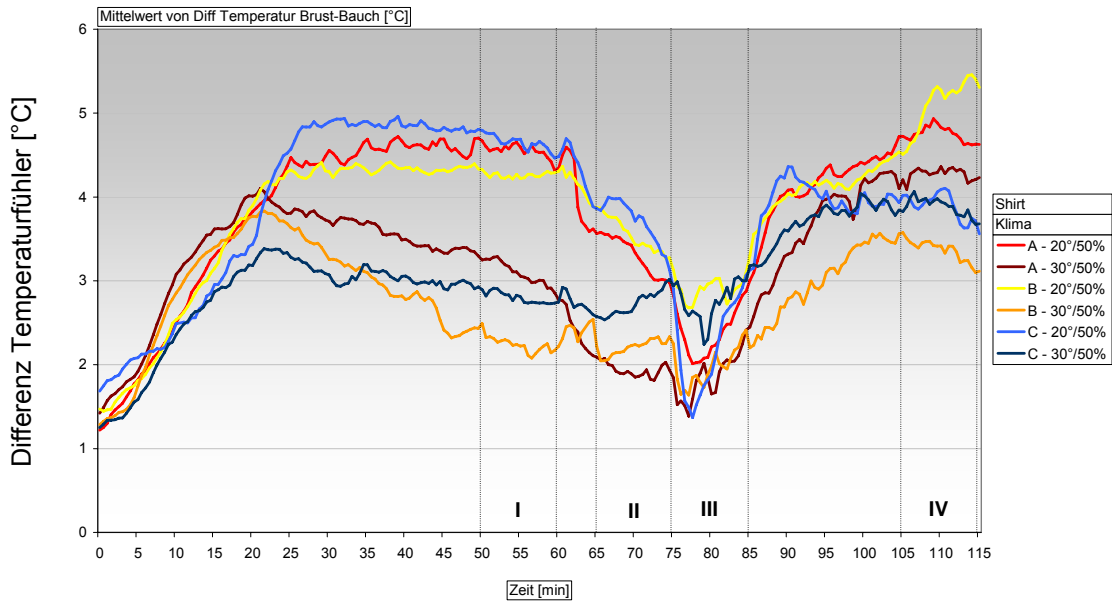


Bild 30: Differenz Temperaturfühler [°C] Brust minus Bauch

Hauttemperatur Rücken und Lende

Der Verlauf der Hauttemperatur an Rücken und Lende war ähnlich zu dem an Brust und Bauch (siehe Bild 31). Es war eine deutliche Differenz von durchschnittlich 2 bis 2,5°C zwischen 20°C und 30°C Umgebungstemperatur feststellbar. Die Unterschiede zwischen den getesteten Materialien bei einer Temperaturstufe waren allerdings nicht so groß, wie an der Vorderseite des Oberkörpers. Zudem waren die Temperaturschwankungen in der Pause und in den Phasen mit Wind nicht derart ausgeprägt.

Die Hauttemperatur sank bei beiden Umgebungsbedingungen und für alle Shirts in der Phase mit leichtem Fahrtwind zunächst ab. Bei 30°C befand sie sich bereits zu ZP 20 wieder auf dem ursprünglichen Niveau und stieg in der Folge weiter an. Bei 20°C erreichte die Hauttemperatur dagegen erst zum Ende der Belastungsphase wieder knapp das Ausgangsniveau (Shirt A und C). Für Shirt B blieb die Hauttemperatur sogar unter dem Startwert.

Weiterhin fiel auf, dass im Vergleich zur Vorderseite, der Anstieg der Hauttemperatur bis drei Minuten nach Ende der intensivsten Belastungsphase (ZP 60) andauerte. Dabei stieg die Temperatur noch um durchschnittlich 0,5°C an bevor die Abkühlung begann. Bis zum Ende der simulierten Bergfahrt sank

die Temperatur auf ihr niedrigstes Niveau. Bei 20°C war es eine Hauttemperatur von 29,08°C (Shirt B und C) bzw. 29,3°C (Shirt A). Bei 30°C Umgebungstemperatur waren es zwischen 31,4°C (Shirt C) und 32,13°C (Shirt B). Die Hauttemperatur stieg zwar im letzten Abschnitt bei allen Shirts wieder an, erreichte aber bis zum Ende des Tests nicht mehr das Ausgangsniveau.

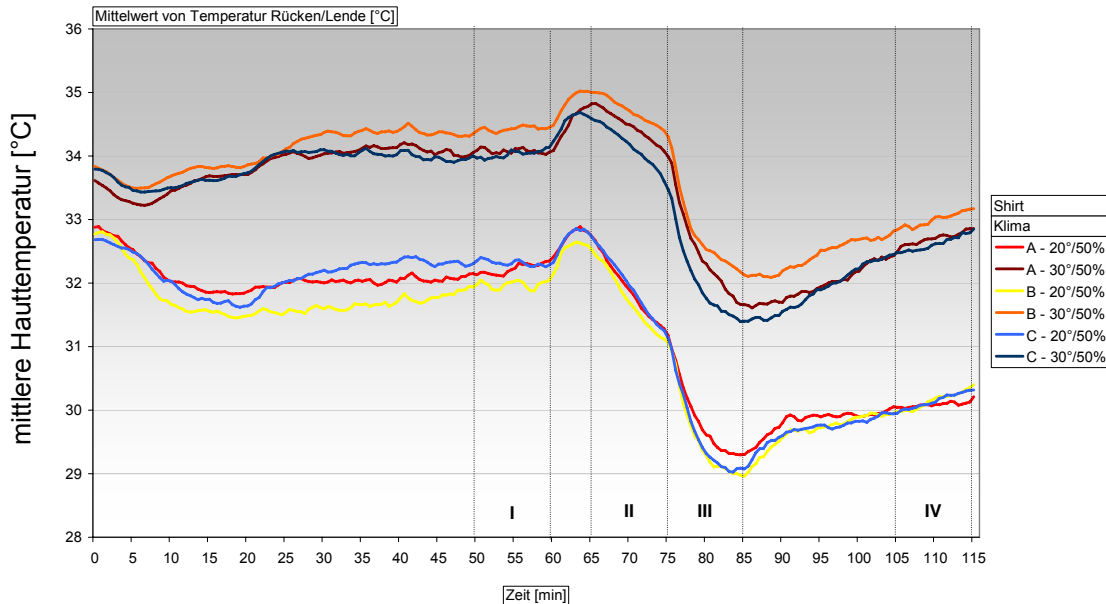


Bild 31: Mittlere Hauttemperatur [°C] an Rücken/Lende

Auch hier wurde aufgezeigt inwieweit sich die gemessene Temperatur der beiden Fühler unterschied, wenn sie einzeln betrachtet wurden. Für den Rücken ließ sich jedoch kein so eindeutiges Muster erkennen, wie das bei den Fühlern auf der Brust der Fall war. Während der Belastungsphase bis zum ZP 60 war die Temperatur an der Lende fast durchgängig höher als zwischen den Schulterblättern; eine maximale Differenz von 1,88°C war hier bei Shirt A und 20°C Umgebungstemperatur zu beobachten. Zum Ende der Versuchsfahrt konnte erkannt werden, dass sich unabhängig von der jeweiligen Umgebungstemperatur, die gleichen Shirts in den letzten 15 Minuten einem Niveau annäherten (siehe Bild 32).

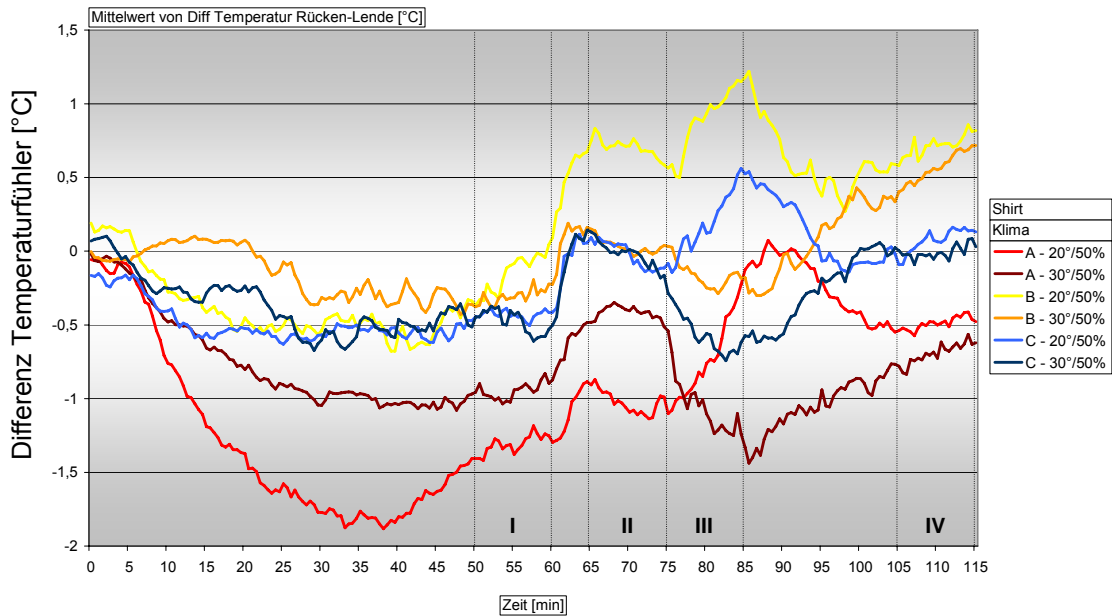


Bild 32: Differenz Temperaturfühler [°C] Rücken minus Lende

b) Relative Hautfeuchte

Relative Feuchte Brust und Bauch

Nach der fünfminütigen Einfahrzeit herrschte ein unterschiedliches Startniveau (ZP 0), siehe dazu Bild 33 hinsichtlich der relativen Hautfeuchte zwischen den beiden Umgebungstemperaturen. Bei 20°C lag diese zwischen 36,52% (Shirt A und B) und 40,04% (Shirt C) und bei 30°C zwischen 60,44% (Shirt C) und 70,73% (Shirt A). Bis zum ZP 20 stieg die Hautfeuchte sehr stark an (auf 70% - 76,8% bei 20°C, bzw. Shirt C bei 30°C und auf 86,2% bei Shirt A und B bei 30°C).

Nach dem Abschalten des Windrotors zum ZP 20 stieg die relative Feuchte nochmals stark an und pendelte sich bis zum ZP 65 bei Werten von 93% (Shirt A bei 20°C) bis 96% (bei Shirt C bei 30°C) ein. Die Unterschiede zwischen den Shirts und dem jeweiligen Klima waren mit ca. 3% nur sehr gering.

Erst zu Beginn der simulierten Bergabfahrt mit viel Wind war eine Reduzierung der relativen Hautfeuchte zu erkennen, wobei diese bei 30°C mit 4,75% (Shirt A) bis 8,32% (Shirt B) gering ausfiel. Bei 20°C nahm die Hautfeuchte dagegen um 16,5% (Shirt A) bis 18,56% (Shirt C) ab. In der abschließenden Belastungs-

phase nahm die Feuchte wieder zu, erreichte aber nicht mehr ganz das Niveau der relativen Feuchte wie zum Ende der Belastungsphase (ZP 60).

Auffällig war hier der deutlich langsamere Anstieg bei Shirt C bei 20°C und das deutliche Absinken von Shirt C bei 30°C auf das Niveau von Shirt A und B bei 20°C.

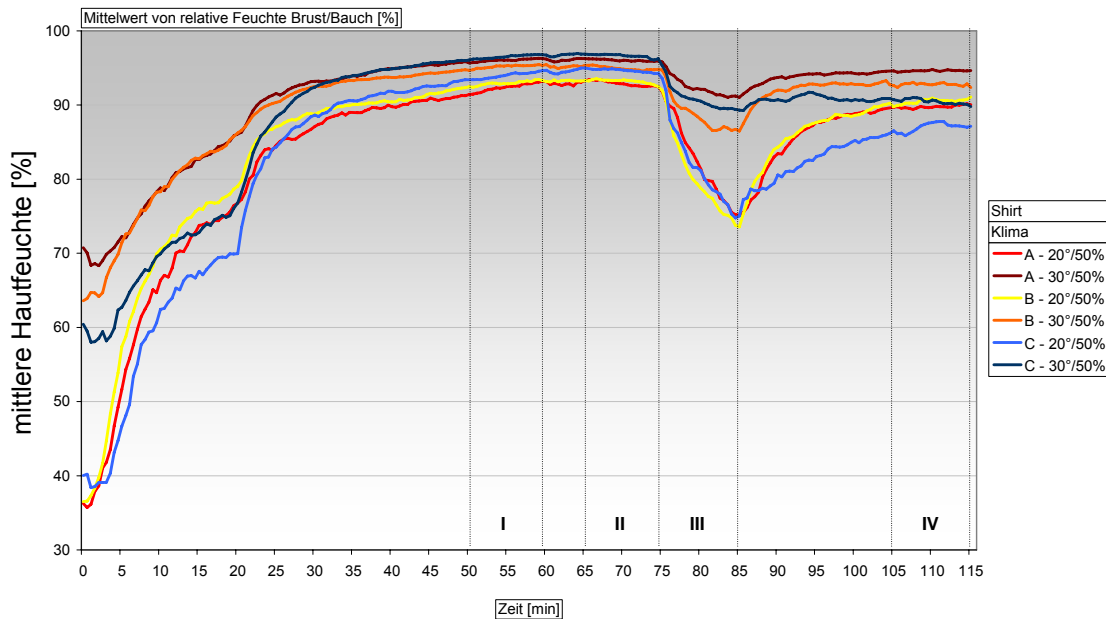


Bild 33: Mittlere Hautfeuchte [%] an Brust/Bauch

Die Differenzen der beiden Messfühler an Brust und Bauch sind in Bild 34 dargestellt.

Zu Beginn der Fahrt herrschte bei Shirt A (bei beiden Umgebungstemperaturen) und Shirt C (bei 20°C) die größte Differenz in der relativen Feuchte. Den Spitzenwert stellte Shirt A bei 20°C mit einer Differenz von 17,21% mehr relativer Feuchte an der Brust dar. Bis zum Ende der Pause (ZP 75) pendelten sich die Werte auf gleichem Niveau ein (max. Unterschied: 3,4%).

Während der simulierten Bergabfahrt wurde die Feuchte an der Brust niedriger als am Bauch. Hier war auffällig, dass größere Differenzen nur bei 20°C Umgebungstemperatur auftreten. Einzig Shirt C wies auch bei 30% eine Differenz von ca. 6% (Bauch feuchter als Brust) auf.

Bis zum Ende der Testfahrt war die Differenz der beiden Fühler bei Shirt A 20°C und Shirt B 30°C geringer als 1%. Bei Shirt C und 30°C war die Feuchte am Bauch um 4,1% höher als am Brust.

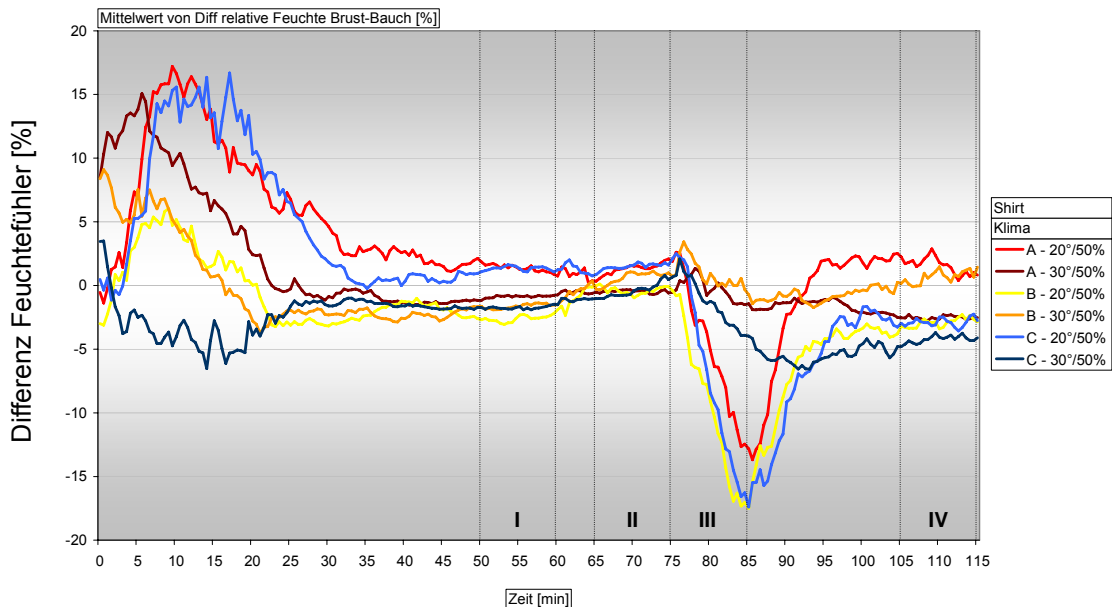


Bild 34: Differenz Feuchtefühler [%] Brust minus Bauch

Relative Feuchte Schulterblatt und Lende

Wie bereits auf der Vorderseite des Torsos war das Anfangsniveau der relativen Hautfeuchte auch auf der Rückseite bei den verschiedenen Umgebungstemperaturen unterschiedlich (Bild 35). Bei 20°C lag es zwischen 33,04% (Shirt B) und 38,44% (Shirt C). Die Werte bei 30°C lagen um mindestens 16% höher zwischen 54,74% (Shirt C) und 61,12% (Shirt A). Während der ersten zehn Minuten stieg die relative Feuchte auf der Haut bei 20°C um ca. 19 – 30% steil an, bei 30°C war der Anstieg nicht so deutlich und erreichte ein Plus von 7 – 12%.

Bis zum Ende der Belastungsphase (ZP 60) wurde von den Shirts A und C bei 20°C ein Niveau von 78,6% erreicht und bei den Shirts bei 30°C und dem Shirt B bei 20°C eines von 84,17 – 87,17%. Hierbei war auffällig, dass Shirt B bei 20°C fast den gleichen Wert erreichte wie alle Materialien bei 30°C Umgebungstemperatur.

Ebenfalls auffällig war die deutlich geringere relative Feuchte am Rücken im Vergleich zur Vorderseite (um 15 – 20%) und der langsame und kontinuierliche Anstieg bis zum Ende der Belastungsphase von ZP 10 bis ZP 60 und nicht, wie an der Vorderseite, ein zunächst sprunghafter Anstieg der relativen Feuchte, der bis zu Beginn der Bergabfahrt zum ZP 75 gleich blieb.

Wie auch bei der Hauttemperatur stieg der Wert der relativen Feuchte in den ersten Minuten der Pause noch mal an (um 3 – 5%) und blieb bis zum Start der Bergabfahrt hoch. Erst dann fielen die Kurven sehr stark ab.

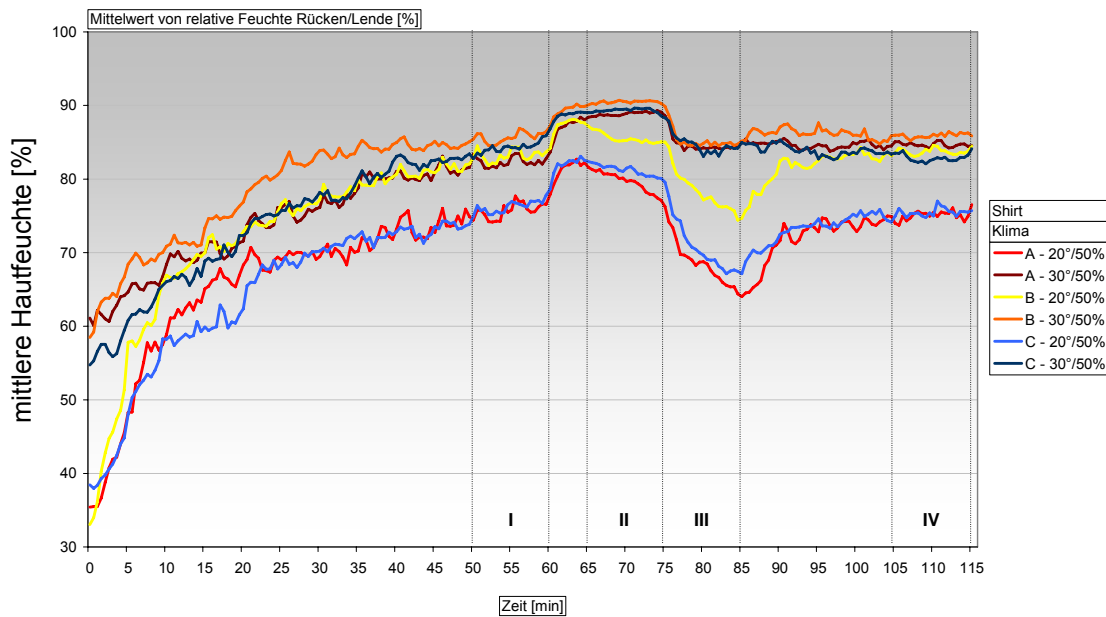


Bild 35: Mittlere Hautfeuchte [%] an Rücken/Lende

Bei der Differenz der Hautfeuchte zwischen Schultern und Lende (Bild 36) zeigte sich, dass der Wert an der Lende fast durchwegs größer war, als zwischen den Schulterblättern. Bei Shirt A war diese Differenz bei beiden Umgebungstemperaturen und über den kompletten Versuchszeitraum besonders ausgeprägt.

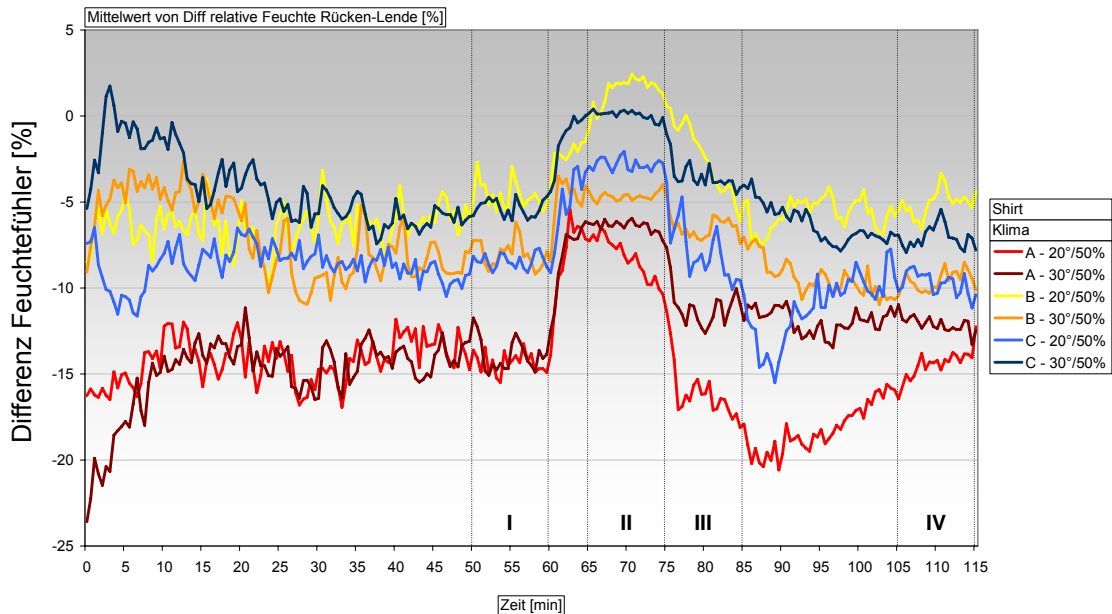


Bild 36: Differenz Feuchtefühler [%] Rücken minus Lende

c) Körperkerntemperatur

Die rektal gemessene Körperkerntemperatur lag zu Beginn des Versuchs zwischen 37,01°C (Shirt C bei 20°C) und 37,15°C (Shirt A bei 30°C), siehe Bild 37.

Ab Beginn der intensivsten Belastungsphase (ZP 40) differierten die Kurven in den verschiedenen Umgebungstemperaturen auseinander. Während der anschließenden Pause und der simulierten Bergabfahrt sanken alle Temperaturen (zwischen 0,65°C und 0,82°C) ab wobei die Differenz in keinem Zusammenhang mit der Umgebungstemperatur stand. Im weiteren Verlauf stiegen die Kurven wieder an und lagen zum Ende der Versuchsfahrt (ZP 115) um ca. 0,1 – 0,2°C über den Werten zum Ende der ersten Belastungsphase (ZP 20).

Bei Shirt B war die Körperkerntemperatur nach dem Ende der intensivsten Belastung ab ZP 65 bei beiden Umgebungsbedingungen am geringsten.

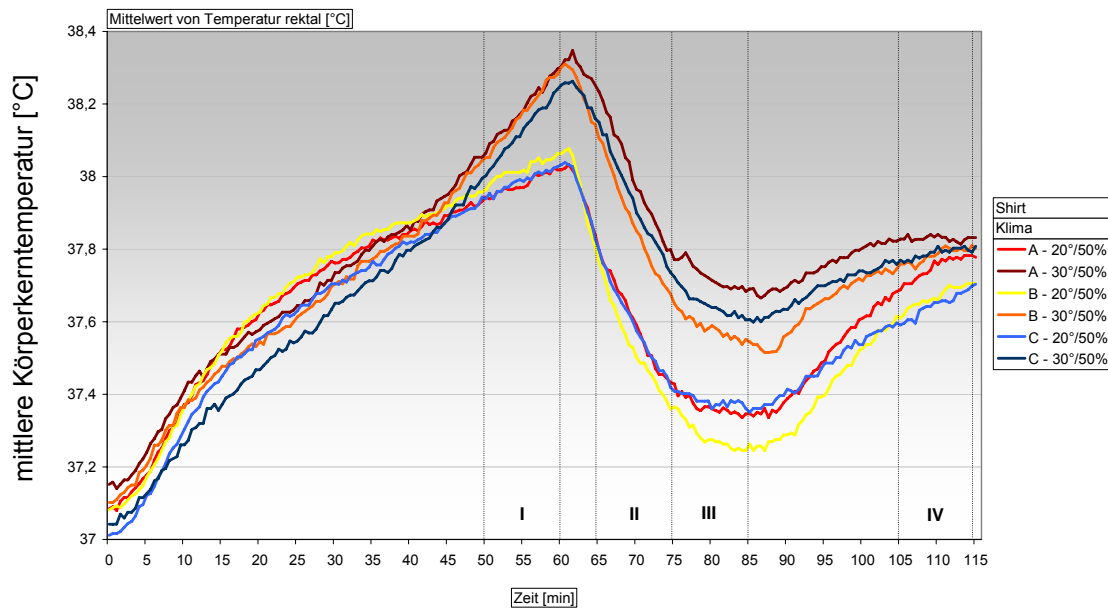


Bild 37: Mittlere Körperkerntemperatur [°C]

d) Herzfrequenz

An der Herzfrequenz (siehe Bild 38) ist gut der stufenförmige Belastungsanstieg während des Versuchs, die Pause, die simulierte Bergabfahrt und die letzte Belastungsphase zu erkennen.

Die Herzfrequenz lag zum Startzeitpunkt zwischen 101 und 112 Schlägen pro Minute [S/min] und stieg während der ersten zwei Minuten um 10 bis 15 S/min stark an und blieb dann nahezu gleich bis zum Ende der ersten Belastungsphase. Dieses Bild wiederholte sich in den folgenden zwei Belastungsphasen, wobei die Herzfrequenz bei den unterschiedlichen Umgebungstemperaturen bis zum ZP 60 immer mehr auseinander differierte.

Interessant war, dass Shirt B bei 20°C die höchsten Herzfrequenzen verursachte, während es bei 30°C die niedrigsten Herzfrequenzen der drei Shirts zur Folge hatte.

Im weiteren Verlauf des Tests folgte die Herzfrequenz den Belastungen des Tests. Während der Ruhepause sank die Herzfrequenz weitgehend unabhängig vom getragenen Shirt bei 20°C Umgebungstemperatur um durchschnittlich fünf Schläge mehr ab, als bei 30°C. Zu Beginn der letzten Belastungsphase (ZP 85) stieg die Herzfrequenz wieder sprunghaft an und lag am Ende der Fahrt mit ca.

5 – 10 S/min etwas höher als zu Beginn (ZP 20) bei gleicher Intensität. Während dieser Phase des Tests war praktisch kein Unterschied zwischen den verschiedenen Shirts festzustellen, sondern nur zwischen den beiden Umgebungstemperaturen.

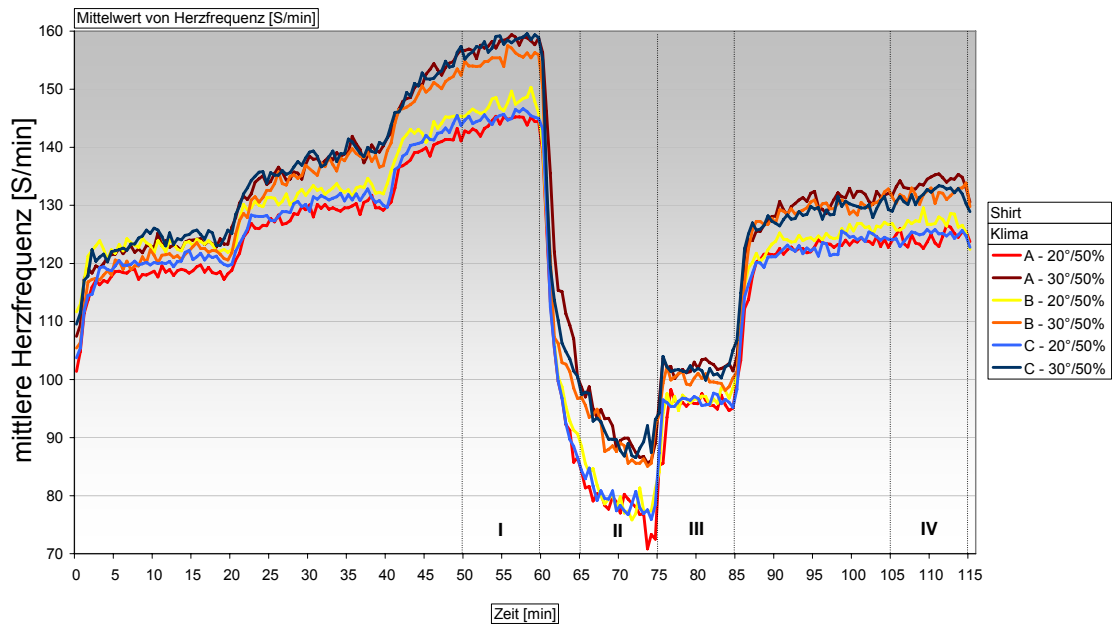


Bild 38: Mittlere Herzfrequenz [S/min]

3.2.2.2 Auswertung der einzelnen Phasen

Für die in Kapitel 3.2.1.1 beschriebenen Parameter wurde im Folgenden während der vier genannten Phasen zu jedem Messzeitpunkt ein Mittelwertsvergleich anhand Tukey HSD durchgeführt.

Für den Mittelwertsvergleich durch die einfaktorielle ANOVA nach Tukey HSD wurden für die Unterschiedsfragestellung folgende Hypothesen aufgestellt:

H_0 : Es lag kein signifikanter Unterschied zwischen Polyamidtrikot, Windstopper- und Baumwollshirt bei dem jeweiligen objektiven Parameter vor.

H_1 : Es lag ein signifikanter Unterschied zwischen Polyamidtrikot, Windstopper- und Baumwollshirt bei dem jeweiligen objektiven Parameter vor.

Auch hier wurde wieder eine Alternativhypothese H_1 für die Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ angenommen.

Für die Berechnungen der Messparameter bei denen keine signifikanten Unterschiede bewiesen werden konnten, wurde die Nullhypothese H_0 beibehalten. Es werden hier nur die signifikanten Unterschiede abgebildet. Alle graphischen Ergebnisdarstellungen finden sich im Anhang ab Seite 267 (Bild 135 bis Bild 146).

a) Hauttemperatur

Brust und Bauch

In der 20°C warmen Umgebung waren in Phase III und IV signifikante Unterschiede der Temperatur an Brust und Bauch vorhanden. Der Vergleich von Shirt A und C ergab in Phase III 14 (von insgesamt 20 Messwerten), zum Teil hoch signifikante Unterschiede zwischen $p = 0,008$ und $p = 0,026$; bei Shirt B und C kamen 16 zum Teil höchst signifikante Unterschiede zwischen $p = 0,000$ und $p = 0,0243$ zustande. In Phase IV sind keine signifikanten Unterschiede zwischen Shirt A und B zu ermitteln, jedoch ergaben sich für Shirt A und C 11 (von insgesamt 21 Messwerten) signifikante Abweichungen (zwischen $p = 0,026$ und $p = 0,047$). Bei Shirt B und C waren es 21 zum Teil hoch signifikante Unterschieden mit Werten zwischen $p = 0,002$ und $p = 0,010$ (siehe Bild 39).

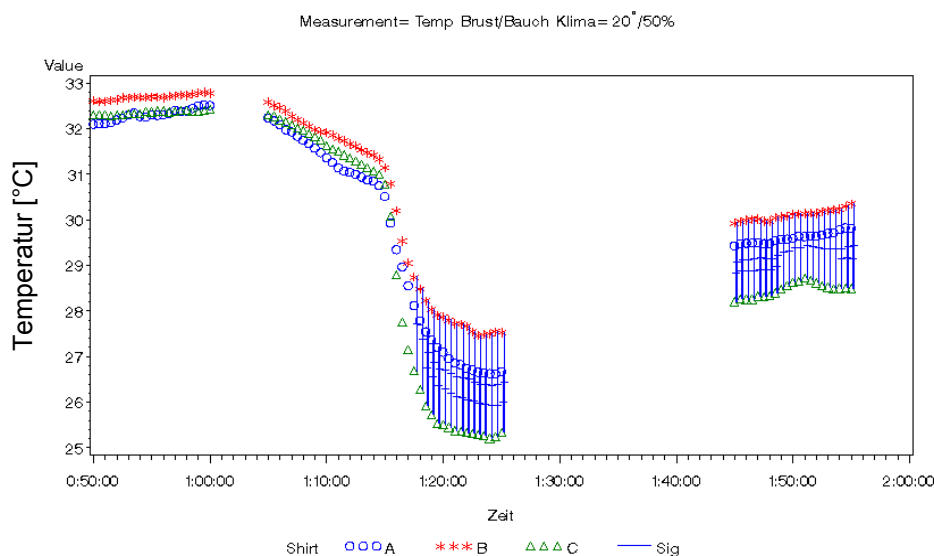


Bild 39: Temperatur Brust/Bauch [°C] bei 20°C

Bei 30°C Umgebungstemperatur waren keine signifikanten Unterschiede zwischen Shirt A und B zu ermitteln. Während Phase III traten 18 signifikante Unterschiede zwischen Shirt A und C und 19 signifikante Unterschiede zwischen Shirt B und C auf. Dabei lag der p-Wert bei Shirt A/C zwischen $p = 0,004$ und $p = 0,024$ und bei Shirt B/C zwischen $p = 0,001$ und $p = 0,014$. In Phase IV ergaben durchgängig alle Werte, jeweils 21 p-Werte, zwischen A/C ($p = 0,016$ und $p = 0,039$) und B/C ($p = 0,004$ und $p = 0,024$) signifikante Unterschiede (siehe Bild 40).

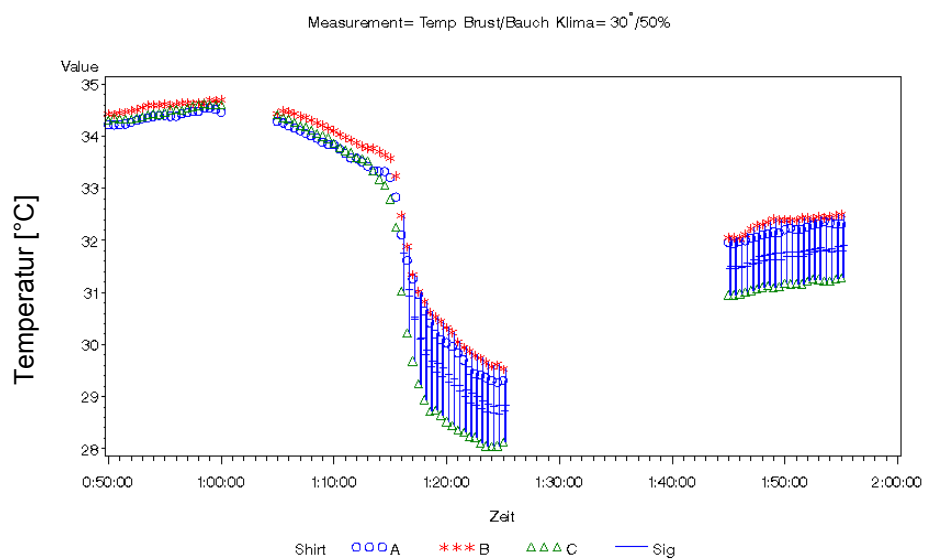


Bild 40: Temperatur Brust/Bauch [°C] bei 30°C

Für die oben beschriebenen signifikanten Unterschiede wurde H_0 verworfen und H_1 angenommen.

Rücken und Lende

Bei 20°C ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Shirts für die gemittelte Temperatur von Rücken und Lende.

Wie anhand von Bild 41 festgestellt werden konnte ergaben sich bei 30°C in Phase I zwischen Shirt A und B sechs (von insgesamt 21) signifikante Unterschiede mit $p = 0,028$ und $p = 0,049$. Ansonsten wurden zwischen diesen Shirts, und zwischen A und C in keiner der folgenden Phasen, mehr signifikante

Unterschiede bewiesen. Zwischen Shirt B und C fanden sich in den Phasen I, II und III signifikante Unterschiede. In Phase I wiesen elf Werte zwischen $p = 0,01$ und $p = 0,048$ signifikante Unterschiede nach, in Phase II waren 21, d.h. alle Messwerte der Phase II ($p = 0,007$ bis $p = 0,027$) und in Phase III 17 Werte so, dass sie einen signifikanten Unterschied bewiesen ($p = 0,012$ bis $p = 0,049$).

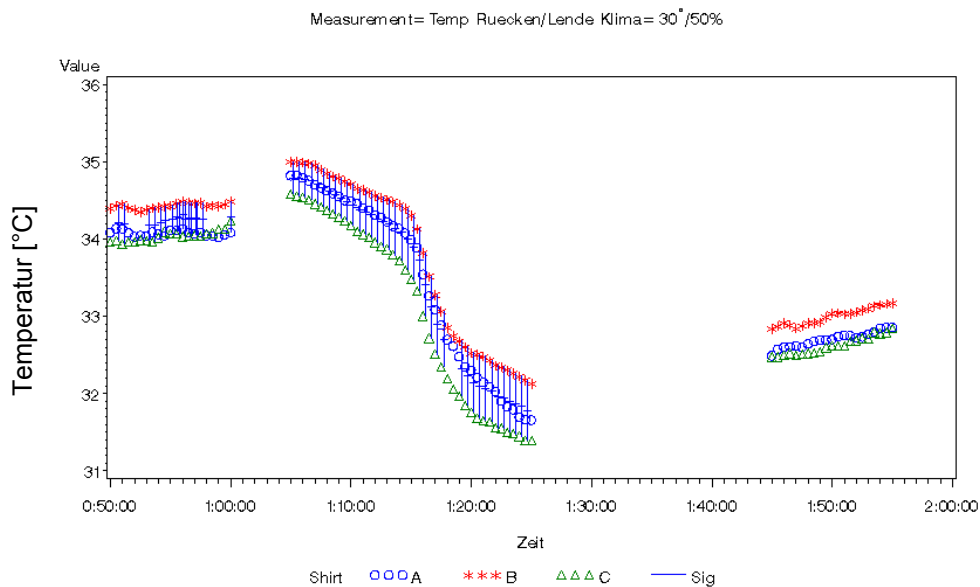


Bild 41: Temperatur Rücken/Lende [°C] bei 30°C

Auch hier wurde für die beschriebenen signifikanten Unterschiede die Hypothese H_0 verworfen und die H_1 angenommen.

b) Relative Hautfeuchte

Brust und Bauch

Für alle Messwerte der relativen Feuchte von Brust und Bauch ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Materialien bei einer Umgebungstemperatur von 20°C.

Auch bei 30°C ergaben sich nur sieben signifikante Unterschiede beim Vergleich von Shirt A mit Shirt C in Phase IV, mit Werten zwischen $p = 0,043$ und $p = 0,047$ (siehe Bild 42). Für diese wurde die Hypothese H_1 angenommen und die Hypothese H_0 verworfen. Bei allen restlichen Vergleichen dieses Messparameters wurde H_0 beibehalten.

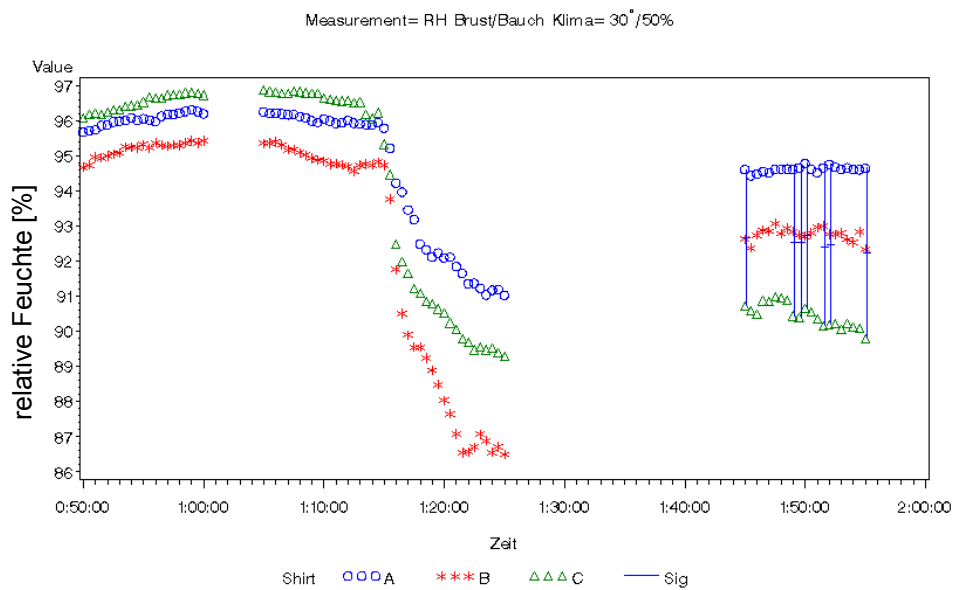


Bild 42: relative Hautfeuchte Brust/Bauch [%] bei 30°C

Rücken und Lende

Bei der relativen Hautfeuchte von Rücken und Lende ließen sich bei 20°C Umgebungstemperatur zahlreiche signifikante Unterschiede erkennen (siehe Bild 43), dagegen keine bei 30°C.

Vorweg sei gesagt, dass zwischen Shirt A und C keine Signifikanz bestand, bei den anderen beiden Vergleichen (A mit B und B mit C) dafür in allen vier Phasen. In Phase I wiesen 19 Werte zwischen $p = 0,003$ und $p = 0,049$ einen signifikanten Unterschied nach, bei Shirt A/B und 17 zwischen $p = 0,007$ und $p = 0,049$ bei Shirt B/C. In Phase II zeigten zwischen Shirt A und B alle 21 Ergebnisse signifikante Unterschiede mit Irrtumswahrscheinlichkeiten von $p = 0,001$ bis $p = 0,029$. Beim Vergleich von Shirt B mit dem Shirt C waren es 13 Ergebnisse zwischen $p = 0,021$ und $p = 0,048$. Im weiteren Verlauf der Phase III waren alle 20 Werte zwischen A und B signifikant mit $p = 0,001$ bis $p = 0,042$ und 13 signifikanten Werten zwischen B und C ($p = 0,020$ bis $p = 0,045$). Während Phase IV ließen sich für Shirt A und B 20 signifikante Unterschiede zwischen $p = 0,009$ und $p = 0,046$ und für B/C 18 Werte zwischen $p = 0,008$ und $p = 0,047$ errechnen.

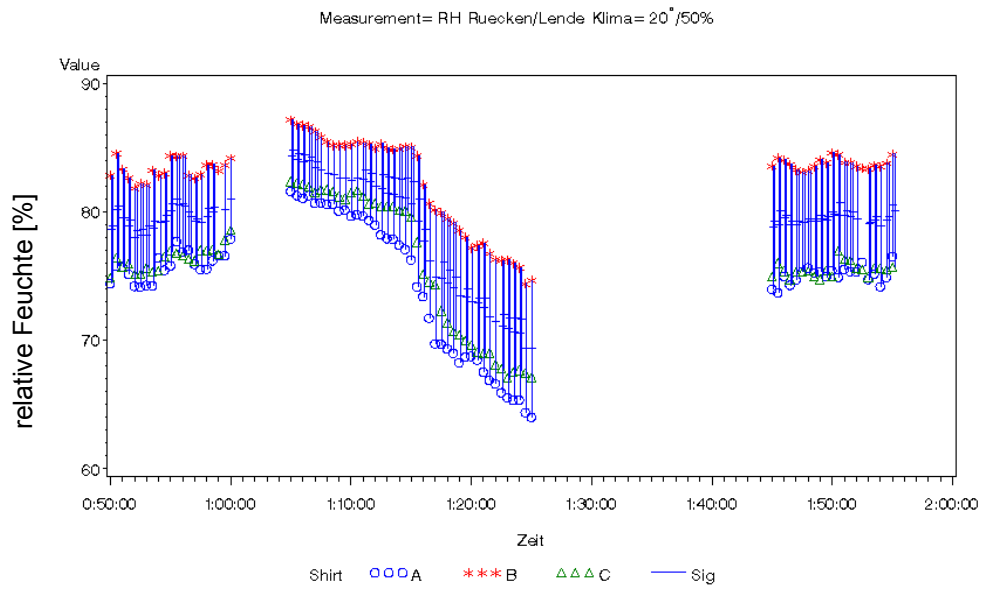


Bild 43: relative Hautfeuchte Rücken/Lende [%] bei 20°C

Für die Werte die eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$ erreichten wurde H_0 verworfen und H_1 angenommen.

c) Körperkerntemperatur

Bei der Körperkerntemperatur ergab sich insgesamt nur ein einziger signifikanter Wert (siehe Bild 44). Dieser trat zwischen Shirt A und B in Phase III bei 30°C Umgebungstemperatur auf und hatte einen p-Wert von $p = 0,049$. Für diesen Wert wurde die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese H_1 angenommen.

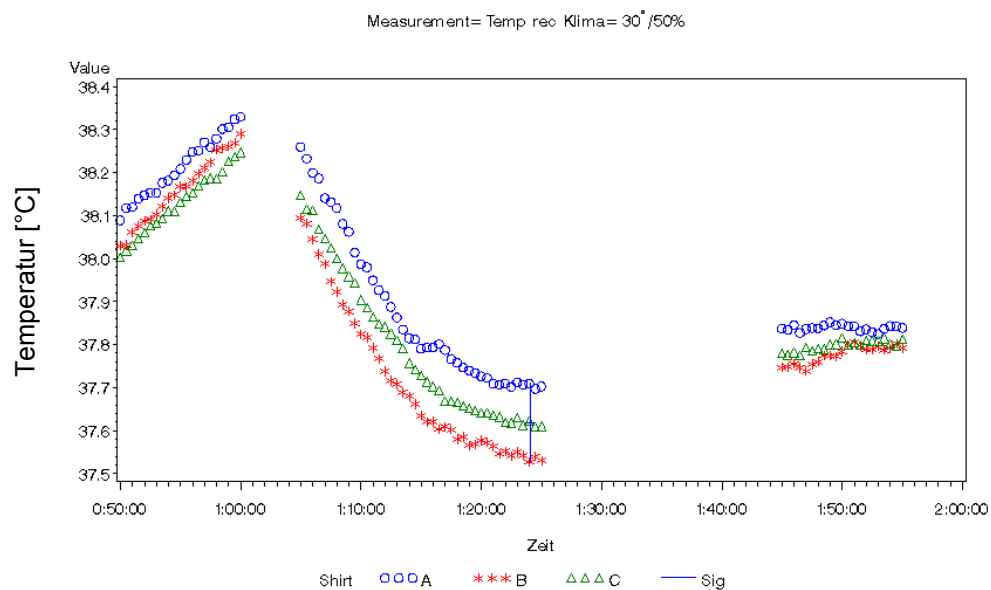


Bild 44: Körperkerntemperatur [°C] bei 30°C

d) Herzfrequenz

Für die Herzfrequenz kamen bei 20°C Umgebungstemperatur vereinzelt signifikante Unterschiede heraus. Es waren in Phase I drei Werte zwischen Shirt A und B mit Irrtumswahrscheinlichkeiten von $p = 0,014$ bis $p = 0,05$ und drei Werte zwischen Shirt B und C ($p = 0,02$ bis $p = 0,05$). Außerdem gab es noch zwei signifikante Unterschiede beim Vergleich von Shirt A mit B in Phase IV mit $p = 0,001$ bzw. $p = 0,041$ und einen signifikanten Unterschied zwischen Shirt B und C mit $p = 0,039$ (siehe Bild 45).

Keine signifikanten Unterschiede ließen sich für die Berechnung bei 30°C Umgebungstemperatur beweisen.

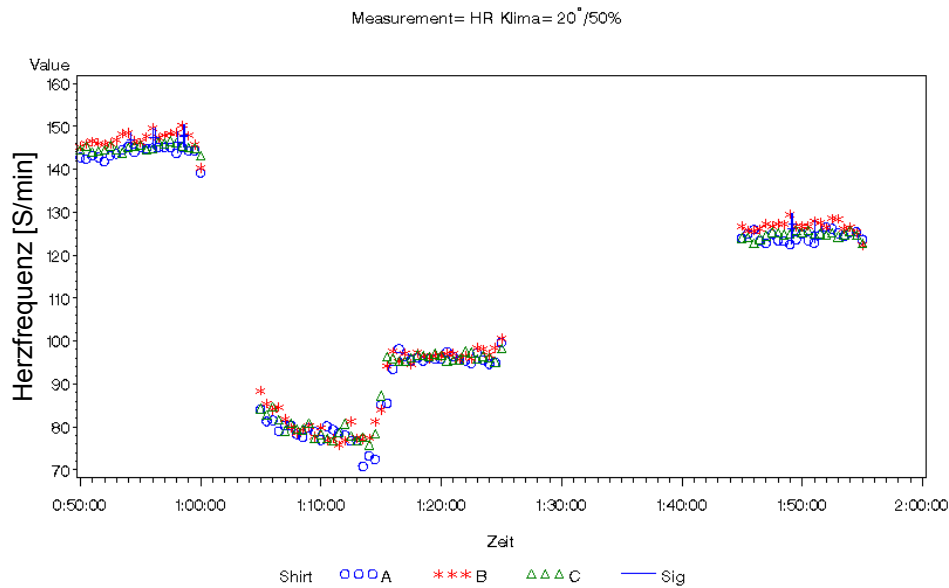


Bild 45: Herzfrequenz [S/min] bei 20°C

3.2.2.3 Nicht kontinuierlich aufgezeichnete Messparameter

Abschließend werden die objektiven Messdaten dargestellt, die phasenweise bzw. vor und nach den Versuchen aufgenommen wurden. Die genauen Zeitpunkte (ZP) der Messung werden bei den jeweiligen Parametern beschrieben.

a) Laktat

Zu Beginn (ZP 0), nach jeder Belastungsphase (ZP 20/40/60), nach der Sitzpause (ZP 75), nach der simulierten Bergabfahrt (ZP 85) und nach Ende der Testfahrt (ZP 115) wurde den Probanden Blut entnommen um den Laktatwert zu bestimmen. Zu Beginn des Versuchs lagen alle Werte zwischen 1,17 und 1,22 [mmol/l], siehe Bild 46.

Bis zum ZP 40 stiegen die Laktatwerte um 0,4 [mmol/l] bis 0,7 [mmol/l] an; hier lagen die Werte bei 30°C Umgebungstemperatur leicht erhöht gegenüber denjenigen bei 20°C. Am Ende der Belastungsphase (ZP 60) lagen die Laktatspitzenwerte bei 20°C bei ca. 2,4 [mmol/l] und es ergaben sich nur marginale Unterschiede zwischen den verschiedenen Materialien. Bei 30°C waren die Differenzen zwischen den Materialien etwas größer und im Mittel

erreichten die Blutwerte 2,88 [mmol/l] (Shirt A), 3,02 [mmol/l] (Shirt B) und 3,12 [mmol/l] (Shirt C).

In der Pause und während der simulierten Bergabfahrt fielen die Werte stark ab auf 1,17 [mmol/l] bis 1,3 [mmol/l] zum ZP 85; bereits zum ZP 75 waren keinerlei Unterschiede mehr bzgl. den Umgebungstemperaturen bzw. Shirts zu erkennen.

Nach der Testfahrt (ZP 115) erreichte Shirt C (bei 30°C) den insgesamt niedrigsten Wert mit 1,34 [mmol/l] und den insgesamt höchsten Wert (bei 20°C) mit 1,53 [mmol/l].

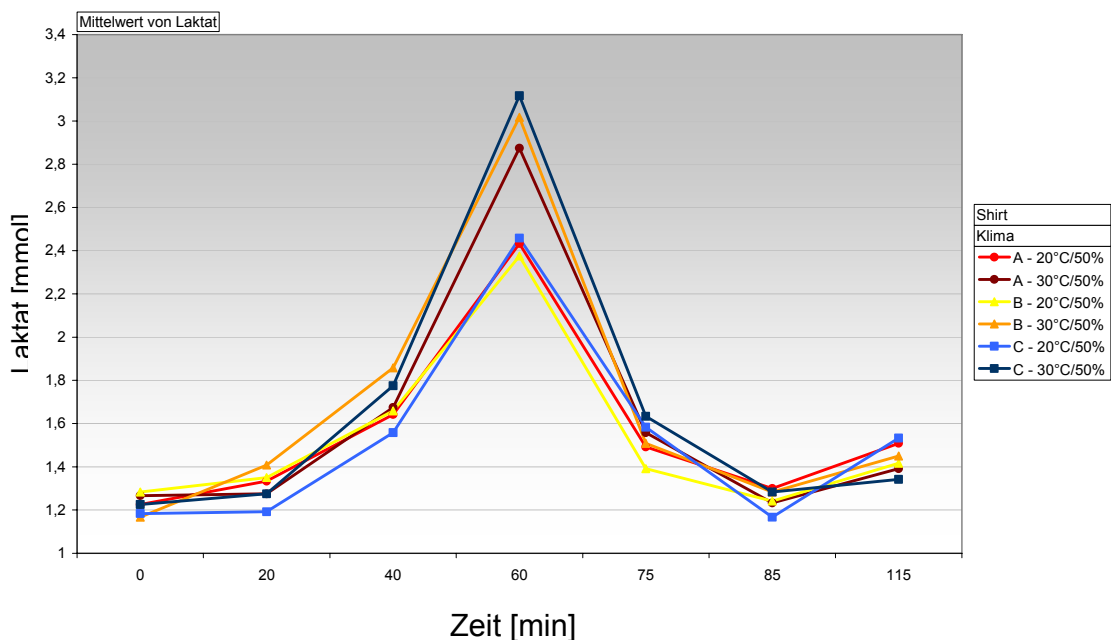


Bild 46: Mittleres Laktat [mmol]

Bei der Überprüfung auf signifikante Unterschiede mittels U-Test nach Mann-Whitney ergab sich zu keinem Messzeitpunkt eine beweisbare Differenz und H_0 wurde für alle Zeitpunkte beibehalten (siehe Anhang Tabelle 64 bis Tabelle 70, S. 273ff).

b) Energieverbrauch und Leistungsumsatz

Anhand der im Anhang (Kap. 15) näher erklärten Herzfrequenz-Monitoring-Methode wurde der Gesamtenergieverbrauch während des gesamten Versuchs berechnet.

Bei 20°C Umgebungstemperatur ergab sich mit Shirt A im Mittel ein Energieverbrauch von 1042 kcal (± 196), bei Shirt B von 1087 kcal (± 178) und bei Shirt C 1053 kcal (± 200).

Der Energieverbrauch bei einer Umgebungstemperatur von 30°C betrug im Mittel 1184 kcal (± 209) mit Shirt A, 1164 kcal (± 179) mit Shirt B und 1189 kcal (± 202) mit Shirt C.

Zur Berechnung des Leistungsumsatzes wurde der über alle Probanden gemittelte Grundumsatz (189 kcal) von 115 Minuten abgezogen. Die sich dabei ergebenden Werte sind in Bild 47 dargestellt:

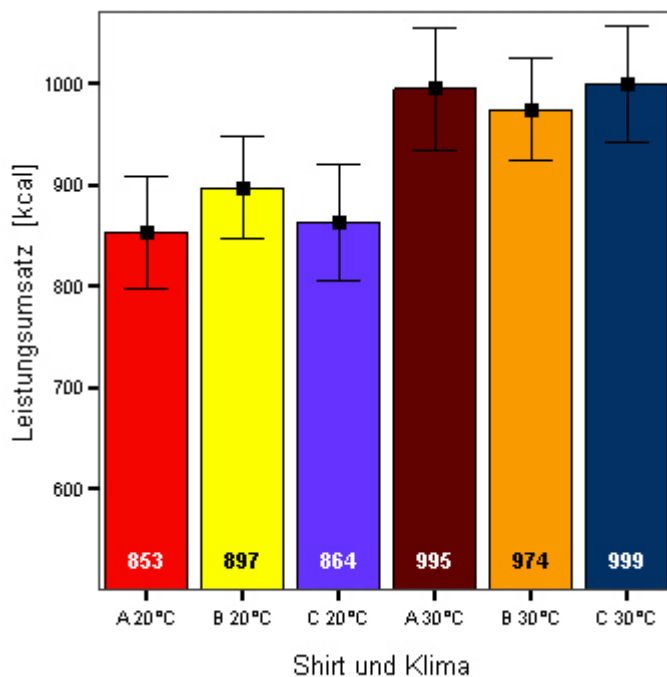


Bild 47: Durchschnittlicher Leistungsumsatz [kcal] während der Testfahrt

Auffällig war, dass der Leistungsumsatz bei 20°C bei Shirt B am höchsten war und bei 30°C am niedrigsten.

Da die Daten hier normal verteilt waren, wurde eine einfaktorische Varianzanalyse nach Tukey HSD durchgeführt. Nachdem sich keinerlei signifikante Unterschiede für Energieverbrauch und Leistungsumsatz ergaben, wurde die Nullhypothese H_0 beibehalten.

c) Gewichtsunterschiede

Unmittelbar im Anschluss ist der durchschnittliche Gewichtsverlust der Probanden während des Versuchs aufgeführt.

Die Probanden verloren während des 1 Stunde und 55 Minuten dauernden Versuches zwischen 1,22 kg und 2,00 kg Körpergewicht (siehe Bild 48).

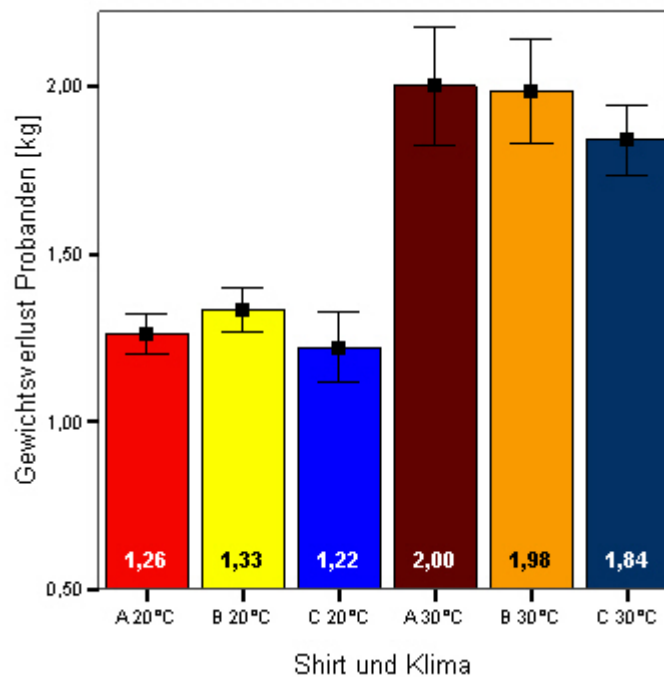


Bild 48: Gewichtsverlust [kg] der Probanden während der Testfahrt

Während der Versuchsfahrt hatten die Probanden die Möglichkeit Flüssigkeit aufzunehmen. Da die Trinkmenge nicht vorgegeben war, wurde die Flüssigkeitsaufnahme über den gesamten Zeitraum genau protokolliert. Sie nahmen zwischen 842 ml (± 325) und 1099 ml (± 369) an Getränken zu sich (siehe Bild 49 unten).

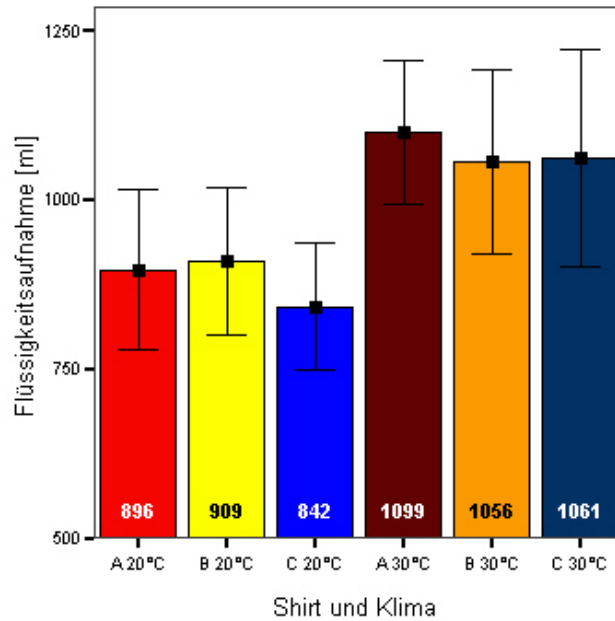


Bild 49: Flüssigkeitsaufnahme [ml] der Probanden während der Testfahrten

Da die Trikots während der Versuchsfahrt Feuchtigkeit vom Körper der Probanden aufnahmen, wurden sie vor und nach dem Versuch gewogen. Sie nahmen im Mittel zwischen 22,85g ($\pm 20,09$) (Shirt A bei 20°C) und 70,13g ($\pm 53,05$) (Shirt A) bei 30°C an Gewicht zu.

Hierbei war auffällig, dass Shirt A bei 20°C Umgebungstemperaturen die geringste Schweißaufnahme hatte und bei 30°C die höchste, siehe Bild 50.

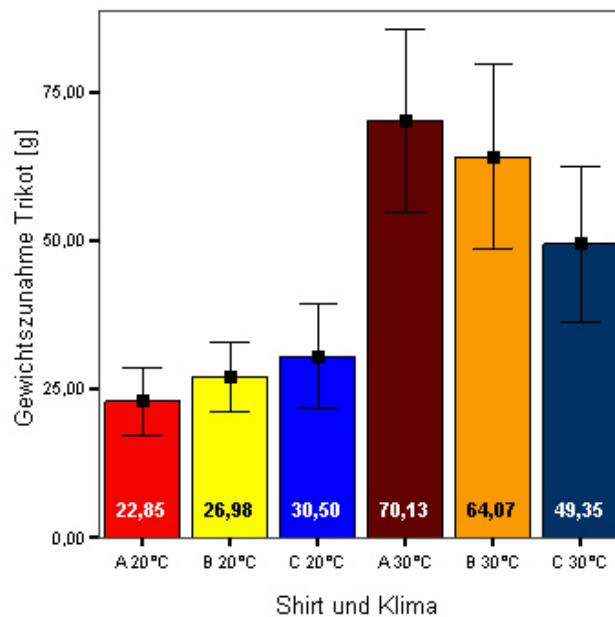


Bild 50: Gewichtszunahme [g] der Shirts während der Testfahrt

Ebenso wie mit den Trikots wurde auch mit den Fahrradhosen verfahren. Hier lag die Gewichtszunahme während des Versuchsverlaufes bei 12,85g ($\pm 8,20$) bis 28,53g ($\pm 23,58$).

Die Gewichtszunahme der Hosen bei beim Tragen von Shirt B war in beiden Klimas am Größten (siehe Bild 51).

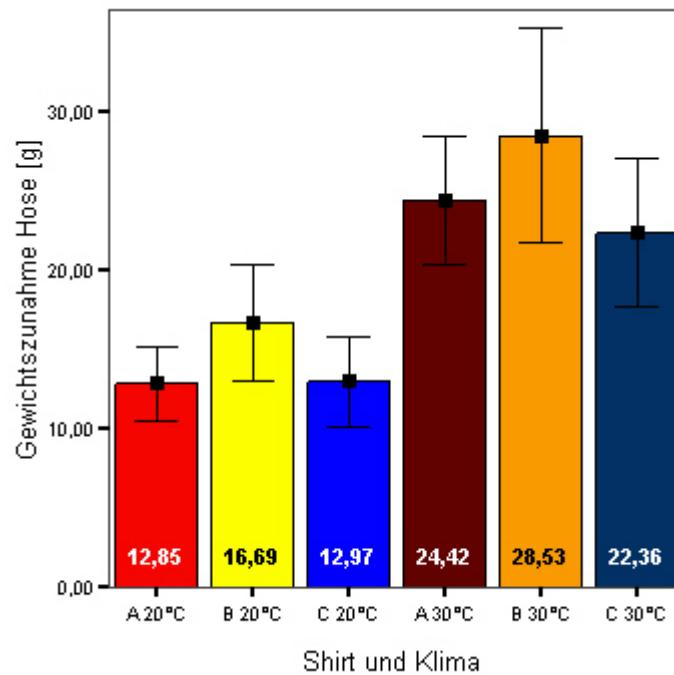


Bild 51: Gewichtszunahme [g] der Hose während der Testfahrt

Alle Daten der verschiedenen Gewichtsunterschieden waren in der Population normalverteilt. Deshalb wurde eine einstufige Varianzanalyse nach Tukey HSD zur Überprüfung der Mittelwerte auf signifikante Abweichungen durchgeführt.

Da sich für keinen der Parameter der Gewichtsunterschied ein signifikanter Unterschied einstellen konnte, wurde die Nullhypothese H_0 beibehalten. Die genauen statistischen Daten inklusive der Irrtumswahrscheinlichkeit p finden sich im Anhang in den Tabellen 75 bis Tabelle 78 Seite 278ff.

d) Infrarotaufnahmen

Nach der einstündigen Belastungsphase sind zum ZP 60 Infrarotaufnahmen der Oberkörper gemacht worden. Für die Auswertung der gemittelten Hautoberflächentemperatur wurde für jedes Bild ein Rechteck über die frei zugängliche, nicht durch Equipment oder Shirt verdeckte, Fläche gelegt. Bild 52 zeigt exemplarisch diese Auswertung bei einem Probanden.

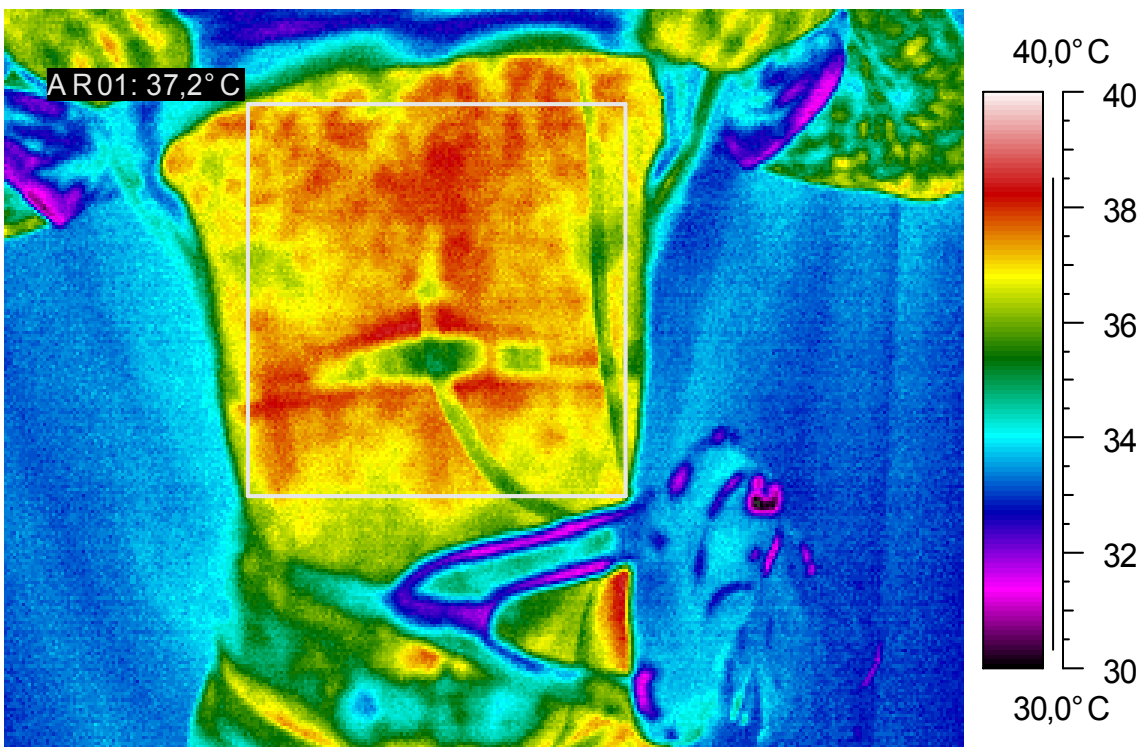


Bild 52: Beispiel einer Infrarotaufnahme eines Probanden

Die gemittelte Oberflächentemperatur lag zwischen $33,7^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,57$) und $37,13^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,31$). Die Ergebnisreihenfolge war bei 20°C und 30°C gleich, siehe Bild 53 unten.

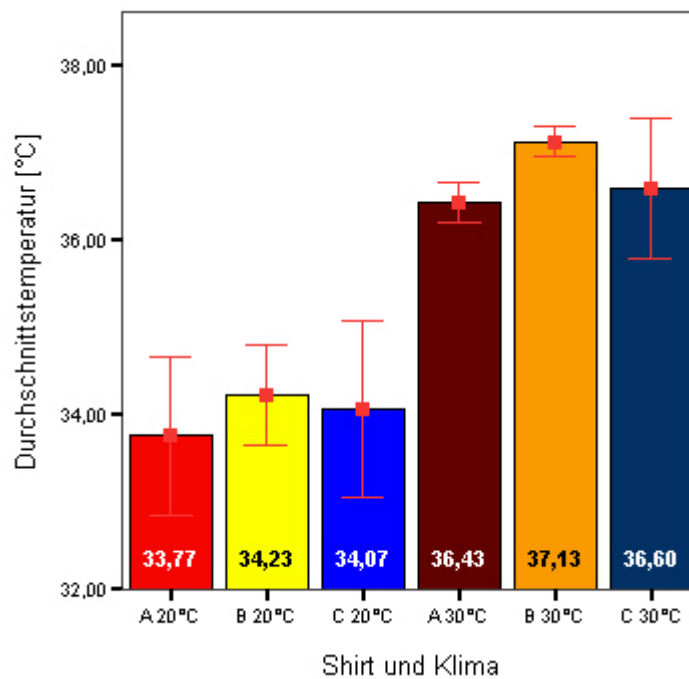


Bild 53: Durchschnittstemperatur der Torsovorderseite [°C]; berechnet anhand der IR-Bilder

Wie schon bei vorangegangenen Messgrößen ließ sich auch hier kein signifikanter Unterschied beweisen und die Nullhypothese wurde beibehalten. Die Darstellung der Mittelwerte, Standardabweichungen und die genauen Werte der statistischen Auswertung sind im Anhang in den Tabelle 79 bis Tabelle 82, S. 282ff zu finden.

4 Diskussion

Dieses Kapitel ist in drei Unterpunkte gegliedert und beginnt zunächst mit der Diskussion der angewandten Methoden. Anschließend werden die Ergebnisse aus den beiden Versuchsblöcken zusammen interpretiert und dann diskutiert und Schlussfolgerungen gezogen.

4.1 Diskussion der verwendeten Methoden

Die Charakteristik der sportlichen Leistungsfähigkeit in ihren direkten und indirekten personeninternen Bedingungen ist sehr komplex und wird in Bild 54 in vereinfachter Form dargestellt (vgl. WEINECK 1996).

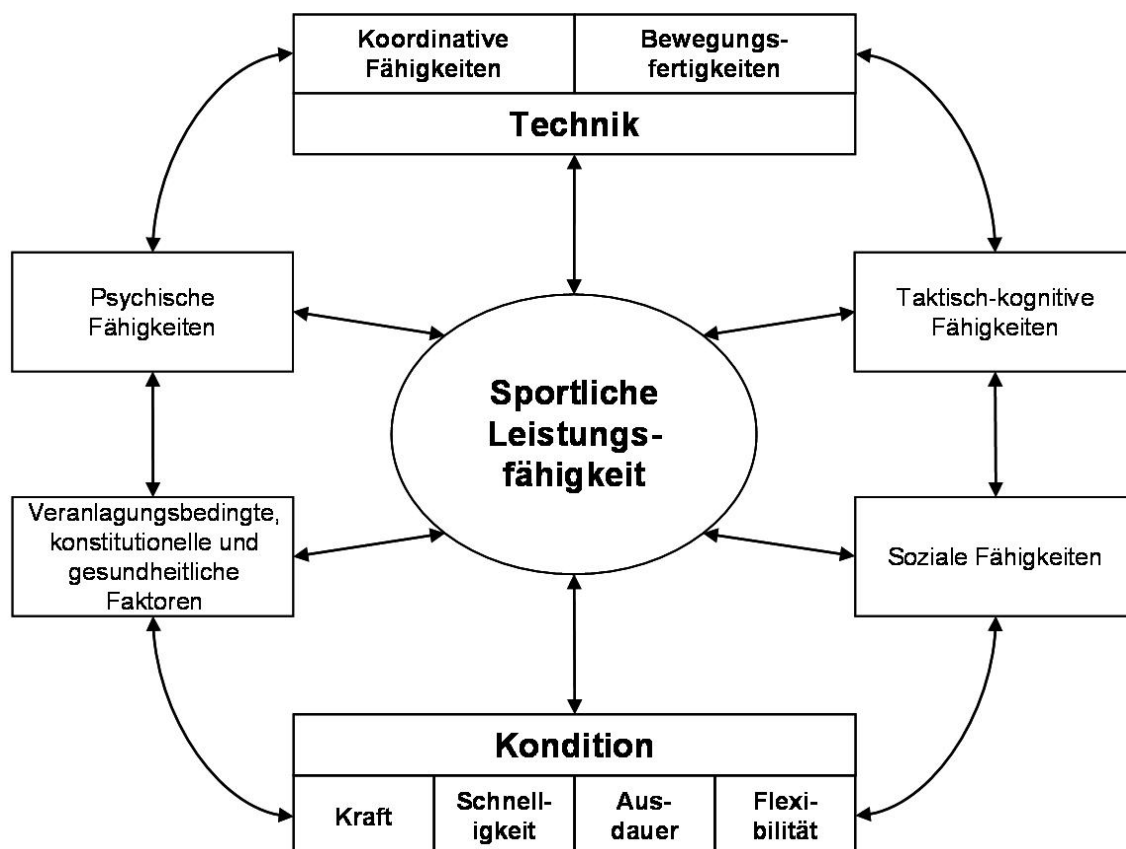


Bild 54: Vereinfachtes Modell der Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit (WEINECK 1996)

Eine Berücksichtigung aller einflussnehmenden Faktoren sportlicher Leistungsfähigkeit war hier nicht möglich. Die Beantwortung der Eingangs formulierten Fragestellungen (Kapitel 1.2) bezieht sich dementsprechend nicht auf alle Einflussgrößen der sportlichen Leistungsfähigkeit, sondern nur auf die subjektiv abgefragten Eindrücke und die gemessenen physischen Leistungsparameter der Versuchspersonen.

Da sowohl die äußeren Bedingungen als auch die Versuchsteilnehmer im Feld- und Klimakammerversuch unterschiedlich waren, wurde bei der Auswertung auf direkte Vergleiche des Feld- und Klimakammerversuchs und auf die Suche nach Korrelationen verzichtet. Trotzdem sind zusätzlich Überlegungen angestellt worden inwieweit eine Übertragbarkeit der Ergebnisse (vor allem die der Klimakammerversuche) auf die Realität möglich sei und inwieweit die Ergebnisse beider Versuchsblöcke Parallelen aufwiesen.

Vorversuch

Zur Ermittlung der individuellen Leistungsfähigkeit der Probanden ist in beiden Versuchsblöcken ein Ausdauerleistungstest mit Laktatmessungen am Fahrradergometer durchgeführt worden. So konnte den Probanden im Feldversuch eine durchschnittliche Herzfrequenz während der Testfahrt und im Klimakammerversuch ein individuelles Versuchsprotokoll vorgegeben werden und der Leistungsumsatz während der Testfahrt berechnet werden.

Für solche Ausdauerleistungstests wurden verschiedene Erfassungsmethoden entwickelt, die zu ähnlichen aber nicht zu gleichen Ergebnissen führten (KINDERMANN, 2004; LÖLLGEN, 2000; WRAGE et al. 2005, JESCHKE et al. 1983).

Da sowohl im Feld- als auch im Klimakammerversuch Belastungen am Fahrrad bzw. Fahrradergometer vorgenommen worden sind, war es naheliegend, den Leistungstest am Fahrradergometer durchzuführen.

Es gibt zahlreiche unterschiedliche Aussagen über die bis zur Ausbelastung durchgeführten Leistungstests (z.B. Rampen- oder Stufentests). Nach der Wahl des Stufentests zur Ermittlung der individuellen Leistungsfähigkeit ergeben sich zahlreiche Variationsmöglichkeiten, die alle Vor- und Nachteile bergen. Sowohl

der Belastungsbeginn, als auch die Länge und Belastungssteigerung der Stufen wird sehr unterschiedlich eingesetzt. So führte z.B. HOLLMANN 2000 ein Standard-Belastungsprotokoll mit Drei-Minuten-Stufen und einer Steigerung von 40 Watt pro Stufe durch. JESCHKE et al. beurteilten 1983 unterschiedliche Belastungsmethoden (1, 2, 3 und 10 Minuten-Stufen mit je 50 Watt Steigerung pro Stufe) und stellten fest, dass mit zunehmender Belastungszeit pro Stufe die maximale Leistung in Watt absinkt, und die höchste maximale Herzfrequenz bei drei und zehn Minuten Stufen ermittelt wird. Dagegen treten bei ein- und zweiminütigen Belastungsschritten die höchsten Sauerstoffaufnahmewerte und bei dreiminütiger Belastung die durchschnittlich höchsten Laktatwerte auf. ROST empfiehlt in LÖLLGEN 2000 als Belastungsschema für sehr leistungsfähige Sportler das BAL-Schema (Bundesausschuss für Leistungssport) mit einem Start bei 50 oder 100 Watt (bei Männern) und einer Steigerung um 50 Watt alle drei Minuten. LÖLLGEN et al. 1990 erweiterten dies, indem sie im Bereich der Ausbelastung eine Reduzierung des Belastungsanstiegs von 50 auf 25 Watt pro Stufe empfehlen. Ein Laktat-Steady-State stellt sich besser bei Sieben-Minuten-Stufen ein (vgl. MELLEROWICZ 1983). Ein Testprotokoll mit fünfminütiger Aufwärmphase, Drei-Minuten-Stufen nach einem Start bei 100 Watt bei männlichen Probanden und einer Steigerung von 30 Watt je Stufe bis zur subjektiven Ausbelastung eignet sich nach FRÖHLICH 2005 mit spiroergometrischer Messung als Eingangstest für die weitere Berechnung des Energieverbrauchs mit der Herzfrequenz-Monitoring-Methode.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Eingangstest zur Berechnung der individuellen anaeroben Schwelle nach diesem Protokoll durchgeführt. Auf Grund der geringeren absoluten Leistungsfähigkeit bei Frauen (vgl. WEINECK 1996) ist das Startniveau für den Vorversuch des Feldtests um eine Stufe auf 70 Watt gesenkt worden.

Für die erwünschte Berechnung des Leistungsumsatzes nach der Herzfrequenz-Monitoring-Methode eignen sich Steptest, Laufband und Ergometer gleichermaßen. Um diese Berechnungen auszuführen ist allerdings eine Messung der spiroergometrischen Kenngrößen in Ruhe und in Belastung nötig (vgl. FRÖHLICH 2005). Diese validierte Methode gelangte erst 2005 in die

wissenschaftliche Öffentlichkeit, weshalb diese Methode nur für den Klimakammerversuch angewendet werden konnte.

Fragebogen

Bei dem vorliegenden Fragenkatalog handelt sich es um geschlossene Fragen. Dabei werden dem Befragten zugleich auch alle möglichen oder zumindest relevanten Antworten vorgelegt. Im Vergleich zu offenen Fragen erbringen geschlossene Fragen eine größere Einheitlichkeit der Antworten und erhöhen dadurch die Vergleichbarkeit (vgl. ATTESLANDER 2003). *„Forschungsstrategisch sind offene Fragen vor allem geeignet, im Planungsstadium das Problemfeld zu erforschen und die relevanten Antwortkategorien zu erfassen, während geschlossene Fragen zur Prüfung von Hypothesen dienen“* (ATTESLANDER 2003).

Es werden mehrere Typen geschlossener Fragen unterschieden. Die Intension der Fragen im Fragebogen wird bereits in Kapitel 2.3. dargestellt. Der hier vorliegende Fragentyp ist ein Selektionstyp, genauer eine Mehrfachauswahl-Frage, da mehr als zwei Antwortkategorien zur Wahl stehen. Eine besondere Form der Mehrfachauswahl-Frage ist wiederum die so genannte Skala-Frage mit der Werte, Meinungen, Gefühle oder Handlungen bezüglich ihrer Intensität und Häufigkeit gemessen werden sollen (vgl. ATTESLANDER 2003).

In dem erstellten Fragebogen ergaben sich für die verwendeten nominalen Antwortkategorien und die numerischen, ordinal skalierten, Stufen Vor- und Nachteile.

Bei den vorgegebenen Antwortmöglichkeiten für die Fragen nach Körperwärmempfinden und Empfinden der Schweißnässestellen bestand bei einer offenen Antwortskala die Gefahr von Verständnisschwierigkeiten für die Probanden, da sie sich im Alltag diese Empfindungen nicht so deutlich bewusst machen und deren Variationsmöglichkeiten ebenfalls unbekannt sind (z.B. „Belastung musste auf Grund von Wärmestau reduziert werden“ oder „die Schweißnässestellen scheuern“). Ist eine solche Frage in einer Skala zu beantworten, könnten sich unter Umständen zahlreiche neutrale Irrelevanz-Antworten ergeben (vgl. STANGL 2007).

Für die Skala-Fragen wurde darauf geachtet, dass die Fragen formal balanciert sind, d.h. die gleiche Anzahl negativer und positiver Antwortmöglichkeiten enthalten sind. Daher ist für die Befragung eine fünfstufige Skala verwendet worden. Des Weiteren ist bei Erstellung des Fragebogens darauf geachtet worden, dass die bedeutendsten Regeln der Frageformulierung nach SCHNELL et al. (1999), in Anlehnung an DILLMANN, LOUVERSE und PREBER, eingehalten werden.

Feldversuch

Beim Feldversuch mussten durch die äußeren Umstände und Rahmenbedingungen, die bei der Studentenexkursion vorherrschten, einige Störvariablen bzw. nicht optimale Versuchsbedingungen hingenommen werden. Das Experiment birgt aber den Vorteil der hohen externen Validität durch realistische Belastungsintensität.

Ziel des Feldversuchs war es, unter diesen realistischen Umgebungsbedingungen geeignete Belastungsschwellen für den anschließenden Klimakammerversuch zu finden weshalb eine Probandenzahl von $N=20$ ausreichend war. Die Ergebnisse der subjektiven Empfindungen waren wegen der hohen externen Validität im Feldversuch zur Beantwortung der vorliegenden Fragestellung von großer Bedeutung. Die objektiven Messdaten waren für eine ausgiebige physiologische Beurteilung nicht ausreichend. Als Vorexperiment zur Erstellung eines realitätsnahen Versuchsdesigns für die Klimakammer war diese Datenerhebung aber unverzichtbar.

Klimakammerversuch

Bei der Durchführung in einem speziellen Untersuchungsraum, wie beispielsweise einer Klimakammer, wird eine gute Kontrollierbarkeit der Störvariablen auf Kosten einer eingeschränkten Verallgemeinerbarkeit auf die Anwendungsbereiche erreicht.

„Der Vorteil der Laboruntersuchungen liegt in ihrer grundsätzlich besseren Standardisierbarkeit und Reproduzierbarkeit, ihr Nachteil in der bisweilen fehlenden Sportartspezifität...“ (WEINECK 1996).

Dieses Problem ist durch den vorangegangenen Feldversuch und die dort gefundenen Belastungsschwellen kontrolliert worden.

Die durchschnittliche Fahrtdauer des Feldversuchs und das dabei absolvierte Höhenprofil sind als Grundlage für die Erstellung des Testprotokolls in der Klimakammer verwendet worden. Die Belastungsintensität der Probanden wurde durch ein persönliches Testprotokoll gleich gestaltet um individuelle Einflüsse durch unterschiedliche Belastung zu minimieren und eine gute Vergleichbarkeit der Daten zwischen den Versuchspersonen zu erzielen, sowie gleichzeitig auch die unterschiedlichen Trainingszustände zu kontrollieren.

Um etwaige tagesrhythmische Schwankungen in der Leistungsfähigkeit und der Körperkerntemperatur zu kontrollieren, sind die Testfahrten aller Probanden zum gleichen Tageszeitpunkt \pm eine Stunde durchgeführt worden. In Bild 55 ist die Abhängigkeit der sogenannten physiologischen Leistungsbereitschaft von der Tageszeit zu sehen. Dabei werden auf der Ordinate die Prozent der Abweichung vom Tagesdurchschnitt aufgezeigt (vgl. GRAF 1961).

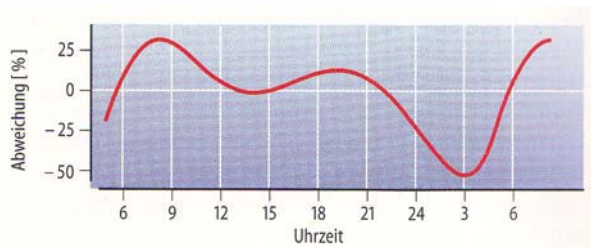


Bild 55: Tagesgang der physiologischen Leistungsbereitschaft (GRAF 1961)

Auswahl der Stichprobe

Die Entscheidung, den Klimakammertest nur mit männlichen Probanden durchzuführen, basiert im Wesentlichen auf drei Gesichtspunkten:

Zum ersten wird die Körperkerntemperatur als eine entscheidende Messgröße der objektiven Parameter erachtet. Bei Frauen finden sich periodische

Änderungen der Kerntemperatur. In der zweiten Hälfte (postovulatorische Phase) des Menstruationszyklus findet ein Temperaturanstieg um durchschnittlich $0,5^{\circ}\text{C}$ statt, der bis zur nächsten Menstruation erhalten bleibt (siehe Bild 56). Beim Mann tritt der gleiche Tagesgang auf, jedoch nicht die zyklischen Änderungen des Temperaturniveaus (vgl. SCHMIDT et al. 1995).

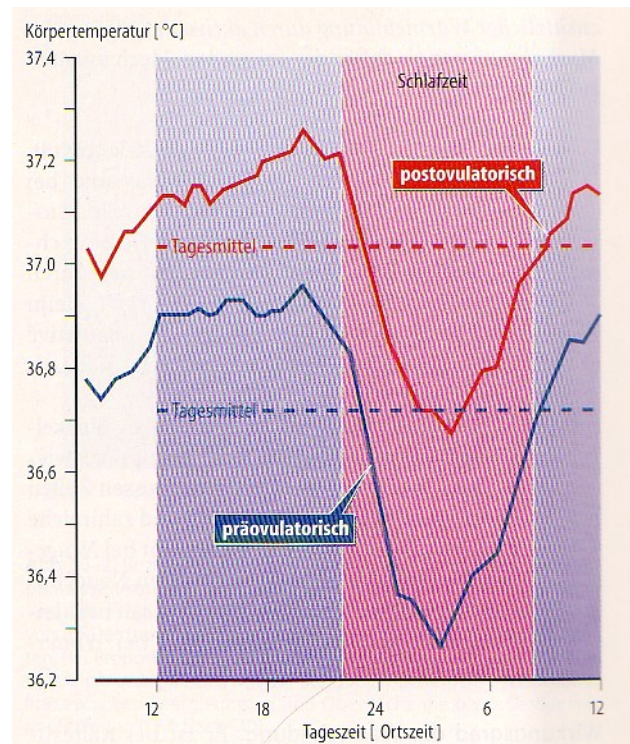


Bild 56: Tagesgang der Körpertemperatur (Rektaltemperatur) bei der Frau (SCHMIDT et al. 1995)

Zum Zweiten ist die Wärmetoleranz bei Frauen grundsätzlich geringer und die Möglichkeit der Thermoregulation biologisch weniger ausgeprägt als bei Männern. Im Allgemeinen reagieren Frauen auf Wärmereize ungünstiger als Männer und ihre Leistungsfähigkeit wird durch eine Wärmebelastung früher limitiert. Das bedeutet, dass bei beiden Geschlechtern das Maximum der zu tolerierenden Körpertemperatur gleich hoch ist, jedoch Frauen ihre Grenzen bereits bei geringerer Umgebungstemperatur erreichen (vgl. WEINECK 1996). Bei überschießender Wärmeproduktion, wie sie auch bei sportlichen Belastungen auftritt, konnten bei Frauen keine so hohe Körperkerntemperaturen ermittelt werden, wie bei Männern.

Zum Dritten scheinen Frauen gegenüber schweißbedingten Wasserverlusten weniger tolerant zu sein als Männer, da bei ihnen bereits bei geringeren Graden der Dehydration ein Erschöpfungszustand eintritt (vgl. ISRAEL 1979). Auch verfügen Frauen über weniger Schweißdrüsen und weisen bei relativ gleichen Belastungen eine geringere Schweißrate auf als Männer. Die Schweißsekretion beginnt bei Frauen bei gleichem Wärmeanfall später als dies bei Männern der Fall ist. Das deutet darauf hin, dass Frauen zunächst stärker mit vasomotorischen Umstellungen auf eine erhöhte Wärmeproduktion reagieren (HOLLMANN, MADER 1980). Obwohl die Schweißsekretion trainierbar ist, reagieren nach ISRAEL (1979), selbst wärmeangepasste Frauen auf eine Wärmeexposition wie untrainierte oder unakklimatisierte Männer (WEINECK 1996).

Die Auswertung und Interpretation der Testdaten wäre durch die Berücksichtigung dieser geschlechtsspezifischen Variablen enorm verkompliziert worden. Des Weiteren ist eine Beurteilung der geschlechtsspezifischen Unterschiede so komplex und interessant, dass diese in einem eigenen Untersuchungsgang ermittelt und veranschaulicht werden sollten.

Flüssigkeitsaufnahme

Während der Testfahrt konnten die Probanden beliebig viel Flüssigkeit aufnehmen. Es wurde keine Menge festgelegt, da das Trinkverhalten der Versuchspersonen während des Experiments sehr unterschiedlich war. So war hier die ökologische Validität gewährleistet, da keiner mehr trinken musste bzw. weniger trinken durfte, als er das aus der Praxis gewohnt ist. Die aufgenommene Flüssigkeitsmenge ist während der gesamten Versuchsfahrt exakt notiert und der Flüssigkeitsverlust anhand des Wiegens des Probanden vor bzw. nach dem Versuch kontrolliert worden.

4.2 Interpretation der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus dem Feld- und Klimakammerversuch unabhängig voneinander interpretiert.

Generell gestaltet sich ein Vergleich mit anderen Studien schwierig. Wie bereits eingangs erwähnt, beziehen sich Untersuchungen zum Thema der Bekleidungsphysiologie in der Hauptsache auf den Arbeitsschutz bzw. im Sportbereich auf Laufbanduntersuchungen. So führt beispielsweise die EMPA aktuell eine Studie durch, allerdings für den Leistungssportbereich, die noch nicht abgeschlossen und somit auch nicht zitierfähig ist. Zahlreiche Aussagen gibt es allgemein zur Arbeitsphysiologie bzw. zum Wärmehaushalt und der Arbeit des Menschen (u.a. FANGER, 1973; SPITZER et al. 1982; WENZEL et al. 1982; HAVENITH 2002; GAVIN 2003; GEBHARDT 2007).

4.2.1 Feldversuch

Bei der Verteilung der Stichproben auf die zwei Gruppen gab es keine Auffälligkeiten in der Variabilität der anthropometrischen Merkmale (siehe Tabelle 4, Kap. 2.4.1). Insgesamt war die Gruppe B kleiner und leichter als Gruppe A. Bei der Betrachtung von auf das Körpergewicht bezogener Leistung schnitt jedoch die Gruppe A besser ab. Bei den leistungsdiagnostischen Daten (Laktat maximal) fällt bei Gruppe B bzw. bei den weiblichen Versuchsteilnehmern ein hoher Wert in der Variabilität auf (siehe Tabelle 6, Kap. 2.4.2), was durch eine auffällige Abweichung einer Versuchsperson bedingt ist (siehe Tabelle 32). Wird der Koeffizient ohne diesen Wert berechnet, war die Variabilität innerhalb der beiden Gruppen vergleichbar. Die Unterschiede des arithmetischen Mittels vom maximalen Laktat-Wert aus dem Vorversuch waren mit 10,23 mmol bzw. 10,55 mmol gering. Ebenso verhält es sich bei der maximalen Herzfrequenz mit 185 S/min bzw. 183 S/min im arithmetischen Mittel (siehe auch Tabelle 31 und Tabelle 32, S. 214). Insgesamt war eine Vergleichbarkeit der beiden Gruppen gegeben.

Bei den verwendeten Pulsmessern der Firma Polar® zur Messung von Herzfrequenz und Fahrdauer wird von reliablen und validen Messinstrumenten ausgegangen. Eine Untersuchung aller verwendeten Messeinheiten (Sender = Pulsgurt und Empfänger = Pulsuhr) auf ihre uneingeschränkte Funktionsfähigkeit ist durch vorherige Überprüfung sichergestellt worden.

Der Fragebogen wurde zu zwei Zeitpunkten ausgefüllt; nach der Bergauffahrt bzw. am Versuchsende. Um die Fragen besser situationsbezogen zu beantworten, wären auch einzelne Stationen denkbar gewesen an denen eine jeweils passende Frage gestellt wird. Dies hätte den Vorteil gehabt, dass besser zwischen den einzelnen Fahrtabschnitten und der Bergauf- bzw. Bergabfahrt differenziert hätte werden können, da so das jeweilige Gefühl der Probanden noch besser präsent ist. Allerdings bedeuten viele kleine Pausen eine andauernde Unterbrechung der Belastung, was die Probanden nicht gewohnt sind, und sie dementsprechend negativ beeinflusst hätte. Auch wäre die ökologische Validität nicht mehr gewährleistet gewesen. Dagegen war bei der gewählten Vorgehensweise mit nur einer Pause nach der Bergfahrt, die ökologische Validität sichergestellt. Die Probanden befanden sich in einer so wenig wie möglich künstlich eingeschränkten Umgebung.

4.2.1.1 Subjektive Daten

Die subjektiven Daten des Feldversuchs sind zunächst deskriptiv ausgewertet worden um die Daten nach Auffälligkeiten (wie beispielsweise Ausreißern) zu untersuchen und zu beschreiben. Die inferenzstatistische Überprüfung auf beweisbare Unterschiede wurde bei den ordinal skalierten Daten unter Verwendung des verteilungsunabhängigen U-Tests nach Mann-Whitney vorgenommen.

Zunächst wurde nach der Erfassung der allgemeinen Personendaten die **allgemeine Tagesform** abgefragt, da sich eine gute bzw. schlechte Tagesform unter Umständen positiv bzw. negativ auf die subjektive Bewertung auswirken

kann. Ebenso ist die **Erfahrung beim Radfahren** (Bike Experience) erfasst worden da ein erfahrener Radfahrer die Gesamtstrecke und –belastung auf Grund des besseren Trainingszustandes und der gewohnten Belastung unter Umständen besser beurteilt, als eine Versuchsperson die selten oder nie über einen längeren Zeitraum Fahrrad fährt.

Für beide Fragen ergaben sich keine Unterschiede und deshalb konnte davon ausgegangen werden, dass beide Faktoren in diesem Fall keinen Einfluss auf die anschließende Bewertung der getesteten Materialien hatten.

Das **Belastungsempfinden** ist die subjektive Beurteilung einer Versuchsperson, wie schwer und anstrengend eine vorgegebene Leistung (in Abhängigkeit der Tagesform sowie dem Gesundheits- und Trainingszustand) empfunden wird. Es ist die subjektive Antwort auf die Reizintensität einer physikalischen Leistung (vgl. LÖLLGEN 2004). Auch in diesem Fall ließen sich, wie bei den allgemeinen Eingangsfragen, keine Unterschiede erkennen, weshalb davon ausgegangen wurde, dass sich das Belastungsempfinden weder positiv noch negativ auf die Beantwortung der subjektiven Fragen bzgl. der beiden getesteten Materialien auswirkt. Ebenso konnte im Umkehrschluss gefolgert werden, dass die unterschiedlichen Shirts keinen, bzw. nur einen marginalen Einfluss auf die Beurteilung des Belastungsempfindens hatten.

Im **Körperwärmeempfinden** lagen zu Beginn der Testfahrt keine auffälligen Unterschiede zwischen den beiden Shirts vor. Nach der gesamten Testdauer ergab sich hier jedoch eine eindeutige Tendenz zu Gunsten des Shirts B, da 60% (gesamter Oberkörper) bzw. 80% (nur Brust) Shirt B als angenehm empfanden während Shirt A nur von 50% derart bewertet wurde. Trotz der geringeren Atmungsaktivität von Material B wurde dieses nach der ca. zweistündigen Fahrt tendenziell besser beurteilt und nicht als zu warm empfunden. Für den Feldversuch ergab sich hiermit ein positiver Effekt in Bezug auf Material und Gestaltung für das winddichte Material.

Die **Schweißabsorption** ist primär von der hydrophilen oder hydrophoben Ausrüstung der Innenseite und der Textilkonstruktion abhängig und steht nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Atmungsaktivität. So ließ sich die deutlich bessere Beurteilung der Schweißabsorption des winddichten Shirts B nach der Bergauffahrt erklären (hoch signifikanter Unterschied). Bei der

Bergabfahrt lag ein solch signifikanter Unterschied nicht vor, wenngleich ein positiver Trend zu Gunsten B erkennbar war. Dieser positive Trend setzte sich auch bei der Beurteilung der **örtlichen Schweißnässestellen** fort – sowohl bei der Bergauf- als auch bei der Bergabfahrt –, auch wenn bei einer Bewertung (Schweißnässestelle Rückenmitte bergab) ein signifikanter Unterschied vorlag.

Beim **Empfinden der Schweißnässestellen** waren bereits bei der Bergauffahrt Vorteile für das Shirt B zu erkennen. Nach dem Ende der Testfahrt blieb die positive Bewertung für Shirt B bestehen, bei Shirt A hingegen entwickelte sich ein deutlich negativer Trend. Hier fanden 70% die Schweißnässestellen unangenehm und kalt. Dies war darauf zurückzuführen, dass vor allem bei der Bergabfahrt die hohe Luftdurchlässigkeit von Shirt A den schweißnassen Körper stark auskühlen ließ, und die Nässestellen als kalt und klamm empfunden wurden. Sowohl bei der Schweißabsorption als auch bei der Beurteilung der Schweißnässestellen wirkte sich das weiter geschnittene winddichte Material positiv auf die Bewertung dieser Punkte aus.

Auch bei der Beurteilung des **Thermischen Komforts** schnitt B gegenüber A tendenziell besser ab. Bei der Bergauffahrt wurde mit einem signifikanten Unterschied eine deutliche Differenz in der Beurteilung der beiden Materialien bewiesen. Für die Bergabfahrt fand sich zwar kein Beweis eines Unterschieds, dennoch ließ sich anhand des p-Werts von 0,089 eine Differenz zwischen den Shirts vermuten. Wie bereits bei dem Empfinden der Schweißnässestellen und der Nässestellen insgesamt, war auch hier wieder das feuchte, winddurchlässige Material für einen erhöhten Windchilleffekt in der mäßig warmen Umgebung verantwortlich. Das Shirt mit der winddichten Membran erwies sich bei dieser Belastungsart und –umgebung als positiv für den thermischen Komfort des Trägers.

Der vorher beschriebene Effekt wiederholte sich in der Beurteilung der **Winddichtigkeit**. Hier ergaben sich erwartungsgemäß deutliche Unterschiede zwischen den Materialien. Sowohl für die Bergauf- als auch für die Bergabfahrt ergaben sich hoch und höchst signifikante Abweichungen zugunsten von Material B. Der positive Einfluss des winddichten Materials war hier in beiden zu bewertenden Abschnitten klar erkennbar.

Die **Passform** der beiden Shirts ergab ein unterschiedliches Ergebnis für Bergauf- und Bergabfahrt. Bei der Bergauffahrt ergaben sich keine Unterschiede zwischen den beiden Shirts, hingegen war bei der Bergabfahrt eine positive Tendenz zu Gunsten des Shirts A erkennbar. Dies ist umso erstaunlicher, als die Bewertung von Shirt A sonst eher eine negative Tendenz aufwies. Eine mögliche Erklärung hierfür war die höhere Elastizität des Materials A. Es war bi-stretchig und passte sich so hervorragend in einer engen Schnittform (so genanntes „close fit“) der Körperform des Trägers an. Material B hingegen hatte eine geringere Elastizität in Richtung der Schuss- (horizontal) und Kettfäden (vertikal). Ferner lag dieses Shirt nicht sehr eng („loose fit“) am Körper an was von den Probanden beim Radfahren offensichtlich als weniger angenehm empfunden wurde.

Beim **Hautempfinden** der beiden Shirts ließen sich sowohl im **trockenen** als auch im **feuchten** Materialzustand keine Unterschiede erkennen. Selbst Tendenzen waren hier nicht zu ermitteln. Insofern war festzustellen, dass Polyamid (Shirt A) bzw. Polyester mit winddichter Membran (Shirt B) weder im trockenen noch im feuchten Zustand einen Einfluss auf das Hautempfinden des Trägers hatte. Ferner war die Textil-Konstruktion (einfächige Maschenware bei Shirt A und ein Piquet bei Shirt B) ebenfalls ganz offensichtlich nicht ausschlaggebend.

Bei der Beurteilung des **Geruchs** der beiden Shirts ergaben sich wiederum keine Unterschiede. Beide Shirts wurden positiv wahrgenommen. So kann davon ausgegangen werden, dass die Materialien ausreichend antimikrobiell ausgerüstet waren und sich auch hier durch die verschiedenen Konstruktionen keine Unterschiede für den Träger ergaben.

Das **Gesamturteil** der Probanden zeigte ein eindeutiges Ergebnis. Sowohl nach der Bergauf- als auch nach der Bergabfahrt wurde das winddichte Material B bevorzugt. Gründe für dieses eindeutige Ergebnis waren zum einen die bessere Winddichtigkeit für Shirt B und das daraus resultierende angenehmere Körperwärmeempfinden und der bessere Thermische Komfort und zum anderen die in der Summe überwiegenden positiven Tendenzen des Materials in den vorangegangenen Beurteilungen. Vor allem bei den Punkten

Winddichtigkeit und Gesamturteil wurde bei den vorherrschenden Umgebungsbedingungen von knapp unter 20°C der Windstopper® favorisiert.

Da in den anderen abgefragten subjektiven Punkten keine schlechte Beurteilung vorlag bzw. bei den meisten Fragen eine positive Tendenz zu Gunsten des Shirts B erkennbar war, eignet sich in mäßig warmer Umgebung ein winddichtes Material zum Mountainbiken. Es konnte somit also ein Unterschied bzgl. der Materialien und der Gestaltung in der subjektiven Bewertung unter den vorherrschenden Umgebungsbedingungen ausgemacht werden.

4.2.1.2 Objektive Messdaten

Während des Experimentes im Feld wurden als objektive Messparameter die Herzfrequenz und die Fahrzeit erfasst.

Die **Fahrtdauer** und die **Herzfrequenz** hingen von der jeweiligen Leistungsstärke des Probanden ab und wurden von Material und Gestaltung der getesteten Shirts nicht beeinflusst. Es ergaben sich in allen untersuchten Punkten keine signifikanten Unterschiede. Wurden die aufgenommenen Werte deskriptiv betrachtet, war sowohl in der Herzfrequenz als auch in der Fahrtdauer zu bemerken, dass die Herzfrequenz in dem winddichten Shirt höher liegt als in Shirt A und die Fahrtdauer in Shirt B ebenfalls durchgängig höher lag. Das lässt die Vermutung zu, dass sich bei Betrachtung der Gesamtpopulation die besser trainierten Fahrradfahrer in Gruppe A befanden und trotzdem das Shirt B subjektiv besser beurteilt wurde.

4.2.2 Klimakammerversuch

Die Variabilität aller anthropometrischen Merkmale innerhalb der Probandenstichprobe der Klimakammer, war mit einem maximalen Prozentsatz von 9% für das Alter gering (siehe Tabelle 4, Kap. 2.5.1). Für die Berechnung des Variabilitätskoeffizienten der leistungsdiagnostischen Daten ergaben sich mit maximal 15% geringe Werte die eine gute Vergleichbarkeit zwischen den Probanden erlaubten (siehe Tabelle 14, Kap. 2.5.2).

4.2.2.1 Subjektive Daten

Die subjektiven Daten des Klimakammerversuchs waren zunächst deskriptiv ausgewertet bzw. beschrieben worden, um die Daten nach Auffälligkeiten (wie z.B. Ausreißern) zu untersuchen und zu beschreiben (vgl. BÖS 2004). Zur inferenzstatistischen Überprüfung der Hypothesen ist ein U-Test nach Mann-Whitney durchgeführt worden.

Kontinuierliche Messdaten

Wie aus der Ergebnisdarstellung (Kapitel 3.2.1.1) hervorgeht, gab es kaum Unterschiede zwischen den Shirts bei den subjektiven Bewertungen mit Ausnahme der Komfortbeurteilung. Was sich jedoch deutlich voneinander unterscheidet ist das jeweilige Temperatur-, Feuchte- und Belastungsempfinden bei den beiden unterschiedlichen Klimas.

Beim **Temperaturempfinden** an Brust und Rücken differierten die Bewertungspunkte bei 20°C bzw. 30°C von 0,5 (zum Versuchsbeginn) bis ca. 1,5 zum Ende der Belastungsphase auseinander (vgl. Kapitel 3.2.1.1 a). Auffällig war die durchschnittliche Bewertung des Shirts C bei 20°C bei der Bergabfahrt zum ZP 80. Hier wurde das Temperaturempfinden mit 3,5 als kühl/kalt empfunden. Der weite Schnitt im Zusammenhang mit dem Material hatte ganz offensichtlich einen negativen Einfluss auf das Temperatur-

empfinden der Probanden während einer simulierten Bergabfahrt, während das bei den beiden anderen Materialien nicht der Fall war.

Das **Feuchteempfinden** (vgl. Kapitel 3.2.1.1 b) wies keine so deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Klimabedingungen auf, wie das beim Temperaturempfinden der Fall war. Ein Grund dafür könnte die schlechtere subjektive Bewertungsmöglichkeit der Feuchtesensorik im Vergleich zur Hautsensorik sein, da das Feuchteempfinden nur durch taktile Reize wahrgenommen wird (vgl. Kapitel 7.6: Hautsensorische Effekte). Dies spricht auch insofern dafür, als dass Material A bei 30°C während der Bergabfahrt die höchsten Feuchtwerte erzielte. Der Wind minimierte hier den Abstand zwischen Textil und Haut. Material A ist ein einflächiges Gestrick, während Material B und C mit Abstandshaltern (Piquet) konstruiert waren. Hier ergab sich auch ein deutlicher Unterschied von Shirt A zu Shirt B zwischen Brust und Rücken. In diesem Fall hatten das Material und vor allem die Gestaltung/Konstruktion des Textils einen deutlichen Einfluss auf das Feuchteempfinden des Trägers.

Bei Betrachtung des **Belastungsempfindens** nach Borg konnte sehr gut die stufenförmig ansteigende Belastung während der ersten Stunde des Versuchsverlaufs beobachtet werden (vgl. Kapitel 3.2.1.1. d). Es ergaben sich in der Überprüfung auf signifikante Abweichungen keine nennenswerten Ergebnisse. Dennoch sollte hier explizit auf die Kurve des Materials B bei 20°C hingewiesen werden. Diese Kurve lag im Gesamtverlauf über denjenigen der beiden anderen Materialien bei gleicher Umgebungstemperatur. Sie verlief sogar deutlich näher an den Kurven die bei 30°C aufgezeichnet wurden. Auch wenn sich keine Signifikanz beweisen ließ, konnte hier deutlich die Tendenz zu einem erhöhten Anstrengungsempfinden in Shirt B bei 20°C erkannt werden. Da die Kurven zum Versuchsende auf einem höheren Niveau lagen als zu Anfang – bei gleicher Belastungsintensität – kann davon ausgegangen werden, dass die Belastungsdauer einen größeren Einfluss auf das Belastungsempfinden hatte, als das jeweilige Material oder dessen Gestaltung.

Anders als bei den vorangegangenen Punkten konnte bei dem **Komfortempfinden** keine eindeutige Unterscheidung in der Beurteilung der Shirts in verschiedenen Umgebungstemperaturen gemacht werden. Auffällig

war die schlechte Beurteilung von Shirt C innerhalb aller Kombinationsmöglichkeiten von Shirt (3 Variablen) und Klima (2 Variablen). Bei einem statistischen Vergleich von Shirt A mit Shirt C wurde in allen vier Phasen der Tragekomfort bei 20°C in Shirt C schlechter beurteilt. Beim Vergleich von Shirt B mit Shirt C waren es die ersten drei Phasen in denen sich ein Einfluss beweisen ließ. Bei 30°C hingegen wird nur ein signifikanter Unterschied im Ergebnis zwischen Material B und C während der Sitzpause bewiesen. Daraus lässt sich schließen, dass sich bei den niedrigeren Umgebungsbedingungen das Material und die Gestaltung von Shirt C negativ auf den Tragekomfort auswirkte, sich dieser Effekt in den höheren Umgebungstemperaturen aber abschwächte.

Fragebogen

Der Fragebogen wurde nur einmal am Ende der Testfahrt ausgefüllt. Wie in Kapitel 3.2.1.2 ausgeführt, wurde die hier angegebene Tagesform den Detailfragen zugeordnet.

Die Beurteilung des **Belastungsempfindens** im Fragenkatalog deckte sich mit den Ergebnissen der kontinuierlich aufgezeichneten Daten. Bei 20°C Umgebungstemperatur war beim Vergleich von Material B mit A und C eine größere Anstrengung der Probanden in Material B ersichtlich. Ein eindeutiger Beweis in Form eines signifikanten Unterschiedes lag nicht vor. Bei 30°C Umgebungstemperatur war dagegen kein Unterschied zwischen den Materialien erkennbar. Da sich keine Gegensätze für das Belastungsempfinden in dem jeweilig getragenen Shirt ergaben, kann daraus gefolgert werden, dass weder das Material noch die Gestaltung einen Einfluss auf das subjektive Anstrengungsempfinden hatten.

Beginnend mit dem **Körperwärmeempfinden** war festzustellen, dass hier in der abschließenden Beurteilung deutlichere Unterschiede zu erkennen sind, als beim Temperaturempfinden während der kontinuierlich aufgezeichneten Daten. Hier war eine eindeutig positive Tendenz für Shirt A offensichtlich, da bei 20°C über 80% der Probanden das Polyamidtrikot als angenehm empfanden, sowohl an Brust als auch in der Gesamtheit. Mit 50% bzw. 66,7% schnitt das

winddichte Shirt noch besser beim Körperwärmeempfinden ab als Shirt C. Bei 30°C ergab sich die gleiche Ergebnisreihenfolge. Allerdings wurden die Nennungen für *angenehm* insgesamt weniger, die für empfundenen Wärmestau stiegen vor allem bei dem Baumwollshirt (Material C) sprunghaft an. Hieran kann gesehen werden, dass das Polyamidtrikot in Material und Gestaltung die besseren Bewertungen bzgl. des Körperwärmeempfindens erhielt und sich diese Faktoren demnach positiv auf das Körperwärmeempfinden in beiden getesteten Umgebungsbedingungen auswirkten.

In der **Schweißabsorption** ließen sich große Einflüsse zwischen Material A (Polyamid) und Material C (Baumwolle) bei 20°C Umgebungstemperatur statistisch nachweisen, bei 30°C hingegen nicht. Bei den Vergleichen von Material A mit B und Material B mit C ergaben sich keine Unterschiede. Ebenfalls abgefragt wurden die **Schweißnässestellen** an verschiedenen lokalen Punkten. Zwischen Material B und C waren bei 30°C fünf von sechs (mit Ausnahme „Schweißnässestellen Kragen“) einzelnen Punkten unterschiedlich in ihrer Bewertung zu Gunsten von Material B. Bei 20°C waren es noch drei Ergebnisse (Brust, Rückenmitte und gesamt). Beim Vergleich von Material A mit C konnten drei Unterschiede bei 20°C und einer bei 30°C festgestellt werden, jeweils zu Ungunsten von Shirt C. Daraus ergibt sich die Aussage, dass das modifizierte Baumwollshirt in Material und Gestaltung einen negativen Einfluss auf die Schweißabsorption und die Schweißnässestellen hatte. Die Hydrophilie der Baumwolle hatte einen negativen Einfluss auf die Schweißabsorption. Dagegen ließ sich zwischen der einflächig verarbeiteten Polyamidfaser und der im Piquet verarbeiteten Polyesterfaser im Verbund mit einer mikroporösen Membran, kein unterschiedliches Verhalten hinsichtlich der Absorption von Schweiß nachweisen.

Auch beim **Empfinden der Schweißnässestellen** wurde das Material A am besten bewertet. Jeweils 75% sagten, dass diese nicht störend seien. Die Restlichen fanden sie unangenehm und kalt. Bei Material B ergab sich für 20°C fast das gleiche Bild und nur geringe Differenz zu Shirt A. Tendenziell wurde es allerdings etwas schlechter beurteilt. Material C wurde von 75% (20°C) bzw. 58,7% (30°C) als unangenehm empfunden und schnitt auch hier wieder am schlechtesten ab. Daraus lässt sich schließen, dass vor allem das Baumwoll-

Material einen negativen Einfluss auf das Empfinden der Schweißnässestellen hatte. Die Gestaltung hingegen nicht, da sowohl der Windstopper[®] als auch die Baumwolle zur Hautseite hin fast identisch konstruiert waren.

Die subjektive Beurteilung des **Thermischen Komforts** ergab bei 20°C und 30°C einen signifikanten Einfluss des Materials und der Gestaltung zwischen den Shirts A und C, wobei auch hier A besser abschnitt. Bei den beiden jeweils anderen Vergleichen ließen sich bei beiden Umgebungsklimas keine Unterschiede nachweisen. Hier schien sich wiederum die höhere Saugfähigkeit und der weitere Schnitt von Material C negativ auf den Komfort auszuwirken.

Die **Winddichtigkeit** wurde im kälteren Umgebungsklima generell schlechter beurteilt als im wärmeren. Es ergab sich mit einer Ausnahme (A/B bei 20°C) für alle sechs Kombinationsmöglichkeiten ein signifikanter Einfluss der Materialien auf die Winddichtigkeit. Dabei wurde das winddichte Material B als solches erkannt und schnitt am besten ab. Es folgte im Ranking Material A vor dem Baumwollshirt (Material C). Der Thermische Komfort spielte bei der positiven bzw. negativen Beurteilung der Winddichtigkeit eine Rolle. Das weiter geschnittene Material C wurde schlechter bewertet als das ebenfalls winddurchlässige Material A das enger am Körper liegt. Dies konnte auch im folgenden Punkt, der Passform, erkannt werden:

In der **Passform** ergaben sich drei Unterschiede zwischen den getesteten Shirts. Bei 20°C war ein deutlicher Effekt beim Vergleich von Material A und C zu beobachten. Bei der höheren Umgebungstemperatur kamen sowohl beim Mittelwertsvergleich von A mit C als auch beim Vergleich von Material B mit C signifikante Einflüsse heraus. Somit wurde in dieser Frage Material A am besten beurteilt, gefolgt von Material B und wieder mit der schlechtesten Beurteilung für Material C.

Bei der Frage nach dem **Material Hautempfinden** wurde unterschieden zwischen feuchtem und trockenem Zustand des Materials. Während im trockenen Zustand bei beiden Umgebungstemperaturen lediglich Unterschiede zwischen dem Polyamid (Material A) und der Baumwolle (Material C) bewiesen wurden, ergaben sich im feuchten Zustand (ebenfalls in beiden Umgebungsbedingungen) zusätzlich noch nachweisbare Unterschiede zwischen dem winddichten Polyester (Material B) und der Baumwolle (Material C). Das

bedeutet, dass im trockenen Zustand Material und Gestaltung von Shirt A und C in jedem Fall einen Effekt erzielten und bei einer höheren Schweißrate (unabhängig von der Umgebungstemperatur) dieser Effekt auch noch zwischen Material B und C eintrat.

In der Beurteilung des **Geruchs** der Materialien nach der Testfahrt ergaben sich keine Unterschiede zwischen dem Polyamid (Material A) und dem winddichten Polyester (Material B). Wurde die funktionell ausgerüstete Baumwolle (Material C) hinzugenommen, ergaben sich wesentlich kleinere Irrtumswahrscheinlichkeiten aber kein nachweisbarer Einfluss. So wie bereits im Feldversuch erkannt, gab es keine offenkundigen Mängel in der antibakteriellen Ausrüstung der Materialien und eine Geruchsbildung nach dem Tragen der Materialien bei schweißtreibender, sportlicher Aktivität fand nicht statt.

Im **Gesamturteil** schnitt das Polyamidshirt (Material A) am besten ab. Das Material von Shirt C hat in beiden Klimas einen deutlichen (negativen) Einfluss auf das Gesamturteil. Zwischen Material A und B konnten in beiden Umgebungsbedingungen keine signifikanten Abweichungen nachgewiesen werden. Zwischen Shirt B und C ließen sich statistisch keine signifikanten Unterschiede ermitteln, jedoch nimmt die Irrtumswahrscheinlichkeit deutlich kleinere Werte an, was auf einen vorhandenen Unterschied schließen lässt.

Grundsätzlich wurde das Material A in der Klimakammer in beiden Umgebungsbedingungen als bestes Material bewertet. Lediglich bei der Winddichtigkeit schnitt Material B besser ab. Signifikante Einflüsse konnten meist zwischen Shirt A und C nachgewiesen werden, weniger häufig zwischen den Materialien B und C. Bei der Suche nach Unterschieden gab es nur einmal einen signifikanten Einfluss von Material und Gestaltung bezüglich des Vergleichs von Material A mit B; dieser bestand bei der Frage nach Winddichtigkeit in 30°C warmer Umgebungstemperatur. Unter den kontrollierten Bedingungen wurde das deutlich elastischere und enger geschnittene Material A am besten bewertet. Das ebenfalls hydrophobe Material B (in der Schnittform etwas weiter), das in der textilen Fläche Feuchte transportierend gestaltet war, wurde selten schlechter beurteilt als Material A und es ließ sich kein eindeutiger Beweis erbringen, dass das Tragen von winddichten Materialien (auch in höheren Umgebungsbedingungen) unvernünftig sei.

4.2.2.2 Objektive Daten

Wie bereits in Kapitel 3.2.2.1 a) dargestellt, ergaben sich für die **Hauttemperatur** in den ersten 60 Minuten während der Belastungsphase (bei beiden Umgebungstemperaturen) keine Unterschiede in der Haupttemperatur an der Vorderseite des Torsos. An der Rückseite des Torsos ließen sich hingegen zumindest bei 30°C in den ersten drei Phasen signifikante Abweichungen des Einflusses des Materials auf die Hauttemperatur nachweisen. Hierbei lag die Temperatur in Shirt B deutlich (ca. 0,5°C) über der Temperatur des Shirts C. Material A verhielt sich zwischen beiden anderen Textilien indifferent. Bei starkem Wind lag die Hauttemperatur unter dem winddichten Material (B) deutlich über der, die unter dem Baumwollshirt (C) gemessen wurde, d.h. dass der Körper mit Shirt C während der simulierten Bergabfahrt stark auskühlte. Insgesamt war der Temperaturabfall während der simulierten Bergabfahrt bei 20°C nicht so groß wie bei 30°C.

Die insgesamt erhöhte Hautdurchblutung bei 30°C zur Thermoregulation des Körpers ließ in der ansteigenden Belastungsphase die Differenz zwischen den Fühlern (Brust minus Bauch bzw. Rücken minus Lende) geringer werden. Deutlich zu sehen war das bei der Betrachtung der Differenz der Fühler Brust minus Bauch; weniger eindeutig bei den rückwärtigen Fühlern. Hier hatte die Belastung in der höheren Umgebungstemperatur einen entscheidenden Einfluss die getragenen Materialien und deren Gestaltung hingegen nicht.

Für die **Relative Feuchte** der Haut ergaben sich keine signifikanten Unterschiede der Materialien und der Gestaltung auf der Torso-Vorderseite. Einzig in Phase IV bei 30°C waren einige nachweisbare Unterschiede zwischen Material A und C zu finden. In Phase I bis III waren die Feuchtwerte am vorderen Torso im winddichten Material B am niedrigsten. Es scheint, dass die Konstruktion des Shirts und der etwas weitere Schnitt darauf einen positiven Einfluss hatten, da sich eine erhöhte Ventilation an dieser Stelle ergab. Für die Werte der relativen Feuchte am Rücken, wo das Shirt durch die am Fahrrad eingenommene Position auflag, war dieses Bild gedreht. Hier lag die relative Feuchte für das winddichte Shirt am Rücken am höchsten. Signifikante

Unterschiede ließen sich bei 30°C jedoch nicht ermitteln, bei 20°C hingegen schon. Ab dem Zeitpunkt 30, wenn die Evaporation bei der Thermoregulation einen großen Anteil hat, ließen sich zwischen den beiden Feuchtefühlern vorne keine Unterschiede mehr erkennen. Durch die am Fahrrad eingenommene Position trocknete die Brust bei 20°C im Vergleich zum Bauch deutlich mehr ab.

Die Messungen der **Körperkerntemperatur** ergaben nur an einem Punkt signifikante Abweichungen. Der lag bei 30°C zwischen Shirt A und B am Ende der simulierten Bergabfahrt. Wurden die Phasen der Kurven getrennt voneinander nach den Umgebungstemperaturen betrachtet, ergab sich bei 20°C der erste erkennbare (allerdings nicht signifikante) Unterschied während der simulierten Bergabfahrt. Hier näherte sich die Körperkerntemperatur in dem winddichten Shirt wesentlich schneller der normalen Körperkerntemperatur von 37°C an, als das in den beiden anderen Materialien der Fall war. Der zweite war in Phase IV zu erkennen, wenn die Kurve der Körperkerntemperatur in Shirt A separiert über denjenigen von Material B und C lag. Bei 30°C Umgebungstemperatur lag die Temperaturkurve des Körperkerns von Material A dauerhaft (in Phase I bis IV) über den Kurven von Material B und C. Es ließ sich die Tendenz erkennen, dass sich vor allem in höherer Umgebungstemperatur Material und Gestaltung des Polyamidtrikots negativ auf die Höhe der Körperkerntemperatur auswirkten. Die niedrigsten Werte der Körperkerntemperatur wurden auch hier wieder in dem winddichten Material B verzeichnet. Daraus ließ sich folgern, dass das winddichte Polyestermaterial B in der Ruhephase die Regeneration begünstigt. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass diese Schlussfolgerung eine Tendenz ist, und der Beweis der Signifikanz nicht erbracht werden konnte.

In der **Herzfrequenz** ließ sich ebenfalls nur ein einzelner signifikanter Wert bei 20°C in Phase IV ausmachen. Ansonsten waren hier keine Tendenzen erkennbar. Die durchschnittlich höhere Herzfrequenz bei 30°C ist somit lediglich auf die höhere physische Beanspruchung in der wärmeren Umgebungstemperatur zurückzuführen und nicht auf Einflüsse des Materials und der Gestaltung der Shirts.

Für die Messungen der **Laktatkonzentration** im Blut ergaben sich auch keine Einflüsse des getragenen Materials und dessen Gestaltung. Die höheren Werte

bei 30°C zum Zeitpunkt 60 waren auch hier, wie bei der Herzfrequenz, auf die insgesamt höhere physische Belastung in der wärmeren Umgebungstemperatur zurückzuführen.

Nachdem sich bei der Aufzeichnung der Herzfrequenz keine signifikanten Einflüsse beweisen ließen, wäre ein signifikanter Einfluss der Materialien auf den **Energieverbrauch** bzw. **Leistungsumsatz** (nach Berechnung der Herzfrequenz-Monitoring-Methode) mehr als überraschend gewesen. Absolut gesehen ergaben sich für die Materialien A und C keine Einflüsse, da Differenzen von 11 kcal (20°C) bzw. 4 kcal (30°C) als marginal angesehen werden können. Während der Fahrt in Material B lag der Leistungsumsatz im Vergleich mit den anderen Materialien bei 20°C am höchsten (33 bzw. 44 kcal mehr) und bei 30°C am niedrigsten (21 bzw. 25 kcal). Auch hier wurde der durchschnittlich höhere Energieverbrauch von 118 kcal im Vergleich der beiden Umgebungstemperaturen der höheren Belastung des Organismus zugesprochen.

Nach der Auswertung der **Gewichtsdifferenzen** und der **Trinkmenge** konnten weder bei 20°C noch bei 30°C signifikante Einflüsse nachgewiesen werden. Durchschnittlich verloren die *Probanden* 670 Gramm mehr an Körpergewicht bei den höheren Temperaturen im Vergleich zu den niedrigeren. Bei 20°C ergab sich zwischen Shirt C und B die maximale Differenz zwischen den drei Vergleichen der Materialien mit 110 Gramm. Bei 30°C lag diese Differenz zwischen Material A und C bei 180 Gramm. Bei der *Trinkmenge der Probanden* lag die durchschnittliche Differenz zwischen den beiden Umgebungstemperaturen bei 190 ml. Die Unterschiede mit maximal 67 ml bei 20°C bzw. 33 ml bei 30°C waren so verschwindend gering, dass hier nicht näher drauf eingegangen wird. Die *Gewichtszunahmen der Shirts* ergaben ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Es ist jedoch auffällig, dass bei 20°C Umgebungstemperatur Shirt A die niedrigste und Shirt C die höchste Gewichtszunahme hatte, während dies bei 30°C genau umgekehrt war. Des Weiteren war bei 30°C Shirt C auf Grund der höheren Hydrophilie schneller gesättigt und wies deshalb die geringste Gewichtszunahme auf. Die Unterschiede zwischen Material A und B waren gering und ließen sich durch die Materialeigenschaften erklären. Die Polyamidfaser nimmt ca. 4% des Eigengewichts an Flüssigkeit auf, bei

Polyester sind es nahezu 0%. Die *Gewichtszunahme der Hosen* ließ ebenfalls keine signifikanten Einflüsse erkennen.

Die gemittelte Oberflächentemperatur der Torsovorderseite (anhand der **Infrarotaufnahmen**) zum ZP 60 wies ebenfalls keine signifikanten Einflüsse auf, es waren jedoch zwei interessante Beobachtungen zu machen: Zum einen lag in beiden Umgebungstemperaturen die gemessene Temperatur in Material B am höchsten, und zum zweiten war die durchschnittliche Temperatur um über 2,5°C höher bei 30°C Umgebungstemperatur. Die lag bei 20°C bei 34°C und bei 30°C bei 36,72°C. Bei einer solchen Intensität kann davon ausgegangen werden, dass die Hauttemperatur nicht mehr sehr stark differiert an den einzelnen Körperstellen (beispielsweise zwischen Hand und Brust). Das bedeutet, dass die Probanden in jedem Material bei 20°C im Tragekomfortbereich lagen (32°C – 35°C nach Hohenstein). Bei 30°C lagen die Probanden in Material A und C im Diskomfortbereich (35°C – 37°C) in Material B sogar am Beginn des Bereiches „untragbar“ (ab 37°C). Diese Überlegung ist lediglich als Tendenz zu werten, da anhand der Infrarotaufnahmen keine einheitlichen, über den ganzen Körper gemittelten Messwerte vorlagen.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Jede Art von Textil auf der Haut stellt eine Isolation dar und beeinflusst die menschliche Thermoregulation. Unter kalten Bedingungen oder bei bestimmten Bewegungsgeschwindigkeiten (beispielsweise Radfahren bergab) ist diese Isolation erwünscht; in warmer Umgebung kann diese als unangenehm empfunden werden. Es wirkt sich jedoch negativ auf das allgemeine Komfortempfinden einer Person aus wenn diese auch nur an einer Körperstelle Diskomfort empfindet (wie etwa eine Hand im Eiswasser) (vgl. DAVEY et al. 2007).

Hydrophobe Fasern (wie Polyamid und Polyester) haben den Markt für funktionelle Bekleidung erobert. Der Abtransport des Schweißes von der Haut wird bei diesen Materialien durch textiltechnische Konstruktionen begünstigt (siehe Kap. 0). In der vorliegenden Arbeit sollte bewertet werden, inwieweit Material und Gestaltung unterschiedlicher Textilien und Konstruktionen (in Standardkonfektionierungen verarbeitet) Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung und messbare, objektive Parameter haben.

Da die erste (körpernahe) Lage im Schweißtransport und bei der Schweißverteilung, sowie der daraus resultierenden Verdunstungskälte eine besondere Rolle einnimmt, wird die Beurteilung der Fragestellung ob Material und Gestaltung einen Einfluss haben, anhand dieser ersten Schicht vorgenommen. Als Referenzsportart wird das Fahrradfahren gewählt, da es durch die extrem unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Belastungen sowie die hohe Beliebtheit im Breitensport (siehe Kap. 1) ideal zur Beantwortung der vorliegenden Fragestellung ist. Es konnten hohe metabolische Umsätze (Bergauffahrt) und wenig Fahrtwind genauso betrachtet werden, wie niedrige metabolische Umsätze (Bergabfahrt) und viel Fahrtwind.

MATHEWS et al. fanden 1969 bei einer Untersuchung mit neun Männern heraus, dass die Rektaltemperatur, die Hauttemperatur, die Herzfrequenz und der Gewichtsverlust der Versuchspersonen geringer waren wenn eine Belastung nur in Shorts, ohne Oberbekleidung, durchgeführt wird. In der vorliegenden Untersuchung bezieht sich die Vergleichbarkeit der physio-

logischen Parameter und der Komfortbewertung untereinander auf die unterschiedlichen, getragenen Textilien. Deshalb wurde hier darauf verzichtet als Referenz eine Untersuchung ohne Shirt mit nacktem Oberkörper durchzuführen.

Die Resultate dieser Arbeit lassen die Schlussfolgerung zu, dass sich die Funktionalität der getesteten Materialien voneinander unterscheidet. Die Ergebnisse sind u.a. von den komplexen Mechanismen der Wärmeverdunstung, Wärmeleitung und Wärmeisolation durch ein Textil abhängig (vgl. ROBERTS et al. 2007), deren Zusammenspiel maßgeblich die Erreichung der ausgeglichenen Wärmebilanz eines Menschen unter Belastung beeinflusst.

Einige Unterschiede in den subjektiven und objektiven Ergebnissen lassen sich durch die physikalischen Eigenschaften der textilen Fläche erklären. Nach Auswertung der Fragebögen konnte für den **Feldversuch** eine positive Tendenz für das winddichte Polyestershirt (Material B) gegenüber dem Polyamidshirt (Material A) abgeleitet werden. Vor allem in den Punkten Winddichtigkeit und Gesamturteil wurde bei den vorherrschenden Umgebungsbedingungen von knapp unter 20°C der Windstopper® favorisiert (signifikante Unterschiede). HAVENTITH sagte 2002, dass eine geringere Dicke des Textils die Schweißverdunstung begünstigt und der Transport von der Haut zur Oberfläche des Textils verbessert wird, da der Weg der Kapillarisation kürzer ist. Ist das Textil dicker, wird die Wärmeisolation erhöht und die Wasserdampfdurchgangsraten verringert. Bei den während des Feldversuchs vorherrschenden Umgebungsbedingungen, (mäßig warm und Fahrtwind) wurde von den Probanden die größere Dicke des Textils als angenehm empfunden und der höhere Wasserdampfdurchgangswiderstand (Shirt A 3,16 [m²Pa/W] und Shirt B 5,31 [m²Pa/W]) nicht negativ wahrgenommen. Die geringe Luftdurchlässigkeit durch das winddicht laminierte Textil wurde von den Testpersonen positiv bewertet. Die durchschnittliche Hauttemperatur wird generell durch einen erhöhten Luftstrom reduziert, wie es bei Shirt A der Fall war. Es ist bekannt, dass durch erhöhte Luftbewegung die konvektive Wärmeabgabe steigt und das Entfernen von Körperwärme an die Umgebung gefördert wird (vgl. HOUDAS et al. 1982). Nachdem in den anderen abgefragten subjektiven Bewertungen keine schlechte Beurteilung vorlag bzw.

bei den meisten Fragen eine positive Tendenz zu Gunsten des Shirts B erkennbar war, eignet sich in mäßig warmer Umgebung ein winddichtes Material gut zum Mountainbiken. Bei den objektiven Messdaten konnten keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden.

Generell hängt der Komfort von der Hautfeuchte und der Hauttemperatur ab (HAVENITH 2002). PARSON beschreibt 2000 vier anerkannte Bedingungen für den Komfort: die Wärmebilanz muss ausgeglichen sein, die durchschnittliche Hauttemperatur und die Schweißrate müssen sich auf einem (bestimmten) komfortablen Level befinden und es darf keinen lokalen Diskomfort geben. Grundsätzlich wurde das Material A in der **Klimakammer** in beiden Umgebungsbedingungen am besten bewertet. Lediglich bei der Winddichtigkeit schnitt Material B besser ab. Signifikante Unterschiede konnten häufig zwischen Material A und C (modifiziertes Baumwollshirt) nachgewiesen werden und weniger häufig zwischen Shirt B und C. Es lag hier jedoch immer eine negative Tendenz für das Baumwollmaterial C vor. Baumwollfasern sind dafür bekannt eine höhere Absorptionsrate gegenüber Wasser zu haben, als Polyamid- bzw. Polyesterfasern. Wenn die Baumwollfasern gesättigt sind erhöht sich der Faserdurchschnitt. Eine Folge dieser Erhöhung durch das Anschwellen ist die Reduzierung der Lochgröße was wiederum den Wasserdampfdurchgang verringert und die Feuchte im Mikroklima des Trägers erhöht (vgl. NIELSON 1986). Durch den nicht verdunsteten Schweiß klebt das Textil auf der Haut des Trägers und verursacht Diskomfort (PARSON 2002). Auch die textiltechnische Veränderung des Baumwollgarns in Form von hydrophober Ausrüstung, wie beim hier getesteten Shirt C, konnte die wasserliebenden Eigenschaften der Baumwolle nicht grundlegend verändern. Daher wurde nicht der gleiche positive Effekt wie bei von Haus aus hydrophoben Garnen erzielt.

Es ließ sich nur einmal ein signifikanter Einfluss von Material und Gestaltung bezüglich des Vergleichs von Shirt A mit Shirt B ermitteln (Winddichtigkeit bei 30°C). Die deutlich negative Beurteilung von Shirt C zog sich durch den gesamten Fragenkatalog in beiden Umgebungsbedingungen. Von den 30 möglichen zu untersuchenden Einflüssen schnitt Material C 29 Mal schlechter ab (davon konnte 16 Mal ein signifikanter Unterschied bewiesen werden).

In früheren Untersuchungen fanden Forscher bereits einen Zusammenhang zwischen Bekleidungsdesign und der Hauttemperatur bzw. Schweißrate konnten aber keinen für die Höhe der Körperkerntemperatur nachweisen (vgl. ROBERTS et al. 2007). Auch in der vorliegenden Studie ließen sich lediglich für die Hauttemperatur und die relative Hautfeuchte signifikante Einflüsse nachweisen. Hierbei schnitt, wie auch schon bei der subjektiven Beurteilung das Material C am schlechtesten ab. Eine niedrige durchschnittliche Hauttemperatur suggeriert einen höheren totalen Wärmefluss vom Körperkern zur Haut (vgl. HOUDAS et al. 1982). Wird durch einen reduzierten Wasserdampfdurchgang die Feuchte im Mikroklima erhöht wird der evaporative Wärmefluss reduziert (HAVENITH 2002) und das Gefühl des Diskomforts erhöht (UEDA 2006). Der konduktive Wärmefluss von der Haut zur Umgebung wird durch ein gesättigtes Textil erhöht. Die thermische Isolation eines Textils reduziert sich ebenso wenn ein nasses Textil in kalter Umgebung getragen wird (vgl. GAVIN 2003) wie in diesem Fall das Baumwollmaterial bei 20°C Umgebungstemperatur. In den primären, objektiven leistungsphysiologischen Parametern Körperkerntemperatur, Herzfrequenz, Gewichtsverlust (absolute Schweißrate) und Laktat der Probanden ließen sich ebenso wenig signifikante Einflüsse der Materialien und der Gestaltung nachweisen wie für die sekundären objektiven Parameter wie beispielsweise die Trinkmenge der Probanden und Gewichtszunahme von Shirt und Hose.

Die verschiedenen bisher veröffentlichten Studien fokussierten sich auf spezielle Sportarten, deren Belastung unter kontrollierten Laborbedingungen nachgestellt wurden (vgl. ROBERTS 2007). In der vorliegenden Studie wurde dagegen zusätzlich vorab ein Feldversuch durchgeführt, um mit den erhaltenen Erkenntnissen möglichst realitätsnahe Versuchsbedingungen im Labor simulieren zu können. Dennoch deckten sich die Ergebnisse aus dem Klimakammerversuch nicht mit denen des Feldversuchs. Während im Feldversuch das winddichte Polyestermaterial B eine positive Tendenz aufwies und ein deutlicher Unterschied im Gesamturteil nachgewiesen werden konnte, ergaben sich in der Klimakammer keine eindeutigen Unterschiede zwischen dem Shirt aus Polyamidfaser und dem winddicht verarbeiteten Polyester. Dies

kann sowohl auf die unterschiedlichen Klimabedingungen als auch auf das unterschiedliche Probandengut im Vergleich zum Feldversuch zurückgeführt werden.

Es konnten sowohl für Material A als auch für Material B Vor- und Nachteile aufgezeigt werden. Eine Verwendung der Shirts beim Radfahren im Alltag richtet sich nach dem zu erwartenden Anstrengungsgrad, noch mehr aber nach den klimatischen Bedingungen. Die funktionell ausgerüstete Baumwolle aber eignet sich ganz offensichtlich ebenso wenig für sportliche Ausdauerbelastung wie herkömmliche Baumwolle.

Ausblick

Zur Vervollständigung dieser Untersuchung ist als nächster Schritt ein neuerlicher Feldtest angebracht, in dem die objektiven physiologischen Werte auf die gleiche Weise aufgezeichnet und ausgewertet werden wie in dem bereits durchgeführten Klimakammerversuch. Diese Messung sollte auch eine Wiederholungsmessung und Messungen in jedem Versuchsmaterial beinhalten.

Wie bereits in Kapitel 4.1 ausgeführt, wäre eine eingehende Untersuchung zu den ermittelten Parametern bzgl. geschlechtsspezifischer Unterschiede sehr interessant und sinnvoll.

Des Weiteren empfiehlt sich eine empirische und physiologische Untersuchung beispielsweise im (Trail-) Runningsport um die Übertragbarkeit der erbrachten Ergebnisse auf die Anwendung in weiteren Ausdauersportarten zu überprüfen.

5 Zusammenfassung

In den letzten Jahren stieg die Vielfalt der auf dem Markt befindlichen Funktionstextilien ständig an. Als Zielgruppe gelten die leistungsorientierten Breiten- und Freizeitsportler. Untersuchungen von Textilien beziehen sich aber hauptsächlich auf den Leistungssport bzw. den Arbeitsschutz.

In der vorliegenden Studie wird am Beispiel des Radfahrens untersucht inwieweit die körpernah getragene Funktionsbekleidung ausgewählte physiologische Parameter beeinflusst, und wie die Komfoteigenschaften von den Probanden beurteilt werden. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Breiten- und Freizeitsport und nicht auf dem Leistungssportbereich.

Es wurden ein Feldtest mit 20 Sportstudenten in Bovec, Slowenien und ein kontrollierter Klimakammerversuch mit zwölf männlichen Probanden bei der Firma GORE in Putzbrunn, Deutschland, durchgeführt. Im Feldversuch (\varnothing 19°C; 80% relative Luftfeuchtigkeit) wurden anhand eines Polyamid-Fahrradtrikots und eines winddichten Polyestershirts die objektiven Parameter Herzfrequenz und Fahrtdauer aufgezeichnet und subjektive Empfindungen (Komfortempfinden, Körperwärmeempfinden, Schweißaufnahme, Tragekomfort, Winddurchlässigkeit, hautsensorisches Empfinden, Passform, Geruch und Gesamturteil) mittels Fragebogen, sowohl nach der Bergauf- als auch nach der Bergabfahrt, abgefragt. In der Klimakammer wurden unter kontrollierten Bedingungen drei unterschiedliche Shirts (Polyamid-Fahrradtrikot, winddichtes Polyestershirt, funktionell ausgestattetes Baumwollshirt) jeweils bei 20°C und 30°C und 50% relativer Luftfeuchtigkeit in zweistündigen Testfahrten untersucht. Hierbei wurden Hauttemperatur, relative Feuchte auf der Haut, Körperkerntemperatur, Herzfrequenz und Laktat gemessen und Infrarotaufnahmen gemacht. Zur subjektiven Bewertung füllten die Testpersonen während des Versuchs alle fünf Minuten ihre persönlichen Einschätzungen zur Körperwärme, Körperfeuchte, Komfortempfinden und Belastungseinschätzung mittels Borg Skala aus. Nach Abschluss der Testfahrt wurde zusätzlich ein Fragebogen ausgefüllt (analog Feldversuch).

Für den Feldversuch ließen sich bei den subjektiven Parametern signifikante Einflüsse nach der Bergauffahrt für die Schweißabsorption ($p = 0,010$), den Thermischen Komfort ($p = 0,049$), die Winddichtigkeit ($p = 0,001$) und das Gesamturteil ($p = 0,001$) zu Gunsten des winddichten Shirts erkennen. Nach der Bergabfahrt gab es signifikante Unterschiede bei der Schweißnässestelle am Rücken ($p = 0,026$), der Winddichtigkeit ($p = 0,007$) und im Gesamturteil ($p = 0,005$), ebenfalls zu Gunsten des winddichten Materials. In den weiteren Fragestellungen ließen sich mit Ausnahme der Passform weitere positive Tendenzen für das winddichte Material ableiten. Bei den objektiven Parametern sind keine signifikanten Einflüsse nachzuweisen. Jedoch scheint hier, anders als bei den subjektiven Bewertungen, das Polyamidtrikot vorteilhafter zu sein, da sowohl sämtliche Fahrdauern kürzer sind, als auch die Herzfrequenz bis auf eine Ausnahme niedriger liegt.

Im Klimakammerversuch gab es bei den subjektiven Empfindungen vor allem einen signifikanten Unterschied bezüglich des Tragekomforts. Hier schnitt das funktionell ausgerüstete Baumwollshirt (bis auf eine Ausnahme) durchgehend (signifikant) schlechter ab als die beiden anderen Materialien. In der weiteren subjektiven Beurteilung durch den Fragebogen erhält das Polyamidtrikot die besten Beurteilungen, das Baumwolltrikot die Schlechtesten. Lediglich in der Winddichtigkeit (bei Umgebungstemperaturen von 30°C) schneidet das winddichte Material besser ab als das Polyamidtrikot. Beim Test auf Signifikanz der objektiven Parameter ließen sich nur wenige Einflüsse (lediglich in Hauttemperatur und relativer Hautfeuchte) des Materials auf die jeweiligen Parameter nachweisen. Tendenziell schnitt die funktionell ausgerüstete Baumwolle auch hier am schlechtesten ab. Für die primären objektiven leistungsphysiologischen Parameter Körperkerntemperatur, Herzfrequenz und Gewichtsverlust (absolute Schweißrate) der Probanden ließen sich ebenso wenig signifikante Einflüsse der Materialien und der Gestaltung nachweisen, wie für die sekundären objektiven Parameter Trinkmenge und Gewichtszunahme von Shirt und Hose.

Die Ergebnisse aus dem Klimakammerversuch decken sich nicht mit denen des Feldversuchs. Während im Feldversuch das winddichte Polyester material B eine positive Tendenz aufweist und ein deutlicher Unterschied im Gesamturteil

nachgewiesen werden kann, ergeben sich in der Klimakammer keine eindeutigen Unterschiede zwischen dem Shirt aus Polyamidfaser und dem winddicht verarbeiteten Polyester. Dies kann sowohl auf die unterschiedlichen Klimabedingungen als auch auf die unterschiedlichen Probanden im Feldversuch zurückgeführt werden.

Wie in Kapitel 4.1 dargestellt, wäre eine eigenständige Untersuchung zu den ermittelten Parametern bezüglich geschlechtsspezifischer Unterschiede sehr interessant. Des Weiteren ist eine empirische und physiologische Untersuchung im (Trail-) Runningsport zu fokussieren, um die Übertragbarkeit der erbrachten Ergebnisse auf die Anwendung in anderen Ausdauersportarten zu überprüfen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass körpernah getragene Kleidung in Material und Gestaltung für den Freizeit- und Breitensport kaum Einfluss auf die messbaren physischen Parameter hat. Es werden sowohl für Material A (Polyamid-Fahrradtrikot) als auch für Material B (winddichtes Polyestershirt) Vor- und Nachteile aufgezeigt. Eine Verwendung der Shirts beim Radfahren richtet sich nach dem zu erwartenden Anstrengungsgrad, noch mehr aber nach den klimatischen Bedingungen. Die funktionell ausgerüstete Baumwolle eignet sich nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung ebenso wenig für sportliche Ausdauerbelastung wie eine herkömmliche Baumwolle ohne spezielle Ausrüstung.

Verzeichnisse

Literaturverzeichnis

- Ainslie, P.N., Campbell I.T., Frayn, K.N., Humphreys, S.M., MacLaren, D.P. & Reilly, T. (2003). Physiological, metabolic, and performance implications of a prolonged hill walk: influence of energy intake. *Journal of applied physiology*, 94 (3), pp. 1075-1083.
- Ainslie, P.N., Campbell, I.T., Lambert, J.P., MacLaren, D.P. & Reilly, T. (2005). Physiological and metabolic aspects of very prolonged exercise with particular reference to hill walking. *The Journal of sports medicine*, 35 (7), pp. 619-647.
- Arngrimsson, S.A., Petitt, D.S., Stueck, M.G., Jorgensen, D.K. & Cureton K.J. (2003). Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *Journal of applied physiology*, 96(5), pp. 1867-1874.
- Aschoff, J. (1971). Temperaturregulation. In: Gauer, O.H., Kramer, K. & Jung, R. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen Band 2: Energiehaushalt und Temperaturregulation*. München-Berlin-Wien: Urban und Schwarzenberg.
- ASHRAE (1996). *Thermal comfort conditions, ASHRAE standard 55.66*, New York.
- Atteslander, P. (2003). *Methoden der empirischen Sozialforschung (10. Aufl.)*. Berlin, New York: Walter de Gruyter GmbH.
- Balazs, E. (1996). *Prüfanweisung GTL Labor, Gewichtsbestimmung, Putzbrunn*.
- Bartels, V.T. (2003). *Erforschung der textilen Konstruktionsparameter für innovative Kleidungssysteme für den Bereich Sport und Arbeitsschutz mit verbesserter physiologischer Funktion. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 12846*. Bönningheim: Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein.
- Bartels, V.T. (2004). *Entwicklung von Textilien für Chemikalienschutzanzüge verschiedener Typen mit optimierter bekleidungsphysiologischer Funktion. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 13294 N*. Bönningheim: Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein.
- Bartels, V.T. (2005). *Physiological comfort of sportswear*. In: R. Shishoo (Ed.) *Textiles in Sport*. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 177-203.
- Bartels, V.T. (2006). *Bekleidungsphysiologische Optimierung von Futterstoffen zur Verbesserung des flüssigen Schweißtransports in wasserdichter Funktionskleidung. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 13614 N*. Bönningheim: Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein.

- Bartels, V.T. (2006). Hautsensorische Eigenschaften von Funktionsfutterstoffen. In: Melliland Textilberichte, pp. 566-568.
- Bartels, V.T. (2006). Physiological Comfort of Biofunctional Textiles. In: G. Burg (Ed.), Biofunctional Textiles and the Skin, vol. 33, pp. 51-66 Basel: Karger AG.
- Beck, J. & Bös K. (1995). Normwerte motorischer Leistungsfähigkeit. Köln: Sport und Buch Strauß GmbH.
- Berg, van den F. (Hrsg.) (2000). Angewandte Physiologie, Band 2 (10. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Besnard, Y., Launay, J.C., Giunet-Lebreton, A. & Savourey, G. (2004). PREDICTOL: A computer program to determine the thermophysiological duration limited exposures in various climatic conditions. Computer methods and programs in biomedicine, 76 (3), pp. 221-228.
- Borg, G. (1999). Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign IL: Human Kinetics.
- Bös, K., Hänsel, F. & Schott, N. (2004). Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft (2. Aufl.). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Branton, P. (1969). Behavior, body mechanics and discomfort. In: E. Grandjean (Ed.), Sitting posture. London: Taylor & Francis.
- Bruhwyler, P.A., Buyan, M., Huber, R., Bogerd, C.P., Sznitman, J., Graf, S.F. & Rosgen, T. (2006). Heat transfer variations of bicycle helmets. Journal of Sport Science, 24 (9), pp. 999-1011.
- Bruhwyler, P.A., Ducas, C., Huber, R. & Bishop, P.A. (2004). Bicycle helmets ventilation and comfort angle dependence. Journal of applied physiology, 92 (6), pp. 698-701.
- Bühl, A. & Zöfel P. (2002). SPSS 11. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows (8. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Caps, R. (1990). Quantifizierung, Messung und Bewertung des hautsensorischen Tragekomforts von Textilien durch ein Vorhersagemodell. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 7169. Bönningheim: Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein.
- Choi, J.W., Lee, J.Y. & Kim, S.Y. (2003). Effects of thermal underwear on thermal and subjective responses in winter. Journal of applied anthropology and applied human science, Jan. 22(1), pp. 29-36.
- Czutka, M (2000). Wind – ein unterschätztes Risiko; Sonderdruck: Der Betriebsleiter. Putzbrunn.

- Davey, S., Reilly, T., Newton, M. & Tipton, M. (2007). The reproducibility and validity of visual analogue scales (VAS) that assess thermal perceptions in stable and dynamic, asymmetric environments. In: I. B. Mekjavic, S. N. Kounalakis, N. A. S. Taylor (Ed.): Environmental Ergonomics XII. Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Ergonomics. August 19-24, 2007. Piran, Slovenia.
- de Marées, H. & Mester, J. (1982). Sportphysiologie Band 2. Aarau: Verlag Sauerländer AG.
- de Marées, H. (1981). Sportphysiologie. Köln-Mülheim: Troponwerke.
- Deetjen, P., Speckmann, E.-J. & Heschler, J. (2005). Physiologie (4. Aufl.). München: Urban & Fischer Verlag.
- Deutscher Wetterdienst (1995). Die gefühlte Temperatur; Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie. Freiburg.
- Dickhuth H.H., Huonker, M., Drexler, H., Berg, A. & Keul, J. (1991). Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunctions. In: Bachl, N., Graham, T.E. & Löllgen, H. (Hrsg.). Advances in Ergometry. Berlin: Springer.
- Diebschlag, W. (1976). Thermophysiologische Untersuchungen am Menschen als Grundlage einer optimalen Auslegung von Bekleidungssystemen. München: Dissertation an der Technischen Universität München.
- Dieterich, E. & Maurer, B. (2003). Wäsche für Sport-/Berufsleben und Alltag. In P. Knecht (Hrsg.), Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- Dieterich, E. (2003). Beratungsgrundlagen für den Handel bei Sportbekleidung. In: P. Knecht (Hrsg.), Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- dtv Lexikon (1999). Band 5. München: Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG.
- Eberspächer, H. (1993). Sportpsychologie. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Epstein, Y. & Moran, D.S. (2006). Thermal Comfort and the heat stress indices. Industrial Health 44, pp. 388-398.
- Fanger, P.O. (1973). Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill.

- Fogarty, A., Armstrong, K., Gordon, C., Groeller, H., Woods, B., Stocks, J. & Taylor, N. (2004). Cardiovascular and thermal consequences of protective clothing: a comparison of clothes and unclothed states. *Ergonomics*, Aug. 47(10), pp. 1073-1086.
- Fröhlich, H. (2005). Die Herzfrequenz-Monitoring-Methode zur Bestimmung des Energieverbrauchs in Felduntersuchungen – Evaluierung und Anwendung. Bayreuth: Dissertation an der Universität Bayreuth.
- Gagge, A.P., Nishi, Y. (1976). Physical indices of the thermal environment. *ASHRAE Journal* (January). pp. 47-51.
- Gavin, T.P. (2003). Clothing and thermoregulation during exercise. *Journal of sports Medicine*, 33 (13), pp. 941-947.
- Gebhardt, H., Kampmann, B. & Müller, B. H. (2007). Erprobung der Anwendung des PHS-Modells bei der Gestaltung von Arbeits- und Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Dortmund.
- Gottbrath, T. (2003). Outdoorbekleidung. In: P. Knecht (Hrsg.), *Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente*. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- Graf, O. (1961). Arbeitsablauf und Arbeitsrhythmus. In: Lehmann, G. (Hrsg.) *Arbeitsphysiologie*. Berlin: Urban und Schwarzenberg.
- Grosser, M. & Starischka, S.(1998). *Das neue Konditionstraining für alle Sportarten* (7. Aufl). München: BLV Sportwissen.
- Haber, P (2004). *Lungenfunktion und Spiroergometrie. Interpretation und Befunderstellung*. Wien: Springer-Verlag.
- Hassi, J., Rytkonen, M., Kotaniemi, J. & Rintamaki, H. (2005). Impacts of cold climate on human heat balance, performance and health in circumpolar areas. *International journal of circumpolar health*, 64 (5), pp. 459-467.
- Havenith, G. (2001). Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *Journal of Applied Physiology*. 90, pp. 1943-1954.
- Havenith, G. (2002). Interaction of clothing and thermoregulation. *Exogenous Dermatology*. 1, pp. 221-230.
- Heck, H. & Rosskopf, P. (1993). Die Laktat-Leistungsdiagnostik – valider ohne Schwellenkonzepte. *TW Sport + Med*. 5, pp. 344-352.
- Heled, Y., Epstein, Y. & Moran, D.S. (2004). Heat strain while wearing NBC clothing: dry-ice vest compared to water spray. *Aviation, space and environment medicine*, 75 (5), pp. 391-396.

- Hertzberg, H.T.E. (1972). The human buttock in sitting: pressures, patterns and palliatives. American Automobile Transactions, Vol. 72, pp. 39-47.
- Hieke, S. (2005). Betrachtung der bekleidungsphysiologischen Eigenschaften von funktioneller Baumwolle für den Einsatz in Sportunterwäsche und Trikots. Zwickau: Diplomarbeit an der Westsächsischen Hochschule (FH).
- Hocke, M., Schopper-Jochum, S. & Schubert, W. (o.J.). Vergleichende Bewertungen des Trageverhaltens von Feuerwehr-Einsatzjacken Phase I. In: Gesundheitsschutz und Arbeitsmedizin des Werkes Hoechst der HOECHST AG (Leitung: Dr. F. Schuckmann), der Werkfeuerwehr des Werkes Hoechst der HOECHST AG (Leitung: Dr.-Ing. W. Heeg) und dem Institut für angewandte Ergonomie – Prof. Dr. Kurz und Dr. Hocke, München (Leitung: Dr.-Ing. M. Hocke).
- Hofer, A. (1994). Stoffe 2. (7. Aufl.). Frankfurt am Main: Deutscher Fachbuchverlag GmbH.
- Hofmann, I. (2003). Funktionstextilien im Bekleidungssektor – Eine Betrachtung aus internationaler Sicht. In: P. Knecht (Hrsg.), Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen – Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). Sportmedizin (4. Aufl.). Stuttgart: Schattauer Verlag GmbH.
- Houdas, Y. & Ring, E.F.J. (1982). Human body temperature: its measurement and regulation. New York: Plenum Press.
- Huber, S. (2001). Eine Untersuchung zum Einfluss von Atmungsaktivität bei funktioneller winddichter Sportbekleidung auf ausgewählte physische Leistungsparameter und den Tragekomfort im Zusammenhang mit körperlicher Arbeit. München: Diplomarbeit an der Technischen Universität München.
- Hübner, H. & Voigt, F. (2004). Zum Stand der kommunalen Sportentwicklung in Deutschland. In: Arbeitsgemeinschaft Deutscher Sportämter (ADS), Gemeinde und Sport 2/2004, pp. 7-46.
- Hübner, H. (2005, 6. Januar). Ergebnisse der Umfrage zu den Sport- und Bewegungsaktivitäten der Bremer Bevölkerung. Zugriff am 20. April 2007 unter <http://www2.uni-wuppertal.de/fb3/sport/sportsoziologie>.
- ISO 7730 (1984). Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort. ISO, Geneva.
- Jeschke, D., Heitkamp, H. C., Locher, R., Schneider, D., Simon, M & Zintel, W. (1983). Aerobe Kapazität und anaerobe Schwelle bei unterschiedlichen Belastungsmethoden auf dem Fahrradergometer. In: Mellerowicz, H., Franz, I. W. (Hrsg.): Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie. Erlangen: Perimed.

- Kindermann, W. (1983). Leistungsdiagnostik in Sportsportarten (Fußball, Handball). In: Flöthner E., Hort, W. (Hrsg.): Sportmedizin im Mannschaftssport. Erlangen: Perimed. pp. 22-34.
- Kindermann, W. (2004). Anaerobe Schwelle. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 55 (6). pp. 161-162.
- Knecht, P. (2007, 3. Mai). Messeneuheiten ispo Winter 2007. Zugriff am 06. Mai 2007 unter <http://www.funktionstextilien.de/content/view/291/118/>.
- Knecht, P. (Hrsg.). (2003). Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- Kulka, T.J. & Kenney, W.L. (2002). Heat balance limits in football uniforms: how different uniform ensembles alter the equation. The physician and sportsmedicine. 30 (7).
- Kunsch, K. & Kunsch, S. (2007). Der Mensch in Zahlen. 3. Aufl. München: Spektrum Akademischer Verlag.
- Langenmeir, S. (2004). Der Einfluss lokaler Luftpolster als Isolation auf die Hauttemperatur und das subjektive Komfortempfinden von Probanden bei nass-kalten Umgebungsbedingungen und wechselnden Belastungsphasen. Reutlingen: Diplomarbeit an der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft.
- Lee, M.S., Kim, H.J, Song, J., Park, K.W. & Moon, S.R. (2004). Effects of multifunctional fabrics on cardiac autonomic tone and psychological state. The International Journal of neuroscience, 114 (8), pp. 923-931.
- Lippert, H. (2003). Lehrbuch Anatomie (6. Aufl.). Urban & Fischer Verlag. München.
- Livingstone, M.B.E., Coward, W.A., Prentive, A.M., Davies, P.S.W., Strain, J.J., McKenna, P.G., Mahonney, C.A., White, J.A., Stewart, C.M. & Kerr M.J. (1992). Daily energy expenditure in free-living children: comparison of heart-rate monitoring with the doubly labeled water (H₂O) method. In: American Journal of Clinical Nutrition 56, pp. 343-352.
- Löllgen, H. & Erdmann, E. (Hrsg.) (2000). Ergometrie (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Löllgen, H. (2004). Das Anstrengungsempfinden. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 55 (11), pp. 299-300.
- Lübber, J. (2005). Funktionale Fasern und Textilien. tec21 Fachzeitschrift für Architektur, Ingenieurwesen und Umwelt, (41), pp. 10-13.
- Luckmann, U. (2001). Touchbuch. Wiesbaden: Verlag Chmielorz GmbH.

- Luckmann, U. (2003). Der lange Weg von der Idee zum multifunktionellen Textilprodukt. In: P. Knecht (Hrsg.), Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte - Verkaufsargumente. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- Mathews, D.K., Fox, E.L. & Tanzi, D. (1969). Physiological responses during exercise and recovery in a football uniform. *Journal of Applied Physiology* 26 (5).
- Mauderer, V. (1977). Die Wärmeabgabe des Menschen aus Berechnung und Versuch. München: Dissertation an der Technischen Universität München.
- McCullough, E.A. & Kenny, W.L. (2003). Thermal insulation and evaporation resistance of football uniforms. *Medicine and science in sports and exercise*, 35 (5), pp. 832-837.
- Mecheels, J. (1971). Die Messung der funktionellen Wirkung der Kleidung auf den Menschen. In: Melliland Textilberichte, 8/1971, pp. 967-974.
- Mecheels, J. (1986). Leistungsfähig und komfortabel in funktioneller Kleidung. In: *Textilveredelung* 21 Nr. 10, pp. 323-330.
- Mecheels, J. (1998). Körper-Klima-Kleidung. Berlin: Fachverlag Schiele & Schön GmbH.
- Mecheels, J. & Umbach, K.-H. (1976). Thermophysiologische Eigenschaften von Kleidungssystemen. In: *Melliland Textilberichte*, 12/1976, p. 57.
- Meir, R.A., Davie, A.J., & Ohmsen, P. (1990). Thermoregulatory responses of rugby league footballers playing in warm humid environments. *Journal of Sports & Health*. 8(4), pp. 1-14.
- Meir, R.A., Lowdon, B.J., Davie, A.J. (1994). The effect of jersey type on thermoregulatory responses during exercise in a warm humid environment. *Australian Journal Science Med. Sport*. 26 (1/2), pp. 25-31.
- Mellerowicz, H. & Franz, I. W. (Hrsg.) (1983). Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie. Erlangen: Perimed.
- Mergl, C. (2006). Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen. München: Dissertation an der Technischen Universität München.
- Mosteller, R.D. (1987). Simplified calculation of body-surface area. In: *NEJM* 1987, 317, pp. 1098-1099.
- Myhre, L.G. & Muir I.H. (2002). Physiological responses of women tennis players wearing one and two-piece uniforms in a warm and humid environment. *Journal of Medicine & Science in Sports & Exercise*. 34 (5), p. 84
- Newburgh, L.H. (1968). *Physiology of heat regulation and the science of clothing*. New York: Hafner publishing company, Inc. p. 283.
- Nielsen, R. (1986). Clothing and thermal environments: field studies on industrial work in cool conditions. *Applied Ergonomics*. 17 (1), pp. 47-57.

- Nielsen, R. & Endrusick, T.L. (1990). Thermoregulatory responses to intermittent exercise are influenced by knit structure of underwear. *European Journal of Applied Physiology*, 60 (1), pp. 15-25.
- Nocker, W. & Czutka M. (2004). Windstopper Next to Skin: Funktion direkt auf der Haut. In: *Melliland Bekleidung*, 9/2004. p. 712.
- Nocker, W. (1980). *Bekleidungsphysiologische Berechnungen auf der Grundlage humanphysiologischer und textilphysikalischer Parameter*. München: Dissertation an der Technischen Universität München.
- Parson, K. (2000). Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*. 31, pp. 581-594.
- Parson, K. (2003). *Human thermal environments: The effect of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*, 2nd ed. London: Taylor & Francis.
- Pellerin, N., Deschuyteneer, A. & Candas, V. (2004). Local thermal unpleasantness and discomfort prediction in the vicinity of thermoneutrality. *European Journal of Applied Physiology*, 92 (6), pp. 717-720.
- Planck, H. (2003). Die Revolution bei Fasern, Garnen und Konstruktionen. In: P. Knecht (Hrsg.), *Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente*. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- Puhe, H. & Leisner, C. (2007). Sportverhalten in Deutschland 2006. Zugriff am 20.04.2007 unter http://www.soko-institut.de/docs/praesentationsauszug_2006.pdf.
- Puhe, H., Ossyssek F. & Leisner, C. (2007). Sportverhalten in Deutschland 2005. Zugriff am 20. April 2007 unter http://www.soko-institut.de/docs/kurzauswertung_sportstudie_2005.pdf.
- Qian, X. & Fan, J. (2006). Prediction of clothing thermal insulation and moisture vapour resistance of the clothed body walking in wind. *The Annals of occupational hygiene*, 50(8): pp. 833-842.
- Reifler, F.A., Ritter, A. & Ellmann, J. (2002). SMOG – eine Methode zur Erfassung der Antismell-Wirksamkeit. *Textilveredelung*, 37 (11/12), pp. 5-9.
- Reulein, T. (2002). *Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Nachwuchs- und Spitzenseglern – dargestellt am Beispiel der Einhand-Jollenklassen Laser und Europe*. München: Dissertation an der Technischen Universität München.

- Richards, M.G. & Fiala, D. (2004). Modelling fire-fighter responses to exercise and asymmetric infrared radiation using a dynamic multi-mode model of human physiology and results from the sweating agile thermal skin. *European journal of applied physiology*, 92 (6), pp. 649-653.
- Ried, M. (1989): *Chemie im Kleiderschrank*, Reinbeck: Rowohlt Verlag GmbH.
- Rintamaki, H. & Rissanen, S. (2006) Heat strain in cold. *Industrial Health*, 44(3), pp. 427-432.
- Roberts, B.C., Waller, T.M. & Caine, M.P. (2007). Thermoregulatory Response to Base-Layer Garments During Treadmill Exercise. *International Journal of Sport Science and Engineering*. 1 (1), pp. 29-38.
- Rossi, R. & Bolli, W. (2005). Phase Change Materials for Improvement of Heat Production. *Advanced Engineering Materials*, 7 (5), pp. 365-373.
- Rossi, R. & May, H. (2002). New concept for a physiologically optimised winter clothing for the Swiss army. In: *Proceedings of Avantex*, 13. – 15. Mai 2002, Frankfurt. Frankfurt: Messe Frankfurt.
- Rossi, R. (2003). Fire fighter and its influence on the body. *Ergonomics*, 46 (110), pp 1017-1036.
- Rossi, R. (2005). Neue Entwicklungen für Feuerschutzkleidung. *Technische Textilien*, (1), pp. 47-49.
- Rossi, R., Gross, R. & May, H. (2004). Water Vapour Transfer and Condensation Effects in Multilayer Textile Combinations. *Textile Research Journal* 2004, 74 (1), pp. 1-6.
- Rossi, R., Indelicato, E. & Bolli, W. (2004). Hot Steam Transfer Through Heat Protective Clothing Layers. *International Journal of Occupational Safty and Ergonomics (JOSE)*, 10 (3), pp. 239-245.
- Rossi, R. & May, H. (2002). Optimierte Winterbekleidung für die Schweizer Armee. *Technische Rundschau* 2002, 94 (24), pp. 20-22.
- Roskopf, P. (1996). Atemfrequenz als Parameter der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung: Untersuchung zur Anwendbarkeit im Breitensport. Hamburg: Kovač.
- Röthig, P. (1983). *Sportwissenschaftliches Lexikon*. Schorndorf: Hofmann.
- Schlomski, I. (2003). Von der Natur abgeschaut – Wie neue funktionelle Textilien entstehen. In P. Knecht (Hrsg.), *Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente*. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.

- Schmid, P., Schwabinger, G., Pessenhofer, H. & Gaisl, G. (1983). Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmung des aerob-anaeroben Überganges. In: Mellerowicz, H. & Franz, I. W. (Hrsg.): Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie. Erlangen: Perimed.
- Schmidt, R.F. & Thews, G. (Hrsg.) (1995). Physiologie des Menschen (26. Auflage). Berlin: Springer-Verlag.
- Schmidtke, H. (Hrsg.) (1981). Lehrbuch der Ergonomie. München: Carl Hanser Verlag.
- Schneider, R. (2003). Die Bedeutung von Ausrüstungen. In: P. Knecht (Hrsg.), Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- Schnell, R., Esser, E. & Hill, P.B. (1999). Methoden der empirischen Sozialforschung (6.Aufl.). München, Wien.
- Schön, G. (2002). Untersuchung des Einflusses von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit auf die Körperkern-, Haut-, Fußtemperatur und Herzfrequenz in Abhängigkeit von unterschiedlicher Bekleidung und Schuhen in einer Klimakammer. Bochum: Diplomarbeit an der Ruhr-Universität Bochum.
- Schofield, W.N. (1985). Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. In: Human Nutrition: Clinical Nutrition 39, pp. 5-41.
- Selm, B (2005). Textile Materialien für medizinische Anwendungen. Textilveredelung 2005, 1 (2), pp. 8-11.
- Simon, E. (1995). Wärmehaushalt und Temperaturregelung. In: Schmidt, R.F. & Thews, G. (Hrsg.). Physiologie des Menschen (26. Aufl.). Berlin: Springer Verlag. pp. 649-671.
- Smolander, J., Kuklane, K., Gavhed, D., Nilsson, H. & Holmer, I. (2004). Effectiveness of a light-weight ice-west for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat. International journal of occupational safety and ergonomics, 10 (2), pp. 111-117.
- Spitzer, H., Hettinger, T. & Kaminsky, G. (1982). Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit. Berlin-Köln: Beuth-Verlag.
- Staiger, H., Bucher, K. & Jendritzky, G. (1996). Gefühlte Temperatur, die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl Grad Celsius. Freiburg: Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie.
- Stangl, W. (1997). Zur Wissenschaftsmethodik in der Erziehungswissenschaft. In: Werner-Stangls-Arbeitsblätter. <http://paedpsych.jk.uni-linz-ac.at/html>. Letzte Aktualisierung am: 13.7.2007. Zugriff am 09.09.2007.

- Stegemann, J. (1984). *Leistungsphysiologie, Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports* (3. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Strauss, R.H. (1983). *Sportmedizin und Leistungsphysiologie*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
- Ueda, H., Inoue, Y., Matsudaira, M., Araki, T. & Havenith, G. (2006). Regional microclimate humidity of clothing during light works as a result of the interaction between local sweat production and ventilation. *International Journal Clothing Science and Technology*. 18 (4), pp. 225-234.
- Umbach, K.H. & Bartels, V.T. (2001). *Bekleidungsphysiologische Optimierung von Feuerwehr-Schutzkleidung*. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 11990. Bönningheim: Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein.
- Umbach, K.-H. (1980). Messungen der bekleidungsphysiologischen Eigenschaften von Textilien. In: *Melliland Textilberichte*, 61/1980, pp. 543-548.
- Umbach, K.-H. (1993). *Bekleidungsphysiologische Gesichtspunkte zur Entwicklung von Sportbekleidung*. In: *Wirkerei- und Strickereitechnik* 43, pp. 108-114.
- Umbach, K.H. (2003). *Die physiologische Funktion der Bekleidung*. In P. Knecht (Hrsg.), *Funktionstextilien: High-Tech-Produkte bei Bekleidung und Heimtextilien; Grundlagen - Vermarktungskonzepte – Verkaufsargumente*. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH.
- Wakabayashi, H.; Hanai, A.; Yokoyama, S. & Nomura, T. (2006). Thermal insulation and body temperature wearing a thermal swimsuit during water immersion. *Journal of physiological anthropology*, 25 (5), pp. 331-338.
- Waterhouse, J.; Aldemir, H.; Cable, T.; Atkinson, G.; Edwards, B. & Reilly, T. (1999). Time of day and the thermoregulatory response to exercise. *Journal of Sport Science*. 17, pp. 905-929.
- Weder, M (2002). *Entwicklung von Produkten mit verbessertem Tragekomfort*. In: 7. Empa Textiltagung Funktionsbekleidung – High-Tech für mehr Komfort, Zürich, 21.3.2002: Proceedings, St. Gallen: EMPA.
- Weder, M. (2002). *Physiologische Eigenschaften von funktionellen Bekleidungssystemen bei tiefen Temperaturen*. In: Proceedings. Herbst-Symposium D-Sayn.
- Weder, M. (2003). *Physiologische Eigenschaften und Ausrüstungsmöglichkeiten funktioneller Textilien*. In: *Taschenbuch für die Textilindustrie*. Berlin: Schiele & Schön, pp. 358-366.
- Weineck, J. (1996). *Optimales Training* (9. Aufl.). Balingen: Perimed Spitta-Verlag GmbH.
- Weineck, J. (1996). *Sportbiologie* (5. Aufl.). Balingen: Spitta Verlag GmbH.

- Wenzel, H.G. & Piekarski, C (1982). Klima und Arbeit (2. Aufl.). München: Bayerisches Staatsministerium für Arbeit- und Sozialordnung.
- Willimczik, K. (1999). Statistik im Sport, Forschungsmethoden in der Sportwissenschaft Band 1 (4. Aufl.). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (1994). Physiology of sports and exercise. Champaign In: Human Kinetics.
- Wittmann, G. & van de Ven, H. (2007). New Developments in Protective Wear Based on Sympatex Membrane Systems. In: 46. Chemiefasertagung Dornbirn. 17. – 19. September 2007. Dornbirn: Chemiefasertagung.
- Wittmers, L.E & v. Savage, M. (2001). Cold water immersion. In D.E. Lounsbury & R. F. Bellamy (Ed.), Medical Aspects of Harsh Environments, Volume 1. Washington DC: Office of the Surgeon General, Department of the Army.
- Wrage, A., Schröder, J., Ziegler, M., Reer, R. & Braumann, K.M. (2005). Vergleich verschiedener Schwellenkonzepte des Maximalen Laktat-steady-state. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. Jahrgang 56 (7/8). pp. 219-220.
- Zhang, H. (2003). Human Thermal Sensation and Comfort in Transient and Non-Uniform Thermal Environments. Berkeley: PhD Thesis at University of California.
- Zhang, L., Helander, M.G. & Drury, C.G. (1996). Identifying Factors of comfort and discomfort in sitting. Human Factors and Ergonomics Society. Vol. 38, No. 3, pp. 377-389.
- Zander, R. & Thews, O. (2006). Mobile Laktat-Messgeräte. In: QualiTest® Heft 9, September 2006. Mainz: Test-Labor für Hämodiagnostik.

Abkürzungsverzeichnis

a	Körperoberfläche
ANOVA	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
BMI	Body Mass Index
d	Diskomfortfaktor
G	Körpergröße
HF	Herzfrequenz
IAS	individuelle anaerobe Schwelle
i_m	Feuchtedurchgangindex
KG	Körpergewicht
kcal	Kilokalorie
KJ	Kilojoule
KOF	Körperoberfläche
p_a	Wasserdampfpartialdruck
p_s	mittlerer, gewichteter Wasserdampfpartialdruck
Q_{atm}	Wärmeabgabe durch Verdunstung von Feuchte beim Atmen
Q_f	feuchter Wärmefluss
Q_{konv}	Wärmeabgabe durch Konvektion
Q_l	Wärmeabgabe durch Leitung
Q_{lu}	Wärmeabgabe durch Erwärmung der Atemluft
Q_p	Wärmeproduktion
Q_s	äußere Wärmeaufnahme (z.B. Sonneneinstrahlung)
Q_{str}	Wärmeabgabe durch Strahlung
Q_{tr}	trockener Wärmefluss
Q_{vs}	Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung
R_c	Wärmeisolation
R_e	Wasserdampfdurchgangswiderstand einer Textilschicht
RPM	Rounds per Minute (Trittfrequenz Fahrradergometer)
s	Abweichung des Wärmeinhaltes des Körpers vom Komfortniveau
T_a	Außentemperatur
T_s	mittlere gewichtete Hauttemperatur

LV	Leistungsverbrauch
LU	Leistungsumsatz
kÄ	kalorisches Äquivalent (kÄ= 4,86 kcal pro Liter O ₂)
WHO	World Health Organization; Weltgesundheitsorganisation

Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Zentrale Stellung der Bekleidung als thermisches Bindeglied zwischen Mensch und Umgebung.....	2
Bild 2: Nachbildung der Skirennläuferin Hilde Gerg in Rennposition	4
Bild 3: Polyamid Fahrradtrikot (links), winddichtes Funktionshirt (Mitte), funktionell ausgerüstetes Baumwollshirt (rechts).....	17
Bild 4: Fahrradhose (links); Fleecejacke Feldversuch (rechts).....	18
Bild 5: Hypothetical model of discomfort and comfort (ZHANG et al. 1996).....	20
Bild 6: Stufentest für Feldversuch	25
Bild 7: Probanden vor Beginn der Testfahrt.....	27
Bild 8: Vorbelastung Vortest Klimakammer	33
Bild 9: Hauptbelastung Fahrradergometer Vortest Klimakammer	33
Bild 10: Kerntemperatur, mittlere Hauttemperatur und zwei einzelne Hauttemperaturen in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur	35
Bild 11: Versuchsdesign Hauptversuch Klimakammer	37
Bild 12: Positionierung der Thermo- und Feuchtesensoren am Körper	38
Bild 13: Tragezeitpunkt Überbekleidung	46
Bild 14: Körperwärmeempfinden gesamt Bergauf.....	47
Bild 15: Schweißnässestellen Bergauf.....	48
Bild 16: Schweißnässestellen Bergab.....	49
Bild 17: Mittelwerte subjektives Empfinden Temperatur Brust	57
Bild 18: Mittelwerte subjektives Empfinden Temperatur Rücken.....	58
Bild 19: Mittelwerte subjektives Feuchteempfinden Brust	59
Bild 20: Mittelwerte subjektives Feuchteempfinden Rücken.....	60
Bild 21: Mittelwerte subjektives Tragekomfortempfinden	61
Bild 22: Mittelwerte des subjektiven Belastungsempfindens nach BORG.....	62
Bild 23: Körperwärmeempfinden Brust bei 20°C	64
Bild 24: Körperwärmeempfinden gesamt bei 20°C.....	65
Bild 25: Körperwärmeempfinden Brust bei 30°C	65
Bild 26: Körperwärmeempfinden gesamt bei 30°C.....	66

Bild 27: Schweißnässestellen bei 20°C	66
Bild 28: Schweißnässtestellen bei 30°C	67
Bild 29: Mittlere Hauttemperatur [°C] an Brust/Bauch	72
Bild 30: Differenz Temperaturfühler [°C] Brust minus Bauch	73
Bild 31: Mittlere Hauttemperatur [°C] an Rücken/Lende	74
Bild 32: Differenz Temperaturfühler [°C] Rücken minus Lende	75
Bild 33: Mittlere Hautfeuchte [%] an Brust/Bauch	76
Bild 34: Differenz Feuchtefühler [%] Brust minus Bauch.....	77
Bild 35: Mittlere Hautfeuchte [%] an Rücken/Lende.....	78
Bild 36: Differenz Feuchtefühler [%] Rücken minus Lende	79
Bild 37: Mittlere Körperkerntemperatur [°C]	80
Bild 38: Mittlere Herzfrequenz [S/min]	81
Bild 39: Temperatur Brust/Bauch [°C] bei 20°C	82
Bild 40: Temperatur Brust/Bauch [°C] bei 30°C	83
Bild 41: Temperatur Rücken/Lende [°C] bei 30°C.....	84
Bild 42: relative Hautfeuchte Brust/Bauch [%] bei 30°C.....	85
Bild 43: relative Hautfeuchte Rücken/Lende [%] bei 20°C	86
Bild 44: Körperkerntemperatur [°C] bei 30°C	87
Bild 45: Herzfrequenz [S/min] bei 20°C.....	88
Bild 46: Mittleres Laktat [mmol]	89
Bild 47: Durchschnittlicher Leistungsumsatz [kcal] während der Testfahrt.....	90
Bild 48: Gewichtsverlust [kg] der Probanden während der Testfahrt	91
Bild 49: Flüssigkeitsaufnahme [ml] der Probanden während der Testfahrten.....	92
Bild 50: Gewichtszunahme [g] der Shirts während der Testfahrt	92
Bild 51: Gewichtszunahme [g] der Hose während der Testfahrt.....	93
Bild 52: Beispiel einer Infrarotaufnahme eines Probanden	94
Bild 53: Durchschnittstemperatur der Torsovorderseite [°C]; berechnet anhand der IR-Bilder ..	95
Bild 54: Vereinfachtes Modell der Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit (WEINECK 1996).....	97
Bild 55: Tagesgang der physiologischen Leistungsbereitschaft (GRAF 1961).....	102

Bild 56: Tagesgang der Körpertemperatur (Rektaltemperatur) bei der Frau (SCHMIDT et al. 1995)	103
Bild 57: Die Temperaturzonen des Menschen bei niedriger und hoher Außentemperatur (links) (WEINECK 1996) und in Farbe (rechts) (WILMORE et al. 1994).....	158
Bild 58: Übersicht über die Aufgabe des Hypothalamus bei Kontrolle der Körpertemperatur (WILMORE et al. 1994).....	160
Bild 59: Wärmeabgabe bei körperlicher Arbeit unter steigender Raumtemperatur (DE MARÈES 1981)	162
Bild 60: ausgeglichene Wärmebilanz (aus WILMORE et al. 1994)	165
Bild 61: Zusammenhang der Wärmebilanz zwischen Körper und Umwelt (WILMORE et al. 1994)	167
Bild 62: Textil- und Luftschichten; Wärmeisolation (MECHEELS 1998).....	170
Bild 63: Textil- und Luftschichten; Feuchtwiderstand (MECHEELS 1998).....	171
Bild 64: Wege des Wasserdampfes durch ein Textil (MECHEELS 1998).....	172
Bild 65: Äußerer Wind reduziert Wärmeisolation (MECHEELS 1998)	174
Bild 66: Der Einfluss von Wind auf das menschliche Empfinden (CZUTKA 2000)	174
Bild 67: Konvektion und Ventilation in der Kleidung (MECHEELS 1998).....	176
Bild 68: Hauttemperaturen an zehn Körperstellen ergeben als gewichteter Durchschnitt zusammen die mittlere Hauttemperatur T_s (MECHEELS 1998)	179
Bild 69: Thermischer (Dis-)Komfort in Abhängigkeit von Wasserdampfdruck und Umgebungstemperatur	180
Bild 70: Die menschliche Haut und die Thermoregulation (WILMORE et al. 1994)	182
Bild 71: Textiloberfläche und Hautsensorik (MECHEELS 1998)	183
Bild 72: Effect by Odlo, Verhinderung von Bakterienbildung (KNECHT 2003).....	186
Bild 73: Übersicht Zwiebelprinzip, F.A.Z. (GOTTBRATH 2003)	187
Bild 74: Schweißtransport in zweiflächigen Textilien mit Kapillarverengung („Denier Gradient“) (UMBACH 2003)	189
Bild 75: Konstruktionsprinzip zweiflächiger Textilien („Double Face“) (UMBACH 2003).....	190
Bild 76: Dynamische Klimakontrolle bei ComfortTemp®, Schoeller (LUCKMANN 2003)	190
Bild 77: Gore-Tex®-Airvantage™-Membran, Gore (DIETRICH 2003).....	191
Bild 78: TransActive-Membransystem, (DIETRICH 2003).....	192

Bild 79: Aufbau einer Reflexion [®] Membran (re); verschweißte Nähte eines 2-Lagen-Laminats (li) (WITTMANN et al. 2007)	192
Bild 80: Proband bei der spiroergometrischen Messung.....	196
Bild 81: Laktatmessgerät „Lactate Pro“ mit Stechlanzette	196
Bild 82: Flügelradanemometer und Temperatur-/Feuchtesensor der Firma Schiltknecht	197
Bild 83: MSR [®] Datenlogger mit kombinierten Thermo- und Feuchtesensoren, Rektalfühler und Polar [®] -Pulsgurt.	198
Bild 84: IR-Kamera mit Stativ in der Klimakammer (li); IR-Kamera der Firma FLIR [®] Systems GmbH (re).....	199
Bild 85: Windrotoren	200
Bild 86: Fahrradergometer ergo_bike 4000 TRS (li); Fahrradergometer ergo_bike premium 8i (re)	200
Bild 87: Der rechte blaue Ball scheint größer als der linke, obwohl ihre Größe identisch ist....	202
Bild 88: Empfindung: Die Reize und Rezeptoren der menschlichen Sinne (ZIMBARDO 2006)	202
Bild 89: Plot of 43 descriptors of comfort and discomfort, multidimensional scaling approach (SAS, ALSCAL procedure, INDSCALE option) (ZHANG et al. 1996)	203
Bild 90: Fragebogen Seite 1	209
Bild 91: Fragebogen Seite 2	210
Bild 92: Fragebogen Seite 3	211
Bild 93: Fragebogen Seite 4	212
Bild 94: Borg – Skala	219
Bild 95: Allgemeine Tagesform Feldversuch.....	223
Bild 96: Erfahrung Radfahren	223
Bild 97: Belastungsempfinden nach BORG bergauf	224
Bild 98: Belastungsempfinden nach BORG bergab	224
Bild 99. Schweißabsorption bergauf.....	225
Bild 100: Schweißabsorption bergab.....	225
Bild 101: Thermischer Komfort bergauf.....	226
Bild 102: Thermischer Komfort bergab.....	226
Bild 103: Winddichtigkeit bergauf	227
Bild 104: Winddichtigkeit bergab	227

Verzeichnisse	149
<hr/>	
Bild 105: Passform bergauf.....	228
Bild 106: Passform bergab.....	228
Bild 107: Material Hautempfinden trocken bergauf.....	229
Bild 108: Material Hautempfinden trocken bergab.....	229
Bild 109: Material Hautempfinden feucht bergauf.....	230
Bild 110: Material Hautempfinden feucht bergab.....	230
Bild 111: Geruch bergauf	231
Bild 112: Geruch bergab	231
Bild 113: Gesamturteil bergauf	232
Bild 114: Gesamturteil bergab	232
Bild 115: Allgemeine Tagesform bei 20°C	250
Bild 116: Allgemeine Tagesform bei 30°C	250
Bild 117: Belastungsempfinden nach BORG bei 20°C	251
Bild 118: Belastungsempfinden nach BORG bei 30°C	251
Bild 119: Schweißabsorption bei 20°C.....	252
Bild 120: Schweißabsorption bei 30°C.....	252
Bild 121: Thermischer Komfort bei 20°C.....	254
Bild 122: Thermischer Komfort bei 30°C.....	254
Bild 123: Winddichtigkeit bei 20°C.....	255
Bild 124: Winddichtigkeit bei 30°C.....	255
Bild 125: Passform bei 20°C	256
Bild 126: Passform bei 30°C	256
Bild 127: Material Hautempfinden trocken bei 20°C	257
Bild 128: Material Hautempfinden trocken bei 30°C	257
Bild 129: Material Hautempfinden feucht bei 20°C	258
Bild 130: Material Hautempfinden feucht bei 30°C	258
Bild 131: Geruch bei 20°C	259
Bild 132: Geruch bei 30°C	259
Bild 133: Gesamturteil bei 20°C.....	260
Bild 134: Gesamturteil bei 30°C.....	260

Bild 135: Temperatur Brust/Bauch bei 20°C	267
Bild 136: Temperatur Brust/Bauch bei 30°C	267
Bild 137: Temperatur Rücken/Lende bei 20°C.....	268
Bild 138: Temperatur Rücken/Lende bei 30°C.....	268
Bild 139: relative Hautfeuchte Brust/Bauch bei 20°C.....	269
Bild 140: relative Hautfeuchte Brust/Bauch bei 30°C.....	269
Bild 141: relative Hautfeuchte Rücken/Lende bei 20°C	270
Bild 142: relative Hautfeuchte Rücken/Lende 30°C	270
Bild 143: Körperkerntemperatur bei 20°C	271
Bild 144: Körperkerntemperatur bei 30°C	271
Bild 145: Herzfrequenz bei 20°C	272
Bild 146: Herzfrequenz bei 30°C	272
Bild 147: Streckenprofil für Feldversuch Bovec. Maßstab 1: 50 000	289
Bild 148: Höhenprofil am Beispiel eines Versuchsteilnehmers	289
Bild 149: Bovec und Zaga aus Google Earth. Zugriff am 06.05.2007	290
Bild 150: Polyamid – Fahrradtrikot vorne (li)	291
Bild 151: Polyamid – Fahrradtrikot hinten (re).....	291
Bild 152: winddichtes Funktionsshirt vorne (li)	291
Bild 153: winddichtes Funktionsshirt hinten (re).....	291
Bild 154: funktionell ausgerüstete Baumwolle vorne (li).....	292
Bild 155: funktionell ausgerüstete Baumwolle hinten (re)	292
Bild 156: Fahrradhose vorne (links).....	292
Bild 157: Fahrradhose hinten (rechts)	292
Bild 158: Fleece vorne (li).....	293
Bild 159: Fleece hinten (re)	293
Bild 160: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 20°C mit Shirt A (Ø Hauttemp. 35,0°C).....	294
Bild 161: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 20°C mit Shirt B (Ø Hauttemp. 35,2°C).....	294

Bild 162: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 20°C mit Shirt C (Ø Hauttemp. 35,5°C).....	294
Bild 163: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 30°C mit Shirt A (Ø Hauttemp. 36.9°C).....	295
Bild 164: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 30°C mit Shirt B (Ø Hauttemp. 37,4°C).....	295
Bild 165: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 30°C mit Shirt C (Ø Hauttemp. 37,6°C).....	295

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich Feld- versus Klimakammerversuch	14
Tabelle 2: Übersicht Textilparameter.....	18
Tabelle 3: Anthropometrische Daten der Personenstichprobe	24
Tabelle 4: Variabilitätskoeffizient (VK) der anthropometrischen Merkmale in Prozent [%]	24
Tabelle 5: Leistungsdiagnostische Daten der Personenstichprobe	26
Tabelle 6: Variabilitätskoeffizient (VK) der leistungsdiagnostischen Merkmale in Prozent [%]...	26
Tabelle 7: Fahrdauer Feldtest	29
Tabelle 8: Klimatische Bedingungen	30
Tabelle 9: Anthropometrische Daten der Personenstichprobe	31
Tabelle 10: Variabilitätskoeffizient (VK) der anthropometrischen Daten in Prozent [%]	32
Tabelle 11: Ausdauersport- und Tragegewohnheiten der Personenstichprobe.....	32
Tabelle 12: Leistungsdiagnostische Daten der Personenstichprobe 1	34
Tabelle 13: Leistungsdiagnostische Daten der Personenstichprobe 2	34
Tabelle 14: Variabilitätskoeffizient (VK) der leistungsdiagnostischen Daten in Prozent [%].....	34
Tabelle 15: Irrtumswahrscheinlichkeit und Symbolisierung.....	42
Tabelle 16: Übersicht der erfassten Daten in Feld- und Klimakammerversuch.....	43
Tabelle 17: Eingangsfragen Häufigkeit in [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]	46
Tabelle 18: Belastungsempfinden Häufigkeit in [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]	47
Tabelle 19: Fragen Bergauf: Häufigkeiten in [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]	50
Tabelle 20: Fragen Bergab: Häufigkeiten in [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]	51
Tabelle 21: Deskriptive Gruppenstatistik für Fahrdauer Feldversuch und t-Test für unabhängige Stichproben.....	53
Tabelle 22: Deskriptive Gruppenstatistik für Herzfrequenz Feldversuch und t-Test für unabhängige Stichproben.....	54
Tabelle 23: Kontinuierlich aufgezeichnetes subjektives Empfinden; signifikante Unterschiede .	63

Tabelle 24: Belastungsempfinden Häufigkeit in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]	67
Tabelle 25: Fragen bei 20°C: Häufigkeiten in Prozent [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H]	68
Tabelle 26: Fragen bei 30°C: Häufigkeiten in [%], Irrtumswahrscheinlichkeit [p] und Hypothese [H].....	69
Tabelle 27: Verteilung von Warm- und Kaltpunkten (KUNSCH et al. 2007).....	161
Tabelle 28: Verteilung der Schweißdrüsen (KUNSCH et al. 2007)	164
Tabelle 29: Leistungsumsatz des Menschen bei verschiedener körperlicher Arbeit: (MECHEELS 1998)	166
Tabelle 30: Die zwei Elemente der Tragefunktion (MECHEELS 1998).....	169
Tabelle 31: Anthropometrische Merkmale der Probandenstichprobe	214
Tabelle 32: Leistungsdiagnostische Merkmale der Probandenstichprobe	215
Tabelle 33: Versuchsdesign Klimakammerversuch.....	216
Tabelle 34: Randomisierung der Versuchsreihenfolge der Klimakammerversuche.....	217
Tabelle 35: Wärmeempfinden	218
Tabelle 36: Tragekomfort.....	218
Tabelle 37: Schweißempfinden.....	218
Tabelle 38: Anthropometrische Daten Personenstichprobe Klimakammer	219
Tabelle 39: Leistungsdiagnostische Daten Personenstichprobe Klimakammer 1.....	220
Tabelle 40: Leistungsdiagnostische Daten Personenstichprobe Klimakammer 2.....	221
Tabelle 41: Vergleich mittlerer Rang bergauf	233
Tabelle 42: Vergleich mittlerer Rang bergab	234
Tabelle 43: Deskriptive Gruppenstatistik für Fahrdauer Feldversuch.....	235
Tabelle 44: t-Test bei unabhängigen Stichproben für Fahrdauer Feldversuch	235
Tabelle 45: Deskriptive Gruppenstatistik für Herzfrequenz [S/min] Feldversuch	236
Tabelle 46: t-Test bei unabhängigen Stichproben für Herzfrequenz [S/min] Feldversuch	237
Tabelle 47: Fahrdauer [min] der Probandenstichprobe	237
Tabelle 48: Herzfrequenz [S/min] Probandenstichprobe (die HF auf ganze Zahlen gerundet; die Standardabweichung SD auf eine Dezimalstelle).....	239
Tabelle 49: U-Test subjektives Empfinden Shirt A und B 20°C	241

Tabelle 50: U-Test subjektives Empfinden Shirt A und C 20°C	242
Tabelle 51: U-Test subjektives Empfinden Shirt B und C 20°C	244
Tabelle 52: U-Test subjektives Empfinden Shirt A und B 30°C	245
Tabelle 53: U-Test subjektives Empfinden Shirt A und C 30°C	246
Tabelle 54: U-Test subjektives Empfinden Shirt B und C 30°C	248
Tabelle 55: Erfahrung Radfahren	251
Tabelle 56: Schweißnässestellen bei 20°C in Prozent [%]	253
Tabelle 57: Schweißnässestellen bei 30°C in Prozent [%]	253
Tabelle 58: Fragebogen Klimakammer Shirts A und B bei 20°C	261
Tabelle 59: Fragebogen Klimakammer Shirts A und C bei 20°C	262
Tabelle 60: Fragebogen Klimakammer Shirts B und C bei 20°C	263
Tabelle 61: Fragebogen Klimakammer Shirts A und B bei 30°C	264
Tabelle 62: Fragebogen Klimakammer Shirts A und C bei 30°C	265
Tabelle 63: Fragebogen Klimakammer Shirts B und C bei 30°C	266
Tabelle 64: Laktat zum Zeitpunkt 0	273
Tabelle 65: Laktat zum Zeitpunkt 20	273
Tabelle 66: Laktat zum Zeitpunkt 40	274
Tabelle 67: Laktat zum Zeitpunkt 60	274
Tabelle 68: Laktat zum Zeitpunkt 75	275
Tabelle 69: Laktat zum Zeitpunkt 85	275
Tabelle 70: Laktat zum Zeitpunkt 115	276
Tabelle 71: Energieumsatz	276
Tabelle 72: Leistungsverbrauch	277
Tabelle 73: Energieumsatz in den Shirts bei verschiedenem Klima	277
Tabelle 74: Leistungsverbrauch in den Shirts bei verschiedenem Klima	277
Tabelle 75: Gewichtsdiﬀerenz; deskriptive Werte bei 20°C	278
Tabelle 76: Gewichtsdiﬀerenz; Signifikanz bei 20°C	279
Tabelle 77: Gewichtsdiﬀerenz; deskriptive Werte bei 30°C	280
Tabelle 78: Gewichtsdiﬀerenz; Signifikanz bei 30°C	281

Tabelle 79: Mittlere Temperatur Torso [°C] errechnet anhand der IR-Bilder; Mittelwerte bei 20°C	282
Tabelle 80: Mittlere Temperatur Torso [°C] errechnet mittels Tukey HSD; Signifikanz bei 20°C	282
Tabelle 81: Mittlere Temperatur Torso [°C] errechnet anhand der IR-Bilder; Mittelwerte bei 30°C	282
Tabelle 82: Mittlere Temperatur Torso [°C] errechnet mittels Tukey HSD; Signifikanz bei 30°C	282
Tabelle 83: Daten zur Berechnung des Energieverbrauchs	286
Tabelle 84: Energieverbrauch [EV] während der Testfahrten.....	287
Tabelle 85: Leistungsumsatz [LU] während der Testfahrten	287

ANHANG

Im Folgenden werden in den Kapiteln *Thermoregulation*, *Bekleidungsphysiologie* und *Bekleidung und Funktionstextilien im Sport* Informationen zum besseren Verständnis der Arbeit geliefert. Tiefer gehende theoretische Hintergründe sind zusätzlich in den Diplomarbeiten von HUBER (2001) und SCHÖN (2002) zu finden.

6 Thermoregulation

Der Mensch zählt zur Familie der Warmblüter (= Homoiotherme; von homoiotherm = gleichwarm), bei denen die für unsere Leistungsfähigkeit wichtige Körperkerntemperatur (vgl. DE MARÉES 1982) weitgehend unabhängig von der Umwelttemperatur ist. Diese Konstanz der Temperatur – sie liegt im Bevölkerungsmittel etwas bei $37^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (vgl. NOCKER 1980) – ist für den normalen Ablauf der Körperfunktionen unabdingbar, da der menschliche Organismus nur in einem engen Temperaturbereich optimal funktioniert (vgl. GANONG 1974). *Die Homoiothermie trifft allerdings nur auf einen ganz bestimmten Bereich des Körpers zu, nämlich auf den Körperkern* (DE MARÉES 1982). Der Körperkern wird im Wesentlichen durch das Innere des Rumpfes und des Kopfes definiert. Die den Körperkern umgebende Schale ist wechselwarm (poikilotherm) und besteht aus den Extremitäten des Körpers und der Haut. Diese Schale folgt in bestimmten Maßen den Temperaturschwankungen der Umgebung und ist nicht anatomisch festgelegt sondern je nach Umgebungsbedingungen verschiebbar (siehe Bild 57).

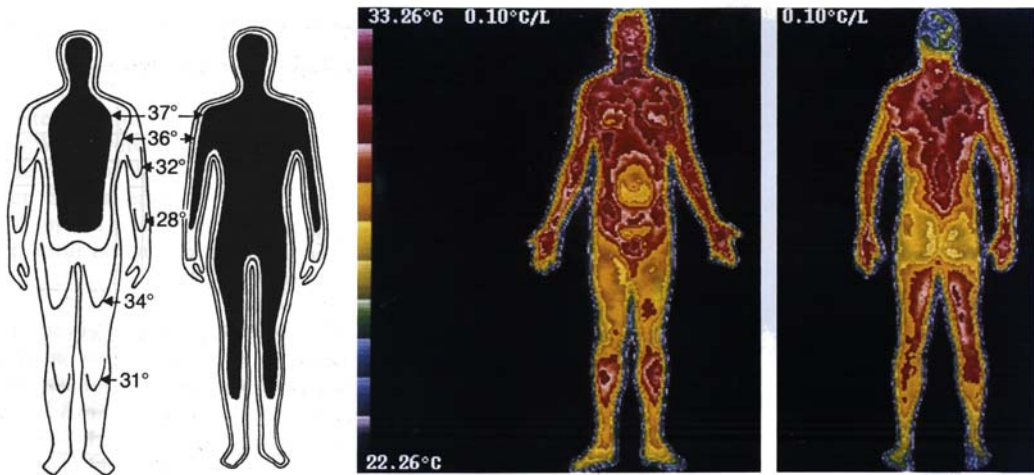


Bild 57: Die Temperaturzonen des Menschen bei niedriger und hoher Außentemperatur (links) (WEINECK 1996) und in Farbe (rechts) (WILMORE et al. 1994)

Bei normalen Außentemperaturen liegt zwischen Körperkern und Körperschale in der Regel ein Temperaturunterschied von 3-6°C vor, bei niedrigen Außentemperaturen kann ein Unterschied von 20°C vorliegen (DE MARÈES 1981). Die Temperatur an den Extremitäten nimmt nicht nur von innen nach außen, sondern auch von proximal (körpernah) nach distal (körperfern) ab. Bei drohender Abkühlung des Körpers verringert der Mensch durch Zusammenziehen der Hautgefäße die Hautdurchblutung (Vasokonstriktion) wodurch der Wärmetransport über den Blutstrom zur Hautoberfläche hin abnimmt. Droht dem Körperkern die Überwärmung wird der oben genannte Mechanismus umgekehrt wirksam und die Hautdurchblutung nimmt durch Erweiterung der Hautgefäße (Vasodilatation) zu. Die Haut wird ebenso wie die Extremitäten maximal durchblutet. Die Hauttemperatur steigt auf den größtmöglichen Wert (ca. 36°C) an, wodurch die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Umgebung maximal wird und der trockene Wärmefluss auf ein Maximum steigt (siehe unten Wärmeabgabe des Menschen an die Umgebung).

6.1 Hypothalamus – Temperaturfühler des Menschen

Der menschliche Körper besitzt zur Temperaturregulation kein spezielles Organ sondern zieht mehrere dazu heran.

Der im Zwischenhirn liegende Hypothalamus besteht anatomisch und funktionell aus zwei Teilen und stellt das Zentrum der Temperaturregulation dar: im oberen Teil befindet sich das Kühlzentrum das auf Erwärmung antwortet, im unteren Bereich das Wärmezentrum, das auf Abkühlung reagiert (WEINECK 1996). Der Hypothalamus erhält seine Informationen von Thermorezeptoren, von denen auch in ihm selbst welche liegen. Gemessen wird die Temperatur des Blutes, das durch diesen Gehirnabschnitt fließt und der des Körperkerns entspricht.

Die anderen Kälte- und Wärmerezeptoren liegen in der Haut. Sie melden neural Veränderungen (Erwärmung oder Abkühlung) der Hauttemperatur (siehe auch Bild 58 unten). Durchschnittlich befinden sich auf einem cm² Haut ein bis zwei Wärmerezeptoren und sechs bis zwölf Kälterezeptoren. Die Wärmerezeptoren bilden Erregungen bei Temperaturen zwischen 20 und 45°C, die Kälterezeptoren im Bereich von 10 und 41°C. Beide Rezeptorentypen zeigen eine Aktivitätszunahme bei Temperaturveränderungen (vgl. WEINECK 1996). Außerhalb dieser Temperaturbereiche agieren die Schmerzrezeptoren, die die dritte Art von Rezeptoren darstellen (vgl. ZHANG 2003).

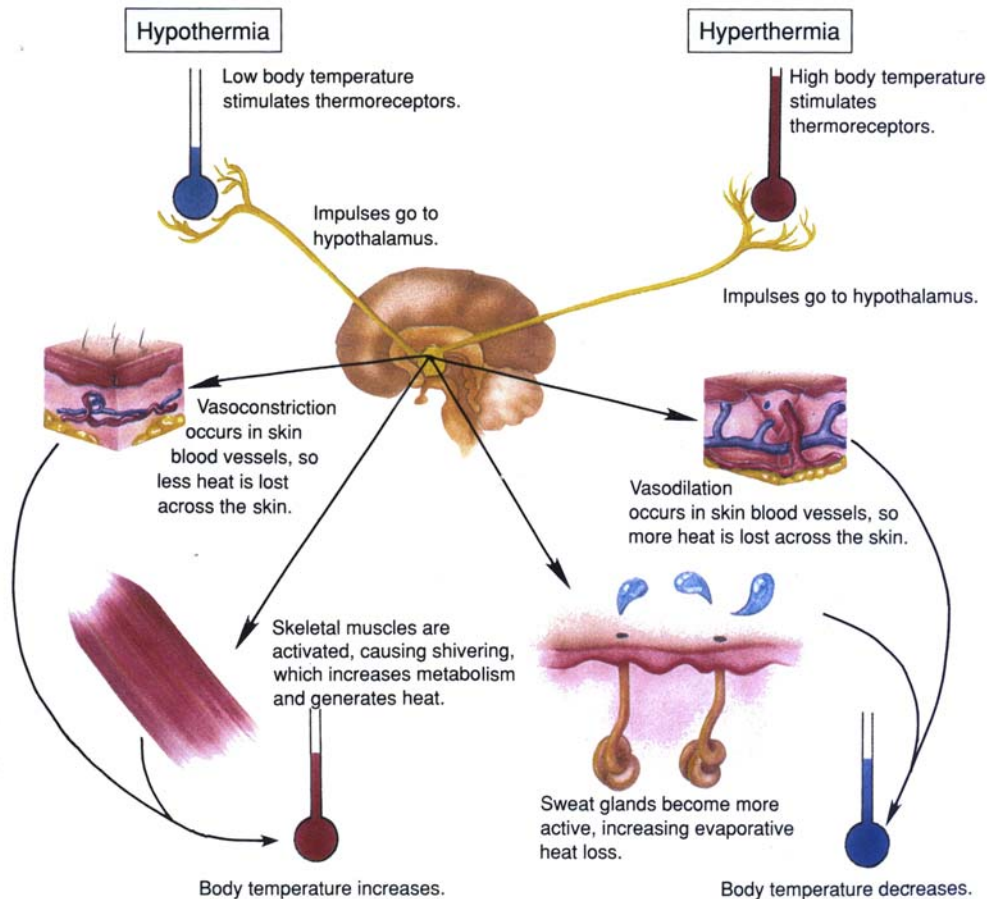


Bild 58: Übersicht über die Aufgabe des Hypothalamus bei Kontrolle der Körpertemperatur (WILMORE et al. 1994)

Hauttemperatur

Die Temperaturempfindungen basieren auf zwei entgegengesetzten Qualitäten, der Kalt- und der Warmempfindung. „Im Thermoneutralen Bereich der Umgebungstemperatur liegt beim unbedeckten Menschen die mittlere Hauttemperatur bei 33 – 34°C“ (SCHMIDT 1995). Bei den Kalt- und Wärmesensoren handelt es sich um freie Nervenendigungen, die sich in der Lederhaut befinden. Die geschätzte Anzahl solcher freien Nervenendigungen in der Haut eines Erwachsenen liegen bei vier Millionen, wobei es ca. 150/cm² sind. Dabei gibt es mehr Kalt- als Wärmepunkte in der Haut wie in unten stehender Tabelle 27 zu sehen.

Tabelle 27: Verteilung von Warm- und Kaltpunkten (KUNSCH et al. 2007)

Verteilung von Warm- und Kaltpunkten		
Körperregion	Kältepunkte [x/cm ²]	Warmpunkte [x/cm ²]
Stirn	5,5 – 8	2
Nase	8 – 13	1
Mund	16 – 19	-
übriges Gesicht	8,5 – 9	1,7
Brust	9 – 10,2	0,3
Unterarm	6 – 7,5	0,3 – 0,4
Handfläche	1 – 5	0,4
Fingerrücken	7 – 9	1,7
Finger, Innenseite	2 – 4	1,6
Oberschenkel	4,5 – 5,2	0,4

6.2 Wärmebildung im Körper

Dem Körper kann Wärme auf zwei verschiedenen Wegen zugeführt werden: durch Verbrennungsvorgänge des Stoffwechsels (innere Wärmeherzeugung) und durch Wärmeeinwirkung von außen (Sonnenstrahlung, Hitze Arbeitsplatz).

Die innere Wärmebildung erfolgt über

- *basale Stoffwechselfvorgänge (Grundumsatz)*
- *das braune Fettgewebe oder*
- *Muskelarbeit (DIEBSCHLAG 1976).*

In Ruhe wird die Wärme vorwiegend von den in der Schädel-, Brust- und Bauchhöhle gelegenen Organen mit hohem Stoffwechselanteil (Gehirn, Herz, Leber, Nieren u.a.) erzeugt, d.h. 8% der Körpermasse sind mit 70% am Energieumsatz beteiligt (vgl. ASCHOFF 1971). Bei physischer Arbeit – sei es am Arbeitsplatz oder beim Sport – nimmt die Wärmebildung vor allem in der Körperschale zu und kann bei körperlicher Dauerarbeit Werte erreichen, die bis zu 30-fach höher liegen als der Ruhewert. Nachdem diese Wärme überwiegend

in der Peripherie anfällt, ist die Wärmeabgabe über die Haut beschleunigt. Der Stoffwechsel und die Wärmeentwicklung im Körperkern steigen an, wenn bei körperlicher Arbeit das Herz-Kreislauf-System mehr beansprucht wird.

6.3 Wärmeabgabe des Menschen an die Umgebung

Die sowohl in Ruhe als auch bei Muskelarbeit freigesetzte Wärmemenge wird mithilfe des Blutes verteilt bzw. an die Körperoberfläche transportiert. Es wird unterschieden zwischen trockenem und feuchtem Wärmefluss. Zum trockenen Wärmefluss zählen Konduktion (Wärmeleitung), Konvektion (Wärmeabgabe) und Radiation (Wärmestrahlung); zum feuchten Wärmefluss Respiration (Erwärmung und Auffeuchtung der Atemluft) und Verdampfungswärmefluss (Verdunstung von Schweiß).

Im Körperinneren erfolgt der Wärmetransport trocken durch Konduktion und Konvektion. Bei der Abgabe der Wärme an die Umgebung und dem Transport durch die Bekleidung stehen zusätzlich noch Radiation und die Verdunstung zur Verfügung.

In körperlicher Ruhe werden etwa 50% der in Körper gebildeten Wärme durch Strahlung, 25% durch Konduktion und Konvektion und 25% durch Verdunstung abgegeben (FINDEISEN et al. 1980). Diese Verhältnisse verändern sich bei erhöhtem metabolischen Umsatz bzw. steigender Umgebungstemperatur (siehe Bild 59).

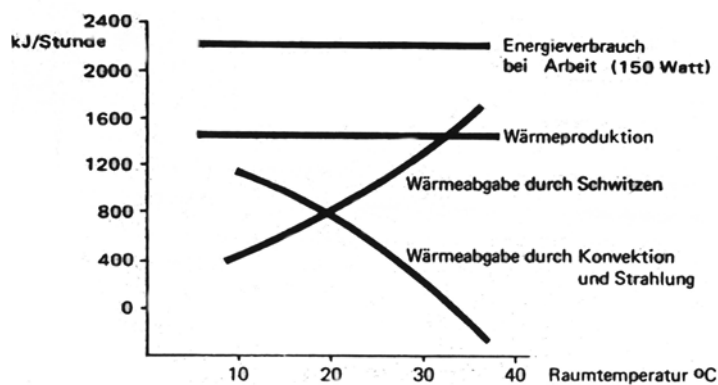


Bild 59: Wärmeabgabe bei körperlicher Arbeit unter steigender Raumtemperatur (DE MARÈES 1981)

Während schwerer muskulärer Arbeit ist die Wärmeabgabe mittels Schweißverdampfung wesentlich wichtiger als die vergrößerte Strahlung und Konvektion mittels der vermehrten Hautdurchblutung (HOLLMANN et al. 2000). Um einen Liter Wasser zu verdampfen wird eine Wärmemenge von 675 Watt/h benötigt. Die Schweißdrüsen sind ohne weiteres in der Lage, bis zu einem Liter pro Stunde einige Stunden lang bereitzustellen; maximal sind 4,2 l in einer Stunde und 12 l in 4 Stunden beobachtet worden. So ist es sogar möglich die gesamte produzierte Wärme auf dem Wege der Schweißverdampfung loszuwerden – sofern nicht das Klima (z.B. zu hohe Luftfeuchtigkeit) oder die Kleidung den Körper daran hindert (MECHEELS 1971).

Verteilung der Schweißdrüsen

Im Folgenden ist eine kurze Tabelle (Tabelle 28), die die Verteilung der Schweißdrüsen über die Körperoberfläche aufzeigt. Insgesamt besitzt der Mensch ca. 2 Mio. Schweißdrüsen und der Durchmesser einer Schweißdrüse beträgt in etwa 0,4 mm. Unter Normalbedingungen schwitzt ein Mensch bis 800 ml täglich; bei Schwerstarbeit unter extremer Hitzebelastung steigt diese Menge relativ gesehen bis maximal 18 l täglich an. Dabei liegt die Sekretionsleistung der einzelnen Schweißdrüse bei 4 – 15 µl/Tag. Der Wärmemengenverlust pro Liter Schweiß beträgt dabei 2.428 kJ; das entspricht 578 kcal (vgl. KUNSCH et al. 2007).

Tabelle 28: Verteilung der Schweißdrüsen (KUNSCH et al. 2007)

Schweißdrüsen an:	[x/cm ²]
Rücken	55
Gesäß	57
Wangen	75
Bein	80
Fußrücken	125
Unterarm (außen)	150
Bauch	155
Brust	155-250
Unterarm (innen)	160
Stirn	170
Hals	185
Handrücken	200
Fußsohle	350-400
Handteller	375-425
Ellenbeuge	751

6.4 Wärmebilanz

Der Mensch kann seine Körperkerntemperatur von 37°C nur aufrecht erhalten, wenn sein Wärmegewinn und seine Wärmeabgabe auf Dauer gleich sind, d.h. seine Wärmebilanz ausgeglichen ist. Die Wärmebilanz wird über die beiden Größen Wärmeproduktion in den Körperorganen und Wärmeabgabe vom Körper an die Umgebung definiert und kann sehr verschiedene Werte annehmen.

Die Wärmebilanz wird durch die Koordination der Prozesse erreicht, die auf die Wärmebildung und Wärmeabgabe gerichtet sind (siehe Bild 60). Sie wird neben der körpereigenen chemischen und physikalischen Thermoregulation durch unterstützende Maßnahmen gewährleistet, die auf die Einstellung einer optimalen Mikroklimas abzielen (DELL et al. 1982). Unter dem Mikroklima des Menschen wird die über der Haut befindliche Luftschicht verstanden, die durch die physikalischen Zustandsparameter wie Temperatur und relative Feuchte charakterisiert ist.

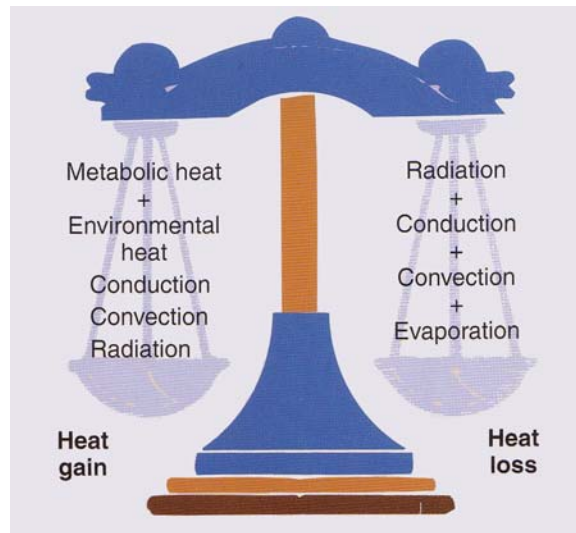


Bild 60: ausgeglichene Wärmebilanz (aus WILMORE et al. 1994)

Die Gleichung der Wärmebilanz kann in allgemeiner Form wie folgt dargestellt werden (DELL et al. 1982) und ist ausgeglichen, wenn die Wärmeproduktion bzw. -aufnahme gleich der Wärmeabgabe ist.

$$Q_p + Q_s = Q_{str} + Q_{konv} + Q_l + Q_{atm} + Q_{vs} + Q_{lu} \pm s \quad (1)$$

Q_p Wärmeproduktion

Q_s äußere Wärmeaufnahme (z.B. Sonneneinstrahlung)

Q_{str} Wärmeabgabe durch Strahlung

Q_{konv} Wärmeabgabe durch Konvektion

Q_l Wärmeabgabe durch Leitung

Q_{atm} Wärmeabgabe durch Verdunstung von Feuchte beim Atmen

Q_{vs} Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung

Q_{lu} Wärmeabgabe durch Erwärmung der Atemluft

s Abweichung des Wärmeinhaltes des Körpers vom Komfortniveau

Die Größen der Gleichung sind Wärmeströme und können auch negativ werden, beispielsweise bei starker äußerer Strahlung, hoher Umgebungstemperatur oder Kondensation von Wasserdampf auf der Haut (MECHEELS 1971).

Die Dauerleistungsgrenze liegt bei Männern bei einem Arbeitsumsatz von ca. 300 Watt, bei Frauen bei ca. 200 Watt. Im Vergleich liegt der Umsatz ohne körperliche Aktivität bei 100 Watt (Frauen) bzw. 115 Watt (Männer) (vgl. SPITZER et al. 1982). Nach arbeitsmedizinischen Gesichtspunkten wird die Dauerleistungsgrenze als die Arbeitsintensität definiert, die ohne größere Ermüdung und zwischenzeitliche Pausen täglich kontinuierlich über acht Stunden durchgeführt werden kann (vgl. HOLLMANN et al. 2000). D.h. in Arbeitssituationen wird davon ausgegangen, dass die Arbeitsschwere über 8 Stunden aufrecht gehalten werden muss (siehe Tabelle 29).

Tabelle 29: Leistungsumsatz des Menschen bei verschiedener körperlicher Arbeit: (MECHEELS 1998)

Tätigkeit	~ Leistungsumsatz M
Schlafen entspricht ca. Grundumsatz (GU)	85 Watt
Ruhig Sitzen	115 Watt
Stehen	160 Watt
Leichte körperliche Arbeit	200 Watt
Mittelschwere körperliche Arbeit entsprechend Gehen mit 4 km/h	280 Watt
Schwere körperliche Arbeit entsprechend Gehen mit 5 km/h	350 Watt
Maximal zumutbare Schwerstarbeit	450 Watt
Skilanglauf (Wettbewerb)	700 Watt
Hochleistungssport	bis 800 Watt
Kurzzeitige Höchstleistung	1000 - 1200 Watt

Durch den sehr hohen Arbeitsumsatz kann die gesamte Wärmeproduktion beim Sportler sehr groß werden. Die erforderliche Wärmeabgabe erfolgt zu etwa 10% durch den Atemtrakt und zu 90% über die Haut und dann auch meist durch die Kleidung. Nur wenn der Ausgleich der Wärmebilanz so nicht möglich ist, ändert sich der Wärmeinhalt des Körpers Δs mit der Zeit Δt , die Änderung der Extremitätentemperatur in kleinen Grenzen möglich ist (MECHEELS 1986).

Für die Wärmebilanz des menschlichen Körpers und somit für den Erhalt der normalen Körpertemperatur entscheidend ist die Tatsache, dass einige Einflussgrößen gleichzeitig an den thermischen Vorgängen beteiligt sind:

die klimatischen Einflussgrößen Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Wärmestrahlung sowie weitere Faktoren wie Bekleidung, körperliche Tätigkeit und Expositionszeit (vgl. JUNG 1984); siehe hierzu auch Bild 61.

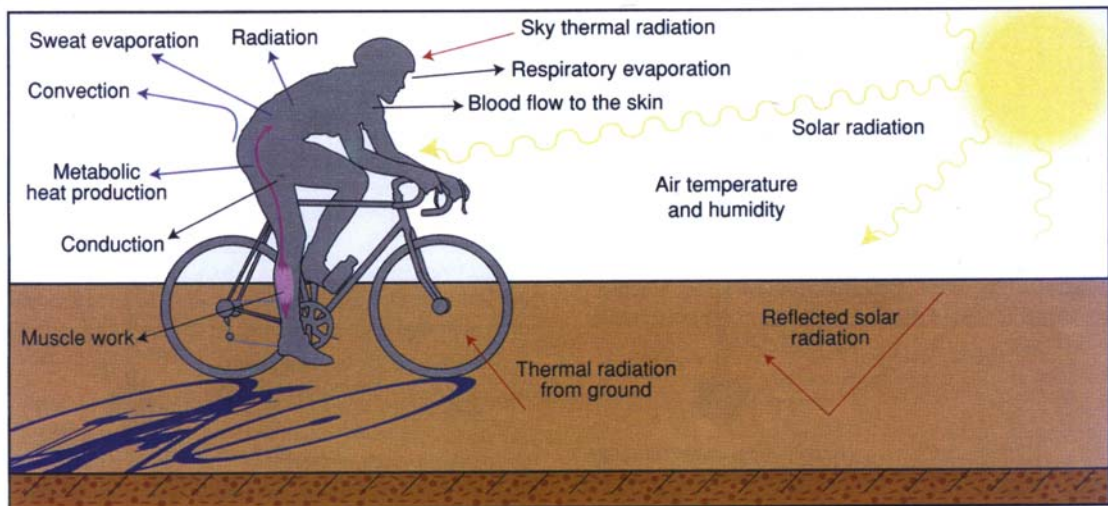


Bild 61: Zusammenhang der Wärmebilanz zwischen Körper und Umwelt (WILMORE et al. 1994)

Deshalb ist es unmöglich nur über einzelne Größen, wie z.B. Temperatur der umgebenden Luft oder Strahlungstemperatur der Umgebung, ohne Rücksichtnahme auf die übrigen Größen, Aussagen über Effekte zu treffen.

So kann nur die gesamte thermische Situation, d.h. eine Kombination aller aufgeführten Größen, hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Menschen beurteilt werden. Um die Auswirkung des Klimas auf den arbeitenden Menschen zu erfassen, bieten sich u.a. folgende Größen an:

- Herzfrequenz
- Atemfrequenz
- Temperatur in Körperhöhlen
- Hauttemperatur
- Energieumsatz
- Schweißabgabe.

7 Bekleidungsphysiologie

Da die körpereigene Thermoregulation des menschlichen Organismus für die unterschiedlichen Klimabedingungen nicht ausreicht, muss sich der Mensch durch Kleidung schützen.

Beurteilt wird die Bekleidung anhand ihrer modischen Gesichtspunkte, aber auch auf Grund ihrer Tragefunktion die in zwei Elemente eingeteilt werden kann (siehe Tabelle 30):

Tabelle 30: Die zwei Elemente der Tragefunktion (MECHEELS 1998)

Tragefunktion der Kleidung:	bewirkt:
Ergonomische Funktion:	gute Passform Bewegungsfreiheit Möglichkeit für die erforderlichen Körperbewegungen
Physiologische Funktion:	Unterstützung der Temperaturregulation des Körpers thermischer Tragekomfort angenehm zur Haut keine Einwirkungen von Schadstoffen

7.1 Die Wärmeisolation

Kleidung soll uns vor Wärmeverlusten schützen. Sie braucht dazu eine bestimmte Wärmeisolation, mit der sie den Wärmefluss ausreichend drosselt.

Der eigentliche Isolator der Kleidung sind nicht das Garn oder die Fasern, sondern die darin eingeschlossene Luft. Ruhende Luft hat eine viel geringere Wärmeleitfähigkeit als jedes Fasermaterial. So soll ein wärmeisolierendes Textil der Luft das nötige Volumen verschaffen, sie darin fest und in zu Ruhe halten, um einen Wärmetransport durch Konvektion zu vermeiden (siehe Bild 62).



Bild 62: Textil- und Luftschichten; Wärmeisolation (MECHEELS 1998)

Die Wärmeisolation R_c hat die Einheit $m^2 \cdot K/Watt$.

$$R_c = \frac{(\bar{T}_s - T_a) \cdot a}{Q_{tr}} (m^2 \cdot K / Watt) \quad (2)$$

- R_c Wärmeisolation
- T_s mittlere gewichtete Hauttemperatur
- T_a Außentemperatur
- Q_{tr} trockener Wärmefluss
- a Körperoberfläche

Ein wärmendes Kleidungsstück besteht etwa zu 80% aus Luft. Nur 20% seines Volumens ist Material. Zusätzlich bildet sich um seine Oberfläche herum noch ein Mantel aus warmer Luft, die anhaftende Luftschicht, aus.

Die Wärmeisolation setzt sich zusammen aus:

- 20% Textilfaser
- 50% eingeschlossener Luft
- 30% anhaftender Luft (RIED 1989).

Die Wärmeisolation einer Kleidung für einen bestimmten Verwendungszweck muss so bemessen sein, dass sie ihren Träger bei der geringsten Arbeitsbelastung und der niedrigsten zu beachtenden Außentemperatur genügend warm hält (MECHEELS 1998). Ist die Wärmeisolation zu gering, kühlt der Körper aus, ist sie zu hoch, kommt es zu einem Wärmestau.

7.2 Der Wasserdampfdurchgangswiderstand

Bei stärkerer physischer Anstrengung und damit höherer körpereigener Wärmeproduktion reicht der trockene Wärmedurchgang durch die Kleidung nicht aus, um die Leistungsbilanz des Menschen auszugleichen. In diesem Fall beginnt die feuchte Wärmeabgabe durch Schweißverdampfung. Allerdings ist für die angestrebte Kühlwirkung Voraussetzung, dass der abgegebene Schweiß auch tatsächlich verdampfen kann. *Die Kleidung muss also stets einen guten Feuchtedurchgang ermöglichen, das heißt, ein gutes stationäres Feuchtetransportvermögen besitzen* (UMBACH 1993). Je niedriger der Feuchtedurchgangswiderstand ist, desto besser kann der verdampfende Schweiß durch die Kleidung nach außen abgeführt werden (siehe Bild 63).

Der Wasserdampfdurchgangswiderstand setzt sich wie folgt zusammen:

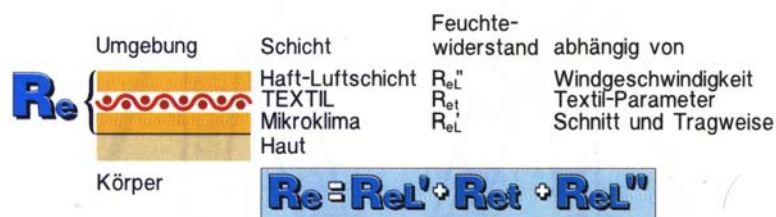


Bild 63: Textil- und Luftschichten; Feuchtewiderstand (MECHEELS 1998)

Der Wasserdampfdurchgangswiderstand R_e hat die Einheit $m^2 \cdot Pa/Watt$.

$$R_e = \frac{(\overline{p_s} - p_a) \cdot a}{Q_f} (m^2 \cdot Pa/Watt) \quad (3)$$

R_e Wasserdampfdurchgangswiderstand einer Textilschicht

p_s mittlerer gewichteter Wasserdampfpartialdruck

p_a Wasserdampfpartialdruck

Q_f feuchter Wärmefluss

a Körperoberfläche

Um bei mäßig warmem Umgebungsklima und mittelschwerer körperlicher Anstrengung einen eben noch ausreichend guten Tragekomfort zu erreichen, stellt der oberste Grenzwert des Wasserdampfdurchgangswiderstandes die Mindestanforderung dar. Für das Funktionieren des Kleidungssystems ist es entscheidend, eine zur Wärmeisolation relative, gute Feuchtedurchlässigkeit zu erreichen (Relation von R_c zu R_e).

Durchgang von Wasserdampf durch Textilien

Es gibt vier Möglichkeiten wie Wasserdampf durch Textilien dringen kann (siehe Bild 64):

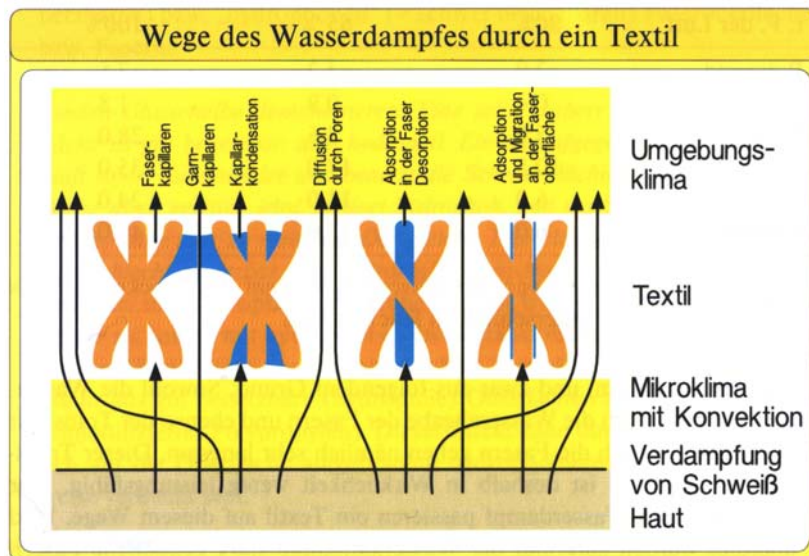


Bild 64: Wege des Wasserdampfes durch ein Textil (MECHEELS 1998)

Diffusion des Wasserdampfes von innen nach außen durch die Poren des Textils (dargestellt in Bild 64: Bildmitte);

Absorption des Wasserdampfes ins Faserinnere, Transport als Quellungswasser durch das Fasermaterial, Desorption auf der äußeren Textiloberfläche (dargestellt in Bild 64: Bild rechts der Mitte);

Adsorption an der Faseroberfläche, Migration entlang der Faser und Desorption auf der Außenseite des Textils (dargestellt in Bild 64: Bild rechts);

Wassertransport durch die Garnkapillaren (dargestellt in Bild 64: Bild links).

7.3 Einfluss des Umgebungsklimas

Der Mensch ist unterschiedlichen Klimabedingungen, mit verschiedenen Temperaturen und Luftfechtigkeiten ausgesetzt. Die Lufttemperatur beeinflusst den *trockenen* Wärmefluss, denn je niedriger die Lufttemperatur ist und je höher die Hauttemperatur ist, desto größer ist der Wärmefluss von der Haut zur Umgebung.

Der Mensch schwitzt umso schneller, je höher die Luftfeuchtigkeit in der Umgebung ist. Um eine möglichst schnelle und effiziente Kühlung des Körpers durch Verdampfung des Schweißes zu erreichen, ist ein großer Wasserdampfdruckunterschied zwischen dem Körper und der Umgebung notwendig. Trockene Luft besitzt einen niedrigen Wasserdampfpartialdruck. Ist der Anteil des Wasserdampfdrucks am gesamten Luftdruck gering, kann noch viel Wasserdampf, der durch die Schweißverdampfung entsteht, bis zum Sättigungsdampfdruck aufgenommen werden. Dies fördert eine schnelle Wärmeabgabe.

Durch Luftbewegung, beispielsweise Wind, wird die Haftluftschicht (= Grenzschicht), welche sich an jedem Gegenstand befindet, dünner. Reduziert sich die Dicke der anhaftenden Luftschicht, so verringert sich die Wärmeisolation R_c . Der *trockene* Wärmefluss vom Körper zur Umgebung wird dadurch erhöht und Wärme wird abgegeben. Wie aus nachfolgendem Bild 65 hervorgeht, nimmt die Wärmeisolation schon bei geringer Windgeschwindigkeit stark ab.

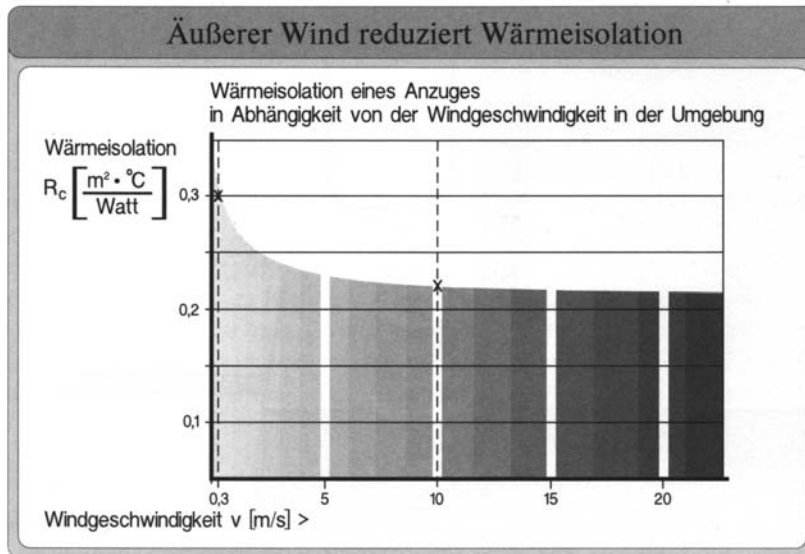


Bild 65: Äußerer Wind reduziert Wärmeisolation (MECHEELS 1998)

Die Haftluftschicht besitzt auch einen Wasserdampfdurchgangswiderstand der genauso wie die Wärmeisolation von der Windgeschwindigkeit abhängig ist. Wird infolge des Windes die Dicke der anhaftenden Luft geringer, so nimmt der Verdampfungswärmefluss zur Umgebung zu.

Durch den Einfluss von Wind kann der Körper schneller auskühlen. Der Grund liegt in der höheren Wärmeabgabe durch trockenen und feuchten Wärmefluss durch die Abnahme der Dicke der wärmenden Haftluftschicht (siehe Bild 66).

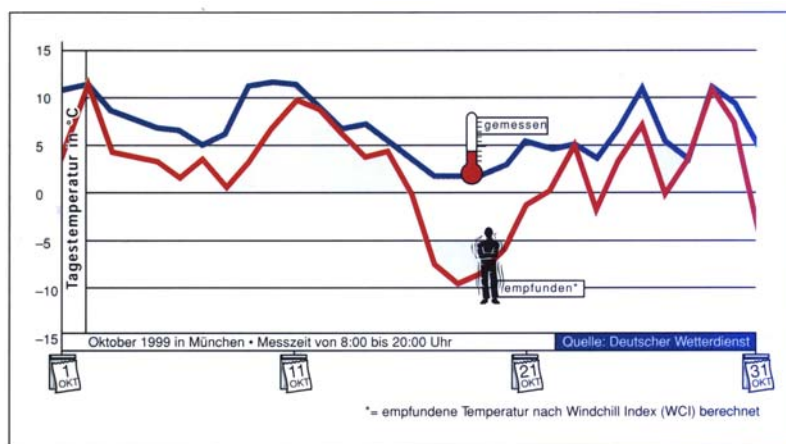


Bild 66: Der Einfluss von Wind auf das menschliche Empfinden (CZUTKA 2000)

7.4 Einflüsse der Textilkonstruktion auf Wasserdampfdurchgang

Kein direkter Mechanismus, aber ein die Wasserdampfdurchlässigkeit beeinflussender Faktor, ist die Konvektion und Ventilation.

Konvektion und Ventilation, hervorgerufen durch Körperbewegungen des Trägers, übernehmen in konfektionierter Kleidung 25% des erforderlichen Wärme- und Feuchtetransports (siehe Kap. 6.3). Dieser für den thermophysiologicalen Tragekomfort wesentliche Transportmechanismus wird ausschließlich durch die Schnittkonstruktion der Kleidung (Passform, Ventilationsöffnungen), die Steifigkeit sowie durch die Luftdurchlässigkeit der Textilkonstruktion gesteuert.

7.4.1 Der Feuchtedurchgangsindex

Eine Kleidung mit einer hohen Wärmeisolation besitzt auch einen höheren Wasserdampfdurchgangswiderstand R_e als eine leichte Kleidung. Die Bekleidung wird umso besser beurteilt, je niedriger der R_{et} - Wert ausfällt. Als Beurteilungskriterium wird deshalb eine Messgröße herangezogen, die, auf die Wärmeisolation bezogen, das relative Wasserdampftransportvermögen ausdrückt. Das geschieht anhand des Feuchtedurchgangsindex i_m ($m = \text{moisture}$).

$$i_m = 0,6 \frac{R_c}{R_e} \quad (4)$$

Bei völlig wasserdampfundurchlässiger Kleidung mit einem unendlich hohen Wasserdampfdurchgangswiderstand ($R_e = \infty$) wird $i_m = 0$. Bei vergleichbaren Textil- oder Kleidungsarten ist diejenige zu bevorzugen, bei der der Wert des Feuchtedurchgangsindex höher liegt. Der Maximalwert beträgt 1.

7.4.2 Die Ventilation der Kleidung

Die Kleidungsventilation kommt dadurch zustande, dass durch sämtliche Kleidungsöffnungen (Ärmelbündchen, Halsausschnitt, Hosenbeine, Hüftabschluss) wärmere und feuchtere Luft aus dem Kleidungsinneren gegen die in der Regel kältere und trockenere Luft in der Umgebung ausgetauscht wird. Das bedeutet, dass Wärme- und Feuchtemengen die Kleidung verlassen können, ohne alle Textilschichten durchdringen zu müssen. Die Wärmeisolation der Kleidung R_c und deren Wasserdampfdurchgangswiderstand R_e nehmen damit nochmals ab. Durch geeignete schnitttechnische Konstruktionen der Kleidung kann dieser Effekt unterdrückt oder unterstützt werden. Dies kann so stark beeinflusst werden, dass Bekleidung, die eine zu hohe Wärmeisolation hat und zu wenig Wasserdampf hindurch lässt, wesentlich angenehmer wird.

Solche Konstruktionen sind beispielsweise Lüftungsöffnungen im Achselbereich oder am Rücken, die durch ihre Pumpwirkung bei Körperbewegungen die Ventilation fördern. Diese können bei Bedarf abgestellt werden - durch einen Reißverschluss o.ä. Beim Tragen von Übergrößen - wie einer zu großen Jacke oder Hose - wird die Ventilation und Konvektion gesteigert, da die Luft leichter ausgetauscht werden bzw. zirkulieren kann (Bild 67).



Bild 67: Konvektion und Ventilation in der Kleidung (MECHEELS 1998)

7.5 Der Tragekomfort

Komfort lässt sich allgemein auch als Abwesenheit von Diskomfort, also als Abwesenheit von auffälligen, unangenehmen Empfindungen definieren (siehe hierzu auch Kap. 2.3 und Kap. 10)

Der Tragekomfort in der Bekleidungsphysiologie wird allerdings detaillierter erklärt und ist eine sehr komplexe Angelegenheit: Eine gute Kleidung bewirkt für ihren Träger eine erfolgreiche Unterstützung der Temperaturregelung über einen weiten Bereich unterschiedlicher Klimaverhältnisse oder körperlicher Anstrengung. Dabei soll der Träger am besten von der Kleidung gar nichts merken. Dann bietet sie ihm einen guten Tragekomfort (MECHEELS 1998). Im Wesentlichen kann er in vier essentielle Bereiche eingeteilt werden:

Der erste Aspekt ist der **thermophysiologische Tragekomfort** der direkten Einfluss auf die Thermoregulation der Person nimmt. Er wird hauptsächlich aus Wärmeisolation und Feuchtetransportvermögen der Kleidung bestimmt; (Die Schlüsselworte hierfür sind: Wärmeisolation, Atmungsaktivität, Feuchtetransportvermögen).

Als **hautsensorischen Tragekomfort** werden die mechanischen Reize bezeichnet, die ein Textil in direktem Kontakt mit der Haut verursacht. Dieses Gefühl kann angenehm sein, wie beispielsweise bei einem glatten oder weichen Textil, aber auch unangenehm wenn das Material kratzt, zu steif ist oder an der schweißnassen Haut klebt. Textilien mit mangelhaftem hautsensorischen Tragekomfort können sogar zu mechanisch verursachten Hautirritationen führen.

Der **ergonomische Tragekomfort** wird von der Passform der Kleidung und der Bewegungsfreiheit, die sie erlaubt bestimmt. Er ist in erster Linie vom Design der Kleidung und der Elastizität des Materials abhängig.

Nicht zuletzt ist der **psychologische Tragekomfort** sehr wichtig. Er wird durch die Mode, persönliche Vorlieben und Ideologien etc. beeinflusst. Der psychologische Aspekt sollte nicht unterbewertet werden: Wer würde sich schon in einer Kleidung wohl fühlen, deren Farbe überhaupt nicht gemocht wird (vgl. BARTELS 2006)?

Damit die Temperaturregulation des Menschen optimal unterstützt wird, muss Bekleidung eine angemessene Wärmeisolation, einen möglichst niedrigen Wasserdampfdurchgangswiderstand, und eine wirksame Ventilation aufweisen. *Das Ergebnis dieses Zusammenspiels zwischen dem menschlichen Körper, dem (Umgebungs-) Klima und der Kleidung [...] ist nun der vom Träger einer Kleidung empfundene Trage- oder Klimakomfort (MECHEELS 1998).*

Ein gutes Tragegefühl und der Tragekomfort von Kleidung sind eine direkte Folge einer ausgeglichenen Wärmebilanz und subjektiv und individuell nicht sehr verschieden. Wird durch schlecht funktionierende Bekleidung diese Bilanz nicht erfüllt, fühlt sich der Träger nicht wohl.

Über die bereits bekannte Gleichung der Wärmebilanz (siehe Kapitel 6.4) kann das Maß des vom Menschen empfundenen thermophysiologicalen Komforts erfasst werden.

Zur kalten Seite hin bestimmt die mittlere gewichtete Hauttemperatur T_s den Komfort, zur warmen Seite die Schweißbelegungsichte der Haut (der Diskomfortfaktor d).

Die mittlere gewichtete Hauttemperatur T_s - das Komfortsignal zur kalten Seite - wird aus dem Durchschnitt von der an 10 bestimmten Hautstellen gemessenen Hauttemperatur berechnet (siehe Bild 68). An den verschiedenen Körperstellen kann die Hauttemperatur durchaus unterschiedlich sein; am Rumpf ist sie am höchsten und an den Extremitäten können Temperaturen von nur 12 °C erreicht werden (wenn dem Menschen kalt ist), ohne dass Gesundheitsschäden zu erwarten sind.

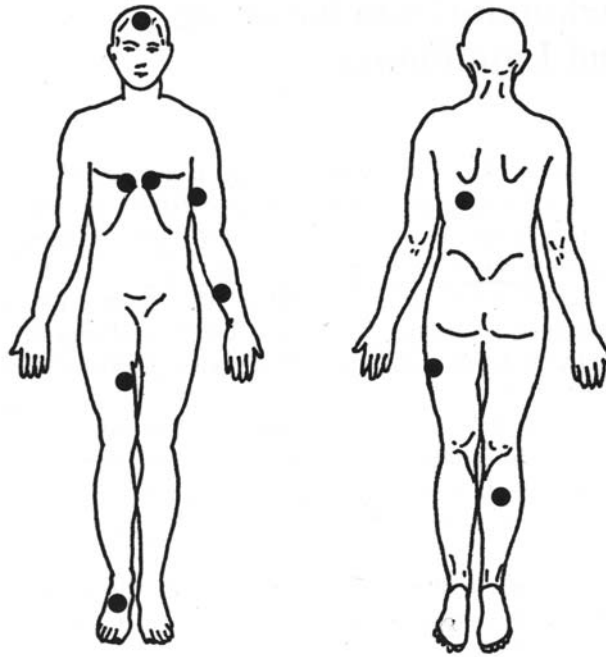


Bild 68: Hauttemperaturen an zehn Körperstellen ergeben als gewichteter Durchschnitt zusammen die mittlere Hauttemperatur T_s (MECHEELS 1998)

Liegt die mittlere Hauttemperatur bei 32 °C oder darüber, dann hält die Kleidung genügend warm und der thermophysiologische Tragekomfort ist gut. Bei niedrigeren Werten nimmt der Komfort rasch und deutlich gestuft ab. Dem Träger der Kleidung wird zunehmend kalt. Werte unter 25 °C sind unerträglich und unzumutbar. Es können dabei Erfrierungen an den Extremitäten und Unterkühlungen auftreten.

Die Schweißbedeckungsrate der Haut (Diskomfortfaktor d) wird in Prozenten ausgedrückt: 0% wäre eine ganz trockene Haut und 100% eine überall mit Schweiß bedeckte. Ein Wert von etwa 6% ist das praktische Minimum, da die Schweißdrüsen die Haut immer ein bisschen feucht halten. Eine ganz schweißnasse Haut ist nicht möglich, da die Schweißdrüsen in unterschiedlicher Häufigkeit über die Haut verteilt sind und an stark schwitzenden Stellen das Wasser schon in Strömen herunter läuft, während andere Stellen noch nicht voll mit Wasser bedeckt sind.

Forschungen ergaben, dass ab einer durchschnittlichen Schweißbelegungsichte von 30% der subjektive Tragekomfort abzunehmen beginnt. Gerade noch als zumutbar gilt eine Bedeckung von 60%. Darüber beginnt der unzumutbare Bereich mit äußerst unangenehmem Empfinden (siehe Bild 69). Letztendlich bricht die Thermoregulation des menschlichen Körpers zusammen und Überwärmung und Hitzekollaps sind die Folgen. Nur hitzetrainierte Menschen halten eine Schweißbelegungsichte von 70% aus.

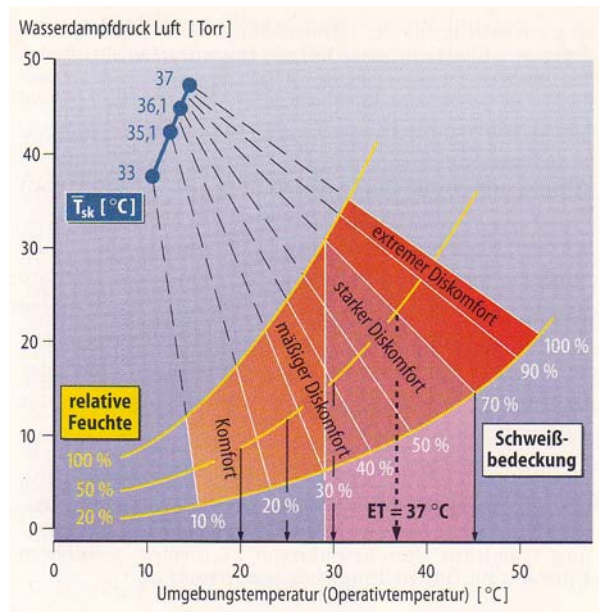


Bild 69: Thermischer (Dis-)Komfort in Abhängigkeit von Wasserdampfdruck und Umgebungstemperatur⁴

Oft wird diese Dichte nicht in Prozent ausgedrückt, sondern als Faktor. Der Diskomfortfaktor d würde bei einer totalen Schweißbedeckung den Faktor 1

⁴Das psychometrische Diagramm stellt den thermischen (Dis-)Komfort in Abhängigkeit des Parameters Wasserdampfdruck in der Luft als Ordinate und Umgebungstemperatur (Operativtemperatur = gewichteter Mittelwert aus Strahlung- und Lufttemperatur) als Abszisse dar. Die Beziehung gilt für leichte Arbeit („3 met“ = Arbeit bei 3facher Steigerung des Ruheumsatzes), leichte Sportbekleidung und relativ geringe Luftbewegung (0,5 m/s). T_{sk} (blaue Linie) = mittlere Hauttemperatur. Orange bis rot: Bereich des mit der Temperatur und dem Wasserdampfdruck zunehmenden Diskomforts: Aussagebereich des Diagramms. Gelbe Linien: relative Luftfeuchte (20, 50, 100%). Weiße Prozentzahlen an den auf die T_{sk} Linie nach links oben konvergierenden Linien geben den Grad der Schweißbedeckung der Haut an. Temperatur- und Feuchtekombinationen, denen ein bestimmter Grad von (Dis-)Komfort entspricht (hier bei 70% Schweißbedeckung), werden durch einen Effektivtemperatur (ET) beschrieben, die als die Operativtemperatur bei 50% relativer Feuchte (schwarze gestrichelte Linie) definiert ist; der violette Bereich zwischen 100 und 20% rel. Feuchte entspricht der ET von 37°C. Nach GAGGE et al. 1976.

erreichen. Die tatsächlichen Werte liegen zwischen 0,06 (praktisches Minimum 6%) und 0,6 (gerade noch zumutbare 60%).

Für den Diskomfortfaktor d kann eine Gleichung verwendet werden, mit der der Verdampfungswärmefluss berechnet wird.

Gleichung für den Verdampfungswärmefluss:

$$Q_f = \frac{(\overline{p_s} - p_a) \cdot a}{R_e} (\text{Watt}) \quad (5)$$

Hierbei ist p_s der Wasserdampfdruck auf der vollständig schweißnassen Haut, was einen Diskomfortfaktor von 1 entsprechen würde. p_a ist der Wasserdampfdruck in der Umgebungsluft. Die Dampfdruckdifferenz zum Antrieb des Wasserdampfdurchgangs durch die Kleidung kann niemals voll ausgenutzt werden. Deshalb ist es sinnvoll, den tatsächlichen Diskomfortfaktor d in die oben stehende Gleichung einzubauen:

$$Q_f = \frac{d \cdot (\overline{p_s} - p_a) \cdot a}{R_e} (\text{Watt}) \quad (6)$$

- a Körperoberfläche
- d Diskomfortfaktor
- p_s mittlerer, gewichteter Wasserdampfdruck
- p_a Wasserdampfdruck
- Q_f feuchter Wärmefluss
- R_e Wasserdampfdurchgangswiderstand einer Textilschicht

7.6 Hautsensorische Effekte

Hier handelt es sich um die Berührungseffekte zwischen der kleidungsinneren Textilschicht und der (schweißnassen) Haut. Da hierbei die Haut mit ihren sensorischen Nerven angesprochen wird, werden diese Erscheinungen hautsensorische Effekte genannt.

Die menschliche Haut ist so aufgebaut, dass sie überhaupt keine Sensoren hat, mit denen sie einen auf der Haut befindlichen Schweiß registrieren könnte. Sie hat zwar Thermorezeptoren und Sensoren für mechanische Berührungsreize, die Druckrezeptoren, aber keine Feuchterezeptoren (vgl. MECHEELS 1998).

Der Mensch bemerkt nur, dass die Haut schweißnass ist, wenn die Auswertung von Sekundäreffekten - aus den thermischen und den Berührungsreizen - dies ergibt. Siehe hierzu auch Bild 70.

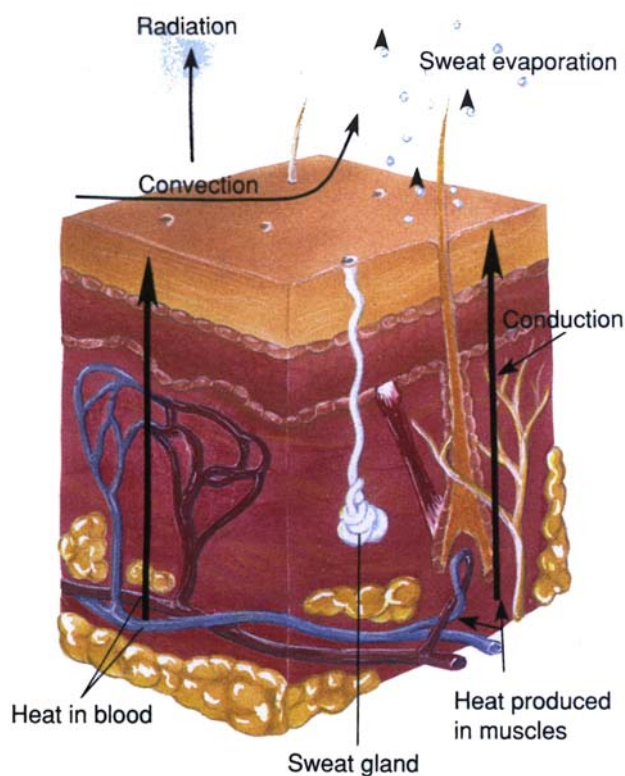


Bild 70: Die menschliche Haut und die Thermoregulation (WILMORE et al. 1994)

Hier sind im Wesentlichen drei Effekte wirksam, die durch die hautnahe Textilschicht beeinflusst werden können.

Ein auf der Haut herab rinnender Schweißtropfen erzeugt einen Berührungsreiz, der den subjektiven Eindruck des Schwitzens vermittelt. Ein Textil, das den Schweißtropfen sofort aufsaugt, lässt dieses Gefühl nicht aufkommen.

Eine Textilschicht, die auf der schweißnassen Haut klebt, erzeugt bei Körperbewegungen ziehende und drückende Effekte. Diese Effekte bewirken wiederum das Gefühl des Schwitzens.

Sind Textilien so konstruiert, dass sie nicht ganz glatt sind, sondern eine gewisse Struktur haben, beschränkt sich der Hautkontakt auf einige wenige Stellen. Die so genannten *Abstandshalter* werden durch abstehende Fäserchen aus den Garnen oder rippenartige Maschenkonstruktionen gewonnen (siehe Bild 71).



Bild 71: Textiloberfläche und Hautsensorik (MECHEELS 1998)

Durch das Wasser, das laufend nach außen verdampft, kühlt eine schweißnasse Textilschicht ab. Liegt das Textil direkt auf der Haut signalisieren die Thermorezeptoren einen Kältereiz, durch den das Schwitzen assoziiert wird.

Deshalb sollten größere Wassermengen in den Textilien nicht in Hautnähe gespeichert werden, sondern etwas entfernt von der Haut zwischengespeichert werden. Die trocken gebliebene, hautnahe Textilschicht wirkt wärmeisolierend und lässt kaum ein Kältegefühl aufkommen.

Sportangepasste Kleidung soll die Grundlage einer möglichst hohen sportart-spezifischen Leistungsfähigkeit bilden und die Bewegungen oder Thermoregulation nicht behindern.

8 Bekleidung und Funktionstextilien im Sport

Sportler stellen besondere Ansprüche an ihre Kleidung. *Intelligente Materialien* sind zunehmend gefragt. Die hautnahe Schicht der Bekleidung ist die Basis aller darüber liegenden Bekleidungsschichten und unterstützt bzw. ermöglicht deren Funktionen (DIETRICH et al. 2003). 2001 wurden in Deutschland knapp 10 Mrd. Euro mit Sportartikeln umgesetzt. Laut GfK-Textilmarktforschung gingen im Jahr zuvor rund 105 Millionen Sporttextilien über die Ladentische, wofür die Deutschen knapp 1,43 Milliarden Euro ausgaben (ohne Sportsocken und -schuhe). Im Jahr 2005 gaben die Deutschen nach einer Untersuchung von GfK [...] insgesamt 11,76 Milliarden Euro für Sportartikel (DIETRICH 2003) aus.

Aus sportlicher und medizinischer Sicht ist die Hauptaufgabe einer sportangepassten Bekleidung die Schaffung einer möglichst hohen sportartspezifischen Leistungsfähigkeit. Dementsprechend sollte keine Behinderung der Bewegung oder der bei körperlicher Belastung schwieriger werdenden Regulation der Körpertemperatur eintreten (vgl. HOLLMANN 2000).

Wichtige Eigenschaften von Sportbekleidung sind:

- Atmungsaktivität (\triangleq Wasserdampfdurchlässigkeit)
- Feuchtigkeitstransport
- Luftdurchlässigkeit
- Elastizität
- Pflegeleichtigkeit
- UV-Schutz
- Waschbarkeit
- Tragekomfort
- Reiß- und Abriebfestigkeit
- Knitterfreiheit

- Wasserdichtigkeit
- Schmutz abweisend
- Temperatur ausgleichend
- schnell trocknend (Quick Dry)
- Geruch absorbierend oder antibakteriell ausgerüstet – wichtig beispielsweise für Sitzpolster in Bike-Hosen; siehe hierzu Bild 72 (vgl. DIETRICH 2003).

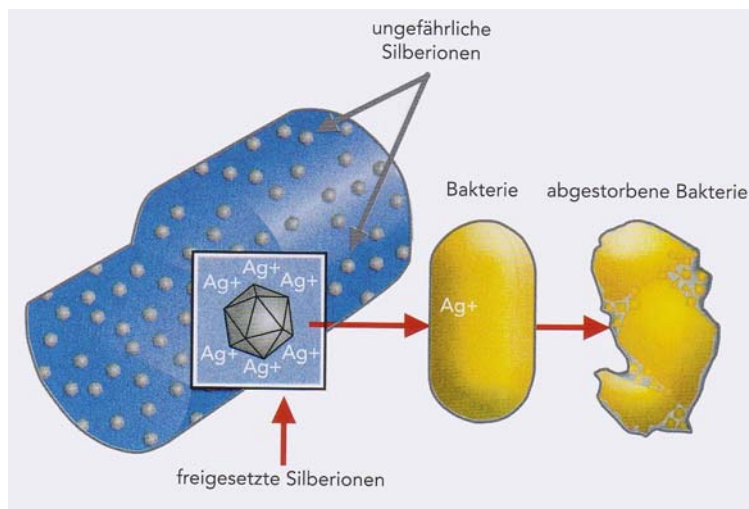


Bild 72: Effect by Odlo, Verhinderung von Bakterienbildung (KNECHT 2003)

8.1 Zwiebelprinzip

Das Zwiebelprinzip ist ein Bekleidungssystem das aus mehreren Bekleidungsschichten besteht. Diese bilden zusammen ein wirksames Funktionssystem. Mehrere einzelne Lagen bedeuten mehr Flexibilität, da das System mühelos an den Grad der Aktivität angepasst werden kann (bzgl. des metabolischen Umsatzes des Trägers und den wechselnden Umgebungsbedingungen). Wenn es zu warm wird genügt es beispielsweise die Jacke zu öffnen oder ein Kleidungsstück abzulegen. Wichtig ist dabei, dass das Zwiebelsystem als Kette von fein aufeinander abgestimmten Komponenten betrachtet wird (siehe Bild 73).

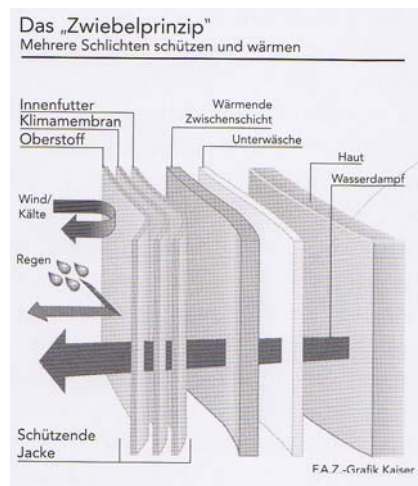


Bild 73: Übersicht Zwiebelprinzip, F.A.Z. (GOTTBRATH 2003)

Ziel dieses Prinzips ist es, seinen Benutzer und dessen Organismus optimal vor Wind und Wetter zu schützen; es umfasst drei Schichten:

1. Schicht: Unterwäsche (Base Layer). Die Basisschicht liegt direkt auf der Haut. Ihre Aufgabe ist es, Feuchtigkeit von der Haut wegzuleiten, sodass sich kein klammes oder kaltes Gefühl einstellen kann. Diese Schicht muss vor externen Elementen geschützt werden, so dass keine Feuchtigkeit zurück in das Bekleidungssystem dringen kann. Gute Leitgewebe sind: wasser- und feuchtigkeitsabweisende synthetische Fasern; sie isolieren und leiten Flüssigkeit von der Haut weg. Diese Leitungsfähigkeit ist jedoch nicht mit Atmungsaktivität zu verwechseln. Die leitende Schicht trägt Feuchtigkeit weg vom Körper, wohingegen atmungsaktive Bekleidungssteile Feuchtigkeit in Form von Dampf (Wasser in Gasform) durch das Gewebe hindurch entweichen lassen. Beide Funktionen dienen dazu, dass der Körper trocken bleibt - allerdings auf unterschiedliche Art und Weise (vgl. GORE 2006).
2. Schicht: Wärmeschicht (Warmth oder Mid Layer). Diese Schicht wird über der Basisschicht getragen. Ihre Rolle besteht darin warme Luft einzufangen um Wärmeverlust zu verhindern.
3. Schutz vor Wind und Wetter (Outer Shell). Hier handelt es sich um die äußere Schicht. Für optimales Wohlbefinden blockt die Außenschicht Wind und Wasser und verhindert gleichzeitig, dass die wärmeisolierende

Luft der zweiten Schicht abgetragen wird. Ist eine solche Isolierung nicht gegeben, werden sich Wind, Wasser und Kälte langsam aber sicher ihren Weg durch die Außenschicht, möglicherweise bis zur Haut bahnen. Deshalb sollte sie absoluten Wasser- und Windschutz sowie gute Atmungsaktivität garantieren.

Natürlich können diese Lagen auch variiert werden. Ist es warm, aber regnerisch kann beispielsweise die zweite Schicht weggelassen werden (vgl. GOTTBATH 2003).

Softshell Materialien etwa vereinen die zweite und dritte Schicht. Sie könnte auch als zweite Lage mit stark erhöhter Wetterschutzfunktion bezeichnet werden.

8.2 Textilkonstruktionen

Zahlreiche Textilkonstruktionen unterstützen den Sportler bei nahezu allen Umgebungsbedingungen. Hier einige Beispiele:

Für Textilien, die als einzige Schicht am Körper getragen werden, wie z.B. Fußballshirts oder Bodies, haben sich zweiflächige Konstruktionen aus Synthetik mit Kapillarverengung bewährt (Denier Gradient). Bei diesen werden an der, der Haut zugewandten, Innenfläche feine Garne aus gröberen Einzelfasern und an der Außenfläche gröbere Garne aus feineren Fasern (z.B. Mikrofasern) eingesetzt (siehe Abbildung). Damit verengen sich die Garn – bzw. Faserkapillaren von der Innenschicht zur Außenschicht des Textils hin. Dadurch wird eine besondere Saugwirkung und damit ein besonders effektiver Transport flüssigen Schweißes von der Haut weg bewirkt. Dieser verteilt sich an der Textilaußenfläche und wird von da aus in die Umgebungsluft verdampft (siehe Bild 74).

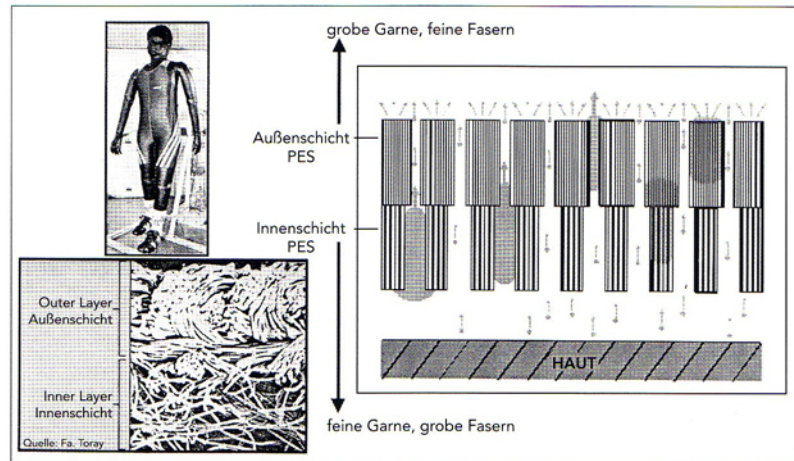


Bild 74: Schweißtransport in zweiflächigen Textilien mit Kapillarverengung („Denier Gradient“) (UMBACH 2003)

Wenn dies aber nicht die einzige Bekleidungsschicht ist, kann es in der hautnahen Textilschicht zu einem Feuchtestau kommen; insbesondere bei einer Wetterschutzkleidung, die flüssige Feuchte nicht durchlässt. Auch wenn sie atmungsaktiv ist und Wasserdampf transportieren kann erfolgt bei großen, aus der Unterwäsche anfallenden Schweißmengen, der Transport durch die Wetterschutzkleidung in vielen Fällen nicht rasch genug. Es tritt eine Rückbefeuchtung der Unterwäsche ein, die der Träger als subjektiv unangenehm registriert. Für ein aus mehreren Komponenten bestehendes Kleidungssystem sind zweiflächige Textilien zu empfehlen die nach dem Double-Face-Prinzip aufgebaut sind (siehe Bild 75). An der, der Haut zugewandten Innenfläche, befindet sich Synthetik mit gutem Transportvermögen für Schweiß, an der Außenfläche gut Feuchte aufnehmendes Fasermaterial wie etwa Baumwolle, Wolle, Viskose oder deren Mischungen. Die Unterwäsche wird so als trocken und hautsensorisch angenehm empfunden und sie trocknet wesentlich rascher ab als Wäsche aus 100% Baumwolle. Ein unangenehmes oder gar gesundheitsschädliches Frösteln (post-exercise-chill) in Ruhephasen nach Aktivität, bei der stark geschwitzt wurde, wird so wirkungsvoll verhindert (vgl. UMBACH 2003).

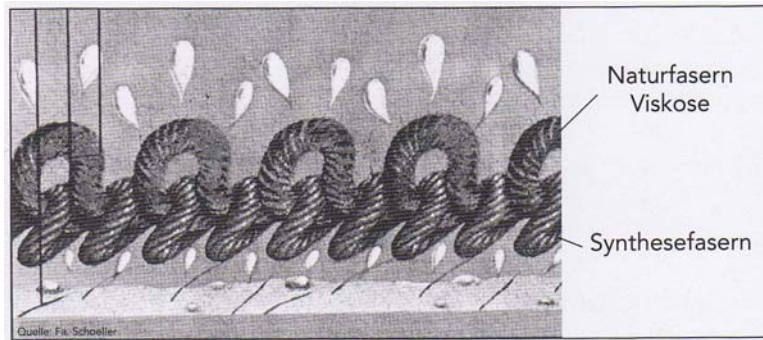


Bild 75: Konstruktionsprinzip zweiflächiger Textilien („Double Face“) (UMBACH 2003)

Im Folgenden sollen noch exemplarisch vier Materialien der 3. Schicht erwähnt werden, die Besonderheiten bei Wärme- bzw. Feuchtmanagement aufweisen.

Phase Change Materials

Die sogenannten Phase Change Materials (PCM) kommen aus der Raumfahrttechnik. Mikroskopisch kleine Parafinkapseln nehmen die bei Sport entstehende überschüssige Körperwärme auf und geben diese wieder an den Träger ab, wenn er beispielsweise bewegungslos im Lift sitzt und der Auskühlung ausgesetzt ist (Bild 76). Sie ermöglichen eine Klimakontrolle da sich das Textil an die jeweiligen Temperaturen anpasst (vgl. LUCKMANN 2003).

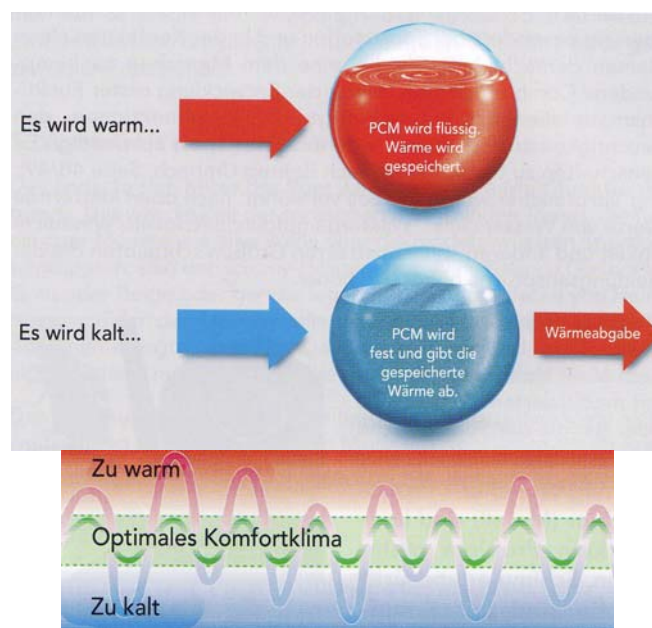


Bild 76: Dynamische Klimakontrolle bei ComfortTemp®, Schoeller (LUCKMANN 2003)

Airvantage

Bei dem Thermo-Isolations-System *Airvantage* von W.L. Gore & Associates GmbH kann der Träger selbst durch Aufblasen oder Luftablassen die Wärmeisolation seiner Bekleidung regulieren (Bild 77). Es handelt sich dabei um ein zwischen zwei luftdichten, atmungsaktiven Laminaten liegendes Luftkammer-System, das über ein am Kragen angebrachtes Ventil zu bedienen ist (vgl. DIETRICH 2003).

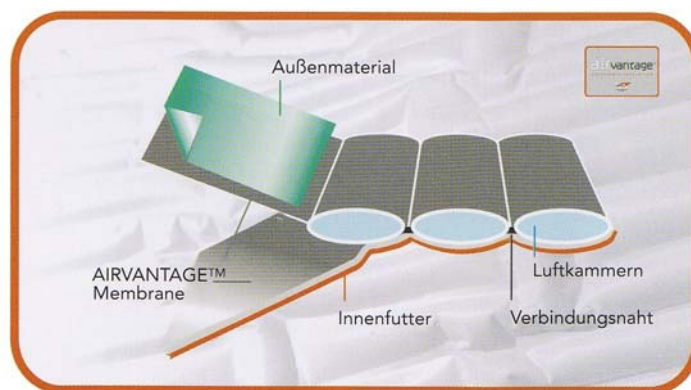


Bild 77: Gore-Tex®-Airvantage™-Membran, Gore (DIETRICH 2003)

TransActive

TransActive heißt ein Membransystem von Vaude, das Schweiß nicht nur als Dampf sondern auch in flüssiger Form vom Körper wegtransportiert (Bild 78). Die der Haut zugewandte Seite ist hydrophil und saugt den Schweiß auf, verteilt ihn großflächig und gibt die Flüssigkeit an die mittlere Lage weiter. Diese besteht aus Wasser abweisenden, sowie Wasser anziehenden Elementen, ähnlich wie bei einer Ziegelmauer. Dort drückt der Wasser abweisende Ziegel das Wasser weg, während der Mörtel dazwischen Wasser anzieht und es an die oberste Schicht weiterleitet wo die Feuchtigkeit verdunstet wird. Diese oberste Schicht ist von Außen sowohl wasser- als auch winddicht (vgl. DIETRICH 2003).

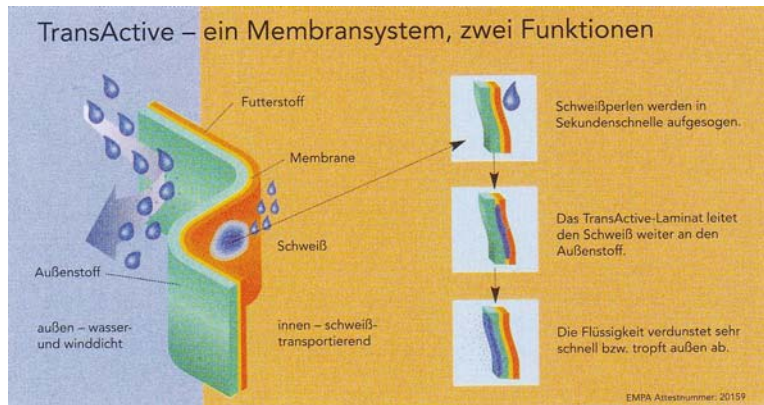


Bild 78: TransActive-Membransystem, (DIETRICH 2003)

Reflexion®

Die Firma Sympatex Technologies GmbH hat in Anlehnung an die Raumfahrttechnologie eine mit wenigen Nanometern (50nm) Aluminium bedampfte Membran entwickelt. Diese Membran reflektiert bis zu 75% der eigenen Körperwärme, sodass die Isolationsschicht und somit die Dicke des Textils reduziert und die Bewegungsfreiheit in dem fertig konfektionierten Teil verbessert wird. Diese Membran kann wie eine herkömmliche auf einen textilen Träger laminiert werden und ist ebenso wasserdicht wie atmungsaktiv (siehe Bild 79) (vgl. WITTMANN et al. 2007).

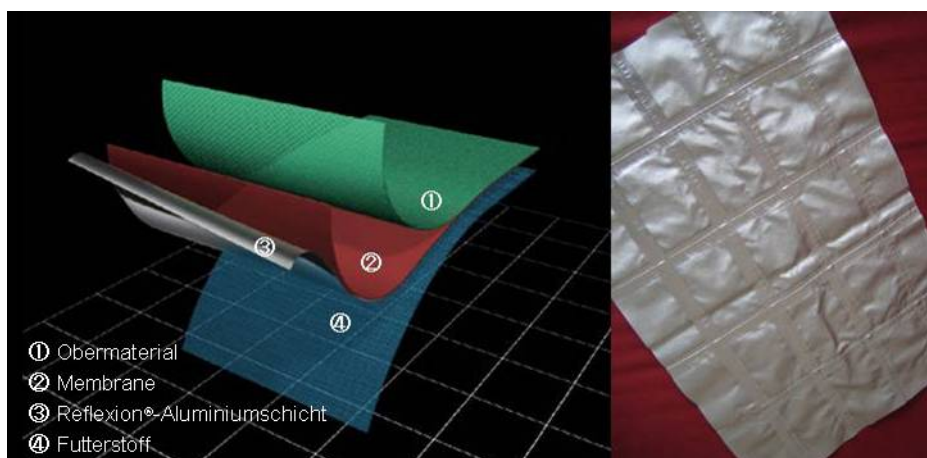


Bild 79: Aufbau einer Reflexion® Membran (re); verschweißte Nähte eines 2-Lagen-Laminats (li) (WITTMANN et al. 2007)

Auch die Besonderheiten der menschliche Anatomie im Zusammenhang mit sportlicher Bewegung finden Beachtung bei der Herstellung und Entwicklung von Sporttextilien: Der Schweizer Spezialist für Ski- und Sportunterwäsche Odlo, hat einen Skilanglauf-Anzug entwickelt, der Erkenntnisse aus der Biomechanik mit Materialtechnologie vereint. Bi-elastische Stoffe unterstützen die Bewegung der Langläufer. Während im Achselbereich und am oberen Rücken besonders atmungsaktives Material verarbeitet wurde, setzte Odlo wärmenden Stoff an der Armoberseite, am Unterarm, am Kragen, den Knien, und im Nieren- und Blasenbereich ein (DIETRICH 2003).

Besonders schwierig ist die Situation in Sportarten, die Schutzkleidung erforderlich machen, wie beispielsweise dem Fechten. Es wird zwangsläufig die Wärmeabstrahlung vom Körper und damit die Leistungsfähigkeit beeinträchtigt. So lag etwa bei 32 untersuchten Spitzenfechtern die mittlere Körperoberflächentemperatur bei konstanten Umgebungsbedingungen in Körperruhe mit Fechtkleidung 1,4°C höher und unter Fechtbelastung sogar um 2°C als nur mit einer Sporthose bekleidet (vgl. HOLLMANN et al. 2000).

9 Apparaturbesprechung

9.1 Klimakammer

Die Klimakammer ist ein abgeschlossener Raum, in dem verschiedene Klimakomponenten (Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck, -geschwindigkeit und -zusammensetzung, Lichtverhältnisse u.a.) variiert werden können; sie wird zu therapeutischen Zwecken (etwa bei Erkrankungen der Atmungsorgane), für physiologische Untersuchungen an Menschen, Tieren und Pflanzen sowie zur Materialprüfung verwendet.

Die Klimakammer der Firma W.L. Gore & Associates ist ein Raum von 16 m² Größe und befindet sich im Haus des Firmensitzes in Putzbrunn bei München. Die Regelbereiche liegen bei -20 bis +40°C Raumtemperatur bei einer Regelgenauigkeit von $\pm 1,5^\circ\text{C}$; bei der Raumfeuchte kann eine relative Luftfeuchtigkeit von 30 bis 95% bei einer Genauigkeit von $\pm 3\%$ eingestellt werden.

9.2 Herzfrequenzmessung

Während des Feldversuchs erfolgte die Messung der Herzfrequenz während der gesamten Testfahrt durch die Pulsuhren Polar[®] S810[™] und S625X[™] der Firma Polar Electro Oy, Kempele, Finnland. Bei dem Klimakammerversuch wurde sie zusätzlich mithilfe eines Pulsgurtes gemessen. Als Empfänger fungierte hier der MSR[®] Datenlogger (siehe Kapitel 9.6).

9.3 Spiroergometrie

Bei den Vorversuchen in der Klimakammer erfolgte die spiroergometrische Messung mit dem mobilen System MetaMax[®] 3B (Firma Cortex[®] Biophysik, Leipzig, Deutschland), das Breath-by-Breath misst. Die Probanden atmeten

durch eine Hans-Rudolph-Gesichtsmaske, auf die ein Mundstück mit einem Volumensensor zur Messung des Atemvolumens aufgesetzt war (siehe Bild 80). Die Daten werden im Logger des Gerätes gespeichert und können sowohl online dargestellt werden als auch zu einem späteren Zeitpunkt mit der zugehörigen Software Metasoft® 2.0 (Firma Cortex® Biophysik, Leipzig, Deutschland) ausgewertet werden.



Bild 80: Proband bei der spiroergometrischen Messung

9.4 Laktat

Die Laktatkonzentration im Blut wurde mittels des Testgerätes Lactate Pro 1710 der Firma Arkray (Japan) gewonnen (Bild 81). Es werden dazu 5 µl Blut vom Ohr direkt in den Teststreifen entnommen und das Ergebnis erfolgt sofort.



Bild 81: Laktatmessgerät „Lactate Pro“ mit Stechlanzette

9.5 Multifunktionsmessgerät für Umgebungsbedingungen

Um die relative Feuchte, die Umgebungstemperatur und die Windgeschwindigkeit während des Feldversuches zu messen, wurde das Multifunktionsmessgerät ALMEMO® 2290-8 von AHLBORN Mess- und Regelungstechnik (Holzkirchen, Deutschland) verwendet (siehe Bild 82).

Die relative Feuchte und die Temperatur wurden mit einem kombinierten Feucht- und Temperaturfühler der Firma Schiltknecht (Gossau, Schweiz) gemessen.



Bild 82: Flügelradanemometer und Temperatur-/Feuchtesensor der Firma Schiltknecht

In der Klimakammer wurde die genaue Windgeschwindigkeit unter Verwendung des Strömungssensors MiniAir der Firma Schiltknecht (Gossau, Schweiz) ermittelt. Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit mit einem Flügelradanemometer gilt als die genaueste unter den möglichen Messmethoden. Die Drehzahl des Flügelrades ist nahezu linear zur Strömungsgeschwindigkeit und weitgehend unabhängig von Druck, Temperatur, Dichte und Feuchtigkeit. Die Windgeschwindigkeit wird in m/s abgelesen.

9.6 MSR[®] Datenlogger und Messfühler

Zur Aufzeichnung der Hauttemperaturen und –feuchten, der Körperkern-temperatur und der Herzfrequenz wurde ein MSR[®] (Modular Signal Recorder) Datenlogger der Firma Prospective Concepts AG (Glattbrugg, Schweiz) verwendet. An das Modul sind die kombinierten Temperatur- und Feuchte-sensoren und der Rektalfühler angeschlossen. Die Herzfrequenz wird von einem Polarpulsgurt an den Logger gesendet und ebenfalls gespeichert (siehe Bild 83). Die Abfrage der Sensoren geschieht parallel. Mithilfe des Programms MSR[®] Reader wird der Datenlogger am PC ausgelesen und die Daten zur Bearbeitung in eine Textdatei konvertiert.

Die verwendeten Thermoelemente messen in einem Regelbereich von -20°C bis $+60^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Der Messbereich der Feuchtesensoren liegt bei 40% bis $99\% \pm 3\%$ relativer Feuchte.



Bild 83: MSR[®] Datenlogger mit kombinierten Thermo- und Feuchtesensoren, Rektalfühler und Polar[®]-Pulsgurt.

9.7 Infrarot-Kamera

Die Infra-Rot-Kamera ThermoCAM[™] PM575, kurz IR-Kamera, der Firma FLIR[®] Systems GmbH (Frankfurt/Main, Deutschland) wurde bei den Versuchen eingesetzt (siehe Bild 84), um Aussagen über die Oberflächentemperatur während der Versuchsdauer zu verschiedenen Trainingszeiten machen zu

können. Für die Bearbeitung und Auswertung der aufgezeichneten Bilder wurde das Computerprogramm AGEMA™ Report 5.4 der gleichen Firma eingesetzt.



Bild 84: IR-Kamera mit Stativ in der Klimakammer (li); IR-Kamera der Firma FLIR® Systems GmbH (re)

Die Thermographie ist eine anerkannte Methode zur berührungslosen Messung von Oberflächentemperaturen auf der Grundlage der abgegebenen Wärmestrahlung.

Die IR-Thermographie beruht darauf, dass jeder Körper mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes (0 K oder -273 °C) eine elektromagnetische Strahlung, sprich Wärmestrahlung, emittiert, die im Infrarot-Bereich liegt (vgl. LANGENMEIR 2004).

9.8 Windrotor



Um für die Versuchsreihe den Fahrt- und Abfahrtswind künstlich simulieren zu können, wurde eine Windmaschine eingesetzt. Sie bestand aus zwei übereinander angeordneten Hochleistungs-Axialmotoren mit stufenloser Drehzahlregelung (siehe Bild 85). Die maximal erreichbare Windgeschwindigkeit liegt bei 36 km/h (10 m/s). Die Windmaschinenmotoren werden mit jeweils 230 V betrieben.

Bild 85: Windrotoren

9.9 Fahrradergometer Klimakammer und Feldversuch



Bei dem Fahrradergometer in der Klimakammer handelt es sich um ein ergo_bike 4000 TRS der Firma daum electronic (Fürth, Deutschland). Für den Vorversuch zum Feldtest wurde ein ergo_bike premium 8i der Firma daum electronic (Fürth, Deutschland) verwendet (siehe Bild 86). Ihre Leistung ist das Produkt aus Kraft multipliziert mit Geschwindigkeit. Bei der Ergometrie entsprechen die Kraft der Bremskraft und die Geschwindigkeit der Drehzahl (Umdrehungen/min). Beide Fahrräder sind elektrisch gebremste Ergometer und drehzahlunabhängig. Wird die Drehzahl geändert, dann wird die Bremskraft gegensinnig geregelt, sodass das Produkt – die Leistung – konstant bleibt (vgl. HABER 2004).



Bild 86: Fahrradergometer ergo_bike 4000 TRS (oben);
Fahradergometer ergo_bike premium 8i (unten)

10 Definition des subjektiven Empfindens

Die Empfindung wird nach dem allgemeinen DTV Lexikon (Band 5 1999) wie folgt definiert: „*Empfindung, Gefühl, unmittelbares Erleben, Weise des Wahrnehmens und Erlebens; im eigentlichen Sinne der einfachste, nicht zerlegbare Wahrnehmungsinhalt, der bei der Einwirkung eines Reizes auf ein Sinnesorgan entsteht.*“

In der Psychologie wird der Prozess der Empfindung und Wahrnehmung sehr komplex behandelt:

Häufig wird Empfinden von Wahrnehmung so unterschieden, dass beim Empfinden der Verstand noch nicht beteiligt ist, bei der Wahrnehmung schon.

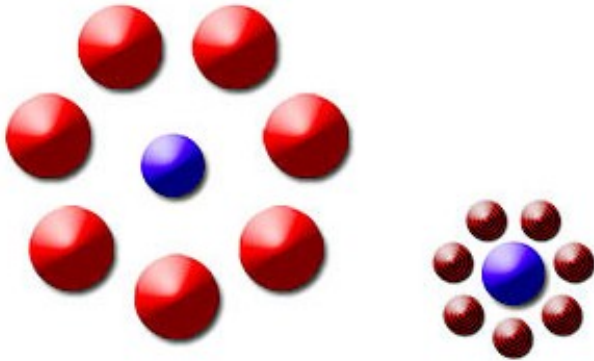
Aufgabe der Wahrnehmung ist es, den sich ständig verändernden, oft chaotischen Input aus äußeren Energiequellen über die Sinnesorgane aufzunehmen und zu stabilen, geordneten Perzepten (das was wahrgenommen wird), die für den jeweiligen Betrachter relevant sind, zu organisieren. „*Es handelt sich um das erfahrene (phänomenale) Ergebnis des gesamten Wahrnehmungsprozesses, der so unterschiedliche psychische Vorgänge wie Zusammenfügen, Urteilen, Schätzen, Erinnern, Vergleichen und Assoziieren umfasst*“ (ZIMBARDO 2006). So wie der Begriff oben eingeführt wird, bezieht er sich auf den Gesamtprozess. Um den Vorgang leichter zu verstehen unterteilt ZIMBARDO den Wahrnehmungsprozess in drei Stufen: (sensorisches) Empfinden, Wahrnehmen, Klassifizieren.

Die erste Stufe der Wahrnehmung ist die *sensorische Empfindung*. Auf dieser Stufe wird die physikalische Energie, wie beispielsweise Licht oder Schallwellen, über die menschlichen Sinne aufgenommen und in die neurale Aktivität von Gehirnzellen umgewandelt.

Auf der nächsten Stufe erfolgt die *Wahrnehmung* im engeren Sinn. Die Eigenschaften und Bestandteile der Reize werden in erkennbare Muster und Formen umgewandelt und interpretiert. Diese beruhen auf inneren

Berechnungen, die in der Vergangenheit erworbenes Wissen mit aktuellen Informationen der Sinnesorgane zusammenführt.

Die *Klassifizierung* ist die letzte Stufe des Wahrnehmungsprozesses in der die Eigenschaften der wahrgenommenen Gegenstände in vertraute Kategorien eingeteilt werden. Auf dieser Stufe wird die Fragestellung der Wahrnehmung:



„Was ist dieser Gegenstand?“
umgewandelt in die Fragestellung der Klassifikation „Was ist die Funktion dieses Gegenstandes? Wozu dient er?“ Siehe hierzu auch Bild 87 (vgl. ZIMBARDO 2006).

Bild 87: Der rechte blaue Ball scheint größer als der linke, obwohl ihre Größe identisch ist.

Eine entscheidende Rolle für das subjektive Erleben von Sinneseindrücken spielt die Aufmerksamkeit auf die jeweiligen Reize. Der Druck der Kleidung auf der Haut wird beispielsweise die meiste Zeit über nicht gespürt, außer es wird das eigene Empfindungsvermögen gezielt auf diesen Reiz fokussiert (siehe auch Bild 88).

Sinne	Reiz	Sinnesorgan	Rezeptor	Empfindung
Sehen	Lichtwellen	Auge	Stäbchen und Zapfen der Retina	Farben, Muster, Texturen
Hören	Schallwellen	Ohr	Haarzellen des Corti-Organ	Geräusche, Töne
Empfindungen der Haut	Äußerer Kontakt	Haut	Nervenendungen in der Haut	Berührung, Schmerz, Wärme, Kälte
Geruch	Geruchstragende Substanzen	Nase	Haarzellen des olfaktorischen Epithels	Düfte (moschusartig, blumig, verbrannt, pfefferminzartig)
Geschmack	Lösliche Substanzen	Zunge	Geschmacksnerven der Zunge	Geschmacksempfindungen (süß, sauer, salzig, bitter)
Körperbewegung	Mechanische Energie	Muskeln, Gelenke, Sehnen	Nervenenden	Orientierung im Raum, Bewegung, Druck, Schmerz
Gleichgewicht	Mechanische Kraft und Schwerkraft	Innenohr	Haarzellen in den Bogen-gängen und im Vestibulum	Bewegung im Raum, »Zug« der Schwerkraft
Empfindungen der inneren Organe	Mechanische Energie	Teile des Ver-dauungsapparates	Nervenenden	Druck, Schmerz

Bild 88: Empfindung: Die Reize und Rezeptoren der menschlichen Sinne (ZIMBARDO 2006)

Wie bereits in Kapitel 2.3 beschrieben sind die Einflussfaktoren auf das subjektive Empfinden und das damit zusammenhängende Komfort- bzw. Diskomfortempfinden nicht auf einer kontinuierlichen Skala von extremem Komfort über neutrales Empfinden bis hin zu extremen Diskomfort zu finden. In der folgenden Abbildung ist ein Plan von 43 Deskriptoren des Komforts und Diskomforts zu sehen die von ZHANG eindeutig in zwei Areale eingeteilt werden: auf der rechten Seite sind zwei große Gruppen die mit Komfort identifiziert werden können und auf der linken Seite stehen Faktoren wie Müdigkeit und die des Diskomforts die ZHANG als „*pain-biomechanics*“ betitelt (vgl. ZHANG et al. 1996).

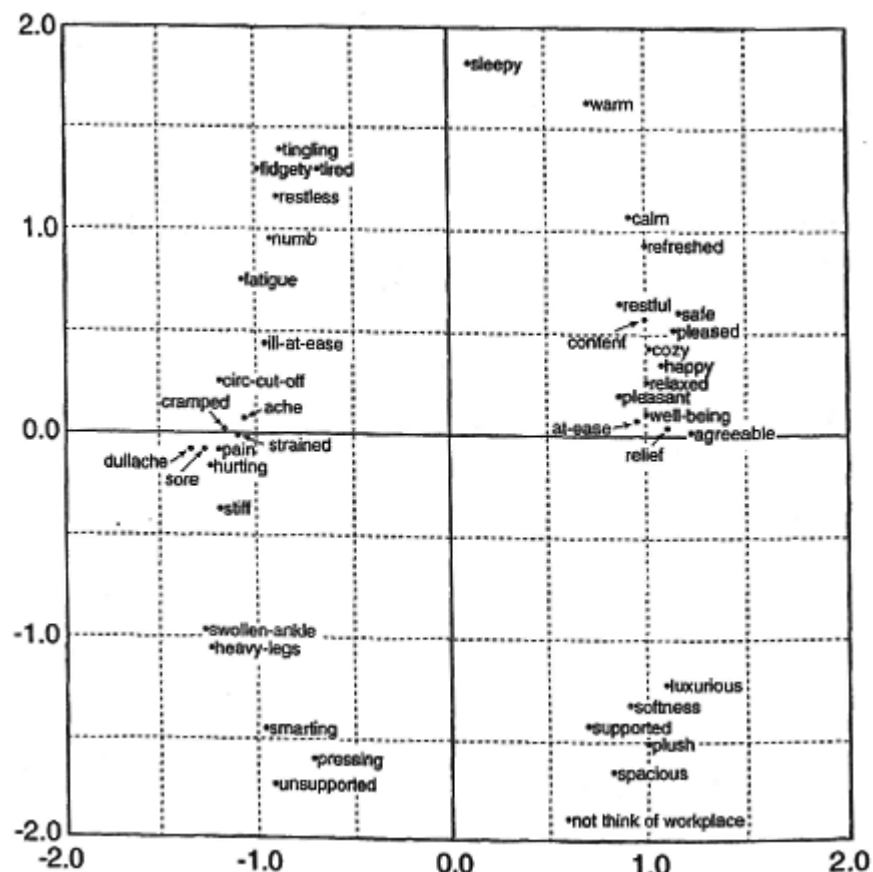


Bild 89: Plot of 43 descriptors of comfort and discomfort, multidimensional scaling approach (SAS, ALSCAL procedure, INDSCALE option) (ZHANG et al. 1996)

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „subjektives Empfinden“ verwendet. Er beschreibt die Wahrnehmung der Probanden von Temperatur und Feuchte auf der Haut, Tragekomfort, Belastung etc. und wird von ihnen positiv, neutral oder negativ bewertet.

11 Stichwortliste Bekleidungstechnik

Abstandhalter	Fein herausstehende Faserenden die das Textil auf Abstand zur Haut halten und verhindern, dass das nasse Bekleidungsstück auf der Haut „klebt“.
Arbeitsbekleidung	Bekleidung die bei der Ausübung des Berufs getragen wird. Häufig hat Arbeitsbekleidung eine Schutzfunktion wie z.B. Feuerweherschutzanzug oder Chemieschutzanzug.
Arbeitsschwere	Drückt die Belastungshöhe einer körperlichen Arbeit aus.
Atmungsaktiv	Der korrekte Begriff wäre Wasserdampfdurchlässigkeit. Er bedeutet, dass Wasserdampf durch das Textil dringen kann.
Ausrüstung	Sammelbegriff für alle Textilveredelungsverfahren unterschieden in chemische Ausrüstung wie zum Beispiel Färben, Hydrophilierung und mechanische Ausrüstung beispielsweise scheren von abstehenden Fasern.
Baumwolle (CO)	Ist stark hygroskopisch, läßt sich statisch nicht auf, ist angenehm zu tragen und hautverträglich. Nachteil ist, dass sie die aufgenommene Feuchtigkeit nur sehr langsam wieder abgibt und entsprechend schlecht trocknet.
Bekleidungsphysiologie	Wissenschaft des menschlichen Körpers in seiner textilen Umgebung. Sie erforscht die physikalischen Prozesse zwischen Haut, Kleidung und Umwelt und deren Einfluss auf die Physiologie des Menschen.
Bekleidungssystem	Besteht aus mehreren Bekleidungsteilen, die einzeln und in der Gesamtheit eine Aufgabe übernehmen.
biofunktionale Textilien	Textilien die so ausgerüstet sind, dass sie beispielsweise die Verringerung des Schweißgeruchs in Sportwäschen bewirken oder antimikrobiell oder keimtötend sind.
clo	Clothing Unit. Kleidungssystem in Bezug auf Wärmeisolation nach GAGGE et al. 1976. Ein clo entspricht der Wärmeisolation einer Kleidung eines Mannes (Sakko, Hose, Hemd, Unterwäsche, Strümpfe), dem angenehm warm ist, in einem Raum mit 21°C Umgebungstemperatur, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50%, einer Luftgeschwindigkeit von 0,1 m/s und einem Wärmeumsatz von ca. 60 W/m ² . Hier bei gilt: 1 clo = 0,155 m ² K/Watt
Denier	Ist die Maßeinheit für die Faserstärke, basierend auf einer festgelegten Länge. Sie bezeichnet das Gewicht in Gramm eines Fadens von 9000 Metern Länge.
Elastan	Gruppenbezeichnung für extrem dehbare und elastische Synthetikfasern (z.B. Lycra), die in das Material eingewebt/ gestrickt werden.
Faser	Kleinste Einheit des Textils.
Feuchtetransport	Eigenschaft des Textils, Körpernässe bzw. Feuchtigkeit von der Haut zu nehmen und sie an der Faseroberfläche oder in Faserkanälen (Hohlfasern) nach außen zu transportieren.
funktionell	Beschreibt das Vorhanden sein einer bestimmten Funktion, die einem bestimmten Zweck dient.

Gestricke	Textile Fläche bei der die Maschen nacheinander in quer verlaufender Richtung gebildet werden.
Gewirke	Textile Fläche bei der mehrere Maschen vorgeformt und dann zu Maschen in längs verlaufender Richtung gebildet werden.
Hautmodell	Misst Wärme- und Feuchtetransportvermögen von Textilien. Es können verschiedene Tragesituation mit unterschiedlich starkem Schwitzen nachgestellt werden.
Hydrophil	Wasseranziehende Fasern, sie können relativ viel Feuchtigkeit aufnehmen.
Hydrophob	Wasserabweisende und wasserabstoßende Fasern.
Laminat	Feste Verbindung von mindestens zwei Flächen. Es wird z.B. zwischen 2-Lagen und 3-Lagen Laminaten unterschieden. Ersteres besteht aus einem nach außen getragenen Oberstoff und einer Membran, Zweiteres aus Oberstoff und Futter mit einer dazwischen liegenden Membran.
Luftdurchlässigkeit	Widerstandsfähigkeit eines Textils gegen Austausch von Luft. Sie wird allgemein als Winddichte bezeichnet.
Manikin	Fachlicher Ausdruck für eine anatomisch geformte Gliederpuppe, die gewisse menschliche Funktionen simuliert. Die EMPA arbeitet mit einem Schwitztorso, einem schwitzenden Kopf (ALEX) und einem gehenden und schwitzenden Ganzkörpermodell (SAM). Das Bekleidungsphysiologische Institut Hohenstein arbeitet mit der Gliederpuppe Charlie.
Maschenware	Es werden ein oder mehrere Fäden mit sich selbst zu Maschen verschlungen. Es wird zwischen Gewirke und Gestricke unterschieden.
Membrane	Wind- und wasserabweisende hauchdünne Flächen (ca. 0,025mm) aus z.B. PTFE, PES, PU.
Mikroklima	Eine rund 1mm dünne Luftschicht über der Haut. Charakterisiert wird das Klima auf der Haut durch die Temperatur und die relative Feuchte.
Piquet	Es wird zur Erzielung einer plastischen Musterung (wabenartig) ein spezielles Fadensystem mit einer Oberfläche aus Feingewebe verwendet.
Polyamid (PA)	Als Polyamid wird Nylon und Perlon bezeichnet. Es wird durch hohe Kondensation von Diaminen und Dikarbonsäuren gewonnen und nach mehreren chemischen Prozessen zu Fasern versponnen. PA nimmt etwa 4% seines Eigengewichts an Feuchtigkeit auf.
Polyester (PES)	Polyester besteht aus langen Molekülketten mehrwertiger Säuren und mehrwertiger Alkohole. Hat neben Polypropylen mit einer Feuchtigkeitsaufnahme von 1% des Eigengewichts die niedrigste Aufnahme aller Chemiefasern und trocknet deshalb sehr schnell.
Push-Pull-Funktion	Textile Fläche mit hydrophob-hydrophilem Charakter. Der Schweiß wird aufgesogen und an der Außenseite großflächig verteilt wo er verdunsten kann (vgl. NOCKER & CZUTKA 2004).
Quellbarkeit	Die Fähigkeit textiler Stoffe durch Feuchtigkeitsaufnahme ihr Volumen zu vergrößern.
Schutzbekleidung	Schützt mehr als normale Kleidung vor äußeren Einflüssen wie z.B. Hitze, Nässe, chemischen und mechanischen Reizen.

Sportbekleidung	Der Begriff gilt für jede Art von Textilien die für die Ausübung sportlicher Aktivität eingesetzt wird z.B. auch Tauchanzüge.
Steifigkeit	Ist der Zusammenhang zwischen der Last die auf einen Körper einwirkt und dessen Verformung. Ist ein Textil zu steif wird es als unangenehm empfunden.
Veredelung	Oberbegriff für Nachbehandlungen von Textilien (vgl. auch Ausrüstung).
Windchill-Effekt	Durch den schnelleren Abtransport der Körperwärme und der Feuchtigkeit wird die Temperatur im Textil durch Wind erheblich gesenkt. Wie stark der Verlust der Wärmeisolation ist, hängt von der Windgeschwindigkeit ab.

(vgl. LUCKMANN 2001)

12 Fragebogen

Technische Universität München - Fakultät für Sportwissenschaft
Lehrstuhl für Sportgeräte und -materialien

Fragebogen

zu Material und Gestaltung der körpernahen
Bekleidungsschicht auf das subjektive Empfinden beim
Mountainbiken.

Datum:/09/2005

Name:

m **w**

Dauer gesamt:hmin

Bekleidung: **A** **B**

Gewicht: kg

Alter:

Im folgenden findet Ihr eine Reihe von möglichen Eigenschaften der
Testbekleidung. Beurteilt bitte ausschließlich das SHIRT.

Bitte gebt Eure Erfahrung mit dieser Kleidung wieder, indem ihr
rückblickend auf die Fahrt eine Einschätzung abgebt.

Es geht dabei ausschließlich um Eure Eindrücke und Eure Erfahrung.

Antwortet bitte spontan und aufrichtig und lasst keine Antwort aus.

DANKE für Eure Mithilfe!










1. Allgemeine Tagesform

- 1 sehr gut
 2 gut
 3 geht so
 4 schlecht
 5 sehr schlecht

2. Belastungsempfinden (nach BORG-Skala)

bitte nur einen Wert ankreuzen

- | | | | | | |
|---|----|-------------------|----|-------------------|---|
|  | 6 | | 13 | etwas schwer |  |
| | 7 | sehr, sehr leicht | 14 | | |
| | 8 | | 15 | schwer |  |
|  | 9 | sehr leicht | 16 | | |
| | 10 | | 17 | sehr schwer |  |
|  | 11 | ziemlich leicht | 18 | | |
| | 12 | | 19 | sehr, sehr schwer |  |
| | | | 20 | | |

3. Erfahrung beim Mountainbiken

- 1 sehr viel
 2 viel
 3 geht so
 4 wenig
 5 gar keine

4. Überbekleidung

wann hattet Ihr zusätzlich die Jacke über dem Shirt? (Mehrfachnennungen möglich)

- nie
 bergauf
 Pause
 bergab
 immer

5. Körperwärmeempfinden

bitte beide Wertungen ankreuzen

an der Brust:

- angenehm
- zu kalt
- zunächst warm dann zunehmend unangenehm kalt
- zu Beginn angenehm dann Wärmestau
- unangenehmer Wärmestau während der ganzen Zeit
- Belastung musste auf Grund der Wärme reduziert werden

gesamt:

-

6. Schweißabsorption

- | | | | | |
|----------|-----|---------|----------|---------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| sehr gut | gut | geht so | schlecht | sehr schlecht |

7. Schweißnässestellen

Brust

- | | | | | |
|---------|-----|--------|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| trocken | | feucht | | naß |

Rückenmitte

- | | | | | |
|---------|-----|--------|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| trocken | | feucht | | naß |

Kragen

- | | | | | |
|---------|-----|--------|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| trocken | | feucht | | naß |

Achseln

- | | | | | |
|---------|-----|--------|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| trocken | | feucht | | naß |

Schultern

- | | | | | |
|---------|-----|--------|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| trocken | | feucht | | naß |

die Schweißnässestellen:

- stören nicht
- sind unangenehm und kalt
- sind unangenehm da sie scheuern
- sind beides



sonstige Anmerkungen zur Schweißabsorption/den Schweißnässestellen:

.....

.....

8. Thermischer Komfort

- ①
sehr gut
- ②
gut
- ③
geht so
- ④
schlecht
- ⑤
sehr schlecht

9. Winddichtigkeit

- ①
sehr gut
- ②
gut
- ③
geht so
- ④
schlecht
- ⑤
sehr schlecht

10. Passform

- ①
sehr gut
- ②
gut
- ③
geht so
- ④
schlecht
- ⑤
sehr schlecht

11. Material-Hautempfinden

Material trocken

- ①
sehr gut
- ②
gut
- ③
geht so
- ④
schlecht
- ⑤
sehr schlecht

Material feucht

- ①
sehr gut
- ②
gut
- ③
geht so
- ④
schlecht
- ⑤
sehr schlecht

12. Geruch

- ①
sehr gut
- ②
gut
- ③
geht so
- ④
schlecht
- ⑤
sehr schlecht

13. Gesamturteil

- ①
sehr gut
- ②
gut
- ③
geht so
- ④
schlecht
- ⑤
sehr schlecht



zusätzliche positive und negative Anmerkungen:

z.B. „Material sehr weich“ oder „Naht scheuert“

.....

.....

13 Anhang allgemein

- **Gewicht für Shirt Größe M**

Prüfgerät: Kalibrierte Waage; messgenau bis 0,001 g

Prüfbedingungen: angelehnt an ISO 3801 (1977) – es wurde kein Flächengewicht anhand 5 definierter Proben in g/m² gemessen sondern das Gesamtgewicht des Shirts.

Prüfklima: Ta = 23°C φa = 50% r.F.

Mittelwert aus fünf Einzelmessungen an drei verschiedenen Shirts.

- **Dicke**

Prüfgerät: Druckstempel

Prüfbedingungen: s. DIN EN 29 073

Prüfklima: Ta = 23°C φa = 50% r.F.

Mittelwert aus zehn Einzelmessungen an je zehn Messproben

- **Wasserdampfdurchgangswiderstand R_{et} (m²Pa/W)**

Prüfgerät: Thermoregulationsmodell der menschlichen Haut (Hautmodell)

Prüfbedingungen: s. DIN EN 31 092 (02/94) bzw. ISO 11 092 (10/93)

Prüfklima: Ta = 35°C φa = 40% r.F.

Mittelwert aus drei Einzelmessungen an drei verschiedenen Probeabschnitten jedes Musters

Die Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 2 auf Seite 18 zu finden.

Gruppe der Probanden aus Feldversuch

Tabelle 31: Anthropometrische Merkmale der Probandenstichprobe

Proband	Gr.	Alter [J]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI [kg/m ²]	Körperober- fläche [m ²]	
1	♀	A	22	55	163	21	1,58
2	♀	A	21	56	170	19	1,63
3	♀	A	23	58	162	22	1,62
4	♀	A	21	53	159	21	1,53
5	♀	A	20	67	169	23	1,77
6	♀	B	22	56	160	22	1,58
7	♀	B	22	58	166	21	1,64
8	♀	B	20	55	161	21	1,57
9	♀	B	22	56	165	21	1,6
10	♀	B	21	66	177	21	1,8
11	♂	A	21	74	174	24	1,89
12	♂	A	24	76	185	22	1,98
13	♂	A	22	85	185	25	2,09
14	♂	A	22	73	179	23	1,91
15	♂	A	24	77	185	22	1,99
16	♂	B	22	78	182	24	1,99
17	♂	B	21	64	180	20	1,79
18	♂	B	22	66	180	20	1,82
19	♂	B	25	57	163	21	1,61
20	♂	B	24	72	178	23	1,89
gesamt	X ± SD	22,05 ± 1,36	65,1 ± 9,69	172,15 ± 9,3	21,8 ± 1,51	1,76 ± 0,17	
♀	X ± SD	21,4 ± 0,97	58 ± 4,71	165,2 ± 5,53	21,2 ± 1,03	1,63 ± 0,09	
♂	X ± SD	22,7 ± 1,42	72,2 ± 8	179,1 ± 6,67	22,4 ± 1,71	1,9 ± 0,13	
Gr. A	X ± SD	22 ± 1,33	67,4 ± 11,2	173,1 ± 10,1	22,2 ± 1,69	1,8 ± 0,2	
Gr. B	X ± SD	22,1 ± 1,54	62,8 ± 7,8	171,2 ± 8,9	21,4 ± 1,26	1,73 ± 0,15	

Tabelle 32: Leistungsdiagnostische Merkmale der Probandenstichprobe

Proband	Gr.	Laktat IAS [mmol]	HF IAS [S/min]	Leistung/Ge- wicht IAS [W/kg]	Laktat max. [mmol]	HF max. [S/min]	
1	♀	A	4,16	153	2,35	11,8	184
2	♀	A	4,01	158	2,78	9,9	177
3	♀	A	2,91	135	2,3	8,9	182
4	♀	A	4,04	150	2,8	11,1	189
5	♀	A	2,39	144	1,78	10,2	184
6	♀	B	2,83	170	2,32	8,4	195
7	♀	B	2,23	145	2,47	7,9	180
8	♀	B	3,29	147	2,3	10,5	188
9	♀	B	2,11	155	2,21	6,7	173
10	♀	B	6,11	176	1,63	9,1	181
11	♂	A	3,19	158	3,2	9,6	200
12	♂	A	2,87	133	2,2	11,7	158
13	♂	A	3,02	154	2,9	10,8	185
14	♂	A	2,95	145	2,92	10,1	179
15	♂	A	3,32	145	2,9	10,3	185
16	♂	B	2,64	136	1,94	9,7	175
17	♂	B	2,82	165	2,93	13,62	202
18	♂	B	2,71	158	2,8	13,5	200
19	♂	B	3,1	155	1,82	14	192
20	♂	B	2,76	129	2,4	10	179
gesamt X ± SD		3,17 ± 0,88	151 ± 12,15	2,45 ± 0,44	10,39 ± 1,88	184 ± 10,43	
♀	X ± SD	3,41 ± 1,22	153 ± 12,13	2,29 ± 0,37	9,45 ± 1,55	183 ± 6,29	
♂	X ± SD	2,94 ± 0,22	148 ± 12,12	2,6 ± 0,48	11,33 ± 1,75	186 ± 13,69	
Gr. A	X ± SD	3,29 ± 0,59	148 ± 8,6	2,61 ± 0,43	10,23 ± 2,14	185 ± 9,5	
Gr. B	X ± SD	3,06 ± 1,13	154 ± 14,74	2,28 ± 0,41	10,55 ± 1,67	183 ± 11,71	

Versuchsdesign Klimakammerversuch

Belastung Fahrradergometer

Proband: _____

Klima: _____

Material: _____

File: _____

Versuchsdesign

20 min	65% Watt IAS	80-90 RPM	1 m/s Wind
20 min	80% Watt IAS	70-80 RPM	kein Wind
20 min	95% Watt IAS	70-80 RPM	kein Wind
15 min	aufrecht Sitzen	0	kein Wind
10 min	50 Watt	50 RPM	4 m/s Wind
20 min	65% Watt IAS	80-90 RPM	1 m/s Wind

Tabelle 33: Versuchsdesign Klimakammerversuch

Zeit	Temperatur		Feuchte		Komfort	Borg	Belastung	Wind
	Brust	Rücken	Brust	Rücken				
0							65 % IAS	1 m/s Wind
5								
10								
15								
20								
25							80% IAS	kein Wind
30								
35								
40								
45							95% IAS	kein Wind
50								
55								
60								

Zeit	Temperatur		Feuchte		Komfort	Borg	Belastung	Wind
	Brust	Rücken	Brust	Rücken				
65							Pause (sitzen)	kein Wind
70								
75								
80							50 Watt	4 m/s Wind
85								
90							65% IAS	1 m/s Wind
95								
100								
105								
110								
115								

Tabelle 34: Randomisierung der Versuchsreihenfolge der Klimakammerversuche

	Vortest	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
VPN 1	N 25°C	A 20°C	B 30°C	C 20°C	A 30°C	B 20°C	C 30°C
VPN 2	N 25°C	C 30°C	A 20°C	B 30°C	C 20°C	A 30°C	B 20°C
VPN 3	N 25°C	B 20°C	C 30°C	A 20°C	B 30°C	C 20°C	A 30°C
VPN 4	N 25°C	A 30°C	B 20°C	C 30°C	A 20°C	B 30°C	C 20°C
VPN 5	N 25°C	C 20°C	A 30°C	B 20°C	C 30°C	A 20°C	B 30°C
VPN 6	N 25°C	B 30°C	C 20°C	A 30°C	B 20°C	C 30°C	A 20°C
VPN 7	N 25°C	A 20°C	B 30°C	C 20°C	A 30°C	B 20°C	C 30°C
VPN 8	N 25°C	C 30°C	A 20°C	B 30°C	C 20°C	A 30°C	B 20°C
VPN 9	N 25°C	B 20°C	C 30°C	A 20°C	B 30°C	C 20°C	A 30°C
VPN 10	N 25°C	A 30°C	B 20°C	C 30°C	A 20°C	B 30°C	C 20°C
VPN 11	N 25°C	C 20°C	A 30°C	B 20°C	C 30°C	A 20°C	B 30°C
VPN 12	N 25°C	B 30°C	C 20°C	A 30°C	B 20°C	C 30°C	A 20°C

Fragen zur subjektiven Wahrnehmung des thermophysiologischen Komforts

Tabelle 35: Wärmeempfinden

Wärmeempfinden am Körper	Wertung
unerträglich kalt	1
sehr kalt	2
kalt	3
kühl	4
angenehm	5
leicht warm	6
warm	7
sehr warm	8
unerträglich heiß	9

Tabelle 36: Tragekomfort

Tragekomfort	Wertung
sehr gut	1
gut	2
befriedigend	3
ausreichend	4
mangelhaft	5
unbefriedigend	6

Tabelle 37: Schweißempfinden

Schweißempfinden am Körper	Wertung
trocken	0
Brust und Rücken schwitzen geringfügig	1
Brust und Rücken schwitzen	2
der Körper schwitzt	3
der Körper schwitzt – die Kleidung haftet an der Haut	4
Schweiß rinnt an manchen Stellen herab	5
Schweiß rinnt an vielen Stellen herab	6
unerträglich	7












	6		13	etwas schwer	
	7	sehr, sehr leicht	14		
	8		15	schwer	
	9	sehr leicht	16		
	10		17	sehr schwer	
	11	ziemlich leicht	18		
	12		19	sehr, sehr schwer	
			20		

Bild 94: Borg – Skala

Gruppe der Probanden aus Klimakammerversuch

Tabelle 38: Anthropometrische Daten Personenstichprobe Klimakammer

	Alter [J]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI [kg/m ²]	Körperoberfläche [m ²]
1	22	74	174	24	1,89
2	22	64	180	20	1,77
3	23	78	175	25	1,95
4	26	74	180	23	1,92
5	25	71	182	21	1,89
6	22	71	182	21	1,89
7	27	78	180	24	1,97
8	22	82	181	25	2,03
9	22	76	187	22	1,99
10	23	77	179	24	1,96
11	28	76	180	23	1,95
12	26	86	190	24	2,13
X ± SD	24 ± 2,26	75,58 ± 5,6	180,83 ± 4,39	23 ± 1,65	1,95 ± 0,09

Tabelle 39: Leistungsdiagnostische Daten Personenstichprobe Klimakammer 1

	Laktat IAS [mmol]	HF IAS [S/min]	HF 65% IAS [S/min]	HF 80% IAS [S/min]	HF 95% IAS [S/min]
1	2,61	156	101	125	148
2	3,12	154	100	123	146
3	2,78	149	97	119	142
4	3,42	155	101	124	147
5	2,5	166	108	133	158
6	2,88	149	97	119	142
7	2,52	138	90	110	131
8	2,79	151	98	121	143
9	4,02	152	99	122	144
10	3,16	146	95	117	139
11	3,07	153	99	122	145
12	3,16	155	101	124	147
X ± SD	3 ± 0,43	152 ± 6,65	98,8 ± 4,32	121,6 ± 5,32	144 ± 6,31

Tabelle 40: Leistungsdiagnostische Daten Personenstichprobe Klimakammer 2

	Lstg/KG IAS [W/kg]	Watt IAS [W]	Watt 65% IAS [W]	Watt 80% IAS [W]	Watt 95% IAS [W]
1	3	223	145	178	212
2	3,1	199	129	159	189
3	3,1	233	151	186	221
4	3,2	236	153	189	224
5	4,5	316	205	253	300
6	3,1	218	142	174	207
7	3	236	153	189	224
8	3,3	269	175	215	256
9	3	229	149	183	218
10	3,1	238	155	190	226
11	3,3	248	161	198	236
12	3	257	167	206	244
X ± SD	3,23 ± 0,42	241,83 ± 29,53	157,19 ± 19,19	193,47 ± 23,62	229,74 ± 28,05

14 Anhang Ergebnisse

14.1 Feldversuch

14.1.1 Subjektive Daten

Allgemeine Tagesform

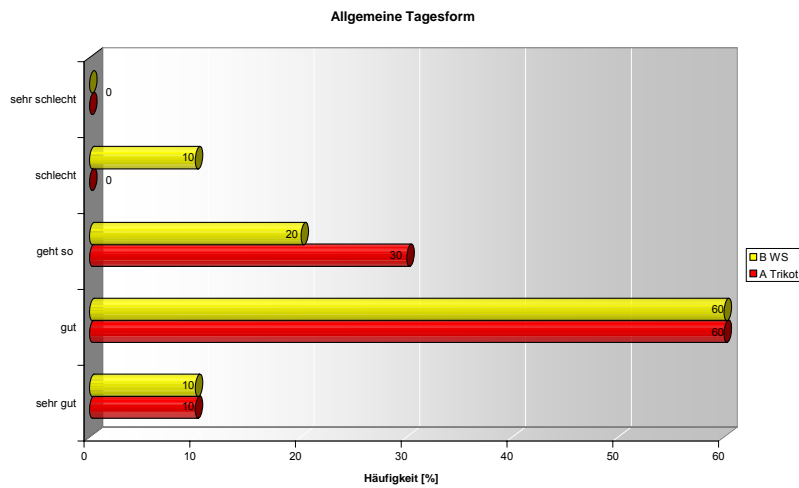


Bild 95: Allgemeine Tagesform Feldversuch

Erfahrung bei Radfahren

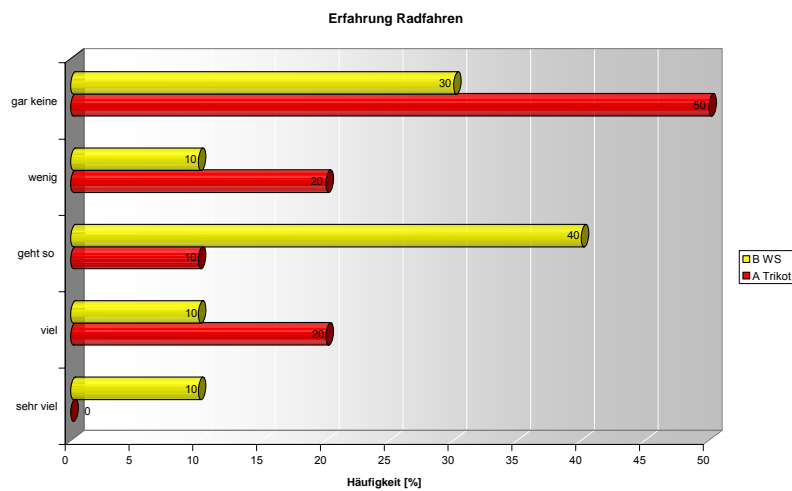


Bild 96: Erfahrung Radfahren

Belastungsempfinden nach BORG

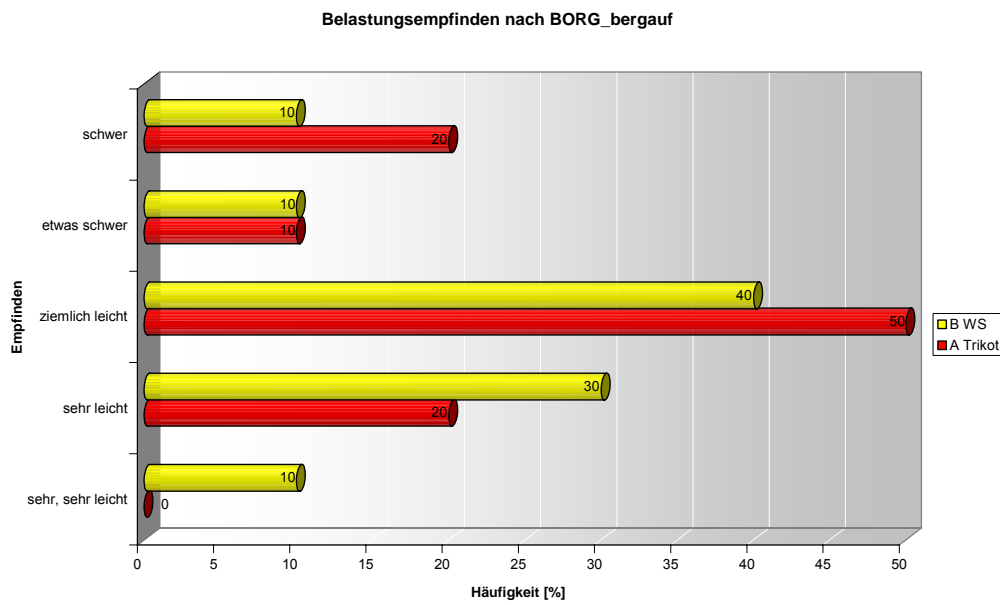


Bild 97: Belastungsempfinden nach BORG bergauf

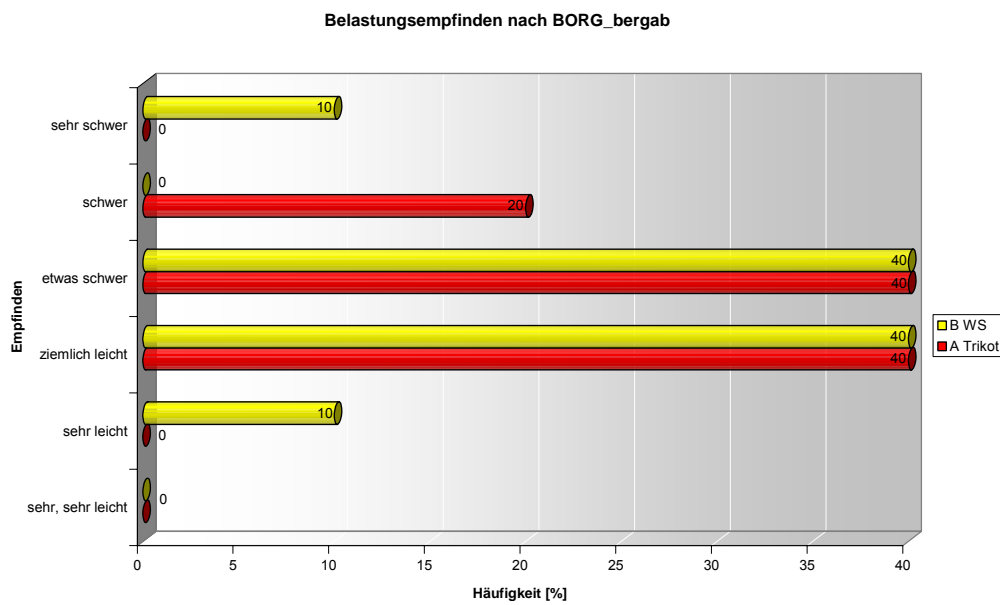


Bild 98: Belastungsempfinden nach BORG bergab

Schweißabsorption

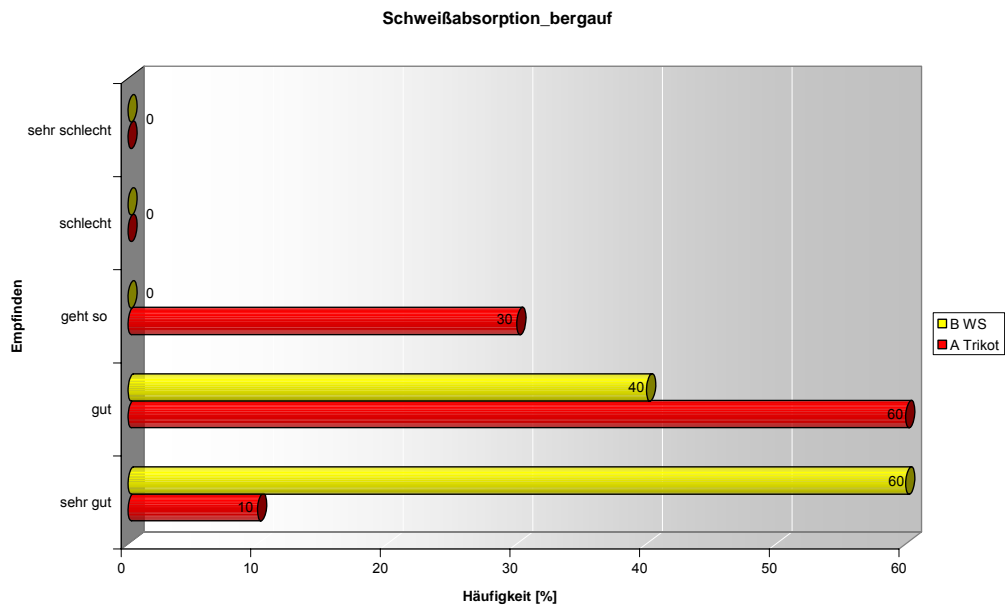


Bild 99. Schweißabsorption bergauf

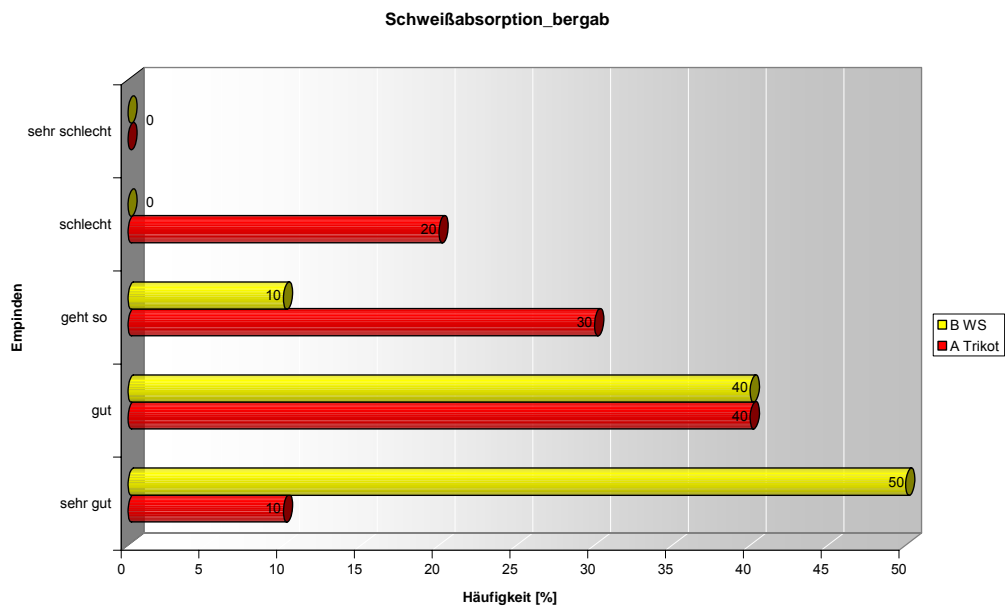


Bild 100: Schweißabsorption bergab

Thermischer Komfort

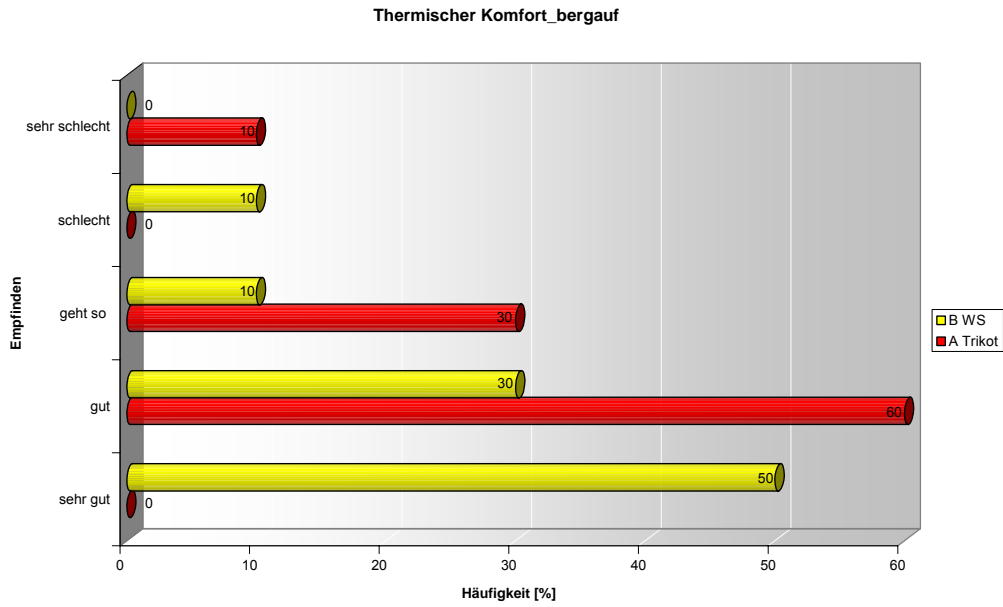


Bild 101: Thermischer Komfort bergauf

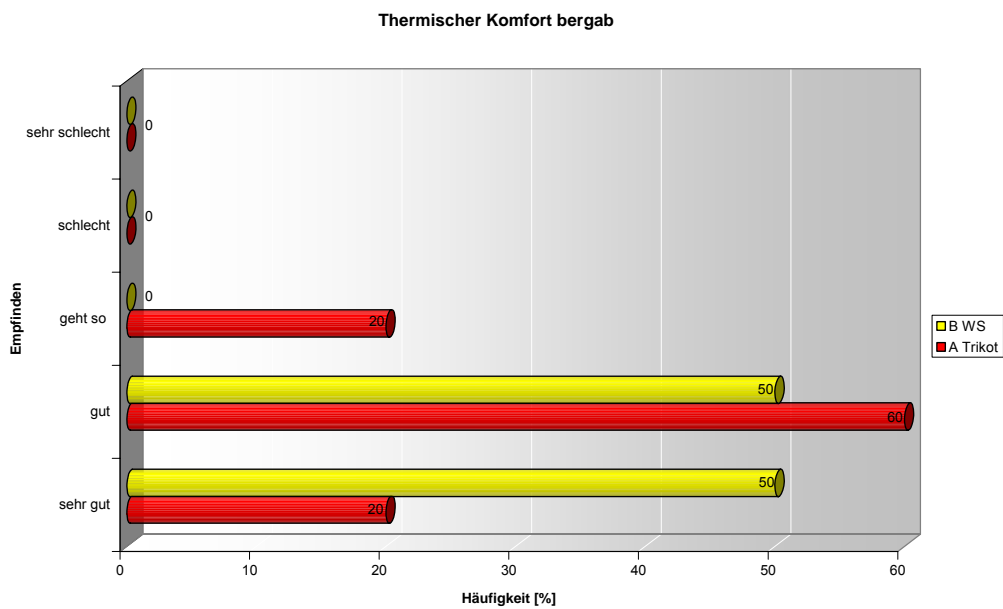


Bild 102: Thermischer Komfort bergab

Winddichtigkeit

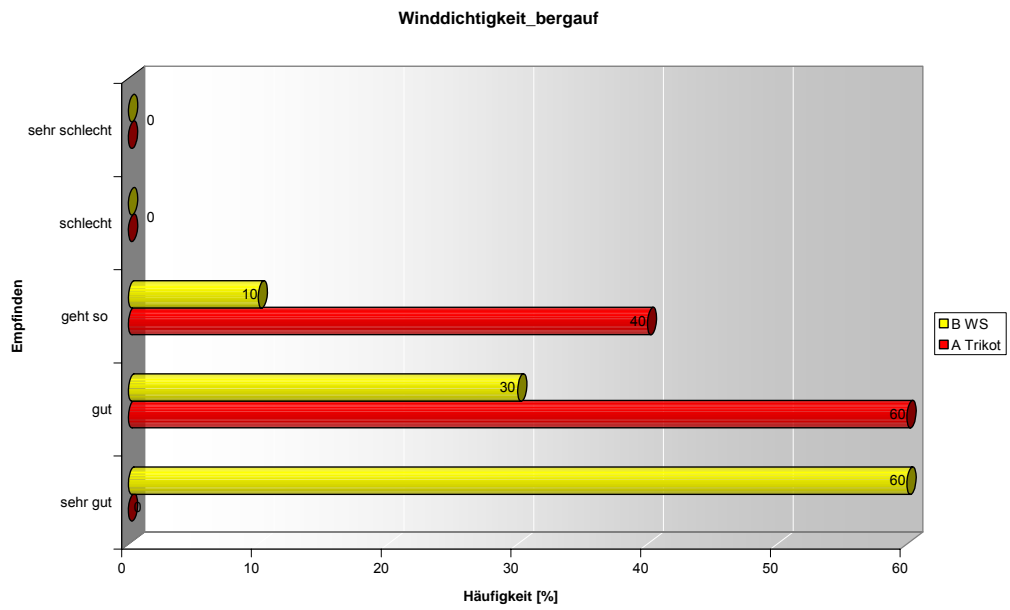


Bild 103: Winddichtigkeit bergauf

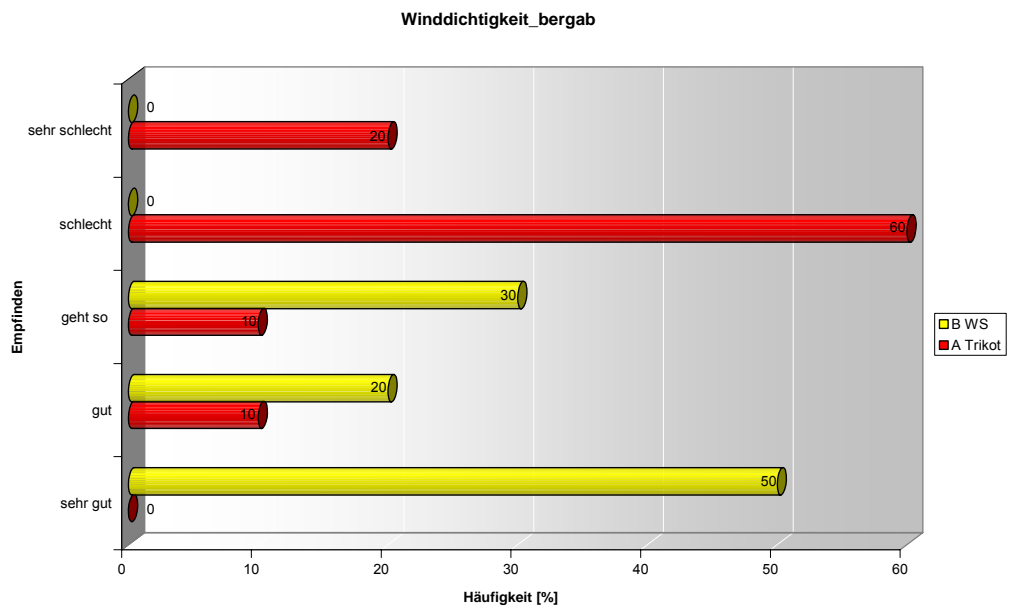


Bild 104: Winddichtigkeit bergab

Passform

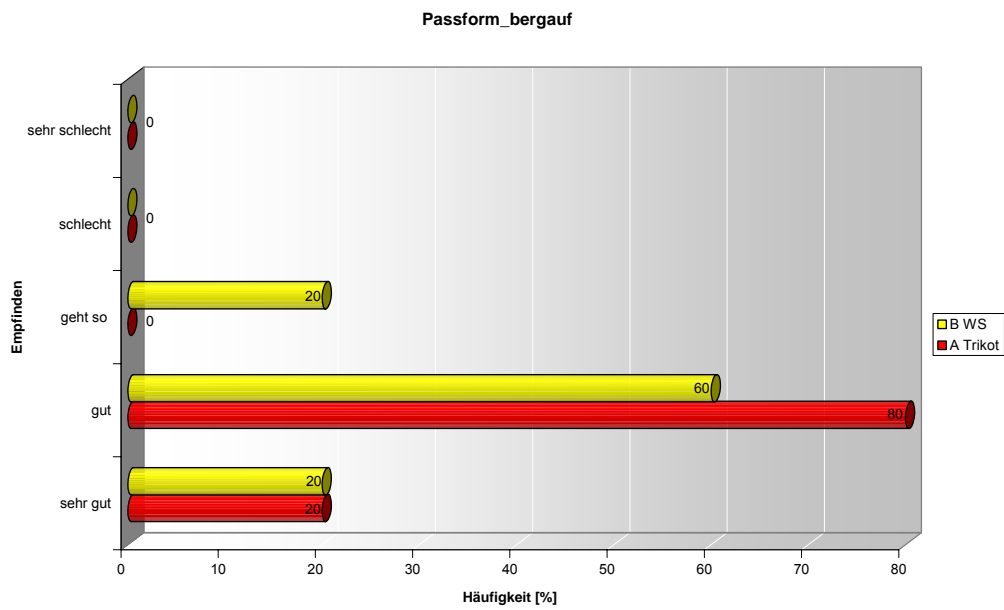


Bild 105: Passform bergauf

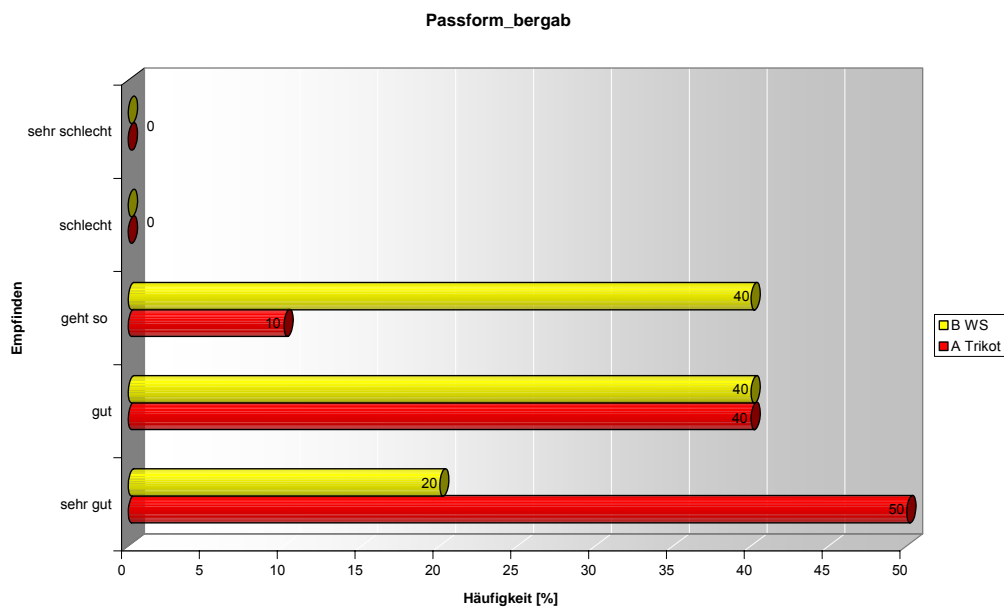


Bild 106: Passform bergab

Material Hautempfinden trocken

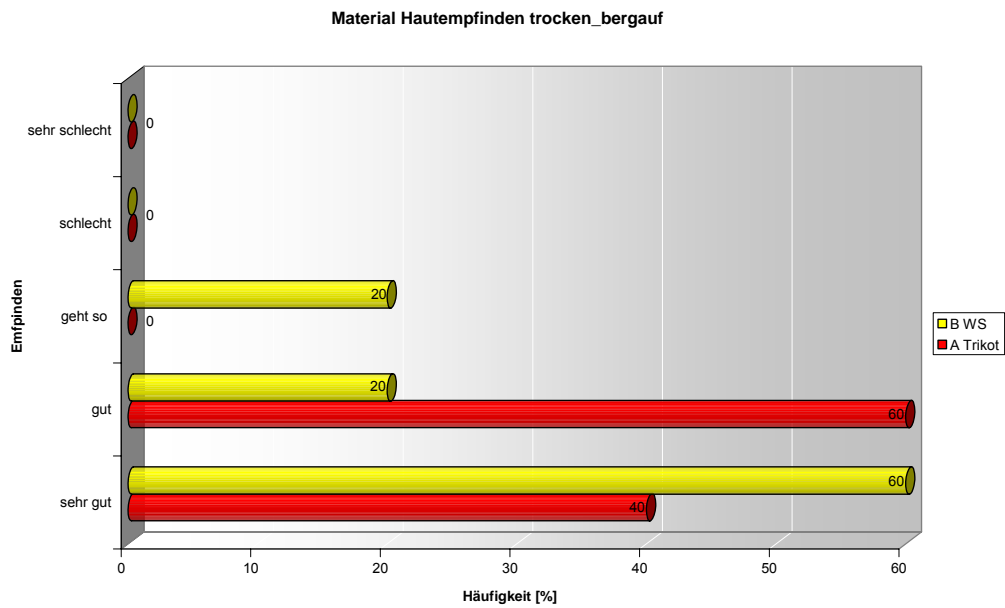


Bild 107: Material Hautempfinden trocken bergauf

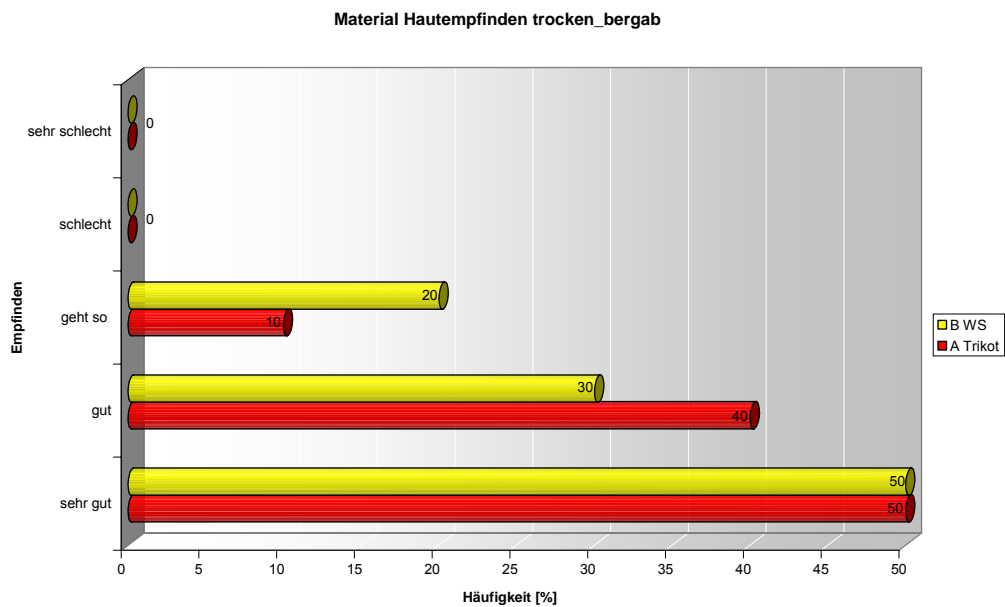


Bild 108: Material Hautempfinden trocken bergab

Material Hautempfinden feucht

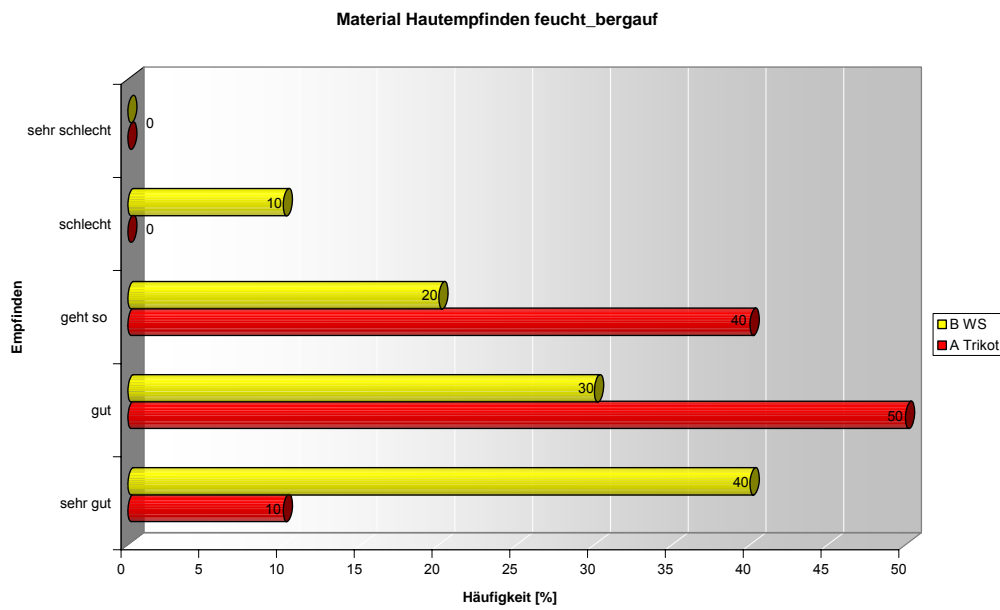


Bild 109: Material Hautempfinden feucht bergauf

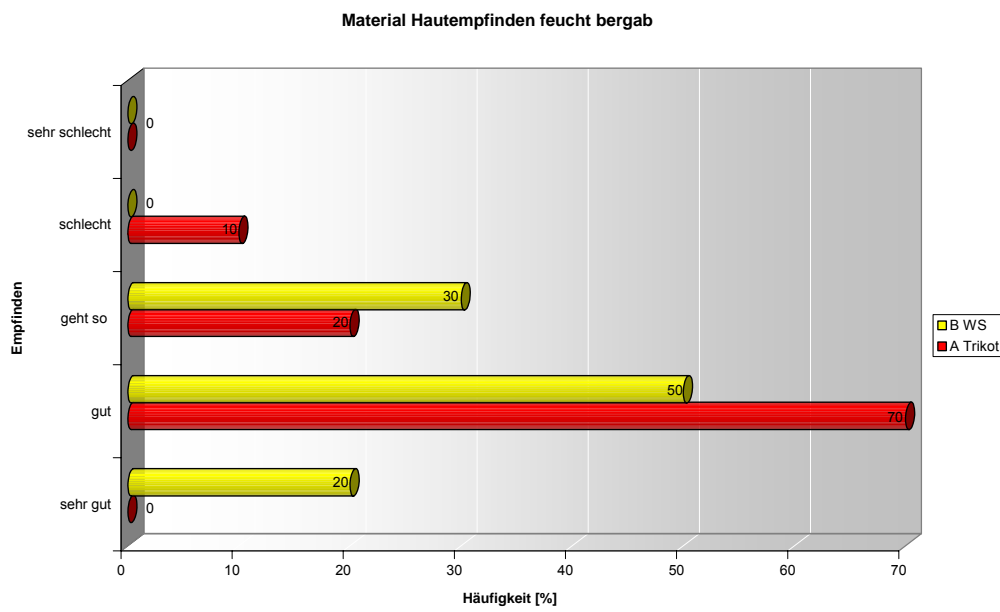


Bild 110: Material Hautempfinden feucht bergab

Geruch

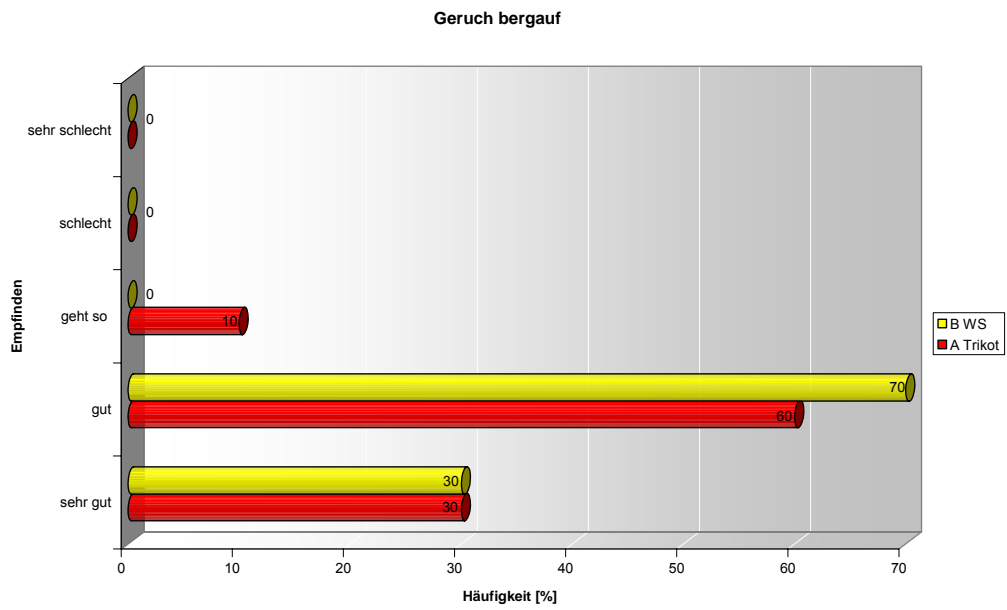


Bild 111: Geruch bergauf

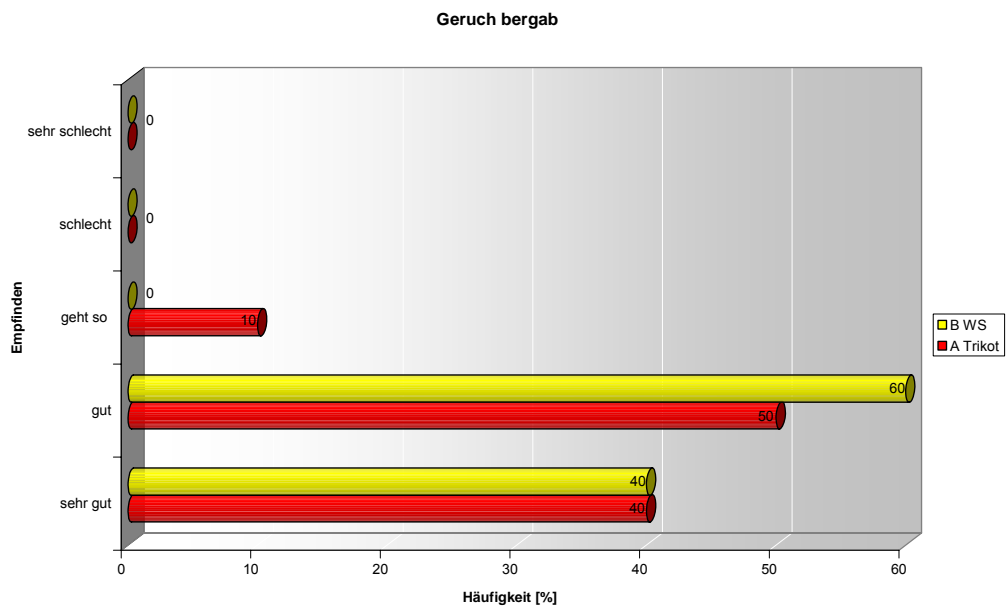


Bild 112: Geruch bergab

Gesamturteil

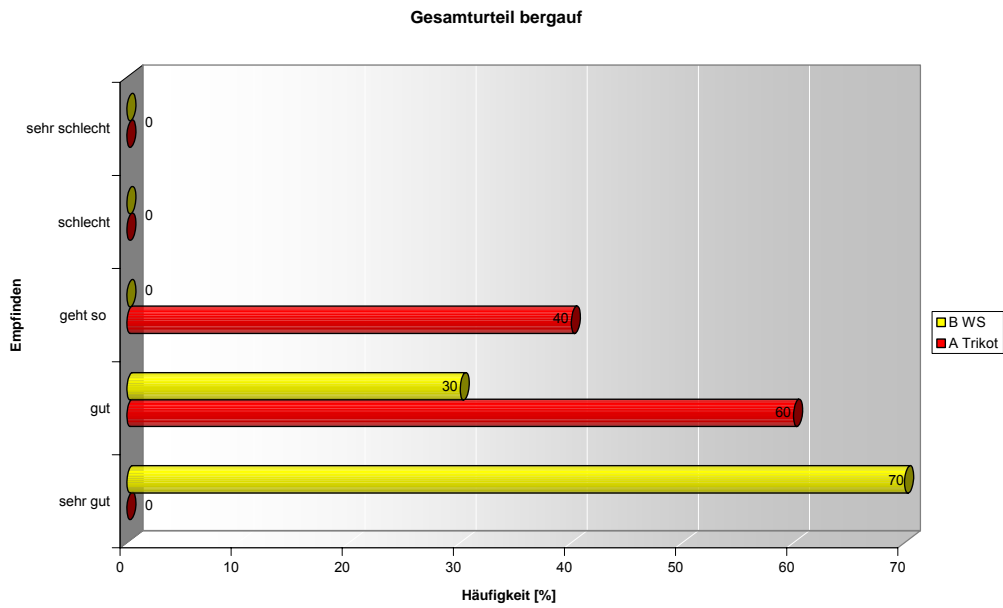


Bild 113: Gesamturteil bergauf

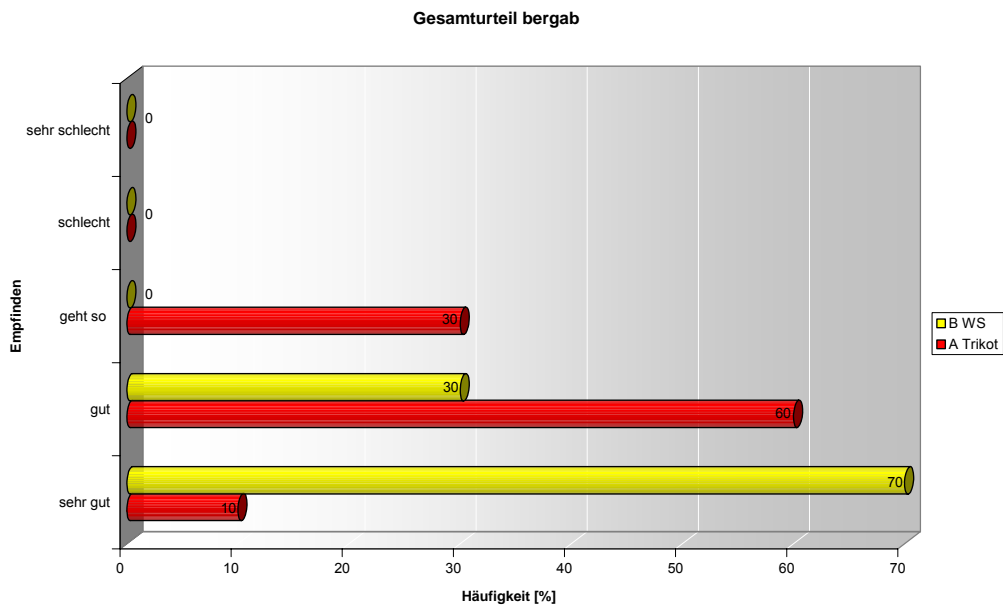


Bild 114: Gesamturteil bergab

Tabelle 41: Vergleich mittlerer Rang bergauf

		Mittlerer Rang	p	
Belastungsempfinden nach Borg	A	12,10	0,220	ns
	B	8,90		
Schweißabsorption	A	13,60	0,010	**
	B	7,40		
Schweißnässestellen Brust	A	12,45	0,068	ns
	B	8,55		
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	12,70	0,083	ns
	B	8,90		
Schweißnässestellen Kragen	A	11,00	0,656	ns
	B	10,00		
Schweißnässestellen Achseln	A	11,30	0,529	ns
	B	9,70		
Schweißnässestellen Schultern	A	11,50	0,342	ns
	B	9,50		
Schweißnässestellen gesamt	A	12,20	0,195	ns
	B	8,80		
Thermischer Komfort	A	12,95	0,049	*
	B	8,05		
Winddichtigkeit	A	14,95	0,001	***
	B	6,05		
Passform	A	9,70	0,453	ns
	B	11,30		
Material Hautempfinden trocken	A	10,90	0,737	ns
	B	10,10		
Material Hautempfinden feucht	A	11,65	0,358	ns
	B	9,35		
Geruch	A	10,85	0,752	ns
	B	10,15		
Gesamt	A	14,60	0,001	***
	B	6,40		

Tabelle 42: Vergleich mittlerer Rang bergab

		Mittlerer Rang	p	
Belastungsempfinden nach Borg	A	11,90	0,282	ns
	B	9,10		
Schweißabsorption	A	13,40	0,210	ns
	B	7,60		
Schweißnässestellen Brust	A	12,55	0,109	ns
	B	8,45		
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	13,35	0,026	*
	B	7,65		
Schweißnässestellen Kragen	A	11,55	0,396	ns
	B	9,45		
Schweißnässestellen Achseln	A	11,45	0,453	ns
	B	9,55		
Schweißnässestellen Schultern	A	9,85	0,584	ns
	B	11,15		
Schweißnässestellen gesamt	A	12,25	0,183	ns
	B	8,75		
Thermischer Komfort	A	12,50	0,089	ns
	B	8,50		
Winddichtigkeit	A	13,80	0,007	**
	B	7,20		
Passform	A	8,40	0,091	ns
	B	12,60		
Material Hautempfinden trocken	A	10,25	0,836	ns
	B	10,75		
Material Hautempfinden feucht	A	11,35	0,464	ns
	B	9,65		
Geruch	A	10,80	0,796	ns
	B	10,20		
Gesamt	A	13,95	0,005	**
	B	7,05		

14.1.2 Objektive Messdaten

Tabelle 43: Deskriptive Gruppenstatistik für Fahrdauer Feldversuch

	Shirt	N	Mittelwert	SD	SF
Ebene 1	A	10	0:18:15	0:01:50	0:00:35
	B	10	0:18:24	0:02:24	0:00:45
Bergauffahrt	A	10	0:35:47	0:06:52	0:02:10
	B	10	0:37:40	0:05:33	0:01:45
Pause	A	10	0:15:00	0	0
	B	10	0:15:00	0	0
Bergabfahrt	A	10	0:09:22	0:01:41	0:00:32
	B	10	0:09:31	0:00:42	0:00:13
Ebene 2	A	10	0:30:57	0:04:28	0:01:25
	B	10	0:32:31	0:04:35	0:01:27
Gesamtfahrdauer	A	10	1:49:23	0:13:49	0:04:22
	B	10	1:53:09	0:10:31	0:03:19

Tabelle 44: t-Test bei unabhängigen Stichproben für Fahrdauer Feldversuch

	Signifikanz Varianzhomogenität	Signifikanz t-Test	Mittlere Differenz	
Ebene 1	0,405	0,877	-0:00:09,00	ns
Bergauf	0,252	0,508	-0:01:53,00	ns
Bergab	0,043	0,810	-0:00:08,50	ns
Ebene 2	0,736	0,451	-0:01:33,50	ns
Gesamtfahrdauer	0,136	0,501	-0:03:46,50	ns

Tabelle 45: Deskriptive Gruppenstatistik für Herzfrequenz [S/min] Feldversuch

	Shirt	N	Mittelwert	SD	SF
Ebene 1 Minimum	A	10	102	14,71	4,65
	B	10	100	16,74	5,29
Ebene 1 Maximum	A	10	155	13,44	4,25
	B	10	163	15,43	4,88
Ebene 1 Mittelwert	A	10	138	11,95	3,78
	B	10	144	15,31	4,84
Bergauf Minimum	A	10	124	12,67	4,01
	B	10	132	6,99	2,21
Bergauf Maximum	A	10	171	15,04	4,76
	B	10	178	13,26	4,19
Bergauf Mittelwert	A	10	163	14,99	4,74
	B	10	168	13,87	4,39
Pause Minimum	A	10	84	10,24	3,24
	B	10	91	10,24	3,24
Pause Maximum	A	10	142	47,92	15,15
	B	10	159	18,19	5,75
Pause Mittelwert	A	10	106	10,16	3,21
	B	10	114	7,72	2,44
Bergab Minimum	A	10	92	16,34	5,27
	B	10	97	16,64	5,26
Bergab Maximum	A	10	136	15,39	4,87
	B	10	139	17,50	5,53
Bergab Mittelwert	A	10	112	20,15	6,37
	B	10	114	20,28	6,41
Ebene 2 Minimum	A	10	103	16,65	5,26
	B	10	110	9,47	2,99
Ebene 2 Maximum	A	10	163	15,73	4,97
	B	10	170	14,79	4,68
Ebene 2 Mittelwert	A	10	144	13,78	4,36
	B	10	149	11,68	3,7

Tabelle 46: t-Test bei unabhängigen Stichproben für Herzfrequenz [S/min] Feldversuch

	Signifikanz Varianzhomogenität	Signifikanz t-Test	Mittlere Differenz	
Ebene 1 Min	0,596	0,685	2,900	ns
Ebene 1 Max	0,607	0,227	-8,100	ns
Ebene 1 Mittelwert	0,357	0,319	-6,300	ns
Bergauf Min	0,150	0,101	-7,900	ns
Bergauf Max	0,669	0,271	-7,200	ns
Bergauf Mittelwert	0,905	0,485	-4,600	ns
Pause Min	0,938	0,155	-6,800	ns
Pause Max	0,226	0,334	-16,100	ns
Pause Mittelwert	0,753	0,062	-8,040	ns
Bergab Min	0,760	0,549	-4,500	ns
Bergab Max	0,610	0,708	-2,800	ns
Bergab Mittelwert	0,956	0,777	-2,600	ns
Ebene 2 Min	0,173	0,250	-7,200	ns
Ebene 2 Max	0,696	0,332	-6,800	ns
Ebene 2 Mittelwert	0,397	0,431	-4,600	ns

Tabelle 47: Fahrdauer [min] der Probandenstichprobe

Proband	Gr.	Ebene 1 [min:sec]	Bergauf [min:sec]	Pause [min:sec]	Bergab [min:sec]	Ebene 2 [min:sec]	gesamt [min:sec]
1	♀ A	21:00	41:15	15:00	8:55	34:25	120:35
2	♀ A	19:45	42:10	15:00	9:45	37:05	123:45
3	♀ A	17:05	32:50	15:00	10:20	27:40	102:55
4	♀ A	18:05	45:15	15:00	12:55	37:25	128:50
5	♀ A	20:30	41:00	15:00	8:50	32:00	117:20
6	♀ B	18:35	42:55	15:00	9:30	32:55	118:55
7	♀ B	19:55	41:25	15:00	10:30	37:00	123:50
8	♀ B	18:05	33:50	15:00	10:25	28:00	105:20

Proband	Gr.	Ebene 1 [min:sec]	Bergauf [min:sec]	Pause [min:sec]	Bergab [min:sec]	Ebene 2 [min:sec]	gesamt [min:sec]
9	♀ B	17:50	43:55	15:00	9:40	32:10	118:35
10	♀ B	21:00	42:25	15:00	9:30	32:40	120:35
11	♂ A	19:20	39:25	15:00	9:00	33:05	116:50
12	♂ A	17:15	33:15	15:00	10:50	28:45	104:05
13	♂ A	15:40	26:45	15:00	7:55	25:30	90:50
14	♂ A	17:50	29:35	15:00	7:05	28:00	97:30
15	♂ A	16:00	26:25	15:00	8:05	25:35	91:05
16	♂ B	21:50	36:45	15:00	8:40	38:20	120:35
17	♂ B	15:15	26:40	15:00	8:15	25:25	90:35
18	♂ B	15:00	34:05	15:00	10:00	28:05	102:10
19	♂ B	20:20	40:55	15:00	9:25	31:25	117:05
20	♂ B	16:10	33:50	15:00	9:10	39:05	113:50
gesamt X ± SD		18:17 ± 2:01	36:44 ± 6:09	15:00 ± 0	9:26 ± 1:15	31:44 ± 4:29	111:16 ± 12:06
♀	X ± SD	19:11 ± 1:25	40:42 ± 4:06	15:00 ± 0	10:02 ± 1:10	33:08 ± 3:29	118:04 ± 8:05
♂	X ± SD	17:23 ± 2:11	32:46 ± 5:18	15:00 ± 0	8:50 ± 1:05	30:19 ± 5:05	104:27 ± 11:53
Gr. A	X ± SD	18:15 ± 1:50	35:47 ± 6:52	15:00 ± 0	9:22 ± 1:41	30:57 ± 4:28	109:23 ± 13:49
Gr. B	X ± SD	18:19 ± 2:17	37:41 ± 5:33	15:00 ± 0	9:30 ± 0:42	32:31 ± 4:35	113:09 ± 10:31

Tabelle 48: Herzfrequenz [S/min] Probandenstichprobe (die HF auf ganze Zahlen gerundet; die Standardabweichung SD auf eine Dezimalstelle)

Proband	Gr.	Ebene 1				Bergauf				Pause				Bergab				Ebene 2				
		Min	Max	X	SD	Min	Max	X	SD	Min	Max	X	SD	Min	Max	X	SD	Min	Max	X	SD	
		[S/min]				[S/min]				[S/min]				[S/min]				[S/min]				
1	♀	A	111	160	139	8,5	143	178	165	4,4	92	161	102	14,7	87	127	102	6,9	110	165	141	13,2
2	♀	A	94	150	135	9,9	118	162	151	5,7	78	14	103	11,4	83	120	96	7,1	91	148	134	11,1
3	♀	A	100	164	143	15,3	130	177	169	4,9	89	149	105	11,1	92	127	105	6,5	110	170	148	13,9
4	♀	A	137	174	157	7,3	143	190	185	4,8	101	182	126	15,2	100	139	114	8,15	113	181	159	15,9
5	♀	A	112	159	139	9,0	122	184	176	7,41	76	163	111	19,8	90	126	103	9,4	108	173	153	15,3
6	♀	B	105	164	148	10,4	149	179	158	5,9	95	146	117	10,8	103	133	116	7,24	116	163	150	9,9
7	♀	B	84	155	135	11,4	130	173	162	4,8	97	135	115	10,7	94	129	102	5,22	110	172	151	16,5
8	♀	B	79	184	154	28	127	192	184	7,6	101	171	122	12,5	87	127	102	6,9	122	186	141	13,2
9	♀	B	100	148	135	8,7	131	151	144	2,7	78	139	99,4	10,6	81	124	96	9,6	107	154	139	10,4
10	♀	B	109	170	150	11,1	131	182	167	5,9	80	165	111	18	84	131	97	10,9	106	176	152	17
11	♂	A	92	134	121	7,4	123	149	141	3,7	77	138	110	12,0	98	137	122	9,2	90	138	127	7,4
12	♂	A	85	135	119	9,5	125	144	139	3,62	65	126	86	10,9	58	126	80	11,3	66	140	122	13,5
13	♂	A	96	151	136	8,1	102	172	164	9,0	82	154	101	12,2	88	131	111	9,7	105	164	139	14,2
14	♂	A	95	153	135	9,2	120	173	165	6,8	91	166	112	14,2	122	170	152	12,3	124	178	164	9,4
15	♂	A	102	171	153	17,1	112	182	174	8,6	86	171	107	15,3	103	154	133	9,6	115	175	153	13,6
16	♂	B	89	142	121	9,8	126	163	151	6,6	75	141	110	11,9	89	152	124	12,2	102	139	126	8,6
17	♂	B	94	170	148	11,1	130	191	181	10,1	89	186	110	17,4	135	179	162	10,8	103	168	145	12,9
18	♂	B	87	146	125	10,4	124	185	175	9,9	89	156	111	11,7	87	130	109	10,9	107	175	154	15,9

Proband	Gr.	Ebene 1				Bergauf				Pause				Bergab				Ebene 2			
		Min	Max	X	SD	Min	Max	X	SD	Min	Max	X	SD	Min	Max	X	SD	Min	Max	X	SD
		[S/min]				[S/min]				[S/min]				[S/min]				[S/min]			
19	♂ B	113	166	151	7,9	133	176	169	5,3	106	163	124	9,7	114	153	131	8,0	130	181	168	10,4
20	♂ B	135	187	173	24,1	136	191	184	5,6	95	183	124	21,3	92	127	105	8,5	101	186	160	24,1
gesamt	X ± SD	101 ± 15,4	159 ± 14,7	141 ± 13,7	11,7	128 ± 10,8	175 ± 14,3	165 ± 14,2	6,2	87 ± 10,6	157 ± 17,2	110 ± 9,8	13,6	94 ± 16,2	137 ± 16,1	113 ± 19,6	9,0	107 ± 13,7	167 ± 15,3	146 ± 12,8	13,3
♀	X ± SD	103 ± 16,3	163 ± 11,0	144 ± 8,8	11,9	132 ± 9,8	177 ± 12,4	166 ± 13,1	5,4	89 ± 9,9	155 ± 15,5	111 ± 8,9	13,5	90 ± 7,3	128 ± 5,2	103 ± 6,8	7,8	109 ± 8,0	169 ± 11,7	147 ± 7,8	13,6
♂	X ± SD	99 ± 15,1	156 ± 17,4	138 ± 17,8	11,5	123 ± 10,0	173 ± 16,3	164 ± 15,9	6,9	86 ± 11,5	158 ± 19,4	110 ± 11,0	13,7	99 ± 21,5	146 ± 18,7	123 ± 23,6	10,2	104 ± 17,8	164 ± 18,6	146 ± 16,8	13,0
Gr. A	X ± SD	102 ± 14,7	155 ± 13,4	138 ± 12,1	10,1	124 ± 12,7	171 ± 15,0	163 ± 15,0	5,9	84 ± 10,2	155 ± 16,9	106 ± 10,3	13,7	92 ± 16,3	136 ± 15,4	112 ± 20,1	9,0	103 ± 16,7	163 ± 15,7	144 ± 13,9	12,7
Gr. B	X ± SD	100 ± 16,7	163 ± 15,4	144 ± 15,2	13,3	132 ± 7,0	178 ± 13,3	167 ± 13,8	6,4	61 ± 10,2	159 ± 18,2	114 ± 7,8	13,5	97 ± 16,6	139 ± 17,5	114 ± 20,1	9,0	110 ± 9,5	170 ± 14,8	149 ± 11,8	13,9

14.2 Klimakammer

14.2.1 Subjektive Daten

Subjektives Empfinden Klimakammer

Diese Daten wurden alle 5 Minuten während des Versuchs eingetragen. Ausgewertet wurden die vier Phasen von 50 bis 60 Minuten, von 65 bis 75 Minuten, von 75 bis 85 Minuten und von 105 bis 115 Minuten.

Tabelle 49: U-Test subjektives Empfinden Shirt A und B 20°C

			Mittlerer Rang	p	
	Phase				
Temperaturrempfinden Brust	1	A	11,46	0,461	ns
		B	13,54		
Temperaturrempfinden Rücken	1	A	11,75	0,593	ns
		B	13,25		
Feuchteempfinden Brust	1	A	11,96	0,704	ns
		B	13,04		
Feuchteempfinden Rücken	1	A	11,71	0,578	ns
		B	13,29		
Komfort	1	A	10,92	0,261	ns
		B	14,08		
Belastungsempfinden nach BORG	1	A	10,25	0,116	ns
		B	14,75		
Temperaturrempfinden Brust	2	A	12,54	0,973	ns
		B	12,46		
Temperaturrempfinden Rücken	2	A	11,08	0,272	ns
		B	13,92		
Feuchteempfinden Brust	2	A	11,67	0,561	ns
		B	13,33		
Feuchteempfinden Rücken	2	A	11,67	0,561	ns
		B	13,33		
Komfort	2	A	12,38	0,929	ns
		B	12,63		
Belastungsempfinden nach BORG	2	A	12,50	1	ns
		B	12,50		
Temperaturrempfinden Brust	3	A	11,92	0,675	ns
		B	13,08		

	Phase		Mittlerer Rang	p	
Temperaturrempfinden Rücken	3	A	11,29	0,386	ns
		B	13,71		
Feuchteempfinden Brust	3	A	12,79	0,836	ns
		B	12,21		
Feuchteempfinden Rücken	3	A	13,21	0,619	ns
		B	11,79		
Komfort	3	A	13,00	0,725	ns
		B	12,00		
Belastungsempfinden nach BORG	3	A	13,25	0,560	ns
		B	11,75		
Temperaturrempfinden Brust	4	A	12,33	0,905	ns
		B	12,67		
Temperaturrempfinden Rücken	4	A	12,33	0,901	ns
		B	12,67		
Feuchteempfinden Brust	4	A	11,54	0,501	ns
		B	13,46		
Feuchteempfinden Rücken	4	A	10,88	0,253	ns
		B	14,13		
Komfort	4	A	11,71	0,565	ns
		B	13,29		
Belastungsempfinden nach BORG	4	A	11,25	0,372	ns
		B	13,75		

Tabelle 50: U-Test subjektives Empfinden Shirt A und C 20°C

	Phase		Mittlerer Rang	p	
Temperaturrempfinden Brust	1	A	12,38	0,930	ns
		C	12,63		
Temperaturrempfinden Rücken	1	A	12,25	0,861	ns
		C	12,75		
Feuchteempfinden Brust	1	A	10,83	0,243	ns
		C	14,17		
Feuchteempfinden Rücken	1	A	11,17	0,344	ns
		C	13,83		
Komfort	1	A	7,63	0,001	***
		C	17,38		
Belastungsempfinden nach BORG	1	A	12,92	0,769	ns
		C	12,08		

			Mittlerer Rang	p	
Phase					
Temperaturrempfinden Brust	2	A	15,33	0,039	*
		C	9,67		
Temperaturrempfinden Rücken	2	A	14,04	0,250	ns
		C	10,96		
Feuchteempfinden Brust	2	A	9,92	0,071	ns
		C	15,08		
Feuchteempfinden Rücken	2	A	10,50	0,162	ns
		C	14,50		
Komfort	2	A	8,17	0,002	**
		C	16,83		
Belastungsempfinden nach BORG	2	A	12,50	1	ns
		C	12,50		
Temperaturrempfinden Brust	3	A	13,46	0,488	ns
		C	11,54		
Temperaturrempfinden Rücken	3	A	11,96	0,699	ns
		C	13,04		
Feuchteempfinden Brust	3	A	11,75	0,596	ns
		C	13,25		
Feuchteempfinden Rücken	3	A	12,13	0,792	ns
		C	12,88		
Komfort	3	A	9,08	0,017	*
		C	15,92		
Belastungsempfinden nach BORG	3	A	14,08	0,218	ns
		C	10,92		
Temperaturrempfinden Brust	4	A	13,75	0,375	ns
		C	11,25		
Temperaturrempfinden Rücken	4	A	12,50	1	ns
		C	12,50		
Feuchteempfinden Brust	4	A	11,71	0,574	ns
		C	13,29		
Feuchteempfinden Rücken	4	A	11,92	0,680	ns
		C	13,08		
Komfort	4	A	9,21	0,018	*
		C	15,79		
Belastungsempfinden nach BORG	4	A	11,50	0,477	ns
		C	13,50		

Tabelle 51: U-Test subjektives Empfinden Shirt B und C 20°C

	Phase		Mittlerer Rang	p	
Temperaturempfinden Brust	1	B	13,04	0,696	ns
		C	11,96		
Temperaturempfinden Rücken	1	B	12,67	0,905	ns
		C	12,33		
Feuchteempfinden Brust	1	B	11,08	0,318	ns
		C	13,92		
Feuchteempfinden Rücken	1	B	12,00	0,719	ns
		C	13,00		
Komfort	1	B	9,71	0,048	*
		C	15,29		
Belastungsempfinden nach BORG	1	B	15,17	0,060	ns
		C	9,83		
Temperaturempfinden Brust	2	B	15,04	0,063	ns
		C	9,96		
Temperaturempfinden Rücken	2	B	14,79	0,088	ns
		C	10,21		
Feuchteempfinden Brust	2	B	11,00	0,291	ns
		C	14,00		
Feuchteempfinden Rücken	2	B	11,58	0,521	ns
		C	13,42		
Komfort	2	B	7,92	0,001	**
		C	17,08		
Belastungsempfinden nach BORG	2	B	12,50	1	ns
		C	12,50		
Temperaturempfinden Brust	3	B	14,04	0,269	ns
		C	10,96		
Temperaturempfinden Rücken	3	B	13,33	0,551	ns
		C	11,67		
Feuchteempfinden Brust	3	B	11,54	0,497	ns
		C	13,46		
Feuchteempfinden Rücken	3	B	11,50	0,480	ns
		C	13,50		
Komfort	3	B	9,04	0,016	*
		C	15,96		
Belastungsempfinden nach BORG	3	B	13,46	0,427	ns
		C	11,54		
Temperaturempfinden Brust	4	B	13,83	0,336	ns
		C	11,17		

Phase			Mittlerer Rang	p	
Temperatempfinden Rücken	4	B	12,88	0,785	ns
		C	12,13		
Feuchteempfinden Brust	4	B	12,83	0,815	ns
		C	12,17		
Feuchteempfinden Rücken	4	B	13,42	0,520	ns
		C	11,58		
Komfort	4	B	10,17	0,100	ns
		C	14,83		
Belastungempfinden nach BORG	4	B	12,96	0,747	ns
		C	12,04		

Tabelle 52: U-Test subjektives Empfinden Shirt A und B 30°C

Phase			Mittlerer Rang	p	
Temperatempfinden Brust	1	A	11,54	0,500	ns
		B	13,46		
Temperatempfinden Rücken	1	A	10,50	0,157	ns
		B	14,50		
Feuchteempfinden Brust	1	A	12,58	0,950	ns
		B	12,42		
Feuchteempfinden Rücken	1	A	13,25	0,561	ns
		B	11,75		
Komfort	1	A	11,79	0,617	ns
		B	13,21		
Belastungempfinden nach BORG	1	A	12,42	0,954	ns
		B	12,58		
Temperatempfinden Brust	2	A	11,92	0,670	ns
		B	13,08		
Temperatempfinden Rücken	2	A	12,17	0,812	ns
		B	12,83		
Feuchteempfinden Brust	2	A	12,75	0,857	ns
		B	12,25		
Feuchteempfinden Rücken	2	A	12,50	1	ns
		B	12,50		
Komfort	2	A	12,50	1	ns
		B	12,50		
Belastungempfinden nach BORG	2	A	12,50	1	ns
		B	12,50		

	Phase		Mittlerer Rang	p	
Temperaturempfinden Brust	3	A	11,79	0,570	ns
		B	13,21		
Temperaturempfinden Rücken	3	A	10,33	0,083	ns
		B	14,67		
Feuchteempfinden Brust	3	A	15,71	0,025	*
		B	9,29		
Feuchteempfinden Rücken	3	A	15,67	0,027	*
		B	9,33		
Komfort	3	A	13,04	0,699	ns
		B	11,96		
Belastungsempfinden nach BORG	3	A	12,46	0,964	ns
		B	12,54		
Temperaturempfinden Brust	4	A	12,13	0,792	ns
		B	12,88		
Temperaturempfinden Rücken	4	A	11,25	0,376	ns
		B	13,75		
Feuchteempfinden Brust	4	A	13,92	0,320	ns
		B	11,08		
Feuchteempfinden Rücken	4	A	14,00	0,290	ns
		B	11,00		
Komfort	4	A	12,38	0,930	ns
		B	12,63		
Belastungsempfinden nach BORG	4	A	12,25	0,859	ns
		B	12,75		

Tabelle 53: U-Test subjektives Empfinden Shirt A und C 30°C

	Phase		Mittlerer Rang	p	
Temperaturempfinden Brust	1	A	11,54	0,491	ns
		C	13,46		
Temperaturempfinden Rücken	1	A	11,38	0,411	ns
		C	13,63		
Feuchteempfinden Brust	1	A	10,58	0,155	ns
		C	14,42		
Feuchteempfinden Rücken	1	A	10,79	0,173	ns
		C	14,21		
Komfort	1	A	10,08	0,086	ns
		C	14,92		

		Phase	Mittlerer Rang	p	
Belastungsempfinden nach BORG	1	A	12,92	0,771	ns
		C	12,08		
Temperaturempfinden Brust	2	A	11,33	0,376	ns
		C	13,67		
Temperaturempfinden Rücken	2	A	12,33	0,905	ns
		C	12,67		
Feuchteempfinden Brust	2	A	10,33	0,108	ns
		C	14,67		
Feuchteempfinden Rücken	2	A	10,92	0,220	ns
		C	14,08		
Komfort	2	A	10,08	0,084	ns
		C	14,92		
Belastungsempfinden nach BORG	2	A	12,50	1	ns
		C	12,50		
Temperaturempfinden Brust	3	A	12,00	0,698	ns
		C	13,00		
Temperaturempfinden Rücken	3	A	11,54	0,467	ns
		C	13,46		
Feuchteempfinden Brust	3	A	14,17	0,245	ns
		C	10,83		
Feuchteempfinden Rücken	3	A	13,42	0,519	ns
		C	11,58		
Komfort	3	A	11,08	0,313	ns
		C	13,92		
Belastungsempfinden nach BORG	3	A	11,96	0,596	ns
		C	13,04		
Temperaturempfinden Brust	4	A	13,29	0,576	ns
		C	11,71		
Temperaturempfinden Rücken	4	A	11,17	0,343	ns
		C	13,83		
Feuchteempfinden Brust	4	A	13,04	0,698	ns
		C	11,96		
Feuchteempfinden Rücken	4	A	12,42	0,953	ns
		C	12,58		
Komfort	4	A	10,88	0,249	ns
		C	14,13		
Belastungsempfinden nach BORG	4	A	13,13	0,653	ns
		C	11,88		

Tabelle 54: U-Test subjektives Empfinden Shirt B und C 30°C

	Phase		Mittlerer Rang	p	
Temperaturempfinden Brust	1	B	12,71	0,882	ns
		C	12,29		
Temperaturempfinden Rücken	1	B	13,71	0,394	ns
		C	11,29		
Feuchteempfinden Brust	1	B	10,83	0,184	ns
		C	14,17		
Feuchteempfinden Rücken	1	B	10,63	0,135	ns
		C	14,38		
Komfort	1	B	10,75	0,219	ns
		C	14,25		
Belastungsempfinden nach BORG	1	B	12,67	0,907	ns
		C	12,33		
Temperaturempfinden Brust	2	B	11,88	0,652	ns
		C	13,13		
Temperaturempfinden Rücken	2	B	12,50	1	ns
		C	12,50		
Feuchteempfinden Brust	2	B	10,42	0,139	ns
		C	14,58		
Feuchteempfinden Rücken	2	B	11,17	0,329	ns
		C	13,83		
Komfort	2	B	9,50	0,033	*
		C	15,50		
Belastungsempfinden nach BORG	2	B	12,50	1	ns
		C	12,50		
Temperaturempfinden Brust	3	B	12,33	0,886	ns
		C	12,67		
Temperaturempfinden Rücken	3	B	13,38	0,470	ns
		C	11,63		
Feuchteempfinden Brust	3	B	10,88	0,253	ns
		C	14,13		
Feuchteempfinden Rücken	3	B	9,92	0,071	ns
		C	15,08		
Komfort	3	B	10,71	0,203	ns
		C	14,29		
Belastungsempfinden nach BORG	3	B	12,04	0,691	ns
		C	12,96		
Temperaturempfinden Brust	4	B	13,63	0,429	ns
		C	11,38		

Phase			Mittlerer Rang	p	
Temperaturempfinden Rücken	4	B	12,58	0,953	ns
		C	12,42		
Feuchteempfinden Brust	4	B	11,42	0,438	ns
		C	13,58		
Feuchteempfinden Rücken	4	B	11,04	0,304	ns
		C	13,96		
Komfort	4	B	11,50	0,482	ns
		C	13,50		
Belastungsempfinden nach BORG	4	B	13,38	0,537	ns
		C	11,63		

Fragebogen Klimakammer

Allgemeine Tagesform

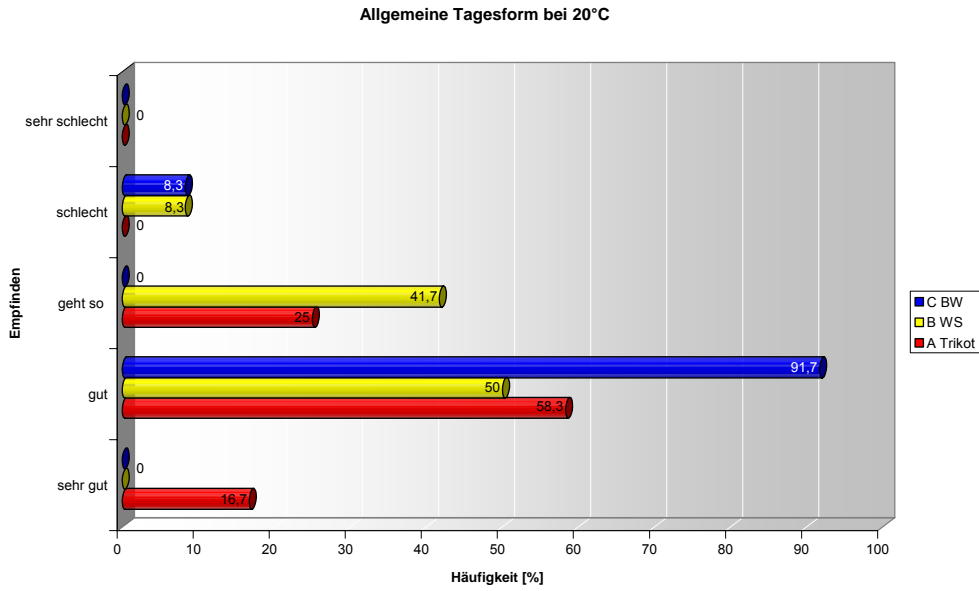


Bild 115: Allgemeine Tagesform bei 20°C

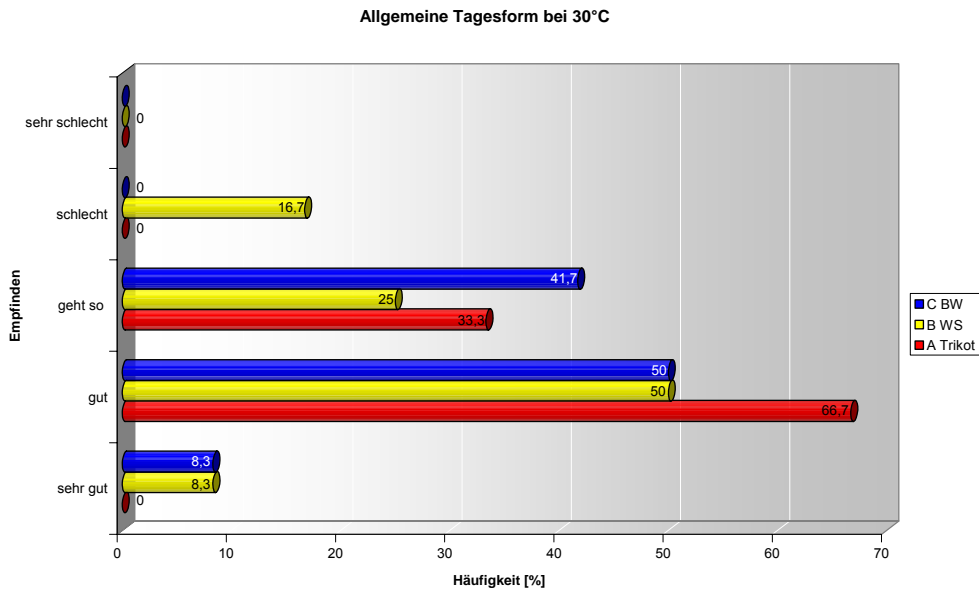


Bild 116: Allgemeine Tagesform bei 30°C

Erfahrung bei Radfahren

Tabelle 55: Erfahrung Radfahren

	sehr viel	viel	geht so	wenig	gar keine
Erfahrung	16,7%	33,3%	16,7%	33,3%	0%

Belastungsempfinden nach BORG

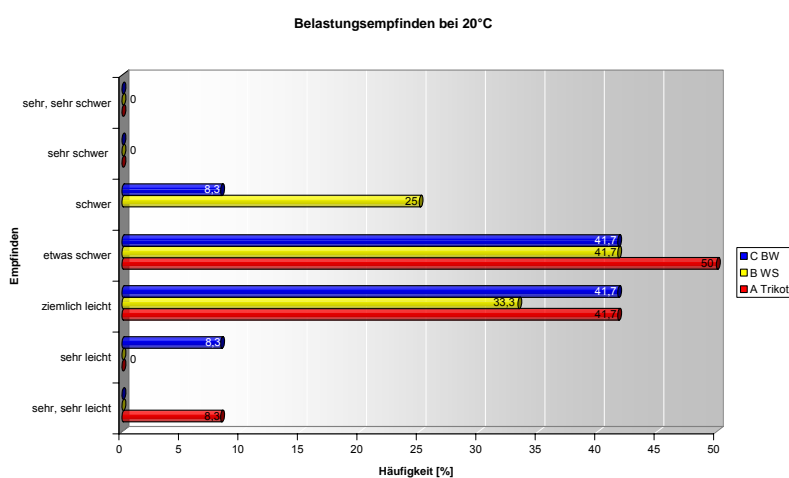


Bild 117: Belastungsempfinden nach BORG bei 20°C

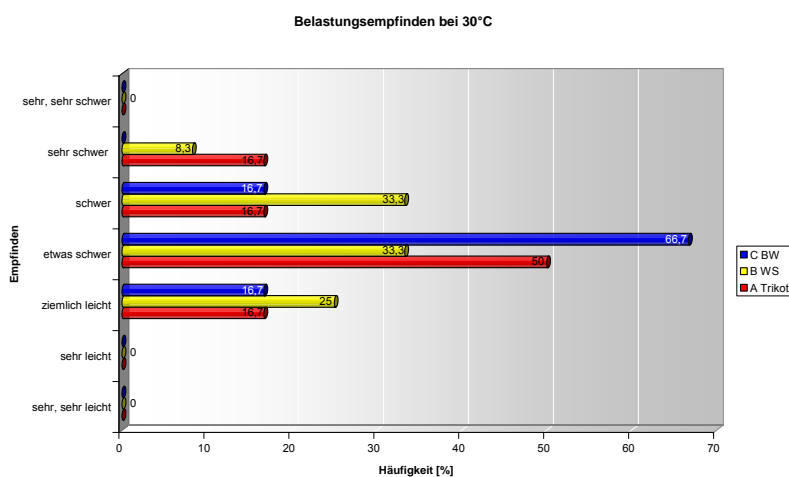


Bild 118: Belastungsempfinden nach BORG bei 30°C

Schweißabsorption

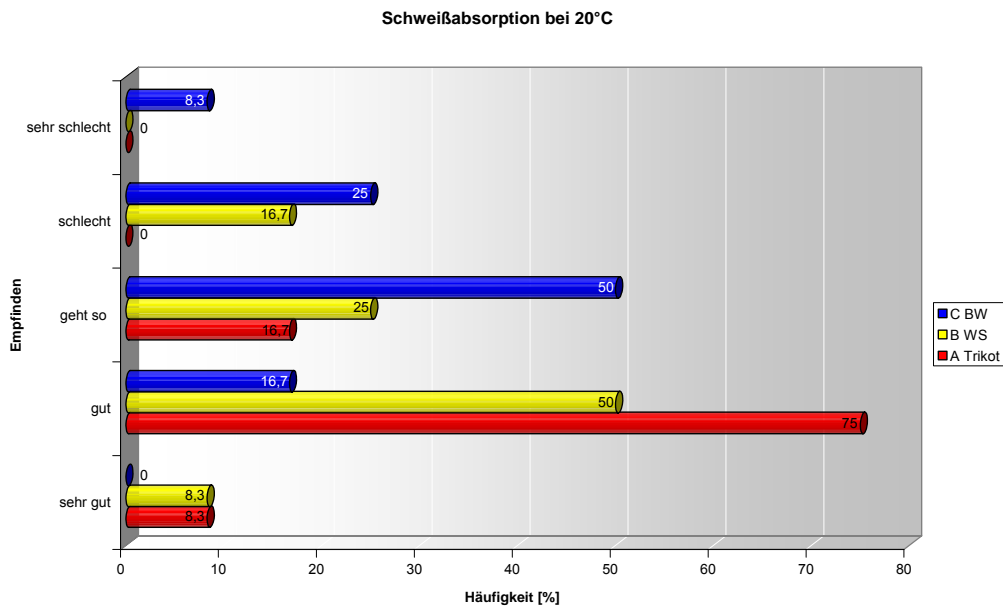


Bild 119: Schweißabsorption bei 20°C

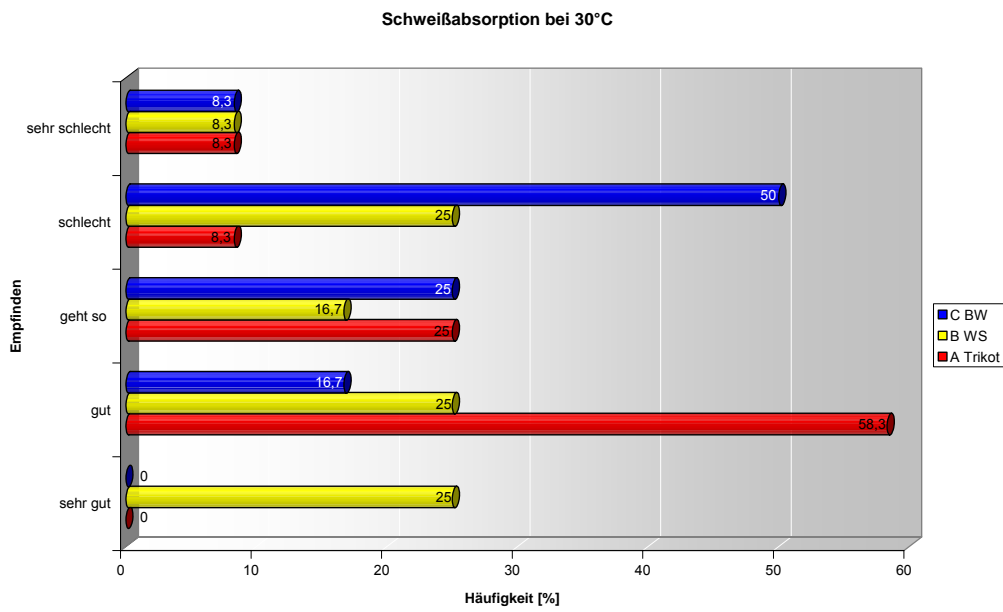


Bild 120: Schweißabsorption bei 30°C

- Schweißnässestellen

Tabelle 56: Schweißnässestellen bei 20°C in Prozent [%]

		trocken	leicht feucht	feucht	ziemlich nass	nass
Brust	A	8,3	25	33,3	33,3	0
	B	0	33,3	41,7	25	0
	C	0	0	41,7	41,7	16,7
Rückenmitte	A	0	16,7	41,7	41,7	0
	B	0	16,7	58,3	16,7	8,3
	C	0	0	33,3	50	16,7
Kragen	A	16,7	41,7	25	8,3	8,3
	B	16,7	25	33,3	16,7	8,3
	C	8,3	41,7	25	8,3	16,7
Achseln	A	0	16,7	50	16,7	16,7
	B	0	16,7	41,7	33,3	8,3
	C	0	0	41,7	33,3	25
Schultern	A	16,7	41,7	41,7	0	0
	B	0	58,3	25	16,7	0
	C	0	16,7	41,7	41,7	0

Tabelle 57: Schweißnässestellen bei 30°C in Prozent [%]

		trocken	leicht feucht	feucht	ziemlich nass	nass
Brust	A	0	16,7	33,3	25	25
	B	0	16,7	41,7	41,7	0
	C	0	0	33,3	8,3	58,3
Rückenmitte	A	0	8,3	41,7	25	25
	B	0	0	58,3	33,3	8,3
	C	0	0	0	50	50
Kragen	A	0	33,3	41,7	8,3	16,7
	B	16,7	33,3	16,7	25	8,3
	C	0	8,3	58,3	16,7	16,7
Achseln	A	0	0	50	16,7	33,3
	B	0	8,3	50	25	16,7
	C	0	0	16,7	33,3	50
Schultern	A	0	33,3	50	16,7	0
	B	8,3	50	33,3	8,3	0
	C	0	16,7	41,7	25	16,7

Thermischer Komfort

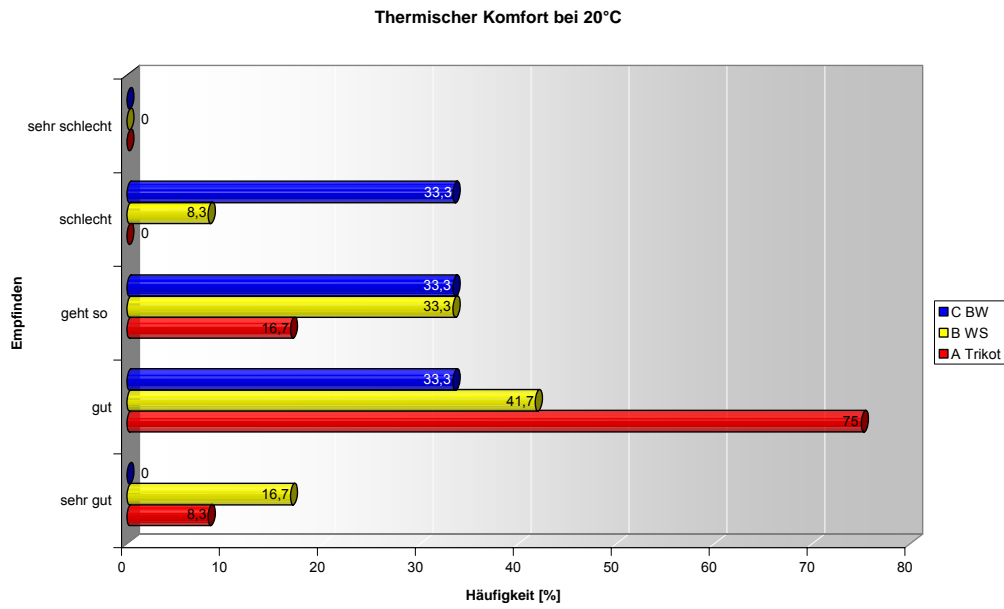


Bild 121: Thermischer Komfort bei 20°C

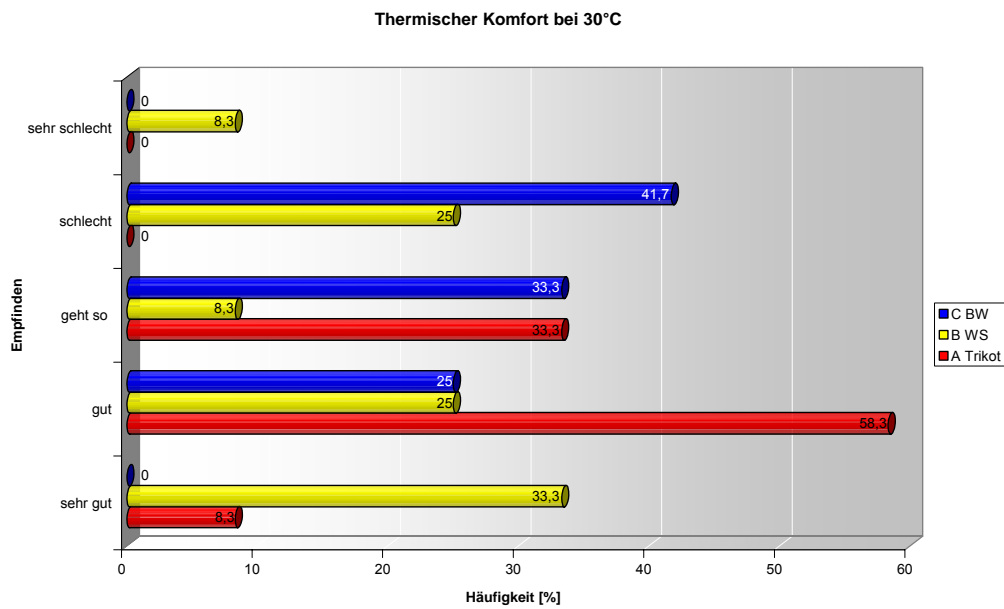


Bild 122: Thermischer Komfort bei 30°C

Winddichtigkeit

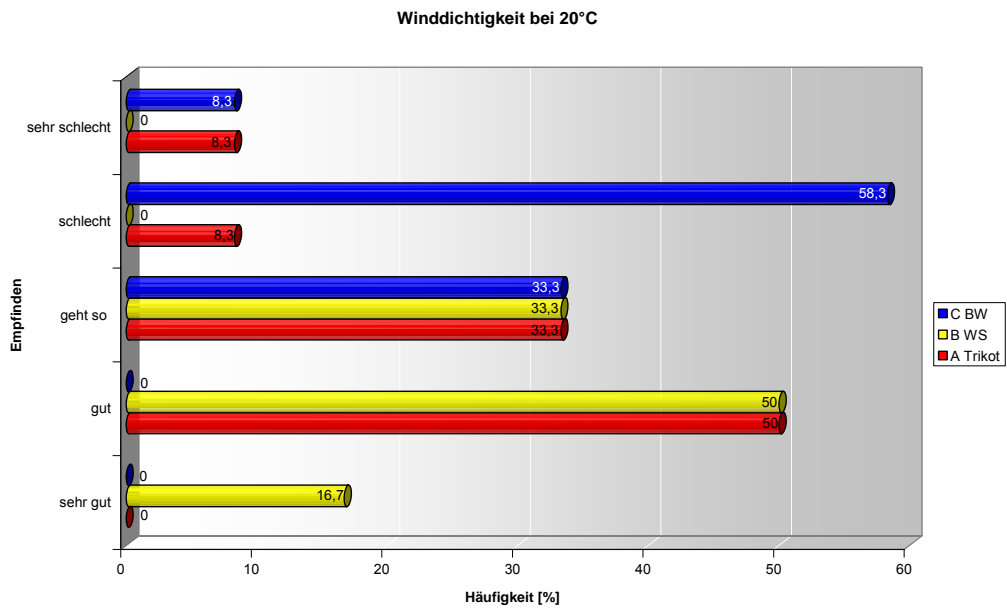


Bild 123: Winddichtigkeit bei 20°C

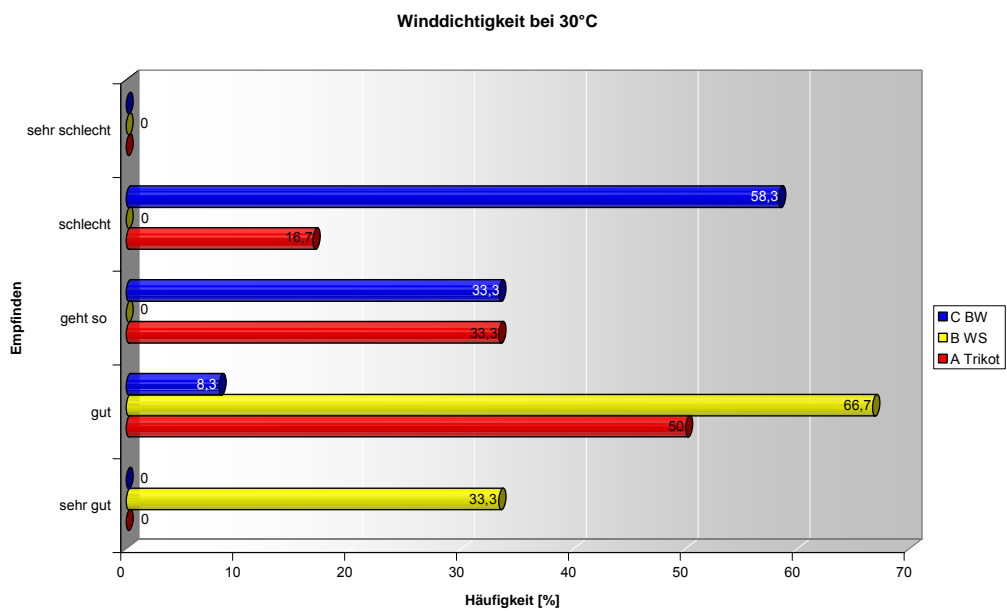


Bild 124: Winddichtigkeit bei 30°C

Passform

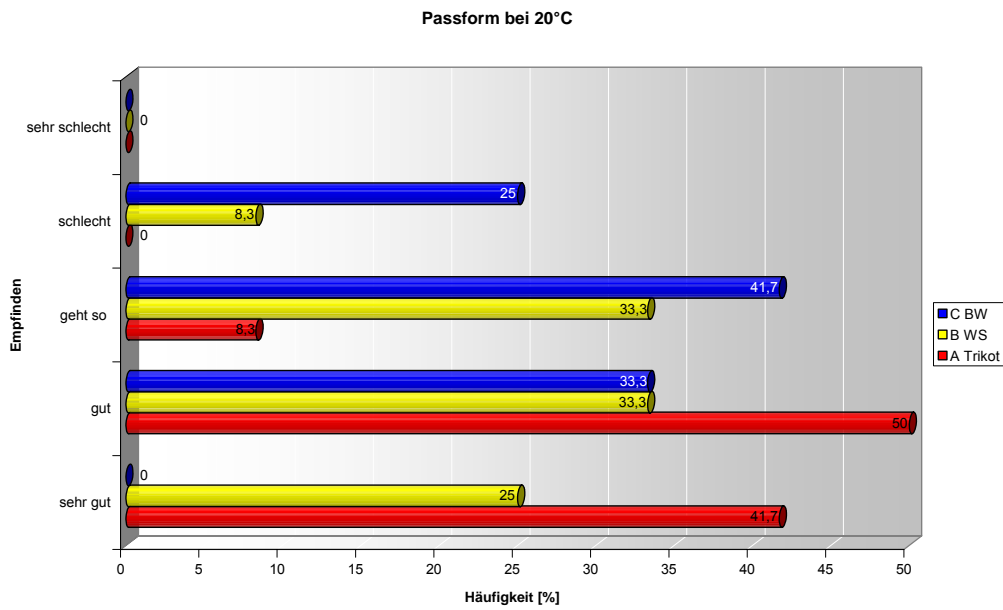


Bild 125: Passform bei 20°C

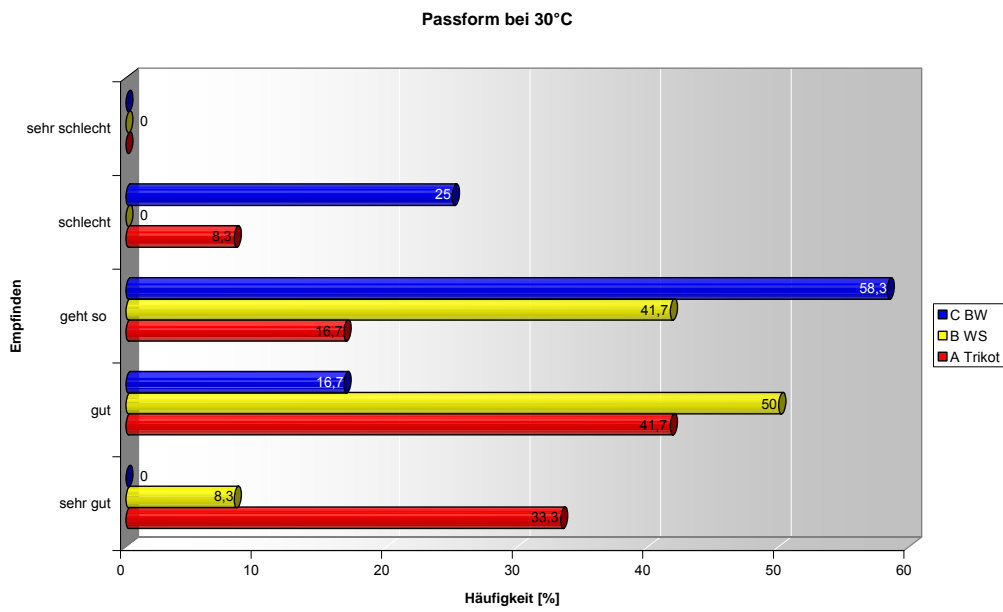


Bild 126: Passform bei 30°C

Material Hautempfinden trocken

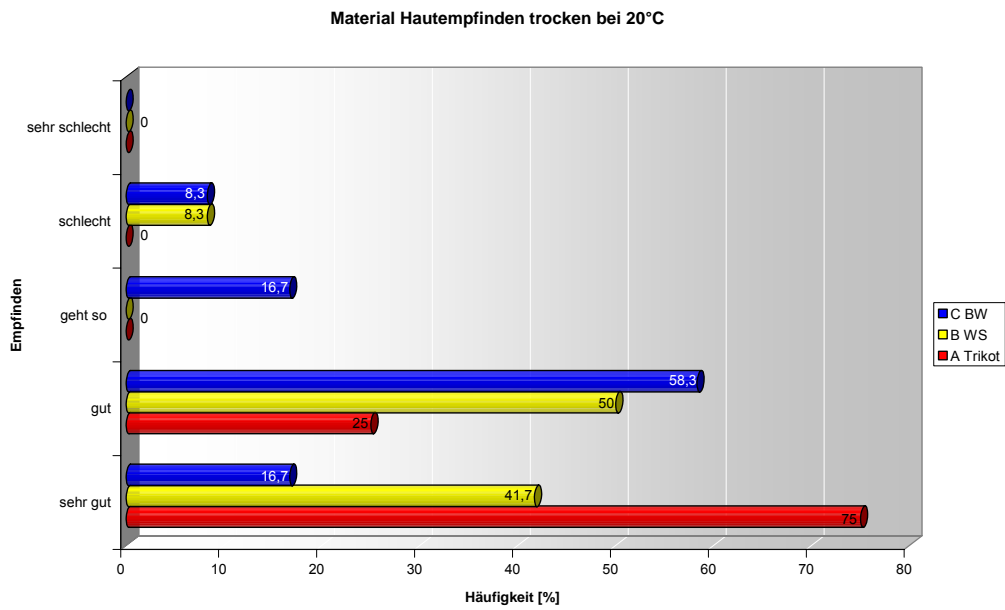


Bild 127: Material Hautempfinden trocken bei 20°C

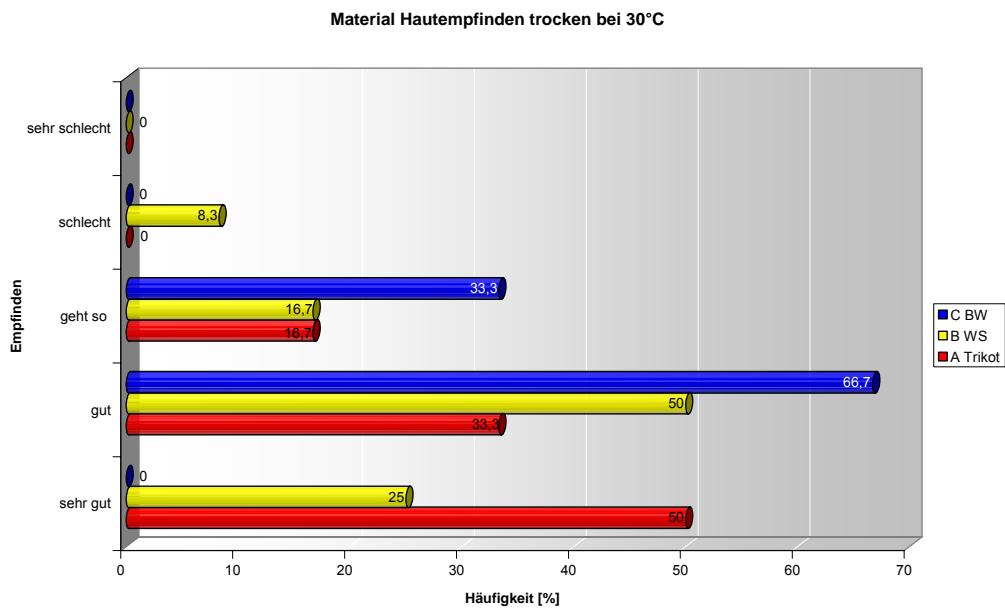


Bild 128: Material Hautempfinden trocken bei 30°C

Material Hautempfinden feucht

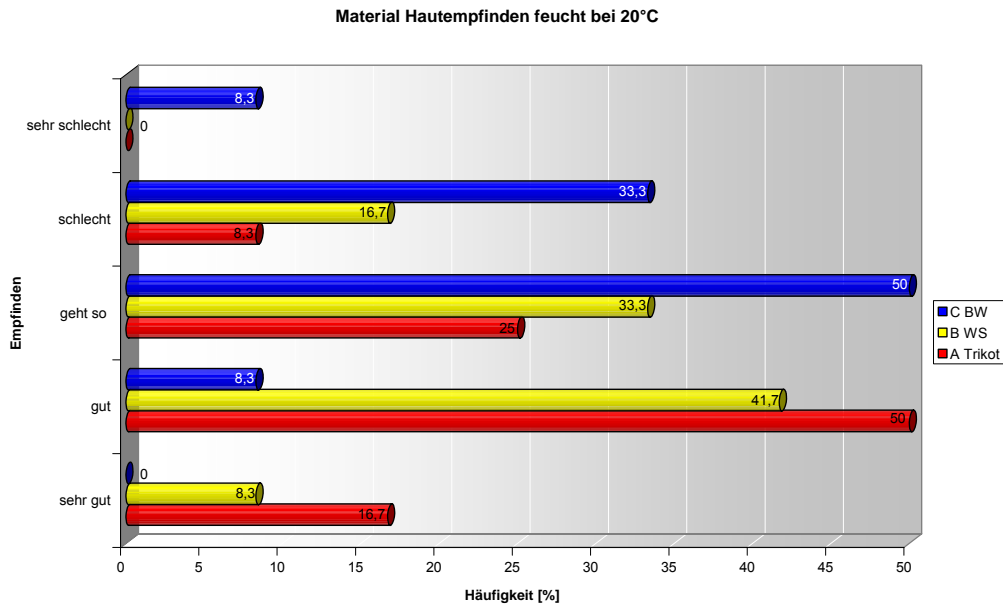


Bild 129: Material Hautempfinden feucht bei 20°C

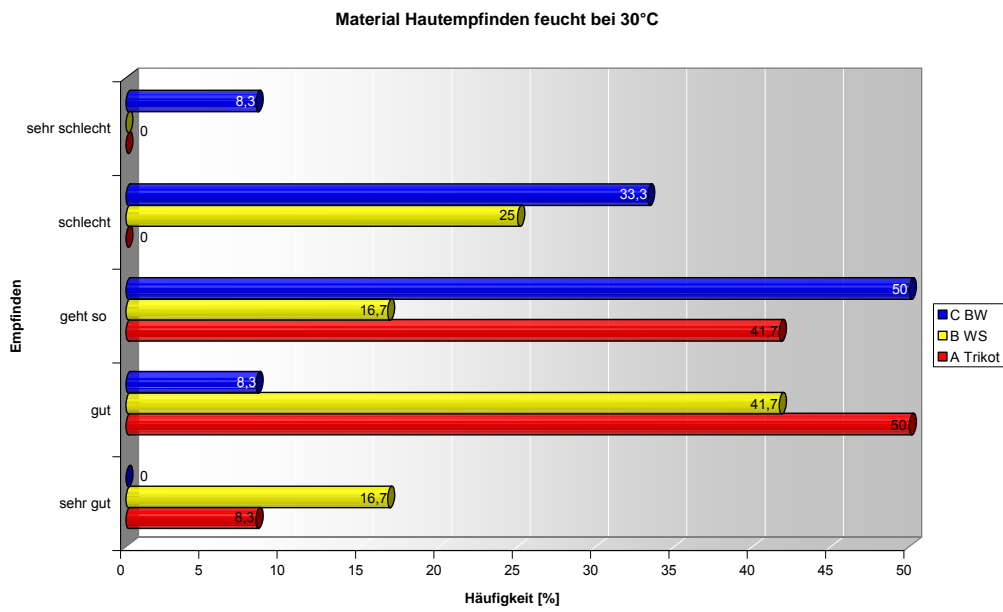


Bild 130: Material Hautempfinden feucht bei 30°C

Geruch

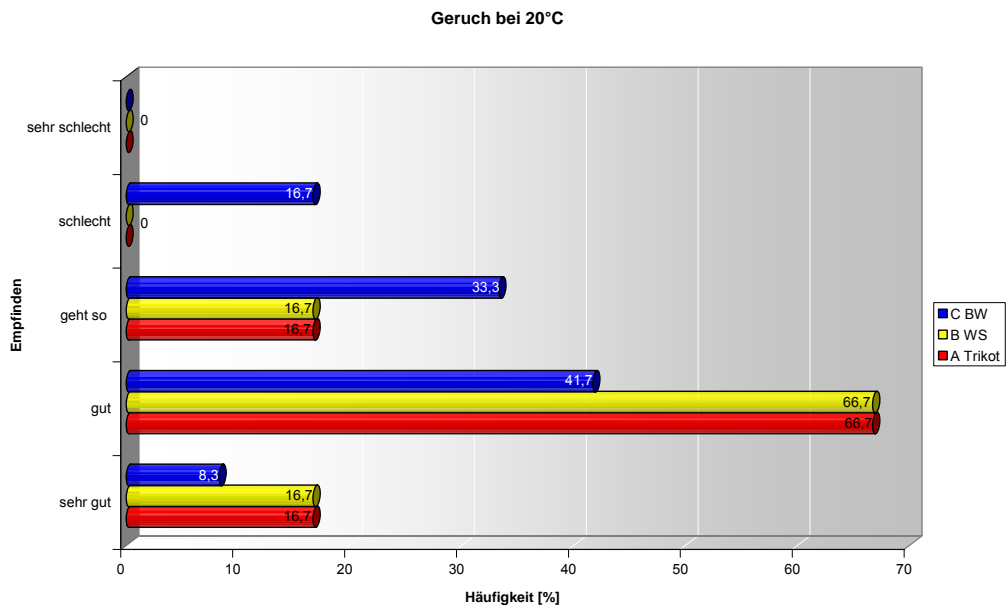


Bild 131: Geruch bei 20°C

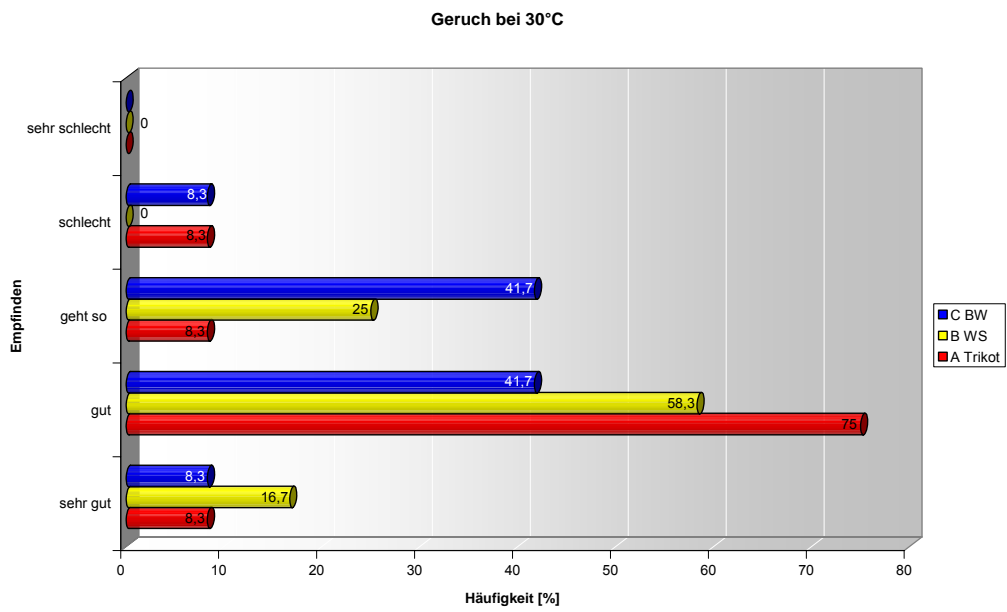


Bild 132: Geruch bei 30°C

Gesamturteil

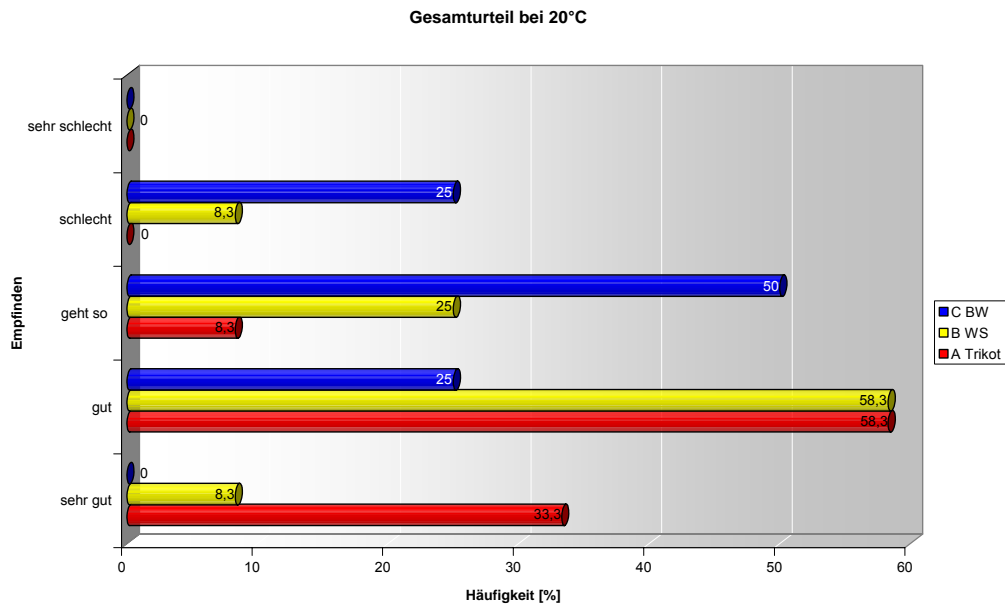


Bild 133: Gesamturteil bei 20°C

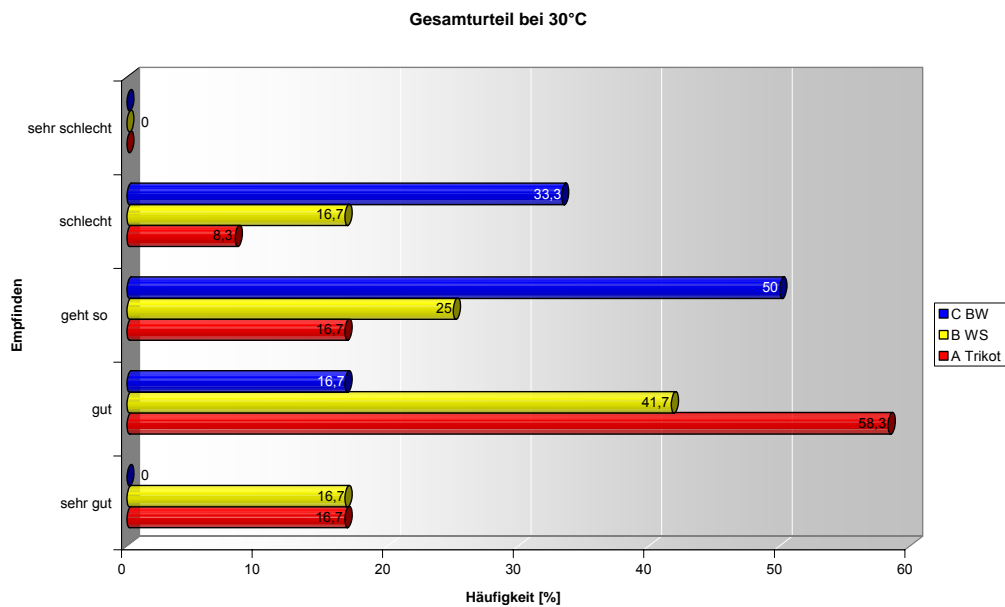


Bild 134: Gesamturteil bei 30°C

Fragebogen Klimakammer

Tabelle 58: Fragebogen Klimakammer Shirts A und B bei 20°C

		Mittlerer Rang	p	
Allgemeine Tagesform	A	10,38	0,143	ns
	B	14,63		
Belastungsempfinden nach Borg	A	10,21	0,114	ns
	B	14,79		
Schweißabsorption	A	10,88	0,266	ns
	B	14,13		
Schweißnässestellen Brust	A	12,67	0,932	ns
	B	12,33		
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	13,04	0,713	ns
	B	11,96		
Schweißnässestellen Kragen	A	11,67	0,590	ns
	B	13,33		
Schweißnässestellen Achseln	A	12,33	0,932	ns
	B	12,67		
Schweißnässestellen Schultern	A	11,50	0,514	ns
	B	13,50		
Schweißnässestellen gesamt	A	12,29	0,887	ns
	B	12,71		
Thermischer Komfort	A	11,08	0,347	ns
	B	13,92		
Winddichtigkeit	A	14,33	0,219	ns
	B	10,67		
Passform	A	9,96	0,078	ns
	B	15,04		
Material Hautempfinden trocken	A	9,71	0,052	ns
	B	15,29		
Material Hautempfinden feucht	A	11,21	0,378	ns
	B	13,79		
Geruch	A	12,50	1	ns
	B	12,50		
Gesamt	A	10,21	0,114	ns
	B	14,79		

Tabelle 59: Fragebogen Klimakammer Shirts A und C bei 20°C

		Mittlerer Rang	p	
Allgemeine Tagesform	A	12,46	0,977	ns
	C	12,54		
Belastungsempfinden nach Borg	A	12,33	0,932	ns
	C	12,67		
Schweißabsorption	A	7,83	0,001	***
	C	17,17		
Schweißnässestellen Brust	A	9,83	0,068	ns
	C	15,17		
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	10,04	0,089	ns
	C	14,96		
Schweißnässestellen Kragen	A	11,63	0,551	ns
	C	13,38		
Schweißnässestellen Achseln	A	10,67	0,219	ns
	C	14,33		
Schweißnässestellen Schultern	A	8,79	0,008	**
	C	16,21		
Schweißnässestellen gesamt	A	9,33	0,028	*
	C	15,67		
Thermischer Komfort	A	9,00	0,014	*
	C	16,00		
Winddichtigkeit	A	8,46	0,004	**
	C	16,54		
Passform	A	7,92	0,001	***
	C	17,08		
Material Hautempfinden trocken	A	8,33	0,003	**
	C	16,67		
Material Hautempfinden feucht	A	8,38	0,003	**
	C	16,63		
Geruch	A	10,25	0,128	ns
	C	14,75		
Gesamt	A	7,88	0,001	***
	C	17,13		

Tabelle 60: Fragebogen Klimakammer Shirts B und C bei 20°C

		Mittlerer Rang	p	
Allgemeine Tagesform	B	14,75	0,128	ns
	C	10,25		
Belastungsempfinden nach Borg	B	14,63	0,143	ns
	C	10,38		
Schweißabsorption	B	9,83	0,068	ns
	C	15,17		
Schweißnässestellen Brust	B	9,42	0,033	*
	C	15,58		
Schweißnässestellen Rückenmitte	B	9,46	0,033	*
	C	15,54		
Schweißnässestellen Kragen	B	12,46	0,977	ns
	C	12,54		
Schweißnässestellen Achseln	B	10,75	0,242	ns
	C	14,24		
Schweißnässestellen Schultern	B	9,79	0,060	ns
	C	15,21		
Schweißnässestellen gesamt	B	9,46	0,033	*
	C	15,54		
Thermischer Komfort	B	10,33	0,143	ns
	C	14,67		
Winddichtigkeit	B	7,17	0,000	***
	C	17,83		
Passform	B	10,29	0,128	ns
	C	14,71		
Material Hautempfinden trocken	B	10,71	0,219	ns
	C	14,29		
Material Hautempfinden feucht	B	9,63	0,045	*
	C	15,38		
Geruch	B	10,25	0,128	ns
	C	14,75		
Gesamt	B	9,75	0,060	ns
	C	15,25		

Tabelle 61: Fragebogen Klimakammer Shirts A und B bei 30°C

		Mittlerer Rang	p	
Allgemeine Tagesform	A	11,67	0,590	ns
	B	13,33		
Belastungsempfinden nach Borg	A	12,58	0,977	ns
	B	12,42		
Schweißabsorption	A	12,96	0,755	ns
	B	12,04		
Schweißnässestellen Brust	A	13,67	0,443	ns
	B	11,33		
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	13,08	0,713	ns
	B	11,92		
Schweißnässestellen Kragen	A	13,46	0,514	ns
	B	11,54		
Schweißnässestellen Achseln	A	13,58	0,478	ns
	B	11,42		
Schweißnässestellen Schultern	A	14,25	0,242	ns
	B	10,75		
Schweißnässestellen gesamt	A	13,79	0,378	ns
	B	11,21		
Thermischer Komfort	A	12,25	0,887	ns
	B	12,75		
Winddichtigkeit	A	16,50	0,005	**
	B	8,50		
Passform	A	19,92	0,291	ns
	B	14,08		
Material Hautempfinden trocken	A	10,92	0,291	ns
	B	14,08		
Material Hautempfinden feucht	A	12,13	0,799	ns
	B	12,88		
Geruch	A	12,58	0,977	ns
	B	12,42		
Gesamt	A	11,63	0,551	ns
	B	13,38		

Tabelle 62: Fragebogen Klimakammer Shirts A und C bei 30°C

		Mittlerer Rang	p	
Allgemeine Tagesform	A	12,67	0,932	ns
	C	12,33		
Belastungsempfinden nach Borg	A	13,33	0,590	ns
	C	11,67		
Schweißabsorption	A	9,71	0,052	ns
	C	15,29		
Schweißnässestellen Brust	A	10,42	0,160	ns
	C	14,58		
Schweißnässestellen Rückenmitte	A	9,50	0,039	*
	C	15,50		
Schweißnässestellen Kragen	A	11,13	0,347	ns
	C	13,88		
Schweißnässestellen Achseln	A	10,67	0,219	ns
	C	14,33		
Schweißnässestellen Schultern	A	10,50	0,178	ns
	C	14,50		
Schweißnässestellen gesamt	A	9,83	0,068	ns
	C	15,17		
Thermischer Komfort	A	9,04	0,014	*
	C	15,96		
Winddichtigkeit	A	8,96	0,012	*
	C	16,04		
Passform	A	8,79	0,008	**
	C	16,21		
Material Hautempfinden trocken	A	9,58	0,045	*
	C	15,42		
Material Hautempfinden feucht	A	8,42	0,004	**
	C	16,58		
Geruch	A	10,83	0,266	ns
	C	14,17		
Gesamt	A	8,79	0,008	**
	C	16,21		

Tabelle 63: Fragebogen Klimakammer Shirts B und C bei 30°C

		Mittlerer Rang	p	
Allgemeine Tagesform	B	13,46	0,514	ns
	C	11,54		
Belastungsempfinden nach Borg	B	13,33	0,590	ns
	C	11,67		
Schweißabsorption	B	10,25	0,128	ns
	C	14,75		
Schweißnässestellen Brust	B	9,17	0,020	*
	C	15,83		
Schweißnässestellen Rückenmitte	B	8,25	0,002	**
	C	16,75		
Schweißnässestellen Kragen	B	10,58	0,198	ns
	C	14,42		
Schweißnässestellen Achseln	B	9,50	0,039	*
	C	15,50		
Schweißnässestellen Schultern	B	9,21	0,020	*
	C	15,79		
Schweißnässestellen gesamt	B	8,63	0,006	**
	C	15,79		
Thermischer Komfort	B	10,79	0,242	ns
	C	14,21		
Winddichtigkeit	B	6,83	0,000	***
	C	18,17		
Passform	B	9,50	0,039	*
	C	15,50		
Material Hautempfinden trocken	B	11,25	0,410	ns
	C	13,75		
Material Hautempfinden feucht	B	9,63	0,045	*
	C	15,38		
Geruch	B	10,75	0,242	ns
	C	14,25		
Gesamt	B	9,92	0,078	ns
	C	15,08		

14.2.2 Objektive Messdaten

Hauttemperatur

- Temperatur Brust/Bauch

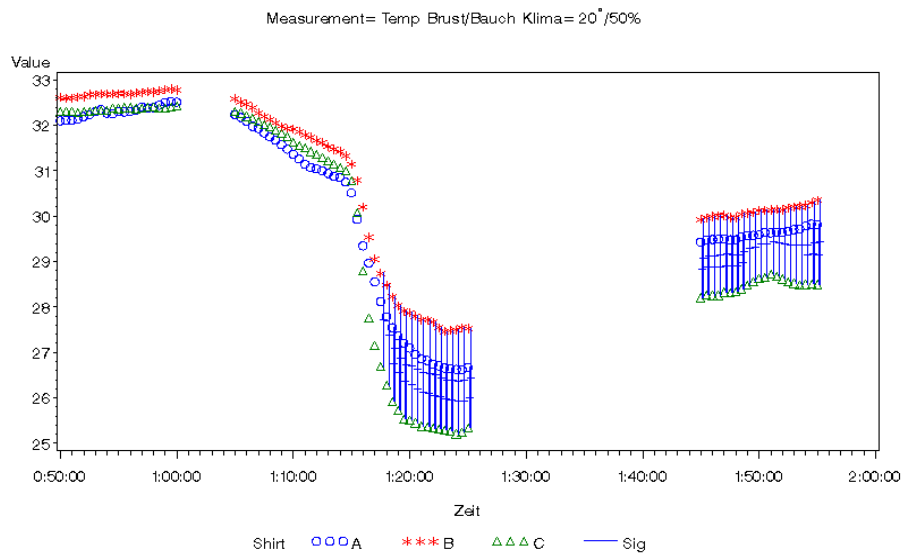


Bild 135: Temperatur Brust/Bauch bei 20°C

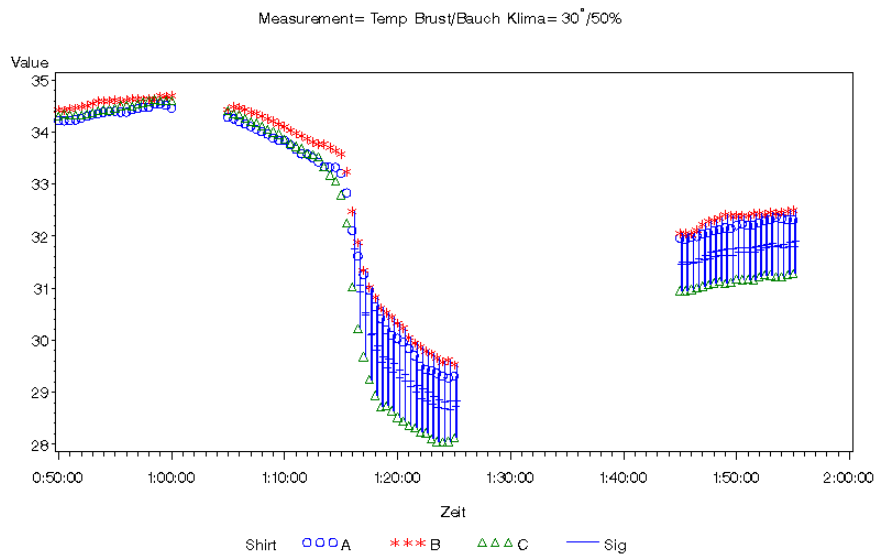


Bild 136: Temperatur Brust/Bauch bei 30°C

- Temperatur Rücken/Lende

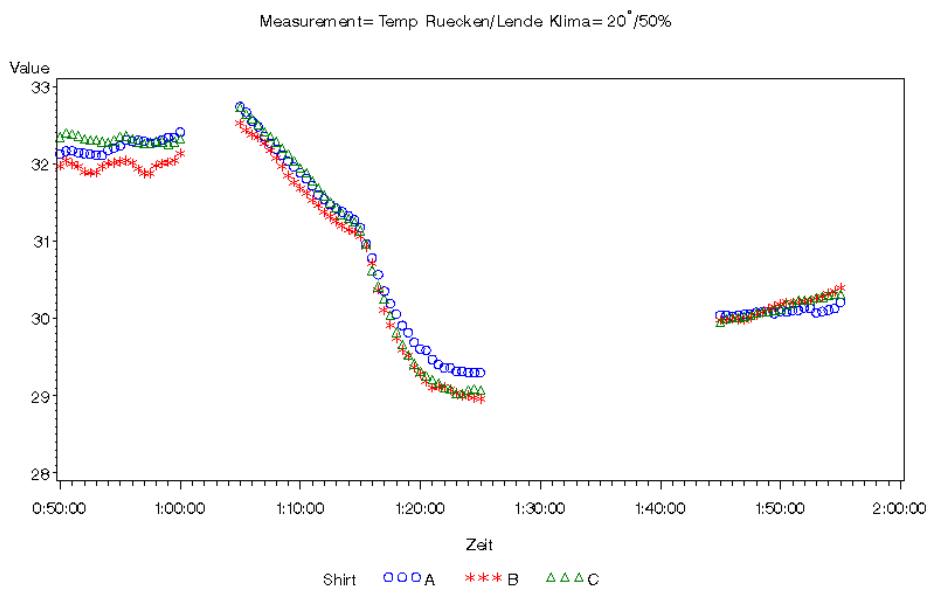


Bild 137: Temperatur Rücken/Lende bei 20°C

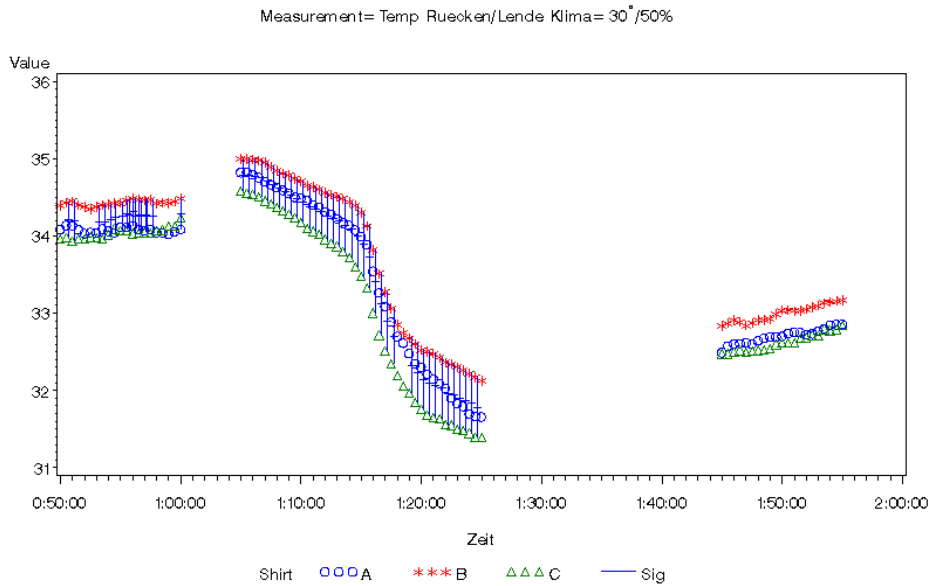


Bild 138: Temperatur Rücken/Lende bei 30°C

Relative Feuchte auf der Haut

- Relative Feuchte auf der Haut Brust/Bauch

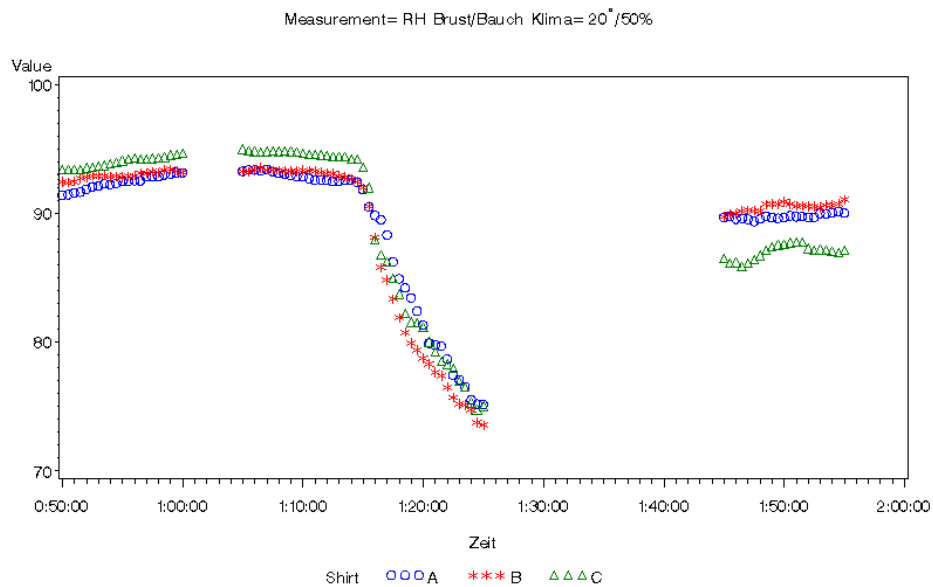


Bild 139: relative Hautfeuchte Brust/Bauch bei 20°C

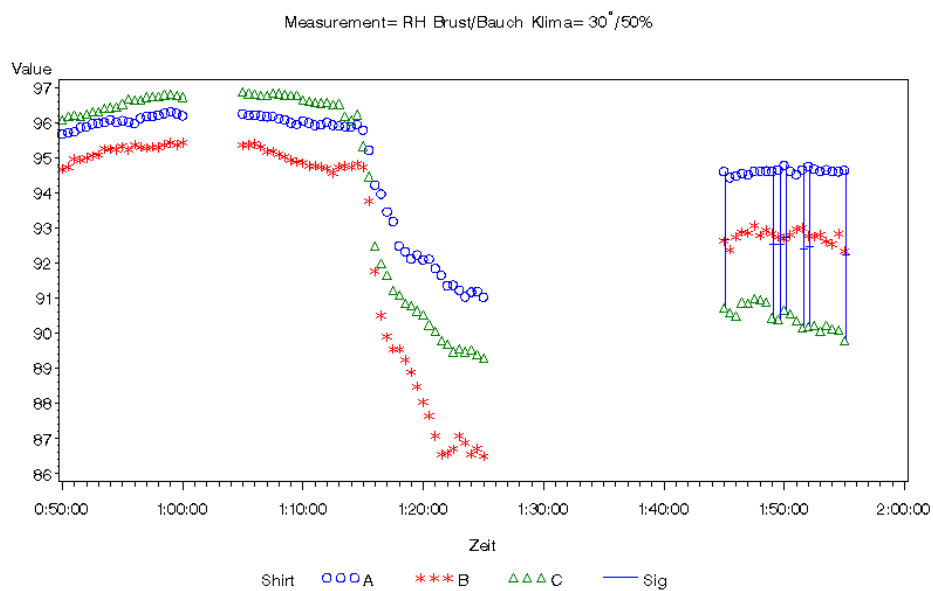


Bild 140: relative Hautfeuchte Brust/Bauch bei 30°C

- Relative Feuchte auf der Haut Rücken/Lende

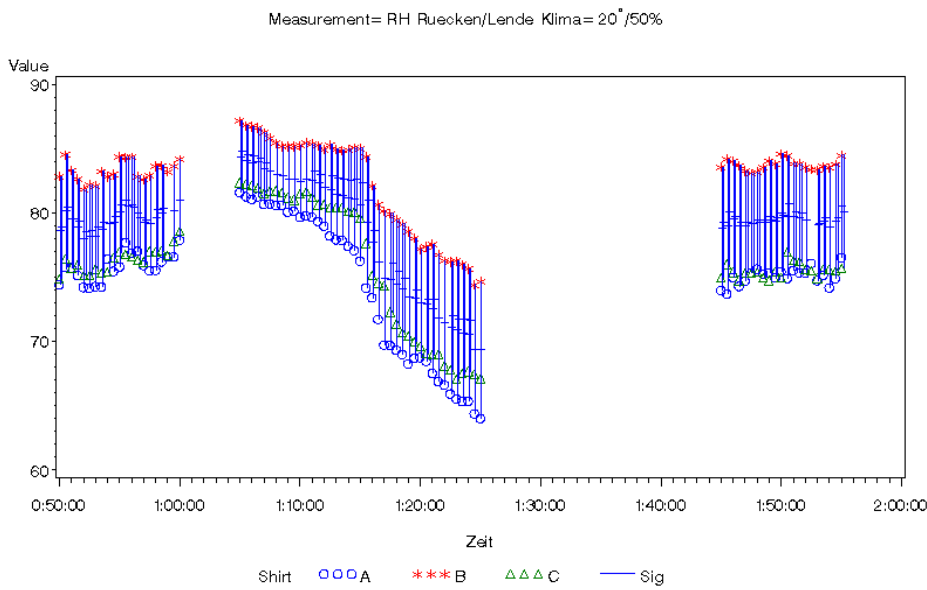


Bild 141: relative Hautfeuchte Rücken/Lende bei 20°C

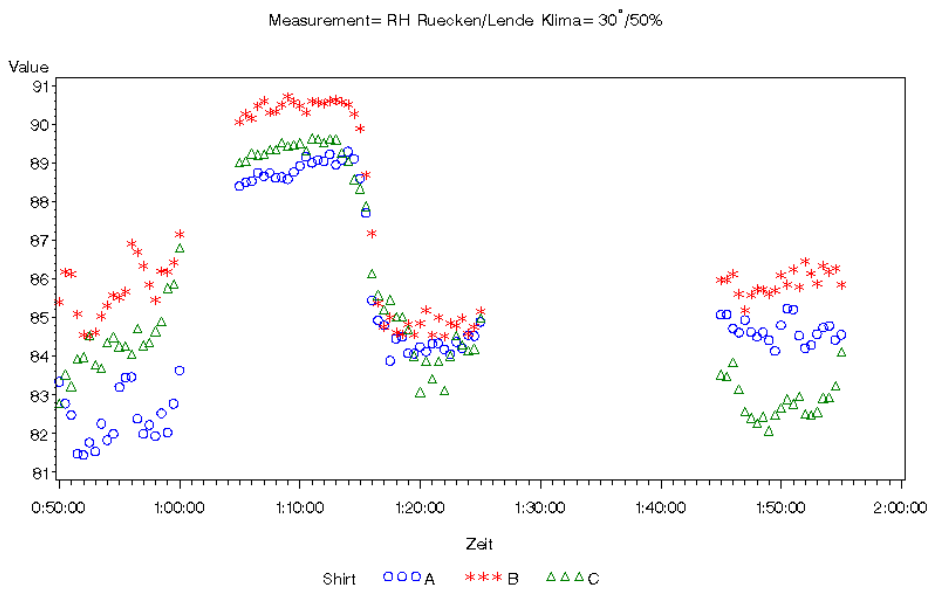


Bild 142: relative Hautfeuchte Rücken/Lende 30°C

Körperkerntemperatur

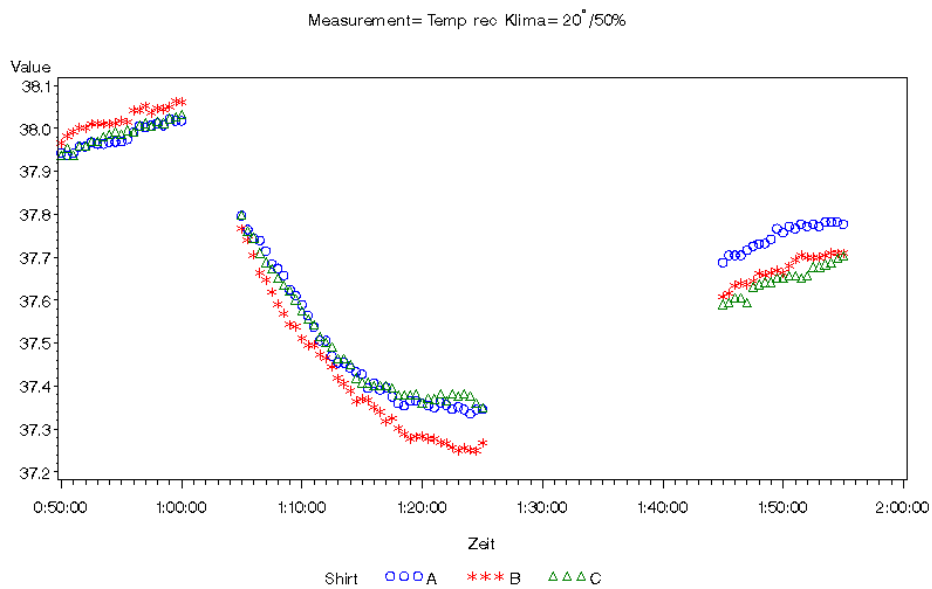


Bild 143: Körperkerntemperatur bei 20°C

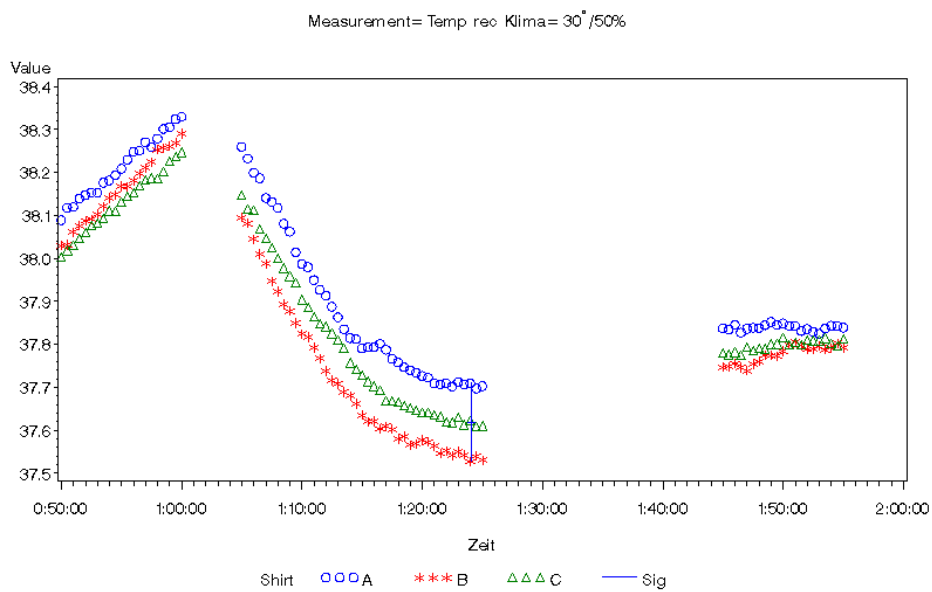


Bild 144: Körperkerntemperatur bei 30°C

Herzfrequenz

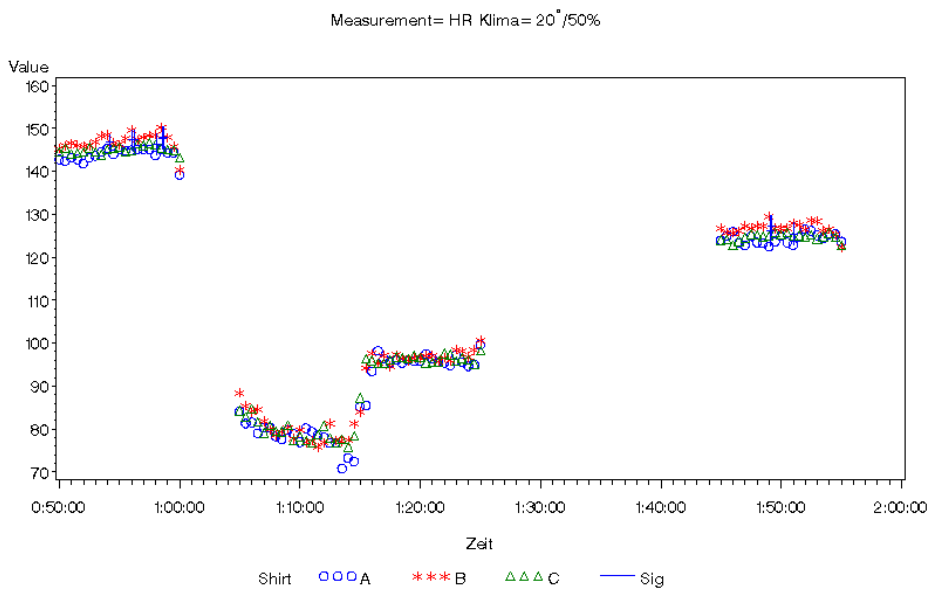


Bild 145: Herzfrequenz bei 20°C

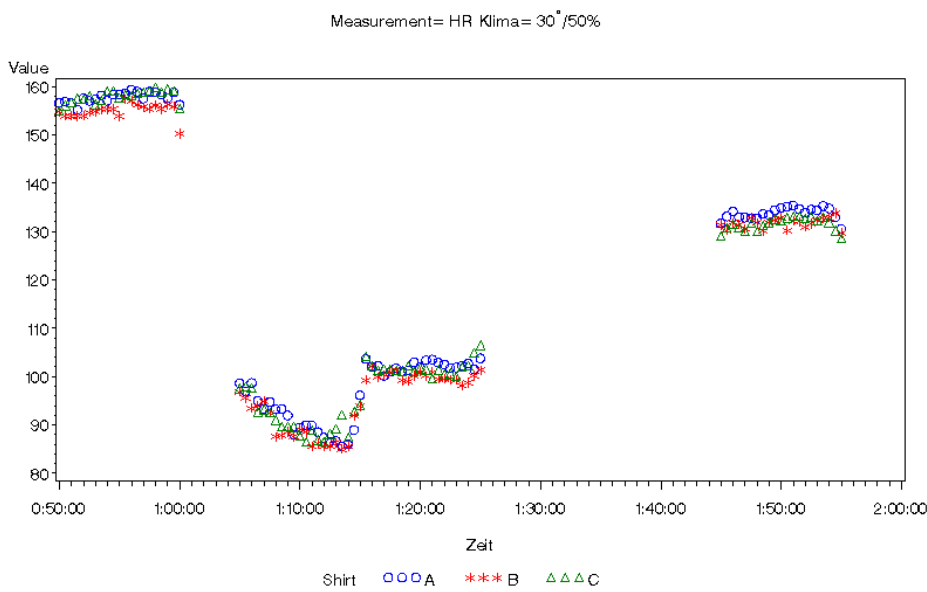


Bild 146: Herzfrequenz bei 30°C

Messungen Laktat

Tabelle 64: Laktat zum Zeitpunkt 0

	Shirt	Zeitpunkt [min]	Klima	Mittlerer Rang	Signifikanz	
Laktat [mmol]	A	0	20°C	12,88	0,793	ns
	B	0		12,13		
	A	0	20°C	12,92	0,771	ns
	C	0		12,08		
	B	0	20°C	12,83	0,815	ns
	C	0		12,17		
	A	0	30°C	12,96	0,749	ns
	B	0		12,04		
	A	0	30°C	11,58	0,521	ns
	C	0		13,42		
	B	0	30°C	11,33	0,413	ns
	C	0		13,67		

Tabelle 65: Laktat zum Zeitpunkt 20

	Shirt	Zeitpunkt [min]	Klima	Mittlerer Rang	Signifikanz	
Laktat [mmol]	A	20	20°C	12,50	1	ns
	B	20		12,50		
	A	20	20°C	14,54	0,153	ns
	C	20		10,46		
	B	20	20°C	13,88	0,336	ns
	C	20		11,13		
	A	20	30°C	10,79	0,235	ns
	B	20		14,21		
	A	20	30°C	11,92	0,680	ns
	C	20		13,08		
	B	20	30°C	14,33	0,201	ns
	C	20		10,67		

Tabelle 66: Laktat zum Zeitpunkt 40

	Shirt	Zeitpunkt [min]	Klima	Mittlerer Rang	Signifikanz	
Laktat [mmol]	A	40	20°C	12,50	1	ns
	B	40		12,50		
	A	40	20°C	13,25	0,602	ns
	C	40		11,75		
	B	40	20°C	12,92	0,772	ns
	C	40		12,08		
	A	40	30°C	11,58	0,523	ns
	B	40		13,42		
	A	40	30°C	11,67	0,561	ns
	C	40		13,33		
	B	40	30°C	13,29	0,581	ns
	C	40		11,71		

Tabelle 67: Laktat zum Zeitpunkt 60

	Shirt	Zeitpunkt [min]	Klima	Mittlerer Rang	Signifikanz	
Laktat [mmol]	A	60	20°C	12,54	0,977	ns
	B	60		12,46		
	A	60	20°C	12,96	0,750	ns
	C	60		12,04		
	B	60	20°C	12,67	0,908	ns
	C	60		12,33		
	A	60	30°C	11,71	0,583	ns
	B	60		13,29		
	A	60	30°C	11,21	0,370	ns
	C	60		13,79		
	B	60	30°C	12,38	0,931	ns
	C	60		12,63		

Tabelle 68: Laktat zum Zeitpunkt 75

	Shirt	Zeitpunkt [min]	Klima	Mittlerer Rang	Signifikanz	
Laktat [mmol]	A	75	20°C	13,04	0,705	ns
	B	75		11,96		
	A	75	20°C	12,33	0,907	ns
	C	75		12,67		
	B	75	20°C	11,25	0,384	ns
	C	75		13,75		
	A	75	30°C	13,04	0,704	ns
	B	75		11,96		
	A	75	30°C	12,04	0,747	ns
	C	75		12,96		
	B	75	30°C	11,63	0,540	ns
	C	75		13,38		

Tabelle 69: Laktat zum Zeitpunkt 85

	Shirt	Zeitpunkt [min]	Klima	Mittlerer Rang	Signifikanz	
Laktat [mmol]	A	85	20°C	12,88	0,792	ns
	B	85		12,13		
	A	85	20°C	14,17	0,241	ns
	C	85		10,83		
	B	85	20°C	13,50	0,483	ns
	C	85		11,50		
	A	85	30°C	11,79	0,620	ns
	B	85		13,21		
	A	85	30°C	12,29	0,883	ns
	C	85		12,71		
	B	85	30°C	13,13	0,662	ns
	C	85		11,88		

Tabelle 70: Laktat zum Zeitpunkt 115

	Shirt	Zeitpunkt [min]	Klima	Mittlerer Rang	Signifikanz	
Laktat [mmol]	A	115	20°C	13,71	0,399	ns
	B	115		11,29		
	A	115	20°C	12,38	0,930	ns
	C	115		12,63		
	B	115	20°C	11,38	0,432	ns
	C	115		13,63		
	A	115	30°C	12,13	0,793	ns
	B	115		12,88		
	A	115	30°C	13,33	0,561	ns
	C	115		11,67		
	B	115	30°C	14,13	0,255	ns
	C	115		10,88		

Energieverbrauchsmessung: ANOVA nach Tukey; Post-Hoc-Test

Tabelle 71: Energieumsatz

	Shirt	Klima	Mittelwert	SD	Min	Max	Signifikanz	
Energieumsatz [kcal]	A	20°C	1042	196	626	1380	0,839	ns
	B		1087	178	757	1378		
	A	20°C	1042	196	626	1380	0,990	ns
	C		1053	200	436	1337		
	B	20°C	1087	178	757	1378	0,904	ns
	C		1053	200	436	1337		
	A	30°C	1184	209	688	1484	0,964	ns
	B		1164	179	830	1461		
	A	30°C	1184	209	688	1481	0,998	ns
	C		1189	202	739	1534		
	B	30°C	1164	179	830	1461	0,947	ns
	C		1189	202	739	1534		

Tabelle 72: Leistungsverbrauch

	Shirt	Klima	Mittelwert	SD	Min	Max	Signifikanz	
Leistungsverbrauch [kcal]	A	20°C	853	195	436	1190	0,837	ns
	B		897	177	567	1188		
	A	20°C	853	195	436	1190	0,989	ns
	C		864	199	400	1147		
	B	20°C	897	177	567	1188	0,903	ns
	C		864	199	400	1147		
	A	30°C	995	208	498	1297	0,963	ns
	B		974	175	653	1274		
	A	30°C	995	208	498	1297	0,998	ns
	C		999	200	549	1344		
	B	30°C	974	175	653	1274	0,946	ns
	C		999	200	549	1344		

Tabelle 73: Energieumsatz in den Shirts bei verschiedenem Klima

	Klima	Shirt	Mittelwert	SD	Min	Max	Signifikanz	
Energieumsatz [kcal]	20°C	A	1042	196	626	1380	0,100	ns
	30°C		1185	209	688	1484		
	20°C	B	1087	178	757	1378	0,303	ns
	30°C		1164	179	830	1461		
	20°C	C	1053	200	590	1337	0,113	ns
	30°C		1189	202	739	1534		

Tabelle 74: Leistungsverbrauch in den Shirts bei verschiedenem Klima

	Klima	Shirt	Mittelwert	Standardabweichung	Min	Max	Signifikanz	
Leistungsverbrauch [kcal]	20°C	A	853	195	436	1190	0,099	ns
	30°C		995	208	498	1297		
	20°C	B	897	177	567	1188	0,297	ns
	30°C		974	175	653	1274		
	20°C	C	864	199	400	1147	0,110	ns
	30°C		999	200	549	1344		

Gewichtsdifferenz

Tabelle 75: Gewichtsdifferenz; deskriptive Werte bei 20°C

		N	Mittelwert	SD	Min	Max
Gewichtsdifferenz Proband [kg]	A	12	1,26	0,20	1,0	1,7
	B	12	1,33	0,23	0,9	1,8
	C	12	1,22	0,36	0,4	1,9
Gewichtsdifferenz Trikot [g]	A	12	22,85	20,09	5,4	82,4
	B	12	26,98	20,54	5,4	81,4
	C	12	30,50	30,01	8,8	102,0
Gewichtsdifferenz Hose[g]	A	12	7,18	4,39	2,6	32,60
	B	12	7,68	6,37	2,0	48,60
	C	12	6,75	4,61	2,4	34,0
Gewichtsdifferenz Socken[g]	A	12	7,183	4,39	1,8	15,4
	B	12	7,68	6,37	1,6	25,8
	C	12	6,75	4,61	2,2	15,6
Gewichtsdifferenz Schuhe[g]	A	12	10,66	6,57	2,4	26,0
	B	12	15,48	18,87	5,2	73,7
	C	12	9,31	4,24	3,0	15,2
Trinkmenge [ml]	A	12	896,08	409,00	0,0	1561,0
	B	12	909,35	375,82	260,8	1477,2
	C	12	841,62	324,83	356,2	1372,4

Tabelle 76: Gewichts­differenz; Signifikanz bei 20°C

Abhängige Variable	Shirt		Mittlere Differenz	Signifikanz	
Gewichts­differenz Proband [kg]	A	B	-0,07	0,806	ns
		C	0,04	0,929	ns
	B	A	0,07	0,806	ns
		C	0,11	0,587	ns
	C	A	-0,04	0,929	ns
		B	-0,11	0,587	ns
Gewichts­differenz Trikot [g]	A	B	-4,13	0,907	ns
		C	-7,65	0,717	ns
	B	A	-4,13	0,907	ns
		C	-3,52	0,932	ns
	C	A	7,65	0,717	ns
		B	3,52	0,932	ns
Gewichts­differenz Hose [g]	A	B	-3,84	0,640	ns
		C	-0,12	1	ns
	B	A	3,84	0,640	ns
		C	3,72	0,657	ns
	C	A	0,12	1	ns
		B	-3,73	0,657	ns
Gewichts­differenz Socken [g]	A	B	-0,50	0,970	ns
		C	0,43	0,977	ns
	B	A	0,50	0,970	ns
		C	0,93	0,899	ns
	C	A	-0,43	0,977	ns
		B	-0,93	0,899	ns
Gewichts­differenz Schuhe [g]	A	B	-4,82	0,582	ns
		C	1,35	0,958	ns
	B	A	4,82	0,582	ns
		C	6,17	0,416	ns
	C	A	-1,35	0,958	ns
		B	-6,17	0,416	ns
Trinkmenge [ml]	A	B	-13,27	0,996	ns
		C	54,47	0,932	ns
	B	A	13,27	0,996	ns
		C	67,73	0,896	ns
	C	A	-54,47	0,932	ns
		B	-67,73	0,896	ns

Tabelle 77: Gewichts­differenz; deskriptive Werte bei 30°C

		N	Mittelwert	SD	Min	Max
Gewichtsdifferenz Proband [kg]	A	12	2,00	0,611	1,0	3,3
	B	12	1,98	0,541	1,0	3,0
	C	12	1,84	0,362	1,2	2,5
Gewichtsdifferenz Trikot [g]	A	12	70,13	53,047	24,0	203,8
	B	12	64,07	53,523	2,0	193,6
	C	12	49,35	45,594	6,4	173,6
Gewichtsdifferenz Hose [g]	A	12	24,42	13,945	6,0	52,0
	B	12	28,53	23,577	3,8	96,4
	C	12	22,36	16,311	4,6	63,4
Gewichtsdifferenz Socken [g]	A	12	12,58	14,492	1,6	54,4
	B	12	12,50	15,103	2,0	52,8
	C	12	9,65	8,579	2,6	35,8
Gewichtsdifferenz Schuhe [g]	A	12	10,55	11,028	1,0	32,6
	B	12	9,38	5,698	3,0	18,6
	C	12	12,67	12,332	2,0	46,6
Trinkmenge [ml]	A	12	1099,14	369,378	533,8	1604,4
	B	12	1055,89	471,153	464,1	1947,4
	C	12	1061,35	555,907	0,00	1865,0

Tabelle 78: Gewichts­differenz; Signifikanz bei 30°C

Abhängige Variable	Shirt		Mittlere Differenz	Signifikanz	
Gewichts­differenz Proband [kg]	A	B	0,01	0,997	ns
		C	0,16	0,727	ns
	B	A	-0,02	0,997	ns
		C	0,14	0,774	ns
C	A	-0,16	0,727	ns	
	B	-0,14	0,774	ns	
Gewichts­differenz Trikot [g]	A	B	6,07	0,954	ns
		C	20,78	0,581	ns
	B	A	-6,07	0,954	ns
		C	14,72	0,760	ns
C	A	-20,78	0,581	ns	
	B	-14,72	0,760	ns	
Gewichts­differenz Hose [g]	A	B	-4,12	0,848	ns
		C	2,06	0,960	ns
	B	A	4,12	0,848	ns
		C	6,18	0,692	ns
C	A	-2,06	0,960	ns	
	B	-6,18	0,692	ns	
Gewichts­differenz Socken [g]	A	B	0,08	1	ns
		C	2,93	0,848	ns
	B	A	-0,08	1	ns
		C	2,85	0,855	ns
C	A	-2,93	0,848	ns	
	B	-2,85	0,855	ns	
Gewichts­differenz Schuhe [g]	A	B	1,17	0,957	ns
		C	-2,12	0,865	ns
	B	A	-1,17	0,957	ns
		C	-3,28	0,708	ns
C	A	2,12	0,865	ns	
	B	3,28	0,708	ns	
Trinkmenge [ml]	A	B	43,25	0,973	ns
		C	37,79	0,979	ns
	B	A	-43,25	0,973	ns
		C	-5,46	1	ns
C	A	-37,79	0,979	ns	
	B	5,46	1	ns	

Mittlere Oberflächentemperatur IR-Bilder

Tabelle 79: Mittlere Temperatur Torso [°C] errechnet anhand der IR-Bilder; Mittelwerte bei 20°C

		N	Mittelwert	SD	Min	Max
Mittlere Temperatur Torso [°C]	A	12	33,77	1,57	32,00	35,00
	B	12	34,23	1,00	33,20	35,20
	C	12	34,07	1,76	32,10	35,50

Tabelle 80: Mittlere Temperatur Torso [°C] errechnet mittels Tukey HSD; Signifikanz bei 20°C

Abhängige Variable	Shirt		Mittlere Differenz	Signifikanz	
Mittlere Temperatur Torso [°C]	A	B	-0,47	0,922	ns
		C	-0,30	0,967	ns
	B	A	0,47	0,922	ns
		C	0,17	0,990	ns
	C	A	0,30	0,967	ns
		B	-0,17	0,990	ns

Tabelle 81: Mittlere Temperatur Torso [°C] errechnet anhand der IR-Bilder; Mittelwerte bei 30°C

		N	Mittelwert	SD	Min	Max
Mittlere Temperatur Torso [°C]	A	12	36,43	0,41	36,10	36,90
	B	12	37,13	0,31	36,80	37,40
	C	12	36,60	1,40	35,00	37,60

Tabelle 82: Mittlere Temperatur Torso [°C] errechnet mittels Tukey HSD; Signifikanz bei 30°C

Abhängige Variable	Shirt		Mittlere Differenz	Signifikanz	
Mittlere Temperatur Torso [°C]	A	B	-0,70	0,606	ns
		C	-0,17	0,970	ns
	B	A	0,70	0,606	ns
		C	0,53	0,740	ns
	C	A	0,17	0,970	ns
		B	-0,53	0,740	ns

15 Berechnung Energieverbrauch

Die Berechnung des Energieverbrauchs erfolgt nach der Herzfrequenz-Monitoring-Methode die in der Dissertation von Fröhlich 2005 validiert wurde.

Zur Erstellung der individuellen Herzfrequenz-Sauerstoffverbrauch-Korrelation (HF-VO₂-Korrelation) wird mit jedem Probanden ein Eingangstest durchgeführt und die dazu korrelierende Herzfrequenz sowohl unter relativer körperlicher Ruhe (Liegen/Sitzen/Stehen) als auch bei ansteigender Belastung (Fahrradergometer) bis zur individuellen Ausbelastung (Stufentest) durchgeführt.

Über den gesamten Belastungsbereich wird die Beziehung zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch hergestellt und die Werte durch den HF-Flex-Punkt (LIVINGSTONE et al. 1992) in einen Ruhe- und Belastungsbereich unterteilt. Mit der Zuordnung des Ruheumsatzes bzw. der Belastungskorrelation kann mittels der aufgezeichneten Herzfrequenz-Werte der Sauerstoffverbrauch berechnet werden und wiederum über den Sauerstoffverbrauch wird der Energieverbrauch ermittelt. Unterhalb des HF-FLEX entspricht die VO₂ dem gemessenen (aus Eingangstest) Ruhesauerstoffverbrauch. Oberhalb des HF-Flex kann jedem Herzfrequenz-Wert ein entsprechender Sauerstoffverbrauch über die im Stufentest auf dem Fahrradergometer ermittelte individuelle Korrelation zugeordnet werden. Mit dem kalorischen Äquivalent (1 Liter Sauerstoff entspricht 4,86 kcal) berechnet sich der minütliche Energieverbrauch (EV) (vgl. FRÖHLICH 2005).

Die folgenden Schritte werden für jeden einzelnen Probanden durchgeführt:

- Berechnung des Grundumsatzes eines jeden Probanden durch Formel nach Schofield:

$$GU_{Tag} [MJ] = 0,063 \times KG[kg] - 0,042 \times G[m] + 2,953 \quad (7)$$

- Umrechnung in kcal mit:

$$1kcal = 1kJ \times 0,2388 \quad (8)$$

- Der Ruheumsatz [RU] für die Aktivitäten Sitzen und Stehen kann durch Multiplikation des GU mit dem Faktor 1,3 abgeschätzt werden (WHO 1985).

$$RU[KJ / Tag] = GU \times 1,3 \quad (9)$$

- Berechnung des Ruheumsatzes pro Minute:

$$RU_{\min} = \frac{RU_{\text{Tag}} [kcal]}{1440[\text{min}]} \quad (10)$$

- Berechnung des Ruheumsatzes während des 115-minütigen Testverlaufs:

$$RU_{115} = RU_{\min} \left[\frac{kcal}{\text{min}} \right] \times 115[\text{min}] \quad (11)$$

- Berechnung des HF-Flex Punktes durch die Formel:

$$HF_{\text{Flex}} [S / \text{min}] = \frac{HF_{\text{Ruhe}} + HF_{\text{Moderat}}}{2} \quad (12)$$

Dabei ist HF_{Ruhe} der Durchschnitt der Herzfrequenz [HF] in den Ruhephasen:

- 3 min Liegen
- 3 min Sitzen
- 3 min Stehen

und HF_{Moderat} der Durchschnitt der HF in der Aufwärmphase und der ersten Stufe des Stufentest:

- 5 min 50 Watt
- 3 min 100 Watt

- Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs VO_2 [l/min] in Ruhe:

Dabei ist $VO_{2\text{ Ruhe}}$ der Durchschnitt der VO_2 in den Ruhephasen:

- 3 min Liegen
- 3 min Sitzen
- 3 min Stehen

- Bestimmung der Regressionsgeraden:

Die HF (x-Achse) und VO_2 (y-Achse) des Stufentest werden auf eine Minute gemittelt (von dem Intervall breath-by-breath) und dann in einem Diagramm dargestellt. Die lineare Regressionsgerade wird hinzugefügt. Die Gleichung und das Bestimmtheitsmaß R^2 werden ermittelt.

- Berechnung des Energieverbrauchs während der Testfahrten:

Die während der Testfahrt in 30-sekündigen Intervallen aufgezeichnete Herzfrequenz wird für jeden Versuch auf eine Minute gemittelt. So wird der Sauerstoffverbrauch VO_2 für alle Zeitpunkte errechnet (siehe Tabelle 83).

$$y = mx + t \tag{13}$$

$$x = HF_{\text{min}}$$

$$y = VO_{2\text{min}}$$

Tabelle 83: Daten zur Berechnung des Energieverbrauchs

	RU/Tag [kcal]	RU/115min [kcal]	HF-Flex [S/min]	VO ₂ Ruhe [l/min]	Berechnung VO ₂ [lineare Regression]	R ²
1	2341	187	81,23	0,41	y = 0,0256x - 1,2793	0,9866
2	2145	171	88,65	0,37	y = 0,019x - 0,7730	0,9584
3	2419	193	84,38	0,41	y = 0,0281x - 1,4827	0,9844
4	2341	187	80,75	0,57	y = 0,0254x - 0,8337	0,9660
5	2282	182	84,42	0,36	y = 0,0298x - 1,6407	0,9130
6	2281	182	87,61	0,41	y = 0,0248x - 1,1950	0,9844
7	2419	193	79,60	0,37	y = 0,0266x - 1,1962	0,9880
8	2497	199	100,66	0,50	y = 0,0474x - 3,8621	0,9754
9	2379	190	96,15	0,46	y = 0,0495x - 4,5264	0,9266
10	2399	192	74,24	0,44	y = 0,0214x - 0,4163	0,9605
11	2380	190	74,02	0,46	y = 0,0261x - 0,9626	0,9901
12	2574	206	81,25	0,46	y = 0,0268x - 1,0933	0,9704
X ± SD	2371 ± 109	189 ± 9	84,41 ± 7,97	0,44 ± 0,06		0,97 ± 0,02

- Der Energieverbrauch pro Minute [EV_{min}] wird mittels der Formel:

$$EV_{\min} = k\ddot{A} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{l}(O_2)} \right] \times VO_2 [\text{l/min}] \quad (14)$$

errechnet, wobei das kÄ (kalorisches Äquivalent) 4,86 kcal beträgt.

Sinkt die Herzfrequenz unter den HF-Flex Punkt wird anstatt der aus der Geradengleichung errechnete Wert, der VO₂ Ruhe – Wert eingesetzt.

Die Summe aller berechneten EV_{min} über den Versuchsverlauf von 115 Minuten ergibt den gesamten Energieverbrauch [EV] während des Tests. Um den Leistungsumsatz [LU] zu errechnen wird von dem Energieverbrauch der Ruheumsatz während der 115 Minuten (siehe oben) subtrahiert (siehe Tabelle 84 und Tabelle 85).

Tabelle 84: Energieverbrauch [EV] während der Testfahrten

	A 20°C [kcal]	B 20°C [kcal]	C 20°C [kcal]	A 30°C [kcal]	B 30°C [kcal]	C 30°C [kcal]
1	996	1169	1068	1192	1183	1213
2	818	831	869	1005	830	942
3	979	912	1049	1351	1133	1146
4	1156	1267	1291	1484	1461	1372
5	1209	1155	1134	1250	1190	1267
6	973	1134	949	1109	1104	1098
7	1185	1075	1113	1179	1205	1213
8	997	1088	951	1078	1250	1182
9	626	757	590	688	843	739
10	1152	1202	1193	1244	1207	1274
11	1380	1378	1337	1423	1333	1534
12	1037	1071	1096	1209	1225	128
X ± SD	1042 ± 196	1087 ± 178	1053 ± 200	1184 ± 209	1164 ± 179	1189 ± 202

Tabelle 85: Leistungsumsatz [LU] während der Testfahrten

	A 20°C [kcal]	B 20°C [kcal]	C 20°C [kcal]	A 30°C [kcal]	B 30°C [kcal]	C 30°C [kcal]
1	809	982	881	1005	996	1026
2	647	660	698	833	658	771
3	786	719	856	1158	939	953
4	969	1080	1104	1297	1274	1185
5	1027	973	952	1068	1008	1085
6	791	952	766	927	92	916
7	992	882	920	985	1011	1020
8	797	889	752	878	1050	982
9	436	567	340	498	653	549
10	961	1010	1001	1053	1016	1082
11	1190	1188	1147	1233	1143	1344
12	832	866	890	1003	1020	1079
X ± SD	853 ± 195	897 ± 177	864 ± 199	995 ± 208	974 ± 175	999 ± 200

16 Abbildungen Anhang

Streckenprofil Bovec



Bild 147: Streckenprofil für Feldversuch Bovec. Maßstab 1: 50 000

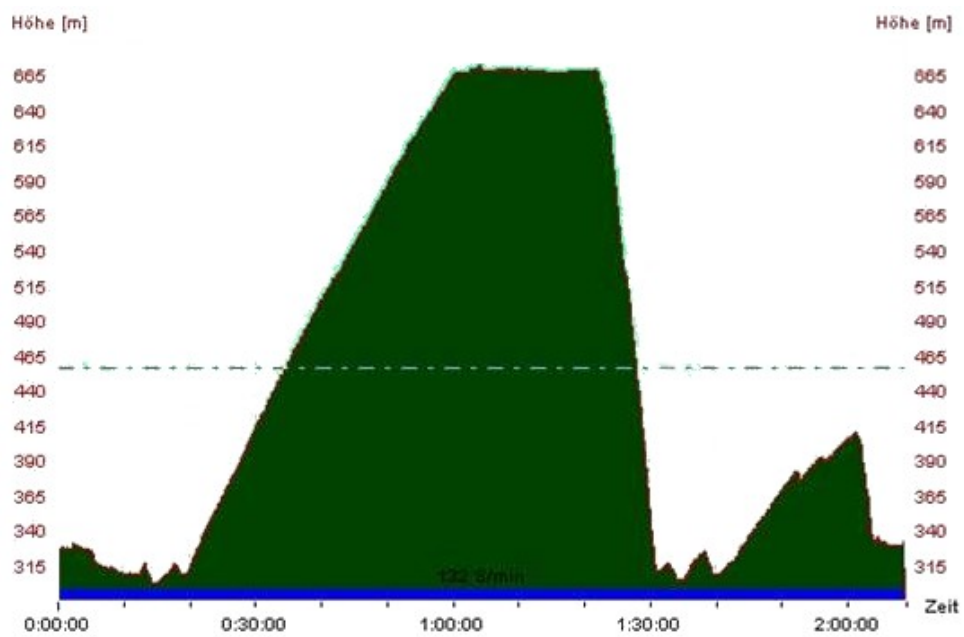


Bild 148: Höhenprofil am Beispiel eines Versuchsteilnehmers



Bild 149: Bovec und Zaga aus Google Earth

Lichtmikroskopische Aufnahmen der Testmaterialien

Polyamid-Fahrradtrikot

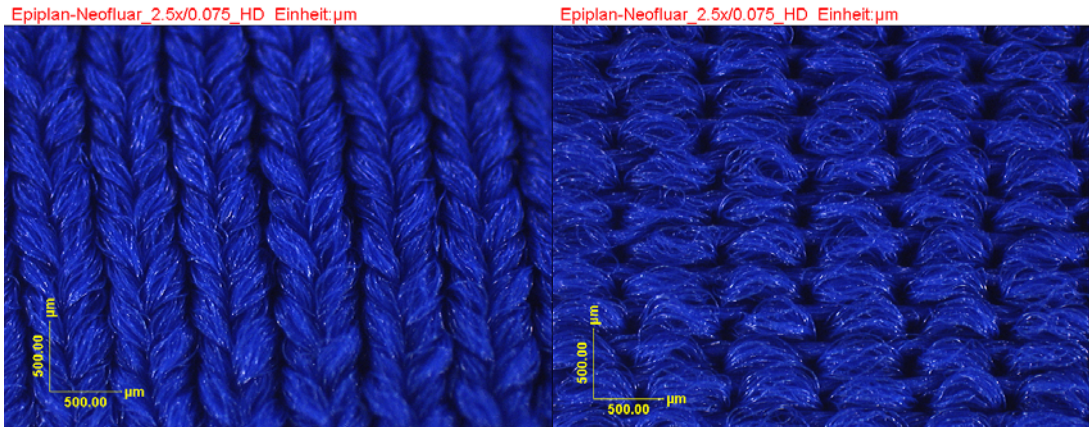


Bild 150: Polyamid – Fahrradtrikot vorne (li)
Bild 151: Polyamid – Fahrradtrikot hinten (re)

Winddichtes Funktionsshirt

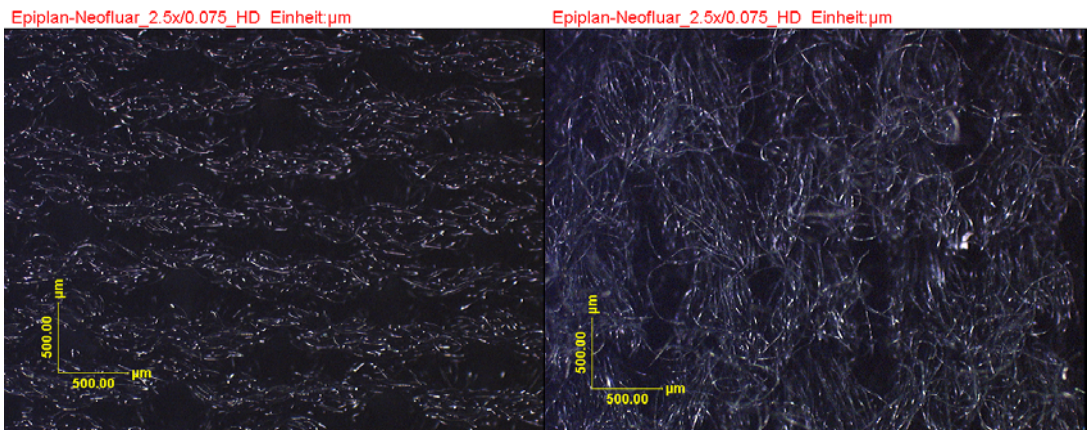


Bild 152: winddichtes Funktionsshirt vorne (li)
Bild 153: winddichtes Funktionsshirt hinten (re)

Funktionell ausgerüstete Baumwolle

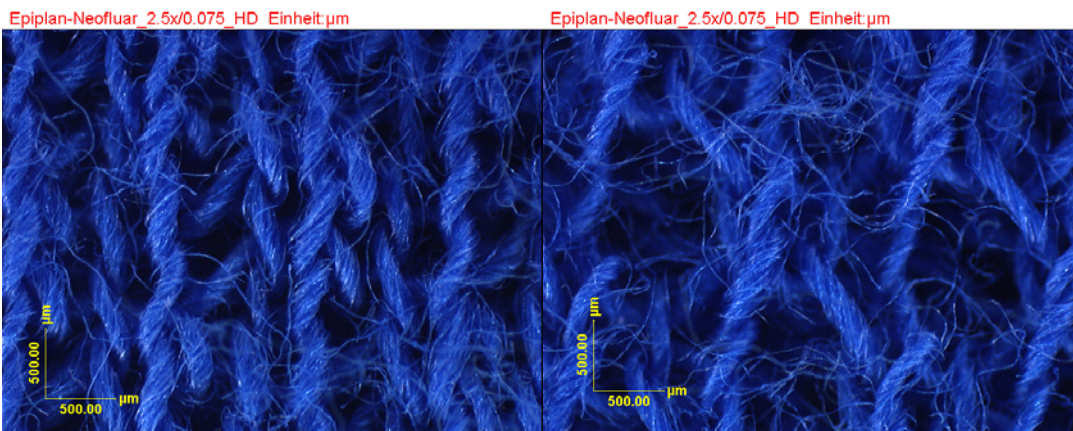


Bild 154: funktionell ausgerüstete Baumwolle vorne (li)
Bild 155: funktionell ausgerüstete Baumwolle hinten (re)

Fahrradhose

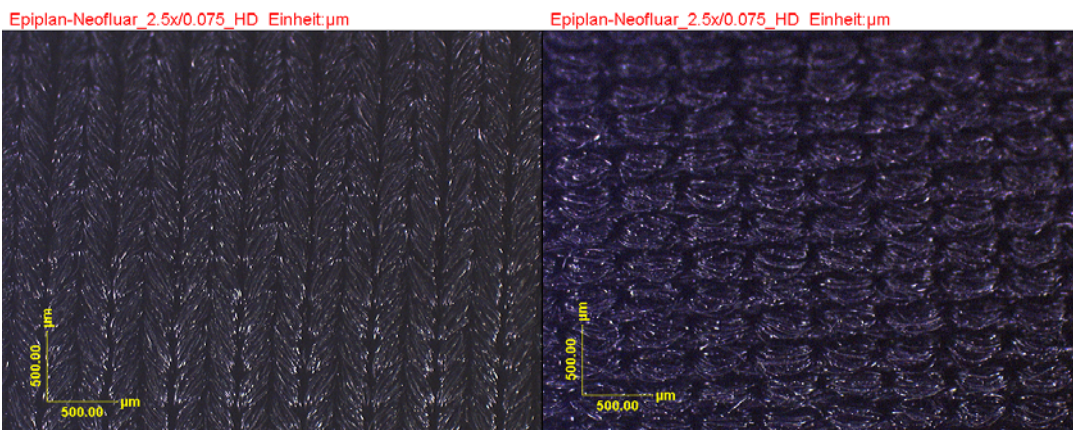


Bild 156: Fahrradhose vorne (links)
Bild 157: Fahrradhose hinten (rechts)

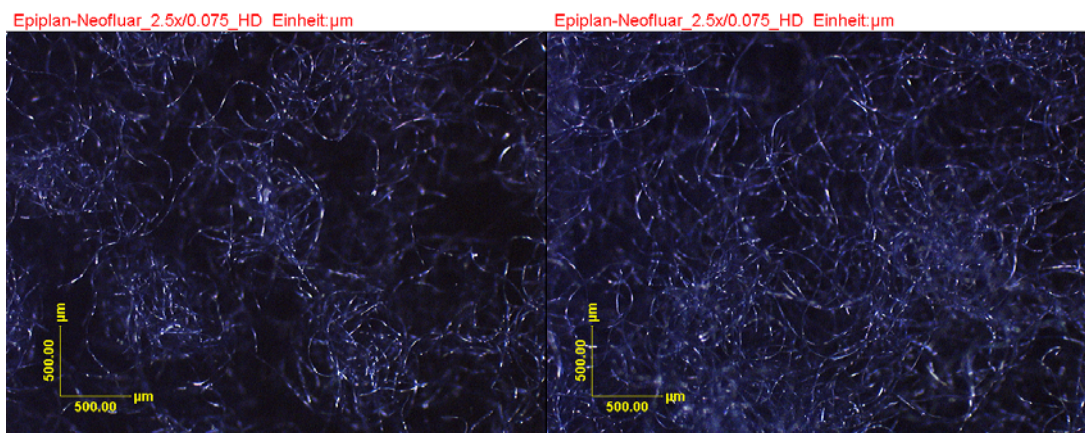
Fleecejacke

Bild 158: Fleece vorne (li)

Bild 159: Fleece hinten (re)

Infrarotbilder eines Probanden

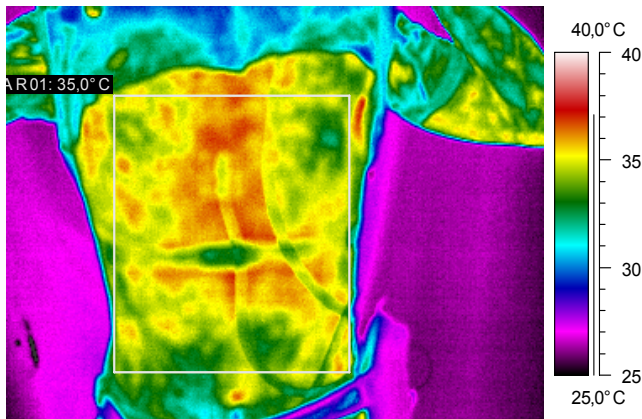


Bild 160: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 20°C mit Shirt A
(Ø Hauttemp. 35,0°C)

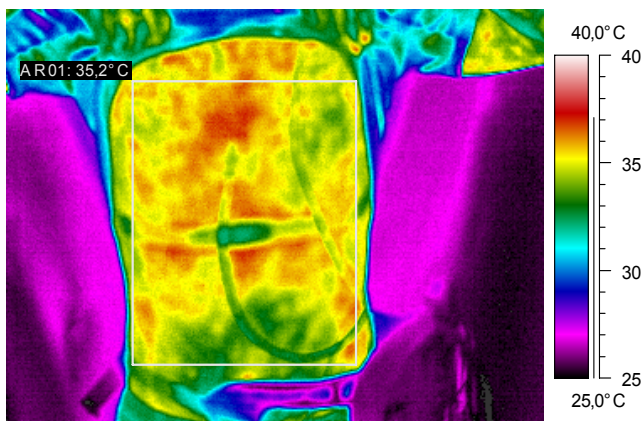


Bild 161: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 20°C mit Shirt B
(Ø Hauttemp. 35,2°C)

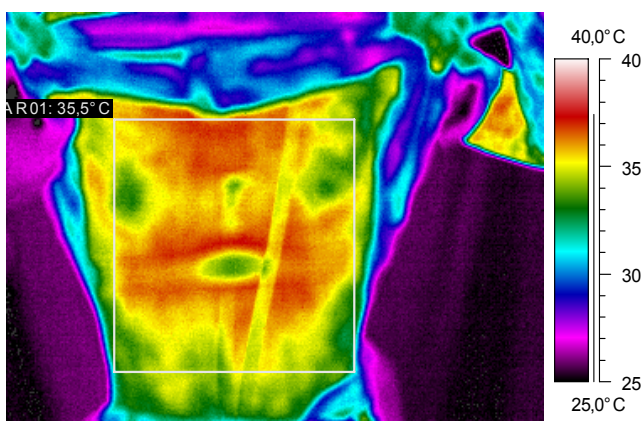
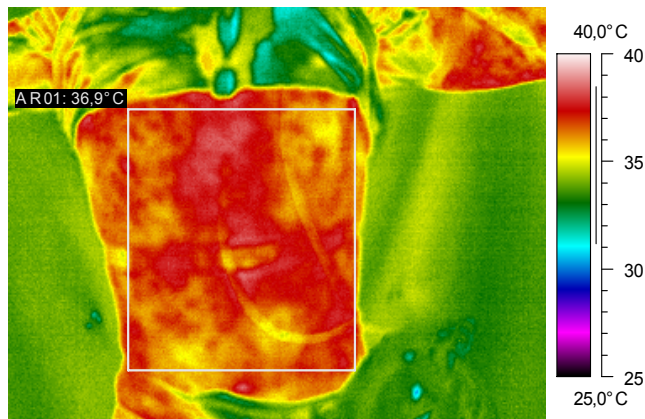
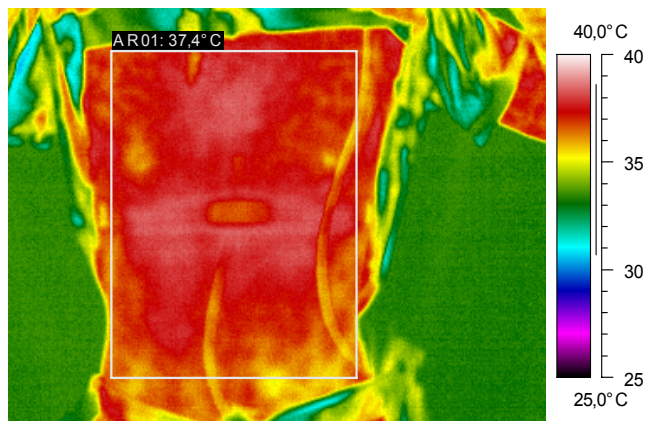


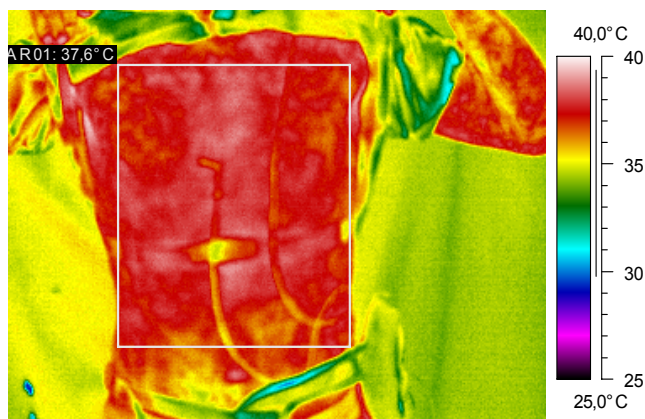
Bild 162: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 20°C mit Shirt C
(Ø Hauttemp. 35,5°C)



*Bild 163: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 30°C mit Shirt A
(Ø Hauttemp. 36,9°C)*



*Bild 164: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 30°C mit Shirt B
(Ø Hauttemp. 37,4°C)*



*Bild 165: Infrarotbild eines Probanden nach einer Stunde Belastung bei 30°C mit Shirt C
(Ø Hauttemp. 37,6°C)*

17 Formeln

- Body-Mass-Index:

$$BMI = \frac{KG[kg]}{G[m^2]} \quad (15)$$

- Körperoberfläche nach Mosteller:

$$KOF = \sqrt{\frac{G[cm] \times KG[kg]}{3600}} \quad (16)$$

- Berechnung Leistungsverbrauch:

$$LV = LU - GU \quad (17)$$

- Umrechnung Joule in Kcal:

$$Kcal = kJ \times 0,2388 \quad (18)$$

- Berechnung des Grundumsatzes pro Minute:

$$GU_{\min} = \frac{GU_{\text{Tag}}}{1440} \quad (19)$$

- Berechnung des Grundumsatzes während des 115 minütigen Tests:

$$GU_{115} = GU_{\min} \times 115 \quad (20)$$

