

Einfluss von beheizten Autositzen und moderatem Fahrradfahren auf die Skrotaltemperatur

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Humanmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus Liebig Universität Gießen

vorgelegt von Philipp Strauß
aus München

Gießen 2008

Aus dem medizinischen Zentrum für Dermatologie und Andrologie
des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen

Ausbildungszentrum der Europäischen Akademie für Andrologie

Kommissarischer Leiter: Prof. Dr. M. Goebeler

Gutachter: Herr PD Dr. Jung

Gutachter: Herr Prof. Dr. Steger

Tag der Disputation: 30.03.2009

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Philipp Strauß

Folgende Teile der vorliegenden Arbeit wurden bereits veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht:

Publikationen

1. Jung, A., Strauss, P., Lindner, H.-J. and Schuppe, H.-C. (2008) Influence of heating car seats on scrotal temperature. *Fertility and Sterility* 90, 335-339.
2. Jung, A., Strauss, P., Lindner, H.-J. and Schuppe, H.-C. (2008) Influence of moderate cycling on scrotal temperature. *International Journal of Andrology* 31, 403-407.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1	Spermatogenese und Regulation der Hodentemperatur	1
1.2	Bestimmung der Skrotal- bzw. Hodentemperatur	2
1.3	Auswirkungen perigenitaler Isolation und massiver exogener Wärmezufuhr auf die Skrotaltemperatur	2
1.3.1	Tragen enger genitaler Bekleidung bzw. eines Suspensoriums	3
1.3.2	Saunagang	5
1.3.3	Heißes Vollbad	6
1.3.4	Berufliche Hitzeexposition	6
1.3.5	Weitere Möglichkeiten exogener Wärmezufuhr	7
1.4	Auswirkungen eingeschränkter perigenitaler Luftzirkulation und körperlicher Inaktivität auf die Skrotaltemperatur	8
1.4.1	Skrotaltemperaturen bei körperlicher Ruhe im Schlaf	8
1.4.2	Langes Sitzen im Vergleich mit körperlicher Aktivität	9
1.4.3	Sitzen auf verschiedenen Stühlen	12
1.4.4	Berufliche Wärmeexposition durch Sitzen im Auto	13
1.4.5	Sitzen und zusätzliche exogene Wärmezufuhr	14

2. Zielsetzung der Studie

2.1	Welche Auswirkung hat das Sitzen auf einem beheizten Autositz auf die Skrotaltemperatur ? (<i>Experiment I</i>)	17
2.2	Welche Auswirkung hat moderates Fahrradfahren auf die Skrotaltemperatur ? (<i>Experiment II</i>)	17

3. Materialien und Methoden

3.1	Auswahl der Probanden	19
3.1.1	<i>Experiment I</i>	19
3.1.2	<i>Experiment II</i>	19
3.2	Beschreibung des Messvorgangs	20
3.2.1	<i>Experiment I</i>	20
3.2.2	<i>Experiment II</i>	21
3.3	Plan der Datenauswertung und statistische Analyse	22
3.3.1	<i>Experiment I</i>	22
3.3.2	<i>Experiment II</i>	23
3.4	Aufklärung und Aufwandsentschädigung	24

4. Ergebnisse

4.1	Deskriptive Auswertung der Ergebnisse	25
4.1.1	<i>Experiment I</i>	25
4.1.1.1	Mittlere Temperaturen für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung	25
4.1.1.2	Temperaturen der einzelnen Probanden für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung	27
4.1.1.3	Analyse der ersten und letzten 20 Minuten des Sitzens mit und ohne Sitzheizung	32
4.1.2	<i>Experiment II</i>	42
4.1.2.1	Mittlere Temperaturen für das Fahrradfahren	42
4.1.2.2	Temperaturen der einzelnen Probanden für das Fahrradfahren	43
4.1.2.3	Analyse der ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens, sowie der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung	46

4.2	Varianzanalyse	56
4.2.1	<i>Experiment I (Manova mit den Faktoren Heizung, Skrotalseite und Periode)</i>	56
4.2.1.1	Vergleich des Sitzens mit und ohne Heizung	57
4.2.1.2	Vergleich der linken und rechten Skrotalseite	58
4.2.1.3	Vergleich der Periode der ersten und letzten 20 Minuten	58
4.2.1.4	Interaktion zwischen den Faktoren Heizung und Periode	59
4.2.2	<i>Experiment II</i>	64
4.2.2.1	Manova mit den Faktoren Periode (erste, mittlere und letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens) und Skrotalseite (links und rechts)	64
4.2.2.1.1	Vergleich der Ausprägungen des Faktors Periode	65
4.2.2.1.2	Vergleich der Ausprägungen des Faktors Seite	66
4.2.2.2	Manova mit den Faktoren Periode (erste 20 Minuten des Fahrradfahrens und letzte 20 Minuten des Sitzens ohne Heizung) und Skrotalseite	67
4.2.2.2.1	Vergleich der Ausprägungen des Faktors Periode	68
4.2.2.2.2	Vergleich der Ausprägungen des Faktors Seite	69
4.2.2.3	Manova mit den Faktoren Periode (letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens und 41.-60. Minute des Sitzens ohne Heizung) und Skrotalseite	70
4.2.2.3.1	Vergleich der Ausprägungen des Faktors Periode	71
4.2.2.3.2	Vergleich der Ausprägungen des Faktors Seite	72

5. Diskussion

5.1	<i>Experiment I</i>	74
5.2	<i>Experiment II</i>	82
5.3	Abschließende Betrachtungen	88

6. Zusammenfassung

6.1	Deutsch	90
6.1.1	<i>Experiment I</i>	90
6.1.1.1	Materialien und Methoden	90
6.1.1.2	Ergebnisse	91

		IV
6.1.2	<i>Experiment II</i>	92
6.1.2.1	Materialien und Methoden	92
6.1.2.2	Ergebnisse	93
6.1.3	Abschließende Bewertung der Ergebnisse der Experimente I und II	94
6.2	Englisch	94
6.2.1	<i>Experiment I</i>	95
6.2.1.1	Materials and Methods	95
6.2.1.2	Results	95
6.2.2	<i>Experiment II</i>	97
6.2.2.1	Materials and Methods	97
6.2.2.2	Results	97
6.2.3	Final Evaluation of the results of Experiment I and II	98
7.	Literaturverzeichnis	99
8.	Anhang	
	Danksagung	103

1. Einleitung

1.1 Regulation der Hodentemperatur und ihre Bedeutung für die Spermatogenese

Bei den meisten Säugetieren besteht die Hauptfunktion des Skrotums darin, die Hodentemperatur auch bei wechselnden Umgebungstemperaturen konstant zu halten, um die Testes vor hohen Temperaturen zu schützen (Waites, 1991). Die ungestörte Spermatogenese ist nämlich auf Temperaturen angewiesen, welche um etwa zwei Grad Celsius niedriger sind als die Körperkerntemperatur (Mieusset & Bujan, 1995; Setchell & Mieusset, 1996). Deshalb liegen die Testes intraskrotal und nicht intraabdominell. Dies gilt für den Menschen und fast alle Säugetiere. Fukui (1923) und Moore & Quick (1924) zeigten, dass bei einem Hodenhochstand, den sie tierexperimentell herbeigeführt hatten, eine Störung der Spermatogenese durch eine transkutane Kühlung verhindert bzw. eingeschränkt werden konnte. Außerdem fanden Moore & Quick (1924) sowie später Mieusset et al. (1992) in einem Tierexperiment mittels wärmeisolierender Skrotalsuspensorien, dass eine chronische Wärmeeinwirkung auf das Skrotum zu einer Schädigung der Spermatogenese führt. Auch eine kurzzeitige Hitzeexposition mit Temperaturen oberhalb der Körperkerntemperatur führte bei verschiedenen Tierarten zu einer Hemmung der Spermatogenese. Wie Kandeel et al. (1988) zeigten, kann es dabei bis zur Azoospermie kommen.

Über die Skrotalhaut kann es zu einer Wärmeabgabe an die Umgebung kommen. Dies funktioniert besonders gut, weil der Abstand zwischen Hoden und Oberfläche bei fehlendem subkutanem Fettgewebe nur wenige Millimeter beträgt. Darüber hinaus besitzt das Skrotum die Fähigkeit durch eine Entspannung des Musculus cremaster seine Oberfläche zu vergrößern, sowie durch Schwitzen Verdunstungskälte zu erzeugen (Candas et al., 1993). Von der Skrotaloberfläche wird Wärme direkt an kältere Umgebungsluft abgegeben. Luft als umgebendes Medium ist jedoch ein schlechter Wärmeleiter, so dass erst durch bewegungsbedingten regelmäßigen Luftaustausch eine gute Wärmeabgabekapazität an die Umgebung erreicht wird. Dies ist aber beim Menschen auf Grund der Bekleidung und mangelnder Bewegung oft nicht der Fall. Bei längerer körperlicher Ruhe, wie Sitzen oder Schlafen, kommt es dann zu einer testikulären Überwärmung, so dass die erforderliche Differenz zwischen Skrotal- und Körperkerntemperatur nicht mehr gegeben ist (Jung, 2001).

Zusätzlich zu den Vorteilen, welche die intraskrotale Lage der Testes bietet, tragen weitere

Kühlmechanismen zur Aufrechterhaltung der für die Spermatogenese optimalen Temperaturverhältnisse bei. Zum einen kommt es zu einer Vorkühlung des arteriellen, den Hoden versorgenden Blutes durch das kühlere venöse Blut des Plexus pampiniformis, und zwar im Sinne eines Gegenstromprinzips. Die Arteria testicularis, welche im Samenstrang stark geschlängelt verläuft, ist vom Venengeflecht des Plexus pampiniformis umgeben, so dass es zu einem effizienten Wärmeaustausch zwischen arteriellem und venösem Blut kommt (Hundeiker, 1961; Lee et al., 1984). Dadurch kann das den Hoden erreichende Blut optimalerweise also fast bis auf die Temperatur des den Hoden verlassenden Blutes abgekühlt werden (Sorensen et al., 1991).

1.2 Bestimmung der Skrotal- bzw. Hodentemperatur

Die Hodentemperatur korreliert sehr gut mit der Skrotaltemperatur. Dies haben Hjollund et al. (2002a), Kurz & Goldstein (1986) sowie Zorgniotti & McLeod (1973) festgestellt. Deshalb kann man sich bei Untersuchungen auf die Bestimmung der Skrotaltemperatur beschränken. Wie Jockenhövel et al. (1990) zeigten, lässt sich die Skrotaltemperatur ortsunabhängig und ohne wiederholtes Entkleiden der Probanden unter Alltagsbedingungen mittels an der Skrotalhaut fixierter Thermo-Sonden, welche mit einem tragbaren Minidatenrekorder gekoppelt sind, aufzeichnen. Eine mit dieser Methode durchgeführte dynamische Messung der Skrotaltemperatur liefert gute Rückschlüsse auf den Verlauf der Hodentemperatur. Diese lässt sich zwar auch transkutan mittels Mikrowellenthermographie bestimmen (Gazvani et al., 2000; Yamaguchi et al., 1989), welche jedoch nicht die Vorteile der oben genannten Methode bietet und deswegen aus Gründen der Praktikabilität überholt ist.

1.3 Auswirkungen perigenitaler Isolation und massiver exogener Wärmezufuhr auf die Skrotaltemperatur

Verschiedene Mechanismen können zu einer testikulären Überwärmung führen: Zum einen eine perigenitale Isolation, welche dazu führt, dass es nicht zu einem regelmäßigen perigenitalen Luftaustausch mit skrotaler Wärmeabgabe an die Umgebung kommt, zum anderen massive exogene Wärmezufuhr. In jedem Fall kommt es dann zur skrotalen Wärmeaufnahme. Im Folgenden sollen Untersuchungsergebnisse zu Situationen dargestellt

werden, in welchen diese Mechanismen zum Tragen kommen und die somit zu einer erhöhten Skrotaltemperatur führen.

1.3.1 Tragen enger genitaler Bekleidung bzw. eines Suspensoriums

Mehrere Studien unterschiedlichster Versuchsanordnung befassen sich mit dem Einfluss enger und wärmeisolierender bzw. weiter, den perigenitalen Luftaustausch nicht behindernder Unterhosen und Hosen auf die Skrotaltemperatur bzw. Samenqualität.

Lynch et al. (1986) untersuchten 128 Patienten mit Oligozoospermie und Kinderwunsch. Ihnen wurde geraten, für einen Zeitraum von 3 Monaten auf das Tragen enger Unterhosen sowie heiße Bäder zu verzichten. Nach drei Monaten fand sich ein signifikanter Anstieg der Spermatozoendichte ($P < 0,05$).

Laven et al. (1988) befragten 56 infertile Patienten anamnestisch hinsichtlich einer Wärmeexposition bei der Arbeit und während der Nacht. Für die Zeit des Schlafens wurden das Tragen von Unterwäsche, das Benutzen einer Heizdecke bzw. einer Daunendecke berücksichtigt. Ausschlusskriterien waren eine Varicocele, Erkrankungen in den vorausgehenden drei Monaten sowie gesteigerter Alkohol- oder Nikotinkonsum. Die Anzahl der motilen Spermatozoen war bei den Patienten, die beruflich bzw. während der Nacht vermehrt wärmeexponiert waren, signifikant vermindert.

Sanger und Friman (1990) ließen in ihrer Studie zwei gesunde Männer 1 Jahr lang jeweils nach 3 Monaten den Typ der getragenen Unterhosen, eng oder weit, wechseln. Während des Tragens weiter Unterhosen zeigten sich für Dichte und Motilität der Spermatozoen um 15% höhere Werte.

Auch in der Arbeit von Tiemessen et al. (1996) trugen die 20 Probanden enge bzw. weite Unterhosen, jeweils für 6 Monate. Auch hier zeigten sich für die Zeiten des Tragens weiter Unterhosen signifikant bessere Werte für die Spermatozoendichte ($P < 0,05$) und -motilität ($P < 0,005$).

Zorgniotti et al. (1982) untersuchten die Skrotaltemperatur von 40 Probanden mittels beidseits am Skrotum fixierter Thermosensoren. Dabei fand sich ein Temperaturunterschied von 1,2 bis 1,5°C zwischen dem Tragen von Kleidung (Hose und Unterhose) und dem Fehlen von genitaler Bekleidung. Der Vergleich der Skrotaltemperaturen der Männer, die Jockey Shorts trugen mit denen, die Boxer Shorts trugen, ergab keinen Unterschied.

In einer Studie von Jung et. al. (2004), die im Abschnitt 1.4.2 hinsichtlich eines anderen Aspekts noch einmal dargestellt wird, wurde auch der Einfluss genitaler Bekleidung auf die Skrotaltemperatur untersucht. Dabei absolvierten 50 Probanden (unauffälliger andrologischer Befund nach WHO-Richtlinien; WHO, 2000) in einem klimatisierten Raum (20°C; Beginn zwischen 13.15 und 13.50 Uhr) ein standardisiertes Programm mit 6 Abschnitten von jeweils 45 Minuten Dauer. Die Hälfte der Abschnitte bestand aus moderatem Gehen auf einem Laufband mit einer Geschwindigkeit von 3,0 km/h, die andere aus Sitzen mit rechtem Winkel in Hüften und Knien sowie Fixierung der Beine aneinander durch Bänder oberhalb und unterhalb der Knie. Die Probanden trugen beim Gehen bzw. Sitzen (Zeitabfolge randomisiert) jeweils abwechselnd den gleichen Typ (Größe entsprechend den Körperproportionen) von engen (Jockey Shorts, 100% Baumwolle) und weiten Unterhosen (Boxer Shorts, 100% Baumwolle), sowie keine Unterhosen. Die übrige Kleidung war ebenfalls standardisiert und bestand aus einer Baumwollhose und zwei übereinander getragenen Baumwollshirts. Während der gesamten Versuchszeit wurden mittels beidseits skrotal fixierter Thermosensoren jede Minute die Skrotaltemperaturen gemessen und von einem tragbaren Datenrekorder aufgezeichnet.

Für den Abschnitt des Gehens von 45 Minuten fanden sich für das Tragen von Jockey Shorts die höchsten Skrotaltemperaturen (rechts: 34,9°C, links: 35,1°C). Beim Tragen von Boxer Shorts ergaben sich für die rechte bzw. linke Seite Temperaturen von 34,4 bzw. 34,8°C und für das Laufen ohne Unterhose von 33,9 bzw. 34,2°C. Die Differenz zwischen dem Tragen von Boxer- und Jockey-Shorts betrug demnach 0,5 (rechts) bzw. 0,3°C (links), die zwischen dem Tragen keiner Unterhose und von Jockey Shorts 1,0 (rechts) bzw. 0,89°C (links).

Auch beim Sitzen wurden für das Tragen von Jockey Shorts mit 36,5 bzw. 36,6°C für die rechte bzw. linke Seite die höchsten Temperaturen gemessen. Beim Tragen von Boxer Shorts bzw. dem Sitzen ohne Unterhose wurden Temperaturen von 36,3°C (rechts) und 36,4°C (links) bzw. 36,2°C (rechts) und 36,4°C (links) gemessen. Die Skrotaltemperaturwerte für das Sitzen unterscheiden sich insgesamt nur wenig, und zwar unabhängig von der genitalen Bekleidung. Die Temperaturen (Mittelwerte, berechnet aus den individuellen Medianen) wurden aus Tabelle 1, Jung et al. 2004, entnommen.

Jung (2004, Habilitationsschrift) kommt zu dem Ergebnis, dass enge genitale Bekleidung also vor allem bei körperlicher Aktivität als ein Faktor betrachtet werden muss, der eine genitale Überwärmung begünstigt bzw. eine deutliches Absinken der Skrotaltemperatur auf unter 35°C erschwert.

Als eine Sonderform genitaler Isolation, welche im Alltag sonst keine Rolle spielt, untersuchten einige Autoren den Einfluss wärmeisolierender Suspensorien auf die Skrotaltemperatur bzw. Samenqualität.

Bei Rock und Robinson (1965) trugen sieben normozoosperme Probanden ein Suspensorium für 6 Wochen. Dabei wurde eine Temperaturerhöhung von $1,0^{\circ}\text{C}$ festgestellt. Die niedrigsten Werte für die Spermatozoendichte wurden 5-9 Wochen nach Beginn der Exposition mit Werten um 15 Mio./ml erreicht.

Die bisher umfassendste Studie zu wärmeisolierenden Suspensorien wurde von Wang et al. (1997) durchgeführt. 21 Probanden mit Normozoospermie trugen 52 Wochen lang ein mit bis zu zwei Polyesterschichten wärmeisoliertes Suspensorium. Die Verwendung der Suspensorien führte im Vergleich zu Tragen von Unterwäsche zu einem Temperaturanstieg von $0,8-1,0^{\circ}\text{C}$. Zur Temperaturmessung wurden keine Skrotaltemperaturprofile erhoben. Während der Wärmeexposition fanden Wang et al. keinerlei statistisch signifikante Veränderungen der Samenqualität.

1.3.2 Saunagang

Bei 12 Probanden mit Normozoospermie, die sich innerhalb von zwei Wochen ca. 6-8 mal für ca. 15,3 Minuten in einer $77-90^{\circ}\text{C}$ heißen Sauna aufhielten, kam es nach 4-6 Wochen zu einer Halbierung der Spermatozoengesamtzahl (Procopé, 1965). Auch die Spermatozoenmotilität war beeinträchtigt. Eine statistische Auswertung der Daten wurde nicht publiziert.

Die einmalige Exposition von 5 Probanden für 20 Minuten in einer 85°C heißen Sauna führte für 1-5 Wochen zu einer leichten Reduktion der Spermatozoengesamtzahl auf 60-70% der Ausgangswerte (Brown-Woodman et al., 1984).

Während eines Aufenthaltes in einer Sauna von 12 Minuten mit einer Raumtemperatur von 90°C kam es bei einem Versuch mit 10 Probanden zu einem Anstieg der Skrotaltemperatur auf $37,5^{\circ}\text{C}$ mit einer Spannweite von $36,0$ bis $40,5^{\circ}\text{C}$ (Jockenhövel et al., 1990).

Bei Saunagängen von mindestens 12 Minuten bei einer Temperatur von 90°C können somit Skrotal- bzw. Hodentemperaturen erreicht werden, welche der Körperkerntemperatur entsprechen. Solche Temperaturen werden in der Literatur mit einer Hemmung der Spermatogenese assoziiert. Bisher fehlt jedoch, wie Jung (2004, Habilitationsschrift) ausführt,

eine Studie zur genitalen Hitzebelastung im Rahmen von Saunagängen, welche eine solche Hemmung überzeugend belegt.

1.3.3 Heißes Vollbad

Wie Jung (Habilitationsschrift, 2004) in Anlehnung an Voegeli erwähnt, wurde von 1930-1950 in Indien die Anwendung heißer Sitzbäder als zuverlässige Kontrazeptionsmethode angesehen. Die Männer sollten sich zu Beginn täglich für drei Wochen einem 47°C heißen Sitzbad für 45 Minuten aussetzen und diese Prozedur alle sechs Monate wiederholen (Voegeli, 1956). Angaben zum Einfluss dieser Methode auf die Samenqualität liegen nicht vor.

Watanabe (1959) untersuchte in einer Arbeit mit 18 Probanden den Einfluss von heißen Bädern auf die Skrotaltemperatur. Dabei wurde eine spezielle Heizvorrichtung mit einem Wasserbad konstruiert, in welches das Skrotum zur selektiven Erwärmung eingebracht werden konnte. Bei einmaliger Anwendung des skrotalen Wasserbades mit Temperaturen von 43-47°C für 30 Minuten zeigte sich kein überzeugender Effekt auf die Samenqualität. Bei Ausdehnung der Expositionshäufigkeit auf bis zu 12 aufeinanderfolgende Tage kam es zu einem deutlichen Abfall der Spermatozoendichte auf unter 20 Mio./ml nach 5-12 Wochen mit anschließender Reversibilität.

Bei einem heißen Vollbad von 43°C fanden sich subkutan gemessene Skrotaltemperaturen von 40,5°C. Damit lag die Skrotaltemperatur deutlich über der Körperkerntemperatur (Rock & Robinson 1965).

1.3.4 Berufliche Hitzeexposition

Für Männer mit beruflicher Hitzeexposition gib es nur sehr vereinzelt Arbeiten, in denen kontinuierliche Skrotaltemperaturmessungen vorgenommen wurden.

Bonde (1992) berichtete in einer Arbeit über eine Gruppe von Schweißern, die mit Schweißarbeiten an Heizkesseln zu tun hatten und dabei Raumtemperaturen von 31-45° C ausgesetzt waren. Nach einer täglichen Exposition von fünf Stunden mit einem Anstieg der inguinalen Temperatur von 1,4° C über einen Zeitraum von sechs Wochen fand sich nur ein signifikanter Abfall der normal geformten Spermatozoen. Die Dichte und die Motilität der Spermatozoen waren ebenfalls beeinträchtigt, diese Veränderungen waren aber nicht

signifikant. Nach dem Absetzen dieser beruflichen Hitzeexposition waren alle beschriebenen Veränderungen der Samenqualität vollständig reversibel. Bei dieser Gruppe von Schweißern zeigte sich also kein signifikanter Einfluss auf die Samenqualität.

Hjollund et al. (2000) untersuchten in einer Arbeit mit 60 Männern mit Kinderwunsch, inwiefern sich die berufliche Tätigkeit auf die Skrotaltemperatur auswirkt. 38 der Männer waren Schweißer, bei denen man eine berufliche Wärmeexposition vermutete, eine andere Gruppe bestand aus wärmeexponierten Metallarbeitern. Bei Betrachtung der Skrotaltemperaturprofile dieser Männer ergaben sich jedoch für ebenfalls untersuchte andere Tätigkeiten ohne exogene Wärmezufuhr, die mit einer sitzenden Position verbunden waren, um 0,7°C höhere Skrotaltemperaturen als für die Tätigkeit des Schweißens mit angenommener Wärmeexposition. Eine Verbindung zwischen einem Anstieg der Skrotaltemperatur und dem Beruf des Schweißers ließ sich auch hier nicht herstellen.

Über den Einfluss anderer beruflicher Tätigkeiten mit Wärmeexposition (Heizer, Gießer, Bäcker u.a.) auf die Skrotaltemperatur ist, wie Jung (2003a) erwähnt, nichts bekannt.

1.3.5 Weitere Möglichkeiten exogener Wärmezufuhr

In einer Studie zur Auswirkung exogener Wärmezufuhr auf die Skrotaltemperatur wurde bei 14 Probanden eine 150-Watt Lampe benutzt, die in ca. 8 cm Abstand zum Skrotum für 30 Minuten täglich für zwei Wochen zur Anwendung kam (Robinson et al., 1968). Die Spermiedichte fiel nach 4-8 Wochen auf 50% der Ausgangswerte mit anschließender Erholung.

Publizierte Daten zur genitalen Wärmebelastung bei der Benützung von Solarien oder der Anwendung von Heizdecken liegen nicht vor.

Ebenso fehlen bisher publizierte Daten zum Thema der vorliegenden Arbeit, nämlich dem Einfluss der regelmäßigen Benutzung beheizter Autositze sowie dem Fahrradfahren mit moderater körperlicher Belastung auf den Verlauf der Skrotaltemperatur.

In einer Zusammenfassung der Ergebnisse der oben (1.3) beschriebenen Untersuchungen muss festgehalten werden, dass Angaben zur Skrotaltemperatur nicht in allen Arbeiten gemacht und Skrotaltemperaturprofile nur selten erhoben wurden. Einige Studien berichten jedoch über erzielte Skrotaltemperaturen, welche denen der Körperkerntemperatur

entsprechen oder sogar darüber liegen. Es kam meistens zu einer Verminderung der Samenqualität, jedoch nicht zu einer Azoospermie.

Die Ergebnisse der Arbeiten belegen jedoch durchwegs die ausgeprägte Temperaturempfindlichkeit der Spermatogenese.

1.4 Auswirkungen eingeschränkter perigenitaler Luftzirkulation und körperlicher Inaktivität auf die Skrotaltemperatur

1.4.1 Skrotaltemperaturen bei körperlicher Ruhe im Schlaf

In allen Studien, bei denen Skrotaltemperaturen über einen tragbaren Datenrekorder kontinuierlich aufgezeichnet wurden, ergaben sich beim Vergleich der nachts gemessenen und der tagsüber gemessenen Temperaturen signifikant höhere Werte nachts.

Jerchl et al. (1993) zeigten bei sechs Probanden, dass bei körperlicher Ruhe im Schlaf und üblicher wärmeisolierender Bettdecke die beiden am unteren Pol gemessenen Skrotaltemperaturwerte bei 35,5°C lagen. Während der Tagesaktivität fanden sich dagegen Werte von 34,6°C.

Etwas niedrigere Werte für die Schlafperiode (34,8°C) und für die Tagesperiode (33,3°C) fanden sich in einer Studie von Hjollund et al. (2000) mit 60 Probanden, bei denen zur Messung der Skrotaltemperatur ein einzelner Thermofühler jedoch nicht skrotal, sondern mittig an der Unterhose fixiert war.

Bei 10 Probanden fanden sich Werte von 35,7°C für die Schlafperiode und 34,8°C für die Tagesaktivität, wobei die Thermofühler beidseits skrotal seitlich über dem Hoden fixiert waren (Jung et al., 2001).

In einer Studie von Hjollund et al. (2002b) mit 101 Probanden wurden Skrotaltemperaturwerte über 24 Stunden kontinuierlich aufgezeichnet. Es fanden sich nachts Medianwerte der Temperaturen, welche um 1,2°C höher lagen als die tagsüber gemessenen Temperaturen (Meßmethode wie bei Hjollund et al., 2000).

Jung et al. (2003b) untersuchten in einer Studie 22 Patienten mit Oligozoospermie und 11 normozoosperme Kontrollpersonen. Dabei kombinierten sie die Erhebung von Skrotaltemperaturprofilen tagsüber und während der Nacht mit einer

Infrarotvideoaufzeichnung der Phase des Schlafens in einem Schlaflabor. Die Skrotaltemperaturen wurden während einer ersten Nacht, dem darauf folgenden Tag und der sich anschließenden zweiten Nacht mittels beidseits am Skrotum fixierter Thermosonden gemessen, die mit einem tragbaren Datenrekorder gekoppelt waren. Die Skrotaltemperaturen (Medianwerte) der Patienten betragen während der Nacht bzw. am Tag 35,86 bzw. 35,43°C, die der Kontrollpersonen 35,91 bzw. 34,96°C. Zwischen beiden Gruppen fand sich für die nächtlichen Temperaturen kein signifikanter Unterschied. Die tagsüber bei den Patienten gemessenen Temperaturen waren für die linke Seite signifikant höher als die der Kontrollpersonen (+0,70°C, $P < 0,05$), jedoch nicht für die rechte Seite (+0,30°C, $P > 0,05$). Die nächtlichen Temperaturen waren während der Phasen des Liegens auf der Seite signifikant höher als die während der Phasen des Liegens auf dem Rücken gemessenen Temperaturen (+0,65°C, rechte Seite, $P < 0,001$; +0,54°C, linke Seite, $P < 0,001$). Beim Betrachten von Seitenlage und Bauchlage ergab sich lediglich für die rechte Seite ein signifikanter Unterschied. Zwischen den Schlafpositionen Rückenlage und Bauchlage fanden sich keine Unterschiede. Jung (Habilitationsschrift, 2004) folgert, dass als Risikofaktor für nächtliche hohe Skrotaltemperaturen also vor allem das überwiegende Schlafen auf der Seite angesehen werden muss. Da jedoch in beiden Gruppen die Lage auf der Seite oder auf dem Rücken gleichermaßen die dominierende Schlafposition war, und sich somit hinsichtlich der Häufigkeit der eingenommenen Positionen zwischen beiden Gruppen kein Unterschied fand, sei dieser Faktor klinisch wahrscheinlich nicht relevant.

1.4.2 Langes Sitzen im Vergleich mit körperlicher Aktivität

Bujan et al. (2000) zeigten mittels skrotal beidseits fixierter Thermosensoren, die mit einem Datenrekorder gekoppelt waren, anhand von neun Probanden, dass die Skrotaltemperatur nach 3-stündigem Sitzen während einer Autofahrt im Vergleich zu einem davor bei 25-27°C Umgebungstemperatur durchgeführten 40-minütigen Spaziergang, mit annähernd 34,2°C Skrotaltemperatur (nach 40 Minuten), auf Werte von über 36°C anstieg.

Dies konnte Jung (2001) mittels vergleichbarer Methodik bei acht fertilen Probanden bestätigen. Nach einstündigem Sitzen während einer Autofahrt oder in Ruhe an einem Schreibtisch lag die Skrotaltemperatur beidseits mit 36°C um über 1,0°C höher als im Vergleich zu einem einstündigen Spaziergang mit unter 35°C. Nach 5-minütiger genitaler Entkleidung kam es zu einem deutlichen skrotalen Temperaturabfall auf Werte um 33,5°C.

In einer Studie mit 60 Probanden (bisher andrologisch nicht voruntersuchte Kinderwunschpatienten) zeigten Hjollund et al. (2000), dass Männer mit einer überwiegend sitzenden Tätigkeit im Vergleich mit Männern, die bei der Arbeit seltener saßen, um $0,7^{\circ}\text{C}$ höhere Skrotaltemperaturen aufwiesen. Tagsüber fanden sich während der Freizeit, verglichen mit der Arbeitszeit, höhere Skrotaltemperaturen. Eine Tendenz zu tagsüber höheren Skrotaltemperaturwerten im Sommer wurde beobachtet. Im Unterschied zu den anderen oben beschriebenen Untersuchungen platzierten Hjollund et al. (2000) die Thermofühler nicht skrotal, sondern lediglich einen einzelnen Messfühler mittig in der Transversalebene an der Unterhose. Deshalb fallen die Skrotaltemperaturprofilwerte dieser Arbeitsgruppe insgesamt etwas niedriger aus (Medianwert: $33,3^{\circ}\text{C}$ tagsüber bzw. $34,8^{\circ}\text{C}$ nachts). Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass eine überwiegend sitzende Tätigkeit eine erhöhte Skrotaltemperatur zur Folge haben kann, und ein nur moderater Anstieg der Skrotaltemperatur zu einer Reduktion der Spermatozoendichte führen kann.

In einer weiteren Untersuchung an 101 Probanden (unter Anwendung derselben Meßmethode), bei der neben dem Skrotaltemperaturprofil mittels Fragebogen die einzelnen Aktivitäten während des Messintervalls von 24 Stunden protokolliert wurden, konnten Hjollund et al. (2002b) die Bedeutung einer sitzenden Tätigkeit für erhöhte Skrotaltemperaturwerte bestätigen. Bei einer sitzenden Tätigkeit unter einer Stunde lag der Medianwert der Skrotaltemperatur bei $33,1^{\circ}\text{C}$, bei einer Dauer von über sechs Stunden wurden dagegen $34,7^{\circ}\text{C}$ erreicht. Interessanterweise korrelierte die Länge der Sitzperiode in der Freizeit nicht mit den gemessenen Skrotaltemperaturen. Hier zeigte sich keine signifikante Änderung der Skrotaltemperatur. Es wird jedoch eindeutig belegt, dass eine sitzende Position während der Arbeit die Skrotaltemperatur deutlich beeinflusst.

In einer Studie von Jung et. al. (2004) absolvierten 50 Probanden (unauffälliger andrologischer Befund nach WHO-Richtlinien; WHO, 2000) in einem klimatisierten Raum (20°C , Beginn zwischen 13.15 und 13.50 Uhr) ein standardisiertes Programm mit sechs Abschnitten von jeweils 45 Minuten Dauer. Die Hälfte der Abschnitte bestand aus moderatem Gehen auf einem Laufband mit einer Geschwindigkeit von $3,0\text{ km/h}$, die andere aus Sitzen mit rechten Winkeln in Hüften und Knien sowie Fixierung der Beine aneinander durch Bänder oberhalb und unterhalb der Knie. Die Probanden trugen beim Gehen bzw. Sitzen (Zeitabfolge randomisiert) jeweils abwechselnd den gleichen Typ (Größe entsprechend den Körperproportionen) von engen (Jockey Shorts, 100% Baumwolle) und weiten Unterhosen

(Boxer Shorts, 100% Baumwolle), sowie keine Unterhosen. Die übrige Kleidung war ebenfalls standardisiert und bestand aus einer Baumwollhose und zwei übereinander getragenen Baumwollshirts. Während der gesamten Versuchszeit wurden mittels beidseits skrotal fixierter Thermosensoren jede Minute die Skrotaltemperaturen gemessen und von einem tragbaren Datenrekorder aufgezeichnet.

Für alle Arten der Genitalbekleidung (Jockey-, Boxer-Shorts, keine Shorts) lagen die Skrotaltemperaturwerte der rechten bzw. linken Seite für die korrespondierenden Perioden von jeweils 45 Minuten beim Sitzen um 1,6 bis 2,2°C bzw. 1,5 bis 2,2°C höher als beim Gehen. Betrachtet man nur die jeweils letzten 10 Minuten, lagen die Werte der rechten bzw. linken Seite beim Sitzen um 1,8 bis 2,6°C bzw. 1,6 bis 2,5°C höher als beim Gehen. Die Absolutwerte für die letzten 10 Minuten des Sitzens ergaben Mittelwerte der Skrotaltemperaturen der rechten bzw. linken Seite von 36,4 bis 36,7°C bzw. 36,6 bis 36,7°C. Die entsprechenden Werte für die letzten 10 Minuten des Laufens betragen 33,8 bis 34,9°C bzw. 34,1 bis 35,1°C. Alle Temperaturen (Mittelwerte, berechnet aus den individuellen Medianen) wurden aus Tabelle 1, Jung et al. (2004), entnommen.

Wie Jung in seiner Habilitationsschrift (2004) ausführt, stellt die in der Studie gewählte Form des Sitzens mit einer fast vollständigen Einschränkung der Bewegungsfreiheit der Beine sicher die größtmögliche Behinderung des perigenitalen Luftaustausches dar. Eine gelegentliche Veränderung der Beinhaltung und die damit stattfindende Zirkulation der perigenitalen Luft führe wohl auch bei längerem Sitzen dazu, dass die Temperaturdifferenz im Vergleich zum Gehen geringer wird. Lange Perioden des Sitzens, besonders mit eng einander anliegenden Beinen ohne gelegentliche Beinbewegungen, seien also ein bedeutender Faktor für hohe Skrotal- und damit Hodentemperaturen. Ob und ab welcher Dauer und Häufigkeit lange Sitzperioden jedoch zu einer Einschränkung der Samenqualität führen, sei bisher nicht bekannt. Die einfachste Hypothese sei, dass in Abhängigkeit einer bestimmten testikulären Schwellentemperatur, die interindividuell variabel sein könne, mit zunehmender Dauer und Höhe der Temperatur eine Beeinträchtigung der Spermatogenese stattfinden könnte. Es wäre aber auch möglich, dass ein periodischer Wechsel von niedrigeren und höheren Hodentemperaturen notwendig ist oder dass das Vorhandensein von niedrigeren Skrotaltemperaturen eine bedeutende Rolle für die ungestörte Spermatogenese bzw. die Spermatogenesestimulation spielt.

1.4.3 Sitzen auf verschiedenen Stühlen

In einer Studie mit acht Probanden zeigten Koskelo et al. (2005), dass es beim Benutzen von verschiedenen Typen von Stühlen (gepolsterter Büro-Stuhl, nicht-gepolsterter Plywood Stuhl, hölzerne Bank, Sattelstuhl, Stuhl mit Kniebänkchen, gepolsterter Sofa- Sessel) bereits nach 20 Minuten zu einem Anstieg der Skrotaltemperatur um bis zu 3,0°C und zu skrotalen Werten von bis zu 36°C kommen kann. Dies galt für alle Stühle, mit Ausnahme des sogenannten Sattelstuhles („Saddle Chair“). Bevor die Probanden mit dem Sitzen auf den Stühlen begannen, absolvierten sie eine Akklimationsphase von fünf Minuten, stehend, bei einer Raumtemperatur des Studienraums von 23°C. Im Rahmen des Sitzens auf verschiedenen Stühlen für insgesamt 30 Minuten, wobei die Probanden instruiert wurden zu lesen und ihre Sitzposition nicht zu verändern, zeigten sich solche Spitzenwerte von 36°C beim Benutzen eines die Knie unterstützenden Stuhls („Knee support Chair“) sowie eines Sofa- Sessels. Bei einem Stuhl, welcher die Knie unterstützt, liegt das gesamte Gewicht auf diesen, so dass die Bewegung der Beine limitiert ist. Außerdem befinden sich die Oberschenkel sehr nahe beieinander, so dass ein perigenitaler Luftaustausch nicht möglich ist.

Für das Sitzen auf dem Sattelstuhl fanden sich dagegen statistisch hoch signifikant niedrigere Temperaturen als beim Benutzen der anderen Stühle. Ein Grund für diesen signifikanten Unterschied ist die bessere perigenitale Luftventilation, welche durch die Form des Sattelstuhls ermöglicht wird. Außerdem saßen die Probanden auf diesem Stuhl mit einem Winkel von etwa 135° in Hüften und Knien, und die Beine befanden sich in einer gespreizten Position. Auch dies ermöglicht eine effektive inguinale und perigenitale Luftzirkulation.

Zusätzlich wurden von Koskelo et al. thermographische Aufnahmen der Sitzoberfläche der Stühle durchgeführt. Auch diese zeigten, dass es beim Sitzen auf dem Sattelstuhl zu einer weniger ausgeprägten Überwärmung der Genitalregion kommt.

Auch die im Rahmen der Studie gemessene relative Feuchtigkeit der Skrotalhaut unterstützt die These, dass der Sattelstuhl eine bessere Ventilation ermöglicht. Die relative Feuchtigkeit der Skrotalhaut stieg beim Benutzen herkömmlicher Stühle nämlich an, jedoch nicht beim Sattelstuhl. Ein zusätzlicher Kühlungsmechanismus durch Verdunstung war hier wegen der ohnehin schon guten Wärmeabgabekapazität nicht nötig.

Der Body Mass Index (BMI) korrelierte positiv mit dem Anstieg der Skrotaltemperatur beim Benutzen konventioneller Stühle, wie z.B. eines gepolsterten Bürostuhls ($r=0,795$, $P=0,018$), jedoch nicht beim Benutzen des Sattel-Stuhles. Diese Studie zeigt, dass neben der Länge der

Sitzperiode auch unterschiedliche Stuhltypen sowie der BMI Einfluss auf den Anstieg der Skrotaltemperatur haben.

Song et al. untersuchten 2007, inwiefern die Dicke der Sitzpolsterung (0/2/4/6/8 cm) bei zwei Raumtemperaturwerten von 18 und 26°C, die durch eine Klimaanlage eingestellt wurden, die Skrotaltemperatur beeinflusst. Vor Beginn des Experiments durchliefen alle 10 Probanden eine Akklimatisationsphase von 20 Minuten. Diese verbrachten sie sitzend bei einer Raumtemperatur von 23°C. Anschließend begaben sich die Probanden in den Hauptstudienraum und saßen dort jeweils 120 Minuten vor einem Schreibtisch auf einem Stuhl, dessen Polsterung zwischen 0 und 8 cm variiert wurde. Dabei handelte es sich um Stühle aus Holz, die Polsterung bestand aus Schaumstoff. Alle Probanden arbeiteten während der Sitzperiode mit dem Schreibprogramm Word. Es wurde darauf geachtet, dass die Probanden ihre Beine nicht überkreuzten oder geschlossen hielten. Die Skrotaltemperaturen wurden alle 30 Sekunden gemessen, und zwar mittels rechts und links am Skrotum befestigter Thermosonden. Bei den Raumtemperaturen von 18 und 26°C fanden sich nach 120 Minuten durchschnittliche Skrotaltemperaturen von 33,76 und 35,02°C bei einer Dicke der Polsterung von 0 cm, 33,87 und 34,96°C bei einer Dicke von 2 cm, 33,91 und 35,03°C bei einer Dicke von 4 cm, 34,42 und 35,02°C bei einer Dicke von 6 cm und 34,65 bzw. 34,99°C bei einer Dicke der Polsterung von 8 cm. Eine statistische Signifikanz wurde für den Anstieg der Skrotaltemperatur in Abhängigkeit von der Raumtemperatur gefunden ($P < 0,001$). Eine Abhängigkeit von der Dicke der Sitzpolsterung zeigte sich dagegen nicht.

1.4.4 Berufliche Wärmeexposition durch Sitzen im Auto

Mehrere Arbeiten gehen der Frage nach, inwieweit beruflich bedingtes regelmäßiges längeres Autofahren die Samenqualität verändert.

Sas & Szöllosi (1979) fanden bei 2984 Männern mit Fertilitätsproblemen einen mit 9,4% überproportionalen Anteil von Berufskraftfahrern. Diese waren in der Bevölkerung der entsprechenden Region nur mit 3,8% vertreten. Bei 64% der Berufskraftfahrer fand sich eine Einschränkung der Samenqualität, dies war jedoch bei nur 55% der sonstigen Patienten mit Kinderwunsch der Fall. Betrachtet man aber die Untergruppen der Lastwagen-, Baumaschinen-, und Landmaschinenfahrer, so haben diese ein 5-fach erhöhtes Risiko für eine pathologische Samenanalyse im Vergleich mit Autofahrern, die beruflich mit

Personenkraftwagen unterwegs sind. Dieses Ergebnis spricht eher gegen das Sitzen als Hauptursache für eine Veränderung der Samenqualität in dieser Studie.

Figa-Talamanca et al. (1996) verglichen in einer Studie mit 72 Taxifahrern deren Samenqualität mit der einer Vergleichsgruppe von 50 Personen, die vor einer Heirat eine Samenanalyse durchführen ließen. Spermatozoendichte und Motilität waren in beiden Gruppen gleich. Es zeigte sich lediglich ein signifikant verminderter Prozentsatz der Taxifahrer mit morphologisch normal gestalteten Spermien. Dieser betrug 45,8% gegenüber 64% bei der Kontrollgruppe. Bei einem Vergleich der Mittelwerte des Anteils der normal geformten Spermatozoen beider Gruppen fand sich jedoch kein Unterschied. Deswegen muss das Ergebnis dieser Studie kritisch gesehen werden.

Thonneau et al. (1997) befragten in einer Arbeit mit 402 fertilen Paaren die Männer nach einer beruflichen Hitzeexposition bzw. einer täglichen Autofahrt von durchschnittlich mehr als drei Stunden. Die Erfassung dieser Daten erfolgte im Hinblick auf die Zeit bis zum Eintritt einer erwünschten Schwangerschaft. Bei den 35 Männern mit einer im Schnitt über dreistündigen Autofahrt täglich betrug das Intervall zwischen der Beendigung der Kontrazeption und dem Eintritt einer Schwangerschaft im Median 4,5 Monate. Damit fand sich bei diesen Männern, im Vergleich zur Kontrollgruppe mit im Median nur 2,8 Monaten, eine signifikante Verlängerung ($P < 0,05$) der Zeitperiode bis zum Eintritt der Schwangerschaft. Dieses Resultat kann sowohl durch den Anstieg der Skrotaltemperatur durch das Sitzen (auf einem Autositz) als auch die verminderte Kapazität zur Wärmeabgabe durch den beim Sitzen nicht vorhandenen perigenitalen Luftaustausch erklärt werden. Für 140 Männer, welche eine berufliche Hitzeexposition angaben, fand sich mit einem Median von vier Monaten ebenfalls eine signifikante Verlängerung ($P < 0,05$) für die Zeit bis zur Konzeption. Die Angaben zur Art der Arbeit und der jeweiligen Dauer der Exposition sind jedoch nicht sehr aussagekräftig und wurden durch Befragung der Partnerinnen erhoben.

1.4.5 Sitzen und zusätzliche exogene Wärmezufuhr

Sheynkin et al. (2005) untersuchten in einer Studie mit 29 Probanden, inwiefern das Benutzen von Laptop Computern zu einer Erhöhung der Skrotaltemperatur führt. Der eingeschaltete Laptop wurde dabei für einen Zeitraum von 60 Minuten in der typischen Position auf den Oberschenkeln balanciert. Eine zweite 60-minütige Sitzperiode in derselben Position mit

annähernd geschlossenen Oberschenkeln, jedoch ohne Laptop, diente als Vergleich. Die Temperatur des Studienraums betrug dabei im Median 22,28°C. Die Skrotaltemperatur wurde jeweils beidseits alle drei Minuten mittels am Skrotum fixierter Thermosonden gemessen, welche mit einem digitalen Datenrekorder verbunden waren. Die Betriebstemperatur des Laptops wurde an dessen Unterseite ebenfalls alle drei Minuten gemessen und aufgezeichnet. In der Gruppe mit Laptop betrug der Anstieg der Skrotaltemperatur der linken bzw. rechten Seite nach 60 Minuten im Median 2,6 bzw. 2,8°C, in der Gruppe ohne Laptop 2,1°C sowohl für die linke als auch die rechte Seite ($P < 0.0001$). Die Mediane der Skrotaltemperaturen der rechten und linken Seite betragen für die Gruppe mit Laptop zu Beginn 33,1 (rechts) bzw. 33,3°C (links) und nach 60 Minuten 36,2 bzw. 36,0°C. Bei der Gruppe ohne Laptop zeigten sich zu Beginn Werte von 33,5°C (rechts sowie links) und am Ende von 35,4 (rechts) bzw. 35,5°C (links).

Zwischen der linken und der rechten Seite war für beide Gruppen kein signifikanter Unterschied festzustellen ($p = 0,075$ bzw. $p = 0,083$). Es kam zu einem Anstieg der Mediane der linken Skrotaltemperatur in der Gruppe mit und ohne Laptop. Die Mediane der rechten Seite stiegen zunächst ebenfalls in beiden Gruppen an, blieben dann jedoch in der Gruppe ohne Laptop nach 30 Minuten konstant. Im Median stieg die Temperatur an der Unterseite des Laptops von 30,91°C zu Beginn des Experiments auf 39,92°C nach 60 Minuten an. Insgesamt waren in diesem Experiment zwei Faktoren für den Anstieg der Skrotaltemperatur verantwortlich: zum einen die oben beschriebene Temperaturentwicklung des Laptops und die damit verbundene Wärmeabstrahlung, zum anderen die für das Balancieren eines Laptops typische sitzende Position mit angenäherten Oberschenkeln. Diese minimiert einen periskrotalen Luftaustausch und damit eine Wärmeabgabe an die Umgebung.

In einer Arbeit von 2006 zeigten Song et al. mit sechs Probanden, dass die Skrotaltemperatur von der Temperatur des Fußbodens beeinflusst wird. Wie sie berichten, sitzen in Korea die Menschen oft direkt auf den beheizten Fußböden ihrer Häuser bzw. Wohnungen. Die Auswirkung auf die Skrotaltemperatur wurde in zwei Experimenten nachgewiesen: Zuerst in einem mit niedrigem Metabolismus, wobei die Probanden für 50 Minuten ein Buch lasen und zwar im sogenannten „Schneidersitz“ sitzend auf dem Fußboden. Das zweite Experiment war auf einen höheren Grundumsatz ausgelegt, hier spielten die Probanden während 180 Minuten ein Kartenspiel, wiederum in der oben beschriebenen Weise auf dem Fußboden sitzend.

Die Skrotaltemperatur wurde alle 30 Sekunden mit beidseits am Skrotum fixierten Thermosonden gemessen. Vor Beginn der Studie im Hauptstudienraum mit einer Temperatur

von 24°C durchliefen alle Probanden eine Akklimatisationsphase von 20 Minuten. Diese verbrachten sie in einem dem Hauptstudienraum vorgeschalteten Raum bei 24°C, und zwar sitzend auf einem Stuhl mit Aussparungen der Sitzfläche, so dass perigenital ein freier Austausch von Umgebungsluft gewährleistet war. Danach wurden sie aufgefordert, sich so auf den Fußboden im Hauptstudienraum zu setzen, dass ihr Gesäß direkten Kontakt zum Fußboden hatte. Das Skrotum war fast in direktem Kontakt mit dem Fußboden, so dass sich ein Abstand von etwa 5mm ergab.

Die Fußbodentemperatur wurde über die Wassertemperatur reguliert, welche beim ersten Experiment in Intervallen von 5,0°C erhöht wurde und zwar im Bereich zwischen 15 und 50°C. Insgesamt erfolgten also acht Messdurchgänge. Bei einer Fußbodentemperatur von 17,0 bzw. 20,8 bzw. 24,1 bzw. 27,8 bzw. 31,7 bzw. 35,9 bzw. 38,6 bzw. 42,2°C wurden nach 50 Minuten Skrotaltemperaturen (Mittelwerte) von 32,27 bzw. 32,62 bzw. 33,51 bzw. 33,34 bzw. 34,14 bzw. 34,28 bzw. 34,34 bzw. 35,04°C gemessen. Die Veränderungen der Skrotaltemperatur waren also nicht direkt proportional zur jeweiligen Umgebungstemperatur, sondern bewegten sich aufsteigend bzw. absteigend zwischen 32,3 und 35,0°C. Von den sechs Probanden zeigten zwei Temperaturen über 35,0°C bei einer Fußbodentemperatur von 38,6°C und vier Probanden zeigten Temperaturen über 35,0°C bei einer Temperatur des Fußbodens von 42,2°C.

Im zweiten Experiment wurde die Wassertemperatur ebenfalls jeweils um 5,0°C erhöht, im Bereich zwischen 30 und 40°C. Es fanden sich bei Temperaturen des Fußbodens von 27,8 bzw. 31,7 bzw. 35,9°C abschließende Skrotaltemperaturen von 33,43 bzw. 34,78 bzw. 35,61°C. Dies entspricht einem Unterschied zwischen der Ausgangstemperatur und der Endtemperatur von 0,34 bzw. 1,06 bzw. 2,24°C.

Hier zeigten bei einer Fußbodentemperatur von 35,9°C fünf von sechs Probanden Skrotaltemperaturen über 35,0°C. Insgesamt wurde die Skrotaltemperatur also sowohl von der Temperatur des Fußbodens als auch von der Höhe des Grundumsatzes des Probanden in sitzender Position beeinflusst.

Der derzeitige Stand der Forschung zum möglichen Einfluss einer erhöhten Skrotaltemperatur auf die Samenqualität wird von Jung & Schuppe (2007) ausführlich zusammengefasst.

Bisher fehlen publizierte Studien zur exogenen skrotalen Wärmezufuhr mittels einer Sitzheizung im Auto.

2. Zielsetzung der Studie

2.1 Welche Auswirkung hat das Sitzen auf einem beheizten Autositz auf die Skrotaltemperatur?

Aus der Literatur ist bekannt, dass Sitzen per se, sei es auf einem Stuhl (Jung, 2001; Jung et al., 2004; Koskelo et al., 2005) oder auf einem Autositz (Bujan & Mieusset, 2000), verglichen mit körperlicher Aktivität, zu einer Erhöhung der Skrotaltemperatur führt. Bujan & Mieusset (2000) zeigten, dass es im Rahmen einer längeren Autofahrt zu einem Anstieg der Skrotaltemperatur und konsekutiv der Hodentemperatur auf bis zu 36,2 - 36,4°C kommt. Eine Skrotaltemperatur von 35,0°C oder höher, welche weniger als zwei Grad Celsius unterhalb der Körperkerntemperatur liegt, könnte bei länger andauernder Exposition zu einer Beeinträchtigung der Spermatogenese führen (Moore & Quick, 1924; Mieusset et al., 1985; Shafik, 1992).

Heute sind in Deutschland (DAT-report, 2008) bereits 32% aller Automobile (PKW's), 24% aller Gebrauchtwagen sowie 49% aller Neuwagen mit einer Sitzheizung ausgestattet. Vielfahrer waren auch 2007 die 23 bis 29 Jahre alten Fahrer, wobei Männer mit 16.050 km Jahresfahrleistung immer noch deutlich mehr fahren als Frauen (Jahresfahrleistung: 13.830 km).

Deshalb stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß länger andauerndes Sitzen von 90 Minuten auf einem beheizten Autositz zu einer Erhöhung der Skrotaltemperatur führt, und zwar zusätzlich zu der, die das Sitzen auf einem Autositz per se schon hervorruft (Frage zu Experiment I).

2.2 Welche Auswirkung hat moderates Fahrradfahren auf die Skrotaltemperatur ?

Beim Fahrradfahren wird ebenfalls eine sitzende Position eingenommen, so dass auch hier an eine Erhöhung der Skrotaltemperatur gedacht werden muss. Fahrradfahren ist aber mit physischer Aktivität verbunden, und lässt somit, anders als das Sitzen auf einem Stuhl, eine perigenitale Luftzirkulation und damit eine bessere Wärmeabgabe zu. Physische Aktivität, wie z.B. normales Gehen ist mit deutlich niedrigeren skrotalen Temperaturen verbunden als eine sitzende Position. Bujan et al. (2000) zeigten, dass die Temperaturen beim Gehen mit

34,5 bzw. 34,2°C um 1,7 bzw. 2,2°C niedriger lagen als beim Sitzen in Rahmen einer Autofahrt. Jung (2001) bestätigte diese Ergebnisse und zeigte, dass bereits nach einer Stunde Sitzen im Rahmen einer Autofahrt oder am Schreibtisch die Skrotaltemperatur beidseits um 1,0°C angestiegen war, und zwar im Vergleich zu einem einstündigen Spaziergang mit skrotalen Temperaturen von unter 35,0°C.

Da Fahrradfahren eine körperliche Aktivität darstellt, die einen perigenitalen Luftaustausch ermöglicht, es dabei aber andererseits zu einer sitzenden Haltung, also einer Form der genitalen Isolation kommt, stellt sich die Frage, wie sich beide Faktoren auf die Skrotaltemperatur auswirken und ob es bei moderatem Fahrradfahren von 60 Minuten - im Vergleich zum Sitzen - zu einer Erhöhung der Skrotaltemperatur kommt (Frage zu Experiment II).

Die Beantwortung der beiden oben genannten Fragen ist von Interesse für die Beurteilung, inwieweit diese beiden Situationen des alltäglichen Lebens, nämlich länger andauerndes Sitzen auf einem beheizten Autositz und Fahrradfahren mit moderater körperlicher Belastung (25 W), zur skrotalen und damit testikulären Wärmebelastung beitragen. Die Notwendigkeit eventueller prophylaktischer Maßnahmen mit Infragestellung bestehender Lebensgewohnheiten kann dann im Einzelfall erörtert werden.

3. Materialien und Methoden

3.1 Auswahl der Probanden

3.1.1 Experiment I

Von Juli 2005 bis März 2006 wurden für die Skrotaltemperaturmessungen 30 gesunde männliche Probanden rekrutiert (Alter: 20-53; BMI: Median 22,74 kg/m², Spannweite: 17,9-34,5 kg/m²). Alle Probanden wurden klinisch-andrologisch untersucht und erfüllten die folgenden Einschlusskriterien:

1. Hodengröße beidseits jeweils mindestens 12 ml
2. Klinisch unauffälliger Genitalbefund

Die Untersuchung beinhaltete neben der Anamnese die Palpation von Hoden, Nebenhoden und Plexus pampiniformis sowie die Dopplersonographie des Plexus pampiniformis. Als Ausschlusskriterien wurden folgende aktuell bzw. anamnestisch bestehende Faktoren definiert:

1. Allgemeinerkrankungen, Fieber, Infekt
2. Hodenhochstand, Epididymitis, Hydrozele, Varikozele, V.a. Hodentumor
3. Regelmäßige Medikamenteneinnahme

Das mittels Prader-Orchidometer ermittelte Hodenvolumen betrug im Median beidseits 15 ml (Spannweite: 12-25 ml). Das Vorliegen einer Varikozele wurde palpatorisch und mittels Dopplersonographie unter Durchführung eines Valsalva-Maneuvers ausgeschlossen. Die Ergebnisse der Dopplersonographie wurden ausgedruckt und dem jeweiligen Verlaufsprotokoll beigelegt. 8 Probanden wurden wegen einer Varikozele von der Teilnahme an der Studie ausgeschlossen, bei einem weiteren Probanden konnten die Messwerte aufgrund technischer Probleme nicht ausgelesen werden. Die Rekrutierung wurde so lange weitergeführt, bis 30 Probanden in die Studie eingeschlossen werden konnten, welche die oben genannten Kriterien erfüllt haben.

3.1.2 Experiment II

Von August 2005 bis März 2006 wurden für die Skrotaltemperaturmessungen 25 der oben genannten 30 Probanden rekrutiert (Alter: 20-53; BMI: Median 23,2 kg/m², Spannweite: 17,9-

34,5 kg/m²). Die klinisch andrologische Untersuchung sowie die Ein- und Ausschlusskriterien entsprachen den oben genannten. Das mittels Prader-Orchidometer ermittelte Hodenvolumen betrug im Median beidseits 15 ml (Spannweite: 12-25 ml).

3.2 Beschreibung des Messvorgangs

3.2.1 Experiment I

Für die Studie wurde folgender Untersuchungsplan gewählt. Die Probanden durchliefen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen je einen Zyklus mit und einen ohne Sitzheizung. Die Probanden wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Die eine Gruppe begann am ersten Tag mit Sitzheizung, die andere Gruppe ohne Sitzheizung.

Jeder Proband wurde wie folgt in eine der beiden Gruppen randomisiert: Es wurden 15 Zettel mit der Aufschrift „Beginn mit Sitzheizung“ und 15 mit der Aufschrift „Beginn ohne Sitzheizung“ angefertigt und kuvertiert. Die Umschläge wurden gemischt und danach mit den Nummern 1-30 versehen. Das Kuvert mit der entsprechenden fortlaufenden Nummer wurde erst nach Betreten des Studienraums geöffnet. Die Probanden fanden sich an beiden Tagen um etwa 12.45 Uhr in der Dermatologischen Klinik der Universität Giessen ein, wobei jeder Proband am ersten Tag die oben beschriebene klinisch-andrologische Untersuchung durchlief. Im Anschluss wurden zwei Skrotaltemperaturfühler (YSI Springs, USA; Messgenauigkeit $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$; Präzision und Reproduzierbarkeit der mittels AGF Thermoport erzielten Messungen siehe: Jockenhövel et al., 1990) beiderseits am Skrotum mittels Fixomull stretch (30x30mm; BSN medical GmbH & Co. KG, Hamburg, Deutschland) fixiert. Die Temperaturfühler waren mit einem tragbaren Datenrekorder (AGF-Thermoport 3, Funkelektronik Gräwe, Münster, Deutschland; siehe: Jung et al. 2003b) gekoppelt, welcher die Werte, die im Abstand von einer Minute gemessen wurden, aufzeichnete. Ein weiterer an den Datenrekorder angeschlossener Temperaturfühler wurde erst unmittelbar vor Beginn der Sitzperiode zentral am Autositz fixiert. Außerdem wurde ein Bewegungssensor (Modifizierter Pedometer; 0-300 Signale/min.; Funkelektronik Gräwe, Münster) proximal des linken Fußgelenks befestigt und mit dem Thermoport verbunden.

Diese Vorbereitungen wurden vor Betreten des Studienraums getroffen. Die beschriebene technische Ausrüstung kam bei allen Probanden zum Einsatz, um messtechnische Differenzen zu minimieren. Die Raumtemperatur im Studienraum war mittels eines Klimagerätes (KY-

25/Xc; 2500W; Praktiker, Deutschland) auf 22°C eingestellt. Alle Probanden trugen während des Experiments standardisierte Kleidung: Boxer-Shorts (100% Baumwolle, Fashion Affairs) und herkömmliche grüne OP-Kleidung (eine Hose und 2 Kasacks, die übereinander getragen wurden) sowie Socken. Je nach Körpergröße und -umfang trugen 28 Probanden Unterhosen der Größe 6 (L), 2 Probanden wählten Unterhosen der Größe 7 (XL). Alle Probanden trugen Kasacks der Größe 4, 28 Probanden Hosen derselben Größe, einer eine Hose der Größe 3 und ein anderer der Größe 5.

Nach einer Akklimatisationsphase an die Studienraumtemperatur von etwa 30 Min., von ca. 13.00-13.30 Uhr, in sitzender Position auf einem Stuhl, begannen alle Probanden mit dem Sitzen auf dem Autositz (Mondeo Recaro Sportsitz ST 220, Ford, Deutschland) um etwa die gleiche Tageszeit (13.31-13.53 Uhr). Beim Sitzen mit Sitzheizung (160 W) wurde diese fünf Minuten vor Beginn der Sitzperiode eingeschaltet. Um eine Beeinflussung der Werte durch eine Änderung der Beinposition zu verhindern, wurde beim Sitzen darauf geachtet, dass die Oberschenkel aneinandergelegt waren, mit rechtem Winkel in Hüfte und Knien. Ein Schlauchverband um beide Oberschenkel, der proximal der Kniegelenke befestigt war, erleichterte den Probanden das Beibehalten dieser Haltung. Kurz vor Beginn der Sitzperiode auf dem Autositz sowie an deren Ende wurde die Körpertemperatur mittels eines Ohrthermometers (IVAC-Core Model 2090, IVAC Corporation, San Diego, CA) ermittelt. Die Probanden, welche am ersten Tag mit Sitzheizung begonnen hatten, beendeten nach einer Sitzperiode von 90 Minuten den ersten Teil des ersten Experiments und absolvierten am folgenden Tag die Sitzperiode auf dem unbeheizten Autositz und direkt im Anschluss das Fahren auf dem Fahrradergometer

3.2.2 Experiment II

Die Probanden der Gruppe mit Beginn ohne Sitzheizung setzten am ersten Tag nach einer Sitzperiode von 90 Minuten das Experiment mit dem Fahren auf dem Fahrradergometer (Kettler AX1, Kettler GmbH, Ense-Parsit, Deutschland) fort, die andere Gruppe erst am zweiten Tag.

Alle begannen mit dem Fahrradfahren von insgesamt 60 Minuten unmittelbar nach einer Akklimatisationsperiode von 90 Minuten, die in sitzender Position auf dem bereits oben erwähnten unbeheizten Autositz (Mondeo Recaro Sportsitz ST 220, Ford, Deutschland) verbracht wurde, um etwa die gleiche Tageszeit (15.08-15.24 Uhr). Beim Fahrradfahren, sitzend auf dem Fahrradsattel, erbrachten die Probanden eine Leistung von 25 Watt, was im

Median einer Geschwindigkeit von 25,5 km/h entspricht. Dabei trugen die Probanden Schuhe. Zu Beginn und am Ende des Fahrradfahrens wurde wiederum die Körpertemperatur der Probanden auf die oben beschriebene Weise ermittelt (IVAC-Core Model 2090, IVAC Corporation, San Diego, CA). Für den Abschnitt des Fahrradfahrens wurde der Bewegungssensor entfernt und alle Probanden mit einem Pulsmesser am rechten Ohrläppchen ausgestattet. Neben dem Puls (Median: 93) wurden Frequenz (=RPM; Median: 73), Distanz (nach 60 Min.; Median: 25,45 km) und Verbrauch (360 kJ für alle Probanden) dokumentiert. Die Werte für Puls und Frequenz wurden jeweils aus einem notierten Minimum und Maximum gemittelt. Die Distanz nach 60 Minuten und der Verbrauch wurden für den ersten Probanden auf dem Fahrradergometer nicht notiert.

3.3 Plan der Datenauswertung und Statistische Analyse

3.3.1 Experiment I

Wie oben erwähnt, werden die Temperaturmesswerte für die 30 Probanden unter zwei experimentellen Bedingungen gewonnen, nämlich beim Sitzen mit und ohne Sitzheizung. Aufgezeichnet wird minütlich für jeden Probanden die Temperatur der rechten und linken Skrotalseite sowie die Oberflächentemperatur des Autositzes.

Bei der Datenauswertung beschreiben wir zunächst deskriptiv statistisch den Temperaturverlauf für die 90 Minuten jeweils aus den beiden experimentellen Bedingungen für die rechte und linke Skrotalseite sowie die an der Oberfläche des Autositzes gemessene Temperatur.

Danach untersuchen wir inferenzstatistisch für zwei Zeitperioden die unter den beiden experimentellen Bedingungen gewonnenen Temperaturmesswerte der rechten und linken Skrotalseite auf Gleichheit bzw. Verschiedenheit.

Unter Berücksichtigung der linken und rechten Skrotalseite gewinnen wir für die beiden experimentellen Bedingungen jeweils vier Messreihen:

- a. Messwerte des Sitzens mit Sitzheizung der ersten 20 Minuten für die linke und rechte Skrotalseite (MH E20 links; MH E20 rechts) sowie der letzten 20 Minuten für die linke und rechte Skrotalseite (MH L20 links; MH L20 rechts).
- b. Messwerte des Sitzens ohne Sitzheizung der ersten 20 Minuten für die linke und rechte Skrotalseite (OH E20 links, OH E20 rechts) sowie der letzten 20 Minuten für die linke

und rechte Skrotalseite (OH L20 links, OH L20 rechts).

Die 8 Messreihen untersuchen wir mit einer multivariaten Varianzanalyse für wiederholte Messungen simultan auf Gleichheit bzw. Verschiedenheit. Die dazu gehörigen Nullhypothesen wurden im Abschnitt 4.2.1 formuliert.

3.3.2 Experiment II

Wie oben erwähnt, werden beim Fahren auf dem Fahrradergometer die Temperaturmesswerte für die 25 Probanden jede Minute aufgezeichnet, und zwar für die rechte und linke Skrotalseite sowie die Oberflächentemperatur des Fahrradsattels. Bei der Datenauswertung beschreiben wir zunächst deskriptiv statistisch den Temperaturverlauf für 60 Minuten für die rechte und linke Skrotalseite sowie für die Oberflächentemperatur des Sattels.

Für die weitere statistische Auswertung wird der 60-minütige Temperaturverlauf unter Berücksichtigung der linken und rechten Skrotalseite in jeweils 3 Messreihen zerlegt:

- a. Messwerte der ersten 20 Minuten für die linke und rechte Skrotalseite (E20 links und E20 rechts).
- b. Messwerte der mittleren 20 Minuten für die linke und rechte Skrotalseite (M20 links und M20 rechts).
- c. Messwerte der letzten 20 Minuten für die linke und rechte Skrotalseite (L20 links und L20 rechts).

Zum Vergleich (Kontrolle) werden in die statistische Auswertung noch zwei weitere Messreihen (Sitzen ohne Sitzheizung) mit den 25 Probanden herangezogen:

1. Messwerte der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung für die linke und rechte Skrotalseite (OH L20 links; OH 20 rechts).
2. Messwerte der 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung für die linke und rechte Skrotalseite (OH 41-60 links; OH 41-60 rechts).

In drei getrennten Auswertungen werden inferenzstatistisch folgende Messreihen auf Gleichheit bzw. Verschiedenheit geprüft:

1. Messwerte der ersten, mittleren und letzten 20 Minuten für die linke und rechte Skrotalseite (E20 links; E20 rechts; M20 links; M20 rechts; L20 links; L20 rechts). Die Nullhypothesen für den Vergleich dieser Messreihen sind in Abschnitt 4.2.2.1 formuliert.

2. Messwerte der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens für die linke und rechte Skrotalseite (F-E20 links; F-E20 rechts) und Messwerte der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung für die linke und rechte Skrotalseite (OH L20 links; OH L20 rechts). Die Nullhypothesen für den Vergleich dieser Messreihen sind in Abschnitt 4.2.2.2 formuliert.

3. Messwerte der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens für die linke und rechte Skrotalseite (F-L20 links; F-L20 rechts) und Messwerte der 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung für die linke und rechte Skrotalseite (OH 41-60 links; OH 41-60 rechts). Die Nullhypothesen für den Vergleich dieser Messreihen sind in Abschnitt 4.2.2.3 formuliert.

In den drei getrennten Auswertungen untersuchen wir die dazugehörigen Messreihen mit einer multivariaten Varianzanalyse für wiederholte Messungen jeweils simultan auf Gleichheit bzw. Verschiedenheit.

Für die statistische Analyse von Experiment I und II wurde SAS (9.1) verwendet.

3.4 Aufklärung und Aufwandsentschädigung

Die Genehmigung zur Durchführung der Studie wurde nach Antragsstellung am 25.01.05 von der Ethik-Kommission der Fakultät für Humanmedizin der Justus-Liebig Universität Giessen erteilt. Der experimentelle Teil der Studie umfasste Juli 2005 bis März 2006. Alle Teilnehmer wurden über den Verlauf sowie etwaige Risiken der Studie aufgeklärt und gaben eine schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme. Außerdem wurden die Probanden über die Anonymisierung ihrer Daten, den Zweck der Studie und die Möglichkeit, diese jederzeit ohne Angabe von Gründen zu beenden, aufgeklärt. Sie wurden auch darüber informiert, dass ihnen durch die Teilnahme an der Studie, abgesehen von der Aufwandsentschädigung (Ford Forschungszentrum, Aachen) in Höhe von 60 bzw. 80 € (Sitzen bzw. Sitzen und Fahrradfahren) keine weiteren Vorteile entstehen. Für die Fahrt zum und vom Untersuchungsort nach Hause bestand für alle Probanden eine Wegeversicherung.

4. Ergebnisse

4.1 Deskriptive Auswertung der Ergebnisse

4.1.1 Experiment I

Die Mittelwerte der Skrotaltemperaturen stiegen beim Sitzen auf dem beheizten Autositz auf der rechten Skrotalseite von 34,7°C zu Beginn auf 37,4°C nach 90 Minuten an. Für die linke Seite ergab sich analog ein Anstieg der Skrotaltemperatur von 35,0°C auf 37,3°C. Unter allen Probanden wurde ein Maximum der Skrotaltemperatur von 37,9°C für die linke Seite und 38,4°C für die rechte Seite gemessen. Die Mittelwerte der an der Oberfläche des Autositzes gemessenen Temperaturen stiegen von 32,4°C zu Beginn auf 38,6°C nach 90 Minuten an. An der Sitzoberfläche des beheizten Autositzes wurde eine maximale Temperatur von 39,7°C festgestellt.

Beim Sitzen ohne Sitzheizung zeigte sich für die rechte Seite ein Anstieg der Mittelwerte der Skrotaltemperaturen von 34,7°C zu Beginn auf 36,7°C nach 90 Minuten. Für die linke Seite fand sich ein solcher Anstieg der Skrotaltemperaturen von 34,9°C auf 36,7°C. Es wurde eine maximale Skrotaltemperatur von 37,3°C für die linke und 37,4°C für die rechte Seite gemessen. Die an der Sitzoberfläche gemessenen Temperaturen (Mittelwerte) betrugen hier zu Beginn 30,1°C und stiegen nach 90 Minuten auf 35,3°C an. Das Maximum der an der Sitzoberfläche gemessenen Temperaturen betrug 36,4°C.

4.1.1.1 Mittlere Temperaturen für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung

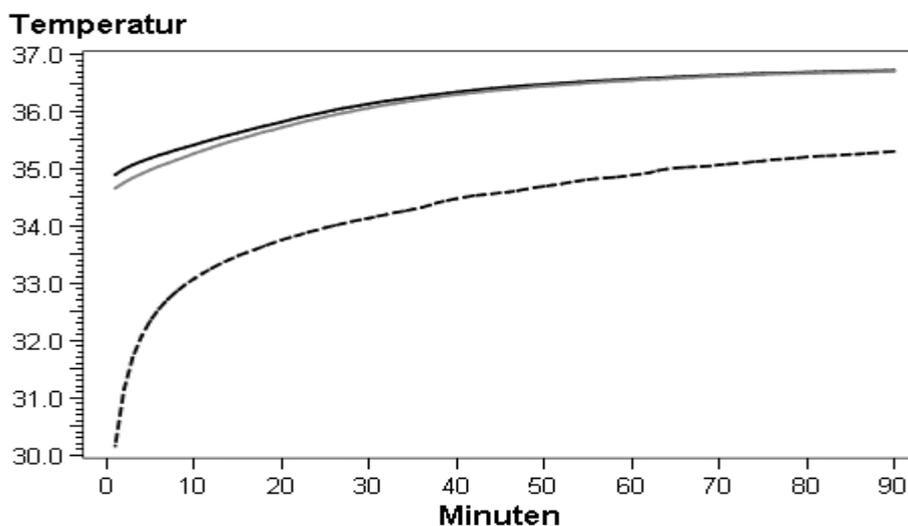
Die Mittelwerte für den Zeitraum des Sitzens von jeweils 90 Minuten auf dem unbeheizten bzw. beheizten Autositz sind in den Abbildungen 1A bzw. 1B dargestellt. Den Abbildungen sind jeweils der Verlauf für die rechte und linke Skrotalseite sowie für die Sitzoberfläche zu entnehmen.

Beim Sitzen ohne Sitzheizung (Abb.1A) ist innerhalb der ersten 10 Minuten der stärkste Anstieg der Temperatur der Sitzoberfläche zu beobachten, wobei diese etwa 33,0°C erreicht. Anschließend steigt die Temperaturkurve der Sitzoberfläche kontinuierlich weiter an, verläuft dabei ungefähr parallel zu den Werten der linken und rechten Skrotalseite, und erreicht

schließlich nach 90 Minuten einen Wert von 35,3°C. Die Temperaturkurven der rechten und linken Skrotalseite beginnen mit Ausgangswerten zwischen 34,5 und 35,0°C und erreichen nach 90 Minuten einen Wert von 36,7°C wobei sich die Kurven beider Seiten schon früh annähern und schließlich miteinander verschmelzen. Nach Erreichen der 60. Minute bleiben die Temperaturen des Skrotums als auch der Sitzoberfläche relativ stabil.

Abbildung 1A

Mittelwerte der für die Minuten 1-90 gemessenen Temperaturen (°C) für das Sitzen ohne Sitzheizung. Dargestellt ist der Verlauf für die linke und rechte Skrotalseite sowie die Sitzoberfläche bei 30 Probanden.



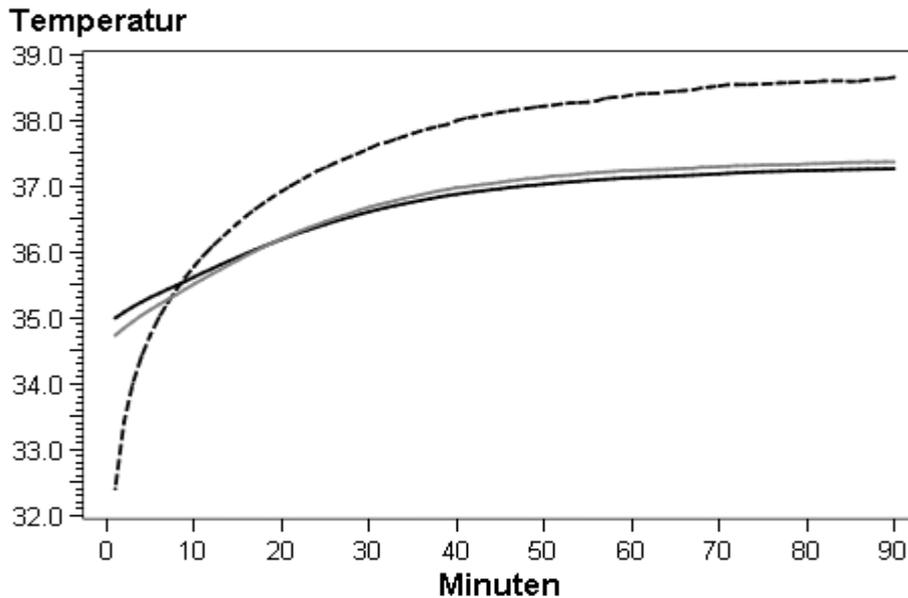
--- Sitzoberfläche; — (dunkel) linke Skrotalseite; — (hell) rechte Skrotalseite

Beim Sitzen auf dem beheizten Autositz (Abb.1B) werden die beim Sitzen ohne Sitzheizung nach 90 Minuten gemessenen Temperaturen bereits nach etwa 30 Minuten erreicht und im weiteren Verlauf übertroffen, wobei nach 90 Minuten Temperaturen von 37,3 bzw. 37,4°C erreicht werden. Die Temperaturkurve der rechten Skrotalseite kreuzt von unten kommend nach etwa 20 Minuten die Kurve der linken Seite und verläuft dann parallel zu dieser. Nach Beginn des Sitzens benötigt die Sitzheizung etwa 10 Minuten, um die Temperatur der Sitzoberfläche des Autositzes an die der Skrotaltemperatur anzugleichen. Dabei steigt die Temperatur der Sitzoberfläche auf 35,8°C an. Danach übertrifft die Sitztemperatur die Skrotaltemperatur, bleibt kontinuierlich über dieser, steigt auch schneller an und erreicht nach 90 Minuten einen Wert von 38,6°C. Etwa ab der 60. Minute bleibt sowohl die Oberflächentemperatur des Autositzes als auch die Skrotaltemperatur der rechten und linken

Seite relativ stabil.

Abbildung 1B

Mittelwerte der für die Minuten 1-90 gemessenen Temperaturen (°C) für das Sitzen mit Sitzheizung. Dargestellt ist der Verlauf für die linke und rechte Skrotalseite sowie die Sitzoberfläche bei 30 Probanden.



--- Sitzoberfläche; — (dunkel) linke Skrotalseite; — (hell) rechte Skrotalseite

4.1.1.2 Temperaturen der einzelnen Probanden für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung

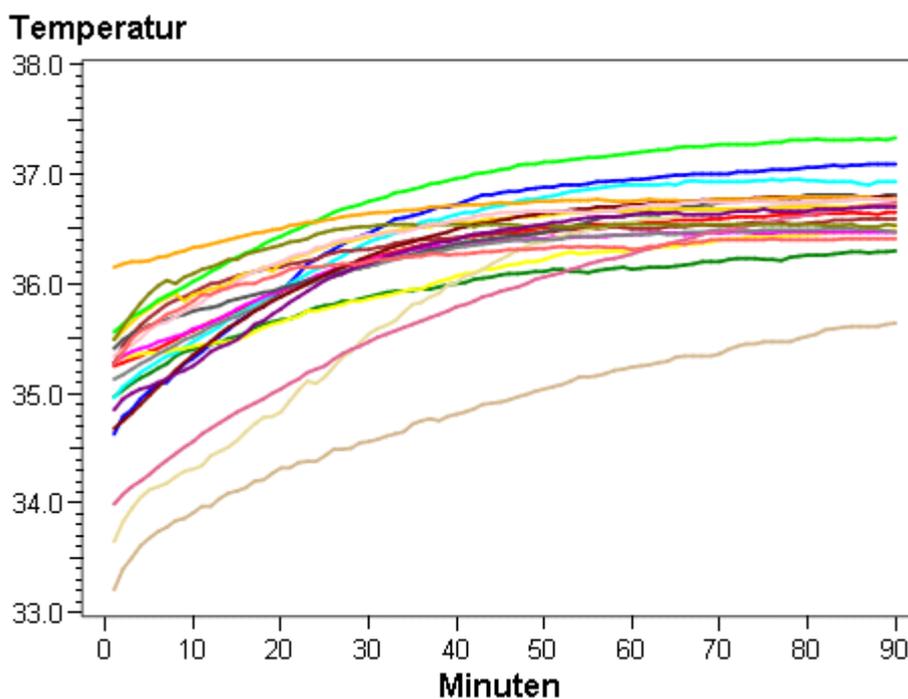
Nachdem oben die mittleren Temperaturen für das Sitzen mit bzw. ohne Sitzheizung dargestellt wurden, betrachten wir jetzt den Verlauf der Temperaturen für die linke und rechte Skrotalseite sowie die Sitzoberfläche, wiederum jeweils mit und ohne Sitzheizung, für jeden einzelnen der 30 Probanden.

Die Temperaturkurven der *linken Seite* der einzelnen Probanden weisen zu Beginn der Sitzperiode eine hohe Streubreite auf, nähern sich jedoch mit der Zeit einander an und bilden etwa ab der 60. Minute ein schmales Band mit einer Spannweite von etwa 1,5°C. Die Temperaturen für das Sitzen ohne Heizung (Abb.2A) bewegen sich ab der 60. Minute zwischen 36,0 und 37,5°C, die Temperaturen für das Sitzen mit Heizung (Abb.2B) zwischen 36,5 und 38,0°C.

Die Kurve der Temperaturen eines Probanden bildet dabei eine Ausnahme, verläuft beim Sitzen ohne Sitzheizung (Abb.2A) während der gesamten 90 Minuten deutlich unterhalb der Kurven der anderen Probanden und erreicht am Ende nur eine Temperatur von etwa 35,4°C. Die Kurven zweier weiterer Probanden setzen sich zu Beginn auch von denen der anderen ab, beginnen also ebenfalls unterhalb von 34,6°C, erreichen jedoch um die 40. bzw. 55. Minute das Band der übrigen Kurven.

Abbildung 2A

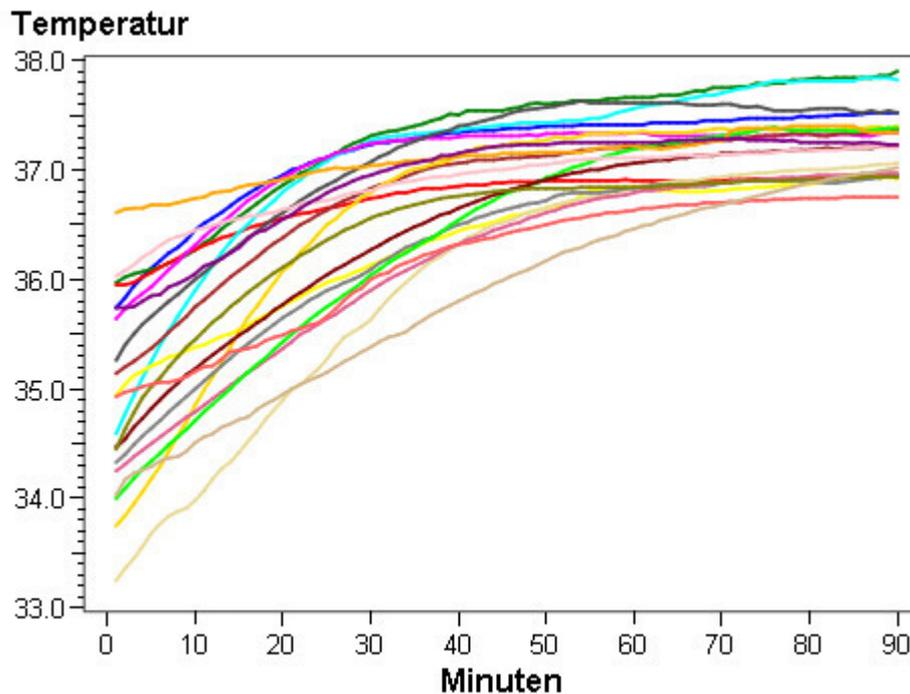
Verlauf der für die Minuten 1-90 gemessenen Temperaturen (°C) für das Sitzen *ohne Sitzheizung*. Dargestellt sind die Werte der *linken Skrotalseite* aller 30 Probanden.



Beim Sitzen mit Sitzheizung (Abb.2B) findet sich zu Beginn eine ähnlich große Spanne der Ausgangstemperaturen (33,2 - 36,1°C) wie beim Sitzen ohne Sitzheizung, mit Ausnahme eines Probanden, dessen Wert schon zu Beginn bei 36,6°C liegt. Die Kurve dieses Probanden steigt dann aber im weiteren Verlauf nur noch gering an. Ausreißer finden mit einer Ausnahme bereits nach etwa 35 Minuten von unten Anschluss an den bandförmigen Verlauf der übrigen Kurven. Ein einziger Proband erreicht erst nach 70 Minuten den Verlauf der anderen Kurven und damit eine Temperatur von 36,5°C.

Abbildung 2B

Verlauf der für die Minuten 1-90 gemessenen Temperaturen (°C) für das Sitzen *mit Sitzheizung*. Dargestellt sind die Werte der *linken Skrotalseite* aller 30 Probanden.



Für die *rechte Skrotalseite* ergibt sich ein ähnliches Bild mit einer großen Streuung der Ausgangstemperaturen zu Beginn der Sitzperiode und einer allmählichen Annäherung der Kurven aneinander, so dass sich wiederum ab der 60. Minute das Bild eines schmalen Bandes ergibt mit nahe beieinander liegenden, etwa parallel verlaufenden Kurven. Beim Sitzen ohne Sitzheizung (Abb.3A) besitzt dieses Band eine Spannweite von etwa 1,5°C, beim Sitzen mit Sitzheizung (Abb.3B) von etwa 1,0°C. Dabei bewegen sich die Temperaturen etwa zwischen 36,0 und 37,5°C beim Sitzen ohne Sitzheizung und 36,5 und 37,5°C beim Sitzen mit Sitzheizung (drei Ausnahmen mit Temperaturen zwischen 37,5 und 38,5°C).

Wie bei der linken Skrotalseite verläuft auch hier beim Sitzen ohne Sitzheizung (Abb.3A) die Kurve eines Probanden deutlich parallel unter denen der anderen, und zwar während der gesamten 90 Minuten, so dass dieser nur eine Endtemperatur von knapp 35,0°C erreicht. Die Kurve eines weiteren Probanden beginnt mit 33,3°C ebenfalls deutlich unter den anderen Kurven, welche in einem Bereich von 34,1 bis 36,0°C ihren Ausgang nehmen, und kreuzt das Band der eng beieinander liegenden Kurven der anderen Probanden erst nach 60 Minuten. Im Gegensatz zur linken Seite finden sich vereinzelt kleine Spitzen, die besonders in den am oberen Rand des Bandes verlaufenden Kurven zu sehen sind.

Abbildung 3A

Verlauf der für die Minuten 1-90 gemessenen Temperaturen (°C) für das Sitzen *ohne Sitzheizung*. Dargestellt sind die Werte der *rechten Skrotalseite* aller 30 Probanden.

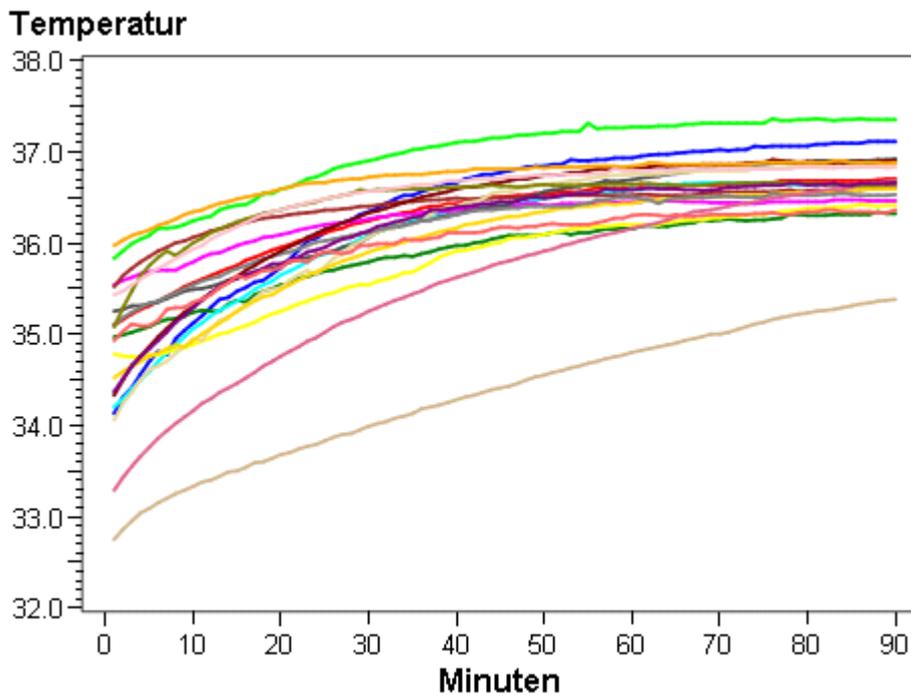
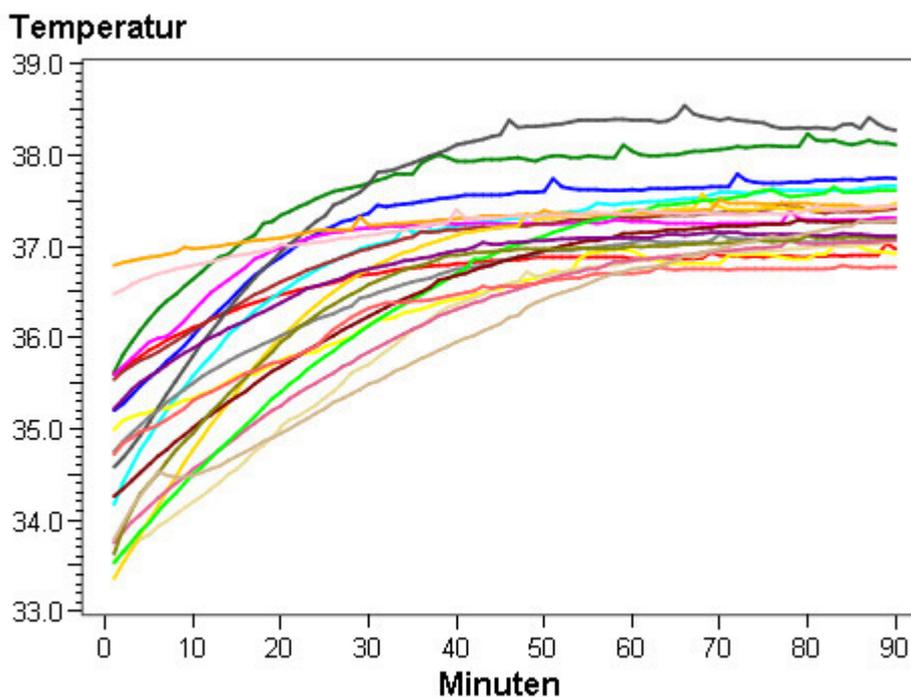


Abbildung 3B

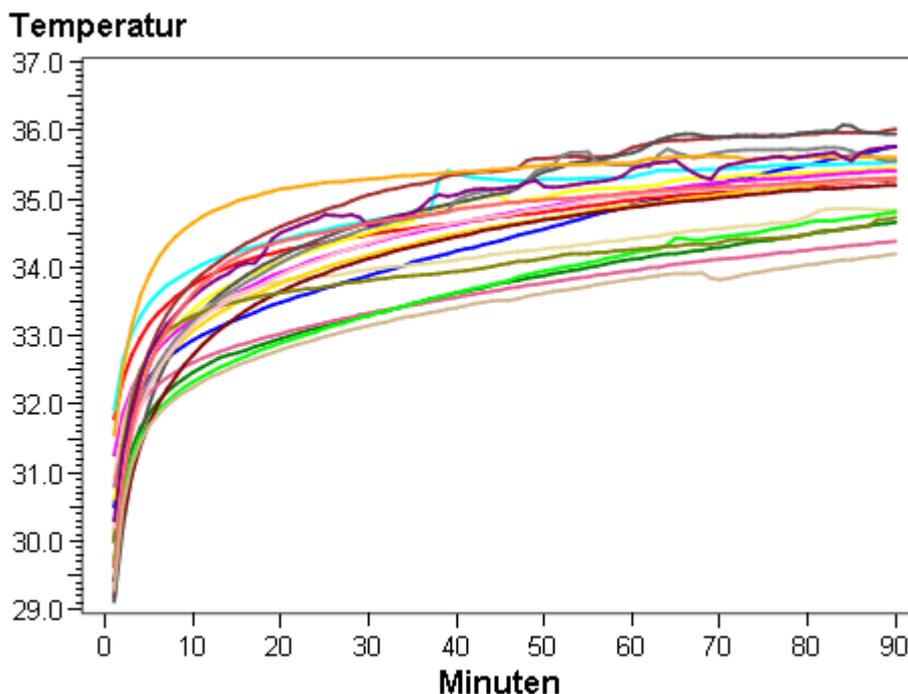
Verlauf der für die Minuten 1-90 gemessenen Temperaturen (°C) für das Sitzen *mit Sitzheizung*. Dargestellt sind die Werte der *rechten Skrotalseite* aller 30 Probanden.



Beim Sitzen mit Sitzheizung (Abb.3B) ist für die rechte Seite nach 60 Minuten das Zusammenfließen der anfangs weiter voneinander entfernten Kurven mit ihren breit gestreuten Ausgangswerten sehr ausgeprägt. Drei Probanden bilden hier eine Ausnahme, deren Kurven nach etwa 15-20 Minuten das Hauptfeld verlassen und schon früh Temperaturen von 37,0° C und höher erreichen. Diese drei Probanden erreichen Temperaturen zwischen etwa 37,5 und 38,5°C.

Abbildung 4A

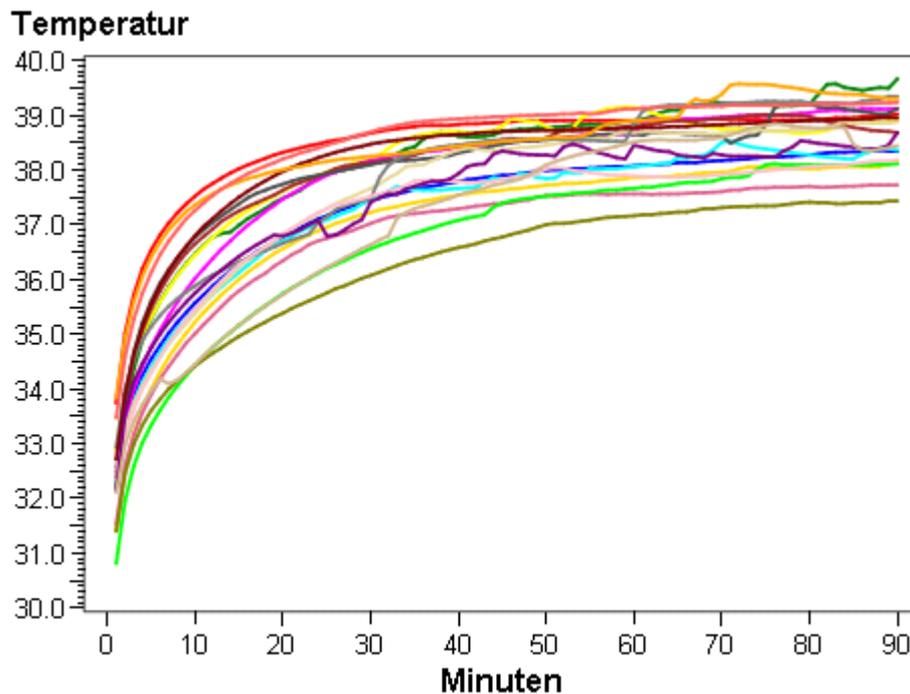
Verlauf der für die Minuten 1-90 gemessenen Temperaturen (°C) für das Sitzen *ohne Sitzheizung*. Dargestellt sind die Werte der *Sitzoberfläche* bei allen 30 Probanden.



Die Temperaturen der Sitzoberfläche für das Sitzen ohne Sitzheizung (Abb.4A) bewegen sich zu Beginn der Sitzens zwischen 29,0 und 32,0°C. Bereits innerhalb der ersten 10 Minuten findet eine Auffächerung der Kurven der einzelnen Probanden aus dem bisher gemeinsamen vertikal verlaufenden Strang statt. Die einzelnen Kurven laufen dann parallel zueinander, also in Form eines Bandes, das sich mit der Zeit verjüngt, der Abstand zwischen den einzelnen Kurven wird also zum Ende hin immer geringer. Die Temperaturen bewegen sich nach etwa 15 Minuten zwischen 32,5 und 35,0°C und nach 90 Minuten zwischen 34,0 und 36,0°C.

Abbildung 4B

Verlauf der für die Minuten 1-90 gemessenen Temperaturen (°C) für das Sitzen *mit Sitzheizung*. Dargestellt sind die Werte der *Sitzoberfläche* bei allen 30 Probanden.



Beim Sitzen mit Sitzheizung werden für die Sitzoberfläche (Abb.4B) nach der 1. Minute Temperaturen zwischen etwa 30,8 und 33,8°C beobachtet. Wie beim Sitzen ohne Heizung verlaufen die Kurven der einzelnen Probanden dann in etwa parallel zueinander, wobei hier stärkere wellenförmige Schwankungen beobachtet werden. Das auch hier durch die Art des Verlaufs entstehende Band von Temperaturkurven weist zwischen der 70. und 90. Minute Schwankungen mit Maxima nach oben auf, so dass in den letzten 20 Minuten Temperaturen zwischen etwa 37,3 und 39,7°C beobachtet werden.

4.1.1.3 Analyse der ersten und letzten 20 Minuten des Sitzens mit und ohne Sitzheizung

Wie die Abbildungen 1A und B zeigen, steigt beim Sitzen ohne bzw. mit Sitzheizung die Temperatur in den ersten 20 Minuten steil an, während in den letzten 20 Minuten die Temperatur relativ stabil bleibt. Deswegen werden für die deskriptiv statistische Analyse jeweils die ersten und die letzten 20 Minuten des Sitzens mit und ohne Sitzheizung miteinander verglichen.

TABELLE 1												
Temperaturen (Mittelwerte) der rechten und linken Skrotalseite sowie der Sitzoberfläche und weitere statistische Parameter für die ersten und letzten 20 Minuten (E20 und L20) der Sitzperiode auf dem Autositz mit Sitzheizung; N=600												
Die Mittelwerte wurden berechnet aus den jeweiligen 20 Minuten der 30 Probanden.												
Periode	Ort der Temperatur-messung	<i>Untere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Obere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Variationskoeffizient</i>	<i>MAX</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>MIN</i>	<i>Spannweite</i>	<i>STD</i>	<i>Median</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Schiefe</i>
E20	Links	35,6	35,7	2,1	36,9	35,6	33,2	3,7	0,8	35,7	- 0,5	- 0,4
	Rechts	35,5	35,6	2,4	37,3	35,5	33,4	4,0	0,9	35,6	- 0,7	- 0,1
	Sitz	35,4	35,7	4,2	38,3	35,5	30,8	7,5	1,5	35,7	- 0,3	- 0,5
L20	Links	37,2	37,3	0,8	37,9	37,2	36,5	1,4	0,3	37,3	0,5	- 0,0
	Rechts	37,3	37,4	1,1	38,4	37,3	36,3	2,1	0,4	37,3	0,4	0,3
	Sitz	38,5	38,6	1,4	39,7	38,6	37,3	2,3	0,5	38,6	- 0,7	- 0,2

TABELLE 2												
Temperaturen der rechten und linken Skrotalseite sowie der Sitzoberfläche für die ersten und letzten 20 Minuten (E20 und L20) der Sitzperiode auf dem Autositz ohne Sitzheizung; N=600												
Die Mittelwerte wurden berechnet aus den jeweiligen 20 Minuten der 30 Probanden.												
Periode	Ort der Temperatur-messung	<i>Untere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Obere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Variationskoeffizient</i>	<i>MAX</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>MIN</i>	<i>Spannweite</i>	<i>STD</i>	<i>Median</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Schiefe</i>
E20	Links	35,4	35,5	1,9	36,6	35,4	33,1	3,5	0,7	35,5	0,6	- 0,9
	Rechts	35,2	35,3	2,1	36,6	35,3	32,7	3,8	0,7	35,4	0,9	- 0,9
	Sitz	32,7	32,9	3,5	35,2	32,8	28,9	6,3	1,1	32,9	0,9	- 0,8
L20	Links	36,6	36,7	0,9	37,3	36,7	35,4	1,9	0,3	36,7	3,5	- 1,1
	Rechts	36,6	36,7	1,0	37,4	36,7	35,0	2,3	0,4	36,7	5,9	- 1,7
	Sitz	35,2	35,2	1,5	36,4	35,2	33,8	2,5	0,5	35,3	- 0,5	- 0,2

Zusammenfassung der Tabellen 1 und 2

TABELLE 3			
Temperaturen (Mittelwerte \pm STD) der rechten und linken Skrotalseite sowie der Sitzoberfläche für die ersten und letzten 20 Minuten des Sitzens auf dem beheizten bzw. unbeheizten Autositz; N=600			
Die Mittelwerte wurden berechnet aus den jeweiligen 20 Minuten der 30 Probanden.			
Sitzheizung	Ort der Temperaturmessung	Periode der ersten 20 Minuten	Periode der letzten 20 Minuten
Mit Heizung	Links	35,6 \pm 0,8	37,2 \pm 0,3
	Rechts	35,5 \pm 0,9	37,3 \pm 0,4
	Sitz	35,5 \pm 1,5	38,6 \pm 0,5
Ohne Heizung	Links	35,4 \pm 0,7	36,7 \pm 0,3
	Rechts	35,3 \pm 0,7	36,7 \pm 0,4
	Sitz	32,8 \pm 1,1	35,2 \pm 0,5

Anmerkung: Die Mittelwerte für das Sitzen auf dem beheizten bzw. unbeheizten Autositz (erste und letzte 20 Minuten) wurden aus den jeweiligen 20 Minuten der 30 Probanden berechnet (N=600).

Die Temperaturen (Mittelwerte, STD, untere/obere 95% KG für Mittelwert, MAX, MIN, Median) werden in °C angegeben.

KG= Konfidenzgrenze

MAX= Maximum

MIN= Minimum

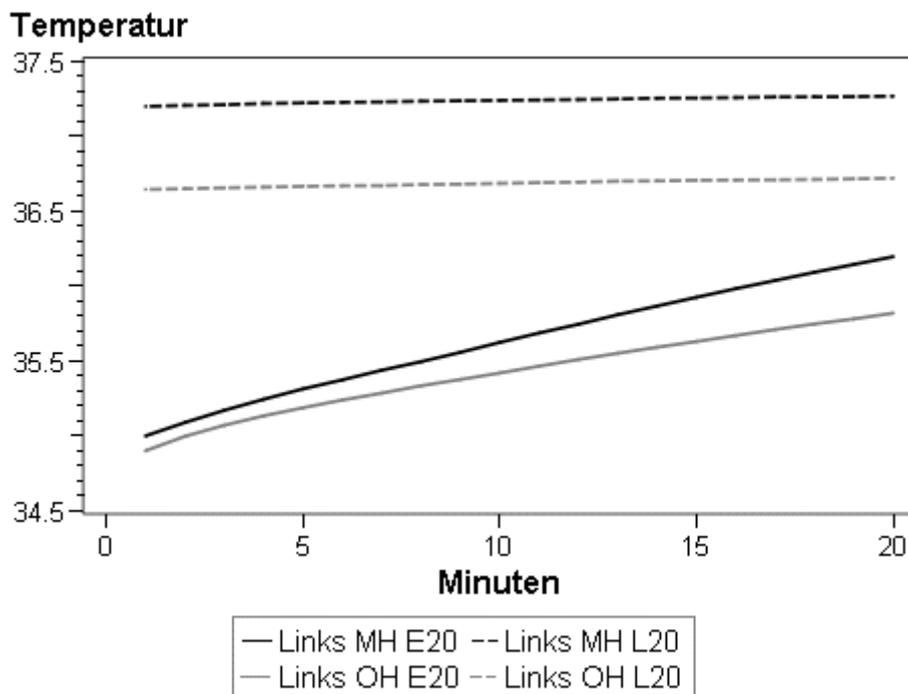
STD= Standard Deviation = Standardabweichung

Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und weitere statistische Parameter für das Sitzen auf dem beheizten Autositz unter Berücksichtigung der Periode der ersten und letzten 20 Minuten des Sitzens. Tabelle 2 zeigt eben diese Werte für das Sitzen auf dem unbeheizten Autositz.

Die Daten, welche den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen sind, werden grafisch dargestellt und zwar als Verlauf der Mittelwerte der jeweils ersten und letzten 20 Minuten des Sitzens mit und ohne Heizung. Dargestellt werden diese Werte für die linke (Abb.5A) und rechte Skrotalseite (Abb.5B) sowie für die Sitzoberfläche (Abb.5C).

Abbildung 5A

Mittelwerte der Periode der ersten und letzten 20 Minuten (E20 und L20) des Sitzens mit und ohne Sitzheizung (MH und OH). Dargestellt ist der Verlauf für die *linke Skrotalseite* bei 30 Probanden.



Wie Abbildung 5A zeigt, verlaufen die mittleren Temperaturen der linken Skrotalseite der Periode der ersten 20 Minuten für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung am Anfang noch parallel. Etwa ab der 5. Minute werden die Unterschiede für das Sitzen mit und ohne Heizung dann immer größer, so dass für die 20. Minute eine maximale Differenz von etwa 0,4°C zwischen beiden Kurven abgelesen werden kann.

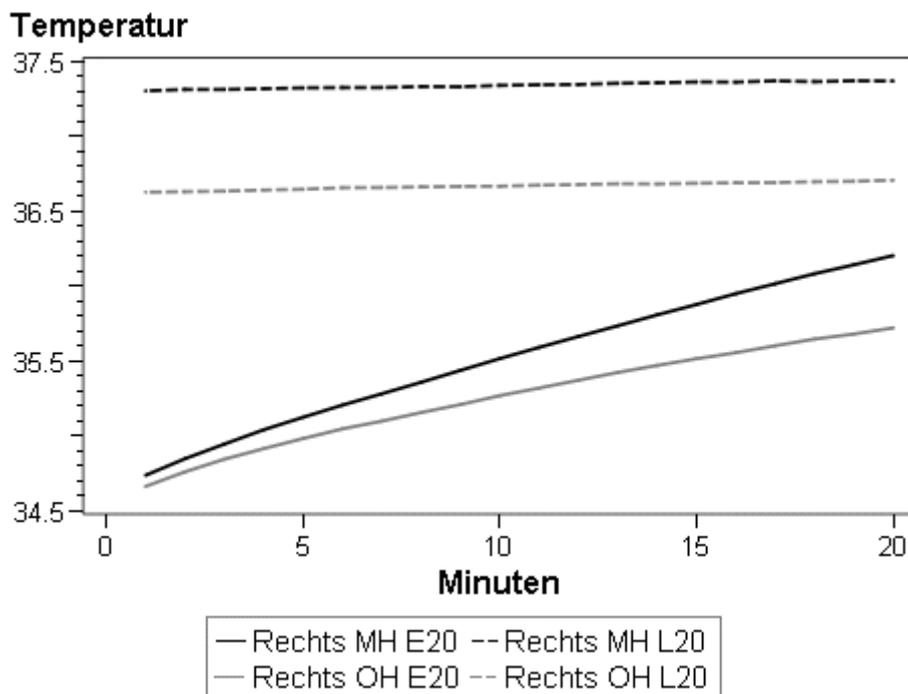
Die Differenz der Mittelwerte des Sitzens mit und ohne Heizung für die Periode der ersten 20 Minuten beträgt 0,2°C für die linke Skrotalseite (Tab.5).

Die Mittelwerte der Periode der letzten 20 Minuten für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung verlaufen streng parallel und weisen, wie der Grafik und Tabelle 5 entnommen werden kann, eine Differenz von $0,5^{\circ}\text{C}$ auf.

Ein Vergleich der Temperaturen der ersten und letzten 20 Minuten der linken Skrotalseite für das Sitzen mit Sitzheizung ergibt, wie aus Tabelle 4 ersichtlich, einen Unterschied von $1,6^{\circ}\text{C}$. Für das Sitzen ohne Sitzheizung beträgt der Unterschied $1,3^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 5B

Mittelwerte der Periode der ersten und letzten 20 Minuten (E20 und L20) des Sitzens mit und ohne Sitzheizung (MH und OH). Dargestellt ist der Verlauf für die *rechte Skrotalseite* bei 30 Probanden.



Die Kurven der Mittelwerte der rechten Skrotalseite (Abb.5B) der Periode der ersten 20 Minuten für das Sitzen mit und ohne Heizung beginnen mit etwas niedrigeren Ausgangstemperaturen als die der linken Skrotalseite, verlaufen zunächst ebenfalls parallel und entfernen sich dann kontinuierlich voneinander. Für die 20. Minute kann der Grafik eine maximale Differenz für das Sitzen mit und ohne Heizung von etwa $0,5^{\circ}\text{C}$ entnommen werden.

Der Unterschied zwischen den Mittelwerten des Sitzens mit und ohne Sitzheizung für die Periode der ersten 20 Minuten beträgt für die rechte Seite ebenfalls $0,2^{\circ}\text{C}$ und kann Tabelle 5 entnommen werden.

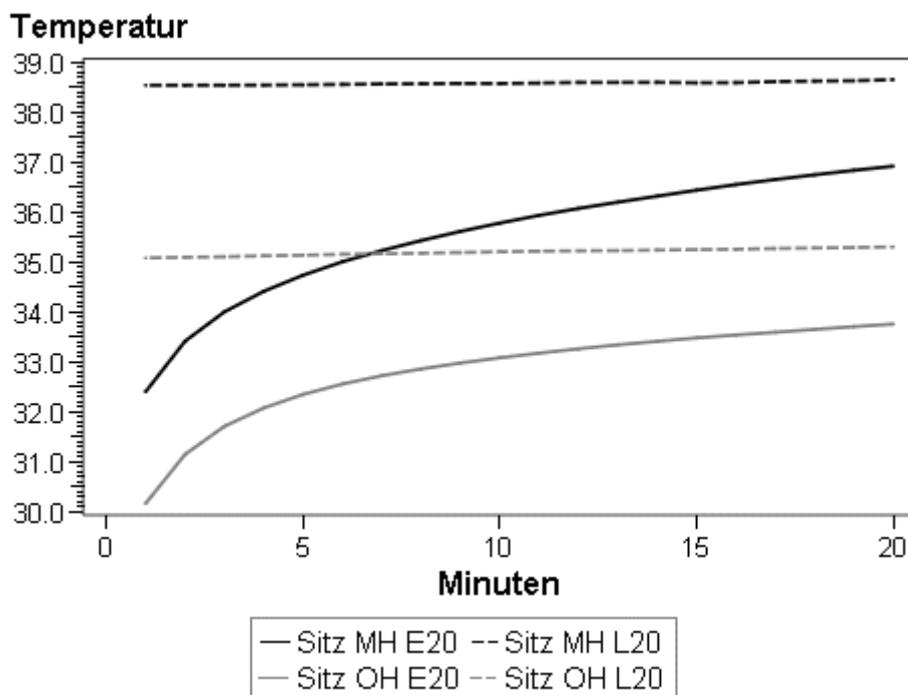
Die Mittelwerte für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung der Periode der letzten 20 Minuten verlaufen parallel, und zwar mit einer Differenz von $0,6^{\circ}\text{C}$, welche aus Tabelle 5 entnommen werden kann.

Vergleicht man die Temperaturen der ersten und letzten 20 Minuten der rechten Skrotalseite, so findet man für das Benutzen des beheizten Autositzes einen Unterschied von $1,8^{\circ}\text{C}$ (Tab.4). Tabelle 4 zeigt diese Differenz auch für das Sitzen auf dem unbeheizten Autositz, welche $1,4^{\circ}\text{C}$ beträgt.

Die Differenz zwischen den Temperaturen (Mittelwerte) der rechten und linken Skrotalseite für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung, jeweils für die Periode der ersten und letzten 20 Minuten können der Tabelle 6 entnommen werden. Diese beträgt für das Sitzen mit Heizung (erste und letzte 20 Minuten) sowie die ersten 20 Minuten des Sitzens ohne Heizung jeweils $0,1^{\circ}\text{C}$, und für die letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Heizung $0,0^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 5C

Mittelwerte der Periode der ersten und letzten 20 Minuten (E20 und L20) des Sitzens mit und ohne Sitzheizung (MH und OH). Dargestellt ist der Verlauf für die *Sitzoberfläche* bei 30 Probanden.



Wie Abb. 5C zeigt, verlaufen die Mittelwerte der Temperaturen der Sitzoberfläche, gemessen

für das Sitzen mit und ohne Heizung, jeweils für die ersten und letzten 20 Minuten, in etwa parallel zueinander.

Für die Temperaturkurven der ersten 20 Minuten des Sitzens mit und ohne Heizung zeigt sich ein Unterschied von $2,7^{\circ}\text{C}$, für die Kurven der letzten 20 Minuten von $3,4^{\circ}\text{C}$ (Tabelle 5).

Bei einem Vergleich der Temperaturen (Mittelwerte) der Sitzoberfläche der ersten und letzten 20 Minuten für das Sitzen mit Sitzheizung zeigt sich ein Unterschied von $3,1^{\circ}\text{C}$ (Tabelle 4). Für das Sitzen ohne Sitzheizung ergibt sich analog eine Differenz von $2,4^{\circ}\text{C}$.

TABELLE 4				
Vergleich der Periode der ersten und der letzten 20 Minuten (Mittelwerte; °C) für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung				
Sitzheizung	Ort der Temperaturmessung	Periode der ersten 20 Minuten	Periode der letzten 20 Minuten	Differenz
Mit Heizung	Links	35,6	37,2	1,6
	Rechts	35,5	37,3	1,8
	Sitz	35,5	38,6	3,1
Ohne Heizung	Links	35,4	36,7	1,3
	Rechts	35,3	36,7	1,4
	Sitz	32,8	35,2	2,4

TABELLE 5				
Vergleich des Sitzens mit und ohne Heizung (Mittelwerte; °C) für die Periode der ersten und der letzten 20 Minuten				
Periode	Ort der Temperaturmessung	Mit Heizung	Ohne Heizung	Differenz
Periode der ersten 20 Minuten	Links	35,6	35,4	0,2
	Rechts	35,5	35,3	0,2
	Sitz	35,5	32,8	2,7
Periode der letzten 20 Minuten	Links	37,2	36,7	0,5
	Rechts	37,3	36,7	0,6
	Sitz	38,6	35,2	3,4

TABELLE 6				
Vergleich der Skrotaltemperatur (Mittelwerte; °C) der linken und rechten Seite für das Sitzen mit und ohne Heizung, jeweils für die Periode der ersten und der letzten 20 Minuten.				
Sitzheizung	Periode	Links	Rechts	Differenz
Mit Heizung	Periode der ersten 20 Minuten	35,6	35,5	0,1
	Periode der letzten 20 Minuten	37,2	37,3	0,1
Ohne Heizung	Periode der ersten 20 Minuten	35,4	35,3	0,1
	Periode der letzten 20 Minuten	36,7	36,7	0,0

Anmerkung: Die Mittelwerte für das Sitzen auf dem beheizten bzw. unbeheizten Autositz (erste und letzte 20 Minuten) wurden aus den jeweiligen 20 Minuten der 30 Probanden berechnet (N=600).

4.1.2 Experiment II

Beim Fahren auf dem Fahrradergometer bei moderater körperlicher Anstrengung (25 W) ergaben sich Mittelwerte der Skrotaltemperaturen für rechts bzw. links von 35,5 bzw. 35,8° C zu Beginn und 35,4 bzw. 35,5° C nach 60 Minuten.

Es zeigte sich ein Maximum der Skrotaltemperatur von 37,0° C für die rechte und 36,9° C für die linke Seite. Der Mittelwert der am Sattel gemessenen Temperaturen betrug zu Beginn 31,3° C und nach 60 Minuten 35,5° C. An der Oberfläche des Sattels wurde eine maximale Temperatur von 36,5° C gemessen.

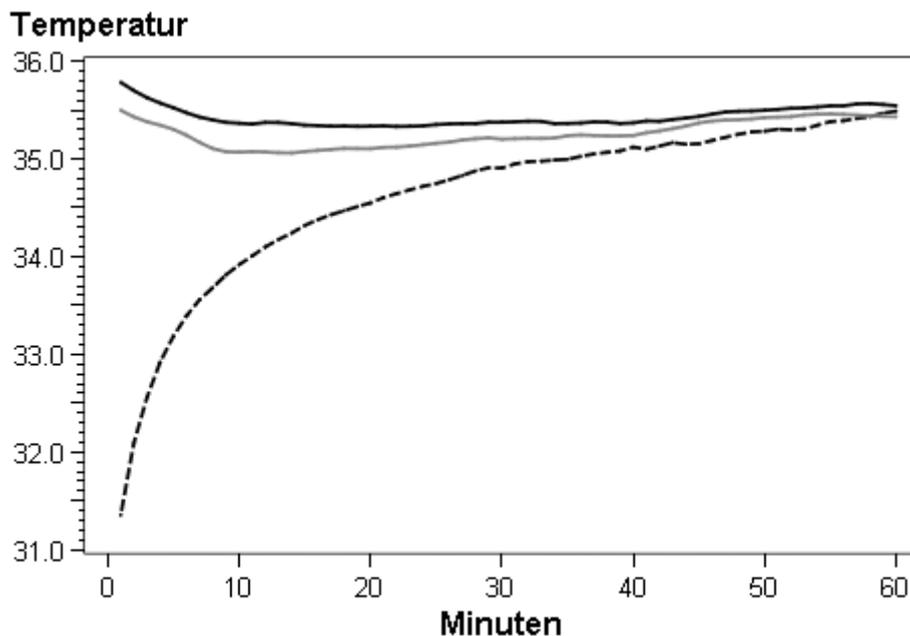
4.1.2.1 Mittlere Temperaturen für das Fahrradfahren

Die Mittelwerte für das Fahrradfahren von 60 Minuten werden in Abbildung 6 jeweils für die linke bzw. rechte Skrotalseite und den Sattel dargestellt.

Wie Abbildung 6 zeigt, steigt die mittlere Temperatur der Satteloberfläche stetig an, und zwar über die gesamten 60 Minuten. Ein starker Anstieg der Oberflächentemperatur des Sattels ist innerhalb der ersten 10 Minuten zu beobachten, wobei die Temperatur von etwas unter 31,5°C auf 33,9°C ansteigt. Im weiteren Verlauf nähert sich die Temperatur der Satteloberfläche der Skrotaltemperatur immer mehr an und erreicht in der 60. Minute 35,48°C und damit etwa das Niveau der Skrotaltemperatur. Der angedeutete weitere Verlauf der Mittelwerte der an der Satteloberfläche gemessenen Temperaturen zeigt eine steigende Tendenz. Der Verlauf der Mittelwerte der rechten und linken Skrotalseite fällt zunächst ab, bleibt im weiteren Verlauf relativ stabil und zeigt in den letzten 20 Minuten einen minimalen Anstieg. Die der Grafik zu entnehmenden Ausgangstemperaturen von 35,49 (rechts) bzw. 35,78°C (links) werden mit 35,43 bzw. 35,54°C bis zur 60. Minute knapp nicht erreicht.

Abbildung 6

Mittelwerte der für die Minuten 1-60 gemessenen Temperaturen (°C) für das Fahren auf dem Fahrradergometer bei moderater körperlicher Belastung (25 W). Dargestellt ist der Verlauf für die linke und rechte Skrotalseite sowie die Satteloberfläche bei 25 Probanden.



--- Satteloberfläche; — (dunkel) linke Skrotalseite; — (hell) rechte Skrotalseite

4.1.2.2 Temperaturen der einzelnen Probanden für das Fahrradfahren

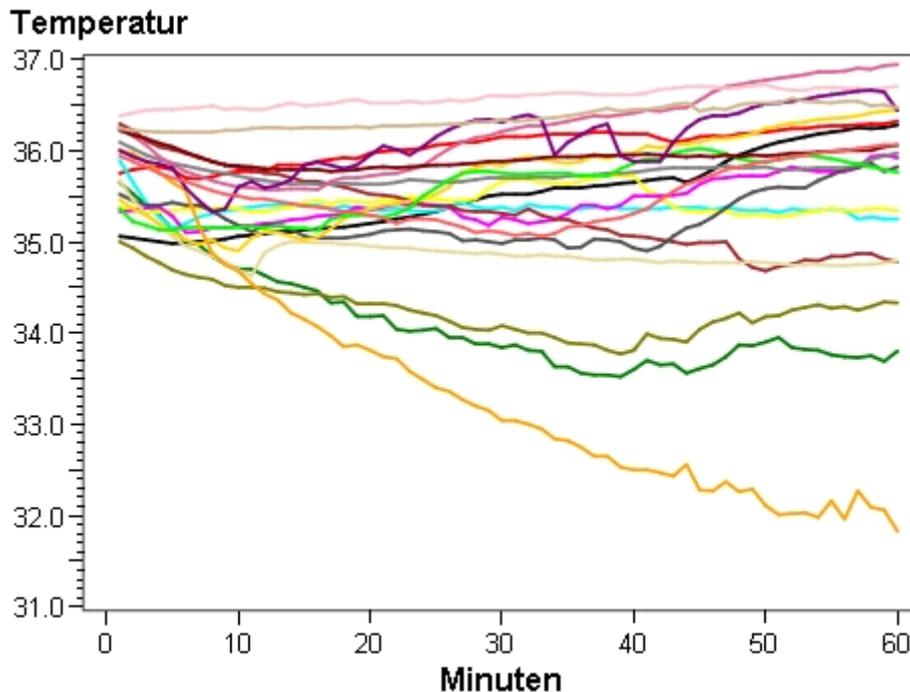
Nachdem oben die mittleren Temperaturen für das Fahren auf dem Fahrradergometer dargestellt wurden, betrachten wir jetzt den Temperaturverlauf für jeden einzelnen der 25 Probanden. Dabei werden die Kurven aller Probanden für die rechte und linke Skrotalseite sowie die Satteloberfläche getrennt dargestellt.

Wie Abb. 7A zeigt, liegen die Ausgangswerte der Kurven, welche den Verlauf der Mittelwerte für die linke Skrotalseite der 25 Probanden zeigen, zwischen 35,0 und 36,4° C. Ab der 10. Minute beginnt der Verlauf der Kurven stark zu streuen, so dass die Spannweite der in der 60. Minute erreichten Temperaturen aller 25 Probanden zwischen 31,7 und 36,9° C liegt. Mit Ausnahme von 3 Probanden liegen die in der 60. Minute erreichten Temperaturen jedoch zwischen 34,6 und 36,9° C.

Die Mehrheit der Kurven verläuft stark geschlängelt, einige mit regelrechten Bergen und Tälern.

Abbildung 7A

Verlauf der für die Minuten 1-60 gemessenen Temperaturen (°C) für das Fahren auf dem Fahrradergometer bei moderater körperlicher Belastung (25 W). Dargestellt sind die Werte der *linken Skrotalseite* aller 25 Probanden.



Die Ausgangswerte der Kurven, welche den Verlauf der mittleren Temperaturen der rechten Skrotalseite (Abb.7B) darstellen, liegen unterhalb denen der linken Skrotalseite und befinden sich zwischen 34,5 und 36,3°C. Die Spannweite der Ausgangswerte beträgt also 1,8°C und ist größer als die der linken Skrotalseite, welche nur 1,4°C beträgt. Die schon in der 1. Minute ausgeprägte Streuung der Werte setzt sich im weiteren Verlauf fort, so dass in der 60. Minute, bei Betrachtung der Kurven aller Probanden, Temperaturen zwischen 32,3 und 37,0°C beobachtet werden. Dabei bleiben die Kurven von 3 Probanden deutlich unter denen der anderen und erreichen niedrige Temperaturen zwischen 32,3 und 33,8°C.

Die nach 60 Minuten erreichte Spanne der Mittelwerte aller 25 Probanden ist mit 4,7°C geringer als die der linken Skrotalseite mit einer Differenz von 5,2°C zwischen dem in der 60. Minute erreichten niedrigsten und höchsten Wert.

Abbildung 7B

Verlauf der für die Minuten 1-60 gemessenen Temperaturen (°C) für das Fahren auf dem Fahrradergometer bei moderater körperlicher Belastung (25 W). Dargestellt sind die Werte der *rechten Skrotalseite* aller 25 Probanden.

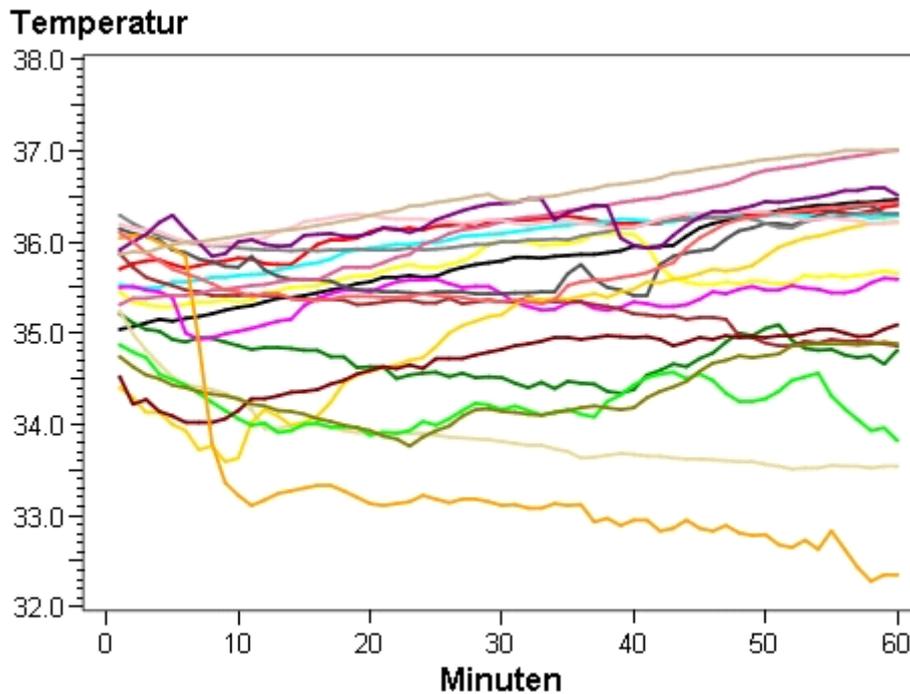
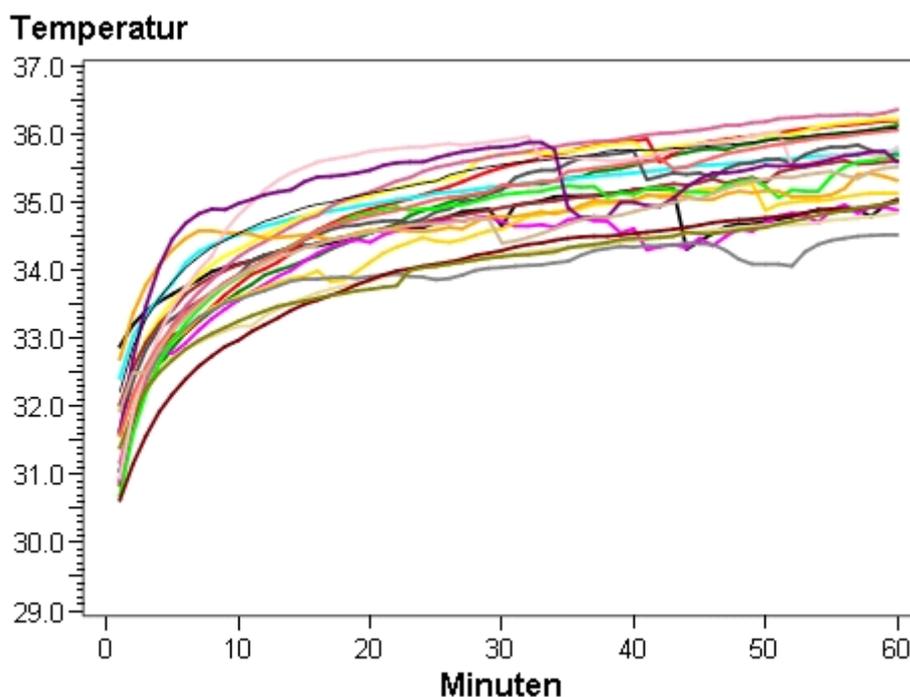


Abbildung 7C

Verlauf der für die Minuten 1-60 gemessenen Temperaturen (°C) für das Fahren auf dem Fahrradergometer bei moderater körperlicher Belastung (25 W). Dargestellt sind die Werte der *Satteloberfläche* bei allen 25 Probanden.



Wie Abbildung 7C zeigt, beginnen die Kurven der Mittelwerte der Temperaturen der Satteloberfläche in einem Bereich zwischen etwa 30,6 und 32,9°C.

Innerhalb der ersten 10 Minuten steigen die Temperaturen auf Werte zwischen 32,8 und 35,0°C. Die Kurven verlaufen unregelmäßig und geschlängelt, ein stetiger Anstieg über die kompletten 60 Minuten ist nur bei wenigen Probanden zu beobachten. Für die 60. Minute kann man der Grafik Werte zwischen 34,5 und 36,8°C entnehmen. Die Temperaturkurven bei allen Probanden bewegen sich somit ausnahmslos zwischen der 10. und 60. Minute in einem Bereich mit einer Spannweite von 2,2 bis 2,3°C.

4.1.2.3 Analyse der ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens sowie der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung

Für die deskriptiv statistische Analyse werden jeweils die ersten, die mittleren und die letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens sowie die letzten 20 Minuten des unmittelbar vorausgegangenen Sitzens ohne Sitzheizung betrachtet. (Der Zeitraum der 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung wird nur im Abschnitt 4.2.2.3 der Varianzanalyse berücksichtigt).

Die Tabellen 7-9 zeigen die Mittelwerte und weitere statistische Parameter für das Fahrradfahren unter Berücksichtigung der Periode der ersten, mittleren und der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens. Tabelle 10 zeigt die Mittelwerte und weitere statistische Parameter für die letzten 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz.

TABELLE 7											
Temperaturen (Mittelwerte) der rechten und linken Skrotalseite sowie der Satteloberfläche und weitere statistische Parameter für die ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens auf dem Fahrradergometer mit moderater Belastung (25 W); (N=500)											
Ort der Temperatur-messung	<i>Untere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Obere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Variations-koeff.</i>	<i>MAX</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>MIN</i>	<i>Spannweite</i>	<i>STD</i>	<i>Median</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Schiefe</i>
Links	35,4	35,5	1,6	36,7	35,4	33,8	2,9	0,6	35,4	- 0,1	- 0,2
Rechts	35,1	35,2	2,2	36,3	35,2	33,1	3,2	0,8	35,4	- 0,6	- 0,7
Sattel	33,6	33,8	3,1	35,8	33,7	29,3	6,4	1,0	33,8	0,8	- 0,8

TABELLE 8											
Temperaturen (Mittelwerte) der rechten und linken Skrotalseite sowie der Satteloberfläche und weitere statistische Parameter für die mittleren 20 Minuten des Fahrradfahrens auf dem Fahrradergometer mit moderater Belastung (25 W); N= 500											
Ort der Temperatur-messung	<i>Untere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Obere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Variations-koeff.</i>	<i>MAX</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>MIN</i>	<i>Spannweite</i>	<i>STD</i>	<i>Median</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Schiefe</i>
Links	35,3	35,4	2,3	36,6	35,4	32,5	4,1	0,8	35,5	1,4	- 1,2
Rechts	35,1	35,3	2,7	36,7	35,2	32,9	3,8	0,9	35,4	- 0,9	- 0,5
Sattel	34,8	35,0	2,0	36,1	34,9	32,6	3,5	0,7	34,9	1,1	- 0,8

TABELLE 9											
Temperaturen (Mittelwerte) der rechten und linken Skrotalseite sowie der Satteloberfläche und weitere statistische Parameter für die letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens auf dem Fahrradergometer mit moderater Belastung (25 W); N= 500											
Ort der Temperatur-messung	<i>Untere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Obere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Variations-koeff.</i>	<i>MAX</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>MIN</i>	<i>Spannweite</i>	<i>STD</i>	<i>Median</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Schiefe</i>
Links	35,4	35,6	2,8	36,9	35,5	31,8	5,1	1,0	35,8	2,7	- 1,5
Rechts	35,3	35,5	3,1	37,0	35,4	32,3	4,7	1,1	35,7	- 0,2	- 0,8
Sattel	35,2	35,3	1,9	36,5	35,3	33,1	3,4	0,7	35,3	0,0	- 0,5

TABELLE 10											
Temperaturen (Mittelwerte) der rechten und linken Skrotalseite sowie der Sitzoberfläche und weitere statistische Parameter für die letzten 20 Minuten <i>des Sitzens</i> auf dem unbeheizten Autositz; N= 500											
Ort der Temperatur-messung	<i>Untere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Obere 95% KG für Mittelwert</i>	<i>Variations-koeff.</i>	<i>MAX</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>MIN</i>	<i>Spannweite</i>	<i>STD</i>	<i>Median</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Schiefe</i>
Links	36,7	36,7	0,9	37,3	36,7	35,4	1,9	0,3	36,7	4,2	- 1,3
Rechts	36,6	36,7	1,0	37,4	36,7	35,0	2,3	0,4	36,7	6,3	- 1,9
Sitz	35,1	35,2	1,6	36,4	35,2	33,8	2,5	0,6	35,2	- 0,6	- 0,2

Zusammenfassung der Tabellen 7 – 10

TABELLE 11				
Temperaturen (Mittelwerte \pm STD; °C) der rechten und linken Skrotalseite sowie der Sitz-/Satteloberfläche für die ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens (60 Min.) sowie die letzten 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz				
Ort der Temperaturmessung	Periode der letzten 20 Minuten des Sitzens	Periode der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens	Periode der mittleren 20 Minuten des Fahrradfahrens	Periode der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens
Links	36,7 \pm 0,3	35,4 \pm 0,6	35,4 \pm 0,8	35,5 \pm 1,0
Rechts	36,7 \pm 0,4	35,2 \pm 0,8	35,2 \pm 0,9	35,4 \pm 1,1
Sitz/Sattel	35,2 \pm 0,6	33,7 \pm 1,0	34,9 \pm 0,7	35,3 \pm 0,7

Anmerkung: Die Mittelwerte für das Fahren auf dem Fahrradergometer (erste, mittlere und letzte 20 Minuten) sowie für das Sitzen auf dem unbeheizten Autositz (letzte 20 Minuten) wurden aus den jeweiligen 20 Minuten der 25 Probanden berechnet (N=500). Die Temperaturen (Mittelwerte, STD, untere/obere 95% KG für Mittelwert, MAX, MIN, Median) werden in °C angegeben.

KG= Konfidenzgrenze
 MAX= Maximum
 MIN= Minimum
 STD= Standard Deviation = Standardabweichung

Die Daten, welche den Tabellen zu entnehmen sind, werden grafisch dargestellt und zwar in Form von Mittelwerten (mit Standardabweichung) der jeweils letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung sowie der sich anschließenden ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens. Dargestellt wird dieser Verlauf der Mittelwerte für die linke (Abb.8A) und rechte Skrotalseite (Abb.8B) sowie für die Sitz-/Satteloberfläche (Abb.8C).

Die in Abbildung 8A dargestellte Kurve der Mittelwerte der linken Skrotalseite zeigt zu Beginn die Mittelwerte der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung (-20 bis -1). Dieser Abschnitt beginnt mit einem Wert von $36,6^{\circ}\text{C}$ (-20. Minute) und endet mit einem Wert von $36,7^{\circ}\text{C}$ (-1. Minute). Zu Beginn des Fahrradfahrens (1. Minute) ist die Kurve der Mittelwerte bereits steil abgefallen, und zwar um $0,9^{\circ}\text{C}$ auf $35,8^{\circ}\text{C}$. Während der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens beschreibt die Kurve eine Senke und erreicht in der 20. Minute eine Temperatur von etwa $35,3^{\circ}\text{C}$. Für die nächsten 20 Minuten (21.-40. Minute) des Fahrradfahrens bleibt die Kurve relativ stabil. In den letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens ist ein leichter Anstieg der Werte zu beobachten. Für die 60. Minute ist der Grafik dann ein Mittelwert von $35,5^{\circ}\text{C}$ zu entnehmen. Die Standardabweichung wird während der beobachteten 80 Minuten immer größer und nimmt während der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens maximale Werte an.

Ein Vergleich der Mittelwerte der Periode der ersten und der mittleren 20 Minuten des Fahrradfahrens zeigt keinen Unterschied (Differenz $0,0^{\circ}\text{C}$, Tab.12). Vergleicht man dagegen die Periode der ersten und der letzten 20 Minuten, sowie die der mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens miteinander, so ergibt sich jeweils eine Differenz von $0,1^{\circ}\text{C}$ (Tab.13 und 14).

Ein Vergleich der Periode der ersten bzw. der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens mit den letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung ergibt einen Unterschied der Mittelwerte von $1,3$ bzw. $1,2^{\circ}\text{C}$ (Tab.15 und 16).

Abbildung 8A

Mittelwerte mit Standardabweichung für die letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung sowie die ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrens auf dem Fahrradergometer bei moderater körperlicher Belastung (25 W). Dargestellt ist der Verlauf für die *linke Skrotalseite*

Temperatur

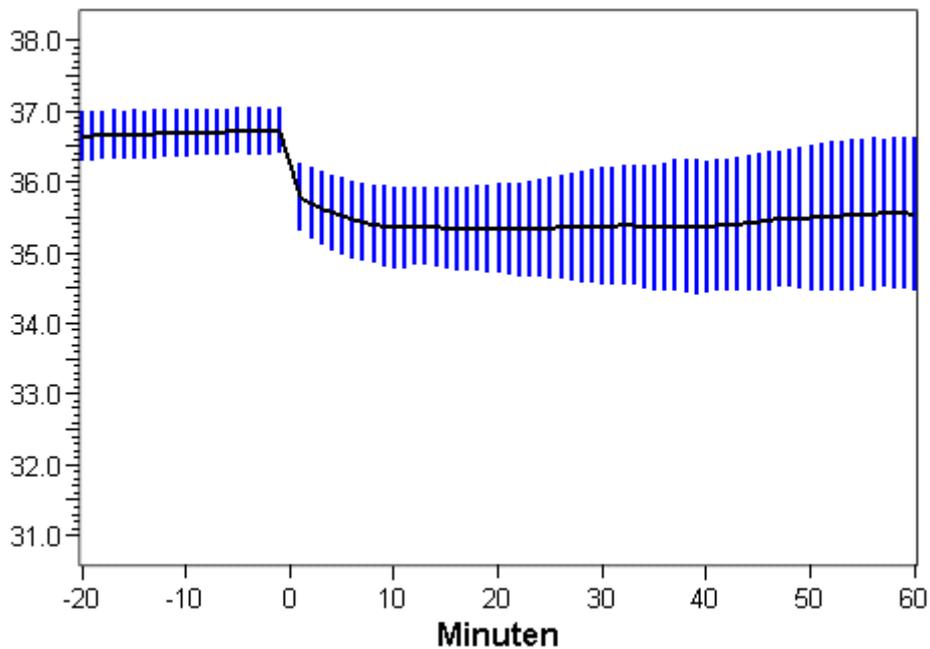
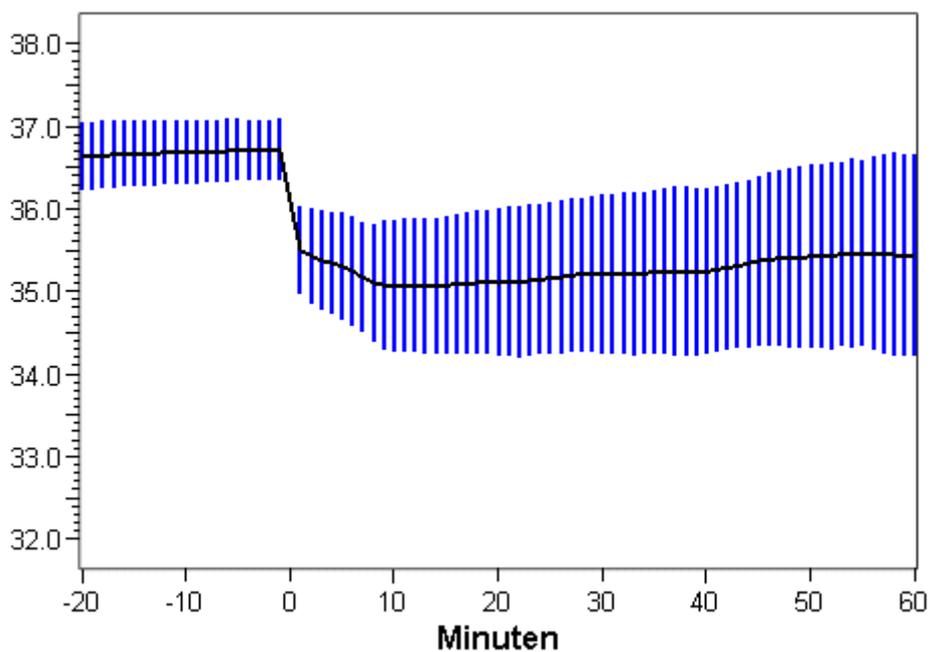


Abbildung 8B

Mittelwerte mit Standardabweichung für die letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung sowie die ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens bei moderater körperlicher Belastung (25 W). Dargestellt ist der Verlauf für die *rechte Skrotalseite*.

Temperatur



Analog zu Abbildung 8A zeigt Abbildung 8B den Verlauf der Mittelwerte der rechten Skrotalseite für die letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung und für die ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens von insgesamt 60 Minuten. Der Verlauf der Mittelwerte der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung (-20 bis -1) beginnt bei 36,6°C und steigt bis zum Ende der Periode auf 36,7°C an. Für die erste Minute des Fahrradfahrens kann man der Abbildung einen Wert von 35,5°C entnehmen. Zwischen der letzten Minute des Sitzens ohne Sitzheizung und der ersten Minute des Fahrradfahrens ist also ein steiler Abfall der Kurve um etwa 1,2°C zu verzeichnen. Während der ersten 10 Minuten des Fahrradfahrens fällt die Kurve weiter ab, bevor in der 20. Minute eine Temperatur von 35,1°C erreicht wird. Während der folgenden 20 Minuten des Fahrradfahrens steigt die Temperatur nur auf 35,2°C (40. Minute) an. Für die letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens ist dann ein Anstieg der Mittelwerte auf 35,4°C in der 60. Minute zu beobachten.

Ein Vergleich der Mittelwerte der Periode der ersten und der mittleren 20 Minuten des Fahrradfahrens miteinander ergibt auch für die rechte Skrotalseite keinen Unterschied (Differenz 0,0°C, Tab.12). Vergleicht man aber die Periode der ersten und der mittleren 20 Minuten mit der Periode der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens, so zeigt sich eine Differenz der Mittelwerte von jeweils 0,2°C (Tab.13 und 14).

Vergleicht man noch die Periode der ersten bzw. letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens mit den letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung, so zeigen die Tabellen 15 und 16 für die rechte Skrotalseite eine Differenz von 1,5 bzw. 1,3°C.

Wie Abbildung 8C zeigt, steigen die Mittelwerte der Temperaturen der Sitzoberfläche während der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung von 35,1 auf 35,3°C an. Der für die 1. Minute des Fahrens auf dem Fahrradergometer beobachtete Mittelwert der Temperaturen der Satteloberfläche beträgt dagegen nur etwa 31,4°C. Die Kurve der Mittelwerte der an der Satteloberfläche gemessenen Temperaturen steigt stetig an und erreicht schon nach etwa 10 Minuten einen Wert von 33,9° C. Bis zur 20. Minute ist ein Anstieg der Temperatur auf 34,5° C, bis zur 40. Minute auf 35,1°C zu verzeichnen, Für die 60. Minute ist der Grafik ein Wert von 35,5°C zu entnehmen. Der für die letzte Minute der Sitzperiode ohne Sitzheizung ermittelte Wert der Autositzoberfläche von 35,3°C wird also von der des Sattels nach 60 Minuten übertroffen. Zum Zeitpunkt des Erreichens der 60. Minute zeigt die Kurve der Mittelwerte eine weiter steigende Tendenz.

Abbildung 8C

Mittelwerte mit Standardabweichung für die letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung sowie die ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens bei moderater körperlicher Belastung (25 W). Dargestellt ist der Verlauf für die *Sitz-/Satteloberfläche*.

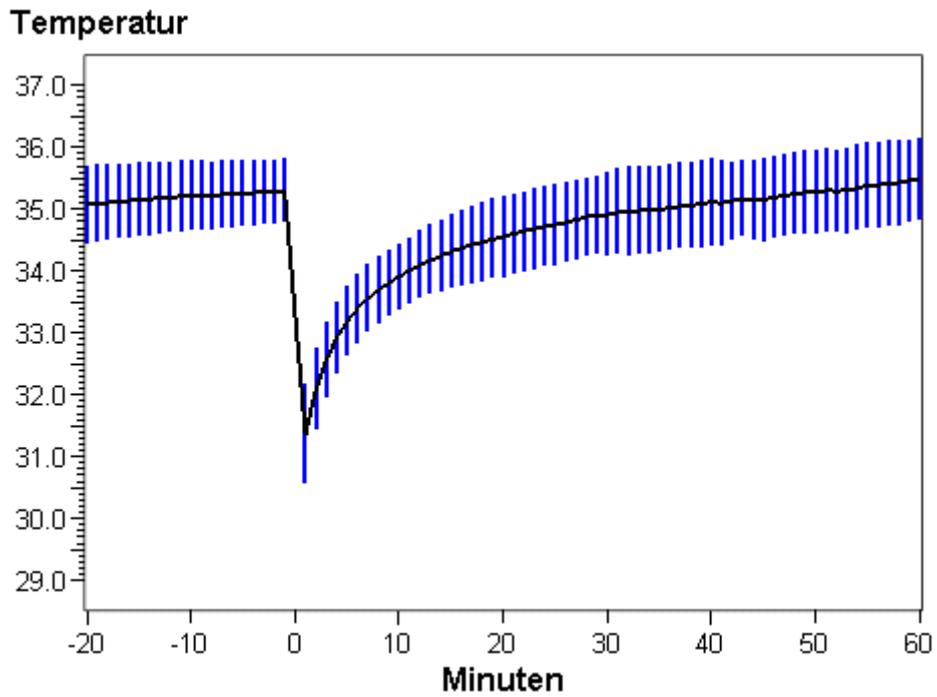


TABELLE 12			
Vergleich der Mittelwerte (°C) der Perioden der ersten und der mittleren 20 Minuten des Fahrradfahrens (E20 und M20)			
Ort der Temperaturmessung	Periode der ersten 20 Minuten	Periode der mittleren 20 Minuten	Differenz
Links	35,4	35,4	0,0
Rechts	35,2	35,2	0,0
Sattel	33,7	34,9	1,2

TABELLE 13			
Vergleich der Mittelwerte (°C) der Perioden der ersten und der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens (E20 und L20)			
Ort der Temperaturmessung	Periode der ersten 20 Minuten	Periode der letzten 20 Minuten	Differenz
Links	35,4	35,5	0,1
Rechts	35,2	35,4	0,2
Sattel	33,7	35,3	1,6

TABELLE 14			
Vergleich der Mittelwerte (°C) der Perioden der mittleren und der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens (M20 und L20)			
Ort der Temperaturmessung	Periode der mittleren 20 Minuten	Periode der letzten 20 Minuten	Differenz
Links	35,4	35,5	0,1
Rechts	35,2	35,4	0,2
Sattel	34,9	35,3	0,4

TABELLE 15			
Vergleich der Mittelwerte (°C) der Perioden der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens und der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung			
Ort der Temperaturmessung	Periode der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens	Periode der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung	Differenz
Links	35,4	36,7	1,3
Rechts	35,2	36,7	1,5
Sattel/Sitz	33,7	35,2	1,5

TABELLE 16			
Vergleich der Mittelwerte (°C) der Perioden der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens und der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung			
Ort der Temperaturmessung	Periode der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens	Periode der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung	Differenz
Links	35,5	36,7	1,2
Rechts	35,4	36,7	1,3
Sattel/Sitz	35,3	35,2	0,1

Anmerkung: Die Mittelwerte für das Fahren auf dem Fahrradergometer (erste, mittlere und letzte 20 Minuten) sowie für das Sitzen auf dem unbeheizten Autositz (letzte 20 Minuten) wurden aus den jeweiligen 20 Minuten der 25 Probanden berechnet (N=500).

4.2 Varianzanalyse

4.2.1 Experiment I (Manova mit den Faktoren Heizung, Skrotalseite und Periode)

In diesem Abschnitt sollen inferenzstatistisch simultan die folgenden Nullhypothesen geprüft werden:

1. Es besteht kein Unterschied zwischen den beiden Ausprägungen des Faktors Sitzheizung, d.h. im Temperaturverlauf zwischen dem Sitzen mit und ohne Sitzheizung.
2. Es besteht kein Unterschied zwischen den beiden Ausprägungen des Faktors Seite, d.h. im Temperaturverlauf zwischen der linken und rechten Skrotalseite.
3. Es besteht kein Unterschied zwischen den beiden Ausprägungen des Faktors Periode, d.h. im Temperaturverlauf zwischen der Periode der ersten und der letzten 20 Minuten.

Dazu wird eine multivariate Varianzanalyse mit wiederholten Temperaturmessungen von jeweils 20 Minuten durchgeführt. Dabei werden die Faktoren „Heizung“, „Seite“ und „Periode“ mit jeweils 2 Ausprägungen (beheizt/nicht beheizt, links/rechts und erste/letzte 20 Minuten des Sitzens) berücksichtigt. Die Hypothesen werden getestet auf dem Signifikanzniveau von 0,05. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Varianzanalyse mit den Faktoren Heizung (MH = mit Heizung, OH = ohne Heizung), Seite (links, rechts) und Periode (E20 = erste 20 Minuten des Sitzens, L20 = letzte 20 Minuten des Sitzens) für 30 Probanden beim Sitzen auf dem beheizten bzw. unbeheizten Autositz von insgesamt 90 Minuten.

Effekt	F (1/233)=	p=
Haupteffekt Heizung	37.94	<.0001
Haupteffekt Seite	0.43	0.5128
Haupteffekt Periode	480.20	<.0001
Interaktion Heizung*Periode	7.14	0.0081
Interaktion Seite*Periode	1.63	0.2023
Interaktion Heizung*Seite	0.36	0.5507
Interaktion Heizung*Seite*Periode	0.07	0.7966

4.2.1.1 Vergleich des Sitzens mit und ohne Heizung

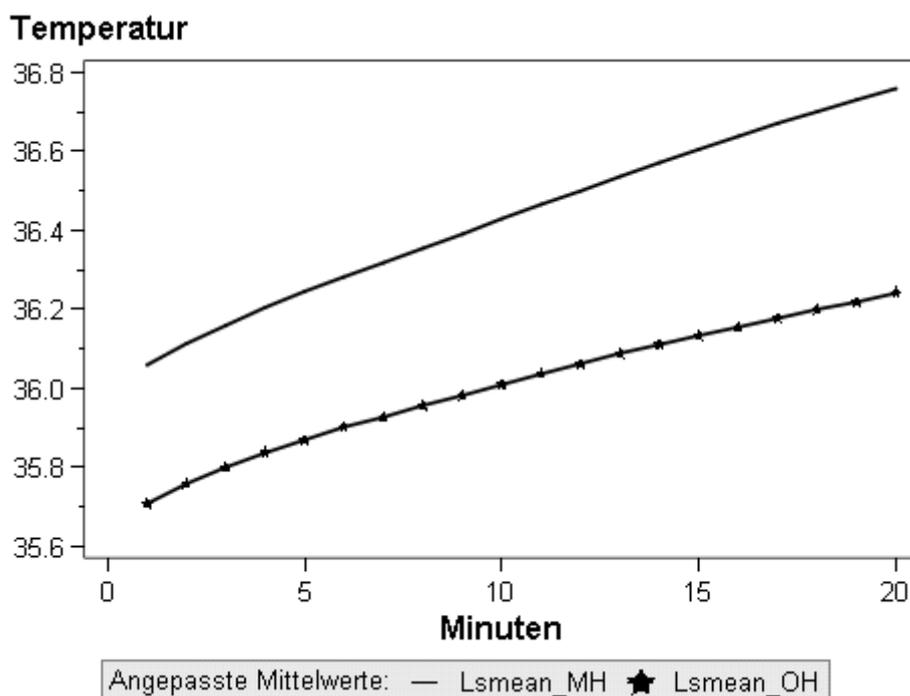
Die multivariate Varianzanalyse (Tab.17) zeigt einen signifikanten Unterschied ($F(1,233) = 37,94$; $P < 0,0001$) für die beiden Ausprägungen (MH und OH) des Faktors Sitzheizung. Die erste Nullhypothese muss damit verworfen werden. Dies wird so interpretiert, dass sich der Verlauf der Skrotaltemperatur für das Sitzen auf dem beheizten verglichen mit dem unbeheizten Autositz signifikant unterscheidet.

Für die angepassten Mittelwerte (Kleinste-Quadrate-Mittelwerte) wird im Statistik Programm SAS der Terminus „Lsmeans“ verwendet. Auch wenn wegen der hohen Zahl der Messwerte die Lsmeans den einfachen Mittelwerten weitgehend entsprechen, werden im Folgenden jeweils nur die Lsmeans wiedergegeben.

Der Temperaturverlauf (angepasste Mittelwerte) wird in Abbildung 9 veranschaulicht. Zur Abschätzung des globalen Unterschieds zwischen den beiden Ausprägungen des Faktors Sitzheizung berechnen wir die angepassten Mittelwerte. Die Mittelwerte für MH und OH betragen $36,4$ bzw. $36,0^{\circ}\text{C}$ (Tab.18). Damit ergibt sich eine Differenz von $0,4^{\circ}\text{C}$ zwischen dem Sitzen mit und ohne Sitzheizung.

Abbildung 9

Verlauf der mittleren Temperatur (angepasste Mittelwerte = Lsmeans) für das Sitzen mit und ohne Sitzheizung (MH und OH), berechnet für 20 Minuten, unabhängig von den Faktoren Periode (erste und letzte 20 Minuten) und Seite (links und rechts).

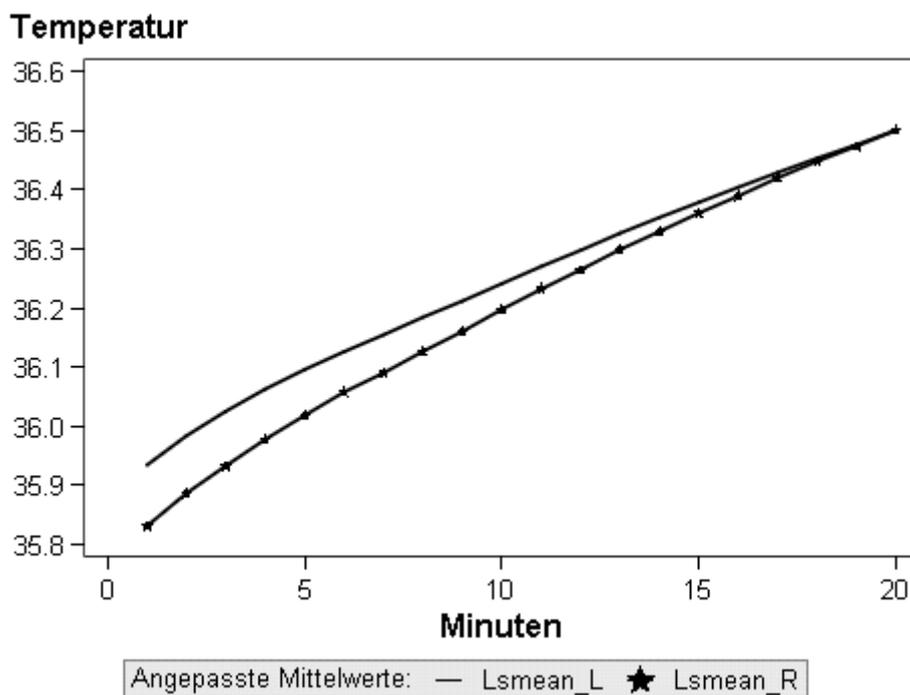


4.2.1.2 Vergleich der linken und rechten Skrotalseite

Weiterhin zeigen die Ergebnisse der Analyse, dass zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite (links und rechts) kein signifikanter Unterschied besteht ($F(1,233) = 0,43$; $P=0,5128$). Damit muss die zweite Nullhypothese beibehalten werden, d.h. die Gleichheit der beiden Ausprägungen des Faktors Seite wird angenommen. Dies wird so interpretiert, dass sich der Verlauf der Skrotaltemperatur für die linke und rechte Seite nicht signifikant unterscheidet. Der Temperaturverlauf (angepasste Mittelwerte) wird in Abbildung 10 veranschaulicht. Zur Abschätzung des globalen Unterschieds zwischen den beiden Ausprägungen des Faktors Seite berechnen wir die angepassten Mittelwerte. Die Mittelwerte (Tab.18) für die linke bzw. rechte Skrotalseite betragen $36,2^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 10

Verlauf der mittleren Temperatur (angepasste Mittelwerte = Lsmeans) für die linke und rechte Skrotalseite (L und R), berechnet für 20 Minuten, unabhängig von den Faktoren Heizung (mit und ohne Heizung) und Periode (erste und letzte 20 Minuten).



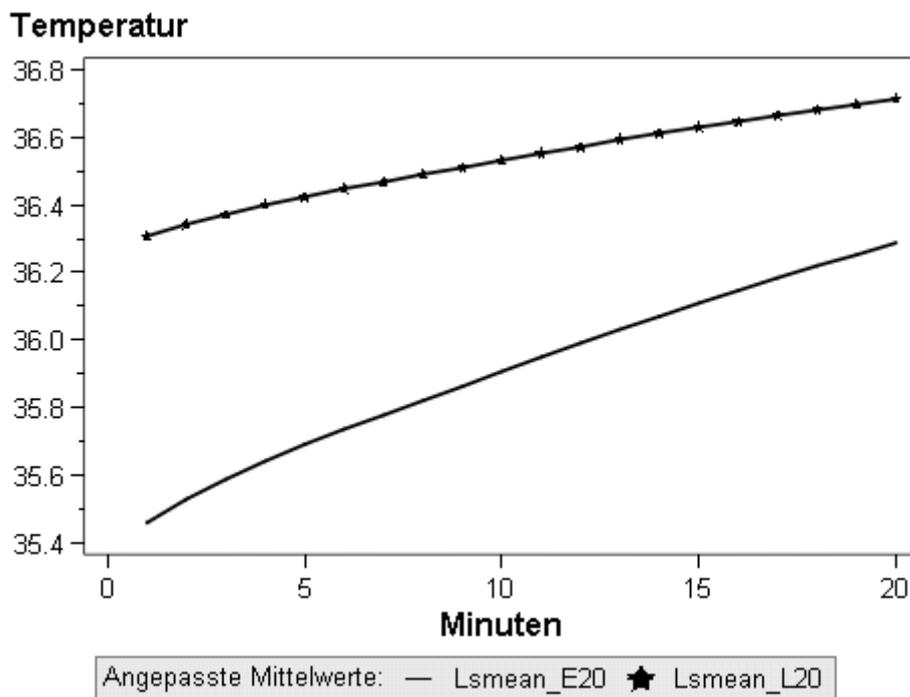
4.2.1.3 Vergleich der Periode der ersten und der letzten 20 Minuten

Zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode (E20 und L20) besteht, wie die Analyse zeigt, ein signifikanter Unterschied ($F(1,233) = 480,20$; $P<0,001$). Die dritte Nullhypothese

muss damit verworfen werden. Dies wird so interpretiert, dass sich der Verlauf der Skrotaltemperatur für die Periode der ersten 20 Minuten verglichen mit der Periode der letzten 20 Minuten signifikant unterscheidet. Der Temperaturverlauf (angepasste Mittelwerte) wird in Abbildung 11 veranschaulicht. Zur Abschätzung des globalen Unterschieds zwischen den beiden Ausprägungen des Faktors Periode berechnen wir die angepassten Mittelwerte. Die Mittelwerte (Tab.18) betragen für die Periode der ersten 20 Minuten 35,5°C und für die Periode der letzten 20 Minuten 37,0°C. Somit beträgt die Differenz 1,5°C.

Abbildung 11

Verlauf der mittleren Temperatur (angepasste Mittelwerte = Lsmeans) für die Periode der ersten und der letzten 20 Minuten des Sitzens (E20 und L20), berechnet für 20 Minuten, unabhängig von den Faktoren Heizung (mit und ohne Heizung) und Seite (links und rechts).

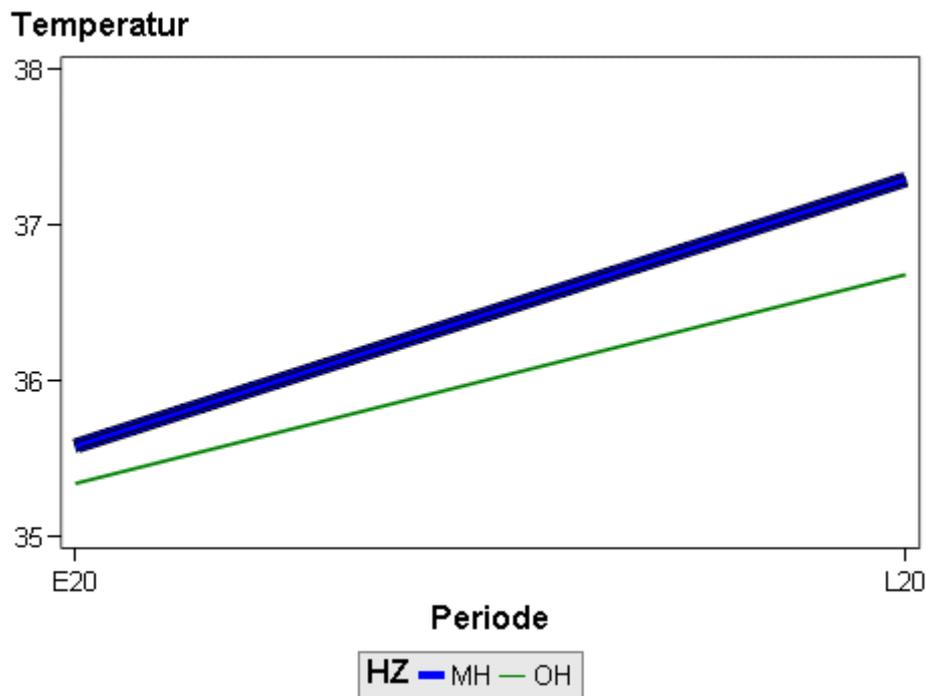


4.2.1.4 Interaktion zwischen den Faktoren Heizung und Periode

Für die Ausprägung der Faktoren Heizung (MH, OH) und Periode (E20, L20) findet sich bei der varianzanalytischen Analyse der Messwerte (Tab.17) eine signifikante Interaktion ($F(1,233) = 7,14; P=0,0081$). Die gefundene Wechselwirkung interpretieren wir dahingehend, dass der Effekt des Sitzens mit Heizung (MH) auf die Skrotaltemperatur im Vergleich zum Effekt des Sitzens ohne Heizung (OH) in den letzten 20 Minuten (L20) höher ist als in den ersten 20 Minuten (E20). Dieser Sachverhalt wird graphisch in der Abb. 12 dargestellt.

Abbildung 12

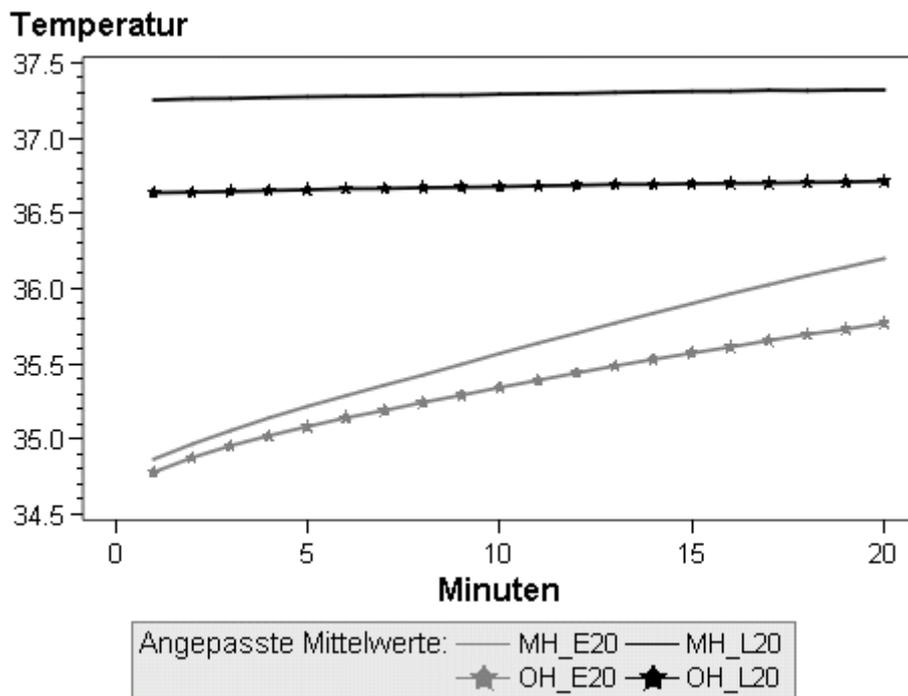
Darstellung der signifikanten Interaktion der Faktoren Heizung (HZ) mit der Ausprägung mit und ohne Heizung (MH und OH) und Periode mit der Ausprägung erste und letzte 20 Minuten (E20 und L20).



Der Temperaturverlauf (angepasste Mittelwerte) wird in Abbildung 13 veranschaulicht. Zur Abschätzung des globalen Unterschieds zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode in Abhängigkeit von den beiden Ausprägungen des Faktors Heizung, berechnen wir die angepassten Mittelwerte. Die Mittelwerte (Tab.18) betragen für die ersten 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz (OH E20) 35,3°C und auf dem beheizten Autositz (MH E20) 35,6°C. Für die letzten 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz (OH L20) beträgt der Mittelwert 36,7°C, auf dem beheizten Autositz (MH L20) 37,3°C. Damit ergibt sich für die ersten 20 Minuten nur eine Differenz von 0,3°C, für die letzten 20 Minuten dagegen eine Differenz von 0,6°C zwischen den Ausprägungen ohne und mit Sitzheizung des Faktors Heizung.

Abbildung 13

Verlauf der mittleren Temperatur (angepasste Mittelwerte) für die Periode der ersten und der letzten 20 Minuten des Sitzens (E20 und L20) mit und ohne Sitzheizung (MH und OH), berechnet für 20 Minuten, unabhängig vom Faktor Seite (links und rechts).



Da zwischen den Faktoren Seite und Periode (Seite*Periode), den Faktoren Heizung und Seite (Heizung*Seite) sowie den Faktoren Heizung, Seite und Periode (Heizung*Seite*Periode) keine Wechselwirkungen bestehen (Tab.17), wird auf Einzelheiten hier nicht weiter eingegangen. Die entsprechenden angepassten Mittelwerte sind Tabelle 18 zu entnehmen.

Tabelle 18: Mittelwerte* für die Faktoren Heizung (MH = mit Sitzheizung, OH = ohne Sitzheizung), Seite (links, rechts) und Periode (E20 = erste 20 Minuten, L20 = letzte 20 Minuten), sowie für die Kombination dieser Faktoren.

Heizung	Temperatur	
	Mittelwert	Standardabweichung
MH	36.4366625	1.06216001
OH	36.0083792	0.87345853

	Temperatur	
Seite	Mittelwert	Standardabweichung
links	36.2453125	0.93414966
rechts	36.1997292	1.05318104

	Temperatur	
Periode	Mittelwert	Standardabweichung
E20	35.4606375	0.77412327
L20	36.9844042	0.47136191

		Temperatur	
Heizung	Periode	Mittelwert	Standardabweichung
MH	E20	35.5819083	0.81230514
MH	L20	37.2914167	0.36747929
OH	E20	35.3393667	0.71397203
OH	L20	36.6773917	0.34761733

		Temperatur	
Seite	Periode	Mittelwert	Standardabweichung
links	E20	35.5278833	0.73269131
links	L20	36.9627417	0.42295939
rechts	E20	35.3933917	0.80817409
rechts	L20	37.0060667	0.51450506

		Temperatur	
Heizung	Seite	Mittelwert	Standardabweichung
MH	links	36.4386750	0.99176257
MH	rechts	36.4346500	1.12858656
OH	links	36.0519500	0.82919570
OH	rechts	35.9648083	0.91385470

Heizung	Seite	Periode	Temperatur	
			Mittelwert	Standardabweichung
MH	links	E20	35.6373667	0.76425751
MH	links	L20	37.2399833	0.31369493
MH	rechts	E20	35.5264500	0.85471035
MH	rechts	L20	37.3428500	0.40817078
OH	links	E20	35.4184000	0.68298357
OH	links	L20	36.6855000	0.32511678
OH	rechts	E20	35.2603333	0.73578747
OH	rechts	L20	36.6692833	0.36884242

*Die Mittelwerte werden aus den Temperaturen der jeweiligen 20 Minuten für 30 Probanden berechnet.

4.2.2 Experiment II

4.2.2.1 Manova mit den Faktoren Periode (erste, mittlere und letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens) und Skrotalseite (links und rechts)

Für das Fahrradfahren von insgesamt 60 Minuten bei moderater körperlicher Belastung mit 25 W sollen inferenzstatistisch folgende Nullhypothesen geprüft werden:

- a. Es besteht kein Unterschied zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode, d.h. im Temperaturverlauf zwischen der Periode der ersten, mittleren und letzten 20 Minuten.
- b. Es besteht kein Unterschied zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite, d.h. im Temperaturverlauf zwischen der linken und rechten Skrotalseite.

Dazu wird eine multivariate Varianzanalyse mit wiederholten Temperaturmessungen von jeweils 20 Minuten durchgeführt. In diese Varianzanalyse einbezogen werden die Faktoren „Periode“ mit den Ausprägungen erste, mittlere und letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens sowie „Seite“ mit den Ausprägungen links und rechts. Die Hypothesen werden getestet auf dem Signifikanzniveau von 0,05. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Varianzanalyse mit den Faktoren Periode (E20 = erste 20 Minuten des Sitzens, M20 = mittlere 20 Minuten des Sitzens, L20 = letzte 20 Minuten des Sitzens) und Seite (links, rechts) für 25 Probanden beim Fahren auf dem Fahrradergometer von insgesamt 60 Minuten.

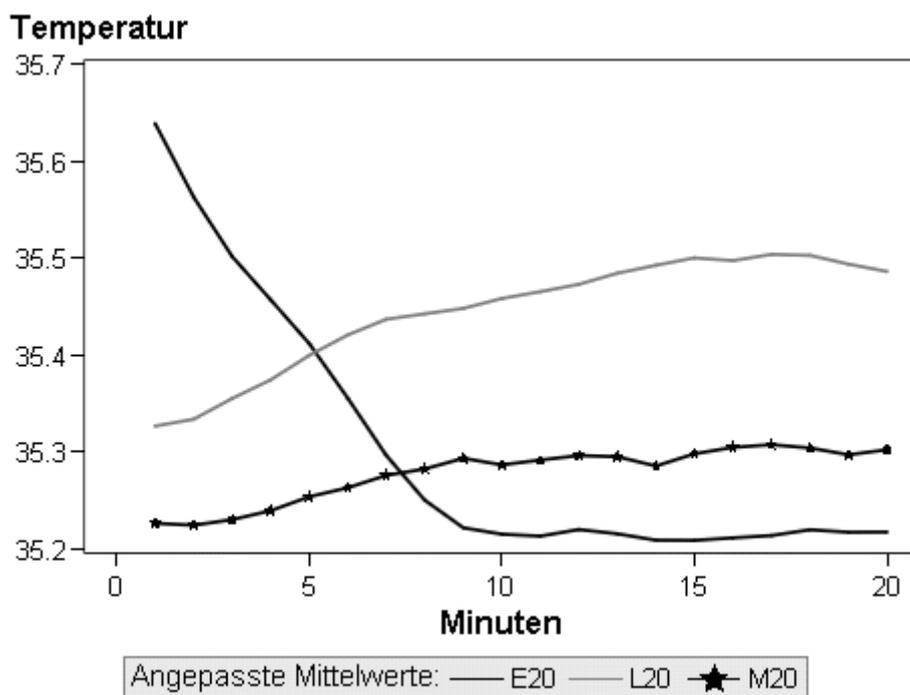
Effekt	F=	p=
Haupteffekt Periode	(2/144) = 0.53	0.5899
Haupteffekt Seite	(1/144) = 1.47	0.2266
Interaktion Periode*Seite	(2/144) = 0.12	0.8843

4.2.2.1.1 Vergleich der Ausprägungen des Faktors Periode

Wie die Varianzanalyse (Tab.19) zeigt, besteht zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode (E20, M20 und L20) kein signifikanter Unterschied ($F(2,144) = 0,53$; $P=0,5899$). Damit muss die erste Nullhypothese beibehalten werden, d.h. die Gleichheit der Ausprägungen des Faktors Periode wird angenommen. Dies wird so interpretiert, dass sich der Verlauf der Skrotaltemperatur für die Periode der ersten, der mittleren, und der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens nicht signifikant unterscheidet. Der Temperaturverlauf (angepasste Mittelwerte) wird in Abbildung 14 veranschaulicht. Zur Abschätzung des globalen Unterschieds zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode berechnen wir die angepassten Mittelwerte. Die Mittelwerte (Tab.20) betragen für die Periode der ersten 20 Minuten $35,3^{\circ}\text{C}$, für die Periode der mittleren 20 Minuten $35,4^{\circ}\text{C}$ und für die Periode der letzten 20 Minuten $35,3^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 14

Verlauf der mittleren Temperatur (angepasste Mittelwerte) für die Periode der ersten, mittleren und letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens (E20, M20 und L20), berechnet für 20 Minuten, unabhängig vom Faktor Seite (links und rechts).

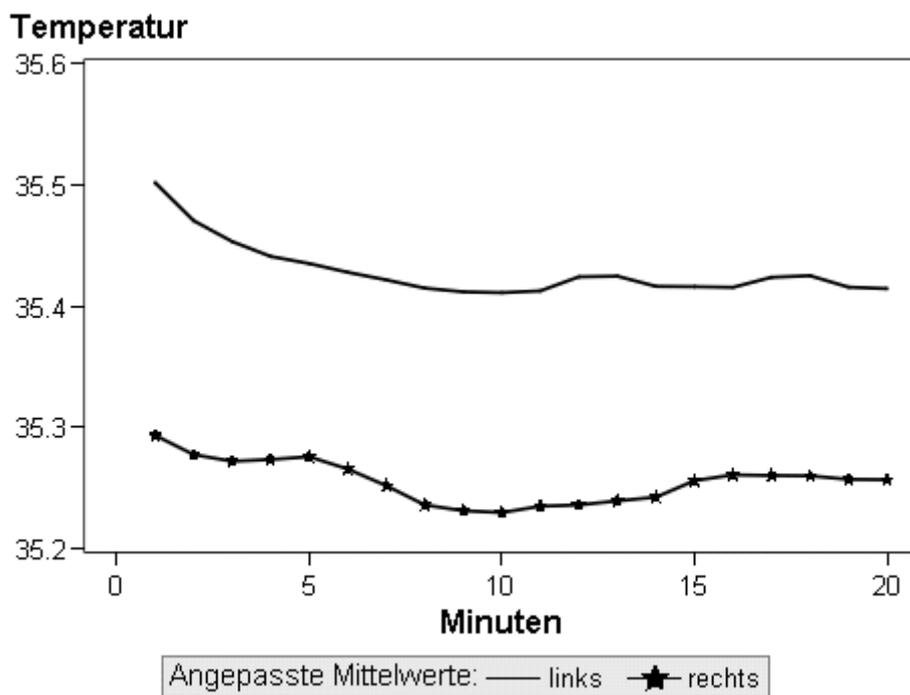


4.2.2.1.2 Vergleich der Ausprägungen des Faktors Seite

Weiterhin zeigen die Ergebnisse der Analyse, dass zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite (links und rechts) kein signifikanter Unterschied besteht ($F(1,144) = 0,47$; $P=0,2266$). Damit muss die zweite Nullhypothese beibehalten werden, d.h. die Gleichheit der beiden Ausprägungen des Faktors Seite wird angenommen. Dies wird so interpretiert, dass sich der Verlauf der Skrotaltemperatur für die linke und rechte Seite nicht signifikant unterscheidet. Der Temperaturverlauf (angepasste Mittelwerte) wird in Abbildung 15 veranschaulicht. Zur Abschätzung des globalen Unterschieds zwischen den beiden Ausprägungen des Faktors Seite berechnen wir die angepassten Mittelwerte. Die Mittelwerte (Tab.20) für die linke bzw. rechte Skrotalseite betragen 35,4 bzw. 35,2°C.

Abbildung 15

Verlauf der mittleren Temperatur (angepasste Mittelwerte) für die linke und rechte Skrotalseite (links und rechts) beim Fahren auf dem Fahrradergometer, berechnet für 20 Minuten, unabhängig vom Faktor Periode (erste, mittlere und letzte 20 Minuten).



Da zwischen den Faktoren Periode und Seite (Periode*Seite) keine Wechselwirkung besteht (Tab.19), wird auf Einzelheiten hier nicht weiter eingegangen. Die entsprechenden angepassten Mittelwerte sind Tabelle 20 zu entnehmen.

Tabelle 20: Mittelwerte* für die Faktoren Periode (E20 = erste 20 Minuten des Sitzens, M20 = mittlere 20 Minuten des Sitzens, L20 = letzte 20 Minuten des Sitzens) und Seite (links, rechts), sowie für die Kombination dieser Faktoren, beim Fahren auf dem Fahrradergometer.

Periode	Temperatur	
	Mittelwert	Standardabweichung
E20	35.3031600	0.68422129
L20	35.4448700	1.04783784
M20	35.2782400	0.88246884

Seite	Temperatur	
	Mittelwert	Standardabweichung
links	35.4286800	0.81277811
rechts	35.2555000	0.94757164

Periode	Seite	Temperatur	
		Mittelwert	Standardabweichung
E20	links	35.4348400	0.56924041
E20	rechts	35.1714800	0.76057370
L20	links	35.4901400	1.00200929
L20	rechts	35.3996000	1.09087077
M20	links	35.3610600	0.80499112
M20	rechts	35.1954200	0.94726271

*Die Mittelwerte werden aus den Temperaturen der jeweiligen 20 Minuten für 25 Probanden berechnet.

4.2.2.2 Manova mit den Faktoren Periode (erste 20 Minuten des Fahrradfahrens und letzte 20 Minuten des Sitzen ohne Heizung) und Skrotalseite (links und rechts)

Außerdem sollen für das Fahrradfahren bei moderater körperlicher Belastung mit 25 W inferenzstatistisch die folgenden Nullhypothesen geprüft werden:

- a. Es besteht kein Unterschied zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode, d.h. im Temperaturverlauf zwischen den ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens und den letzten 20

Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung.

- b. Es besteht kein Unterschied zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite, d.h. im Temperaturverlauf zwischen der linken und rechten Skrotalseite.

Tabelle 21 zeigt eine weitere Varianzanalyse unter Einbeziehung der Faktoren „Periode“ mit den Ausprägungen erste 20 Minuten des Fahrradfahrens und letzte 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung, sowie „Seite“ mit den Ausprägungen links und rechts. Die Hypothese wird getestet auf dem Signifikanzniveau von 0,05. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Varianzanalyse mit den Faktoren Periode (F-E20 = erste 20 Minuten des Fahrradfahrens, OH-L20 = letzte 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung) und Seite (links, rechts) für 25 Probanden beim Fahren auf dem Fahrradergometer bzw. Sitzen auf dem unbeheizten Autositz.

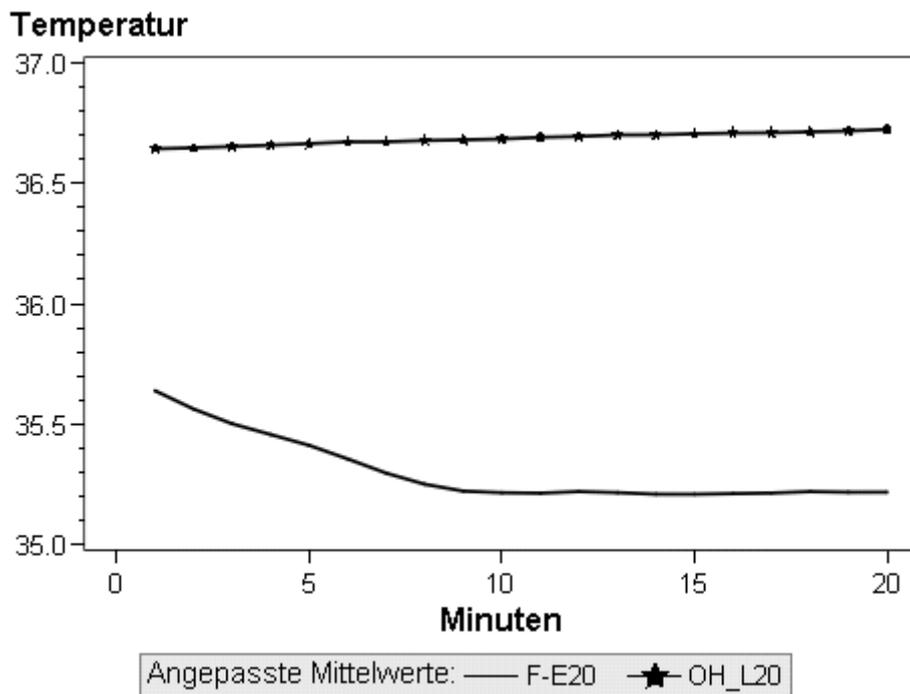
Effekt	F(1/233)=	p=
Haupteffekt Periode	186.15	<.0001
Haupteffekt Seite	1.79	0.1836
Interaktion Periode*Seite	1.59	0.2108

4.2.2.2.1 Vergleich der Ausprägungen des Faktors Periode

Wie die Varianzanalyse (Tab.21) zeigt, besteht zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode (F-E20 = erste 20 Minuten des Fahrradfahrens, OH-L20 = letzte 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung) ein signifikanter Unterschied ($F(1,96) = 186,15$; $P < 0,0001$). Damit muss die erste Nullhypothese verworfen werden. Dies wird so interpretiert, dass sich der Verlauf der Skrotaltemperatur für die Periode der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens und der letzten 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz signifikant unterscheidet. Der Temperaturverlauf (angepasste Mittelwerte) wird in Abbildung 16 veranschaulicht. Zur Abschätzung des globalen Unterschieds zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode berechnen wir die angepassten Mittelwerte. Die Mittelwerte (Tab.22) betragen für die Periode der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens $35,3^{\circ}\text{C}$ und für die Periode der letzten 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz $36,7^{\circ}\text{C}$. Damit ergibt sich eine Differenz von $1,4^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 16

Verlauf der mittleren Temperatur (angepasste Mittelwerte) für die Periode der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens und der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung (F-E20 und OH-L20), berechnet für 20 Minuten, unabhängig vom Faktor Seite (links und rechts).



4.2.2.2.2 Vergleich der Ausprägungen des Faktors Seite

Wie die bereits weiter oben durchgeführte Varianzanalyse (Tab.19) ergeben hat, besteht zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite (links und rechts) kein signifikanter Unterschied. Auch hier muss also die zweite Nullhypothese beibehalten werden, so dass nicht erneut auf Einzelheiten eingegangen wird. Angepasste Mittelwerte sind Tabelle 22 zu entnehmen.

Da zwischen den Faktoren Periode und Seite (Periode*Seite) keine Wechselwirkung besteht (Tab.21), wird auf Einzelheiten hier nicht weiter eingegangen. Die entsprechenden angepassten Mittelwerte sind Tabelle 22 zu entnehmen.

Tabelle 22: Mittelwerte* für die Faktoren Periode (F-E20 = erste 20 Minuten des Fahrradfahrens, OH-L20 = letzte 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung) und Seite (links und rechts) sowie für die Kombination dieser Faktoren.

Periode	Temperatur	
	Mittelwert	Standardabweichung
F-E20	35.3031600	0.68422129
OH-L20	36.6855500	0.35767811

Seite	Temperatur	
	Mittelwert	Standardabweichung
links	36.0622100	0.78123591
rechts	35.9265000	0.96592057

Periode	Seite	Temperatur	
		Mittelwert	Standardabweichung
F-E20	links	35.4348400	0.56924041
F-E20	rechts	35.1714800	0.76057370
OH-L20	links	36.6895800	0.33027835
OH-L20	rechts	36.6815200	0.38341532

*Die Mittelwerte werden aus den Temperaturen der jeweiligen 20 Minuten für 25 Probanden berechnet.

4.2.2.3 Manova mit den Faktoren Periode (letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens und 41.-60. Minute des Sitzens ohne Heizung) und Skrotalseite (links und rechts)

Schließlich sollen für das Fahren auf dem Fahrradergometer bei moderater körperlicher Belastung mit 25 W noch folgende beiden Nullhypothesen geprüft werden:

- a. Es besteht kein Unterschied zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode, d.h. im Temperaturverlauf zwischen den letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens und den entsprechenden 20 Minuten (41.-60.Minute) des Sitzens ohne Sitzheizung.
- b. Es besteht kein Unterschied zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite, d.h. im

Temperaturverlauf zwischen der linken und rechten Skrotalseite.

Dazu wurde eine dritte Varianzanalyse unter Einbeziehung der Faktoren „Periode“ mit den Ausprägungen letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens und 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung sowie „Seite“ mit den Ausprägungen links und rechts durchgeführt. Auch hier wird die Hypothese auf dem Signifikanzniveau von 0,05 getestet. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Varianzanalyse mit den Faktoren Periode (F-L20 = letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens, OH - 41-60 = 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung) und Seite (links, rechts) für 25 Probanden beim Fahren auf dem Fahrradergometer bzw. Sitzen auf dem unbeheizten Autositz.

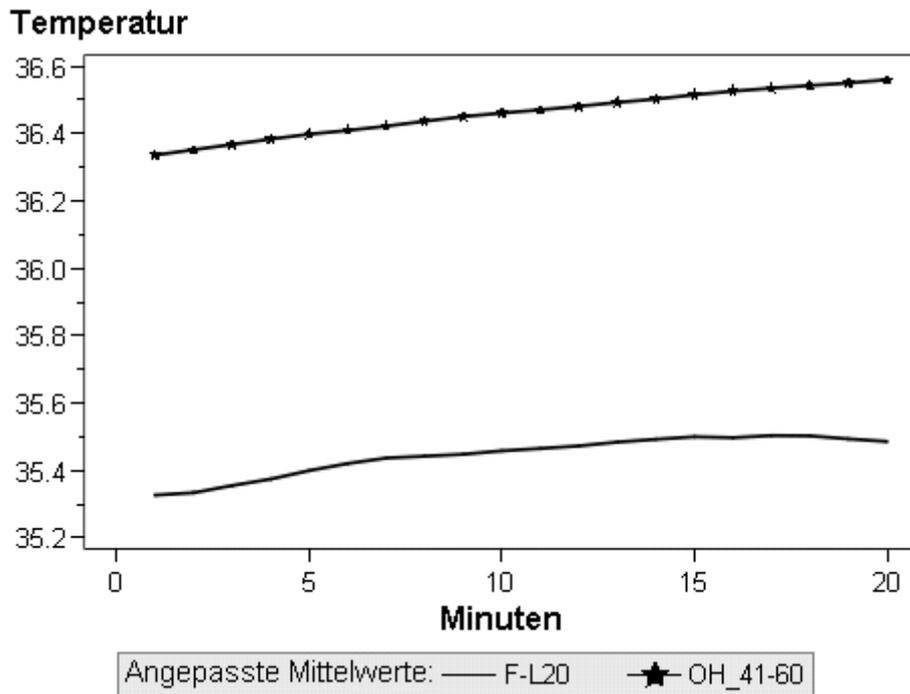
Effekt	F(1/96)=	p=
Haupteffekt Periode	38.67	<.0001
Haupteffekt Seite	0.12	0.7289
Interaktion Periode*Seite	0.04	0.8362

4.2.2.3.1 Vergleich der Ausprägungen des Faktors Periode

Wie die Varianzanalyse (Tabelle 23) zeigt, besteht zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode (F-L20 = letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens, OH - 41-60 = 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung) ein signifikanter Unterschied ($F(1,96) = 38,67$; $P < 0,0001$). Damit muss die erste Nullhypothese verworfen werden. Dies wird so interpretiert, dass sich der Verlauf der Skrotaltemperatur für die Periode der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens und der entsprechenden 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz (41.-60. Minute) signifikant unterscheidet. Der Temperaturverlauf (angepasste Mittelwerte) wird in Abbildung 17 veranschaulicht. Zur Abschätzung des globalen Unterschieds zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode berechnen wir die angepassten Mittelwerte. Die Mittelwerte (Tabelle 24) betragen für die Periode der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens $35,4^{\circ}\text{C}$ und für die Periode der entsprechenden 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz $36,4^{\circ}\text{C}$. Damit ergibt sich eine Differenz von $1,0^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 17

Verlauf der mittleren Temperatur (angepasste Mittelwerte) für die Periode der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens und der entsprechenden 20 Minuten (41.-60.Minute) des Sitzens ohne Sitzheizung (F-L20 und OH_41-60), berechnet für 20 Minuten, unabhängig vom Faktor Seite (links und rechts).



4.2.2.3.2 Vergleich der Ausprägungen des Faktors Seite

Wie die bereits weiter oben durchgeführte Varianzanalyse (Tab.19) ergeben hat, besteht zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite (links und rechts) kein signifikanter Unterschied. Auch hier muss also die zweite Nullhypothese beibehalten werden (Tab.23), so dass nicht erneut auf Einzelheiten eingegangen wird. Angepasste Mittelwerte sind Tabelle 24 zu entnehmen

Da zwischen den Faktoren Periode und Seite (Periode*Seite) keine Wechselwirkung besteht (Tab.23), wird auf Einzelheiten hier nicht weiter eingegangen. Die entsprechenden angepassten Mittelwerte sind Tabelle 24 zu entnehmen.

Tabelle 24: Mittelwerte* für die Faktoren Periode (F-L20 = letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens, OH - 41-60 = 41.-60.Minute des Sitzens ohne Sitzheizung) und Seite (links, rechts), sowie für die Kombination dieser Faktoren.

Periode	Temperatur	
	Mittelwert	Standardabweichung
F-L20	35.4448700	1.04783784
OH - 41-60	36.4595200	0.45765710

Seite	Temperatur	
	Mittelwert	Standardabweichung
links	35.9805500	0.90854083
rechts	35.9238400	0.99781295

Periode	Seite	Temperatur	
		Mittelwert	Standardabweichung
F-L20	links	35.4901400	1.00200929
F-L20	recht	35.3996000	1.09087077
OH - 41-60	links	36.4709600	0.40811345
OH - 41-60	rechts	36.4480800	0.50249469

*Die Mittelwerte werden aus den Temperaturen der jeweiligen 20 Minuten für 25 Probanden berechnet.

5. Diskussion

In mehreren Studien wurde als Hauptursache für einen Zusammenhang zwischen einer länger andauernden sitzenden Position und möglichen Veränderungen der Samenqualität ein Anstieg der Skrotaltemperatur genannt. Aus praktischen Gründen und wissenschaftlichem Interesse ist es von großer Bedeutung, dies zu überprüfen.

Was das Sitzen auf einem beheizten Autositz sowie das Fahrradfahren mit nur moderater körperlicher Belastung (25W) betrifft, so wurde dieser Zusammenhang mittels kontinuierlicher Messung der Skrotaltemperatur unter experimentellen Bedingungen in keiner der bisher veröffentlichten Arbeiten untersucht. Angeregt durch thematisch ähnliche Arbeiten untersuchen wir in der vorliegenden Arbeit, in welchem Ausmaß es beim Benutzen von beheizten Autositzen bzw. beim Fahrradfahren zu einer Erhöhung der Skrotaltemperatur kommt. Zur Untersuchung dieser Fragestellung führten wir 2 Experimente durch.

5.1 Experiment I

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass das Benutzen von beheizten Autositzen über einen Zeitraum von 90 Minuten zu einem mittleren Anstieg der Skrotaltemperatur (berechnet aus der Differenz der Temperaturwerte der 1. und 90. Minute jedes Probanden) links bzw. rechts um 0,5 bzw. 0,6°C führt. Diese Erhöhung der Skrotaltemperatur tritt zusätzlich zu der Wärmebelastung auf, welche schon durch das Sitzen auf einem unbeheizten Autositz hervorgerufen wird. Dabei kommt es bereits auf der linken bzw. rechten Skrotalseite zu einem mittleren Anstieg der Temperatur um 1,8 bzw. 2,0°C. Somit wird insgesamt ein mittlerer Anstieg der Skrotaltemperatur um 2,3 bzw. 2,6°C verzeichnet, so dass Werte erreicht werden, welche etwa der Körperkerntemperatur entsprechen. Die Mittelwerte über alle 90 Minuten für 30 Probanden betragen für das Sitzen mit Sitzheizung für die linke und rechte Skrotalseite 36,7°C und für das Sitzen ohne Sitzheizung 36,2°C. Für die 90. Minute finden sich für das Sitzen mit Sitzheizung für die linke und rechte Seite Mittelwerte von 37,3 und 37,4°C und für das Sitzen ohne Sitzheizung von 36,7°C (links und rechts).

Um einen differenzierteren Überblick über den Verlauf der Temperatur für das Sitzen mit und ohne Heizung zu bekommen, betrachten wir die Temperaturmesswerte für die ersten und

letzten 20 Minuten der linken und rechten Skrotalseite und untersuchen diese Messreihen inferenzstatistisch auf Gleichheit und Verschiedenheit.

Vergleicht man, ohne die anderen Faktoren zu berücksichtigen, das Sitzen mit und ohne Sitzheizung, so findet sich ein signifikanter Unterschied ($P < 0,0001$). Die dazu gehörigen angepassten Mittelwerte betragen für das Sitzen mit bzw. ohne Heizung 36,4 bzw. 36,0°C. Ebenfalls ergibt der Vergleich der Temperaturwerte der ersten und letzten 20 Minuten des Sitzens, ohne Berücksichtigung der anderen Faktoren, einen signifikanten Unterschied ($P < 0,0001$). Die dazu gehörigen angepassten Mittelwerte betragen für die ersten bzw. letzten 20 Minuten 35,5 bzw. 37,0°C. Die Temperaturen der linken und rechten Skrotalseite unterscheiden sich nicht signifikant ($P = 0,5128$).

Während der letzten 20 Minuten des Sitzens war der Effekt der Sitzheizung auf die Skrotaltemperatur im Vergleich zum Sitzen ohne Sitzheizung stärker als während der ersten 20 Minuten ($P = 0,0081$). Die angepassten Mittelwerte betragen für die letzten 20 Minuten des Sitzens mit Sitzheizung 37,3°C und für das Sitzen ohne Heizung 36,7°C. Für die ersten 20 Minuten des Sitzens mit Sitzheizung finden sich angepasste Mittelwerte von 35,6°C und für das Sitzen ohne Heizung von 35,3°C.

Zusammenfassend stellen wir fest, dass das Sitzen mit Sitzheizung gegenüber dem Sitzen ohne Heizung (Kontrollwerte) zu einer weiteren Erhöhung der Skrotaltemperatur führt. Diese Aussage ist mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0,05 abgesichert.

Bisher befassten sich mehrere Studien mit einem Anstieg der Skrotaltemperatur im Rahmen verschiedener Aktivitäten bzw. Situationen und dem Einnehmen bestimmter Körperhaltungen, insbesondere einer sitzenden Position. Rock und Robinson (1965) berichteten schon 1965, dass nach einem heißen Vollbad von 43°C die gemessene Skrotaltemperatur mit 40,5°C mehrere Grade über der Körperkerntemperatur lag.

Sheynkin et al. (2005) untersuchten in einer Studie mit 29 Probanden, inwieweit das Benutzen von Laptop Computern zu einer Erhöhung der Skrotaltemperatur führt. Der eingeschaltete Laptop wurde dabei für einen Zeitraum von 60 Minuten in der typischen Position auf den Oberschenkeln balanciert. Eine zweite 60-minütige Sitzperiode in derselben Position mit annähernd geschlossenen Oberschenkeln, jedoch ohne Laptop, diente als Vergleich. Die Temperatur des Studienraums betrug dabei im Median 22,28°C. Die Skrotaltemperatur wurde jeweils beidseits alle drei Minuten mittels am Skrotum fixierter Thermosonden gemessen, welche mit einem digitalen Datenrekorder verbunden waren. Die

Betriebstemperatur des Laptops wurde an dessen Unterseite ebenfalls alle drei Minuten gemessen und aufgezeichnet. In der Gruppe mit Laptop betrug der Anstieg der Skrotaltemperatur der linken und rechten Seite nach 60 Minuten im Median 2,6 bzw. 2,8°C, in der Gruppe ohne Laptop 2,1°C ($P < 0.0001$). Die Mediane der Skrotaltemperaturen der rechten und linken Seite betragen für die Gruppe mit Laptop zu Beginn 33,1 (rechts) bzw. 33,3°C (links) und nach 60 Minuten 36,2 bzw. 36,0°C. Bei der Gruppe ohne Laptop zeigten sich zu Beginn Werte von 33,5° C (rechts sowie links) und am Ende von 35,4 (rechts) bzw. 35,5°C (links).

Zwischen der linken und der rechten Seite war für beide Gruppen kein signifikanter Unterschied festzustellen ($P = 0,075$ bzw. $P = 0,083$). Es kam zu einem Anstieg der Mediane der linken Skrotaltemperatur in der Gruppe mit und ohne Laptop. Die Mediane der rechten Seite stiegen zunächst ebenfalls in beiden Gruppen an, blieben dann jedoch in der Gruppe ohne Laptop nach 30 Minuten konstant. Im Median stieg die Temperatur an der Unterseite des Laptops von 30,91°C zu Beginn des Experiments auf 39,92°C nach 60 Minuten an. Alle Tests wurden mit dem Wilcoxon Rang Test für verbundene Werte durchgeführt.

Vergleicht man Experiment I unserer Arbeit mit dieser Arbeit, so entspricht das Benutzen eines Laptop Computers dem Sitzen mit Sitzheizung und das Sitzen ohne Laptop dem Sitzen ohne Sitzheizung. Die Mediane der Skrotaltemperatur der rechten und linken Seite lagen für das Sitzen mit Sitzheizung zu Beginn bei 34,74 bzw. 34,94°C und nach 60 Minuten bei 37,21 bzw. 37,18°C. Beim Sitzen ohne Sitzheizung zeigten sich Werte von 34,73 bzw. 35,06°C zu Beginn und 36,59 bzw. 36,57°C nach 60 Minuten.

Somit waren die Skrotaltemperaturen beim Sitzen mit Sitzheizung in der vorliegenden Arbeit zu Beginn um 1,64°C (rechts sowie links) und nach 60 Minuten um 1,01 bzw. 1,18°C höher als beim Benutzen eines Laptops.

Beim Sitzen ohne Sitzheizung ergaben sich um 1,23 bzw. 1,56°C (zu Beginn) und 1,19 bzw. 1,07°C (nach 60 Minuten) höhere Temperaturen als beim Sitzen ohne Laptop.

Wie lassen sich nun diese Temperaturunterschiede erklären? Da sich die Werte schon zu Beginn um über 1,0°C unterscheiden, muss beachtet werden, dass eine Akklimatisationsphase bei etwa 22°C Raumtemperatur zwar in beiden Arbeiten statt fand, diese bei Sheynkin et al. jedoch mit 15 Minuten nur halb so lang war und im Gegensatz zu unserer Arbeit im Stehen und nicht im Sitzen ablief. Beim Sitzen auf dem Autositz muss berücksichtigt werden, dass das Skrotum der Sitzoberfläche wohl aufgelegt hat, beim Benutzen eines Laptops die Wärmequelle jedoch oberhalb des Skrotums auf den Oberschenkeln platziert war. Dem

Temperaturanstieg an der Unterseite des Laptops auf 39,92°C im Median steht ein Anstieg der beheizten Sitzoberfläche auf 38,52°C nach 60 Minuten gegenüber, jedoch besteht wie oben dargestellt ebenso ein Unterschied zwischen dem Sitzen ohne Sitzheizung und ohne Laptop. Hier stellt sich die Frage nach den Eigenschaften des Stuhls, der bei Sheynkin et al. zum Einsatz kam. Der von uns verwendete Autositz dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer effektiveren Isolierung der Genitalregion mit konsekutiv verminderter perigenitaler Luftzirkulation geführt haben.

In einer Arbeit von 2006 zeigten Song et al. mit 6 Probanden, dass die Skrotaltemperatur von der Temperatur des Fußbodens beeinflusst wird. Wie sie berichten, sitzen in einigen Ländern Asiens die Leute gewohnheitsmäßig direkt auf dem beheizten Fußboden ihrer Häuser bzw. Wohnungen. Diese Beeinflussung wurde in zwei Experimenten nachgewiesen: Zuerst mit niedrigem Metabolismus, wobei die Probanden für 50 Minuten ein Buch lasen und zwar im sogenannten Schneidersitz auf dem Fußboden. Das zweite Experiment war auf einen höheren Metabolismus ausgelegt, hier spielten die Probanden während 180 Minuten ein Kartenspiel, und zwar in der oben beschriebenen Weise auf dem Fußboden sitzend.

Die Skrotaltemperatur wurde alle 30 Sekunden mit beidseits am Skrotum fixierten Thermosonden gemessen. Die Fußbodentemperatur wurde über die Wassertemperatur reguliert, welche beim ersten Experiment in Intervallen von 5° C erhöht wurde und zwar im Bereich zwischen 15 und 50°C. Insgesamt erfolgten also 8 Messdurchgänge. Bei Fußbodentemperaturen zwischen 17,0 und 42,2°C wurden nach 50 Minuten Skrotaltemperaturen (Mittelwerte) zwischen 32,27 und 35,04°C gemessen. Dies entspricht einem Abfall der Skrotaltemperatur um 1,91°C bzw. einem Anstieg um 0,96°C.

Im zweiten Experiment wurde die Wassertemperatur ebenfalls jeweils um 5°C erhöht, und zwar im Bereich zwischen 30 und 40°C. Am Ende der Sitzperiode wurden bei Temperaturen des Fußbodens zwischen 27,8 und 35,9°C mittlere Skrotaltemperaturen zwischen 33,43 und 35,61°C erreicht. Dies entspricht einem Anstieg der Skrotaltemperatur von 0,34 bzw. 2,24°C.

Der Grundumsatz der Probanden bewegte sich in unserer Arbeit beim Sitzen auf dem Autositz auf niedrigem Niveau, das heißt die Probanden bewegten sich kaum, bzw. lasen ein Buch. Zum Vergleich mit der vorliegenden Arbeit betrachten wir deshalb das Experiment, bei dem die Probanden auf dem Fußboden sitzend ein Buch lasen. In unserer Arbeit zeigte sich nach 50 Minuten Sitzen auf dem beheizten Autositz (Anstieg der Temperatur der Sitzoberfläche im Median von 32,44°C auf 38,28°C) ein Mittelwert von 37,09°C im Vergleich zu 35,04°C

beim Sitzen auf dem Fußboden bei einer Fußbodentemperatur von 42,2°C. Die Differenz von 2,05°C kann teilweise dadurch erklärt werden, dass beim Sitzen im Schneidersitz auf dem Fußboden das Skrotum diesem nicht wie der Sitzoberfläche eines Stuhls aufliegt. Andererseits ist eine seitliche Begrenzung des Skrotums, welches beim normalen Sitzen den Oberschenkeln eng anliegt, beim Sitzen im Schneidersitz auch nicht zu beobachten. Folglich muss von einer deutlich besseren perigenitalen Luftzirkulation ausgegangen werden, so dass eine weitaus bessere Kühlung stattfinden kann.

Bujan et al. (2000) beobachteten in einer Studie die Skrotaltemperatur von neun Probanden während eines 40-minütigen Spaziergangs im Vergleich mit einer anschließenden Autofahrt von 160 Minuten. Die skrotalen Temperaturen wurden mittels am Skrotum fixierter Thermosonden gemessen und die Werte alle zwei Minuten mit einem Datenrekorder aufgezeichnet. Die Skrotaltemperaturen stiegen während des Autofahrens verglichen mit dem Spazieren gehen deutlich an. Nach zwei Stunden Autofahren kam es zu einem Anstieg der mittleren Skrotaltemperatur links und rechts von 34,5°C auf 36,2°C und von 34,2 auf 36,4°C ($P < 0,0001$). Während der ersten 20 Minuten des Autofahrens zeigte sich ein rascher Anstieg von 34,2 auf 35,5°C, entsprechend einer Differenz von 1,3°C. Nach 120 Minuten stabilisierten sich dann die Werte bei etwa 36,2°C.

Für die statistische Auswertung wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) für wiederholte Messungen eingesetzt.

Vergleicht man das Sitzen auf dem Autositz ohne zugeschaltete Sitzheizung im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit dem oben beschriebenen Autofahren im Anschluss an den Spaziergang, so fällt auf, dass die Probanden bei Bujan et al. länger saßen. Dem Anstieg der mittleren Skrotaltemperatur links und rechts von 34,5°C auf 36,2°C und von 34,2 auf 36,4°C nach 120 Minuten steht bei uns ein Anstieg von 34,9 auf 36,7°C und von 34,7 auf 36,7°C nach 90 Minuten gegenüber. Dies entspricht einem Anstieg der Skrotaltemperatur von 1,7 bzw. 2,2°C nach 120 Minuten bei Bujan et al., und einem von 1,8 bzw. 2,0°C in unserer Arbeit. Vergleicht man nur den Abschnitt der ersten 20 Minuten für die rechte Skrotalseite, so zeigt sich bei Bujan et al. ein absoluter Anstieg von 1,3°C (34,2 auf 35,5°C) und in der vorliegenden Arbeit von 1,0°C (34,7 auf 35,7°C). In unserer Arbeit näherten sich die mittleren Skrotaltemperaturwerte der Probanden für beide Seiten bereits nach 60 Minuten asymptotisch an 36,6°C an. Die Tatsache, dass bei uns etwas höhere Skrotaltemperaturwerte bereits nach 90 Minuten erreicht werden, ist in den höheren Ausgangstemperaturen (+0,4

bzw. $+0,5^{\circ}\text{C}$) begründet. Diese entstehen in unserer Arbeit durch die der 90-minütigen Sitzperiode vorausgehende Akklimatisationsphase von 30 Minuten, welche die Probanden sitzend auf einem Stuhl verbrachten.

In einer Studie mit 8 Probanden zeigten Koskelo et al. (2005), dass es beim Benutzen von verschiedenen Typen von Stühlen (gepolsterter Büro-Stuhl, nicht-gepolsterter Plywood Stuhl, hölzerne Bank, Sattelstuhl, Stuhl mit Kniebänkchen, gepolsterter Sofa- Sessel) bereits nach 20 Minuten zu einem Plateau und zu skrotalen Werten von bis zu 36°C kommen kann. Im Rahmen des Sitzens auf verschiedenen Stühlen für insgesamt 30 Minuten, wobei die Probanden instruiert wurden zu lesen und ihre Sitzposition nicht zu verändern, zeigten sich solche Spitzenwerte beim Benutzen eines die Knie unterstützenden Stuhls, sowie eines Sofa-Sessels. Bevor die Probanden mit dem Sitzen auf den Stühlen begannen, absolvierten sie eine Akklimatisationsphase von fünf Minuten, stehend, bei einer Raumtemperatur des Studienraums von 23°C . Bei einem Stuhl, welcher die Knie unterstützt, liegt das gesamte Gewicht auf diesen, so dass die Bewegung der Beine limitiert ist. Außerdem befinden sich die Oberschenkel sehr nahe beieinander. Diese Art des Sitzens ähnelt also der beim Autofahren und stellt eine besonders effektive Isolation der Genitalregion dar.

Betrachtet man das in unserer Arbeit untersuchte Sitzen auf einem unbeheizten Autositz so ergab sich für die ersten 20 Minuten ein Anstieg auf $35,7^{\circ}\text{C}$ (rechts) bzw. $35,8^{\circ}\text{C}$ (links). Damit sind die nach 20 Minuten erreichten Skrotaltemperaturwerte der beiden Arbeiten durchaus vergleichbar. Alle hier angegebenen Werte sind als Mittelwerte zu verstehen. Einzelwerte von 36°C oder höher wurden aber in der vorliegenden Studie nach 20 Minuten von mehreren Probanden erreicht.

Song et al. untersuchten 2007, inwiefern die Dicke der Sitzpolsterung (0/2/4/6/8 cm) bei zwei Temperaturwerten von 18 und 26°C , durch eine Klimaanlage eingestellt, die Skrotaltemperatur beeinflusst. In dem Experiment mit 10 Probanden saßen diese jeweils 120 Minuten vor einem Schreibtisch auf einem Stuhl, dessen Polsterung zwischen 0 und 8 cm variiert wurde. Alle Probanden arbeiteten während dieser Zeit mit dem Schreibprogramm Word. Es wurde darauf geachtet, dass die Probanden ihre Beine nicht überkreuzten oder geschlossen hielten. Die Skrotaltemperaturen wurden alle 30 Sekunden gemessen, und zwar mittels rechts und links am Skrotum befestigter Thermosonden. Bei den Raumtemperaturen von 18 und 26°C fanden sich nach 120 Minuten durchschnittliche Skrotaltemperaturen von

33,76 und 35,02°C bei einer Dicke der Polsterung von 0 cm und 34,65 bzw. 34,99°C (Min.: 34,23°C; Max.: 36,17°C) bei einer Dicke der Polsterung von 8 cm. Eine statistische Signifikanz wurde für den Anstieg der Skrotaltemperatur in Abhängigkeit von der Raumtemperatur, nicht jedoch von der Dicke der Sitzpolsterung gefunden.

Für die statistische Analyse der Korrelation von Raumtemperatur und Skrotaltemperatur wurde ein t-Test für gepaarte Stichproben verwendet, und für die Analyse der Korrelation von Skrotaltemperatur und der Dicke der Sitzpolsterung ein one-way ANOVA Test.

Bei dem im Experiment I der vorliegenden Arbeit verwendeten Autositz kann von einer Dicke der Polsterung von etwa 8 cm ausgegangen werden, Als Vergleichswerte müssen also die nach 120 Minuten erreichten Temperaturen von 34,65°C (Raumtemperatur: 18°C) bzw. 34,99°C (Raumtemperatur: 26°C) herangezogen werden. Bei einer Raumtemperatur von 22°C beträgt der bei uns nach 90 Minuten gemessene Wert (ohne Sitzheizung) der Skrotaltemperatur im Mittel 36,71° C. Damit ergibt sich, wenn man die bei 26° C Raumtemperatur gemessenen 34,99°C als Vergleich heranzieht, eine Differenz von 1,72°C. Die bei Song et al. durchgeführte Akklimatisationsphase von 20 Minuten bei 23°C Raumtemperatur in einem dem Hauptstudienraum vorgeschaltetem Raum ist mit der unsrigen durchaus vergleichbar. Trotzdem liegen die Ausgangstemperaturen für die rechte und linke Skrotalseite mit 33,56°C und 33,21°C (Raumtemperatur: 26°C, Dicke der Polsterung: 8 cm) unter den bei uns gemessenen Werten von 34,66°C und 34,89°C. Somit sind die bei uns gemessenen Ausgangstemperaturen um 1,1 bzw. 1,68°C höher. Trägt man dem Rechnung, so verkleinert sich die oben erwähnte Differenz von 1,72°C schon beträchtlich.

Zudem muss der von Song et al. verwendete Stuhl als weiterer Faktor mit Einfluss auf die beobachtete Differenz berücksichtigt werden. Dabei handelt es sich um einen herkömmlichen Holzstuhl mit Arm- und Rückenlehne, dessen Sitzauflage durch Schaumstoff verschiedener Dicke ersetzt wurde. Ein Autositz, wie er von uns verwendet wurde, ist jedoch darauf ausgelegt Halt zu geben und den Körper bei zügiger Fahrt sowie in den Kurven zu stabilisieren. Eine Sitzposition mit eher zurückgelehntem Oberkörper, eine nach vorne zum Lenkrad hin ansteigende Sitzfläche sowie eine seitlich an der Hüfte und den Oberschenkeln verstärkte Polsterung sind Teil dieses Konzepts. Alle diese Elemente führen zu einer effektiven Isolierung des Skrotums, so dass die dem Skrotalbereich direkt unterliegende Polsterung sowie die dem Skrotum seitlich anliegenden Oberschenkel eine perigenitale Luftzirkulation nahezu vollständig verhindern und zu einem Wärmestau führen. Hinzu

kommt, dass die Probanden in unserem Experiment während der gesamten 90 Minuten mit einander angenäherten Oberschenkeln und Knien saßen.

Der oben beschriebene Mechanismus dürfte beim Sitzen auf einem normalen Stuhl nicht derart zum Tragen kommen, so dass die beobachtete Differenz der nach 90 bzw. 120 Minuten beobachteten Skrotaltemperaturen auch hierdurch noch erklärt werden kann.

Jung et al. (2004) untersuchten in einer Arbeit mit 50 Probanden den Einfluss enger versus locker sitzender Unterhosen auf die Skrotaltemperatur, und zwar sowohl beim Sitzen als auch beim Laufen. Jeder Proband absolvierte drei Durchgänge, bestehend aus jeweils 45 Minuten Laufen auf dem Laufband bei etwa 3,0 km/h und direkt im Anschluss weiteren 45 Minuten des Sitzens auf einem Bürostuhl (rechter Winkel in Hüfte und Knien; Fixieren der Oberschenkel mit einem Band). Dabei trugen die Probanden nach dem Zufallsprinzip eng sitzende Jockey Shorts, locker sitzende Boxer Shorts, oder keine Unterhose. Die Temperaturen wurden jede Minute mit rechts und links am Skrotum fixierten Thermosonden gemessen. Alle Probanden durchliefen eine 30-minütige Akklimatisationsphase im Studienraum bei einer Temperatur von 20°C. Die Skrotaltemperaturen waren signifikant höher beim Tragen von eng sitzenden Unterhosen verglichen mit dem Tragen von locker sitzenden Unterhosen oder gar dem Sitzen ohne Unterwäsche. Weiterhin fanden sich für die Phasen des Laufens signifikant niedrigere Temperaturen als für die Phasen des Sitzens. ANOVA zeigte, für alle Arten der Unterwäsche, dass die Temperaturen während des Laufens um 1,5 bis 2,2°C niedriger lagen als während der Phasen des Sitzens, und zwar für beide Skrotalseiten. Bei ausschließlicher Betrachtung der letzten 10 Minuten betragen diese Werte 1,6 bis 2,6°C. Für die statistische Analyse wurde ein Kolmogorov-Smirnov Test zur Abklärung der Normalverteilung und eine multivariate Varianzanalyse für wiederholte Messungen verwendet. Weiterhin kamen ein Pearson's bzw. Spearman's Test für bivariate Korrelationen und ein Kruskal-Wallis Test zum Einsatz. Es wurden 2-seitige P-Werte veranschlagt. Ein $P < 0,05$ wurde als statistisch signifikant betrachtet.

Beim Vergleich der Phasen des Sitzens der oben beschriebenen mit der vorliegenden Arbeit, betrachten wir bei Jung et al., 2004, die Werte der Gruppe mit Boxer Shorts. Hier zeigten sich bei einer Sitzdauer von 45 Minuten Mittelwerte der Mediane rechts und links von 36,25°C bzw. 36,43°C. Im Experiment I der vorliegenden Arbeit trugen die Probanden ebenfalls Boxer Shorts und es fanden sich bei Betrachtung der ersten 45 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung Mittelwerte der Mediane von 35,80°C (rechts) und 35,94°C (links). Dies entspricht einer um

0,45 (rechts) bzw. 0,49°C (links) höheren Skrotaltemperatur beim Sitzen auf dem Bürostuhl. Bei ausschließlicher Betrachtung der letzten 10 Minuten der oben dargestellten Periode von insgesamt 45 Minuten verkleinert sich diese Differenz auf 0,05 bzw. 0,16°C. Gegen Ende des untersuchten Zeitraums gleichen sich also die Temperaturen beider Experimente mehr und mehr an.

Das Erreichen der oben beschriebenen höheren Skrotaltemperaturen bei Jung et al. (2004) ist jedoch auf die höheren Ausgangstemperaturen dieser Arbeit zurück zu führen:

Berücksichtigt man nämlich die Mediane der Ausgangstemperaturen, so sind diese in der Arbeit von Jung et al. mit 35,5 bzw. 35,6°C (Abb.1, Jung et al., 2004) um etwa 0,78 bzw. 0,54°C höher als die der vorliegenden Arbeit mit nur 34,73 bzw. 35,06°C.

Rückblickend kann gesagt werden, dass die in der vorliegenden Arbeit gefundenen Werte der Skrotaltemperatur beim Sitzen ohne Sitzheizung denen der oben genannten Situationen des Sitzens ohne Wärmezufuhr ähnlich waren. Ein Vergleich mit den beiden Arbeiten, bei denen ebenfalls von extern Wärme zugeführt wurde zeigte, dass die bei uns gemessenen Skrotaltemperaturwerte beim Sitzen mit Sitzheizung die der zu vergleichenden Arbeiten übertrafen, und als einzige die Körperkerntemperatur erreichten.

5.2 Experiment II

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass es bei moderatem Fahrradfahren auf dem Fahrradergometer mit einer Leistung von 25 Watt zu keinem signifikanten Anstieg der Skrotaltemperatur kommt. Vergleicht man das Fahrradfahren mit aus der Literatur bekannten Situationen wie dem Sitzen auf einem Stuhl (Jung et al., 2005; Koskelo et al., 2005) sowie dem Sitzen auf einem Autositz im Rahmen einer Autofahrt (Bujan et al., 2000), so finden sich beim Fahrradfahren signifikant niedrigere Skrotaltemperaturen. Bujan et al. (2000) fanden in ihrer Arbeit mit neun Probanden nach einer Autofahrt von zwei Stunden einen Mittelwert der Skrotaltemperaturen von 36,3°C. In einer Studie mit 50 Probanden beobachteten Jung et al. (2004) beim Sitzen auf einem Bürostuhl von 45 Minuten Skrotaltemperaturen um 36,39°C (angepasster Mittelwert).

Bei moderatem Laufen auf einem Laufband zeigten sich dagegen nach 45 Minuten nur Temperaturen unter 35,0°C (Jung et al., 2004). Ebenso erreichten beim Fahrradfahren im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Skrotaltemperaturen für die linke bzw. rechte Skrotalseite nach 60 Minuten nur mittlere Werte von 35,5 bzw. 35,4°C.

Die Mittelwerte über alle 60 Minuten für 25 Probanden betragen beim Fahren auf dem Fahrradergometer für die linke bzw. rechte Skrotalseite 35,4 bzw. 35,3°C.

Wie im Abschnitt Materialien und Methoden bereits beschrieben, beginnen die Probanden unmittelbar nach dem Sitzen auf dem unbeheizten Autositz mit dem Fahrradfahren. Dabei erwarten wir zunächst einen Abfall der Skrotaltemperatur, und zwar bedingt durch die verbesserte perigenitale Luftzirkulation, welche nach dem Aufgeben der sitzenden Position auf dem Autositz zu einer skrotalen Kühlung führt. Im Verlauf des Fahrradfahrens gehen wir dann von einem anschließenden Anstieg der Skrotaltemperatur aus.

Um einen differenzierteren Überblick über den Verlauf der Temperaturmesswerte für das Fahrradfahren auf dem Fahrradergometer zu bekommen, betrachten wir die Messwerte für die ersten, mittleren und letzten 20 Minuten der linken und rechten Skrotalseite und untersuchen diese Messreihen inferenzstatistisch auf Gleichheit und Verschiedenheit.

Zuerst interessiert uns die Frage, ob es beim Übergang vom Sitzen auf dem unbeheizten Autositz zum Fahren auf dem Fahrradergometer zu einem deutlichen Abfall der Skrotaltemperatur kommt. Vergleicht man also, ohne Berücksichtigung der Seite, die Temperaturen der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung mit den ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens so findet man einen signifikanten Unterschied ($P < 0,0001$). Die dazu gehörigen angepassten Mittelwerte betragen für die letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung und die ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens 36,7 bzw. 35,3°C. Betrachten wir die beiden angepassten Mittelwerte, so wird klar, dass es beim Übergang vom Sitzen zum Fahrradfahren zu einem deutlichen Temperaturabfall von 1,4°C kommt.

Vergleicht man, ohne die Seite (linke und rechte Skrotalseite) zu berücksichtigen, die Temperaturen der ersten, mittleren und letzten 20 Minuten so findet man keinen signifikanten Unterschied ($P = 0,5899$). Die dazu gehörigen angepassten Mittelwerte betragen für die ersten, mittleren und letzten 20 Minuten 35,3°C (erste und mittlere) und 35,4°C (letzte).

Für den Vergleich der linken mit der rechten Skrotalseite ergibt sich kein signifikanter Unterschied ($P = 0,2266$).

Als letztes interessiert uns die Frage, ob beim Fahrradfahren nach 60 Minuten Skrotaltemperaturen erreicht werden, die mit denen des Sitzens ohne Sitzheizung nach ebenfalls 60 Minuten vergleichbar sind. Dazu betrachten wir, ohne Berücksichtigung der Seite, die Temperaturen der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens und der 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung, Für diese beiden Messreihen ergibt sich ein signifikanter

Unterschied ($P < 0,0001$). Die dazu gehörigen angepassten Mittelwerte betragen für das Fahrradfahren bzw. das Sitzen auf dem Autositz 35,4 bzw. 36,4°C.

Betrachtet man die Ergebnisse der durchgeführten Varianzanalysen mit wiederholten Messungen sowie die angepassten Mittelwerte, so wird deutlich, dass im Zusammenhang mit moderatem Fahrradfahren nicht von einem Risikofaktor für eine genitale Wärmebelastung gesprochen werden kann. Diese Aussage ist mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0,05 abgesichert. In Einzelfällen muss jedoch mit einem relevanten Anstieg der Skrotaltemperatur gerechnet werden, wie der Spitzenwert von 37,0°C nach 60 Minuten Fahrradfahren bei einem der Probanden zeigt.

Moderates Fahrradfahren mit regelmäßigen Temperaturmessungen der Skrotaltemperatur unter experimentellen Bedingungen war unseres Wissens nach bisher nicht Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Neben thematisch ähnlichen Arbeiten ziehen wir deswegen zum Vergleich auch drei Studien heran, in denen die Probanden saßen, schiefen oder liefen.

In einer Studie mit 8 Probanden zeigten Koskelo et al. (2005), dass es beim Benutzen von 6 verschiedenen Typen von Stühlen bereits nach 20 Minuten zu einem Plateau und zu skrotalen Werten von bis zu 36,0°C kommen kann. Bevor die Probanden mit dem Sitzen auf den Stühlen begannen, absolvierten sie eine Akklimatisationsphase von fünf Minuten, stehend, bei einer Raumtemperatur des Studienraums von 23,0°C. Beim Sitzen auf den unterschiedlichen Stühlen für insgesamt jeweils 30 Minuten wurden die Probanden dazu instruiert zu lesen und ihre Sitzposition nicht zu verändern. Dabei zeigte sich ein Anstieg der Skrotaltemperatur für alle Stühle mit Ausnahme des Sattelstuhls. Zusätzlich wurden von Koskelo et al. thermographische Aufnahmen der Sitzoberfläche der Stühle durchgeführt. Auch diese zeigten, dass es beim Sitzen auf dem Sattelstuhl auf Grund seiner Form zu einer weniger ausgeprägten Isolierung der Genitalregion, also einem weniger dichten Anliegen von Sitzoberfläche und Hose mit weniger eingeschränkter Luftzirkulation kommt.

Für das Sitzen auf dem Sattelstuhl fanden sich also statistisch hoch signifikant niedrigere Temperaturen als beim Benutzen der anderen Stühle. Ein Grund für diesen hoch signifikanten Unterschied ist die oben bereits erwähnte bessere perigenitale Luftventilation, welche durch die Form des Sattelstuhls ermöglicht wird. Außerdem saßen die Probanden auf diesem Stuhl mit einem Winkel von etwa 135° in Hüften und Knien, und die Beine befanden sich in einer gespreizten Position. Dies wiederum ermöglicht eine effektive inguinale Luftzirkulation.

Auch die im Rahmen der Studie gemessene relative Feuchtigkeit der Skrotalhaut unterstützt die These, dass der Sattelstuhl eine bessere Ventilation ermöglicht. Die relative Feuchtigkeit der Skrotalhaut stieg beim Benutzen herkömmlicher Stühle nämlich an, jedoch nicht beim Sattelstuhl. Ein zusätzlicher Kühlungsmechanismus durch Verdunstung war hier wegen der ohnehin schon guten Wärmeabgabe über perigenital zirkulierende Luft nicht nötig.

Das Sitzen auf dem Sattelstuhl mit einer abfallenden Skrotaltemperaturkurve kann sehr gut mit dem Sitzen auf einem Fahrradsattel im Experiment II der vorliegenden Studie verglichen werden. Hier beobachteten wir ebenfalls zunächst einen Abfall der Skrotaltemperaturen für rechts und links, hervorgerufen dadurch, dass zunächst mehr Wärme abgegeben als aufgenommen wurde. Nach 60 Minuten wurden dann schließlich, bedingt durch die körperliche Anstrengung und den erhöhten Metabolismus, wieder Werte erreicht, welche marginal über denen der Ausgangstemperaturen lagen.

Jung et al (2003b) untersuchten in einer Arbeit mit 11 Probanden mit Normozoospermie und 22 Probanden mit Oligozoospermie, ob es während des Schlafens zu einer Erhöhung der Skrotaltemperatur kommt, und ob zwischen beiden Gruppen Unterschiede bestehen. Gemessen wurde mittels beidseits an der Skrotalhaut fixierter Thermosonden, welche mit einem tragbaren Datenrekorder gekoppelt waren. Dabei wurden in beiden Gruppen während des Nachtschlafs Mediane der Skrotaltemperaturen von bis zu etwa 36°C gefunden. Während des Liegens auf der Seite fanden sich deutlich höhere Skrotaltemperaturen als während der Phasen in Rückenlage (+0,65, rechte Seite; +0,54, linke Seite). Beim Liegen auf der Seite zeigte sich zwischen der Gruppe der Probanden mit Normozoospermie und Oligozoospermie mit 36,1°C und 36,0°C (Mediane) kein Unterschied. Es ist bekannt, dass Temperaturen in dieser Höhe sonst tagsüber nur während längerer Phasen der Inaktivität bzw. fehlender körperlicher Bewegung erreicht werden, so z.B. nach längeren Phasen des Sitzens oder Autofahrens (Bujan et al., 2000).

Außerdem ist bekannt, dass bei körperlicher Aktivität die Skrotaltemperaturen weniger stark ansteigen als bei körperlicher Inaktivität (Jung et al., 2004). Experiment II der vorliegenden Arbeit zeigt, dass beim Fahrradfahren, nach 60 Minuten Mediane der Skrotaltemperaturen von 35,82°C für die linke Seite und 35,77°C für die rechte Seite erreicht werden. Wie erwartet liegen diese Werte unter den im Nachtschlaf erreichten Temperaturen.

Der Median der Ausgangstemperaturen, nach einer 90-minütigen Akklimatisationsphase auf dem unbeheizten Autositz, lag mit 35,75°C (links) und 35,5°C (rechts) nur unwesentlich unter den am Ende erreichten Werten, so dass von keinem signifikanten Anstieg der Skrotaltemperatur beim Fahrradfahren auszugehen ist.

Jung et al. (2004) untersuchten in einer Studie mit 50 Probanden den Einfluss verschiedener Arten von Unterhosen auf die Skrotaltemperatur, und zwar sowohl beim Sitzen als auch beim Laufen. Jeder Proband absolvierte drei Durchgänge, bestehend aus jeweils 45 Minuten Laufen auf dem Laufband bei etwa 3,0 km/h und direkt im Anschluss weiteren 45 Minuten des Sitzens. Dabei trugen die Probanden nach dem Zufallsprinzip eng sitzende Jockey Shorts, locker sitzende Boxer Shorts, oder keine Unterhose. Die Temperaturen wurden jede Minute mit rechts und links am Skrotum fixierten Thermosonden gemessen. Alle Probanden durchliefen eine 30-minütige Akklimatisationsphase im Studienraum, dessen Temperatur 20°C betrug. Die Skrotaltemperaturen waren signifikant höher beim Tragen von eng sitzenden Unterhosen verglichen mit dem Tragen von lose sitzenden Unterhosen oder gar mit dem Sitzen ohne Unterwäsche. Weiterhin fanden sich für die Phasen des Laufens signifikant niedrigere Temperaturen als für die Phasen des Sitzens. ANOVA zeigte, für alle Arten der Unterwäsche, dass die Temperaturen während des Laufens um 1,5 bis 2,2°C niedriger lagen als während der Phasen des Sitzens, und zwar für beide Skrotalseiten. Bei ausschließlicher Betrachtung der letzten 10 Minuten betrug diese Werte 1,6 bis 2,6°C. Für die statistische Analyse wurde ein Kolmogorov-Smirnov Test zur Abklärung der Normalverteilung und eine Multivariate Varianzanalyse für wiederholte Messungen verwendet. Weiterhin kamen ein Pearson's bzw. Spearman's Test für bivariate Korrelationen und ein Kruskal-Wallis Test zum Einsatz. Es wurden 2-seitige P-Werte veranschlagt. Ein $P < 0,05$ wurde als statistisch signifikant betrachtet.

Zum Vergleich der eben besprochenen Studie mit Experiment II der vorliegenden Arbeit werden die Skrotaltemperaturwerte der 45-minütigen Periode des Laufens mit den Werten von 45 Minuten Fahrradfahren verglichen. Aus der Arbeit von Jung et al. (2004) nehmen wir zum Vergleich die Werte, die beim Laufen mit Boxer Shorts gemessen wurden.

Beim Laufen fanden Jung et al. für rechts und links Temperaturen von 34,43°C und 34,79°C (Mittelwerte der Mediane). Dem stehen beim Fahrradfahren, betrachten wir nur die ersten 45 Minuten, Temperaturen von 35,43°C und 35,49°C gegenüber (Mittelwerte der Mediane). Die Temperaturen beim Fahrradfahren waren also um 1,0 bzw. 0,7°C höher als beim Laufen. Berücksichtigt werden müssen hierbei Ausgangstemperaturen, im Median, von 35,5°C

(rechts) und 35,75°C (links) beim Fahrradfahren und nur etwa 34,6°C (rechts) und 35,1°C (links) beim Laufen. Die Ausgangstemperaturen für das Laufen auf dem Laufband wurden der Abbildung 1 bei Jung et al. (2004) entnommen. Es ergibt sich eine Differenz der Ausgangstemperaturen für rechts und links von 0,9°C und 0,65°C, und zwar zu Gunsten des Fahrradfahrens. Dies erklärt die beim Fahrradfahren erreichten höheren Temperaturen hinreichend, so dass ein Unterschied bezüglich der erbrachten körperlichen Leistung bei beiden Aktivitäten unwahrscheinlich erscheint.

Sommer (2004) zeigt in einer Arbeit, dass längeres Fahrradfahren bei Radsportlern mit einer Erhöhung der Skrotaltemperatur einhergeht und somit die Spermatogenese beeinträchtigen könnte. In unserer Arbeit konnten diese Ergebnisse für moderates Fahrradfahren von 60 Minuten nicht bestätigt werden.

Sommer et al. (2002) berichteten außerdem in einer Arbeit mit 51 Fahrradfahrern, die jeweils eine längere Strecke zurücklegten, von einem Anstieg des Medians der Skrotaltemperatur auf bis zu 36,6°C. Bei einem Vergleich von Samenproben dieser Männer mit einer Kontrollgruppe zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede.

In einer weiteren Arbeit wurden die Samenproben von 10 Männern, die Fahrradfahren als Leistungssport betrieben, mit einer Kontrollgruppe verglichen, wobei sich Spermatozoendichte und Motilität nicht unterschieden. Die Morphologie der Spermien war bei der Gruppe der Fahrradfahrer dagegen beeinträchtigt (Gebreggiabher et al., 2004). Eine alleinige Beeinträchtigung der Morphologie ohne Veränderung der Spermatozoendichte erscheint jedoch eher unwahrscheinlich, da im Prozess der Spermatogenese vor allem die Differenzierung und Reifung der Spermatozyten und Spermatischen temperaturabhängig sind (Chowdhury & Steinberger, 1970; Thonneau et al., 1998).

In einer Studie mit 12 professionellen Fahrradfahrern zeigte sich keine Veränderung der Spermatozoendichte und der Morphologie im Verlauf eines Wettkampfjahres. Nur während der Wettkampfphase selber wurde eine signifikante Verringerung des Anteils der motilen Spermatozoen festgestellt (Lucía et al., 1996).

Leibovitch und Yoram (2005) wiederum berichteten in einem Review Artikel über eine Veränderung der Morphologie der Spermatozoen von Sportlern, die Fahrradfahren als Wettkampfsport betrieben, andere Parameter hingegen waren nicht beeinträchtigt.

Ein Zusammenhang zwischen Fahrradfahren, Erhöhung der Skrotaltemperatur und Beeinträchtigung der Samenqualität bleibt weiter unklar.

5.3 Abschließende Betrachtungen

Bei Säugetieren, also auch beim Menschen, besteht die Hauptfunktion des Skrotums darin, auf übermäßige Wärmezufuhr bzw. Wärmeproduktion zu reagieren um eine Überwärmung der Hoden zu vermeiden (Waites, 1991). Dies geschieht durch eine Vergrößerung der Skrotaloberfläche sowie der Produktion von Flüssigkeit zur Verdunstung (Waites & Voglmayr, 1963). Beim Menschen ist eine Vergrößerung der Skrotaloberfläche ebenso wie eine vermehrte Schweißsekretion in solchen Situationen gesichert (Candas et al., 1993).

Der in der vorliegenden Arbeit beobachtete Anstieg der Skrotaltemperatur während des Sitzens auf einem beheizten/unbeheizten Autositz in einer für das Autofahren üblichen Haltung kann zum Teil durch die Lage des Skrotums beim Autofahren erklärt werden. In dieser Situation ist ein Spreizen der Beine limitiert, so dass das Skrotum den Oberschenkeln direkt anliegt. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen: Zum einen wird dadurch die Entspannung der Skrotalhaut verhindert und damit die Möglichkeit der Kühlung durch Vergrößerung der Oberfläche des Skrotums (Fowler, 1969). Zum anderen hat das Skrotum direkten Kontakt mit den Oberschenkeln, deren Temperatur der Körperkerntemperatur ähnlich ist.

Schließlich stellt sich die Frage, welchen Einfluss ein Anstieg der Skrotaltemperatur auf die Samenqualität bzw. Fertilität hat. Die für die Spermatogenese optimale Temperatur beträgt zwischen 33 und 35°C und liegt damit um 2 - 4°C unterhalb der Körperkerntemperatur (Kandeel & Swerdloff, 1988; Shafik, 1992; Mieusset & Bujan, 1994; Wang et al. 1997). Wie bei anderen Säugetieren auch sind solche Temperaturen Voraussetzung für eine ungestörte Spermatogenese (Setchell & Mieusset, 1996).

In Studien mit männlichen Probanden wurde ein Anstieg der Skrotaltemperatur um 1-2°C während der Morgenstunden herbei geführt und täglich wiederholt. Es zeigte sich eine Beeinträchtigung der Spermatogenese, sowohl die Spermatozoendichte als auch der Anteil der motilen und normal geformten Spermien war herabgesetzt (Mieusset et al., 1985; Shafik, 1992). Das Ausmaß der Veränderungen der einzelnen Parameter war groß genug, um in diesem Zusammenhang von Infertilität sprechen zu können (Shafik, 1992; Mieusset & Bujan, 1994). Alle beschriebenen Veränderungen waren innerhalb eines Jahres nach Absetzen der die Temperatur erhöhenden Maßnahmen reversibel.

Weitere Studien mit Probanden, bei denen die Skrotaltemperatur erhöht wurde, führten zu widersprüchlichen Ergebnissen. Eine Erhöhung der Skrotaltemperatur um durchschnittlich

1°C während der Morgenstunden führte zu einer Abnahme von Spermatozoendichte und des Anteils der motilen und morphologisch unauffälligen Spermien, wie Rock und Robinson (1965) zeigten. In einer anderen Arbeit konnte eine solche Veränderung der Parameter nicht gezeigt werden (Wang et al., 1997).

In den beiden zuletzt genannten Arbeiten war der Anstieg der Skrotaltemperatur mit 1°C jedoch geringer als der, welcher im Experiment I der vorliegenden Arbeit beobachtet wurde. Dieser betrug 2,3 bzw. 2,6°C (rechts bzw. links) für das Sitzen mit Heizung und 1,8 bzw. 2,0°C für das Sitzen ohne Heizung. Die Vermutung liegt also nahe, dass ein derartiger Anstieg der Skrotaltemperatur Auswirkungen auf die Samenqualität von Männern hat, die beim Autofahren regelmäßig eine Sitzheizung benutzen.

Abschließend muss festgehalten werden, dass das Sitzen auf einem beheizten Autositz zu einer signifikanten Erhöhung der Skrotaltemperatur führt, nicht jedoch das Fahren auf einem Fahrradergometer. Obwohl die wissenschaftlichen Erkenntnisse deutlich darauf hinweisen, dass der im Experiment I der vorliegenden Arbeit beobachtete Anstieg der Skrotaltemperatur zu einer Beeinträchtigung der Spermatogenese und der Samenqualität führen könnte, muss dies in weiteren Arbeiten geklärt werden.

6. Zusammenfassung

6.1 Deutsch

Aus der Literatur ist bekannt, dass eine sitzende Position, sei es auf einem Stuhl (Jung, 2001; Jung et al., 2004; Koskelo et al., 2005) oder auf einem Autositz (Bujan & Mieusset, 2000), schon zu einer Erhöhung der Skrotaltemperatur führt. Beim Benutzen einer Sitzheizung im Auto wird zusätzlich Wärme von extern zugeführt.

Beim Fahrradfahren kommt es durch die sitzende Position auf dem Fahrradsattel, ähnlich dem Sitzen auf einem Sitz oder Stuhl, zu einer Form der genitalen Isolation, die einen Faktor für eine genitale Wärmebelastung darstellt. Fahrradfahren ist jedoch zusätzlich mit einer physischen Aktivität verbunden, welche eine perigenitale Luftzirkulation zulässt und so einem Abstrom der Wärme ermöglicht. Jung (2001) demonstrierte in Übereinstimmung mit Bujan et al. (2000), dass bereits nach einer Stunde Sitzen im Rahmen einer Autofahrt oder am Schreibtisch die skrotalen Temperaturen beidseits um 1°C angestiegen waren, verglichen mit einem einstündigem Spaziergang mit Skrotaltemperaturen von unter 35°C.

In der vorliegenden Arbeit wurde mittels zweier Experimente untersucht, ob in den beiden oben genannten Situationen eine (weitere) Erhöhung der Skrotaltemperatur erfolgt, und ob dabei Werte der Körperkerntemperatur oder höher erreicht werden.

6.1.1 Experiment I

6.1.1.1 Materialien und Methoden

Für das erste Experiment wurden 30 Probanden rekrutiert. Jeder Proband saß an zwei aufeinanderfolgenden Tagen für jeweils 90 Minuten auf dem Autositz. Ein randomisierter Untersuchungsplan legte fest, ob der Sitz am ersten Tag beheizt und am zweiten Tag unbeheizt bzw. am ersten Tag unbeheizt und am zweiten Tag beheizt war. Nach einer Akklimatisationsphase von 30 Minuten im klimatisierten Studienraum (22°C) begannen die Probanden mit der Sitzperiode. Die Temperaturen wurden jede Minute mit beidseits am Skrotum und der zentralen Sitzoberfläche fixierten Temperaturfühlern, welche mit einem tragbaren Thermoport gekoppelt waren, gemessen und mit einer speziellen Software

ausgelesen. Die Ohrtemperatur als Äquivalent der Körperkerntemperatur wurde zu Beginn und am Ende jeder Sitzperiode gemessen.

Für die statistische Analyse wurde eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) mit wiederholten Messungen mit den Faktoren „Heizung“ (Ausprägungen: mit und ohne (Sitz)-Heizung bzw. MH und OH), „Periode“ (Ausprägungen: erste und letzte 20 Minuten des Sitzens bzw. E20 und L20) sowie „Seite“ (Ausprägungen: linke und rechte Skrotalseite) durchgeführt.

6.1.1.2 Ergebnisse

Die maximalen Temperaturen der Probanden beim Sitzen auf dem beheizten Autositz betragen für die linke Skrotalseite 37,9°C und für die rechte Skrotalseite 38,6°C. Die an der Sitzoberfläche gemessene Temperatur betrug bei Betrieb der Sitzheizung maximal 39,7°C. Die Ohrtemperatur stieg beim Sitzen auf dem beheizten bzw. unbeheizten Autositz nicht an. Beim Sitzen mit Sitzheizung übertrafen die Skrotaltemperaturen die beim Sitzen ohne Heizung gemessenen Maximalwerte bereits nach 30 Minuten. Nach dem Beginn der Heizperiode benötigte die Sitzheizung etwa 10 Minuten, um die Temperatur der Oberfläche des Sitzes an die des Skrotums anzugleichen. Im nächsten Zeitabschnitt (11.-60. Minute) ist die Temperatur der Sitzoberfläche dann höher und steigt auch schneller an als die Skrotaltemperatur. Im letzten Zeitabschnitt (ab der 61. Minute) erreichten die Temperaturen der Sitzoberfläche und des Skrotums ein stabiles Gleichgewicht.

Insgesamt ist beim Sitzen auf dem beheizten Autositz von 90 Minuten ein mittlerer Anstieg der Skrotaltemperatur (berechnet aus der Differenz der Temperaturwerte der 1. und 90. Minute jedes Probanden) links bzw. rechts um 2,3 bzw. 2,6°C, beim Sitzen auf dem unbeheizten Sitz von 1,8 bzw. 2,0°C zu verzeichnen. Somit werden Werte erreicht, die der Körperkerntemperatur entsprechen.

Die statistische Analyse ergab folgende Ergebnisse:

Beheizter versus unbeheizter Autositz

Die MANOVA zeigt einen signifikanten Unterschied ($P < 0,0001$) für die beiden Ausprägungen (MH und OH) des Faktors Heizung. Die angepassten Mittelwerte betragen für das Sitzen mit Sitzheizung 36,4°C, und für das Sitzen ohne Sitzheizung 36,0°C.

Temperaturanstieg im zeitlichen Verlauf

Die MANOVA zeigt, dass zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode (E20 und L20) ein signifikanter Unterschied ($P < 0,001$) besteht. Die angepassten Mittelwerte betragen für die Periode der ersten 20 Minuten $35,5^{\circ}\text{C}$, und für die der letzten 20 Minuten $37,0^{\circ}\text{C}$.

Rechte versus linke Skrotalseite

Die MANOVA zeigt, dass zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite (links und rechts) kein signifikanter Unterschied besteht ($P = 0,5128$). Die angepassten Mittelwerte betragen für die linke und rechte Skrotalseite $36,2^{\circ}\text{C}$.

Interaktion

Für die Ausprägungen des Faktors Heizung (MH und OH) und Periode (E20 und L20) zeigt die MANOVA eine Interaktion ($P = 0,0081$). Dies wird so interpretiert, dass während der letzten 20 Minuten des Sitzens der Effekt der Sitzheizung auf die Skrotaltemperatur stärker war als während der ersten 20 Minuten, jeweils verglichen mit den Temperaturen, die während der letzten bzw. ersten 20 Minuten des Sitzens auf dem unbeheizten Autositz erreicht wurden. Die angepassten Mittelwerte betragen für die Periode der ersten 20 Minuten mit Sitzheizung $35,6$ und ohne Sitzheizung $35,3^{\circ}\text{C}$. Für die Periode der letzten 20 Minuten betragen diese Werte mit Sitzheizung $37,3$ und ohne Sitzheizung $36,7^{\circ}\text{C}$.

6.1.2 Experiment II

6.1.2.1 Materialien und Methoden

Für das zweite Experiment wurden 25 Probanden rekrutiert. Im Anschluss an eine Akklimatisationsphase von 90 Minuten auf dem unbeheizten Autositz begannen sie mit dem Fahrradfahren von insgesamt 60 Minuten bei einer Leistung von 25 Watt. Auch hier wurden die Skrotaltemperaturen jede Minute mit beidseits am Skrotum fixierten Temperaturfühlern, welche mit einem tragbaren Thermoport gekoppelt waren, gemessen. Die Ohrtemperatur wurde analog zu Experiment I jeweils zu Beginn und am Ende des Fahrradfahrens gemessen.

Für die statistische Analyse wurden drei multivariate Varianzanalysen (MANOVA) mit wiederholten Messungen durchgeführt, und zwar zunächst eine MANOVA mit den Faktoren „Periode“ (Ausprägungen: erste, mittlere und letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens bzw. E20, M20 und L20) und „Seite“ (Ausprägungen: linke und rechte Skrotalseite). Eine weitere

MANOVA wurde mit den Faktoren „Periode“ (erste 20 Minuten des Fahrradfahrens und letzte 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung bzw. F-E20 und OH-L20) und „Seite“ (linke und rechte Skrotalseite) ausgeführt. Eine dritte MANOVA wurde mit den Faktoren „Periode“ (letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens und 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung bzw. F-L20 und OH - 41-60) sowie „Seite“ (linke und rechte Skrotalseite) durchgeführt.

6.1.2.2 Ergebnisse

Die maximalen Temperaturwerte während des Fahrradfahrens betragen für die linke Skrotalseite 36,9°C und für die rechte Skrotalseite 37,0°C. Die Messungen an der Oberfläche des Sattels ergaben ein Temperaturmaximum von 36,5°C. Die Ohrtemperatur stieg während des einstündigen Fahrradfahrens bei 25 Watt an, und zwar von 36,7 auf 36,9°C.

Beim Fahrradfahren erreichten die Skrotaltemperaturen für die linke bzw. rechte Skrotalseite nach 60 Minuten nur mittlere Werte von 35,5 bzw. 35,4°C.

Die statistische Analyse ergab folgende Ergebnisse:

Temperaturanstieg im zeitlichen Verlauf

Die MANOVA zeigt, dass zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode (E20, M20 und L20) kein signifikanter Unterschied ($P=0,5899$) besteht. Die angepassten Mittelwerte betragen für die Periode der ersten und mittleren 20 Minuten 35,3°C und für die Periode der letzten 20 Minuten 35,4°C.

Rechte versus Linke Skrotalseite

Die MANOVA zeigt, dass zwischen den Ausprägungen des Faktors Seite (links und rechts) kein signifikanter Unterschied besteht ($P=0,2266$). Dies gilt auch für den Seitenvergleich im Rahmen der zweiten und dritten Varianzanalyse. Die angepassten Mittelwerte betragen für die linke und rechte Skrotalseite 35,4 und 35,3°C bzw. 36,1 und 35,9°C (2. Varianzanalyse) bzw. 36,0 und 35,9°C (3. Varianzanalyse).

Erste 20 Minuten des Fahrradfahrens versus letzte 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung

Die MANOVA zeigt, dass zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode (F-E20, OH-L20) ein signifikanter Unterschied ($P<0,0001$) besteht. Die angepassten Mittelwerte betragen für die Periode der ersten 20 Minuten des Fahrradfahrens 35,3°C und für die der letzten 20 Minuten des Sitzens ohne Sitzheizung 36,7°C.

Letzte 20 Minuten des Fahrradfahrens versus 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung

Die MANOVA zeigt, dass zwischen den Ausprägungen des Faktors Periode (F-L20, OH - 41-60) ein signifikanter Unterschied besteht ($P < 0,0001$). Die angepassten Mittelwerte betragen für die Periode der letzten 20 Minuten des Fahrradfahrens $35,4^{\circ}\text{C}$ und für die der 41.-60. Minute des Sitzens ohne Sitzheizung $36,5^{\circ}\text{C}$.

6.1.3 Abschließende Bewertung der Ergebnisse der Experimente I und II

Die Skrotaltemperaturen (Mittelwerte) beim Sitzen mit Sitzheizung liegen immer über den beim Sitzen ohne Heizung erreichten Temperaturen (Mittelwerte), und zwar mit einer Differenz von $0,5$ bzw. $0,6^{\circ}\text{C}$ für die linke bzw. rechte Skrotalseite. In der 90. Minute werden mit $37,3$ (links) bzw. $37,4^{\circ}\text{C}$ (rechts) mittlere Werte erreicht, welche der Körperkerntemperatur entsprechen. Der beim Sitzen auf dem beheizten Autositz erreichte Maximalwert beträgt für die linke Skrotalseite $37,9^{\circ}\text{C}$ und für die rechte Skrotalseite $38,6^{\circ}\text{C}$ und erreicht damit einen Wert, welcher den der Körperkerntemperatur übertrifft.

Die beim Fahren auf dem Fahrradergometer mit moderater körperlicher Belastung erreichten Skrotaltemperaturen (Mittelwerte) bleiben während der gesamten 60 Minuten unter $35,6^{\circ}\text{C}$. Daraus schließen wir, dass ein klinisch relevanter Anstieg der Skrotaltemperatur nicht vorliegt. Maximalwerte von $36,9^{\circ}\text{C}$ (links) bzw. $37,0^{\circ}\text{C}$ (rechts) werden jedoch im Einzelfall erreicht.

6.2 Englisch

It is very well known from the literature, that a sitting position, either on a chair (Jung, 2001; Jung et al., 2004; Koskelo et al., 2005) or on a car seat already results in an increase of scrotal temperature. When using a heatable car seat heat is additionally applied from the outside.

When cycling, the sitting position on the saddle, similar to sitting on a seat or a chair, leads to a kind of genital insulation, which is a risk factor for genital heat stress. Cycling however is additionally associated with physical activity, which allows perigenital air ventilation and thus heat dissipation. Jung (2001) demonstrated, according to Bujan et al. (2000), that already after

one hour sitting in a car or on a chair, scrotal temperatures increase by 1°C on both scrotal sides, compared with a walk of 60 minutes with scrotal temperatures lower than 35°C.

In the present study we investigated in two experiments, whether the two above-named situations lead to a further increase in scrotal temperature, and if values near body core temperature or higher are reached.

6.2.1 *Experiment I*

6.2.1.1 Materials and Methods

For the first experiment a total of 30 volunteers was included. Each volunteer sat on the car seat for 90 minutes on two consecutive days. A randomised study plan determined if the car seat was heated on the first day and unheated on the second day, or unheated on the first day and heated on the second day. All volunteers started with the sitting period after an acclimatization period of 30 minutes in the study room, with an ambient temperature that was adjusted to 22°C. Temperatures were measured every minute with thermistor temperature sensors, attached to either side of the scrotum and the central seat surface, which were connected to a portable data recorder, and were read with a special kind of software. Ear temperature as an equivalent to the core body temperature was measured at the beginning and at the end of each sitting period.

For statistical analysis a multivariate analysis of variance (MANOVA) comprising repeated measurements with the factors “Heating” (Levels: with and without (seat) heating resp. H and NH), “Period” (Levels: first and last 20 minutes of sitting resp. F20 and L20) and “Side” (Levels: left and right scrotal side) was conducted.

6.2.1.2 Results

The maximum temperature values recorded among the volunteers while sitting on the heated car seat were 37.9°C for the left scrotal side and 38.6°C for the right scrotal side. At the seat surface a maximum of 39.7°C was measured, while the heating device was switched on. When sitting on the heated or unheated car seat ear temperature did not increase. When sitting on the heated car seat scrotal temperatures exceeded the level of maximum temperatures while sitting without heating after 30 minutes. After starting the heating period, the seat

heating needs approximately 10 minutes to increase the seat surface temperature to that of the scrotum. In the following period (11th-60th minutes) the seat surface temperature is higher and increases faster than the scrotal temperature. During the last period (after 61 minutes) the temperatures of the seat surface and the scrotum reached a steady state.

All in all, when sitting on the heated car seat for 90 minutes, a mean increase in scrotal temperature (calculated from the difference between the temperature values of the 1st and 90th minute of each volunteer) for the left resp. right side of 2.3 resp. 2.6°C, while sitting on the unheated car seat of 1.8 resp. 2.0°C is noted. Thus, values near body core temperature are reached.

The statistical analysis yielded the following results:

Heated versus unheated car seat

MANOVA shows a significant difference ($P < 0,0001$) for the levels (H and NH) of the factor “Heating”. The adjusted mean values for sitting with heating are 36.4°C, and for sitting without heating 36.0°C.

Increase in temperature over time

MANOVA shows a significant difference ($P < 0,001$) between the levels of the factor “Period” (F20 and L20). The adjusted mean values for the period of the first 20 minutes are 35.5°C, and for the period of the last 20 minutes 37.0°C.

Right versus left scrotal side

MANOVA does not show a significant difference ($P = 0,5128$) between the levels of the factor “Side” (left and right). The adjusted mean values for the left and right scrotal side are 36.2°C.

Interaction

MANOVA shows an interaction ($P = 0,0081$) for the levels of the factor “Heating” (H and NH) and “Period” (F20 and L20). This is interpreted such that, during the last 20 minutes of sitting, the effect of the seat heating on the scrotal temperature was stronger than during the first 20 minutes, compared to the temperatures which were reached during the last resp. first 20 while sitting on the unheated car seat. The adjusted mean values for the period of the first 20 minutes with and without seat heating are 35.6 and 35.3°C. For the period of the last 20 minutes with and without seat heating, those values are 37.3 and 36.7°C.

6.2.2 *Experiment II*

6.2.2.1 Materials and Methods

For the second experiment a total of 25 volunteers was included. After an acclimatization period of 90 minutes on the unheated car seat, each volunteer started cycling for 60 minutes with a power of 25 watts. Scrotal temperatures were measured every minute with thermistor temperature sensors, attached on either side of the scrotum and the central saddle surface, which were connected with a portable data recorder. As in Experiment I, ear temperature was measured at the beginning and at the end of cycling.

For statistical analysis we employed three multivariate analyses of variance (MANOVA) comprising repeated measurements, at first one MANOVA with the factors “Period” (Levels: first, middle and last 20 minutes of cycling resp. F20, M20 and L20) and “Side” (Levels: left and right scrotal side). A further MANOVA with the factors “Period” (first 20 minutes of cycling and last 20 minutes of sitting without seat heating resp. F-F20 and NH-L20) and “Side” (left and right scrotal side) was employed. A third MANOVA with the factors “Period” (last 20 minutes of cycling and 41st-60th minutes of sitting without seat heating resp. F-L20 and NH - 41-60) and “Side” (left and right scrotal side) was employed.

6.2.2.2 Results

The maximum temperature values recorded among the volunteers during the cycling period were 36.9°C for the left scrotal side and 37.0°C for the right scrotal side. At the saddle surface a maximum of 36.5°C was measured. Ear temperature increased during cycling with 25 watts for 60 minutes from 36.7 to 36.9°C (mean values). After 60 minutes scrotal temperatures only reached mean values for the left resp. right scrotal side of 35.5 resp. 35.4°C.

The statistical analysis yielded the following results:

Increase in temperature over time

MANOVA does not show a significant difference ($P=0,5899$) between the levels of the factor “Period” (F20, M20 and L20). The adjusted mean values for the period of the first and middle 20 minutes are 35.3°C and for the period of the last 20 minutes 35.4°C.

Right versus left scrotal side

MANOVA does not show a significant difference ($P=0,2266$) between the levels of the factor “Side” (left and right). This is also valid for the comparison of sides in the second and third MANOVA. The adjusted mean values for the left and right scrotal side are 35.4 and 35.3°C resp. 36.1 und 35.9°C (2nd MANOVA), resp. 36.0 and 35.9°C (3rd MANOVA).

First 20 minutes of cycling versus last 20 minutes of sitting without seat heating

MANOVA shows a significant difference ($P<0,0001$) between the levels of the factor “Period” (F-F20, NH-L20). The adjusted mean values for the period of the first 20 minutes of cycling are 35.3°C, and for the last 20 minutes of sitting without seat heating 36.7°C.

Last 20 minutes of cycling versus 41st – 60th minutes of sitting without seat heating

MANOVA shows a significant difference ($P<0,0001$) between the levels of the factor “Period” (F-L20, NH - 41-60). The adjusted mean values for the period of the last 20 minutes of cycling are 35.4°C, and for the 41st – 60th minutes of sitting without seat heating 36.5°C.

6.2.3 Final evaluation of the results of experiments I and II

The mean scrotal temperatures when sitting with seat heating are always above the temperatures (mean values) which are reached while sitting without heating, with a difference of 0.5 resp. 0.6°C for the left resp. right scrotal side. Mean values of 37.3 (left) resp. 37.4°C (right), which correspond to body core temperature, are reached in the 90th minute. The maximum value recorded among the volunteers while sitting on the heated car seat was 37.9°C for the left side and 38.6°C for the right side, hence reaching values which exceed body core temperature.

Scrotal temperatures which are reached, while cycling with moderate physical load on the exercise cycle, always remain below 35.6°C during the entire 60 minutes. Consequently we conclude, that a clinically relevant increase in scrotal temperature is not caused by cycling. In individual cases, however, maximum values of 36.9°C for the left and 37.0°C for the right scrotal side are reached.

7. Literaturverzeichnis

- Bonde, J.P.E. (1992) Semen quality in welders exposed to radiant heat. *British Journal of Industrial Medicine* 49, 5-10.
- Brown-Woodman, P.D.C., Post, E.J., Gass, G.C., White, I.G. (1984) The effect of a single sauna exposure on spermatozoa. *Arch Andrology* 12, 9-15.
- Bujan, L., Daudin, M., Charlet, J., Thonneau, P., & Mieusset, R. (2000) Increase in scrotal temperature in car drivers, *Human Reproduction* 15, 1355-1357.
- Candas, V., Becmeur F., Bothorel, B. and Hoft, A. (1993) Qualitative assessment of thermal and evaporative adjustments of human scrotal skin to heat stress. *International Journal of Andrology* 16, 137-142.
- Chowdhury, A.K. & Steinberger, E. (1970) Early changes in the germinal epithelium of rat testes following exposure to heat. *Journal of Reproduction and Fertility* 22, 205-212.
- DAT-report 2008. Available at: www.dat.de. Accessed on June 6, 2008.
- Figa-Talamanca, I., Cini, C., Varrichio, G.C. et al. (1996) Effects of prolonged automobile driving on male reproductive function: a study among taxi drivers. *American Journal of Industrial Medicine* 30, 750-758.
- Fowler D.G. (1969) The relationship between air temperature, scrotal surface area and testis temperature in rams. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 9, 258-261.
- Fukui, N. (1923) Action of body temperature on the testicle. *Japanese Med World* 3, 160-163.
- Gazvani, M.R., Wood, S.J., Thomson, A.J.M., Kingsland C.R., Lewis-Jones D.I. (2000) Assessment of testicular core temperature using microwave thermography. *Human Reproduction* 15, 1723-1726.
- Gebreegziabher, Y., Marcos, E., McKinon, W. & Rogers, G. (2004) Sperm characteristics of endurance trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 25, 247-251
- Hjollund N.H.I., Bonde, J.P.E., Jensen, K.T., Olsen, J. (2000) Diurnal scrotal skin temperature and semen quality. *International Journal of Andrology* 23, 309-318.
- Hjollund N.H.I., Stoorgard, L., Ernst, E., Bonde, J.P. & Olsen, J. (2002a) Impact of diurnal scrotal temperature on semen quality. *Reproductive Toxicology* 16, 215-221.
- Hjollund, N.H.I., Stoorgard, L., Ernst, E., Bonde, J.P. & Olsen, J. (2002b) The relation between daily activities and scrotal temperature. *Reproductive Toxicology* 16, 209-214.
- Hundeiker, M. (1961) Vergleichende Untersuchungen über die Gefäßversorgung männlicher Keimdrüsen. Inaugural Dissertation, University of Freiburg im Breisgau.
- Jockenhövel, F., Gräwe, A., & Nieschlag, E. (1990) A portable digital data recorder for long-term monitoring of scrotal temperatures. *Fertility and Sterility* 54, 694-700.

- Jung, A. (2001) Genital heat stress as a threat to male fertility. *Andrologia* 33, 316-317.
- Jung, A., Eberl, M., Schill, W.-B. (2001) Improvement of semen quality by nocturnal scrotal cooling and moderate behavioural change to reduce genital heat stress in men with oligoasthenoteratozoospermia. *Reproduction* 121, 595-603.
- Jung, A., Schuppe, H.-C., Schill, W.-B. (2003a) Die Samenqualität des Mannes nach testikulärer Überwärmung. *Reproduktionsmedizin* 19, 1-8.
- Jung, A., Hofstötter, JP., Schuppe, H. - C. & Schill, W. - B. (2003b) Relationship between sleeping posture and fluctuations in nocturnal scrotal temperature. *Reproductive toxicology* 17, 433-438.
- Jung, A., Leonhardt, F., Schill, W. - B. & Schuppe, H. - C. (2004) Influence of the type of undertrousers and physical activity on scrotal temperature. *Human Reproduction* 20, 1022-1027.
- Jung, A. (2004) Genitale Wärmebelastung und Samenqualität, Habilitationsschrift. Justus-Liebig Universität Gießen.
- Jung, A. & Schuppe, H.-C. (2007) Influence of genital heat stress on semen quality in humans. *Andrologia* 39, 203-215.
- Kandeel, F.R., Swerdloff, R.S. (1988) Role of temperature in regulation of spermatogenesis and the use of heating as a method for contraception. *Fertility and Sterility* 49, 1-23.
- Koskelo, R., Zaproudina N. & Vuorikari K. (2005) High scrotal temperatures and chairs in the pathophysiology of poor semen quality. *Pathophysiology* 11, 221-224.
- Kurz, K. R. & Goldstein, M. (1986) Scrotal temperature reflects intratesticular temperature and is lowered by shaving. *The Journal of Urology* 135, 290-292.
- Laven, J.S.E., Haverkorn, M.J., Bots, R.S.G.M. (1988) Influence of occupation and living habits on semen quality in men. *European Journal of Obstetric and Gynecologic Reproduction Biology* 29, 137-141.
- Lee, L.M., Johnson, M.W., McLoughlin M.G. (1984) Microdissection and radiographic studies of the arterial vasculature of the human testes. *Japanese Pediatric Surgery* 19, 297-301.
- Leibovitch, I. & Moram, Y. (2005) The vicious cycling: bicycling related urogenital disorders. *European Urology* 47, 277-287.
- Lerchl, A., Keck, C., Spiteri-Grech, J. & Nieschlag, E. (1993) Diurnal variations in scrotal temperature of normal men and patients with varicocele before and after treatment. *International Journal of Andrology* 16, 195- 200.
- Lucía, A., Chicharro, J.L., Pérez, M., Serratos, L., Bandrés, F. & Legido, J.C. (1996) Reproductive function in male endurance athletes: sperm analysis and hormonal profile. *Journal of Applied Physiology* 81, 2627-2636.

- Lynch, R., Lewis-Jones, D.I., Machin, D.G., Desmond, A.D. (1986) Improved semen characteristics in infertile men after a conservative treatment regimen based on the avoidance of testicular hyperthermia. *Fertility and Sterility* 46, 476-479.
- Mieusset, R., Grandjean, H., Mansat, A., Pontonnier F. (1985) Inhibiting effect of artificial cryptorchidism on spermatogenesis. *Fertility and Sterility* 43, 589-574.
- Mieusset, R., Quintana-Casares, P., Sanchez-Partida, L.G. et al. (1992) Effects of heating the testes and epididymides of rams by scrotal insulation on fertility and embryonic mortality in ewes inseminated with frozen semen. *Journal of Reproduction and Fertility* 94, 337-343.
- Mieusset, R. and Bujan, L. (1994) The potential of mild testicular heating as a safe, effective and reversible contraceptive method for men. *International Journal of Andrology* 17, 186-191.
- Mieusset, R. & Bujan, L. (1995) Testicular heating and its possible contributions to male infertility: a review. *International Journal of Andrology* 18, 69-84.
- Moore, C.R. & Quick, W.M.J. (1924) The scrotum as a temperature regulator for the testes. *American Journal of Physiology* 68, 70-79.
- Procopé, B. J. (1965) Effect of repeated increase of body temperature on human sperm cells. *International Journal of Fertility* 10, 3-9.
- Robinson, D., Rock, J., Menkin, M.F. (1968) Control of human spermatogenesis by induced changes of intrascrotal temperature. *Journal of the American Medical Association* 204, 80-87.
- Rock, J., Robinson, D. (1965) Effect of induced intrascrotal hyperthermia on testicular function in man. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 93, 793-800.
- Sanger, W.G., Friman, P.C. (1990) Fit of underwear and male spermatogenesis: a pilot investigation. *Reproductive Toxicology* 4, 229-232.
- Sas, M. & Szölössi, J. (1979) Impaired spermiogenesis as a common finding among professional drivers. *Arch Androl* 3, 57-60.
- Setchell, B.P. and Mieusset, R. (1996) Testis thermoregulation. In Hamamah, S. and Mieusset, R. (eds.). *Male Gametes Production and quality*. INSERM, Paris, pp. 65-68.
- Shafik, A. (1992) Testicular suspension as a method of male contraception: technique and results. *Adv. Contracept. Deliv. Syst.* VII, 269-279.
- Sheynkin, Y., Jung, M., Yoo, P., Schulsinger, D. & Komaroff, E. (2005) Increase in scrotal temperature in laptop computer users. *Human Reproduction* 20, 52-55.
- Sommer F. (2004) Effects of bicycling on the male genital tract. *Andrologia* 36, 150.
- Sommer F., Popal, H., Raible, A., Bondarenko, B., Caspers, H. P., Schoenenberger, A. & Engelmann, U. (2002) Does cycling affect sperm quality? *The Journal of Urology* 167, S.316.

- Song, G. & Seo, J. T. (2006) Changes in the scrotal temperature of subjects in a sedentary posture over a heated floor. *International Journal of Andrology* 29, 446-457.
- Song, G., Kim, W., Seo, J.T. (2007) Effect of air conditioning and chair cushion on scrotal temperature. *International Journal of Andrology* 30, 1-9.
- Sørensen, H.G., Lambrechtsen, J., Einer-Jensen, N. (1991) Efficiency of the countercurrent transfer of heat and 133 Xenon between the pampiniform plexus and testicular artery of the bull unter in-vitro conditions. *International Journal of Andrology* 14, 232-240.
- Thonneau, P., Ducot, B., Bujan, L., Mieusset, R., Spira, A. (1997) Effect of male occupational heat exposure on time to pregnancy. *International Journal of Andrology* 20, 274-278.
- Thonneau, P., Bujan, L., Multigner, L. & Mieusset, R. (1998) Occupational heat exposure and male fertility : a review. *Human Reproduction* 13, 2122-2125.
- Tiemessen, C.H.J., Evers J.L.H., Bots, R.S.G.M. (1996) Tight fitting underwear and sperm quality. *Lancet* 347, 1844-1845.
- Vogeli, M. (1956) Contraception through temporary male sterilization. Unpublished manuscript, Smith College Library, Northampton, Massachusetts. In Jung (2004) Habilitationsschrift: *Genitale Wärmebelastung und Samenqualität*.
- Waites, G.M.H. (1991) Thermoregulation of the scrotum and testis: studies in animals and significance for man. In Zorngiotti (ed.), *Temperature and Environmental Effects on the Testis*. Plenum Press, New York, pp. 1-8.
- Waites, G.M.H. and Voglmayr, J.K. (1963) The functional activity and control of the apocrine sweat glands of the scrotum of the ram. *Australian Journal of Agricultural Research* 14, 839-851
- Wang, C., McDonald, V., Leung, A., Superlano, L., Berman, N., Hull, L., Swerdloff, R.S. (1997) Effect of increased scrotal temperature on sperm production in normal men. *Fertility and Sterility* 68, 334-339.
- Watanabe, A., (1959) The effect of heat on the human spermatogenesis. *Kyushu Journal of Medical Science* 10, 101-117.
- World Health Organization (2000) WHO Manual for the Standardized Investigation, Diagnosis and Management of the Infertile Male. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Yamaguchi, M., Sakatoku, J., Takihara, H. (1989) The application of intrascrotal deep body temperature measurement for the non-invasive diagnosis of varicoceles. *Fertility and Sterility* 52, 295-301.
- Zorngiotti, A.W., Reiss, H., Toth, A., Sealfon, A.I. (1982) Effects of clothing on scrotal temperature in normal men and patients with poor semen. *Urology* 19, 176-178.
- Zorngiotti, A.W. and McLeod, J. (1973) Studies in temperature, human semen quality and varicocele. *Fertility and Sterility* 24, 854-863.

8. Anhang

Danksagung

Diese Arbeit entstand am Zentrum für Dermatologie und Andrologie der Justus-Liebig Universität Gießen.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Privatdozent Dr. med. A. Jung vom Zentrum für Dermatologie und Andrologie der Justus Liebig Universität Gießen für die Überlassung des Themas, die thematische und praktische Einarbeitung, die Bereitstellung des Studienplans, der Räumlichkeiten sowie der Arbeitsmaterialien und Geräte. Dankbar bin ich ihm als Doktorvater auch für seine stets positive und freundliche Unterstützung während der gesamten Studie, die zum Fortschritt der Arbeit viel beigetragen hat.

Herrn Professor Dr. med. H.-C. Schuppe danke ich für die praktische Einarbeitung in der andrologischen Ambulanz.

Ganz besonders danke ich Herrn Dr. H.-J. Lindner vom Ford Forschungszentrum Aachen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel für die Aufwandsentschädigung der Probanden. Ohne ihn wäre die Durchführung der Studie so nicht möglich gewesen.