

Aus dem Institut und der Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin  
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. D. Nowak

**Vergleichende Messungen und Bewertungen der thermophysiologisch  
relevanten Parameter an Probanden während des Sitzens  
auf belüfteten und unbelüfteten Fahrzeugsitzen**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Eva Susanne Schmitz

München

2003

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. Dr. P. Höppe

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. A. Schuh

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 17.7.2003

In Dankbarkeit meinen Eltern gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Methodik.....	6
2.1	Beschreibung des Autositzes.....	6
2.2	CO <sub>2</sub> -Messung in der Klimakammer .....	7
2.3	Probanden.....	8
2.3.1	Voruntersuchungen der Probanden .....	8
2.3.2	Probandencharakteristik .....	8
2.3.3	Bekleidung der Probanden .....	9
2.4	Versuchsaufbau .....	9
2.5	Versuchsablauf .....	10
2.6	Messablauf.....	12
2.7	Messgrößen und Datenerfassung.....	12
2.7.1	Klimaparameter in der Klimakammer .....	12
2.7.2	Thermophysiologicalische Parameter .....	13
2.7.3	Kardiozirkulatorische Parameter.....	14
2.7.4	Subjektive Daten.....	14
2.7.5	Wägeprotokoll .....	15
2.7.6	Gesamtübersicht über den Versuchsablauf .....	15
2.8	Aus den Messgrößen abgeleitete Parameter .....	15
2.8.1	Mittlere Hauttemperatur .....	15
2.8.2	Schweißverdunstung .....	16
2.8.3	Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung.....	17
3	Ergebnisse .....	17
3.1	Körperkerntemperatur .....	17
3.2	Hauttemperaturen .....	22
3.2.1	Mittlere Hauttemperatur .....	22
3.2.2	Gesäßtemperatur.....	25
3.2.3	Rückentemperaturen .....	28
3.2.3.1	Temperaturwerte des unteren Teils des Rückens.....	28
3.2.3.2	Temperaturwerte des oberen Teils des Rückens.....	31
3.3	Hautbenetzung.....	35
3.3.1	Hautbenetzung am Gesäß.....	35
3.3.2	Hautbenetzung am Rücken .....	38
3.4	Wasserverlust .....	41
3.4.1	Wasserverlust der Probanden .....	41
3.4.2	Wasserspeicherung der Kleidung.....	43
3.5	Kardiozirkulatorische Parameter.....	44
3.5.1	Herzfrequenz .....	44
3.5.2	Blutdruck .....	45
3.6	Subjektive Beurteilung durch die Probanden.....	48
3.6.1	Thermische Behaglichkeit und Feuchteempfinden allgemein .....	48
3.6.2	Empfinden im Sitzbereich .....	49
4	Diskussion .....	52
5	Zusammenfassung.....	59

## 1 Einleitung

Thermische Belastung im Innenraum eines Kraftfahrzeuges kann – wie Untersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen ergeben haben (Armingier et al., 1995) – die Verkehrssicherheit erheblich beeinträchtigen. Insbesondere lang andauernde thermische Belastungen, denen vor allem Berufskraftfahrer ausgesetzt sind, können zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. Bisher wurde der thermischen Belastung durch eine einfache Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums entgegengewirkt, indem Ventilatoren aktiv kühlere Luft in das Fahrzeug transportieren. Eine neue zusätzliche Möglichkeit zur Verminderung der thermischen Belastung der Fahrzeuginsassen ist die Belüftung der Autositze.

Starke Erwärmung im Fahrzeuginnenraum, wie sie im Hochsommer auftreten kann, führt bei Insassen zu thermischem Diskomfort und vermehrter Transpiration. Die Verbesserung des thermischen Befindens durch den belüfteten Autositz besteht darin, dass auch die dem Sitz direkt anliegenden Hautpartien belüftet werden und durch erhöhte Schweißverdunstung und konvektive Abkühlung dem Körper Wärme entziehen. Die gesteigerte Verdunstung führt auch zu einer beschleunigten Abtrocknung der feuchten Haut- und Kleidungsoberflächen. Für schwitzende Personen mit feuchter Kleidung könnte die durch den belüfteten Sitz erhöhte Verdunstung aber auch zu einer zu starken Abkühlung und damit zu thermischer Unbehaglichkeit, bis hin zu Unterkühlung und Erkältung führen. Inwieweit die Belüftung des Autositzes und die damit verbundene Körperabkühlung den thermischen Status bzw. die Gesundheit beeinflusst, war bisher nicht bekannt. Um dies zu klären, wurde in einer Klimakammer unter standardisierten Bedingungen ein Fahrzeuginnenraum nachgestellt und die Wirkung der Sitzbelüftung auf den thermischen und hygrischen Status von Probanden bei unterschiedlichen Bedingungen untersucht. In dieser experimentellen Klimakammerstudie werden thermophysiologische Messdaten der Hautoberflächentemperaturen, der Körperkern-temperatur und der Hautfeuchte mittels Temperatur- und Feuchtesensoren erfasst. Einschließlich der Erhebung der subjektiven Bewertung des thermischen Empfindens durch die Probanden kann der Gesamteffekt der Belüftung des Autositzes auf den menschlichen Körper beurteilt werden. Die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der LMU München erkannte am 4.11.1999 die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit der Studie mit der Projekt Nr. 151/99 zu.

## 2 Methodik

### 2.1 Beschreibung des Autositzes

Der Belüftungssitz von der Firma W.E.T. (Wärme- und Elektrotechnik, Automotive Systems AG, Odelzhausen) erzeugt am Gesäß und im unteren Rückenbereich einen kontinuierlichen Luftstrom, der auf die anliegenden Körperpartien einwirkt. Es handelt sich hierbei um ein Umluftprinzip, bei dem Luft mit je einem Ventilationsmodul am unteren Teil der Rückenlehne (ohne Proband mit maximal  $8\pm 2$  l/s) und am Sitzkissen (ohne Proband mit maximal  $7\pm 2$  l/s) umgewälzt wurde. In unseren Versuchen wird Innenraumluft mit einer mittleren Temperatur von  $22,2$  °C an der Lehnenrückseite bzw. Sitzkissenunterseite angesaugt und durch ein Luftkanalsystem zur Sitzoberfläche befördert. Hier wird diese Luft in der Polsteroberfläche gleichmäßig verteilt und durch Poren (perforiertes Leder) abgegeben. Die mittlere Luftgeschwindigkeit an der Polsteroberfläche wurde ohne Proband mit  $60\pm 20$  mm/s ermittelt. Die belüftete Fläche des Sitzes hatte im Bereich der Rückenlehne eine Größe von  $430 \times 300$  mm und am Sitzkissen von  $400 \times 300$  mm.

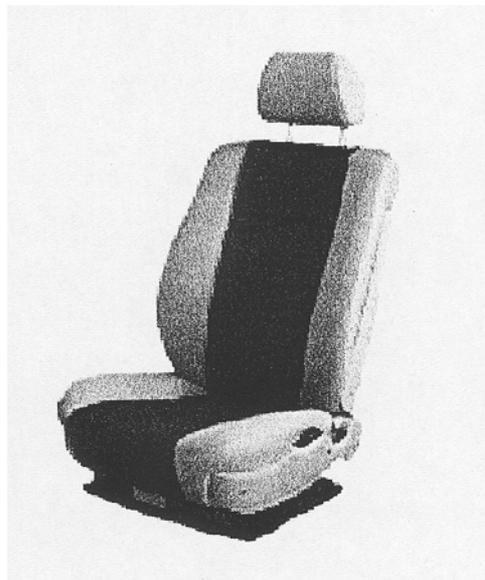


Abbildung 1: Belüfteter Sitz der Firma W.E.T.

Zusätzlich war es möglich, den Sitz zu beheizen. Die Wärmeleistung des zentralen Sitzheizungselements betrug  $1,8$  W/dm<sup>2</sup>. Im unbelüfteten Zustand wurde eine Temperatur von ca.  $33,3$  °C auf der Sitzfläche (ohne Proband) gemessen. Der Luftstrom wurde durch ein luftdurchlässiges, oberflächennahes Flächenheizelement während des Durchströmens temperiert. Die technischen Angaben wurden uns

freundlicherweise vom Hersteller zur Verfügung gestellt, obwohl der Sitz zum Zeitpunkt der Messung noch ein Prototyp war.

## 2.2 CO<sub>2</sub>-Messung in der Klimakammer

Um einen sicheren Ablauf der Versuche in der Klimakammer zu gewährleisten, waren einige vorbereitende Messungen notwendig. Aufgrund des 90-minütigen Aufenthalts der einzelnen Probanden in der Klimakammer, musste sichergestellt sein, dass die Luftqualität innerhalb der gesamten Messzeit den gültigen lufthygienischen Anforderungen entsprach und damit gesundheitsschädliche Einflüsse auf die Probanden auszuschließen waren. Die Klimakammer wurde nahezu vollständig im Umluftverfahren betrieben. Es bestand daher die Gefahr, dass erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auftreten könnten, die, falls sie über dem zulässigen MAK-Wert von 5000 ppm lagen, zu einem Abbruch des Versuchs hätten führen müssen. Um die Unbedenklichkeit der geplanten Versuche zu gewährleisten, wurden vor den Probandentests CO<sub>2</sub>-Messungen unter extremen Bedingungen durchgeführt:

- doppelte Probandenanzahl im Vergleich zum geplanten Versuch in der Klimakammer
- auf 1/7 vermindertes Umluftvolumen

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration während des Aufenthalts der beiden Probanden wurde kontinuierlich mit einem CO<sub>2</sub>-Analysator in der geschlossenen Klimakammer gemessen und alle fünf Minuten wurden die Werte registriert (siehe Abbildung 2).

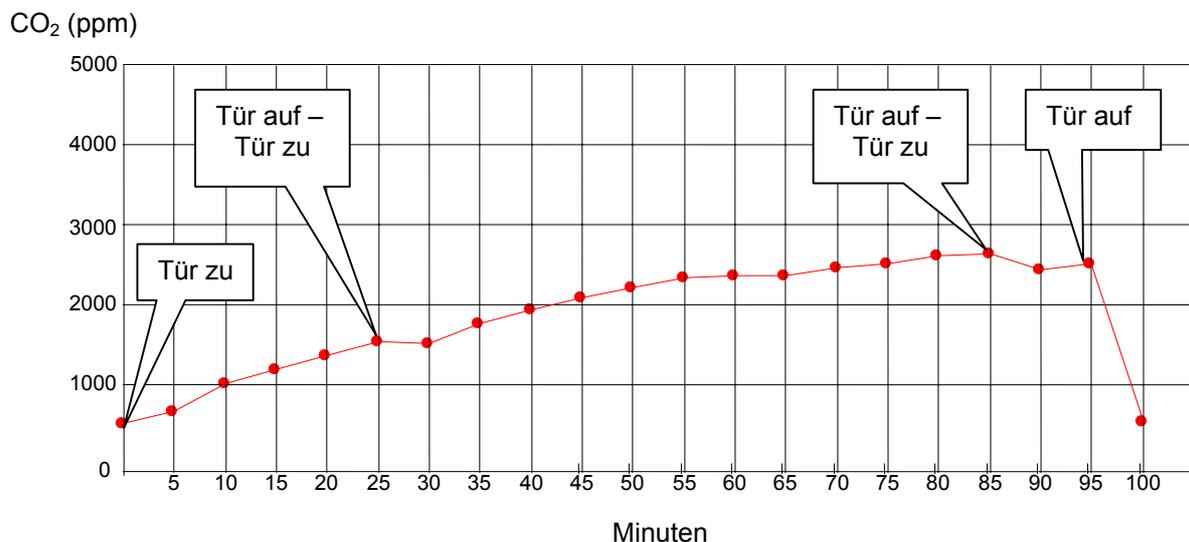


Abbildung 2: CO<sub>2</sub>-Messung zur Kontrolle der Inspirationsluft. Zwei sitzende Probanden in der Klimakammer mit Umluftbetrieb.

Während der Messung wurde zweimal testweise die Klimakammertür geöffnet und gleich wieder geschlossen, um die Auswirkung eines kurzzeitigen Luftaustausches auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Kammer zu erfassen, da im Routineversuch alle 10 Minuten die subjektiven Daten durch das Messpersonal erhoben wurden, welche dazu die Kammer betreten mussten. Die Messungen ergaben einen maximalen Wert von 2640 ppm und lagen damit weit unterhalb des MAK-Wertes.

## 2.3 Probanden

### 2.3.1 Voruntersuchungen der Probanden

Die Voruntersuchungen der Probanden bestanden aus dem Erstellen einer Anamnese, eines Ruhe-EKG, einer Spirometrie mit Fahrradergometerbelastung bis 100 Watt und eines anschließenden Dauertests (30 Minuten mit 100 Watt), eines Lungenfunktionstest, klinischem Labor mit BSG, kleinem BB, Glucose, Kreatinin, Gamma-GT, Natrium, Kalium, Calcium und Urinstatus. Für keinen Probanden ergaben sich pathologische Befunde.

### 2.3.2 Probandencharakteristik

Die individuellen Kenngrößen der Probanden sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Körperoberfläche wurde nach DuBois (1915) errechnet:

$$\text{Körperoberfläche in m}^2 = \text{Gewicht (in kg)}^{0,425} \times \text{Größe (in m)}^{0,725} \times 0,203$$

Um geschlechtsbedingte Unterschiede ermitteln zu können, wurden männliche und weibliche Probanden in die Studie aufgenommen. Zur Vermeidung eines geschlechtsspezifischen Einflusses auf die Mittelwertbildung wurden je vier männliche und vier weibliche Probanden ausgewählt. Die Reihenfolge der Probanden war zufällig. Sie ergab sich aus dem Zeitpunkt der ersten Kontaktaufnahme der einzelnen Probanden.

Proband	Geschlecht	Alter (J)	Größe (m)	Gewicht (kg)	Körperoberfläche (m <sup>2</sup> )
1	m	42	1,76	69	1,80
2	m	23	1,81	69	1,89
3	w	24	1,59	53	1,53
4	m	26	1,72	79	1,92
5	m	32	1,82	87	2,09
6	w	26	1,62	60	1,64
7	w	25	1,63	57	1,61
8	w	22	1,67	62	1,70

Tabelle 1: Kenngrößen der Probanden; m = männlich, w = weiblich

### 2.3.3 Bekleidung der Probanden

Um einheitliche Bedingungen für alle Probanden und damit die Vergleichbarkeit der einzelnen Versuche zu garantieren, trugen die Probanden eigens dafür beschaffte einheitliche Kleidung aus 100 % Baumwolle. Bei den männlichen Probanden bestand die Bekleidung aus einem Oberhemd mit langen Ärmeln, einem ärmellosen Unterhemd, einer Jeans, Unterhose und einem Paar dünnen Socken. Die weiblichen Probanden trugen eine langärmelige Bluse, ein ärmelloses Unterhemd, eine Jeans, einen Slip und ein Paar dünne Socken. Alle Probanden trugen eigene Schuhe (Turnschuhe oder Slipper).

## 2.4 Versuchsaufbau

Die Klimakammer war mit dem Autositz, einem Fahrsimulator mit Monitor und Rechner, sowie mit Klimamessgeräten ausgestattet (siehe Abbildung 3). Die Grundfläche der Klimakammer betrug 3,50 m<sup>2</sup> und hatte ein Gesamtvolumen von 7,35 m<sup>3</sup>. Im Vorraum befand sich ein Platz zur Überwachung der Messungen und Datenerfassung, wie auch die Steuereinheit der Klimakammer. Hier saß der Testleiter vor einem Monitor, auf dem der Versuchsablauf und die Messdaten kontrolliert werden konnten.

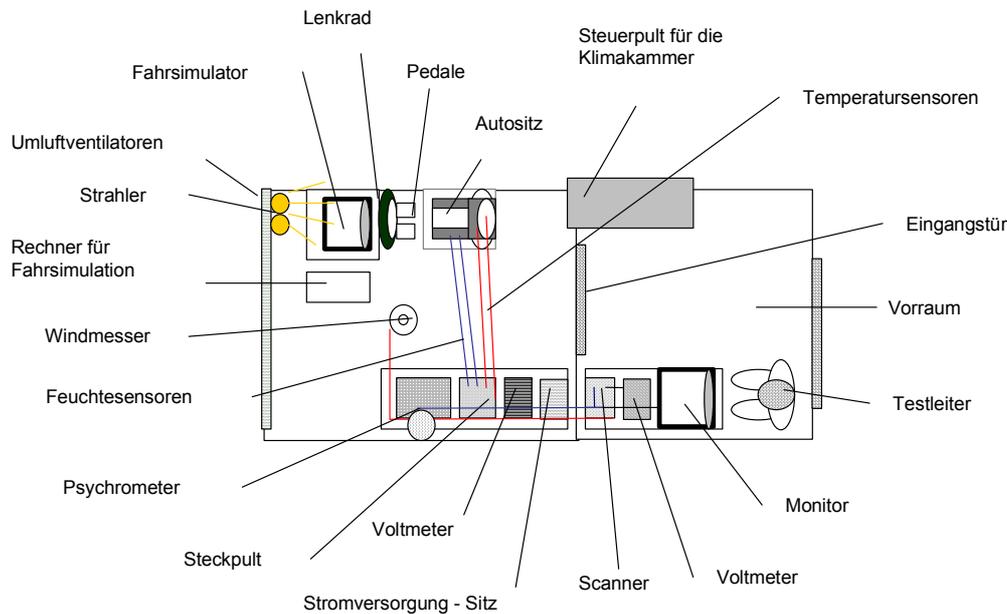


Abbildung 3: Versuchsaufbau in der Klimakammer und im Vorraum (Aufsicht)

## 2.5 Versuchsablauf

Jeder der acht Probanden nahm an neun Versuchen teil, d.h. insgesamt wurden 72 Versuche durchgeführt. Der einzelne Versuch dauerte zwei Stunden plus je 30 Minuten für Vor- und Nachbereitungszeit. In den Versuchen wurden vier Parameter variiert: körperliche Belastung auf dem Fahrradergometer vor dem Versuch, Bestrahlung durch Heizstrahler, Sitzbelüftung und Heizung des Sitzes während des Versuches. Diese wurden so variiert, dass sich insgesamt 9 Versuche ergaben, die in Tabelle 2 aufgelistet sind. Die körperliche Belastung wurde bei einem Teil der Versuche in einem separaten Raum, neben der Klimakammer durchgeführt, sie diente zur Auslösung hoher Transpirationsraten und damit zur Durchfeuchtung der Probanden und deren Bekleidung. Zur Bestrahlung verwendeten wir Heizstrahler mit insgesamt 1000 Watt (2 x 500 Watt), die im Abstand von 1,50 m von den Probanden angebracht waren. Dies sollte die Situation eines Hochsommertages mit direkter Sonneneinstrahlung simulieren. Die Sitzbelüftung erzeugt durch den Luftstrom aus dem Sitz eine erhöhte Verdunstung des Schweißes an der Körperoberfläche des Probanden. Die Heizung des Sitzes führte zu einem ca. 33,3 °C warmen Belüftungsstrom. Die Heizversuche wurden immer mit Belüftung durchgeführt. Die einzelnen Versuche sind im weiterem mit den Variablen „B“ für Belüftung, „E“ für die

Belastung der Probanden auf dem Fahrradergometer, „S“ für Bestrahlung mit den zwei Strahlern und „H“ für die eingeschaltete Heizung charakterisiert.

Bezeichnung der Versuche	BES	E	ES	O	S	BE	B	BS	BEH
Belüftung	X					X	X	X	X
Ergometer	X	X	X			X			X
Strahlungsquelle	X		X		X			X	
Heizung									X

Tabelle 2: Beschreibung der Bedingungen der einzelnen Versuche.

Ein Proband stellte sich für einen Versuch mit längerer Dauer zur Verfügung, damit eine eventuelle weitere Abkühlung nach den 90 Minuten des Standardversuches registriert werden konnte. Die Probanden und deren Kleidung wurden vor und nach dem Versuch gewogen (Satorius Waage F150S) und die Gewichtsunterschiede errechnet.

Die einzelnen Versuche bestehen aus zwei Teilen. Der erste Teil stellt die Konditionierungsphase und der zweite Teil die Expositionsphase dar.

#### **Konditionierungsphase im Vorbereitungsraum:**

Die Konditionierungsphase dauerte 30 Minuten. Die Probanden, die bereits standardisierte Bekleidung trugen, waren vorher mit Haut- und Körperkerntemperatursonden versehen worden, um einen Zeitverlust während der Expositionsphase durch das Anlegen der Sensoren zu vermeiden. In dieser Phase wurden die Probanden je nach Versuch auf dem Fahrradergometer belastet oder sie saßen ohne sich körperlich zu belasten 30 Minuten lang auf einem Stuhl im Vorbereitungsraum. Während der Konditionierung wurden die Probanden alle 10 Minuten nach ihrem Temperatur- und Feuchteempfinden befragt und am Anfang und am Ende Blutdruck und Puls gemessen. Ziel dieser Phase ist in einem Teil der Versuche die körperliche Belastung, um eine hohe Schweißproduktion zu erzeugen, damit in der Expositionsphase bei belüftetem Sitz eine größt mögliche Abkühlung erreicht wird. Die Raumtemperatur im Vorbereitungsraum betrug durchschnittlich 24,4 °C und es herrschte eine relative Luftfeuchte von 41 %.

### **Expositionsphase auf dem Autositz in der Klimakammer:**

Computergesteuert wurden in der Klimakammer auf einem Monitor Verkehrssituationen in einer Großstadt, gesehen aus einem Fahrzeuginnenraum simuliert. Die Probanden hatten ein Lenkrad und ein Gas- sowie Bremspedal und waren so einer nahezu realen Fahrsituation ausgesetzt. Die Expositionsphase dauerte 90 Minuten. Bei eingeschalteter Sitzbelüftung stellte die erhöhte konvektive Wärmeabgabe einen Risikofaktor für eine Unterkühlung dar, die allerdings durch ständige Überwachung der Haut- und Körperkerntemperatur, des Blutdrucks und des Pulses ausgeschlossen werden konnte. Auch hier wurden die Probanden, wie in der Konditionierungsphase, alle 10 Minuten nach ihrem Temperatur- und Feuchteempfinden befragt. Die Lufttemperatur in der Klimakammer betrug im Mittel 22,2 °C bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,24 m/s. Dies entsprach damit in etwa der Situation in einem Pkw bei eingeschalteter Klimaanlage.

## **2.6 Messablauf**

Die Reihenfolge der Versuche wurde systematisch für die einzelnen Probanden variiert, so dass sich daraus kein Einfluss auf die Messergebnisse ergeben konnte. Die Probanden durften maximal dreimal pro Woche mit jeweils mindestens einem Tag Pause einen Versuch durchführen, um einen Einfluss des vorangegangenen Versuches zu verhindern. Die Versuchszeit wurde für jeden Probanden immer auf die gleiche Tageszeit gelegt, um einen Einfluss des zirkadianen Rhythmus auszuschließen. Die zwei Testleiter wechselten nach dem Zufallsprinzip.

## **2.7 Messgrößen und Datenerfassung**

Während des 90-minütigen Versuches in der Klimakammer wurden folgende Daten alle 0,5 Minuten erfasst und auf einem PC gespeichert:

### **2.7.1 Klimaparameter in der Klimakammer**

- Lufttemperatur (Pt-100)
- Relative Luftfeuchte (Psychrometer der Fa. Thies, 2 Pt-100 Thermometer, eines davon befeuchtet)
- Luftgeschwindigkeit (Windmesser der Fa. Dantec, Hitzdraht Anemometer Typ 54 N 50)

## 2.7.2 Thermophysiologische Parameter

- Körperkerntemperatur, rektal 10 cm eingeführt (Erwachsenen-Thermistor-Einmal-Temperatursonde, Ösophagus/Rektum, der Fa. Yellow Spring Instrument Co. Inc. Ohio USA, Serie 400)
- 12 Sensoren für die Hautoberflächentemperatur (Erwachsenen-Thermistor-Einmal-Temperatursonde, Hautoberfläche, der Fa. Yellow Spring Instrument Co. Inc. Ohio USA, Serie 400)
- 6 Sensoren für die relative Feuchte über der Haut (Kapazitive Feuchtesensoren Typ HMP 133-5 M der Fa. Driesen und Kern)

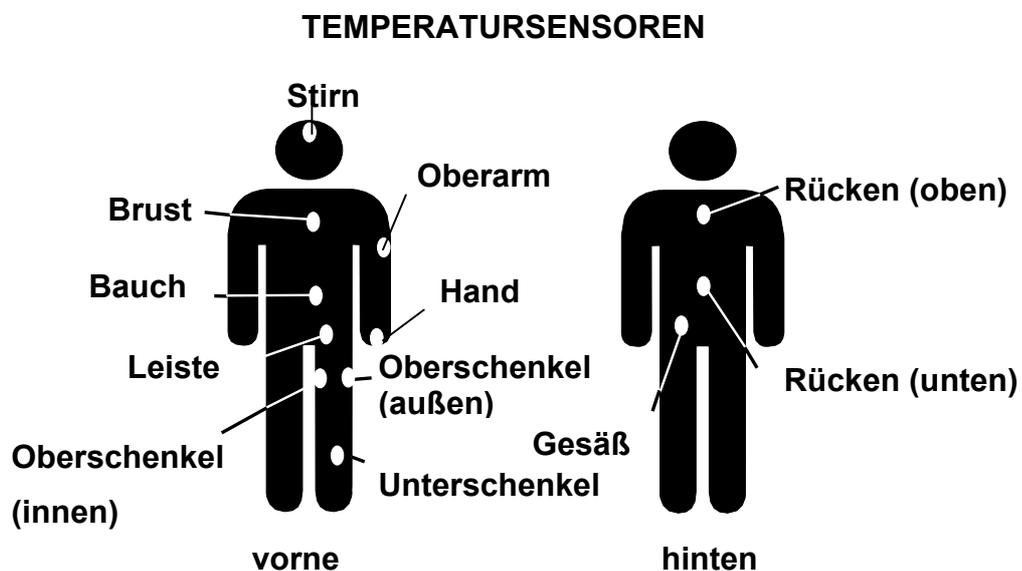


Abbildung 4: Positionen der Temperatursensoren an der Hautoberfläche.

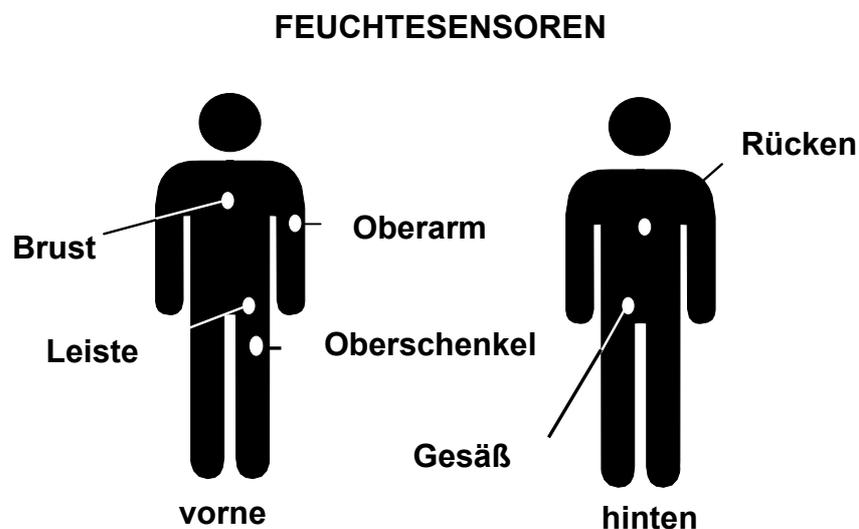


Abbildung 5: Position der Feuchtesensoren an der Hautoberfläche.

In Abbildung 4 und 5 sind die Messstellen der Temperatur- und Feuchtesensoren dargestellt.

### 2.7.3 Kardiozirkulatorische Parameter

Folgende Daten wurden alle 30 Minuten sowohl in der Konditionierungs- als auch in der Expositionsphase mit Stethoskop und Blutdruckmanschette nach Riva Rocci gemessen. Diese Daten dienten der medizinischen Überwachung der Probanden.

- Herzfrequenz
- Systolischer Blutdruck
- Diastolischer Blutdruck

### 2.7.4 Subjektive Daten

Zur Erfassung der subjektiven Daten befragten wir die Probanden während der Konditionierungs- und der Expositionsphase im Abstand von je 10 Minuten nach ihrem Temperatur- und Feuchteempfinden; zusätzlich wurde in der Expositionsphase noch das subjektive Temperatur- und Feuchteempfinden im Einflussbereich des Autositzes erfragt. Die Probanden konnten bei der subjektiven Bewertung der thermischen Behaglichkeit auf einer Skala von -2 („kühl“) bis +2 („warm“) wählen. Bei der Beurteilung der Hautfeuchten hatten die Probanden die Wahl von 1 bis 5 mit zunehmender Feuchte. Die einzelnen Bewertungsskalen sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Probanden konnten auch Zwischenstufen (z. B. 1,5) angeben.

THERMISCHE BEHAGLICHKEIT		THERMISCHE BEHAGLICHKEIT		EMPFINDEN DER HAUTFEUCHTE		EMPFINDEN DER HAUTFEUCHTE	
INSGESAMT		IM SITZBEREICH		INSGESAMT		IM SITZBEREICH	
-2	KÜHL	-2	KÜHL	1	TROCKEN	1	TROCKEN
-1	LEICHT KÜHL	-1	LEICHT KÜHL	2	LEICHT FEUCHT	2	LEICHT FEUCHT
0	NEUTRAL = BEHAGLICH	0	NEUTRAL = BEHAGLICH	3	FEUCHT	3	FEUCHT
1	LEICHT WARM	1	LEICHT WARM	4	NASS	4	NASS
2	WARM	2	WARM	5	VÖLLIG DURCHNÄSST	5	VÖLLIG DURCHNÄSST

Tabelle 3: Von den Probanden erfragte subjektive Bewertung des thermischen und hygrischen Empfindens

## 2.7.5 Wägeprotokoll

Vor und nach jedem Versuch wurden die Probanden sowie deren Kleidung auf einer Präzisionswaage (Satorius Wage F150S Messbereich 150 kg, Messgenauigkeit 0,001 kg) gewogen. Die gewonnenen Messdaten ermöglichen eine Aussage über den Wasserverlust der Probanden, über die Wasserspeicherung der Kleidungsstücke, sowie über die Schweißverdunstung.

## 2.7.6 Gesamtübersicht über den Versuchsablauf

Eine Übersicht über den gesamten Versuchsablauf gibt die folgende Abbildung 6.

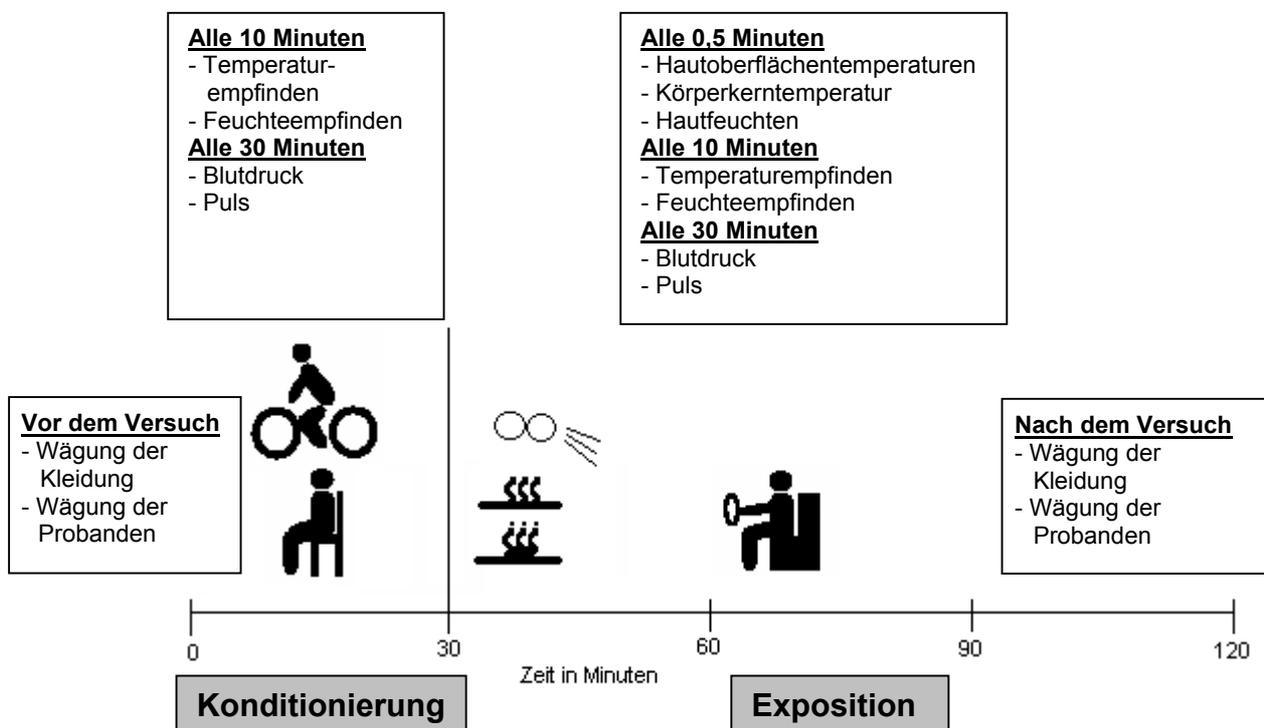


Abbildung 6: Grafische Darstellung des Versuchsablaufs

In der Anlage ist das Messprotokoll angeführt.

## 2.8 Aus den Messgrößen abgeleitete Parameter

### 2.8.1 Mittlere Hauttemperatur

Die mittlere Hauttemperatur wurde als gewichtetes Mittel aus den 12 gemessenen Hauttemperaturen errechnet. Die unterschiedlichen Stellen wurden dabei je nach Körperoberfläche repräsentativ gewichtet. In der Tabelle 4 sind (nach Nishi et al., 1970) die jeweiligen Gewichtungsfaktoren aufgelistet.

Messort	Abkürzung	Gewichtungsfaktor
Stirn	S	0,07
Hand	H	0,05
Oberarm	O	0,07
Brust	BR	0,10
Bauch	BA	0,10
Rücken (oben)	RO	0,10
Rücken (unten)	RU	0,10
Gesäß	G	0,07
Leiste	L	0,04
Oberschenkel (innen)	OSI	0,09
Oberschenkel (außen)	OSA	0,09
Unterschenkel	U	0,12

Tabelle 4: Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der mittleren Hauttemperatur nach Nishi et al. 1970

Die mittleren Hauttemperaturen sind ein gutes Maß für das subjektive Behaglichkeitsempfinden. Ähnlich errechnet sich die mittlere Hauttemperatur unter der Kleidung, bei der nur die Hauttemperaturen des Kopfes und der Hand entfallen und damit die anderen Gewichtungsfaktoren entsprechend größer sind.

### 2.8.2 Schweißverdunstung

Die Differenz zwischen dem Gewicht der Probanden vor und nach dem Versuch entspricht dem Gesamtwasserverlust (in g) der Probanden. Die Gesamtverdunstung setzt sich aus der Verdunstung an der Hautoberfläche, aus der Kleidung und der Verdunstung durch Respiration zusammen. Die Wasserabgabe durch Respiration beträgt für die ganze Versuchszeit nach Höpfe (1984) ca. 59 g. Da bei den Versuchen kein Abtropfen von Schweiß auf den Boden auftrat und die Probanden keine Getränke zu sich nahmen, kann die Gesamtverdunstung wie folgt berechnet werden:

$$\text{Gesamtverdunstung} = \text{Gewichtsverlust der Probanden} - \text{Gewichtszunahme der Kleidung}$$

### **2.8.3 Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung**

Der Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung wird nach Höppe (1984) in den Einheiten  $\text{m}^2\text{K/W}$  oder clo ( $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) angegeben. Definitionsgemäß ist der Wärmedurchgangswiderstand als diejenige Größe angegeben, die die Bekleidung und die darin eingeschlossene Luft dem Wärmestrom entgegensetzt, der proportional zur Differenz aus der Hauttemperatur und der Oberflächentemperatur der Bekleidung ist. In den Versuchen trugen alle Probanden Baumwollkleidung mit einem geschätzten Wärmedurchgangswiderstand von ca. 0,7 clo.

## **3 Ergebnisse**

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Grafiken (7 – 54) dargestellt. Der Effekt der Autositzbelüftung wurde durch die Gegenüberstellung von Versuchen mit und ohne Belüftung unter den verschiedenen anderen Einflüssen, wie Bestrahlung, vorherige Ergometerbelastung oder Sitzheizung analysiert. In den Grafiken werden die Versuche wie folgt abgekürzt: B = Belüftung, E = Fahrradergometerbelastung, S = Bestrahlung mit 1000 Watt, H = Sitzheizung eingeschaltet. In den folgenden Abbildungen werden jeweils Versuche nach Fahrradergometerbelastung (schwitzende Probanden) und Versuche ohne Belastung (nicht schwitzend) getrennt dargestellt.

### **3.1 Körperkerntemperatur**

In den Abbildungen 7 und 8 sind die mittleren Körperkerntemperaturen während der Versuche in der Klimakammer dargestellt. Während in Abbildung 7 die Versuche zusammengefasst sind, die nach Fahrradergometerbelastung, also schwitzend, durchgeführt wurden, sind zum Vergleich in der darauffolgenden Abbildung 8 die Temperaturwerte ohne vorherige Fahrradergometerbelastung dargestellt. In beiden Grafiken ist sowohl nach Fahrradergometerbelastung als auch ohne Fahrradergometerbelastung ein Abfall der Körperkerntemperatur in der Expositionsphase zu erkennen. Alle Mittelwerte der Körperkerntemperaturen bewegen sich in einem Temperaturintervall von anfangs maximal  $37,84 \text{ }^\circ\text{C}$  (Abbildung 7) bis minimal  $36,87 \text{ }^\circ\text{C}$  (Abbildung 8). Der mittlere Ausgangswert der Versuche nach Fahrradergometerbelastung (BES, BE, BEH, E, ES) liegt bei  $37,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Der mittlere Ausgangswert der Versuche ohne Fahrradergometerbelastung (B, BS, O, S) liegt bei  $37,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mit Ausnahme des Heizversuches ergab sich bei den Versuchen mit

Fahrradergometerbelastung mit Belüftung die größte Temperaturdifferenz der Körperkerntemperatur mit durchschnittlich  $0,83\text{ °C}$  (Versuche BE und BES). Bei den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung ohne Belüftung wurde ein geringerer Abfall mit einer Temperaturdifferenz von durchschnittlich  $0,70\text{ °C}$  (Versuche E und ES, gemittelt ohne Heizversuch) festgestellt. Die Temperaturen während des Heizversuchs (BEH) fallen während der Expositionsphase um  $0,65\text{ °C}$ .

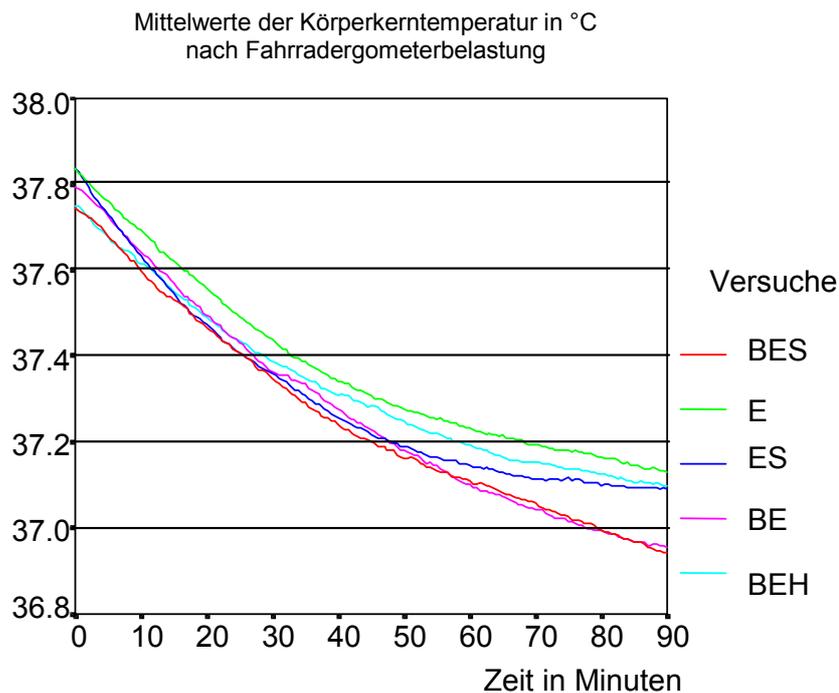


Abbildung 7: Zeitliche Verläufe der Mittelwerte der Körperkerntemperatur nach Fahrradergometerbelastung

In den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung ergibt sich bei belüftetem Sitz (B, BS) eine Temperaturdifferenz von durchschnittlich  $0,27\text{ °C}$  in parallel verlaufenden annähernd linearen Kurven (Abbildung 8). Die Temperaturdifferenz ist beim Belüftungsversuch B mit  $0,30\text{ °C}$  etwas größer als bei dem Versuch BS mit  $0,24\text{ °C}$ . Das etwas niedrigere Temperaturniveau während des ganzen Versuches BS rührte von der tieferen Ausgangstemperatur her. Der Strahlungsversuch (S) und der Versuch ohne jeglichen Zusatz (O) verlaufen linear mit einer geringen Differenz von durchschnittlich  $0,15\text{ °C}$ .

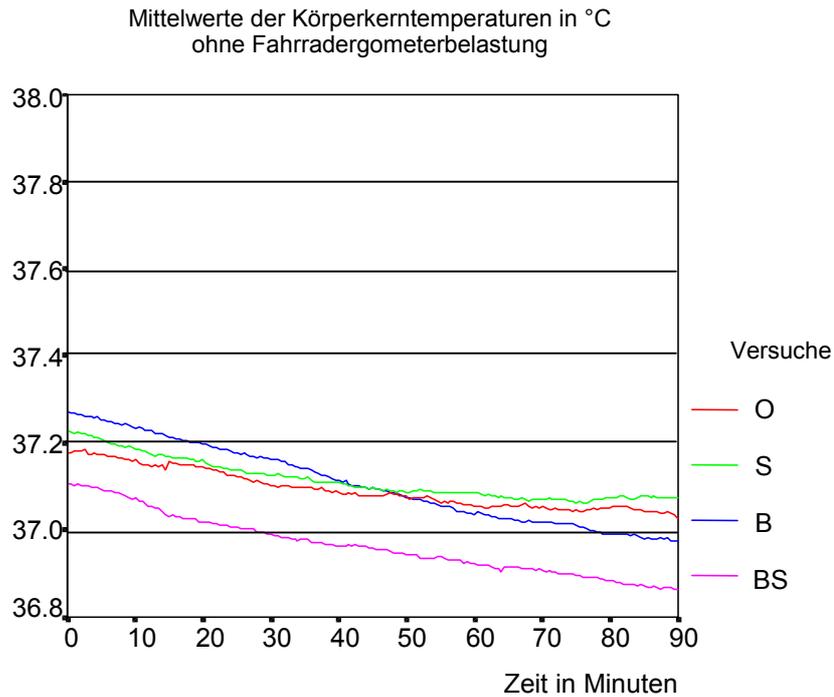


Abbildung 8: Zeitliche Verläufe der Mittelwerte der Körperkerntemperatur ohne Fahrradergometerbelastung

Die mittleren Differenzen der Mittelwerte der Körperkerntemperaturen zwischen der Anfangstemperatur in der ersten Minute und der Endtemperatur in der 90. Minute sind in Abbildung 9 grafisch dargestellt. Des weiteren sind die Temperaturunterschiede geschlechtsspezifisch unterteilt. Die Temperaturdifferenzen der männlichen und weiblichen Probanden unterscheiden sich nicht in relevanter Weise, bis auf den Versuch ES. In diesem Versuch sinken die Temperaturwerte der weiblichen Probanden um 0,24 °C stärker als die der männlichen Probanden. In den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung fallen die Körperkerntemperaturwerte maximal um 0,87 °C bei weiblichen Probanden im Versuch ES. In den Versuchen ohne vorherige Fahrradergometerbelastung fallen die Temperaturen maximal nur um 0,30 °C (Versuch B, männlich). Die jeweiligen Minima der Körperkerntemperaturänderungen von 0,63 °C findet man bei den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung bei den männlichen Probanden im Versuch ES. In den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung lagen die Minima der Differenzen der Körperkerntemperaturmittelwerte bei 0,11 °C (Versuch O, weiblich). Vergleicht man die Belüftungsversuche mit den jeweils korrespondierenden Versuchen ohne Belüftung, kann ein geringerer Temperaturabfall in den unbelüfteten Versuchen bei beiden Geschlechtern beobachtet werden. Fasst man die Temperaturabnahmen der männlichen und weiblichen Probanden zusammen, erhält man für die Versuche mit

Ergometerbelastung eine maximale Temperaturabnahme im Versuch BE von 0,84 °C, ohne Belastung eine maximale Temperaturdifferenz von 0,30 °C im Versuch B ( siehe Abbildung 11 und 12).

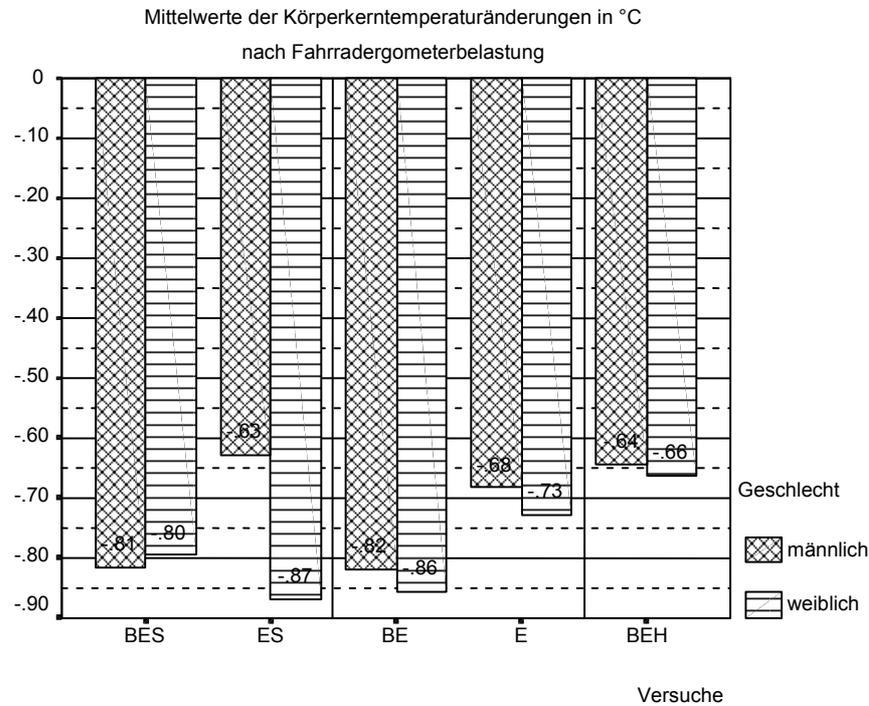


Abbildung 9: Mittelwerte der Differenzen der geschlechtsspezifischen Körperkerntemperaturänderungen in °C nach Fahrradergometerbelastung

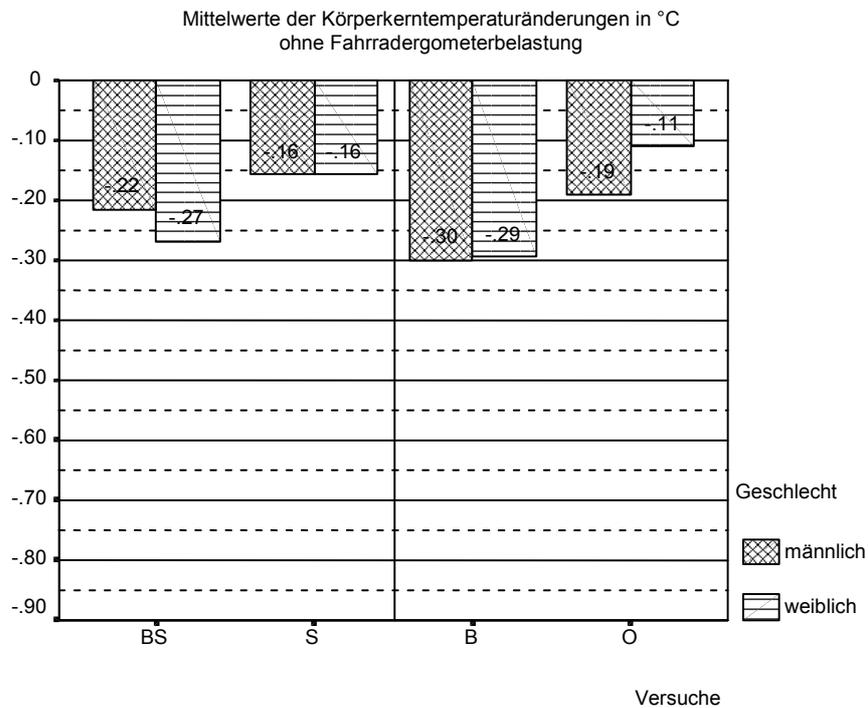


Abbildung 10: Mittelwerte der Differenzen der geschlechtsspezifischen Körperkerntemperaturänderungen in °C ohne Fahrradergometerbelastung

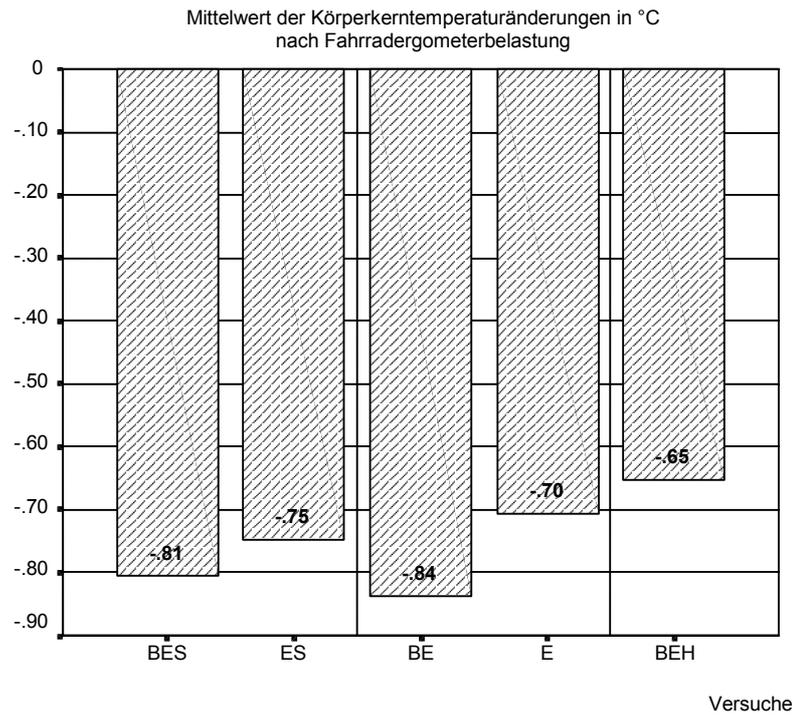


Abbildung 11: Mittelwerte der Differenzen der Körperkerntemperaturen nach Fahrradergometerbelastung

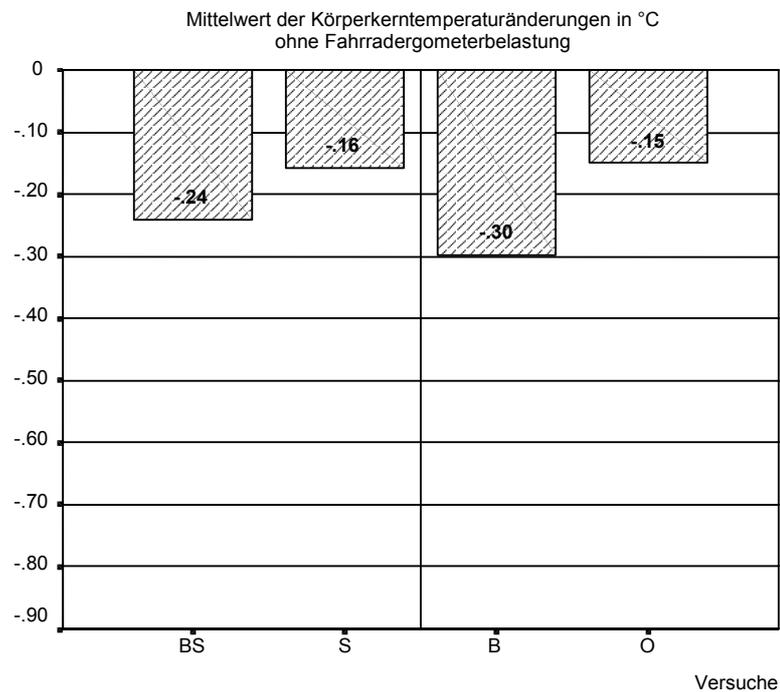


Abbildung 12: Mittelwerte der Differenzen der Körperkerntemperaturen ohne Fahrradergometerbelastung

In den Abbildungen 11 und 12 sind die mittleren Körperkerntemperaturveränderungen der einzelnen Versuche während der Versuchszeit für alle Probanden dargestellt. Zusammenfassend erkennt man nach Fahrradergometer-

belastung, dass die Körperkerntemperaturen unter Belüftung durchschnittlich um  $0,06\text{ °C}$  (Versuch BES zu ES) bzw. um  $0,14\text{ °C}$  (Versuch BE zu E) stärker als bei den unbelüfteten Versuchen fallen. In den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung ergibt sich ebenfalls ein stärkerer Temperaturabfall bei belüfteten Versuchen im Vergleich zu den unbelüfteten Versuchen. Es ergibt sich eine Temperaturdifferenz von  $0,08\text{ °C}$  zwischen Versuch BS und S und ein Unterschied von  $0,15\text{ °C}$  zwischen Versuch B und O.

## 3.2 Hauttemperaturen

### 3.2.1 Mittlere Hauttemperatur

Die Verläufe der mittleren Hauttemperaturen werden in den folgenden Grafiken 13 und 14 dargestellt. Sie sind, wie oben erwähnt, die gemittelten Werte aller 12 Hauttemperaturwerte. Anders als die Körperkerntemperaturen nehmen die mittleren Hauttemperaturen der jeweiligen Versuche unterschiedliche Ausgangstemperaturen an. Dies hat verschiedene Ursachen. Das Anschließen der Temperatur- und Feuchtesensoren an den Computer benötigt einige Zeit. Während dieser Zeit findet bereits eine Abkühlung der feuchten Haut und Kleidung statt, was in den Versuchen ohne Transpiration nicht auftritt.

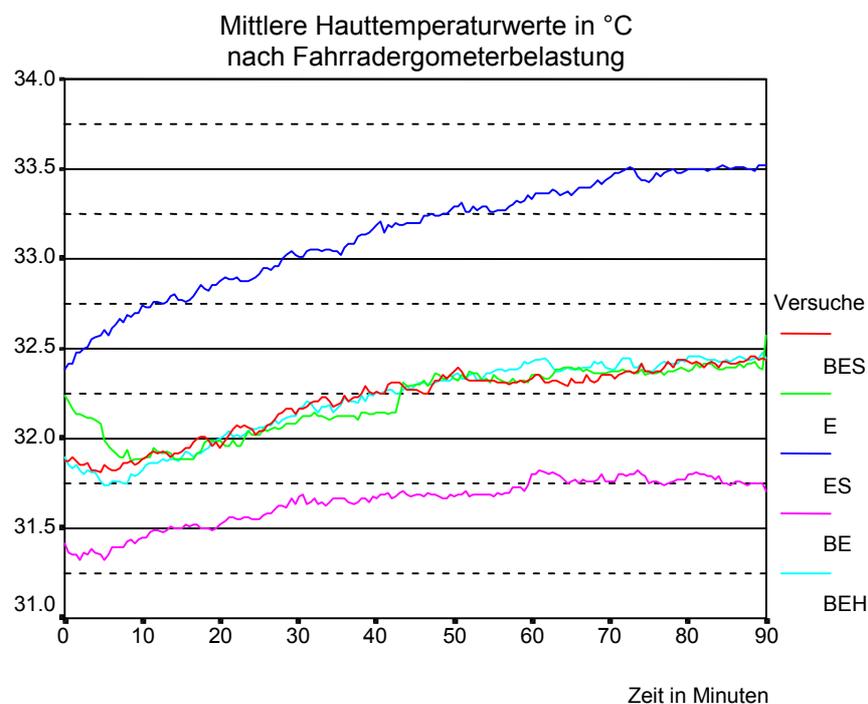


Abbildung 13: Mittelwerte der Hauttemperaturen nach Fahrradergometerbelastung

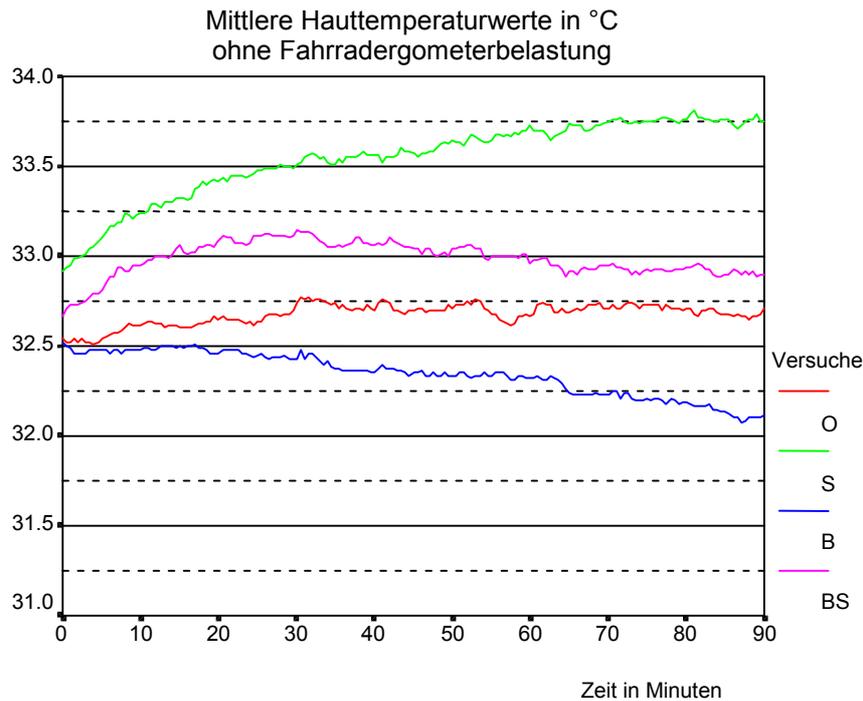


Abbildung 14: Mittelwerte der Hauttemperaturen ohne Fahrradergometerbelastung

Damit wurde der Nullpunkt (Beginn der Abkühlung) um einige Minuten nach rechts auf der Abszisse verschoben. Die Mittelwerte aller Hauttemperaturen mit und ohne Fahrradergometerbelastung verlaufen im Bereich von maximal 33,75 °C bis minimal 31,41 °C. Alle Temperaturwerte, ausgenommen Versuch B, steigen insgesamt bis zum Versuchende an.

Der Belüftungseffekt ist deutlich in den Abbildungen 15 und 16 zu erkennen. Vergleicht man die korrespondierenden Versuchspaare (belüftet/unbelüftet), so ist ein geringerer Temperaturanstieg bei den belüfteten Versuchen im Gegensatz zu den unbelüfteten Versuchen zu erkennen. Hervorzuheben sind folgende Versuche: Im Versuch BS wurde nach einer Erwärmungsphase bis zur ca. 30. Minute ein Abfall der Temperaturen registriert. Die mittlere Hauttemperatur im Versuch B fiel bis zur 90. Minute um 0,41 °C. Die Differenzen der Hauttemperaturmittelwerte sind in Abbildung 15 und 16 dargestellt. Der maximale Unterschied trat bei Versuch BS mit einer mittleren Temperaturdifferenz von 0,60 °C zum korrespondierenden belüfteten Versuch S auf. Die Temperaturdifferenz zwischen dem unbelüfteten Versuch O und dem belüfteten Versuch B beträgt 0,58 °C. Besonders deutlich wird der Belüftungseffekt im Versuch B, bei dem im Gegensatz zu seinem Vergleichsversuch O die mittlere Hauttemperatur abnimmt, wie man in Abbildung 16 sehen kann. In den

Versuchen mit Fahrradergometerbelastung ist bei den unbelüfteten Versuchen durchschnittlich eine Erhöhung um 0,74 °C im Vergleich zu den belüfteten Versuchen mit einer mittleren Temperaturzunahme von 0,43 °C zu finden.

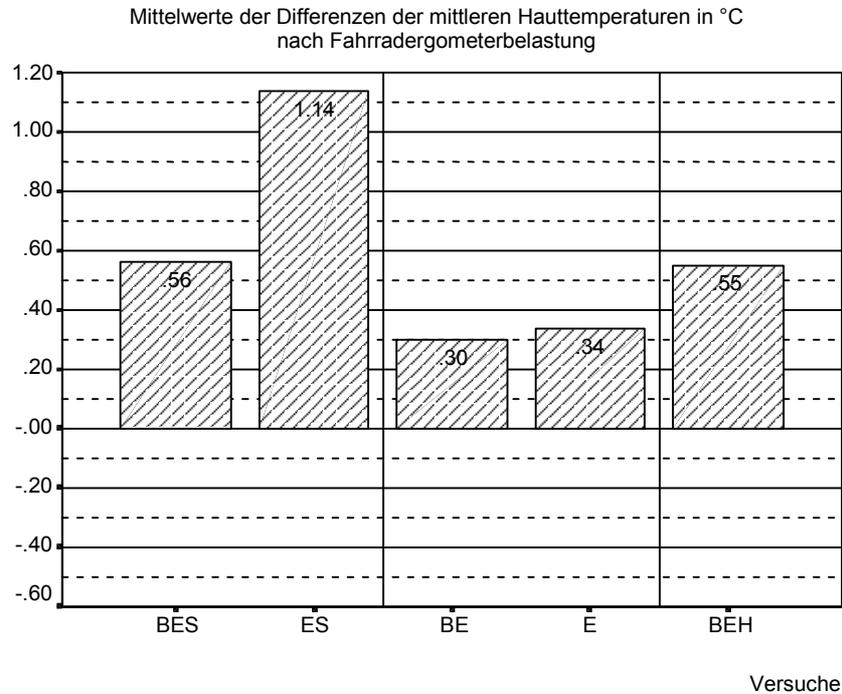


Abbildung 15: Mittelwerte der Differenzen der mittleren Hauttemperaturen nach Fahrradergometerbelastung

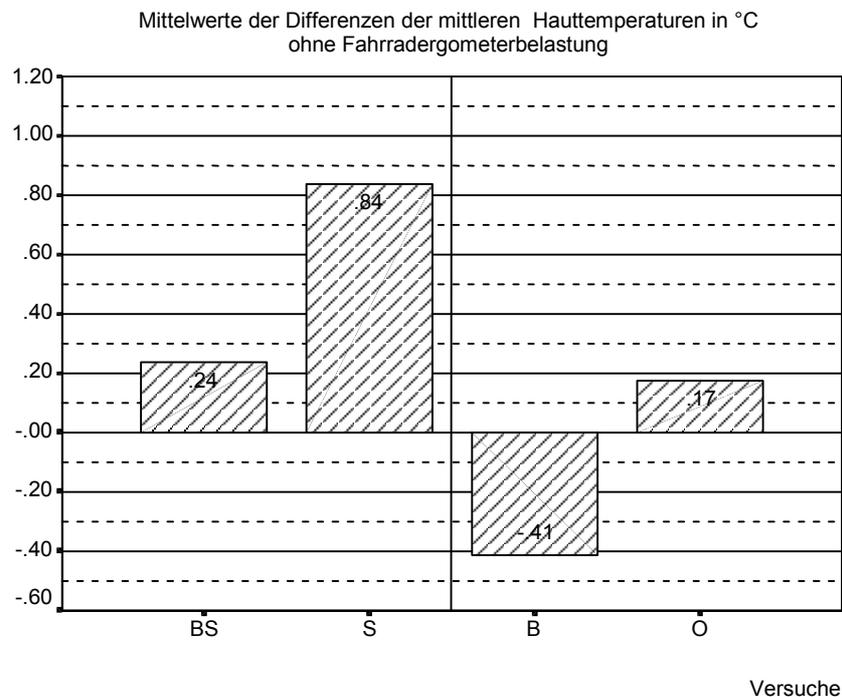


Abbildung 16: Mittelwerte der Differenzen der mittleren Hauttemperaturen ohne Fahrradergometerbelastung

Dasselbe Prinzip findet sich bei den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung: Unbelüftete Versuche erreichen durchschnittlich eine Temperaturerhöhung von 0,51 °C und belüftete eine Temperaturverminderung von 0,09 °C.

Die Hauttemperaturen, welche die direkte Wirkung der Belüftung durch den Autositz repräsentieren, sind die im Bereich der ausströmenden Luft des Sitzes gemessenen. Dies sind die Temperaturen am Gesäß und am unteren Teil des Rückens.

### 3.2.2 Gesäßtemperatur

In Abbildung 17 sind die Verläufe der Gesäßtemperaturen nach Fahrradergometerbelastung dargestellt. Auffallend sind die unterschiedlichen Ausgangstemperaturen, die zwischen maximal 31,75 °C und minimal 29,11 °C liegen.

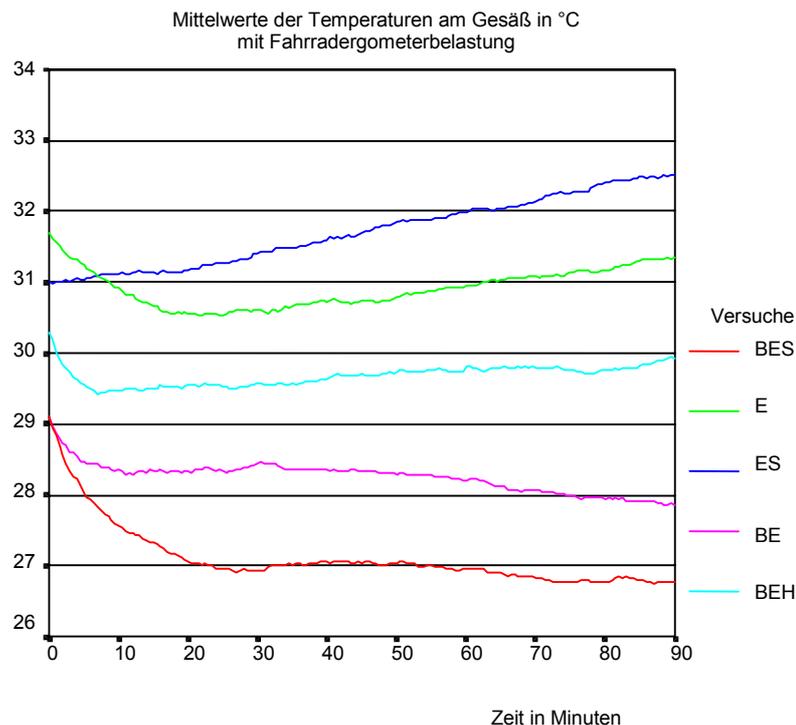


Abbildung 17: Mittelwerte der Temperaturen am Gesäß in °C nach Fahrradergometerbelastung

Bis auf den Versuch ES ergibt sich bei allen Temperaturverläufen am Gesäß nach Fahrradergometerbelastung ein Temperaturabfall innerhalb der ersten 20 Minuten. Es ergeben sich in den Versuchen E und BEH kontinuierliche Temperaturerhöhungen ab der 20. Minute und im Versuch ES sogar ab Beginn des Versuches. Nur die Versuche BE und BES zeigen Temperaturabfälle während des ganzen Versuches.

In Abbildung 18 sind die Temperaturverläufe am Gesäß ohne Fahrradergometerbelastung dargestellt. Interessant sind hier die paarweise verlaufenden Versuche. Alle Belüftungsversuche zeigen Temperaturabfälle, die Versuche ohne Belüftung dagegen Anstiege. Deutlich ist der Einfluss der Bestrahlung, die eine Verstärkung der Temperaturtendenz bewirkt.

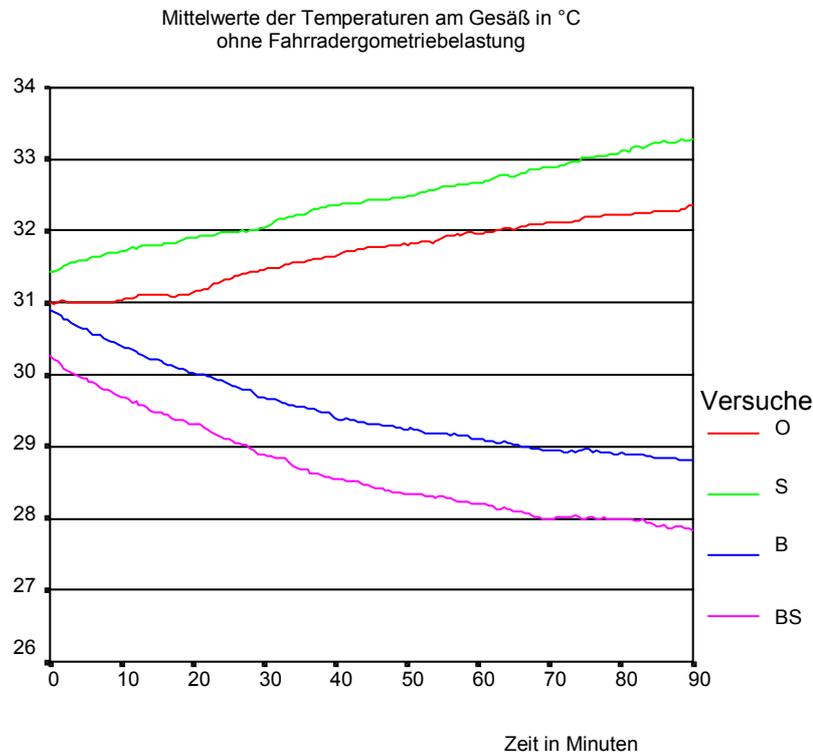


Abbildung 18: Mittelwerte der Temperaturen am Gesäß in °C ohne Fahrradergometerbelastung

Genauer werden die Differenzen unten beschrieben. Insgesamt ergibt sich ein maximaler Temperaturabfall von 2,43 °C im Versuch BS und eine maximale Temperaturerhöhung im Versuch S von 1,86 °C (Abbildung 20). In den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung liegt der maximale Temperaturabfall bei 2,35 °C im Versuch BES und der maximale Temperaturanstieg bei 1,51 °C im Versuch ES (Abbildung 19). Temperaturabfälle zeigten sich nur in den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung BE und BES. In den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung sinken die Temperaturen kontinuierlich nur bei den Belüftungsversuchen B und BS. Während der korrespondierende Versuch mit Belüftung BES einen Temperaturabfall um 2,35 °C zeigt, steigen die Temperaturen im Versuch ES ohne Belüftung nur um 1,51 °C, was den Belüftungseffekt hier deutlich unterstreicht. Ähnlich verhält es sich mit dem Versuchspaar BE und E. Hier fallen die Temperaturen beim Belüftungsversuch BE um 1,24 °C und im korrespondierenden Versuch E ohne Belüftung um 1,2 °C. Nach der 21. Minute

steigen sie wieder um 0,83 °C. Der Heizversuch (BEH) nimmt eine Sonderstellung ein. Nur im Heizversuch (BEH) fallen die Gesäßtemperaturen bis zur 7. Minute um 0,88 °C und steigen kontinuierlich bis zur 90. Minute wieder um 0,50 °C an (Abbildung 17).

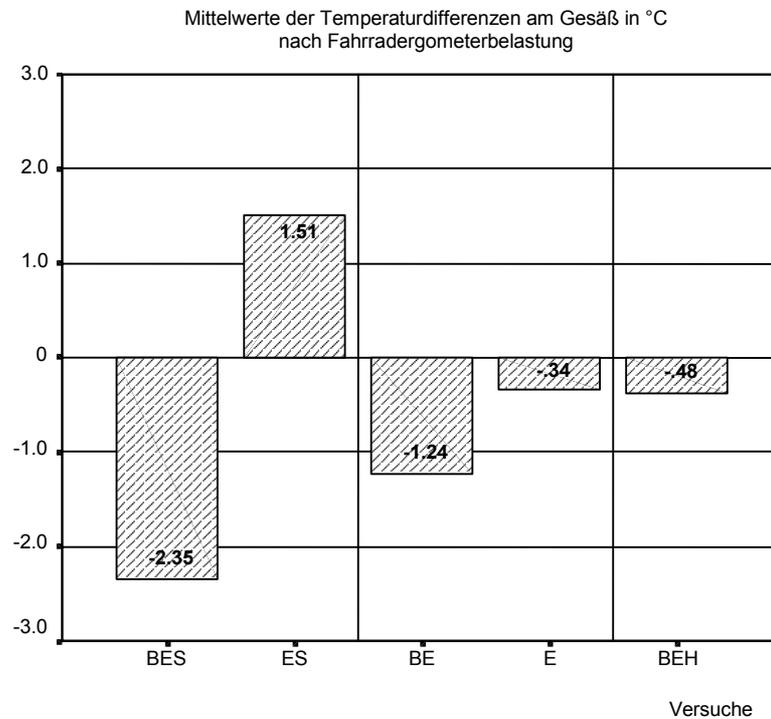


Abbildung 19: Mittelwerte der Temperaturdifferenzen am Gesäß nach Fahrradergometerbelastung

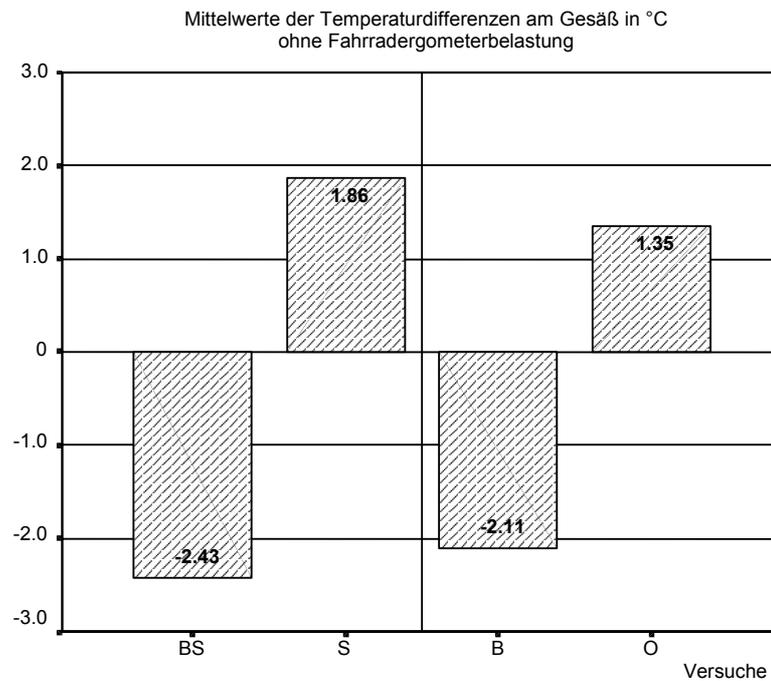


Abbildung 20: Mittelwerte der Temperaturdifferenzen am Gesäß ohne Fahrradergometerbelastung

### 3.2.3 Rückentemperaturen

Da nur der untere Teil der Sitzrückenlehne belüftet war, wurden sowohl am unteren Teil des Rückens als auch am oberen Teil die Temperaturwerte getrennt gemessen.

#### 3.2.3.1 Temperaturwerte des unteren Teils des Rückens

In den folgenden Abbildungen sind die Temperaturmittelwerte des unteren Teils des Rückens dargestellt.

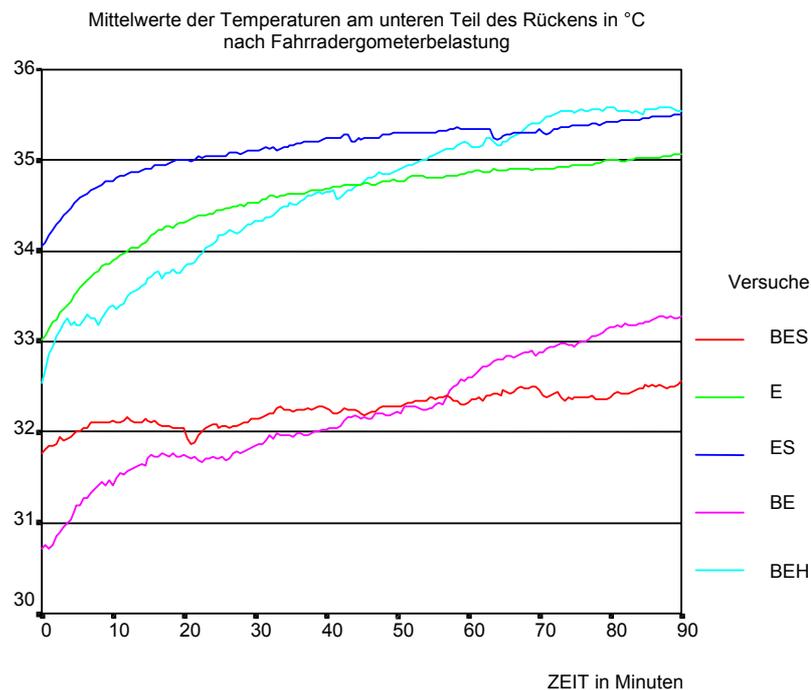


Abbildung 21: Mittelwerte der Temperaturen am unteren Teil des Rückens nach Fahrradergometerbelastung

Die Temperaturwerte verlaufen in den Versuchen nach Fahrradergometerbelastung in einem großen Bereich von 30,7 °C bis 35,6 °C. Die Werte steigen in allen Versuchen an, bei Versuchen mit Belüftung im ersten Drittel langsamer als bei Versuchen ohne Belüftung. Eine Ausnahme ist der Versuch BEH, der unten noch beschrieben wird. Der Unterschied der Temperaturwerte bei Belüftung und ohne Belüftung ist am besten an Hand der einzelnen Versuche zu erklären. Versuch BES verläuft im Gegensatz zu Versuch ES mit einem Temperaturanstieg von 0,8 °C über den ganzen Versuch, während die Werte im unbelüfteten Versuch ES im Bereich von 34,1 °C bis 35,5 °C sich durch eine wesentlich höhere Temperaturzunahme um 1,5 °C auszeichnen. Einen noch größeren Anstieg der Temperaturen verzeichnet der Versuch BE. Im Bereich von 30,7 °C bis 33,3 °C ergibt sich in diesem Versuch ein

Temperaturanstieg von 2,6 °C. Im unbelüfteten Versuch E steigen die Werte mit 2,1 °C weniger an als in seinem korrespondierenden Versuch (BE), erreichen aber im ersten Drittel des Versuches bereits 72,6 % des gesamten Anstiegs. Maximal steigen die Temperaturen im Heizversuch (BEH) mit 3,0 °C. Nach der 73. Minute pendeln sich diese um den Wert von 35,6 °C ein.

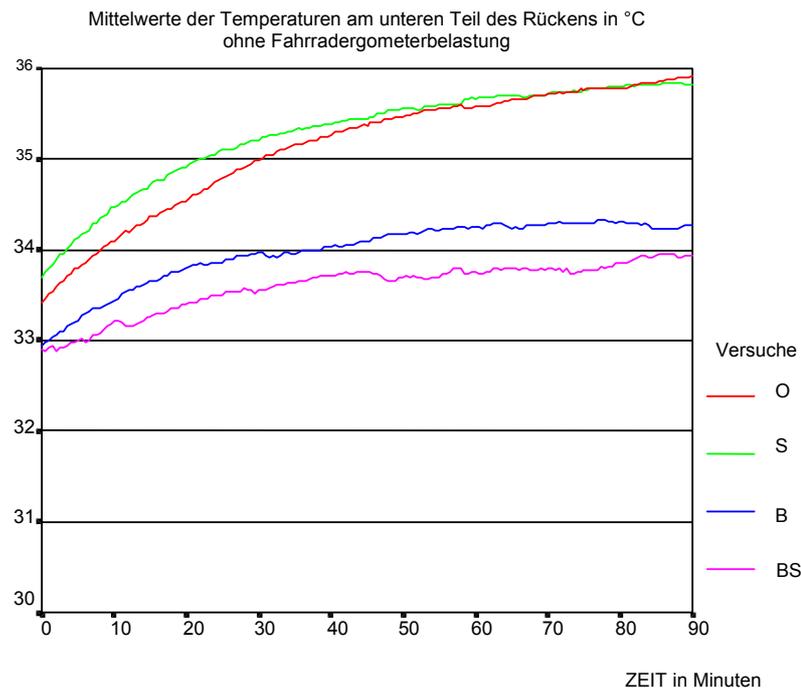


Abbildung 22: Mittelwerte der Temperaturen in °C am unteren Teil des Rückens ohne Fahrradergometerbelastung

Bei Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung bewegen sich die Hauttemperaturen in den Belüftungsversuchen (B, BS) in einem Bereich von 32,9 °C bis 34,3 °C. Die Temperaturen der Versuche ohne Belüftung (O, S) liegen im Bereich von 33,7 °C bis 35,9 °C. So steigen die Temperaturmittelwerte der Versuche ohne Belüftung und Fahrradergometerbelastung (O, S) im Versuchsverlauf durchschnittlich um 2,3 °C und in den Belüftungsversuchen (B, BS) um durchschnittlich 1,2 °C.

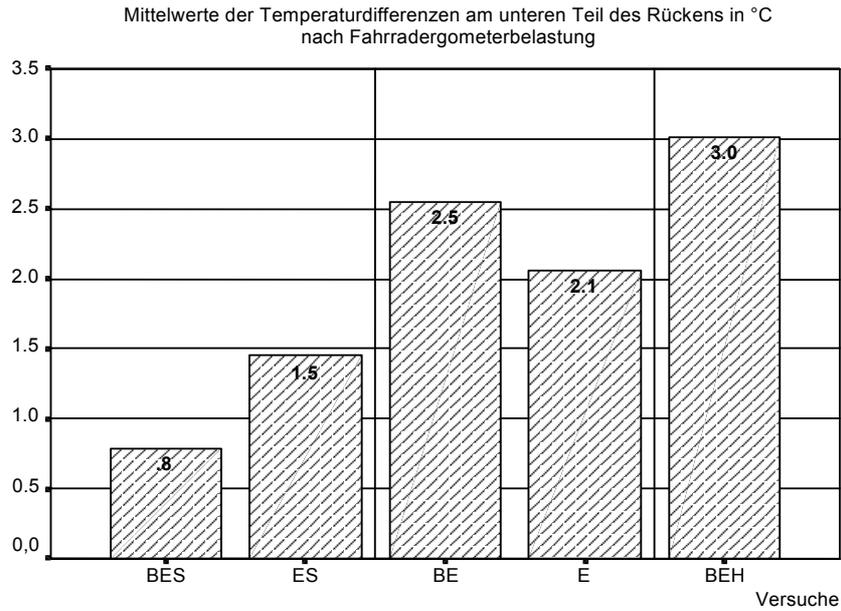


Abbildung 23: Mittelwerte der Temperaturdifferenzen am unteren Teil des Rückens nach Fahrradergometerbelastung

Noch deutlicher werden die Unterschiede in den Darstellungen der mittleren Temperaturdifferenzen in den Abbildungen 23 und 24. Nur im Versuch E tritt ein mit 2,1 °C etwas geringerer Temperaturanstieg auf als im korrespondierenden Belüftungsversuch BE. Die maximale Temperaturzunahme erreicht der Heizversuch mit 3,0 °C.

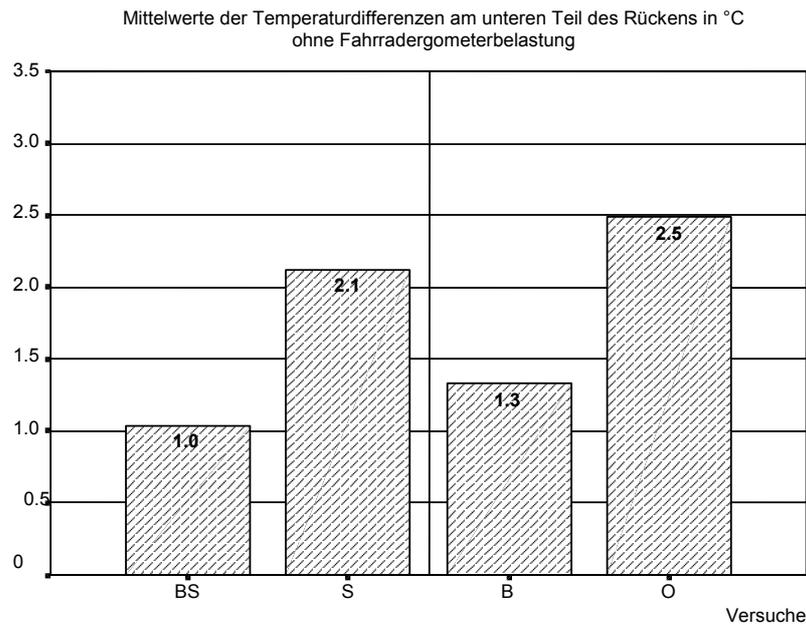


Abbildung 24: Mittelwerte der Temperaturdifferenzen am unteren Teil des Rückens ohne Fahrradergometerbelastung

### 3.2.3.2 Temperaturwerte des oberen Teils des Rückens

Die Temperaturänderungen am oberen Teil des Rückens sind weniger stark ausgeprägt als die Temperaturen am unteren Teil des Rückens. Sie bewegen sich nach Fahrradergometerbelastung in einem Bereich von minimal 30,1 °C bis maximal 34,1 °C. Alle Belüftungsversuche zeigen wieder eindeutig niedrigere Temperaturwerte als die Werte in deren korrespondierenden Versuchen ohne Belüftung. Im belüfteten Versuch BE steigen die Temperaturwerte um 2,1 °C, im unbelüfteten Versuch E dagegen nur um 0,4 °C. Der Bestrahlungsversuch BES zeigt einen im Vergleich zu den anderen Temperaturkurven untypischen Verlauf. So fallen die Temperaturwerte nach einem Ausgangswert von 31,5 °C zunächst um 1,5 °C ab und steigen dann nach 14 Minuten auf eine Endtemperatur von 33,0 °C an. Die maximale Temperaturschwankung beträgt hier 2,8 °C.

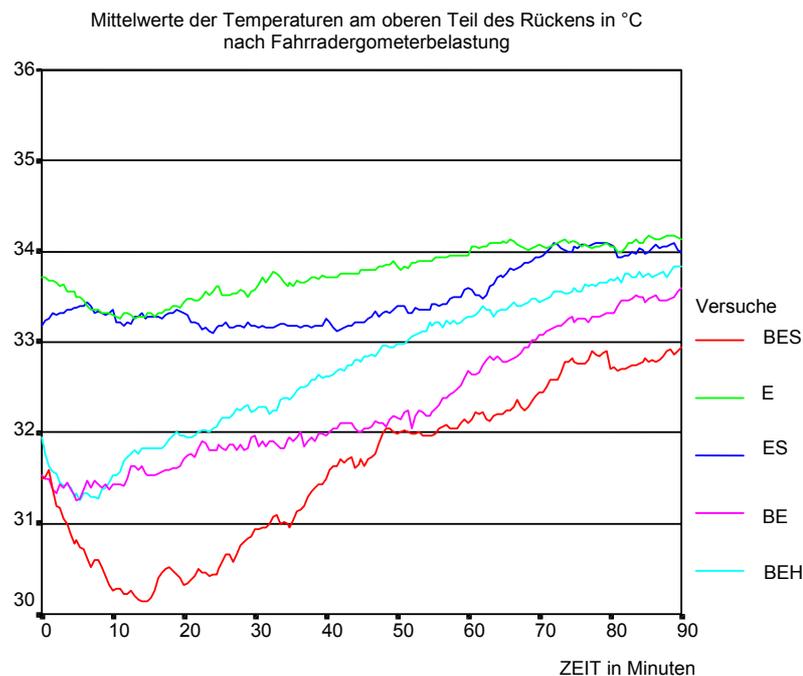


Abbildung 25: Mittelwerte der Temperaturen am oberen Teil des Rückens nach Fahrradergometerbelastung

Dieser besonders hervorstechende Verlauf ist aber durch zwei Probanden geprägt, die in diesem Versuch erheblich von den Temperaturen ihrer Mitprobanden abweichen. Daher müssen hier die Temperaturwerte differenzierter betrachtet werden, was später noch ausführlich besprochen wird. Die Temperaturen des Bestrahlungsversuches ES bleiben dagegen zunächst konstant und steigen dann um einen Wert von insgesamt 0,8 °C an.

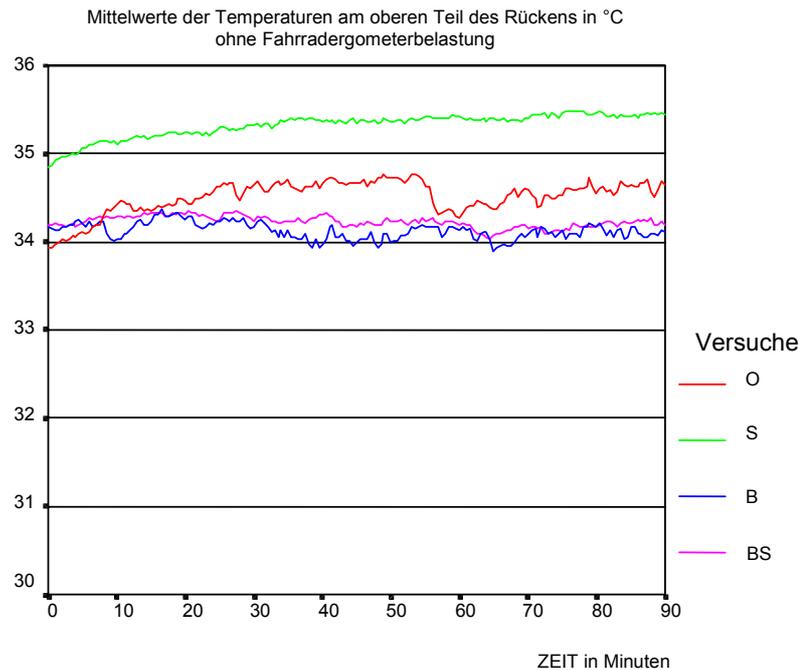


Abbildung 26: Mittelwerte der Temperaturen am oberen Teil des Rückens ohne Fahrradergometerbelastung

Die Temperaturwerte des Heizversuchs BEH (Abbildung 25) fallen bis 5 Minuten nach Beginn des Versuches um 0,7 °C und steigen dann bis zur 90. Minute um 2,6 °C. Die Temperaturwerte ohne Fahrradergometerbelastung (Abbildung 26) bewegen sich in einem kleineren Bereich von anfangs 33,9 °C bis zu 35,4 °C. Vergleicht man die Temperaturwerte des Bestrahlungsversuches S mit den korrespondierenden Temperaturwerten des Versuches BS, so ist ein Temperaturanstieg von 0,6 °C in Versuch S zu sehen, während sich die Temperaturwerte in Versuch BS nahezu unverändert um den Wert 34,2 °C bewegen. Ein ähnliches Erscheinungsbild zeigt sich auch in den Versuchen O und B. Der Belüftungsversuch B pendelt sich auf einen Wert um 34,1 °C ein. Versuch O verzeichnet maximal in der 53. Minute einen Temperaturanstieg bis 34,8 °C, danach sinken die Temperaturwerte um 0,5 °C und steigen dann langsamer um 0,4 °C an. Wie die nachfolgenden Abbildungen 27 und 28 zeigen, tritt die größte Temperaturzunahme im belüfteten Versuch BE mit 2,1 °C auf, ohne Belüftung (Versuch E) beträgt die Temperaturdifferenz lediglich 0,4 °C. In den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung ergeben sich für die unbelüfteten Versuche wesentlich größere Temperaturzunahmen mit 0,6 °C (Versuch S) bzw. 0,7 °C (Versuch O) als in deren korrespondierenden Versuchen mit Belüftung (Versuch BS und B), in denen nahezu Temperaturkonstanz auftrat.

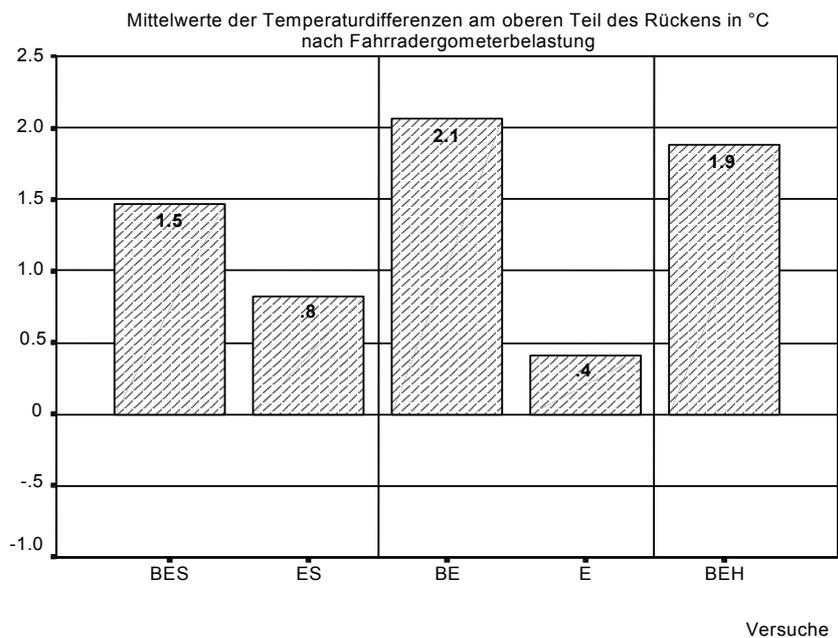


Abbildung 27: Mittelwerte der Temperaturdifferenzen insgesamt am oberen Teil des Rückens nach Fahrradergometerbelastung

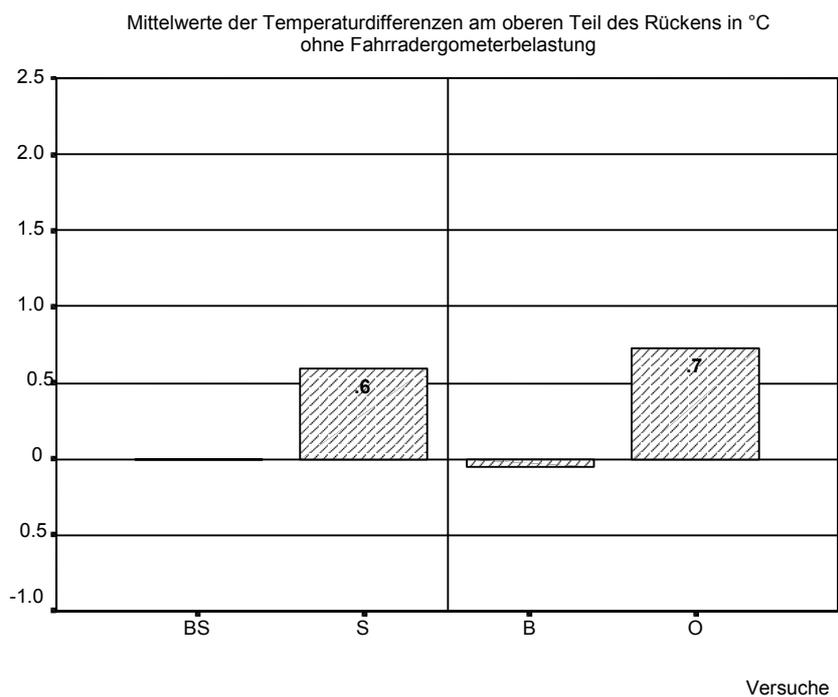


Abbildung 28: Mittelwerte der Temperaturdifferenzen insgesamt am oberen Teil des Rückens ohne Fahrradergometerbelastung

In den einzelnen Versuchen sind die Temperaturwerte am oberen Teil des Rückens derart weit gestreut, dass zum besseren Verständnis die Temperaturwerte der einzelnen Probanden betrachtet werden müssen. Deshalb werden die Temperaturverläufe im Versuch B nach Probanden unterteilt, wie in Abbildung 29 zu sehen ist.

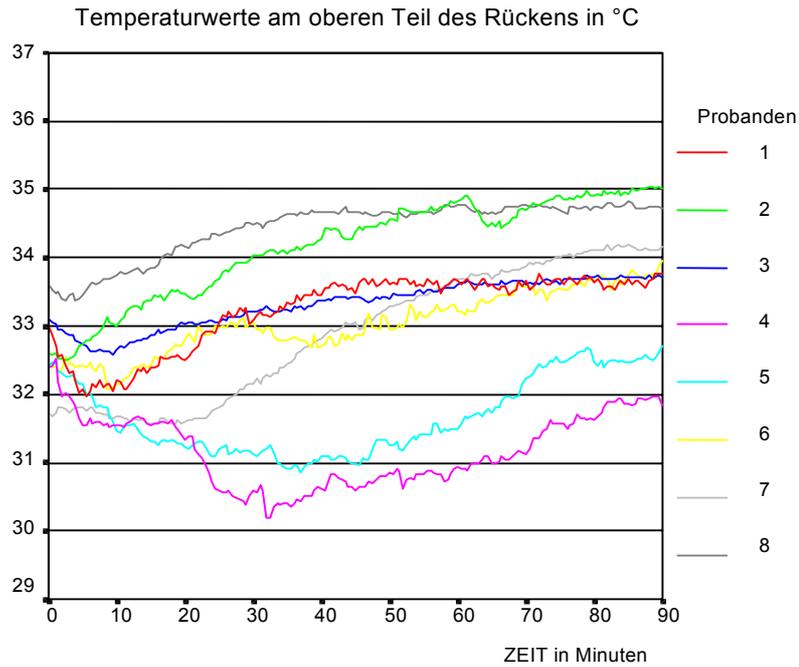


Abbildung 29: Temperaturwerte am oberen Teil des Rückens der einzelnen Probanden bei belüftetem Sitz im Versuch B

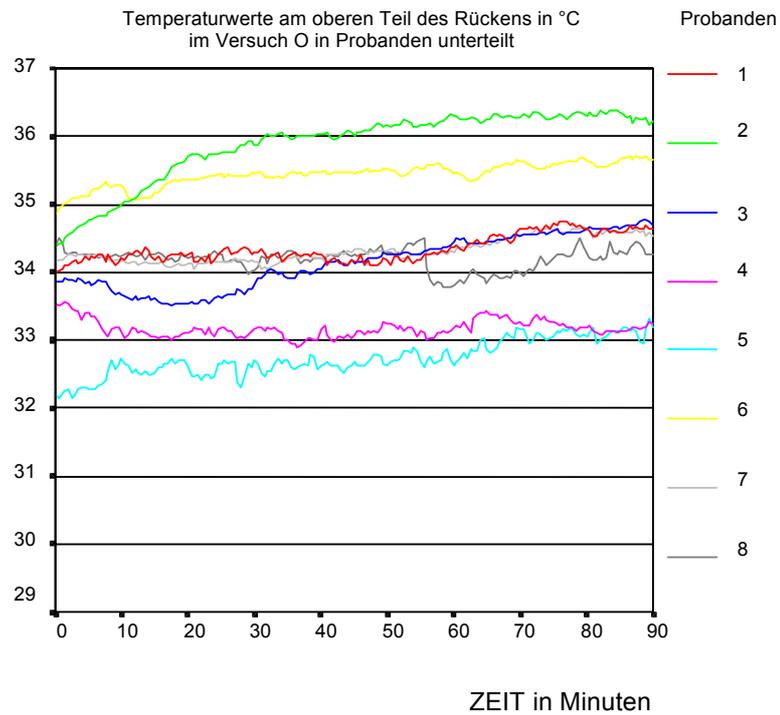


Abbildung 30: Temperaturwerte am oberen Teil des Rückens der einzelnen Probanden ohne belüfteten Sitz im Versuch O.

Um den Unterschied der Temperaturverläufe zu verdeutlichen ist auch der korrespondierende Versuch ohne Belüftung, Versuch O, in Abbildung 30 dargestellt. Besonders bei den Versuchen mit belüftetem Sitz (Abbildung 29) unterscheiden sich

die individuellen Temperaturverläufe in ihrer Tendenz. Das Temperaturverhalten der Probanden 4 und 5 unterscheidet sich erheblich von dem ihrer Mitprobanden, da bei ihnen die Werte erst abfallen (um 1,5 °C bzw. 2,0 °C) und nach ca. 38 Minuten wieder um ca. 1,5 °C ansteigen und fast das Ausgangsniveau erreichen. Bei den anderen Probanden trat dieses anfängliche Absinken nicht auf. Die Probanden 4 und 5 haben eine relativ große Körpermasse, sind männlich und neigen vermehrt zur Transpiration. Diese Probanden verändern die aggregierten Temperaturwerte sehr stark. Ohne diese Probanden würden die Temperaturwerte in Abbildung 25 bei den Versuchen mit Belüftung und Fahrradergometerbelastung weniger steil und in einem wärmeren Bereich verlaufen. Anders ist es bei den Temperaturverläufen der Versuche ohne Belüftung. Hier ergibt sich bei allen Probanden ein Anstieg der Temperaturwerte am oberen Teil des Rückens.

### **3.3 Hautbenetzung**

Die relative Luftfeuchte in der Expositions-kammer betrug ca. 50 % bei einer Lufttemperatur von etwa 22 °C. Für denselben Wasserdampfgehalt (Partialdruck 13,2 hPa) ergibt sich bei einer Lufttemperatur von ca. 30 °C (etwa jene in der Grenzschicht über der Haut der Probanden) eine relative Feuchte von ca. 31 %. Das bedeutet, dass Feuchtemesswerte über der Haut um ca. 30 % durch die Luftfeuchte in der Klimakammer bedingt sind, die Haut in diesen Fällen daher völlig trocken ist.

#### **3.3.1 Hautbenetzung am Gesäß**

In den Abbildungen 31 und 32 sind die zeitlichen Verläufe der Hautbenetzung am Gesäß während der jeweiligen Versuche dargestellt. Die Feuchtwerte verlaufen in beiden Grafiken in einem Bereich von maximal 90,3 % bis minimal 35,5 % relativer Feuchte. Nach dem Schwitzen durch die Fahrradergometerbelastung (Abbildung 31) war der Abfall der Feuchtwerte bei Versuchen mit Belüftung wesentlich stärker und schneller als in Versuchen ohne Belüftung, d.h. die Belüftung führte zu einer beschleunigten und effektiveren Abtrocknung.

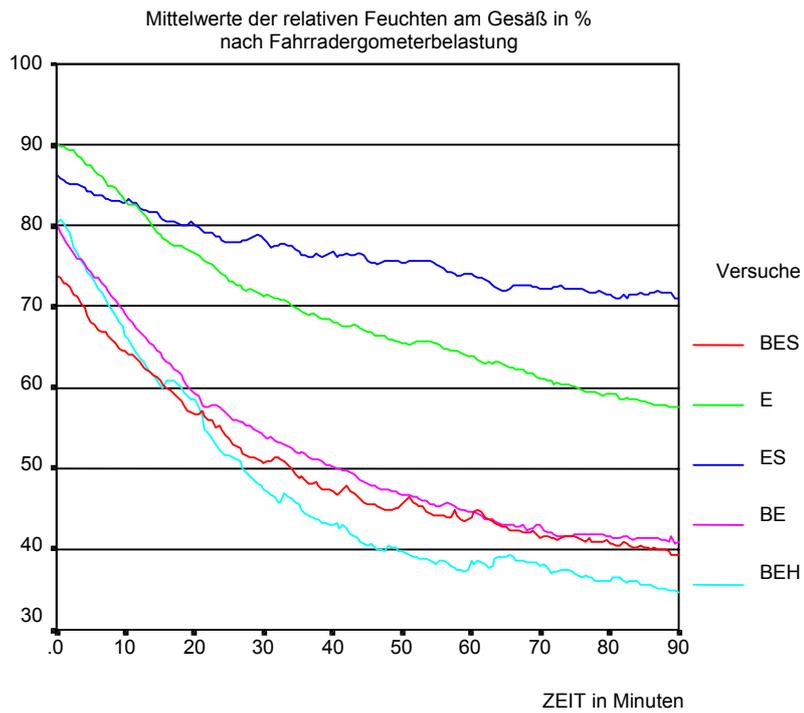


Abbildung 31: Mittelwerte der relativen Feuchten am Gesäß nach Fahrradergometerbelastung

Im Versuch ES trockneten die Probanden um insgesamt 15,1 % ab, während im vergleichbaren Belüftungsversuch BES die Feuchte um insgesamt 34,4 % abnahm.

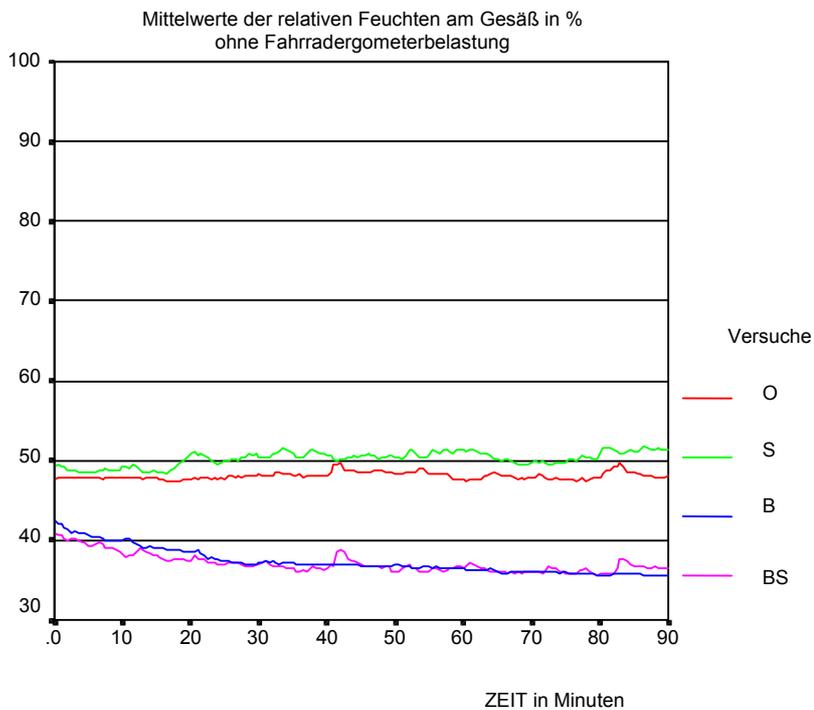


Abbildung 32: Mittelwerte der relativen Feuchten am Gesäß ohne Fahrradergometerbelastung

Bei den Versuchen nach Fahrradergometerbelastung (Abbildung 31) ergab sich stärkere und schnellere Abtrocknung in den belüfteten Versuche im Gegensatz zu den nicht belüfteten Versuchen. Bei einer Abtrocknung um 34 % im Versuch BES und 15 % im Versuch ES, trocknen die Probanden im belüfteten Versuch BES um 19 % stärker ab als in dem nicht belüfteten Versuch ES (Abbildung 33). Im Versuch E nimmt die Feuchte um insgesamt 33 % und im Versuch BE um 40 % ab. So trocknen die Probanden im belüfteten Versuch BE um 7 % mehr ab als im unbelüfteten Versuch E (Abbildung 33). Am stärksten nimmt die Feuchte über der Hautoberfläche mit 46 % im Heizversuch BEH ab. In den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung ergibt sich eine geringere absolute Abtrocknung. Im Versuch O pendeln sich die Feuchtwerte um den Wert 48 % ein, während im korrespondierenden belüfteten Versuch B die Feuchten von 43 % auf 36 % um insgesamt 7 % abnehmen. Im Strahlungsversuch S war ein leichter Anstieg um insgesamt 3 % bei einem Ausgangswert von 49 % zu erkennen. Im Bestrahlungsversuch mit Belüftung BS dagegen trockneten die Probanden bei einer Ausgangsfeuchte von 41 % um insgesamt 5 % ab.

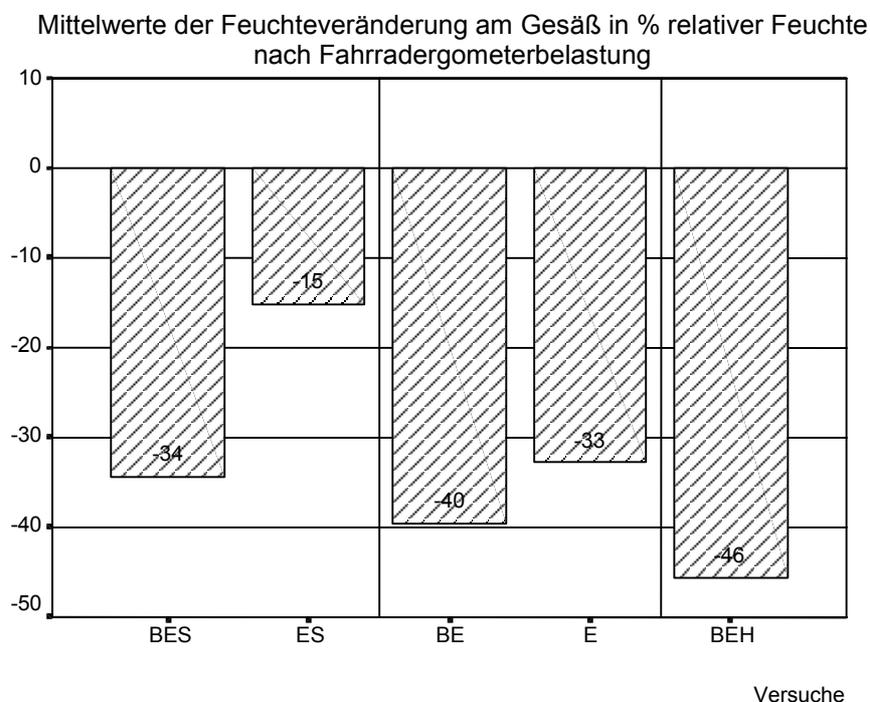


Abbildung 33: Mittelwerte der Feuchteveränderung am Gesäß in % relative Feuchte nach Fahrradergometerbelastung

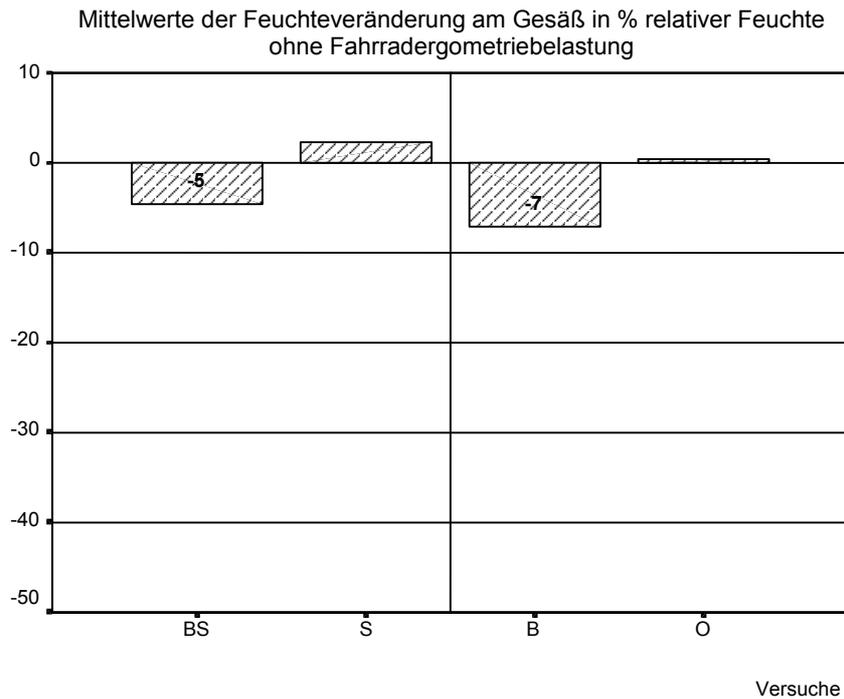


Abbildung 34: Mittelwerte der Feuchteveränderung am Gesäß in % relative Feuchte ohne Fahrradergometerbelastung

### 3.3.2 Hautbenetzung am Rücken

Die Feuchtwerte am Rücken unterschieden sich nur geringfügig von denen am Gesäß. In Abbildung 35 und 36 sind die zeitlichen Verläufe der Hautbenetzung am Rücken dargestellt. In den Versuchen nach Fahrradergometerbelastung (Abbildung 35) werden Hautbenetzungen von anfangs 99 % bis 32 % am Ende der Versuche erreicht. Ohne Fahrradergometerbelastung (Abbildung 36) verlaufen die Werte der Hautbenetzung in einem trockeneren Bereich von 60 % bis 32 %. In den Versuchen nach Fahrradergometerbelastung ohne Belüftung (E, ES) liegen die Hautfeuchten am Rücken zum Ende der Versuche noch bei 79 %. In den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung und mit Belüftung (BES, BE) trocknete die Haut dagegen bis auf 34 % ab. Auch hier fallen alle Temperaturkurven der Belüftungsversuche wesentlich steiler ab als diejenigen der korrespondierenden unbelüfteten Versuche (Abbildung 35). Noch deutlicher werden diese Unterschiede durch die Betrachtung der Differenzen der Hautfeuchtwerte (Abbildung 37 und 38). Maximal trocknen die Probanden im Versuch BEH mit 57 % ab und minimal im Versuch O mit fast 0 %. Im Bestrahlungsversuch mit Fahrradergometerbelastung ES trocknen die Probanden nur um 13 % ab, während die relative Feuchte unter den gleichen Bedingungen mit zusätzlicher Belüftung (BES) um 51 % sinkt.

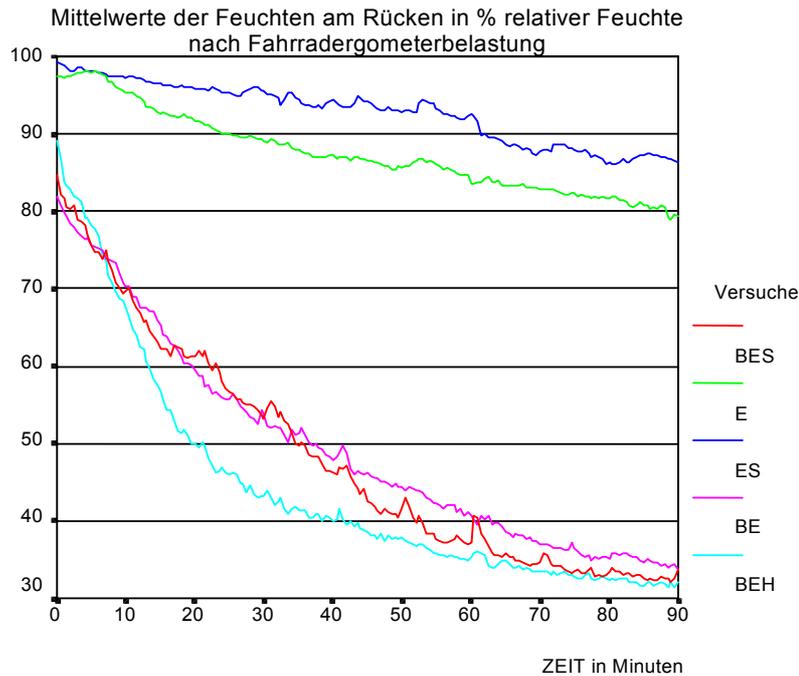


Abbildung 35: Mittelwerte der relativen Feuchte am Rücken nach Fahrradergometerbelastung

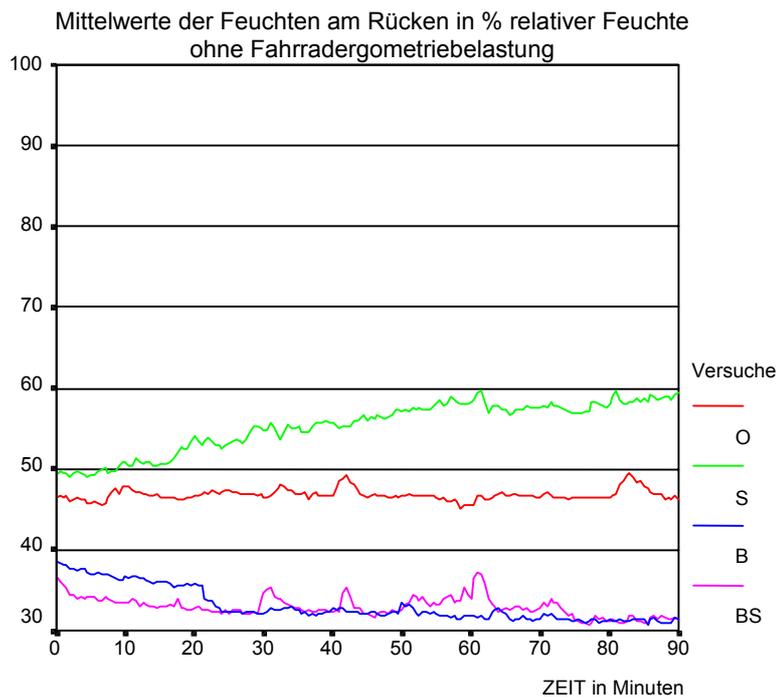


Abbildung 36: Mittelwerte der relativen Feuchte am Rücken ohne Fahrradergometerbelastung

Ohne Bestrahlung und Belüftung, nur mit Fahrradergometerbelastung, trocknen die Probanden während des Versuchs E um 18 % ab. Im korrespondierenden Versuch mit Belüftung (BE) nimmt die relative Feuchte mit 48 % wesentlich stärker ab. Alle Feuchtwerte ohne vorherige Fahrradergometerbelastung änderten sich kaum (Abbildung 38). So pendelt sich die Hautfeuchten bei dem Versuch ohne jegliche

Zusatzexposition (Versuch O) um 46 % relative Feuchte ein. Mit Belüftung sinkt dieser Wert im Versuch B, die Probanden trocknen um 7 % stärker ab. Im Bestrahlungsversuch S steigt die relative Feuchte von einem Wert von anfangs 50 % bis auf 60 % am Ende der Versuche um 10 %. Mit zusätzlicher Belüftung (Versuch BS) trocknen die Probanden dagegen um 5 % weniger ab.

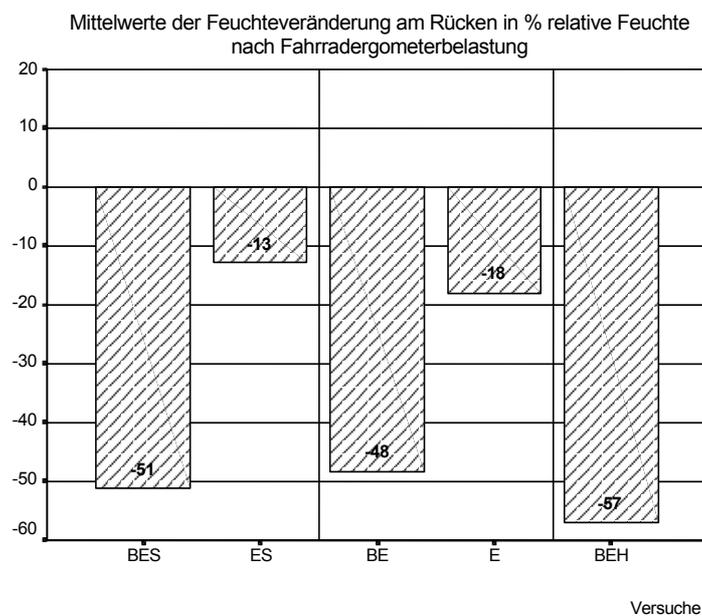


Abbildung 37: Mittelwerte der Feuchteveränderung am Rücken in % relative Feuchte nach Fahrradergometerbelastung

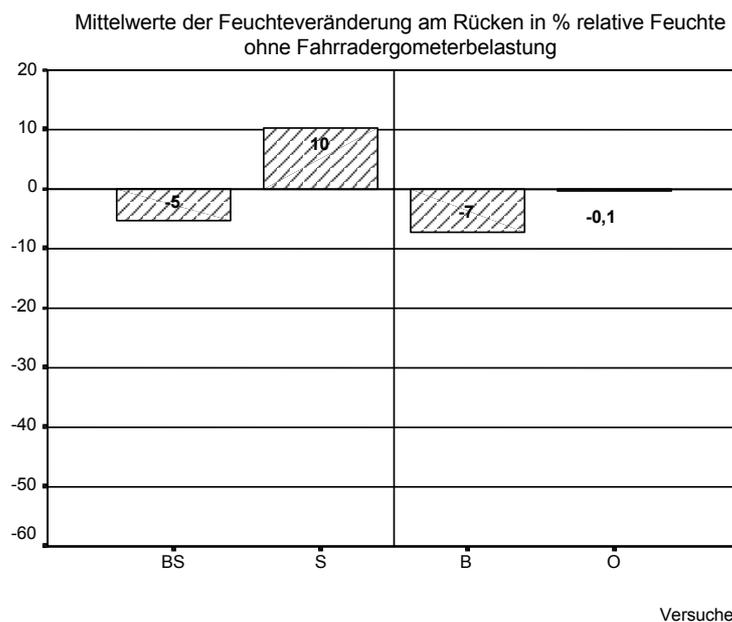


Abbildung 38: Mittelwerte der Feuchteveränderung am Rücken in % relative Feuchte ohne Fahrradergometerbelastung

Bei den Feuchtwerten an den anderen Körperstellen (Leiste, Brust, Oberarm und Oberschenkel) ergaben sich keine relevanten Einflüsse der Belüftung, weshalb diese hier nicht aufgeführt werden.

### 3.4 Wasserverlust

#### 3.4.1 Wasserverlust der Probanden

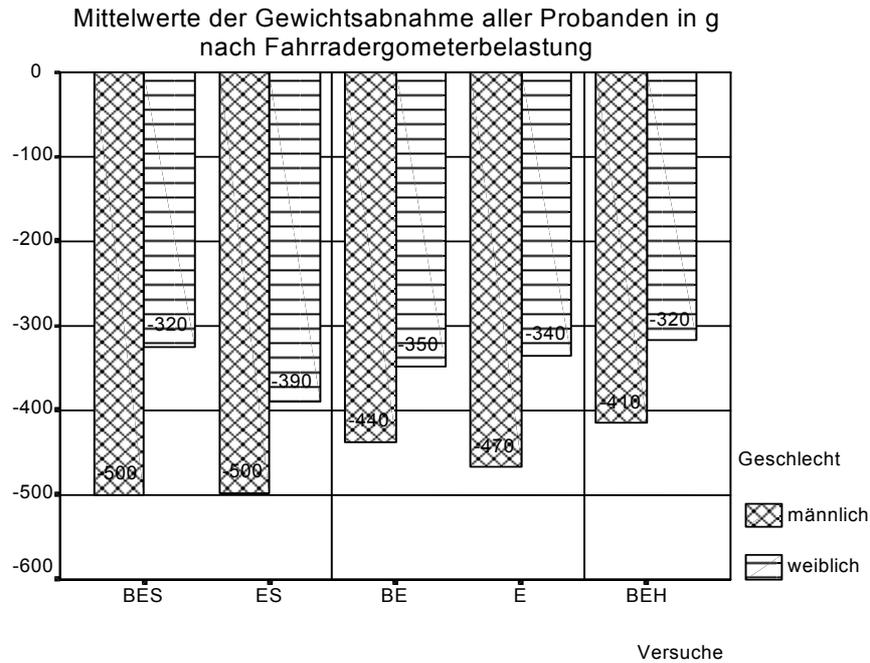


Abbildung 39: Mittelwerte der geschlechtsspezifischen Gewichtsveränderungen der Probanden nach Fahrradergometerbelastung

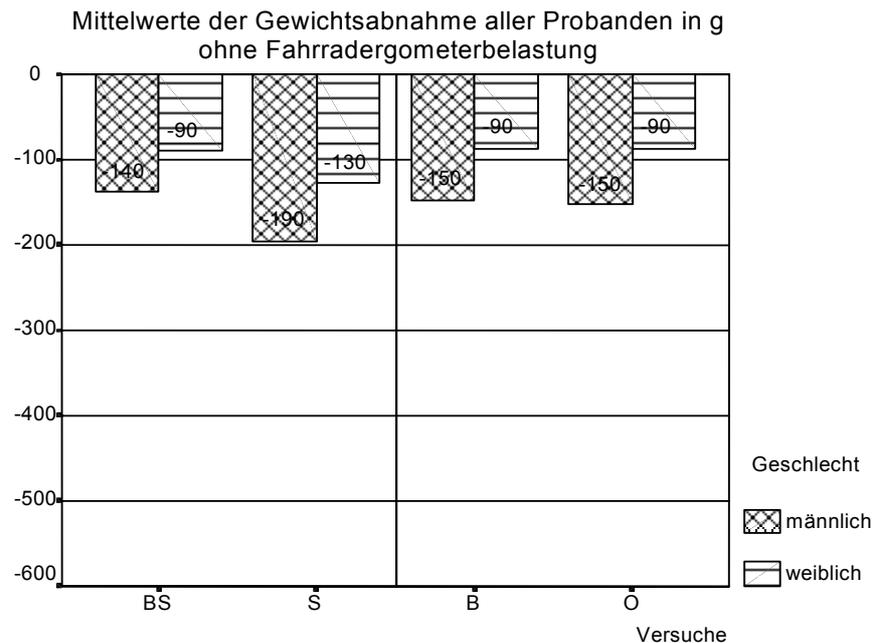


Abbildung 40: Mittelwerte der geschlechtsspezifischen Gewichtsveränderungen der Probanden ohne Fahrradergometerbelastung

Nach Höpfe (1984) setzt sich der Wasserverlust des Körpers aus dem über die Atmung abgegebenem Wasseranteil, der Schweißverdunstung und dem Schweißanteil, der in der Bekleidung gespeichert wurde, zusammen. Die Wasserverluste der Probanden sind in den Abbildungen 39 und 40 geschlechtsspezifisch dargestellt und gleichzusetzen mit den mittleren Gewichtsverlusten der weiblichen und männlichen Probanden während der einzelnen Versuche. Alle Gewichtsverluste liegen bei maximal 500 g. In den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung BES und ES ergaben sich die größten Gewichtsverluste für die männlichen Probanden mit 500 g. Am wenigsten Gewicht verloren in den Versuchen B und O mit 90 g die weiblichen Probanden. Die männlichen Probanden verzeichnen generell einen höheren Wasserverlust als die weiblichen Probanden. Ein klarer Belüftungseffekt in bezug auf den Wasserverlust ist nicht festzustellen. Zwar ist der Gewichtsverlust in den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung und ohne Belüftung (ES, E) größer, aber diese Tendenz ist nicht in den Versuchen ohne vorherige Fahrradergometerbelastung zu erkennen (Abbildung 40). Ein Gesamtüberblick über die mittleren Gewichtsverluste aller Probanden geben die folgenden Grafiken 41 und 42 wieder.

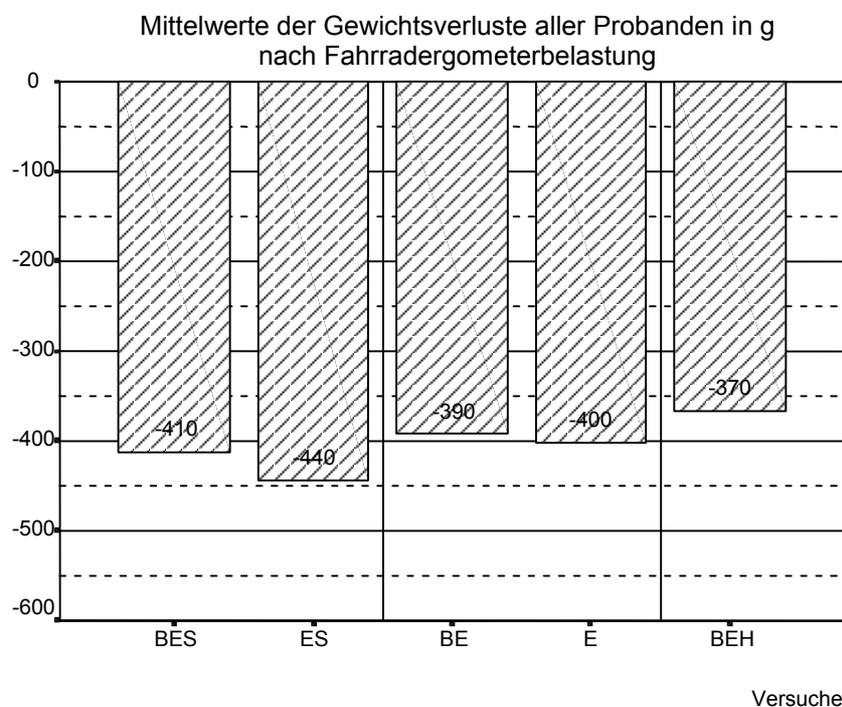


Abbildung 41: Mittelwerte der Gewichtsverluste aller Probanden in g nach Fahrradergometerbelastung

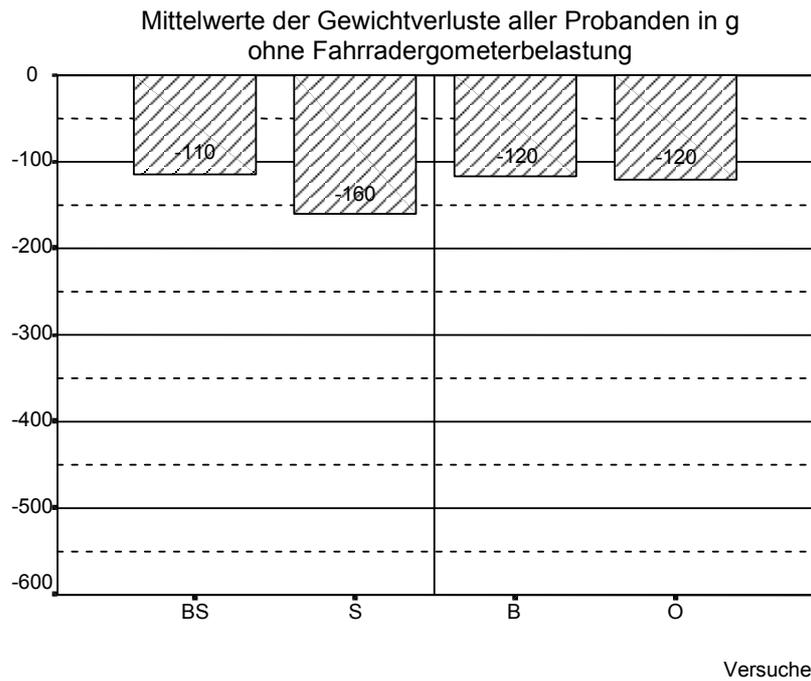


Abbildung 42: Mittelwerte der Gewichtsverluste aller Probanden in g ohne Fahrradergometerbelastung

### 3.4.2 Wasserspeicherung der Kleidung

Die Gewichtsveränderungen der Kleidung wurden durch das Wiegen der einzelnen Kleidungsstücke vor und nach den Versuchen bestimmt.

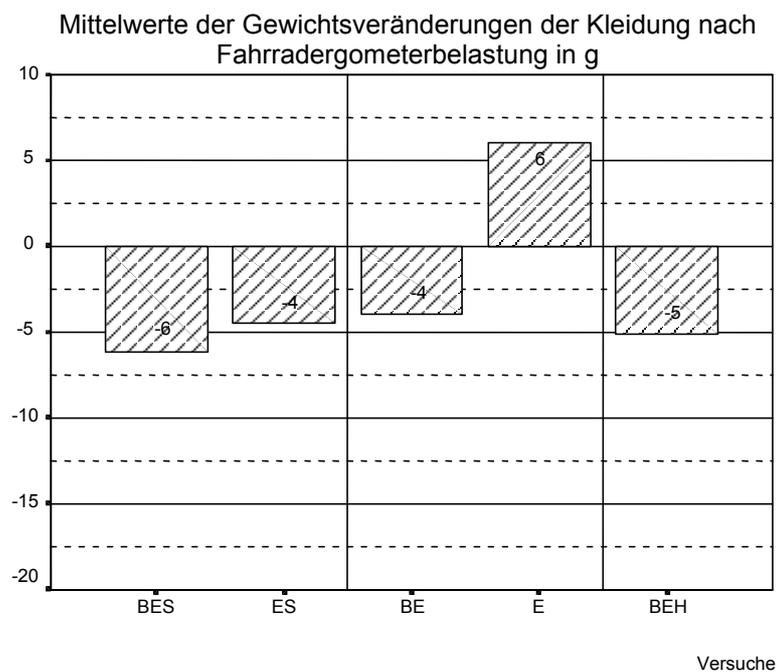


Abbildung 43: Mittelwerte der Gewichtsveränderungen der Kleidung nach Fahrradergometerbelastung

In Abbildung 43 sind die Mittelwerte der Gewichtsänderungen der Kleidung nach starker Transpiration und in Abbildung 44 ohne vorherige Transpiration dargestellt. Alle Gewichtsveränderungen liegen zwischen  $-18$  g und  $+6$  g und sind damit sehr gering. Auffällig ist, dass mit Ausnahme eines einzigen Versuches (Versuch E) in allen Versuchen der Wassergehalt der Kleidung abgenommen hat.

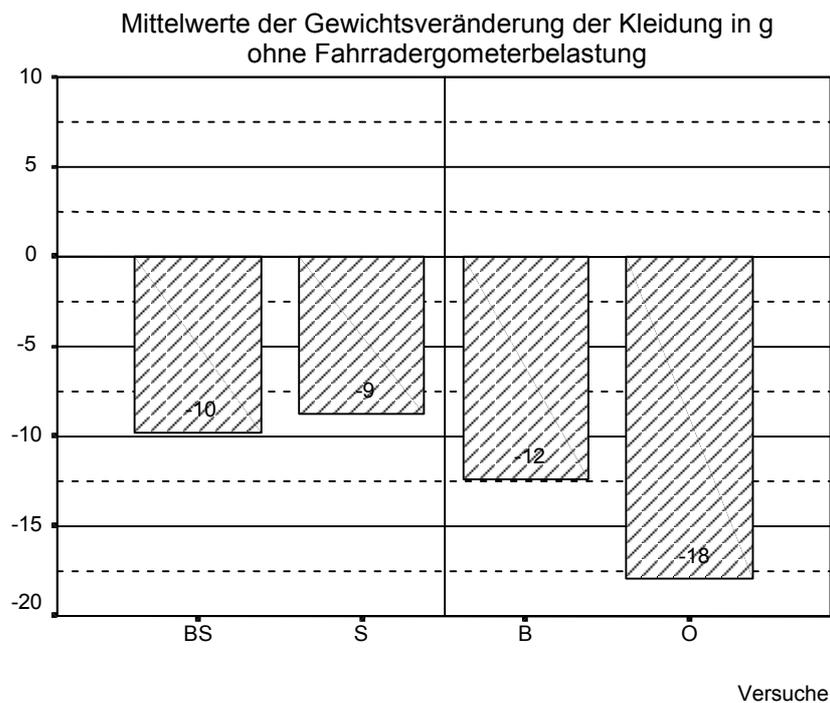


Abbildung 44: Mittelwerte der Gewichtsveränderungen der Kleidung ohne Fahrradergometerbelastung

### 3.5 Kardiozirkulatorische Parameter

In den folgenden Abbildungen 45 bis 50 sind die kardiozirkulatorischen Parameter der Probanden abgebildet.

#### 3.5.1 Herzfrequenz

In den Abbildungen 45 und 46 sind die Herzfrequenzen der Probanden nach Fahrradergometer- und ohne Fahrradergometerbelastung dargestellt. Die Grafiken zeigen die Frequenz der Herzschläge am Versuchsende in der 90. Minute. In den Versuchen nach Fahrradergometerbelastung ist mit bis zu 71 Schlägen/Minute eine leicht höhere Herzfrequenz bei allen Probanden erreicht worden. In den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung liegen die Werte zwischen 63 bis 66 Schlägen/Minute. Ein eindeutiger Belüftungseffekt konnte hier nicht festgestellt werden.

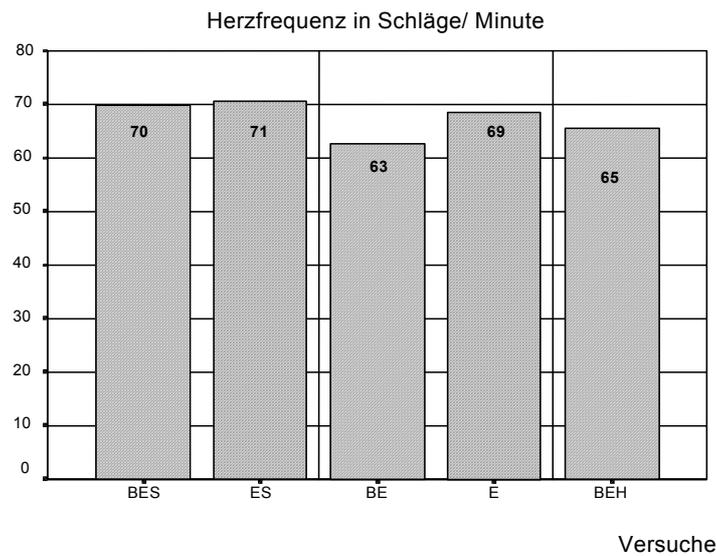


Abbildung 45: Mittelwerte der Herzfrequenzen am Versuchsende in Schläge/ Minute nach Fahrradergometerbelastung

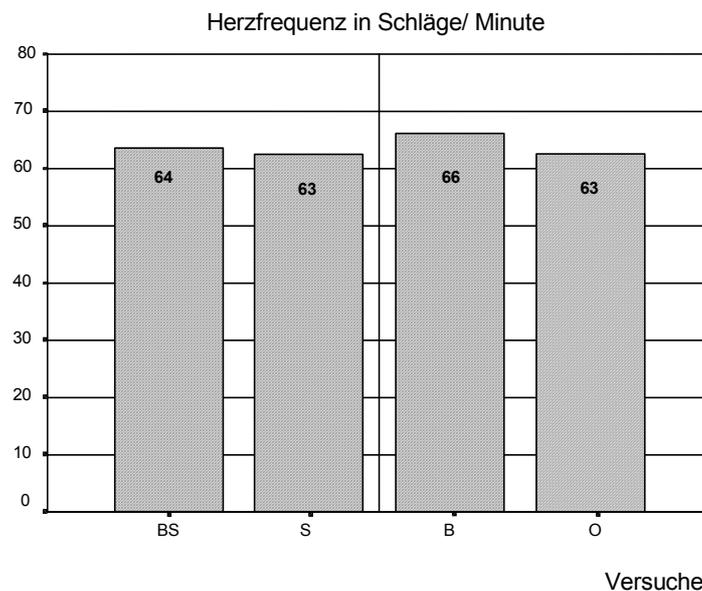


Abbildung 46: Mittelwerte der Herzfrequenzen am Versuchsende in Schläge/ Minute ohne Fahrradergometerbelastung

### 3.5.2 Blutdruck

In den folgenden Abbildungen 47 bis 50 sind die Mittelwerte der systolischen und diastolischen Blutdrücke am Versuchsende dargestellt. Die systolischen Blutdrücke liegen in einem normotonen Bereich von minimal 103 mmHg im Versuch ES bis zu maximal 111 mmHg im Versuch B. Hier unterscheiden sich die belüfteten von den unbelüfteten Versuchen nicht wesentlich in ihren absoluten Werten.

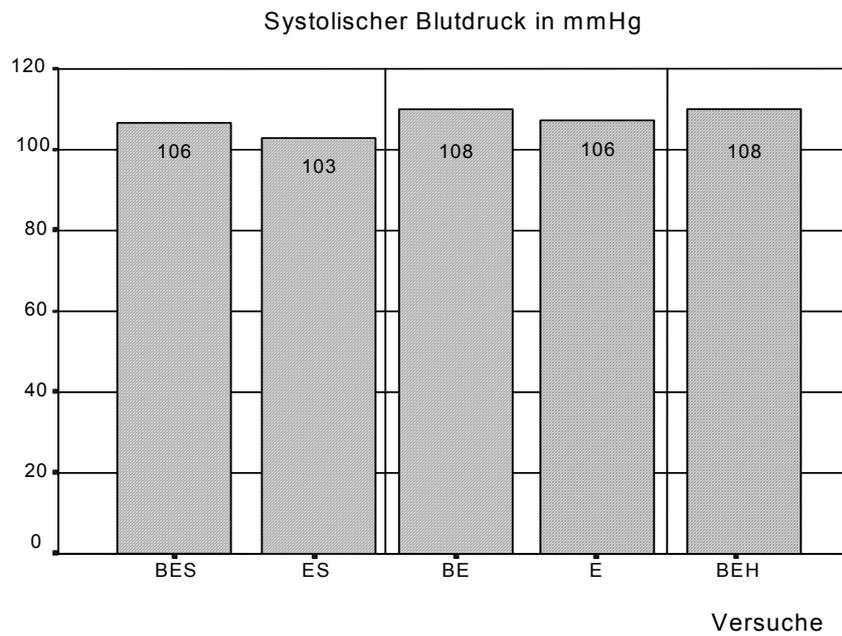


Abbildung 47: Systolischer Blutdruck in mmHg nach Fahrradergometerbelastung am Versuchsende

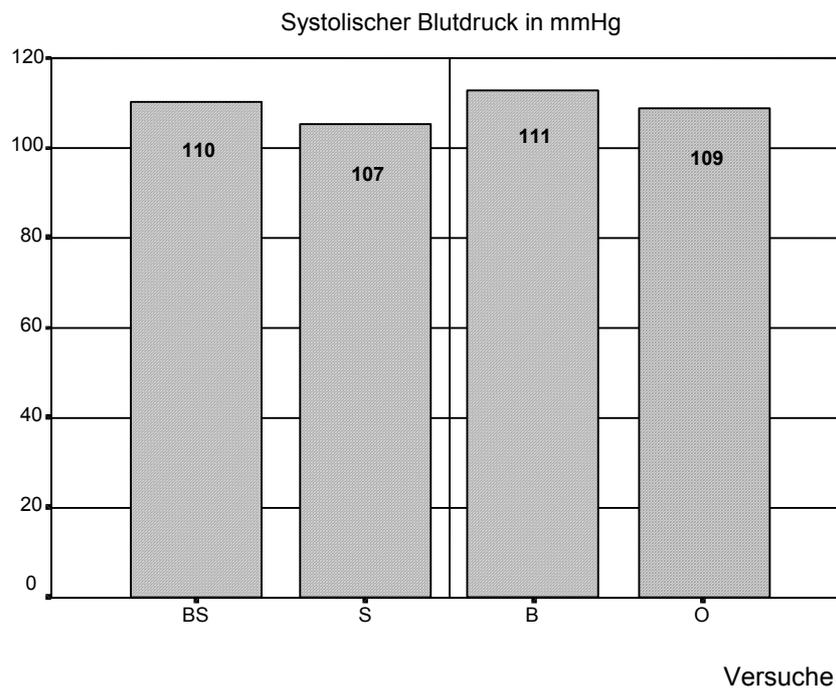


Abbildung 48: Systolischer Blutdruck in mmHg ohne Fahrradergometerbelastung am Versuchsende

Geringfügig unterscheiden sich alle systolischen Blutdrücke bei belüfteten Versuchen von ihren korrespondierenden Versuchen ohne Belüftung durch um 2-3 mmHg erhöhte Werte. Die diastolischen Blutdrücke liegen in einem Bereich von minimal 66 mmHg im Versuch S bis zu maximal 73 mmHg im Versuch B und BES.

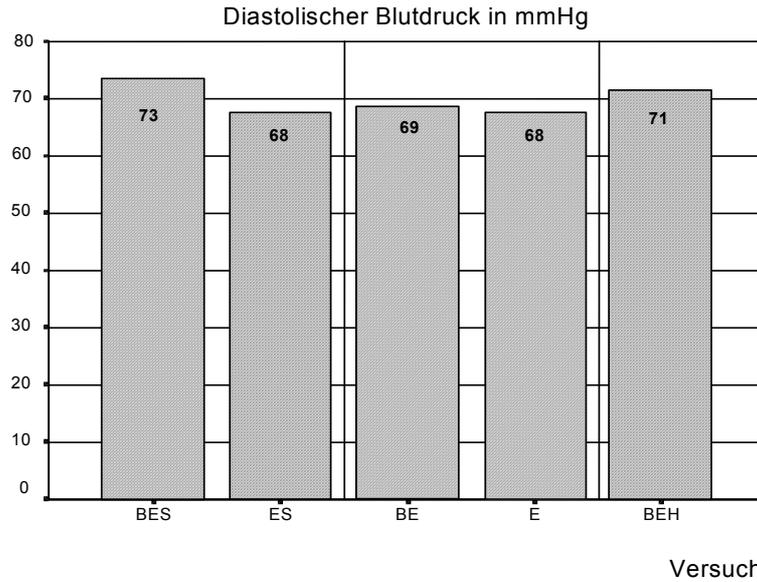


Abbildung 49: Diastolischer Blutdruck in mmHg nach Fahrradergometerbelastung am Versuchsende

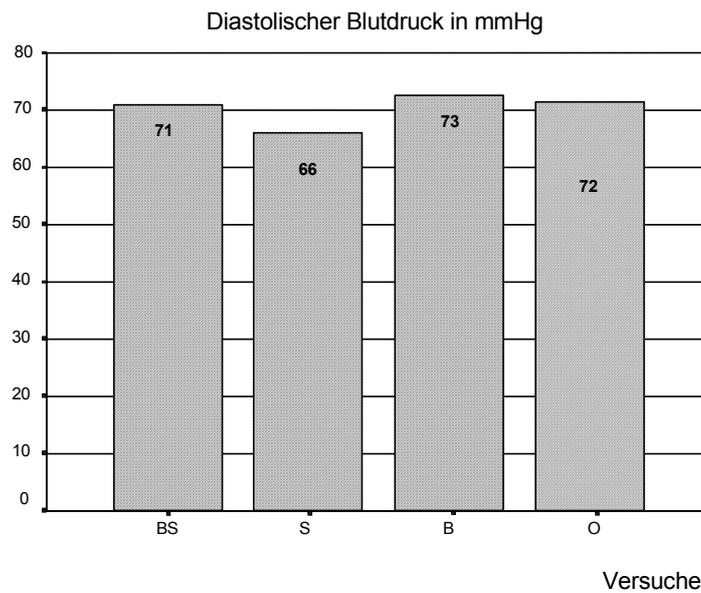


Abbildung 50: Diastolischer Blutdruck in mmHg ohne Fahrradergometerbelastung am Versuchsende

Auch bei den diastolischen Blutdrücken unterscheiden sich die belüfteten und unbelüfteten Versuche nicht relevant aber konsistent in den Werten. Ähnlich auch hier der Belüftungseffekt, der sich bei allen belüfteten Versuchen im Vergleich zu den korrespondierenden Versuchen ohne Belüftung durch leicht erhöhte Werte von 1-5 mmHg zeigt. Die korrespondierenden Versuche mit den größten Blutdruckunterschieden von 5 mmHg sind die Versuchspaare BES / ES wie auch BS / S.

### 3.6 Subjektive Beurteilung durch die Probanden

#### 3.6.1 Thermische Behaglichkeit und Feuchteempfinden allgemein

In den Abbildungen 51 und 52 sind die Veränderungen des subjektiven Empfindens der thermischen Behaglichkeit und der Hautbenetzung der Probanden insgesamt vom Versuchsanfang bis zum Versuchsende dargestellt.

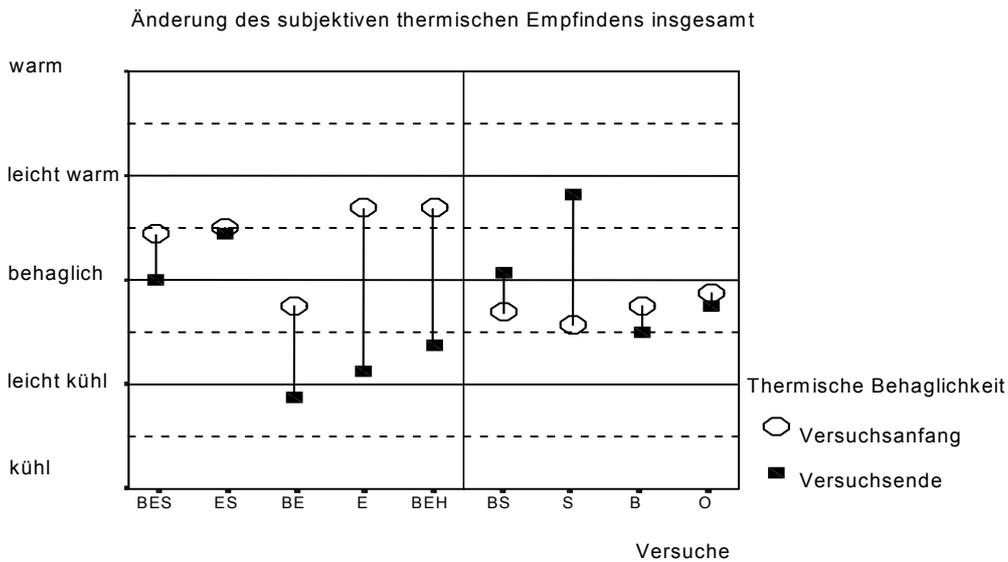


Abbildung 51: Mittelwerte der Bewertung der thermischen Behaglichkeit insgesamt am Versuchsanfang und am Versuchsende

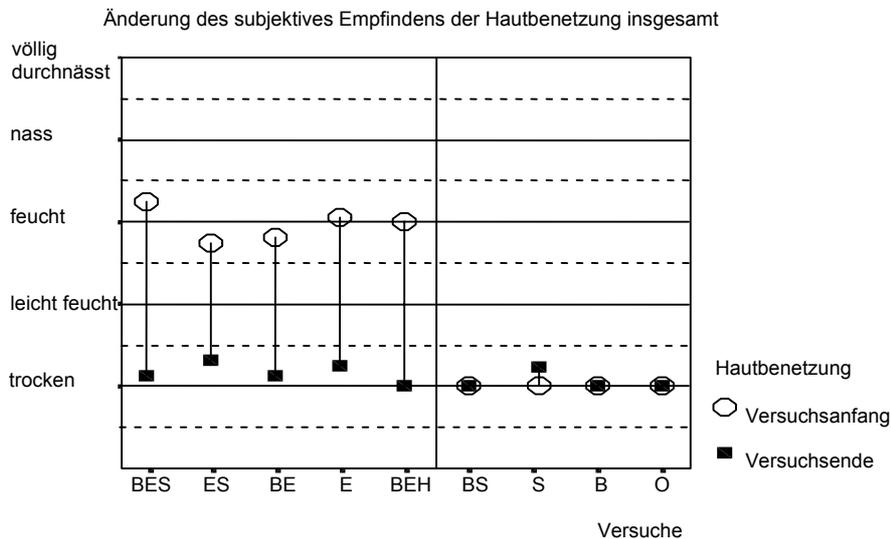


Abbildung 52: Mittelwerte der Bewertung der Hautbenetzung insgesamt am Versuchsanfang und Versuchsende

Die Mittelwerte der thermischen Behaglichkeit aller Versuche bewegen sich in den Bereichen von „leicht warm“ bis „leicht kühl“. Die niedrigsten Werte der thermischen Behaglichkeit traten im Versuch nach Fahrradergometerbelastung mit Belüftung BE

mit der Beurteilung der Probanden „leicht kühl“ zu Versuchsende auf. Der höchste Wert wurde im Strahlungsversuch S am Versuchsende erzielt mit der Beurteilung „leicht warm“. Alle anderen Versuchsbeurteilungen der thermischen Behaglichkeit der Probanden lagen in einem „behaglichen“ Bereich, bis auf Versuch E und BEH, bei denen die thermische Behaglichkeit mit anfangs „leicht warm“ und dann am Versuchsende mit „leicht kühl“ beurteilt wurden. Der Belüftungseffekt ist in den Anfangsphasen der Versuche nach Ergometerbelastung und in den Endphasen der Versuche mit Bestrahlung als günstig anzusehen.

Das Empfinden der Hautfeuchte verläuft in allen Versuchen in einem Bereich von „feucht“ bis „trocken“ (Abbildung 52). Alle Probanden beurteilten den Heizversuch als den Versuch mit der effektivsten Abtrocknung. An zweiter Stelle der Abtrocknung stehen die Versuche BE und BES. Weniger effektiv war die Abtrocknung im Versuch ES und E. Der Versuch S war der einzige, bei dem während der Versuchszeit die empfundene Hautbenetzung zunahm. Bei Versuchen nach Fahrradergometerbelastung zeigen die Belüftungsversuche ein besseres Abtrocknungsempfinden als die Versuche ohne Belüftung.

### **3.6.2 Empfinden im Sitzbereich**

In den Abbildungen 53 und 54 sind die thermische Behaglichkeit bzw. das Feuchteempfinden im Sitzbereich dargestellt. Die den Grafiken zu Grunde liegenden Zahlenwerte sind zur Verdeutlichung in den Tabelle 5 und 6 dargestellt. Die Mittelwerte der thermischen Behaglichkeit der Probanden im Sitzbereich bewegten sich im Bereich von „leicht warm“ bis „leicht kühl“. Die Probanden beurteilen den Heizversuch BEH als den Versuch, der während der Versuchszeit am komfortabelsten wurde, gefolgt von Versuch E und Versuch BS. Am unangenehmsten empfanden die Testpersonen ihre thermische Behaglichkeit im Sitzbereich am Ende der Versuche BE, gefolgt von den Versuchen B, S und Versuch ES.

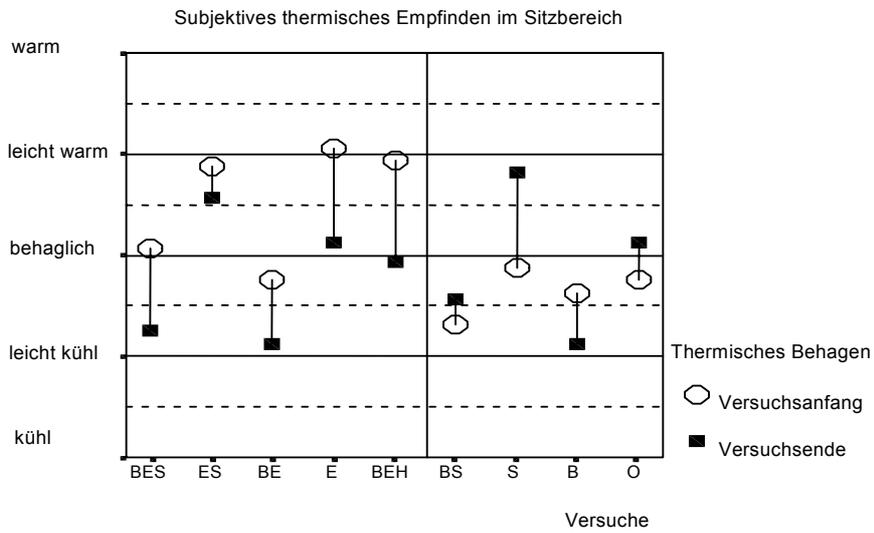


Abbildung 53: Mittelwerte der subjektiven Bewertung der thermischen Behaglichkeit im Sitzbereich am Versuchsanfang und Versuchsende

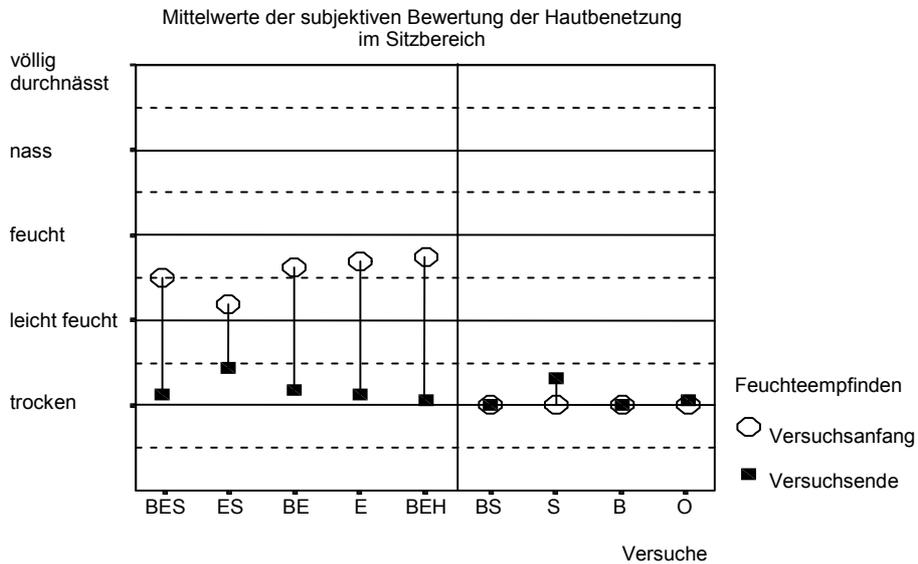


Abbildung 54: Mittelwerte der subjektiven Bewertung der Hautbenetzung im Sitzbereich am Versuchsanfang und Versuchsende

Versuch	Bewertung der thermischen Behaglichkeit am Versuchsbeginn	Bewertung der thermischen Behaglichkeit am Versuchsende	Differenz (Betrag)	Tendenz während des Versuchs
BES	0,06	-0,75	0,81	kühler
ES	0,88	0,56	0,31	kühler
BE	-0,25	-0,88	0,63	kühler
E	1,06	0,12	0,94	kühler
BEH	0,94	-0,06	1,0	kühler
BS	-0,44	-0,69	0,25	kühler
S	-0,13	0,81	0,94	wärmer
B	-0,38	-0,88	0,29	kühler
O	-0,25	0,13	0,38	wärmer

Tabelle 5: Mittelwerte der subjektiven Bewertung der thermischen Behaglichkeit im Sitzbereich durch die Probanden

Die Beurteilung der Feuchte im Sitzbereich verhält sich ähnlich wie die Feuchtebeurteilung insgesamt. Die Mittelwerte verlaufen in einem Bereich von „feucht“ bis „trocken“. Bei den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung ist erwartungsgemäß auch im Sitzbereich eine größere Abtrocknungsspanne zu erkennen. Die maximale Abtrocknung bemerkten die Probanden im Heizversuch BEH, gefolgt von den Versuchen E, BE und BES. Der Strahlungsversuch S ist auch hier der einzige, der am Anfang der Versuche mit „trocken“ und dann zum Ende des Versuchs als feuchter beurteilt wurde. Keine Änderung der Hautbenetzung im Sitzbereich empfanden die Probanden in den anderen Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung. Der Belüftungseffekt ist am deutlichsten im Vergleich von Versuch BES mit ES zu erkennen. In den Versuchen BE und E bewegte sich das subjektive Feuchteempfinden etwa im selben Bereich.

Versuch	Bewertung der Feuchte am Versuchsbeginn	Bewertung der Feuchte am Versuchsende	Differenz (Betrag)	Tendenz während des Versuchs
BES	2,50	1,13	1,38	trockener
ES	2,19	1,44	0,75	trockener
BE	2,63	1,19	1,44	trockener
E	2,69	1,13	1,56	trockener
BEH	2,75	1,06	2,69	trockener
BS	1,00	1,00	0	gleichbleibend
S	1,00	1,31	0,31	feuchter
B	1,00	1,00	0	gleichbleibend
O	1,00	1,06	0,06	feuchter

Tabelle 6: Mittelwerte der subjektiven Beurteilung der Probanden der Hautbenetzung im Sitzbereich durch die Probanden

## 4 Diskussion

Im sehr kalten Bereich beeinträchtigt nach Holmer (1993) die Senkung der Körperkerntemperatur auf 33 – 35 °C die geistige Leistungsfähigkeit und die körperliche Arbeitskapazität. Nach Arminger et al. (1995) erhöht die thermische Belastung im warmen Bereich die mittlere Anzahl der Autounfälle um 30 %. Daher sind die thermischen Bedingungen in Kraftfahrzeugen von großer Bedeutung für die Behaglichkeit und die Sicherheit. Durch die eingeschaltete Klimaanlage eines Kraftfahrzeuges und die zusätzliche aktive Sitzbelüftung könnten Fahrzeuginsassen, deren Haut durch vorangegangene Transpiration benetzt ist, sehr stark abkühlen. Dies könnte zu thermischer Unbehaglichkeit oder sogar zu potenziellen gesundheitsrelevanten Effekten führen.

Die in den Belüftungsversuchen gemessenen Körperkerntemperaturen liegen bei allen Versuchen in einem Bereich von 36,9 °C bis 37,8 °C. Der minimale Wert von 36,9 °C wurden im Belüftungsversuch mit Bestrahlung BS bei Probandin 3 ermittelt. Alle Werte liegen damit weit über den angegebenen Grenztemperaturen, die zu einer Beeinträchtigung der geistigen und körperlichen Beeinträchtigung führen würden. Eine vermehrte und schnellere Abkühlung der Körperkerntemperatur erfahren die Probanden in den Versuchen mit zusätzlicher Belüftung durch den Autositz, wie die vor allem steiler abfallenden Körperkerntemperaturverläufe nach Ergometerbelastung beweisen.

Alle Körperkerntemperaturwerte fallen im Lauf der Versuche. Dieser Abfall der Körperkerntemperatur hat zwei Gründe. Ein Grund ist in einem Teil der Versuche die beendete zusätzliche innere Wärmeproduktion durch Ergometerbelastung und der damit verbundene Rückgang der Körperkerntemperatur wieder auf das Normalniveau. Der zweite Grund ist der Übergang in eine kühlere Umgebung von anfangs 24,4 °C im Vorbereitungsraum auf 22,2 °C in der Klimakammer. Alle Probanden empfanden diese Klimakammerverhältnisse „kühler“ als in der Konditionierungsphase im Vorbereitungsraum.

Bei den Versuchen nach Ergometerbelastung und mit Belüftung BE und zusätzlicher Bestrahlung im Versuch BES sinken die Körperkerntemperaturwerte besonders stark. Auch bei den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung fallen die

Körperkerntemperaturwerte, besonders in den Versuchen mit Belüftung (B und BS). Der Grund dafür besteht in dem erzwungenen Wärmetransport durch Ventilation an der mit Schweiß benetzten Hautoberfläche der dem belüfteten Sitz anliegenden Körperpartien. Durch die stetige Erwärmung der vorbeiströmenden Luft wird der Körperschale damit Wärme entzogen.

Nach Jessen (1996) produziert der Körper durch Arbeit (wie hier in der Fahrradergometerbelastung) vermehrt innere Wärme, die über den Transport durch den Blutkreislauf an die Hautoberfläche transportiert wird und dort an die Umgebung abgegeben werden kann. Hierbei erwärmen sich die oberflächlichen Gewebeschichten. Dies kann man auch hier erkennen: Im Gegensatz zur Körperkerntemperatur steigen die Mittelwerte der Hauttemperaturen an. Die mittleren Hauttemperaturwerte verlaufen in den Versuchen in einem Bereich von minimal 31,4 °C bis maximal 33,8 °C. In den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung stiegen die Mittelwerte der Hauttemperaturen aller belüfteten Versuche um 0,3 °C weniger als in den korrespondierenden unbelüfteten Versuchen. Dasselbe Prinzip findet sich auch bei den Versuchen ohne Ergometerbelastung: Belüftete Versuche führen durchschnittlich zu einer um 0,4 °C niedrigeren Hauttemperatur als die vergleichbaren unbelüfteten Versuche.

Nach Gagge und Nishi (1976) kann eine durch niedrige Lufttemperatur hervorgerufene subjektive Kälteempfindung durch Erhöhung der Strahlungstemperatur im Raum aufgehoben werden. Die Hauttemperaturen liegen bei den Versuchen mit zusätzlicher Bestrahlung sowohl mit als auch ohne Fahrradergometerbelastung in einem höheren Temperaturbereich als bei den Versuchen ohne Bestrahlung. So verlaufen die Temperaturen im Strahlungsversuch S im Mittel um 0,9 °C höher als im Versuch O. Beim Versuch BS unterscheiden sich die Hauttemperaturmittelwerte zu Versuch B im Mittel jedoch nur um 0,1 °C. Der Grund des geringen Unterschiedes ist die Minderung des Strahlungseinflusses durch die erhöhten Konvektion. Der Unterschied zwischen ES und E beträgt ebenfalls im Mittel 0,9 °C und der Unterschied des Bestrahlungsversuchs BES zu den Temperaturmittelwerten im Versuch BE beträgt 0,6 °C.

Nach Simon (2000) liegt die mittlere Hauttemperatur im behaglichen Bereich des

unbekleideten Menschen bei 33 - 34 °C. Nach McIntyre (1981) beträgt die mittlere Hauttemperatur bei thermischer Behaglichkeit etwa 34 °C. McIntyre definiert die Behaglichkeitstemperatur der Luft für einen sitzenden Menschen, der leicht bekleidet ist (Hemd, kurze Unterhose, lange Baumwollhose) bei einer geringen Luftbewegung (unter 0,5 m/s) und einer relativen Luftfeuchte von 50 % bei etwa 25 - 26 °C. Nach Simon (2000) sinken jedoch mit zunehmender körperlicher Aktivität die Behaglichkeitstemperaturen der Haut zu kühleren Temperaturen.

Ein unterschiedlicher Einfluss durch die Wärmeisolierung der Bekleidung auf die Temperatur- und Feuchtwerte kann ausgeschlossen werden, da von den Probanden immer dieselbe Bekleidung getragen wurde. Alle Probanden trugen eine standardisierte 100 % Baumwollkleidung mit einem effektiven Wärmewiderstand von ca. 0,7 clo. Dies entspricht nach Höppe (1984) einem Wärmedurchgangswiderstand von 0,124 m<sup>2</sup>K/W. Nach Simon (2000) besteht die Isolationswirkung der Kleidung auf den in den Textilien eingeschlossenen kleinen Lufträumen, in denen keine nennenswerte Konvektion auftreten kann. Die Wärme wurde dort nur konduktiv über die schlecht wärmeleitende Luft weitertransportiert.

Ähnlich wie die Körperkerntemperatur verhält sich die Hautbenetzung. In den Versuchen nach Fahrradergometerbelastung sinken die mittleren Feuchtwerte um 33 %, die Feuchtwerte ohne vorherige Fahrradergometerbelastung sinken um 6 %. Der Belüftungseffekt des Autositzes ist deutlich durch die vermehrte Abtrocknung der Haut an den Stellen zu erkennen, die dem Sitzbereich direkt anliegen. Daher wird hier lediglich die Benetzung an Gesäß und Rücken diskutiert. Bei den anderen gemessenen Stellen ergaben sich keine signifikanten Feuchteveränderungen in Abhängigkeit von der Belüftung des Sitzes. Die Abtrocknung ist bei belüfteten Versuchen nach Ergometerbelastung um 19 % bis 38 % größer als bei den unbelüfteten Versuchen. Damit ist die zusätzliche Abtrocknungswirkung durch Belüftung des Autositzes signifikant und auch relevant. Ohne Ergometer beträgt dieser Unterschied von belüfteten zu unbelüfteten Versuch lediglich 4% bis 7 %, was durch fehlende Transpiration auch zu erwarten war.

Zur Abkühlung der äußeren Hautschichten wird den Probanden durch Schweißverdunstung Wärme entzogen. Bei körperlicher Belastung ist dieser Wasser-

verlust eine bedeutende Komponente zur Regulierung des Temperaturhaushalts. Vergleicht man die Wasserverluste eines Mannes nach Fahrradergometerbelastung mit denen einer Frau mit gleichem Aktivitätsumsatz, so fällt die höhere Schweißrate des Mannes auf. Dies ist, nach Höpfe (1984), trotz der Tatsache, dass Frauen bei gleichen Körpertemperaturen weniger Schweiß produzieren als Männer, durch die hier vorliegenden höheren Kern- und Hauttemperaturen zu erklären, die sich wegen der höheren spezifischen metabolischen Rate (in  $W/m^2$ ) einstellen. Es verloren in den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung erwartungsgemäß die männlichen Probanden mit durchschnittlich 480 g mehr Gewicht bzw. mehr Wasser als ihre weiblichen Kolleginnen mit durchschnittlich 350 g. Dies war ein um 27 % höherer Wasserverlust. Auch in den Versuchen ohne Fahrradergometerbelastung verloren die männlichen Probanden mit 160 g mehr Gewicht als die weiblichen Probanden mit 100 g (38 % mehr). Vermehrte Wasserverluste (mehr Transpiration) ergeben sich bei den unbelüfteten Versuchen. So verdunsteten im Versuch BES 30 g, im Versuch BE 10 g und im Versuch BS 50 g weniger Wasser als in den unbelüfteten Versuchen ES, E und S. Der Kontrollversuch O zeigt keinen Unterschied zum reinem Belüftungsversuch B bei den Gewichtsverlusten.

Der größte Teil der Transpiration verdunstete. Ein Teil des produzierten Schweißes verblieb kurzzeitig in der Kleidung. Interessant ist die Tatsache, dass das Gewicht der Kleidungsstücke während der Versuche nicht zu- sondern abnahm. Die Kleidungsstücke müssen also während der Versuche getrocknet sein.

Zur allgemeinen physiologischen Überwachung der Probanden während der Versuche wurden die Herzfrequenz, der systolische und der diastolische Blutdruck stetig kontrolliert. Nach Nadler und Stolwijk (1977) steigt die Hautdurchblutung in Ruhe bei Hitzebelastung an. Der gesamte Blutdruck sinkt ab und das Herzzeitvolumen kann durch Zunahme der Herzfrequenz auf das Doppelte des Ruhewertes ansteigen. Ulmer (1985) definiert die Dauerleistungsgrenze für dynamische Arbeit mit mehr als 1/7 der Gesamtmuskelmasse für Untrainierte etwa bei einer Herzfrequenz von 130 Schlägen/Minute. Franz (1984) definiert den obersten Grenzwert des arteriellen Blutdrucks nach 100 Watt Fahrradergometerbelastung im Sitzen auf 200/100 mmHg. Die Mittelwerte der maximalen Blutdrücke aller Probanden in der Belastungsphase belaufen sich auf durchschnittlich

150/70 mmHg bei einer Herzfrequenz von durchschnittlich 120 Schläge/Minute. Ein absoluter Maximalwert des Blutdrucks ergab sich bei Proband 2 mit einem Blutdruck von 175/50 mmHg und einer Herzfrequenz von 142 Schlägen/Minute. Nach der Belastungsphase verhielten sich alle Blutdrücke und Herzfrequenzen normgerecht bei einem Blutdruck im Bereich von 120/80 mmHg und einer Herzfrequenz im Bereich von 60 – 80 Schlägen/ Minute. Es kann keine versuchsspezifische Änderung der Blutdruckwerte oder der Herzfrequenz aus den Ergebnissen abgeleitet werden.

Die thermische Behaglichkeit der Probanden hängt nach Simon (2000) von der Bekleidung, den Klimafaktoren und der körperlichen Aktivität ab. Da in den Fahrradergometerversuchen Aktivität und Bekleidung standardisiert wurden, kann die Behaglichkeit in Abhängigkeit von den Klimafaktoren beurteilt werden. Nach Gagge und Nishi (1976) sind die vier Klimafaktoren Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Strahlungstemperatur von Bedeutung. In unseren Versuchen wurden Lufttemperatur und Luftfeuchte konstant gehalten um die Behaglichkeit anhand der Windgeschwindigkeit bzw. der Ventilation zu untersuchen. Ventilation mit kühler Luft kann eine hohe thermische Belastung kompensieren.

In den Versuchen wurde folgender Zusammenhang zwischen thermischer Behaglichkeit, mittlerer Hauttemperatur und mittlerer Körperkerntemperatur festgestellt: Die Versuche, die am Ende der Expositionsphase mit „komfortabel/neutral“ für die thermische Behaglichkeit insgesamt von den Probanden bewertet worden sind, waren alle Strahlungsversuche BES, ES, BS und Versuch O. Dabei bestand eine durchschnittliche mittlere Hauttemperatur am Versuchsende von 32,8 °C und eine mittlere Körperkerntemperatur von 37,0 °C. Der Versuch, der mit „leicht warm“ am Ende der Expositionsphase beurteilt wurde, ist der Strahlungsversuch S. Der Versuch begann im „komfortablen“ Bereich mit einer Hauttemperatur von 32,9 °C und einer Körperkerntemperatur von 37,2 °C und steigerte sich dann am Ende auf eine Hauttemperatur von 33,8 °C bei einer Körperkerntemperatur von 37,1 °C. Die Versuche, die am Versuchende mit „leicht kühl“ beurteilt wurden, waren die Versuche nach Fahrradergometerbelastung BE und E. Dabei bestand eine durchschnittliche mittlere Hauttemperatur am Versuchende von 32,3 °C und eine mittlere Körperkerntemperatur von 37,1 °C. Die Versuche, die am Ende der Expositionsphase von den Probanden mit „komfortabel/neutral“ für die thermische Behaglichkeit im Sitzbereich

bewertet wurden, waren die Versuche BEH, E, BS und O. Die Hauttemperaturen repräsentierten damit sehr gut die subjektiven Bewertungen der thermischen Behaglichkeit.

Die Bewertung der Feuchte insgesamt wurde von allen Probanden während der Versuche nach Fahrradergometerbelastung von anfangs „feucht“ bis am Ende der Versuche mit „trocken“ bewertet. Alle Versuche ohne Fahrradergometerbelastung wurden während der Versuche mit trocken beurteilt. Die Feuchtwerte aller gemessenen Körperstellen während der Versuche nach Fahrradergometerbelastung nahmen ab. Alle Hautfeuchten im Sitzbereich wurden am Ende der Expositionsphase mit „trocken“ bewertet. Die Versuche, die am Anfang der Expositionsphase mit „feucht“ bewertet wurden, waren die Versuche nach Fahrradergometerbelastung BES, BE, E und BEH. Durchschnittlich ergaben diese Versuche eine Hautfeuchte von 84,8 %. Der einzige Versuch, der am Anfang mit „leicht feucht“ bewertet wurde, ist der Versuch ES. Wichtiger ist jedoch die schnellere Abtrocknung der Hautfeuchten unter Belüftung vor allem in den Anfangsphasen der Versuche. So verlaufen die Feuchteabnahmen in allen Belüftungsversuchen, besonders nach Fahrradergometerbelastung, steiler und damit schneller als in den korrespondierenden unbelüfteten Versuchen.

Die Hautbenetzung überschritt teilweise weit die von Gagge et al. (1976) festgelegte Grenze der Behaglichkeit von 25 %. Nach Voigt (1990) müssen hier die Auswirkungen der Behaglichkeitsverschlechterung durch größere Konzentration kompensiert werden, um eine gleichbleibende Arbeitsleistung und Reaktionsgeschwindigkeit aufrechtzuerhalten. Hinzu kommt, dass die nasse Kleidung zu einer leichten Beweglichkeitseinschränkung führen und die Unfallgefahr erhöhen kann. Außerdem stellt der hohe Grad der Hautbenetzung verbunden mit der Abkühlung eine Disposition für rheumatische Erkrankungen und ein höheres Erkältungsrisiko dar.

Als Konsequenz aller durchgeführten Versuche und Auswertungen der Beurteilungen der Probanden kann folgende Aussage gemacht werden: Der Einfluss der Autositzbelüftung auf die Körperkerntemperaturen ist bei bis zu 0,1 °C relativ klein, auch die Wasserverluste haben hier eine relativ geringe Bedeutung. Die Beurteilung

der Hautbenetzung durch die Probanden spielte eine wichtigere Rolle. So wurde von den Probanden die schnelle Abtrocknung der Haut und der Bekleidung als ein positiver Effekt gewertet. Negativ wurde anfangs das kühlere Empfinden nach Transpiration auf dem belüfteten Autositz beurteilt. Dies konnte nicht einmal durch die Bestrahlung mit 1000 Watt kompensiert werden. Als Zusatz ist noch zu bemerken, dass die Bestrahlung ohne Belüftung zu einer leichten thermischen Unbehaglichkeit in der anderen Richtung „etwas zu warm“ führte. Positiv wurde die angeschaltete Sitzheizung nach Transpiration und mit Belüftung bewertet (Versuch BEH).

Da die Körperkerntemperatur über dem Grenzwert der körperlichen und geistigen Beeinträchtigung liegt, kann nicht von einer Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit auf Grund der Versuche, besonders der Belüftungsversuche, geschlossen werden. In Bezug auf Körperkern- und Körperschalentemperatur, wie auch der Hautbenetzung, besteht durch die Belüftung des Autositzes keine Gesundheitsgefahr für die Probanden.

## 5 Zusammenfassung

In Versuchen mit einem belüfteten Autositz wurden die physiologischen Auswirkungen unterschiedlicher Expositionen unter thermisch gemäßigten Umgebungsbedingungen (Lufttemperatur 22,2 °C, rel. Feuchte 49,0 %, Luftgeschwindigkeit 0,24 m/s) mit und ohne vorrangegangene Fahrradergometerbelastung mit 100 Watt untersucht. Ziel der Studie war die Erfassung des Belüftungseffekts des Autositzes auf die Probanden. Der im Rahmen dieser Arbeit erstellte Versuchsaufbau ermöglichte die Erfassung der wesentlichen Belastungs- und Beanspruchungsgrößen, wie z.B. der Körperkerntemperatur, der mittleren Hauttemperatur, der Herzfrequenz, des Blutdruckes und dem Grad der Hautbenetzung. An den Versuchen nahmen acht Probanden teil, vier männliche und vier weibliche, die insgesamt je 9 Versuche mit unterschiedlichen Konditionen durchlaufen mussten. Diese Konditionen waren eine 30-minütige Fahrradergometerbelastung mit 100 Watt, die Bestrahlung durch zwei Strahler mit insgesamt 1000 Watt und die Autositzbelüftung mit einer mittleren Luftgeschwindigkeit von  $60 \pm 20$  mm/s. Zusätzlich konnte eine Sitzheizung eingeschaltet werden. Die subjektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit insgesamt und im Sitzbereich wie auch des Feuchteempfindens insgesamt und im Sitzbereich wurden die subjektive Beurteilung während der Expositionsphase von den Probanden erfragt.

Im wesentlichen ergab die Studie:

- 1) Die Körperkerntemperatur fällt teilweise auf Grund inneren Wärmetransportes zur Körperschale durch vorherige Fahrradergometerbelastung und nicht primär durch die Belüftung des Sitzes. Die Belüftung durch den Sitz verminderte die Körperkerntemperatur nur um 0,1 °C.
- 2) Die mittlere Hauttemperatur steigt auf Grund des inneren Wärmetransports vom Körperkern. Eine Belüftung der oberflächlichen Hautpartien erbringt eine Temperaturabnahme nach Fahrradergometerbelastung um 1,0 °C und ohne Fahrradergometerbelastung um 0,7 °C.
- 3) Die schnelle Abnahme der Hautbenetzung während der Belüftung an den Hautpositionen im Sitzbereich ist größer als die der Hautfeuchten an Positionen, die nicht am Sitz anliegen.
- 4) In den belüfteten Versuchen nimmt die Hautbenetzung erheblich schneller ab als in den korrespondierenden unbelüfteten Versuchen.

- 5) Subjektiv wurde die thermische Behaglichkeit am Ende der Belüftungsversuche durchschnittlich als „leicht kühl“ beurteilt. Dies kann aber durch die Bestrahlung der 1000 Watt Strahler zu „komfortabel/neutral“ kompensiert werden. Die thermische Behaglichkeit im Sitzbereich nach Belüftung wurde durchschnittlich ebenfalls mit „leicht kühl“ bewertet. Dieses Urteil konnte mittels Sitzheizung kompensiert werden.
- 6) Die Beurteilung der Hautfeuchte wurde im Sitzbereich wie auch insgesamt am Ende der Versuche mit „trocken“ beurteilt. Dabei trocknen die Hautoberflächen vom Beurteilungsgrad „nass“ in den Versuchen mit Fahrradergometerbelastung bis „trocken“ sowohl im Sitzbereich als auch insgesamt ab. Die Sitzbelüftung hat auf die Trocknung der Hautoberfläche in der subjektiven Beurteilung der Probanden nur am Ende der Versuche keinen besonderen Effekt. Während der Versuche ergibt sich ein positiver Effekt auf die Probanden durch die vermehrte und schnellere Abtrocknung.

Durch den relativ geringen Einfluss der Autositzbelüftung auf die Körpertemperaturen und die Wasserverluste kann von keinem gesundheitsgefährdenden Effekt durch die Autositzbelüftung ausgegangen werden. Die teilweise durch die Sitzbelüftung aufgetretene thermische Unbehaglichkeit kann durch die integrierte Sitzheizung kompensiert werden.

## **Literaturverzeichnis:**

- Arminger G, Bommert K, Bonne T (1995) Einfluss der Witterung auf das Unfallgeschehen. In: Abschlussbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen (5/1995), Forschungsprojekt FP 8901 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Wuppertal
- Aschoff J (1971) Energiehaushalt und Temperaturregulation. Urban und Schwarzenberg, München
- DuBois, DEF (1915) The measurement of surface area of man. Arch. Intern. Med. 15, 868 -881
- Franz I W (1984) Fahrradergometrie bei Hochdruck- und Koronarkranken in der täglichen Praxis. Springer, Berlin-Heidelberg-New York
- Gagge AP, Nishi Y (1976) Physical indices of the thermal environment. ASHRAE J (1), 47-51
- Holmer I (1993) Work in the cold. Occupational and Environmental Health, Springer, 65, 147-155
- Höppe P (1984) Die Energiebilanz des Menschen. Wiss. Mitteilung Nr. 49, Meteorologisches Institut der Universität München
- Jendritzky G (1981) A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 29, 313-326
- Jessen C (1985) Thermal afferents in the control of body temperature. Pharmacol Ther 28, 107-134
- Jessen C (1996) Temperaturregulation und Wärmehaushalt. In: Lehrbuch der Physiologie, Klinke/Silbernagel, Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York
- McIntyre DA (1981) Design requirements for a comfortable environment. In: Cena K, Clark JA (Hrsg.) Bioengineering, thermal physiology and comfort. Elsevier, Amsterdam, 195-220
- Nadler ER, Stolwijk JAJ (1977) Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation. J. appl. Physiol. 4, 133-137
- Simon E (2000) Wärmehaushalt und Temperaturregulierung In: Physiologie des Menschen, Schmidt/Thews (Hrsg.), Springer Verlag, Berlin, 649 - 671
- Simon E, Pierau F K, Taylor DCM (1986) Central and peripheral thermal control of effector in homeothermic temperature regulation. Physiol. Rev. 66, 235-300
- Ulmer H V (1985) Physiologische Grundlagen menschlicher Arbeit. In: Reichel G, Bolt HM, Hettinger T, Selekta F, Ulmer H-V, Ulmer WT (Hrsg.) Grundlagen der Arbeitsmedizin, Kohlhammer, Stuttgart
- Voigt B (1990) Arbeitsmedizinische Erfahrung und Anforderungen an Waldarbeiterschutzbekleidung, KWF-Bericht 9, 52-64, Groß-Umstadt

## **Danksagung**

Mein Dank gilt dem Leiter des Instituts und der Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München, Prof. Dr. med. D. Nowak, für die Möglichkeit an seinem Institut diese Dissertation anzufertigen.

Ganz besonders herzlich bedanke ich mich bei meinem Betreuer PD. Dr. Dr. P. Höpfe für seine freundliche und hilfsbereite Unterstützung und für die Überlassung sämtlicher Instrumente und Geräte.

Ebenfalls bedanke ich mich ganz herzlich bei Johannes Tschöp, der wissenschaftlichen Hilfskraft.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Probanden für die zuverlässige und rege Mitarbeit, ohne die diese Doktorarbeit nicht entstanden wäre.

Ein ganz besonderer Dank geht an die Firma W.E.T. für die Unterstützung und die Überlassung des Belüftungssitzes.

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: Schmitz  
Vorname: Eva Susanne  
Geboren: 08.02.1973 in München  
Konfession: evangelisch  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig

### Ausbildung

September 1979 - 1983 Grundschule Karlsfeld, München  
September 1983 – 1984 Volksschule Teisendorf, Berchtesgadener Land  
September 1984 - 1993 Gymnasium Laufen, Abitur 1993  
September 1993 -1995 Ausbildung zur Arzthelferin, Wallner Schulen, München  
Arzthelferinnenbrief 1995  
November 1995 - 1996 Anstellung im Institut für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig Maximilians Universität, München  
Mai 1996 Medizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität  
März/April 1999 Physikum  
Mai 2000 Medizinstudium an der Technischen Universität München  
August 2000 1. Staatsexamen  
April 2002 2. Staatsexamen  
Mai 2003 3. Staatsexamen

### Famulaturen

Juli 1995 - 1996 Sterbebegleitung einer moribunden Patientin bei Dr. Langes, Bogenhausen  
September 1995 Pflegepraktikum, Krankenhaus Traunstein  
März 1998 Famulatur: Krankenhaus der Barmherzigen Brüder, München  
Juli 1998 Famulatur: Internistische Praxis Dr. Betzl, München  
Oktober 1999 Famulatur: Chirurgie, Krankenhaus Traunstein  
September 2000 Famulatur: Gynäkologie, Krankenhaus Bad Reichenhall  
März 2001 Famulatur: Orthopädie, Mercy Community Hospital, Havertown in Philadelphia, Pennsylvania, USA

### Praktisches Jahr

1. Terial: Innere – Klinikum Traunstein, Deutschland
2. Terial: Chirurgie – Kantonsspital Schaffhausen, Schweiz
3. Terial: Anästhesie – Klinikum Traunstein, Deutschland

# Anlage

<input type="checkbox"/>	Bestrahlung
<input type="checkbox"/>	Belüftung
<input type="checkbox"/>	Ergometer

## MESSPROTOKOLL: AUTOSITZ

Datum: \_\_\_\_\_ Uhrzeit: \_\_\_\_\_  
 Testperson: \_\_\_\_\_ Datensatz: \_\_\_\_\_  
 Klimakammer: Temp.: \_\_\_\_\_ Raum: \_\_\_\_\_ °C  
 Feuchte: \_\_\_\_\_ %

Zeit	THERM. BEHAGLICHKEIT		HAUTFEUCHTE		BEMERKUNGEN	HF	RR sys	RR dia
	INSGESAMT	SITZBEREICH	INSGESAMT	SITZBEREICH				
0								
10								
20								
30								
0								
10								
20								
30								
40								
50								
60								
70								
80								
90								

WÄGUNG:	Proband	Kleidung
vorher		
nachher		
Δ-Gewicht		

**BEMERKUNGEN:**