

Aus dem Interdisziplinären Schlafmedizinischen Zentrum der
Medizinischen Fakultät Charité –Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Vergleich der Auswirkung zweier Bettsysteme mit hoher bzw. niedriger Wärmekapazität auf
die Schlafqualität

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Lisa Aßmus

Datum der Promotion: 04.03.2022

Vorwort

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden bereits im Sleep Journal veröffentlicht (Herberger S, Kräuchi K, Glos M, Lederer K, Assmus L, Hein J, Penzel T, Fietze I. Effects of sleep on a high-heat capacity mattress on sleep stages, EEG power spectra, cardiac interbeat intervals and body temperatures in healthy middle-aged men. Sleep. 2020;43(5)) und als Poster-Vortrag zur 24. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin e.V. vorgestellt (Assmus L, Hein J, Fabig V, Kräuchi K, Fietze I, Penzel T. Auswirkung der Beschaffenheit der Schlafstätte auf den Schlaf. 02.12.2016 in Dresden).

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	II
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Nomenklatur	VII
Abkürzungen und Einheiten	VII
Abstrakt	VIII
Abstract	IX
1 Einleitung	1
1.1 Schlaf: Stellung in der Gesellschaft.....	1
1.1.1 Schlaf als populärwissenschaftliches Thema	1
1.1.2 Schlafstörungen und Public Health	2
1.2 Physiologie des Schlafes.....	3
1.2.1 Schlafarchitektur.....	3
1.2.2 Schlaf und Thermoregulation	4
1.3 Schlafhygiene.....	6
1.3.1 Schlafhygiene allgemein.....	6
1.3.2 Schlafstätte im Besonderen	7
1.3.3 Bettsystem mit unterschiedlicher Wärmekapazität	8
1.4 Fragestellung	9
2 Methoden	10
2.1 Studienpopulation	10
2.2 Studiendesign.....	10
2.3 Matratzen	12
2.4 Messmethoden	12
2.4.1 Kardiorespiratorische Polysomnografie	12
2.4.2 Temperaturmessung.....	14
2.4.3 Fragebögen	16
2.5 Auswertung	17
2.5.1 Datenverarbeitung	17
2.5.2 Statistische Auswertung	18
3 Ergebnisse	19

3.1	Probandenkollektiv	19
3.2	Temperaturverlauf der Matratzenoberfläche und der Körperkerntemperatur	20
3.3	Polysomnografisch gemessene Schlafparameter	22
3.3.1	SWSL	22
3.3.2	TST	23
3.3.3	Schlafeffizienz	24
3.3.4	Schlafstadien-Verteilung	25
3.4	Fragebögen.....	30
3.4.1	Karolinska-Schläfrigkeitsskala.....	30
3.4.2	SF-A	31
3.4.3	Charité Fragebogen.....	32
4	Diskussion.....	36
4.1	Diskussion der Methoden	36
4.2	Diskussion der Studien- und Rahmenbedingungen	37
4.3	Diskussion der Ergebnisse	40
4.3.1	Temperaturverlauf der Matratzenoberfläche und der Körperkerntemperatur	40
4.3.2	Objektive Schlafqualität: Tiefschlafphasenlatenz und Schlafeffizienz	40
4.3.3	Schlafstadien-Verteilung	43
4.3.4	Subjektiver Schlafeindruck.....	45
4.4	Fazit	48
5	Anhang.....	50
5.1	Literaturverzeichnis	50
5.2	Fragebogen zum Schlafkomfort.....	56
5.3	Eidesstattliche Versicherung.....	60
5.4	Anteilerklärung an erfolgten Publikationen	61
5.5	Lebenslauf.....	62
5.6	Bisherige Publikationen.....	63
5.7	Danksagung	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hypnogramm eines gesunden und jungen Probanden	4
Abbildung 2: Circadianer Verlauf der KKT und ausgewählter Hormone.....	5
Abbildung 3: Kardiorespiratorische Polysomnografie: Sensorenplatzierung am Körper mit entsprechend abgeleiteten Daten	13
Abbildung 4: Modellhafte Abbildung eines iButtons in 2 Ansichten	15
Abbildung 5: Platzierung der iButtons auf den Matratzen und am Probanden.....	15
Abbildung 6: VitalSense® Körperkerntemperaturkapsel mit Abmessungen.....	16
Abbildung 7: Equivital™ EQ02 LifeMonitor: Sensor Belt und Sensor Electronics Module	16
Abbildung 8: Vergleich Temperaturverlauf der Matratzenoberflächen zwischen MH und MN.	20
Abbildung 9: Vergleich Temperaturverlauf der KKT zwischen MH und MN.	21
Abbildung 10: Boxplot zum Vergleich SWSL zwischen MH und MN.....	23
Abbildung 11: Boxplot zum Vergleich der TST zwischen MH und MN.	24
Abbildung 12: Boxplot zum Vergleich der Schlafeffizienz zwischen MH und MN.	25
Abbildung 13: Schlafstadien-Verteilung für W zwischen MH und MN.....	27
Abbildung 14: Mittlere Differenz (Δ) von W zwischen MH und MN.....	27
Abbildung 15: Schlafstadien-Verteilung für N3 zwischen MH und MN.....	28
Abbildung 16: Mittlere Differenz (Δ) von N3 zwischen MH und MN.....	29
Abbildung 17: Schlafstadien-Verteilung für REM zwischen MH und MN.....	30
Abbildung 18: Mittlere Differenz (Δ) von REM zwischen MH und MN.	30
Abbildung 19: Charité Fragebogen zum Schlafkomfort: Effekt der Matratzentemperatur auf das Empfinden.....	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anthropometrische Daten.....	19
Tabelle 2: SF-B Faktorenwerte.....	19
Tabelle 3: SWSL auf MH und MN	22
Tabelle 4: TST auf MH und MN	23
Tabelle 5: Schlafeffizienz auf MH und MN	24
Tabelle 6: Schlafstadien-Verteilung	26
Tabelle 7: KSS morgens nach der Testnacht.....	31
Tabelle 8: KSS Vergleich vor und nach der jeweiligen Testnacht.....	31
Tabelle 9: SF-A Schlafqualität	32
Tabelle 10: SF-A Faktorenwerte	32
Tabelle 11: Vergleich der Selbstbeurteilung des Schlafkomforts mittels Charité Fragebogen.	33

Nomenklatur

Abkürzungen und Einheiten

%	Prozent
°C	Grad Celsius
AASM	American Academy of Sleep Medicine
ASR	Advanced Sleep Research GmbH
BMI	Body-Mass-Index (Kilogramm/Quadratmeter)
cm	Zentimeter
EEG	Elektroenzephalogramm
g/m ²	Gramm pro Quadratmeter
h	Stunde
Hz	Hertz
kg	Kilogramm
kg/m ³	Kilogramm pro Kubikmeter
kJ/°C	Kilojoule pro Grad Celsius
KKT	Körperkerntemperatur
KSS	Karolinska-Schlafstageskala
m ²	Quadratmeter
Max	Maximum
MH	Matratze mit hoher Wärmekapazität, Testmatratze
Min	Minimum
mm	Millimeter
MN	Matratze mit niedriger Wärmekapazität, Kontrollmatratze
MW	Mittelwert
N1	Schlafphase 1
N2	Schlafphase 2
N3	Schlafphase 3, Tiefschlaf
NREM	non rapid-eye-movement, N1-N3
PSG	Polysomnografie
REM	rapid eye movement
SD	Standardabweichung
SE	Schlafeffizienz
SEM	standard error of the mean, Standardfehler des Mittelwertes
SF-A	Schlaffragebogen-A
SF-B	Schlaffragebogen-B
SWS	Slow Wave Sleep, Tiefschlaf
SWSL	Tiefschlafphasenlatenz
TST	total sleep time, gesamte Schlafdauer
W	Wachzustand
Δ	Delta (Differenz)

Abstrakt

Einleitung: Etwa 20% der Deutschen leiden unter Schlafstörungen, welche schwere gesundheitliche Folgen haben können. Um bewusst auf seinen Schlaf zu achten, empfiehlt sich für die Schlafhygiene eine optimale Schlafstätte. Dies betrifft unter anderem die Eigenschaften einer Matratze. Diese Studie vergleicht eine Matratze mit hoher Wärmekapazität der Oberfläche (MH) mit einem herkömmlichen Bettssystem mit niedriger Wärmekapazität (MN). Anhand dieser Bettssysteme soll untersucht werden, inwiefern die Beschaffenheit der Schlafstätte die Schlafqualität beeinflusst.

Methodik: Im Rahmen einer doppelt verblindeten, randomisierten Cross-Over Studie schlossen 36 schlafgesunde Probanden jeweils einmal und im Abstand einer Woche auf den beiden Matratzen (MH und MN). Die subjektive Schlafqualität wurde anhand der Karolinska-Schlaftrigkeitsskala (KSS), des Schlaffragebogens-A (SF-A), sowie des Charité Fragebogens zum Schlafkomfort erfasst. Die objektive Schlafqualität wurde mittels kardiorespiratorischer Polysomnografie erhoben. Zusätzlich wurden die Körperkerntemperatur (KKT, VitalSense® Körperkerntemperaturkapsel, Equivital EQ02 LifeMonitor), die Matratzentemperatur und die Hauttemperatur (DS 1922L, iButtons®; Maxim) kontinuierlich über den Verlauf der Nacht gemessen. Dabei wurden besonders die Schlaflatenz zu Schlafstadium N3, die gesamte Schlafzeit, die Schlafeffizienz, sowie die Schlafstadien-Verteilung betrachtet.

Ergebnisse: Auf der MH verlängerte sich das Schlafstadium N3 (in Minuten) um 11,4 % im Vergleich zur MN ($p=0,01$). Zudem war eine Abnahme der Schlaflatenz zu N3 ($43,1 \pm 30,8$ vs. $51,8 \pm 42$ Minuten), eine Zunahme der gesamten Schlafzeit ($396,6 \pm 43,46$ vs. $388,4 \pm 43,37$ Minuten) und der Schlafeffizienz (83 ± 9 vs. 81 ± 9 in %) im Vergleich zwischen MH und MN festzustellen. Subjektiv ergaben sich kaum Unterschiede in der Schlafqualität, beispielweise ermittelte der SF-A für beide Nächte ein sehr ähnliches Ergebnis ($2,8 \pm 0,7$ vs. $2,7 \pm 0,6$).

Schlussfolgerung: Die Studie zeigt, dass die von der MH verursachte Senkung der KKT mit einem längeren Schlafstadium N3 assoziiert ist. Zudem scheint ein Zusammenhang zwischen einer stärkeren Senkung der KKT mit einer Verkürzung der Tiefschlafphasenlatenz und Steigerung der Schlafeffizienz zu bestehen. Subjektiv wurden diese Veränderungen des Schlafes eher nicht von den Probanden wahrgenommen. Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass eine milde Wärmeintervention durch die Schlafstätte den Schlaf positiv beeinflusst. Dies kann zum Beispiel in der Präventivmedizin von besonderem Interesse sein, da Schlafstörungen weit verbreitet sind und die Nachfrage an kostengünstigen und nebenwirkungsfreien Interventionen immer weiter steigt.

Abstract

Objective: About 20 % of the German population suffers from sleep disorder, which can lead to serious health consequences. In the context of sleep hygiene consultation an optimal sleep area is frequently suggested. This also includes the constitution of the mattress. This research draws a comparison between a conventional bed system with low heat capacity (MN) and a gel coated bed system with a higher heat capacity (MH). On the basis of these, the study examines to what extent the quality of the bed systems effects sleep quality.

Methods: By applying a double blind and randomized cross-over study design, 36 healthy subjects are investigated on two nights in a sleep lab. The subjects slept one night on each of the two mattresses (MH and MN) at the interval of one week. The data on the subjective sleep quality was gathered by the Karolinska Sleepiness Scale (KSS), the Sleep Questionnaire-A (SF-A), as well as a Charité Questionnaire on sleep comfort. Data on the objective sleep quality was gathered by polysomnographic analysis. Additionally, body core temperature (CBT, VitalSense® Core Temperature Capsule, Equivital EQ02 LifeMonitor), mattress' temperature and skin temperature (DS 1922L, iButtons®; Maxim) were continuously measured during the night. This study focused on the N3 sleep latency, total sleep time, sleep efficiency, as well as the distribution of sleep stages.

Results: Sleep on MH exhibited a selective increase in SWS (in minutes) in comparison to MN (11,4%, $p = 0,01$). In addition, MH induced a greater reduction in SWSL ($43,1 \pm 30,8$ vs. $51,8 \pm 42$ in minutes) and caused an increase of TST ($396,6 \pm 43,46$ vs. $388,4 \pm 43,37$ in minutes) and sleep efficiency (83 ± 9 vs. 81 ± 9 in %). The subjective data showed almost no differences in sleep quality, exemplarily shown by the SF-A ($2,8 \pm 0,7$ vs. $2,7 \pm 0,6$).

Conclusion: This study shows that the MH induced reduction of core body temperature is associated to an increase in SWS. In addition, the greater reduction of CBT seems to be linked to a decrease of SWSL and improvement of sleep efficiency. However regarding subjective parameters, there is almost no change in sleep quality. Still the objective results indicate that a mild thermal intervention through the sleep area might influence sleep positively. This could be of particular interest in the field of preventive medicine. Sleep disorders are widespread and the demand for affordable interventions without side-effects is increasing.

1 Einleitung

1.1 Schlaf: Stellung in der Gesellschaft

1.1.1 Schlaf als populärwissenschaftliches Thema

Schlaf und Schlaflosigkeit sind schon lange Gegenstand wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Diskurse. Vorangetrieben durch die Industrialisierung und die Elektrifizierung im ausgehenden 19. Jahrhundert, begannen sich vormals klare Zeitstrukturen aufzulösen, der Lebens- und damit der Schlafrhythmus der Menschen veränderte sich. Über ein Jahrhundert später ist es (in den Industrienationen) eine Selbstverständlichkeit, seinen Tages- und Nachtrhythmus unabhängig vom Sonnenlicht zu gestalten. Der Schlaf - so scheint es - ist zum großen Teil von Tag - und Nachtzeiten entkoppelt. In Zeiten der Globalisierung verschwimmen die Grenzen zusätzlich, da auch Geschäfte über die eigenen Zeitzonen hinaus abgewickelt werden.

Dabei wurden bereits um die Jahrhundertwende um 1900 Schlafstörungen als Problem der gesamten Gesellschaft wahrgenommen, beschreibt die Historikerin Hanna Ahlheim in ihrer Arbeit „Traum vom Schlaf im 20. Jahrhundert“ (1). Sie erläutert, dass sich die Themenschwerpunkte der Schlafwissenschaft und damit auch das Verständnis des Schlafes in der Öffentlichkeit immer wieder in Abhängigkeit von gesellschaftlichen Entwicklungen veränderten. Beständig blieb aber das Wissen um seine lebenswichtige Funktion und seine Bedeutung als Ressource für die individuelle Leistungsfähigkeit.

Parallel zu der wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Schlaf, werden immer wieder neue Produkte entwickelt, welche die Schlafqualität steigern sollten. Es erschienen damals wie heute viele Ratgeber, Broschüren und Zeitschriften zum Umgang mit dem „richtigen“ Schlaf. Bereits im frühen 20. Jahrhundert wurden Bettsysteme entwickelt und beworben, welche den Schlaf fördern sollten. Dabei sei beispielhaft das damals prämierte „Steiner’s Reformbett“ um 1900 in Deutschland zu nennen (1).

Im Zuge der neuen technologischen Möglichkeiten, entwickelten sich in den letzten Jahren darüber hinaus Verbrauchertechnologien wie Schlaftracker oder mobile „Apps“ (2). Auch diese Geräte oder Programme werben damit, den Schlaf des Nutzers zu verbessern. Dabei bieten sie zum Beispiel die Möglichkeit zur sozialen Vernetzung und sind in ein unterhaltsames Format integriert. Eine der fünf bestverkauften Apps 2014 auf iTunes war ein Wecker, welcher die Schlafzyklen seiner Nutzer analysiert. Auch die Techniker Krankenkasse reagiert auf diese Entwicklung und bietet für ihre Mitglieder ein digitales Schlaftraining als „Schlafexperte der besonderen Art“ an (3).

Die Grenzen zwischen Lifestyle-Produkt und wirksamer Schlafintervention weichen in der Entwicklung und Vermarktung neuer Schlafprodukte teilweise auf. „Bald werde Schlafen [...] essentieller Bestandteil eines trendbewussten Lebensstils mit allen passenden Lifestyle-Produkten und Services“ (4), beschreibt es ein Artikel in der Süddeutschen Zeitung 2016.

Dies führt dazu, dass viele Bettsystem-Hersteller investieren, um die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zu nutzen und mit diesen werben zu können. Diese Studie untersucht, ob

die Eigenschaften einer Matratze mit innovativer Gelbeschichtung tatsächlich den Schlaf gesunder Schläfer beeinflussen können.

1.1.2 Schlafstörungen und Public Health

Die Krankheitsbilder der Schlafstörungen sind vielseitig. Klassifiziert werden sie nach der ICSD-3 (International Classification of Sleep Disorders) in 7 Gruppen. Gemeinsames Leitsymptom des nicht erholsamen Schlafes bzw. der Schlafstörungen sind Insomnien (Ein- und Durchschlafstörungen) und Hypersomnien (Tagesschläfrigkeit) (5).

Die deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) postuliert, dass „nicht erholsamer Schlaf bzw. Schlafstörungen [...] mit Einschränkungen der Gesundheit, der geistigen und körperlichen Leistungsfähigkeit sowie der Teilhabe am beruflichen und sozialen Leben [verbunden sind].“ (5). Eine wachsende Zahl von Studien belegt die gesundheitsschädigende Auswirkung von Schlafmangel bzw. Schlafstörungen. Zum Beispiel zeigen epidemiologische und experimentelle Studien aus den letzten Jahren, dass der komplexe Ablauf von Stoffwechselfvorgängen eng mit der Schlafdauer und Schlafqualität verknüpft ist (6, 7). Unter anderem zeigt sich, dass experimentell herbeigeführter Schlafmangel zu einer gesenkten Glukosetoleranz, gesteigertem Blutdruck und erhöhten Entzündungswerten bei gesunden Erwachsenen führt (8). Chronischer Schlafmangel bzw. eine langfristig kurze Schlafdauer ist häufig mit Übergewicht, arterieller Hypertonie und kardiovaskulären Erkrankungen assoziiert (9, 10). Eine Metaanalyse von Cappuccio FP et al. (11) fasst die Daten von 10 Studien mit insgesamt 107756 Teilnehmern zusammen und ermittelte, dass eine langfristig kurze Schlafdauer (<5-6 Stunden/Nacht) das Risiko an Diabetes Typ 2 zu erkranken um 28 % steigert.

Zudem wird dem Schlaf eine wichtige Funktion bei der Modulation und Regulation von kognitiven und emotionalen Prozessen zugeschrieben (8, 12, 13). Durch Schlafrestriktion kann es deshalb zu erheblichen Defiziten kommen, wie zum Beispiel eine reduzierte Wachsamkeit und ein eingeschränktes Arbeitsgedächtnis (8).

Vor diesem Hintergrund ist es alarmierend, dass Schlafstörungen bzw. Schlafmangel ein weit verbreitetes Problem sind. In Deutschland gibt nach einer aktuellen Umfrage des Meinungsinstituts Forsa 2017 (14) jeder Dritte seinen Schlaf als mittelmäßig bis schlecht an. Nur 60% geben einen erholsamen Schlaf an, 24% können nicht Durchschlafen. Dabei ist die Thematik als global einzuschätzen. Das American Institute of Medicine zum Beispiel schätzt die Zahl der chronisch schlafgestörten Amerikaner auf etwa 50 bis 70 Millionen (15). Analysen der 2010 National Health Interview Survey ergaben, dass etwa 30% aller angestellten US-Amerikaner (rund 40,6 Millionen) ihre reguläre Schlafdauer auf unter 6 Stunden pro Nacht einschätzten (16).

Wenn chronischer Schlafmangel zu reduzierter Wachsamkeit und verlangsamter kognitiver Verarbeitung führt, dann bietet dies den Nährboden für Unfälle (17). Die Gesundheitsberichterstattung des Bundes (18) fasst zusammen, dass Müdigkeit am Steuer die häufigsten Unfallursachen im Verkehrswesen darstellen. Fahrzeugführer unter Alkohol- oder anderem Drogeneinfluss verursachen statistisch seltener Verkehrsunfälle mit Personenschäden als übermüdete Fahrer.

Der Preis für chronischen Schlafmangel ist hoch, nicht nur auf individueller Ebene. Ein Grund dafür ist, dass die etablierten Standardtherapien von Schlafstörungen entweder auf kostenintensiven Psychotherapien oder Medikamenten beruhen, welche ein breites

Nebenwirkungsspektrum besitzen. Für das Jahr 2002 schätzt das statistische Bundesamt die direkten Kosten aufgrund von Schlafstörungen auf rund 700 Millionen Euro (18). Zudem bergen die stark wirksamen Hypnotika ein hohes Abhängigkeitspotential (19). Die US-amerikanische Metaanalyse „The Price of Fatigue“ von 2010 gibt die wirtschaftlichen Kosten der obstruktiven Schlafapnoe sogar auf jährlich 65-165 Milliarden Dollar an (20).

Analysen und Umfragen der deutschen Krankenkassen TK und DAK nach zu urteilen (14, 21), werden Ausfälle und die damit verbundenen Kosten aufgrund von Schlafstörungen in den nächsten Jahren noch steigen. In einem Bericht der TK von 2017 heißt es, dass die Zahl der Fehltage von TK-Versicherten aufgrund von Schlafstörungen seit 2000 um 500 % angestiegen sind. Der Anteil der Erwerbstätigen, die mindestens einmal im Jahr aus diesem Grund arbeitsunfähig sind, stieg seit dem um 260 %. Die DAK erfasst eine Steigerung von rund 77% ihrer Fehltage aufgrund von Schlafstörungen. Die Fehltage stiegen von 2,2 Tagen (je 100 Versichertenjahre) im Jahr 2005 auf 3,9 Fehltage im Jahr 2015.

Gründe für diese Entwicklung sind vielschichtig. Unter anderem ist die steigende Anzahl an Beschäftigten in Schichtarbeit im Rahmen der 24-Stunden-Gesellschaft zu nennen. Zudem ist der moderne Lifestyle nicht mehr zwangsläufig an den Tag-Nacht-Rhythmus gekoppelt.

Schlafstörungen stellen also ein aktuelles Thema dar, welches sich nicht nur auf individueller Ebene, sondern gesamtgesellschaftlich negativ auswirkt. „Wenn sich Schlafstörungen einschalten, ist der dadurch entstehende Schlafverlust vermutlich das wichtigste public health Thema unserer Zeit.“ (Übersetzung durch den Autor, (22)).

1.2 Physiologie des Schlafes

1.2.1 Schlafarchitektur

Der Wechsel zwischen wachend und schlafend wiederholt sich innerhalb von etwa 24 Stunden, man spricht von einer zirkadianen Rhythmik. Diese wird von endogenen Oszillatoren autonom gesteuert. Hier sind vor allem molekulare Mechanismen im Nucleus suprachiasmaticus zu nennen. Der Nucleus ist Teil des Hypothalamus, welcher als oberstes Regulationszentrum für alle vegetativen und endokrinen Vorgänge betrachtet wird. Der Nucleus wird durch äußere und innere Reize beeinflusst, wobei helles Licht als stärkster äußerer Zeitgeber wirkt. Afferenzen aus der Retina geben Information über die Lichtverhältnisse, welche über den Nucleus an die Epiphyse weitergeleitet werden. Diese endokrine Drüse sezerniert das Hormon Melatonin, welches die Information über den Tages- bzw. Nachtzustand an körpereigene physiologische Abläufe vermittelt. Melatonin scheint die Verbindung von circadianen Abläufen, vor allem der Körperkerntemperatur und dem Schlaf-Wach-Rhythmus, zu stabilisieren und zu verstärken (23, 24).

Durch die elektrische Ableitung von Hirnströmen mittels Elektroenzephalografie lassen sich verschiedene Schlafstadien unterscheiden. Zunächst erfolgt die Unterscheidung von NREM- und REM (rapid eye movement) Schlaf. In die Kategorie des NREM Schlafes fallen die Schlafstadien S1-S4 (23). Im Folgenden wird nach dem Klassifikationssystem der American Academy of Sleep Medicine (AASM) (25) die Phasen S3 und S4 zum Tiefschlafstadium N3 zusammengefasst. Auf S1 und S2 wird als N1 und N2 Bezug genommen.

Bei vielen Menschen lassen sich Alpha-Wellen als typische Muster des entspannten Wachseins bei geschlossenen Augen ableiten. Verschwinden diese und das Bewusstsein trübt sich ein, spricht man vom Schlafstadium N1. Im Stadium N2 treten typische Muster wie Schlafspindeln und K-Komplexe auf. In der sich anschließenden Tiefschlafphase N3 leitet das EEG sehr langsame Delta-Wellen von 0,5-3,0 Hz ab. Man bezeichnet dieses Stadium deshalb auch als Slow Wave Sleep (SWS).

Das EEG im REM-Schlaf unterscheidet sich wenig von dem im Wachzustand, weshalb der REM-Schlaf auch als paradoxer Schlaf bezeichnet wird. Es treten Beta-Wellen (13-30 Hz), Gamma-Wellen (>30 Hz) und vereinzelte, kleinamplitudige Theta-Wellen (4-7 Hz) auf.

Hinzu kommen die namensgebenden sekundenlangen, schnellen Augenbewegungen. Die spinalen Motoneuronen sind tonisch gehemmt, welches zur vollständigen Atonie der quergestreiften Muskulatur führt.

Die Schlafstadien werden gewöhnlich in der gleichen Abfolge durchschritten, ein Schlafzyklus setzt sich dabei aus der Abfolge N1-N2-N3-REM zusammen.

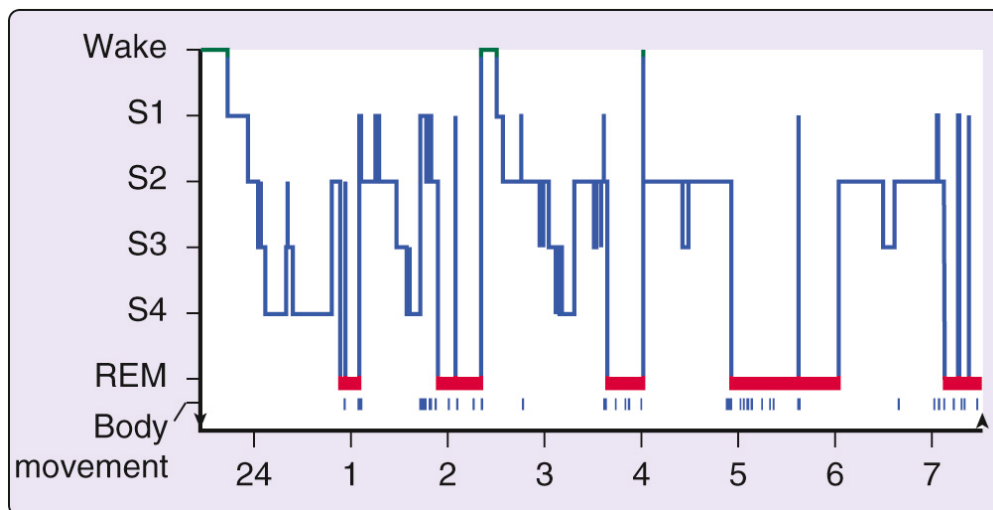


Abbildung 1: Hypnogramm eines gesunden und jungen Probanden (26)

In einer Nacht werden 4-5 Schlafzyklen durchlaufen, die etwa eine Dauer von 90 Minuten haben (26). Dabei verändert sich der Anteil der einzelnen Schlafstadien im Verlauf der Nacht. Das Maximum des Tiefschlafes besteht im ersten Schlafzyklus, die Dauer des REM-Schlafes dagegen nimmt im Verlauf der Nacht zu. Die Zusammensetzung des Schlafes im Verlauf der Nacht verändert sich mit dem Alter. Die Verteilung der Schlafstadien, bezogen auf die gesamte Nacht, stellt sich unter physiologischen Bedingungen folgendermaßen dar (siehe Abbildung 1):

W (für „Wach“) = <5%; N1 = 2-5%; N2 = 45-55%; N3 = 10-20%; REM = 20-25%

1.2.2 Schlaf und Thermoregulation

Der menschliche Schlaf-Wach-Rhythmus ist an den circadianen Verlauf der Körperkerntemperatur (KKT) gekoppelt.

Neuroanatomisch übermittelt der Nucleus suprachiasmaticus das circadiane Signal an die Ncll. Preoptici in der rostralen Kerngruppe des Hypothalamus (27). Auch die nächtliche Sekretion von Melatonin spielt eine wichtige Rolle in der endogenen Regulation der Körperkerntemperatur (28).

Grundsätzlich unterliegt eine Vielzahl endokriner Systeme einem circadianen Rhythmus, welcher zum Teil auch vom Schlafrhythmus abhängt beziehungsweise diesen beeinflusst. Beispielfhaft ist das Glukokortikosteroid Kortisol zu nennen (siehe Abbildung 2). Bedingt durch die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrindenachse liegt die höchste Plasmakonzentration von Kortisol am frühen Morgen, die niedrigste Konzentration zu Beginn des Schlafes.

Der Körper besteht aus 2 thermophysiologischen Kompartimenten. Der Wärme produzierende, homoiotherme (gleichwarme) Kern, besteht aus den Organen des Kopf- und Rumpfinnen. Das zweite Kompartiment ist die Wärme abgebende, poikilotherme (wechselwarme) Hülle, bestehend aus der Haut und den Extremitäten (29).

Der Wärmeaustausch zwischen Körper und Umwelt erfolgt über vier Mechanismen - durch Konduktion, Konvektion, Wärmestrahlung und Evaporation (30).

Dabei erfolgt der Wärmeaustausch durch Konduktion für einen Wärmeaustausch zwischen Hautoberfläche und einem Material, welches in direktem Kontakt zur Haut steht. Dies ist während des Schlafs unter anderem die Matratzenoberfläche. Durch Konvektion erfolgt der Austausch über ein leitendes Medium, welches selbst in Bewegung ist. Dabei ist für den Wärmetransport innerhalb des Körpers vor allem die Konvektion verantwortlich. Die Wärmestrahlung erfolgt ohne leitendes Medium durch Infrarotstrahlung. Übersteigt die Umgebungstemperatur die Temperatur der Körperperipherie, kann die Wärmeabgabe nur noch über Verdunstung durch Schweißbildung erfolgen.

Das circadiane Muster der KKT entsteht aus der Dynamik von Wärmeproduktion und Wärmeabgabe. Der Sollwert liegt durchschnittlich bei 37°C, wobei die KKT im 24 Stunden Rhythmus um etwa 1°C schwankt (31). Das Maximum liegt unter physiologischen Bedingungen kurz vor dem Zubettgehen, und sinkt über die Nacht auf ihren tiefsten Wert ab (siehe Abbildung 2).

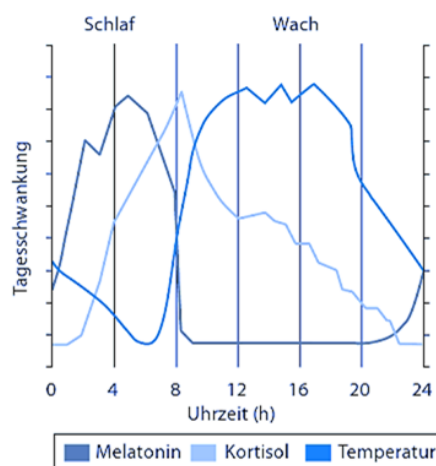


Abbildung 2: Circadianer Verlauf der KKT und ausgewählter Hormone (31)

Dabei erfolgt die Abgabe durch eine Wärmeverlagerung aus dem Kern in die Hülle durch Modulation der Durchblutung in den distalen Hautregionen (32). Durch Vasodilatation wird die Wärme aus dem Körperkern an die Peripherie abgegeben und erwärmt in diesem Verlauf die distalen Hautregionen. Vasokonstriktion führt zu einem gegensätzlichen Effekt.

Studien zeigen, dass der Zeitpunkt des Einschlafens mit der Abnahme der KKT gekoppelt ist (33, 34). In einer Studie von Campbell S. et al. (35) wählten 8 von 10 Probanden den Zeitpunkt ihres Zubettgehens unbewusst so, dass er zeitlich mit der größten Abnahme ihrer KKT korrelierte. Je näher der Zeitpunkt der größten Abnahme der KKT dem Zeitpunkt des Zubettgehens bzw. Schlafbeginns war, desto weniger Wachphasen wurden in der ersten Stunde nach Schlafbeginn gemessen. Die Studie schlussfolgert, dass die Initiierung des Schlafens zum Zeitpunkt der höchsten Abnahme der KKT stattfindet und in dieser Phase am effizientesten vollzogen werden kann.

Kräuchi (32) zeigt auf, dass der abendliche Anstieg der Wärmeabgabe über die distalen Hautregionen und die Reduktion der Wärmeproduktion die Schläfrigkeit und den zügigen Beginn des Einschlafens fördern. Warme distale Hauttemperaturen und eine sinkende KKT vor dem Schlafengehen entstehen physiologisch durch die endogene Thermoregulation des Körpers. Dieses Wissen über thermophysiologische Vorgänge und ihren Einfluss auf den Schlaf erschließt neue Möglichkeiten im Spektrum der Schlafinterventionen. Aus diesem Grund untersuchen einige Studien den Einfluss von modifizierten Temperaturen im Körperkern und/oder der Körperhülle auf den Schlaf.

Raymann et al. (36) wendeten einen Thermoanzug bei 24 Probanden an, um unter kontrollierten Bedingungen deren Hauttemperatur um $0,4^{\circ}\text{C}$ zu erhöhen. Diese geringe Wärmezugabe hatte keinen Einfluss auf die KKT. Die Ergebnisse zeigten eine Verringerung von nächtlichen Wachphasen und einen höheren Anteil an Tiefschlaf bei den Probanden.

Als eine andere Form der Intervention untersuchte die Cross-Over Studie von Liao et al. (37) die Auswirkungen von 20 minütigen Fußbädern (40°C) vor dem Zubettgehen. Die Bäder steigerten die Fußtemperaturen und die KKT, es wurden aber keine signifikanten Veränderungen in der Schlafqualität oder dem polysomnografisch gemessenem Schlaf erfasst.

1.3 Schlafhygiene

1.3.1 Schlafhygiene allgemein

Die zwei großen Säulen der Therapie von Insomnien sind die kognitive Verhaltenstherapie und die Pharmakotherapie (38). In den letzten Jahren wurde das therapeutische Spektrum um alternative Behandlungsverfahren wie zum Beispiel Akupunktur, Hypnotherapie, Yoga oder Tai Chi erweitert. Die Evidenz für diese Alternativen ist jedoch gering bzw. aufgrund mangelnder Datenlage noch nicht sicher einzuschätzen.

Zu der kognitiven Verhaltenstherapie zählt neben Methoden der Schlaf-Wach-Strukturierung (Stimuluskontrolle oder Schlafrestriktion) und Entspannungsmethoden besonders die Psychoedukation. Diese vermittelt den Patienten grundlegende Informationen über den Schlaf und die möglichen Ursachen für Schlafstörungen.

Dies umfasst auch den Bereich der Schlafhygiene. Der Begriff wurde 1977 zum ersten Mal verwendet und wurde als Empfehlung für Patienten mit Insomnie entwickelt (39). Hierbei

handelt es sich um Verhaltensweisen, welche einen erholsamen und gesunden Schlaf fördern. Es gibt eine Vielzahl an Regeln, zu ihnen zählen unter anderem (5, 18):

- Nach dem Mittagessen keine koffeinhaltigen Getränke trinken (Kaffee, Schwarztee, Cola)
- Alkohol weitgehend vermeiden und keinesfalls als Schlafmittel einsetzen
- Verzicht auf Appetitzügler
- Keine schweren Mahlzeiten am Abend
- Regelmäßige körperliche Aktivität
- Allmähliche Verringerung geistiger und körperlicher Anstrengungen vor dem Zubettgehen
- Ein persönliches Einschlafritual einführen
- Im Schlafzimmer für eine angenehme Atmosphäre sorgen
- In der Nacht nicht auf den Wecker oder die Armbanduhr schauen
- Schlaf im bequemen Bett
- Adäquater Schlafraum (Hitze, Kälte, Feuchtigkeit, Lärm, Lichteinfall, Vibrationen u.a.)

Diese Regeln gelten grundsätzlich für jeden Menschen. Sie können sowohl als Teil der Schlafprävention verstanden werden, kommen aber ebenso in der Behandlung von Patienten mit Schlafstörungen zum Einsatz (5). Allerdings ist der Stellenwert der Vermittlung dieser Maßnahmen differenziert zu betrachten. Mangels fehlender Evidenz wird sie von der American Academy of Sleep Medicine nicht als alleinige Therapieoption empfohlen (40). Es gibt keine klaren Daten dazu, ob inadäquate Schlafhygiene zu einer Insomnie beiträgt bzw. eine adäquate Schlafhygiene konkret zur Verbesserung bei Insomnie-Patienten beteiligt ist (39). Eine weitere Studie untersuchte in einer Onlineumfrage das Bewusstsein für Schlafhygiene und schlussfolgerte aus den Ergebnissen, dass eine gute Kenntnis der Schlafhygiene nicht notwendigerweise eine gute Schlafqualität mit sich bringt (41). Auch wenn die Evidenzlage noch sehr lückenhaft ist, kann die Schlafhygiene zumindest als wichtige Strategie für verbesserten Schlaf in der Allgemeinbevölkerung verstanden werden (42).

1.3.2 Schlafstätte im Besonderen

Um bewusst auf seinen Schlaf zu achten, empfiehlt sich für die Schlafhygiene ein adäquater Schlafraum und ein bequemes Bett. Welche Ansprüche konkret von einer Schlafstätte erfüllt werden sollten, bleibt bisher offen. Teil einer optimalen Umgebung ist mit Sicherheit die Beschaffenheit des Schlaflagers, für die meisten Menschen in Industrieländern in Form einer Matratze.

Diesem Themenfeld fehlt es zu großen Teilen an Evidenz aufgrund mangelhafter Datenlage. Allerdings entstanden über die Zeit einige Pilotstudien, welche in dieses Gebiet vorstoßen. Durch Studien konnte belegt werden, dass der Härtegrad einer Matratze und die Verteilung unterschiedlicher Druckzonen eine wichtige Rolle spielen (43, 44).

Für Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe wurden positive Ergebnisse mit speziellen Matratzen und Kopfkissen für eine Schlafposition in Bauchlage erzielt (45).

Eine koreanische Studie von 2001 beschreibt den Komfort einer Matratze mit ihrer Eigenschaft den Körperdruck zu verteilen und so die Wirbelsäule zu unterstützen (46). Darauf aufbauend untersuchten Lee et al. (47) die Auswirkungen einer komfortablen Matratze auf die Schlafqualität von 16 Probanden und ermittelten unter anderem eine gesteigerte Schlafeffizienz und mehr Tiefschlaf. Obwohl weder die komfortable, noch die zu vergleichende unkomfortable Matratze besondere thermische Eigenschaften auswies, beschrieben die Forscher eine erhöhte Hauttemperatur bei allen 6 Probanden, bei welchen zusätzlich die Hauttemperatur gemessen wurde. Dies gibt einen weiteren Hinweis darauf, dass Schlaf- und Thermoregulation eng verknüpft sind.

Diese Verknüpfung stellt die Möglichkeit dar, auch durch thermische Interventionen den Schlaf zu beeinflussen und so neue Erkenntnisse in der Schlafphysiologie zu gewinnen. Es gibt Studien, welche ihr Augenmerk auf das Mikroklima in und um die Betthöhle richten und die Luftfeuchtigkeit in Korrelation mit dem Schlaf setzten (48, 49). Die meisten Studien mit einem thermoregulatorischen Ansatz verändern die Raumtemperatur (50–52). Allerdings beeinflussen sehr warme bzw. sehr kalte Temperaturen den Schlafbeginn bzw. den physiologischen Schlafablauf negativ (50, 53). Ziel ist es daher eine milde Form der Temperaturintervention anzuwenden und somit eventuelle thermophysiologische Effekte auf den Körper, ohne schlafstörende Arousals oder Wachphasen, untersuchen zu können.

1.3.3 Bettsystem mit unterschiedlicher Wärmekapazität

Diese Studie untersucht, inwiefern der Einfluss thermischer Eigenschaften der Matratzenoberfläche eine milde Temperaturintervention auf den Schlaf darstellen kann.

Hierzu wurde der Schlaf auf zwei verschiedenen Matratzen verglichen, welche sich in Material und Dichte der obersten Schicht (Schichtdicke 2 cm) unterscheiden. Das Oberschichtmaterial der Testmatratze MH hat eine deutlich höhere spezifische Wärmekapazität und Dichte, als das der Kontrollmatratze MN. Genaue Angaben können aus dem Abschnitt 2.3 *Matratzen* entnommen werden.

Die spezifische Wärmekapazität ist eine Stoffkonstante und gibt an, wie viel Energie in Form von Wärme hinzugefügt werden muss, um 1 kg des jeweiligen Stoffes um 1 K zu erwärmen. Da im Rahmen dieser Arbeit nicht ausschließlich das Oberschichtmaterial betrachtet wird, sondern das gesamte Bettsystem, wird im weiteren Text mit dem Begriff Wärmekapazität gearbeitet. Die Wärmekapazität ist eine physikalische Größe und beschreibt das Verhältnis aus zugeführter Wärme und der dadurch entstehenden Temperaturänderung eines Körpers.

Es ist anzunehmen, dass eine Matratzenoberfläche mit höherer Wärmekapazität die physiologische Wärmeabgabe des Körpers während der Nacht verstärkt unterstützt. Mit diesem Ansatz untersuchten Kräuchi et al. (54) in einer vorangegangenen Pilotstudie die Effekte auf den Schlaf mit den gleichen Matratzentypen (MH und MN). Die Annahme war, dass die KKT aufgrund der verstärkten Wärmeabgabe sinkt und dass dies zu einem Anstieg des Tiefschlafs führt. In der randomisierten und einfach verblindeten Cross-Over Studie schliefen 15 junge und gesunde Männer in jeweils einer Nacht auf der MH und auf der MN, inklusive einer vorgeschalteten Adaptationsnacht. Wie vermutet reduzierte sich in der Nacht auf der MH die

KKT und die Erwärmung proximaler Hauttemperaturen. Die Probanden zeigten auf der MH, mit 16%, signifikant mehr SWS im Vergleich mit der MN und zusätzlich einen geringeren Anteil des REM-Schlafes in der zweiten Hälfte der Nacht. Auf der MH waren die subjektive Schlafqualität und die Schlafstabilität höher.

Die vorliegende Studie führt die Idee von Kräuchi et al. im größeren Umfang fort. Es soll ermittelt werden, inwiefern sich einige dieser Ergebnisse reproduzieren lassen.

1.4 Fragestellung

Diese Studie vergleicht eine Matratze, deren Oberfläche sich durch eine höhere Wärmekapazität (MH) im Vergleich zu einer herkömmlichen Komfortschaummatratze (MN) auszeichnet. Durch erleichterte Wärmeabgabe auf der MH ist eine zügige Minimierung der KKT anzunehmen. Dies führte in vorherigen Studien zu verbesserten Schlafparametern.

Die Hypothese dieser Studie lautet:

Der Schlaf von gesunden Schläfern verändert sich in Abhängigkeit der Beschaffenheit des Bettsystems.

Diese Annahme soll anhand folgender Fragestellungen untersucht werden:

1. Ist die Latenz bis zur ersten Tiefschlafphase (SWSL) kürzer auf einer Matratzenoberfläche mit hoher Wärmekapazität (MH) als auf einer Matratzenoberfläche mit niedriger Wärmekapazität (MN)?
2. Ist die Schlafeffizienz auf der MH höher als auf der MN?
3. Unterscheidet sich die Schlafstadien-Verteilung zwischen den beiden Matratzen?
4. Verändert sich der subjektive Schlafeindruck in Abhängigkeit davon, auf welcher Matratze geschlafen wurde?

2 Methoden

2.1 Studienpopulation

Die Studienteilnehmer wurden über öffentliche Aushänge und eine online geschaltete Anzeige im Intranet der Charité akquiriert.

Für diese Studie wurden insgesamt 36 männliche Probanden rekrutiert, von denen 33 die Studie erfolgreich abgeschlossen haben.

Einschlusskriterien waren ein Alter zwischen 40 und 55 Jahren und ein BMI zwischen 20-28 kg/m². Weiteres Einschlusskriterium war ein regelmäßiger Schlaf-Wach-Rhythmus der Probanden und ein objektivierbarer gesunder Schlaf ohne Schlafstörungen, welches durch ärztliche Anamnese und Fragebögen erfasst wurde. Die alltägliche Bettgezeit der Probanden lag zwischen 22:00 und 00:00, die Aufstehzeit lag vor 08:00 Uhr morgens. Im Rahmen der Einschlussuntersuchung wurden die Männer im Umgang mit einem portablen Atmungsmessgerät (NoxMedical Version 1.0, Resmed) geschult. Nach einer gemessenen Nacht in der Häuslichkeit, wurde das Gerät im Schlaflabor ausgelesen und der Apnoe-Hypopnoe-Index bestimmt. Ausgeschlossen wurden Männer mit einem Apnoe-Hypopnoe-Index >10/Stunde, um schlafbezogene Atmungsstörungen, wie zum Beispiel das obstruktive Schlafapnoe-Syndrom, auszuschließen (25).

Bei keinem der Probanden lag eine akut oder chronisch behandlungsbedürftige, instabile Erkrankung vor. Enuresis oder Nykturie galt ebenso als Ausschlusskriterium. Um sicherzustellen, dass die oral einzunehmende Temperaturkapsel problemlos wieder ausgeschieden werden konnte, galten ebenso vorangegangene zahlreiche abdominelle chirurgische Eingriffe oder akute und chronische gastrointestinale Erkrankungen als Ausschluss. Des Weiteren wurde ein Alkohol- oder anderer Drogenabusus ausgeschlossen. Medikamente, welche als häufige Nebenwirkung zu Schläfrigkeit führen, wurden im Besonderen erfragt und galten gegebenenfalls als Ausschlusskriterium. Probanden, welche zum Beispiel gelegentlich auf ein Antihistaminikum im Rahmen einer allergischen Rhinokonjunktivitis zurückgriffen, wurden unterrichtet dieses vor und während der Studie nicht einzunehmen.

Weiterhin wurden keine Männer in die Studie aufgenommen, welche an anderen klinischen Studien innerhalb der letzten 4 Wochen teilgenommen hatten.

Die eingeschlossenen Probanden wurden durch die Studienärztin über das Studiendesign und die Datenschutzbestimmungen aufgeklärt und unterschrieben eine Einverständniserklärung.

Die Fallzahlberechnung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie der Charité-Universitätsmedizin Berlin.

2.2 Studiendesign

Es handelt sich um eine prospektive randomisierte, doppelt verblindete Cross-Over Studie. Sie wurde als monozentrische Studie durch die Advanced Sleep Research GmbH (ASR) in Zusammenarbeit mit dem Interdisziplinären Schlafmedizinischen Zentrum der Charité durchgeführt.

Untersucht wurde der Einfluss des Bettsystems auf den Schlaf mittels Matratze mit Gel beschichteter Oberfläche (MH) im Vergleich zu einer Komfortschaummatratze (MN).

Um Überhangeffekte zwischen den beiden Bedingungen zu vermeiden, wurde eine Auswaschphase zwischen den beiden Behandlungsperioden bzw. Testnächten eingeplant. Diese Auswaschphase wurde für die vorliegende Studie mit einer Woche zwischen den beiden Testnächten veranschlagt.

Im Zuge des Cross-Over Designs wurde die Probanden zufällig in 2 Sequenzgruppen aufgeteilt, die zunächst auf MH und dann auf MN schliefen und vice versa. Dieses Design wurde gewählt, um eine Verzerrung der Messwerte durch eventuelle Adaptationsschwierigkeiten an die ungewohnten Schlaflaborbedingungen in der ersten Nacht zu minimieren. Von den 36 eingeschlossenen Probanden wurden 18 in die Sequenzgruppe 1 (MH - MN) und 18 Probanden in die Sequenzgruppe 0 (MN - MH) eingeschlossen.

Während der Studie schieden 3 Probanden aus, welche alle aus der Sequenzgruppe 1 stammten. Ein Proband erlitt eine Panikattacke während seiner ersten Testnacht, zwei weitere hielten sich nicht an das Protokoll. Aufgrund technischer Probleme wurden 4 Wiederholungsnächte durchgeführt, bei diesen Probanden verlängerte sich dementsprechend das Zeitintervall zwischen den Untersuchungsnächten.

Die Probanden sollten ihren Tagesablauf vor und nach den Untersuchungsnächten wie gewohnt durchlaufen. Für die Testnächte fanden sie sich am Abend 2 bis 3 Stunden vor der vereinbarten Bettgezeit im Schlaflabor ein. Sie wurden nochmals unterwiesen, verkabelt und füllten Fragebögen aus. Die Probanden schluckten eine spezielle Temperaturkapsel, die nach Aktivierung aus dem Körperinneren die KKT an ein Empfangsgerät sendete. Die Hauttemperatursensoren wurden an den Probanden befestigt, die Matratzen waren von einer studienunabhängigen Mitarbeiterin des Schlaflabors bereits mit Temperatursensoren präpariert.

Die Bettgezeit sollte bei beiden Nächten zwischen 22:00 und 00:00 liegen. Die gesamte Liegezeit im Bett wurde genau auf 8 Stunden festgelegt. Da der Temperaturverlauf der Matratzen, sowie der Probanden im Zusammenhang mit dem Schlafverhalten im Fokus dieser Studie steht, durften sich die Probanden erst mit Beginn der 8 Stunden und zeitgleich zum „Licht aus“ auf die Matratze legen. Auch vorheriges Sitzen auf der Matratze wurde nach den ersten Untersuchungen untersagt, da dies bereits die Haut-, sowie Matratzentemperatur beeinflusste. Aus diesem Grund durften die Probanden auch bei früherem Erwachen nicht das Bett verlassen und sollten nach dem morgendlichen Licht anschalten zügig vom Bett aufstehen.

Der Schlaf der Probanden wurde mittels respiratorischer Polysomnografie erfasst und über eine Kamera überwacht. Der Temperaturverlauf der Matratze und der verschiedener Hautregionen wurde mittels Temperatursensoren aufgezeichnet. Nach Ausschalten des Lichtes durften die Probanden nicht mehr lesen oder fernsehen, noch andere Lichtquellen verwenden. Sie durften nicht essen und trinken und sollten die gesamten 8 Stunden liegend auf der Matratze verbringen. Nach ersten Untersuchungsnächten wurden den Probanden nächtliche Toilettengänge untersagt, da dies Unterbrechungen der physiologischen Temperaturverläufe zur Folge hatte. Die Probanden wurden im Folgenden mit Urinflaschen für die Nacht versorgt, welches eine kontinuierliche Temperaturmessung ermöglichte.

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Raumtemperatur von konstanten 21°C angestrebt. Dazu wurde die Klimaanlage initial auf 21°C im Modus „Low“ eingestellt. Im Verlauf der Studie

wurden die Modi der Klimaanlage mehrmals angepasst. Die Raumtemperatur wurde mittels iButtons kontrolliert, welcher nach den Testnächten und regelmäßig zwischen den Studienächten ausgelesen wurde.

Die Testnächte wurden gezielt in einem fensterlosen Raum durchgeführt, um die Bedingungen konstant zu halten.

Nach 8 Stunden wurden die Probanden am Morgen geweckt. Es wurde die Verkabelung entfernt und die Probanden füllten Fragebögen zur Nacht aus.

Die Studie wurde der Ethikkommission der Charité vorgelegt und für unbedenklich gehalten (Nummer EA1/316/15). Die Durchführung erfolgte unter Wahrung des Berliner Datenschutzgesetzes. Die Satzung der Charité zur Sicherung guter wissenschaftlicher Arbeit wurde beachtet.

2.3 Matratzen

Diese Studie untersucht die Auswirkung von zwei unterschiedlichen Bettsystemen auf den Schlaf. Dabei wird der Vergleich zwischen einer Matratze mit hoher Wärmekapazität der Oberfläche MH zu einer Komfortschaummatratze mit niedriger Wärmekapazität (MN) gezogen.

Die MH zeichnet sich vor allem durch ihre oberste Gelschicht aus Polyurethan aus. Es handelt sich um das Modell Estasi Soft der Firma Technogel[®], Italien S.R.L. Die 2 cm dicke Gelschicht bedeckt den Großteil der Liegefläche. Darunter folgen weitere Schichten aus Schaum. Die MN hingegen besteht vollständig aus Schaum und steht für ein aktuell marktführendes Matratzenmodell. Der Unterschied im thermischen Verhalten der Matratzen beruht auf dem unterschiedlichen Material und Dichte der obersten Schicht. Die Gelschicht der MH weist eine Dichte von 1006 kg/m³ auf, die Schichtdichte der MN beträgt 80 kg/m³. Die Wärmekapazität der oberen Schicht beträgt etwa 47 kJ/°C für die MH und rund 5.4 kJ/°C für die MN. Die Matratzen waren mit einer Abmessung von 90×200×25 cm gleich groß. Beide Matratzen wurden mit demselben Überzug aus Baumwolle bezogen, damit die Matratzen haptisch und optisch nicht voneinander zu unterscheiden waren (aus bi-elastischem, nicht-gestepptem Gewebe mit einem Gewicht von 600 g/m²). Kissen, sowie Bettdecken waren in allen Testnächten identisch. Kissen, Bettlaken-, sowie Bettdecken sind standardisiert und entsprechen dem Standard des Schlaflabors.

2.4 Messmethoden

2.4.1 Kardiorespiratorische Polysomnografie

Die kardiorespiratorische Polysomnografie, kurz Polysomnografie (PSG), mit Überwachung durch schlafmedizinisch qualifiziertes Personal gilt als die Referenzmethode zur Untersuchung aller im Schlaf auftretenden normalen und pathologischen Ereignisse (Empfehlungsgrad A) (4). Dabei werden unter anderem objektive Schlafparameter wie die Schlafdauer, die

Schlafstadien oder die Schlafeffizienz erfasst bzw. berechnet. Diese fließen in dieser Studie in die Bewertung der Schlafqualität mit ein und werden im Folgenden kurz erläutert.

Die PSG umfasst entsprechend der Routine des Schlaflabors folgende Aufzeichnungen (siehe Abbildung 3):

- Elektroenzephalogramm (EEG): Ableitung nach dem 10-20-System
- Elektrokulogramm (EOG): Sensorenplatzierung jeweils rechts und links lateral der äußeren Augenwinkel, leicht versetzt zueinander
- Elektromyogramm (EMGtib, EMGment): jeweils 2 Elektroden submental und tibial
- Einfaches Elektrokardiogramm (EKG): 2 Elektroden am Thorax
- Pulsoximeter: Ableitung der Herzfrequenz und Sauerstoffsättigung
- Induktionsplethysmographie-Gurte: Platzierung um Thorax und Abdomen zur Messung der Atmungsanstrengung
- Thermistor: Temperatursensor zur Atemflussbestimmung
- Staudruckmessung: Messung des Atemflusses
- Körperpositionssensor
- Videokamera: zur zusätzlichen Überwachung des Schläfers

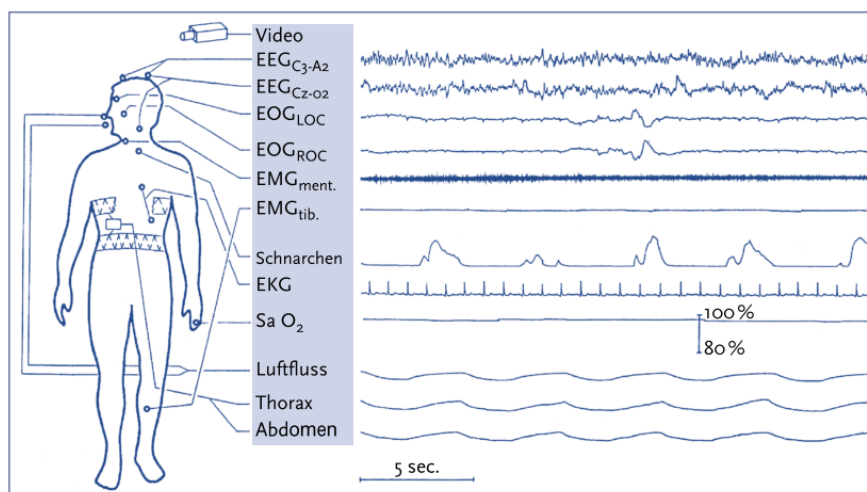


Abbildung 3: Kardiorespiratorische Polysomnografie: Sensorenplatzierung am Körper mit entsprechend abgeleiteten Daten (18); beachte: Schnarchen wurde in dieser Studie nicht gesondert erfasst

Die PSG wurde mittels EMBLA® patient unit und EMBLA® bedside unit erfasst und mit der Software Embla® RemLogic™ Version 3.4 ausgewertet. Die erfassten Daten wurden von einer erfahrenen medizinisch technischen Assistentin nach den AASM-Kriterien (25) in der ASR ausgewertet und als PSG-Befund in Form einer PDF-Datei gespeichert.

Aus diesen Befunden sind die Daten zur Tiefschlafphasenlatenz, Schlafdauer und Schlafeffizienz direkt entnommen, welche der Studie als Abbild der objektiven Schlafqualität dienen:

Tiefschlafphasenlatenz (SWSL):

Allgemein beschreibt die Schlafphasenlatenz die Zeitspanne, welche bis zum erstmaligen Auftreten einer spezifischen Schlafphase gemessen wird. Dafür muss die Schlafphase über mindestens 20 30-sekündige Epochen aufgezeichnet werden bzw. 10 Minuten andauern.

Dementsprechend betrachtet der Parameter Slow Wave Sleep Latency (SWSL) wie lange ein Schläfer braucht, um zum ersten Mal die Tiefschlafphase zu erreichen. Das Stadium N3 kann als Indikator für Schlaftiefe oder Schlafintensität betrachtet werden (26). Es wird davon ausgegangen, dass die langsamen Wellen im EEG bedeutende schlafregulierende Mechanismen widerspiegeln (55).

Aus diesem Grund verwendet die Studie den Schlafparameter SWSL als Ausdruck für die Schlafqualität. Je eher die Tiefschlafphase erreicht wird, desto höher ist die Qualität des Schlafes einzuschätzen.

Schlafdauer (TST) und Schlafeffizienz (SE):

Studien belegen, dass sich sowohl zu wenig, als auch zu viel Schlaf negativ auf die Gesundheit auswirkt (56). Die US-amerikanische National Sleep Foundation hat darauf reagiert und 2015 Empfehlungen für eine optimale Schlafdauer für gesunde Menschen zusammengetragen (57). Unter anderem empfiehlt die Stiftung gesunden Erwachsenen zwischen 18 und 64 Jahren eine Schlafdauer von 7 - 9 Stunden, wobei ausdrücklich nicht empfohlen wird kürzer als 6 oder länger als 10 (18-25 Jahre) bzw. 11 (26-64 Jahre) Stunden zu schlafen.

Durchschnittlich weisen gesunde Erwachsene eine Schlafeffizienz von > 90% auf, wobei dieser Wert mit zunehmendem Alter sinkt (58).

Aus der Schlafdauer, unter Laborbedingungen auch als Total Sleep Time (TST) bezeichnet, berechnet sich die Schlafeffizienz (25):

Schlafeffizienz = (Gesamtschlafzeit / Gesamtbettliegezeit) * 100 (in Prozent)

2.4.2 Temperaturmessung

iButtons®

Die Temperatursensoren iButtons (DS 1922L, iButtons®; Maxim, siehe Abbildung 4) wurden verwendet, um Matratzen-, Haut-, sowie Raumtemperatur zu erfassen.

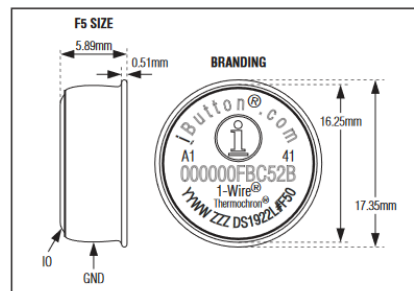


Abbildung 4: Modellhafte Abbildung eines iButtons in 2 Ansichten (59)

Die Matratzentemperatur wurde mittels 5 iButtons gemessen, welche an unterschiedlichen Positionen auf der Liegefläche der Matratzen befestigt wurden (siehe Abbildung 5). Zur Messung der Hauttemperatur wurden insgesamt 16 iButtons auf proximalen, sowie distalen Hautstellen der Probanden befestigt (siehe Abbildung 5).

Damit eine konstante Raumtemperatur sichergestellt werden konnte, wurde der Schlafrum für die Studie in der ASR reserviert. Ein iButton, freihängend und mit Abstand vom Bett positioniert, ermittelte auch zwischen den Testnächten die Raumtemperatur. Die iButtons für die Raumtemperatur wurden nach jeder Testnacht, sowie regelmäßig zwischen den Studiennächten ausgelesen und ggf. Anpassungen der Klimaanlageinstellung vorgenommen.

Die Sensoren zeichneten die Temperatur in 30 Sekunden Intervallen auf. Ausgelesen wurden die Daten nach jeder Testnacht mittels OneWireViewer und wurden als .csv-files gespeichert und in Excel Dateien importiert.

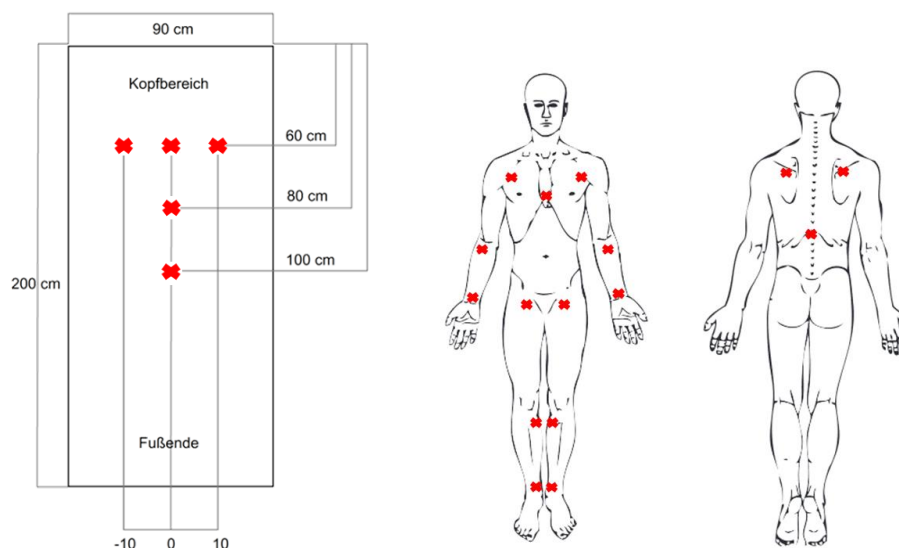


Abbildung 5: Platzierung der iButtons auf den Matratzen und am Probanden (Grafik nach (60))

VitalSense® Körperkerntemperaturkapsel

Die Körperkerntemperaturkapsel (VitalSense® Körperkerntemperaturkapsel, siehe Abbildung 6) wurde von den Probanden oral eingenommen. Nach Aktivierung der Kapsel, erfasste diese in etwa 15 Sekunden Intervallen die KKT. Die Daten wurden direkt an ein Empfangsgerät

(Equivital™ EQ02 LifeMonitor, Sensor Electronics Module) gesendet, welches mittels Schultergurt (Equivital™ EQ02 LifeMonitor, Sensor Belt) am Probanden angebracht wurde (siehe Abbildung 7). Nach den Testnächten wurde das Empfangsgerät mittels Equivital™ Manager Software ausgelesen.

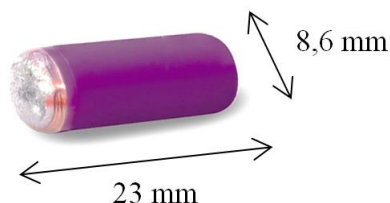


Abbildung 6: VitalSense® Körperkerntemperaturkapsel mit Abmessungen (nach 59)



Abbildung 7: Equivital™ EQ02 LifeMonitor: Sensor Belt und Sensor Electronics Module (62)

2.4.3 Fragebögen

Die subjektiven Schlafparameter wurden mittels Fragebögen erhoben. Verwendet wurden die Karolinska-Schläfrigkeitsskala (KSS), die Schlaffragebögen-A und -B (SF-A bzw. SF-B) und ein nicht standardisierter Charité Fragebogen zum Schlafkomfort (s. Anhang).

Der KSS bildet die Schläfrigkeit zum momentanen Zeitpunkt ab. Es handelt sich um eine Ordinalskala von 1-9, wobei 1 für extrem wach und 9 für sehr schläfrig steht. Der KSS wurde jeweils am Abend vor bzw. am Morgen nach den Testnächten erhoben.

SF-A sowie SF-B dienen zur quantitativen und qualitativen Beschreibung und Bewertung des Schlafverhaltens und Schlaferlebens von gesunden Schläfern und schlafgestörten Patienten (63). Der SF-A bezieht sich auf das Schlafverhalten und -erleben der vergangenen Nacht, der SF-B erfasst Schlafgewohnheiten und das Schlaferleben der vergangenen 2 Wochen.

Dabei ermitteln die Fragebögen unter anderem die Schlafqualität (SQ) oder das Gefühl des Erholtseins nach dem Schlaf (GES). Diese Faktorenwerte berechnen sich auf Basis von insgesamt 23 Items (SF-A) bzw. 29 Items (SF-B).

Es wurde die dritte Version der Schlaffragebögen verwendet, wobei die erhobenen Daten mit Vergleichswerten aus dem Manual der revidierten SF-A/B Fassung (64), sowie auf Stichpro-

bendaten aus der 4. Auflage der Internationalen Skalen der Psychiatrie (63) verglichen werden.

Der Charité Fragebogen erfragt den Liegekomfort der letzten Nacht.

SF-A, sowie Charité Fragebogen wurden jeweils am Morgen nach den Testnächten ausgefüllt.

2.5 Auswertung

2.5.1 Datenverarbeitung

Für die Schlafparameter SWSL, TST und SE wurden die gemessenen Daten direkt aus dem PSG Befund entnommen, ebenso wie die Dauer der Schlafstadien in Minuten und den jeweiligen Anteil des Schlafstadiums in Prozent.

Für die Auswertung der Schlafstadien-Verteilung über den Verlauf der Nacht wurden die Rohdaten der PSG betrachtet. Während der Aufzeichnung wurde alle 30 Sekunden das Schlafstadium der Probanden ermittelt und als Buchstabe (W, N1, N2, N3, R) angegeben. Um die Daten weiter bearbeiten zu können, wurden diese Angaben in Zahlen umcodiert. Mittels VBA Makros wurden dann die Mittelwerte für 10 Minuten Abstände zusammengefasst. So wurden für die Schlafstadien, welche initial für die Länge der Testnacht von 8 Stunden als Daten im 30 Sekunden Abstand vorlagen, 48 Durchschnittswerte ermittelt. Zusätzlich wurden die Standardabweichung und der Standardfehler der 10-Minuten-Mittelwerte erhoben. Diese Daten wurden für die Schlafstadien W, N1, N2, N3 und REM berechnet, jeweils für die Testnacht auf MH und MN.

Zum Vergleich der Schlafstadien-Verteilung zwischen MH und MN wurden die aufbereiteten Daten der einzelnen Schlafstadien in jeweils 2 zusammengehörigen Kurvendiagrammen über den Verlauf der Nacht aufgetragen.

Im jeweils ersten Diagramm für jedes Schlafstadium sind die Verläufe der einzelnen Schlafstadien im interindividuellen Mittelwertvergleich aufgetragen. Zu jedem Zeitpunkt ab „Licht aus“ (im 10 Minuten Abstand) wurde dafür der Durchschnitt aus den individuellen Mittelwerten der Probanden ermittelt, jeweils für die Nacht auf MH und auf MN (siehe Abbildung 13, 15, 17).

Darauf aufbauend wurden die Mittelwerte von MH mit denen von MN subtrahiert, zunächst als intraindividuelle Differenz der Mittelwerte pro Proband für jeden der 48 Zeitpunkte. Dann wurde auch hier der interindividuelle Durchschnitt der Probanden ermittelt. Dargestellt als Kurvendiagramm verdeutlicht dieser Vergleich mögliche Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten in der Schlafstadien-Verteilung (siehe Abbildung 14, 16, 18).

Analog zu der Aufbereitung der Daten der Schlafstadien, wurden auch die Temperaturdaten der iButtons (Matratze und Hauttemperatur) und KKT Kapsel auf 10 Minuten Abstände gemittelt und im Verlauf der Nacht als interindividueller Mittelwertvergleich und Differenz der Mittelwerte zwischen MH und MN wiedergegeben. Davon werden die aussagekräftigsten Diagramme zum Thema dieser Arbeit im Folgenden vorgestellt.

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Matratzentemperatur wurden in einem Zwischenschritt für jeden der 48 Mittelwerte der Durchschnitt aus den fünf iButtons, welche auf der Matratzenoberfläche angebracht waren, erhoben.

Die Auswertung der Ergebnisse der Hauttemperatur und der KKT ist Gegenstand der Doktorarbeit von Frau Julia Hein (65).

2.5.2 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden unter Verwendung von Statistical Package for Social Sciences (SPSS, Version 21) für Windows und Excel 2010 Microsoft Office analysiert. Grafiken und Abbildungen wurden mittels Microsoft Excel 2010 und SPSS 21 erstellt, Tabellen mittels Microsoft Word 2010.

Die deskriptive Beschreibung erfolgte als Vergleich der Nacht auf MH bzw. MN. Statistische Berechnungen wurden mit Zweistichproben t-Test bei abhängigen Stichproben durchgeführt.

Zur deskriptiven Analyse der Daten wurden die anthropometrischen Daten, die Ergebnisse der Fragebögen, und die Parameter SWSL, TST, und SE als Mittelwert und Standardabweichung dargestellt, teilweise ergänzt um Maximum und Minimum. Die Ergebnisse der Schlafstadien (in Minuten bzw. Prozent) sind als Mittelwert und Standardfehler abgebildet. Für die Analyse der Schlafstadien-Verteilung im Verlauf der Nacht wurden die erhobenen Werte auf 10 Minuten Abstände geplottet und im interindividuellen Mittelwertvergleich mit Standardfehler als Kurvendiagramm wiedergegeben.

In der Durchführungs- und Auswertungsphase der Studie erfolgte eine statistische Beratung im Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité Universitätsmedizin Berlin. Die Berechnung der erhobenen Daten wurde vom Doktoranden selbstständig durchgeführt.

Das Signifikanzniveau wurde bei allen Verfahren auf $p < 0,05$ festgelegt. Es wurden im Verlauf der Nacht keine Signifikanzprüfungen durchgeführt, um multiples Testen zu vermeiden. Das Alpha Niveau musste dementsprechend nicht gesenkt werden.

3 Ergebnisse

3.1 Probandenkollektiv

Die Probandenkohorte bildet sich aus 33 männlichen Probanden im Alter von 40-55 Jahren (mittleres Alter $46 \pm 4,1$ Jahre). Diese wiesen einen mittleren BMI von $25,6 \pm 1,8$ auf (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Anthropometrische Daten (Probandenanzahl, Drop-outs, Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, BMI; wenn anwendbar Angaben als MW \pm SD (Min-Max))

Probandenanzahl	N=33
Drop-Outs	3
Geschlecht	männlich
Alter (in Jahren)	$46 \pm 4,1$ (40-55)
Größe (in m)	1,82 (1,65-1,95)
Gewicht (in kg)	83,4 (67-97)
BMI (kg/m²)	$25,2 \pm 1,8$ (21,7-28,9)

Der SF-B Fragebogen bildet die Einschätzung des Schlafverhaltens und Schlaferlebens der Probanden in den letzten 2 Wochen ab. Die Auswertung des einmalig ausgefüllten SF-B Fragebogens ergab parallel zum SF-A die Faktorenwerte die SQ, GES, PSYA, PSYE, sowie PSS der letzten 2 Wochen (siehe Tabelle 2). Die Probandenkohorte weist durchschnittlich unter nicht Laborbedingungen manchmal eine gute Schlafqualität auf (SQ $3,4 \pm 0,3$). Unter Psychosomatischen Symptomen in der Schlafphase litten die Probanden in den letzten 2 Wochen nach eigenen Angaben nicht (PSS $1,4 \pm 0,3$).

Tabelle 2: SF-B Faktorenwerte (Schlafragebogen B, Angaben als MW (SD))

SF-B Faktorwerte	
SQ	3,4 (0,3)
GES	3,5 (0,4)
PSYA	3,6 (0,4)
PSYE	3,1 (0,4)
PSS	1,4 (0,3)

SQ: Schlafqualität, GES: Erholtsein nach dem Schlaf, PSYA: Psych. Ausgeglichenheit am Abend, PSYE: Psych. Erschöpftheit am Abend, PSS: Psychosomatische Symptome; Die Antwortskalen erstrecken sich für alle Werte von 1-5, für fehlend bzw. symptomfrei bis zu sehr hoch bzw. sehr stark

3.2 Temperaturverlauf der Matratzenoberfläche und der Körperkern-temperatur

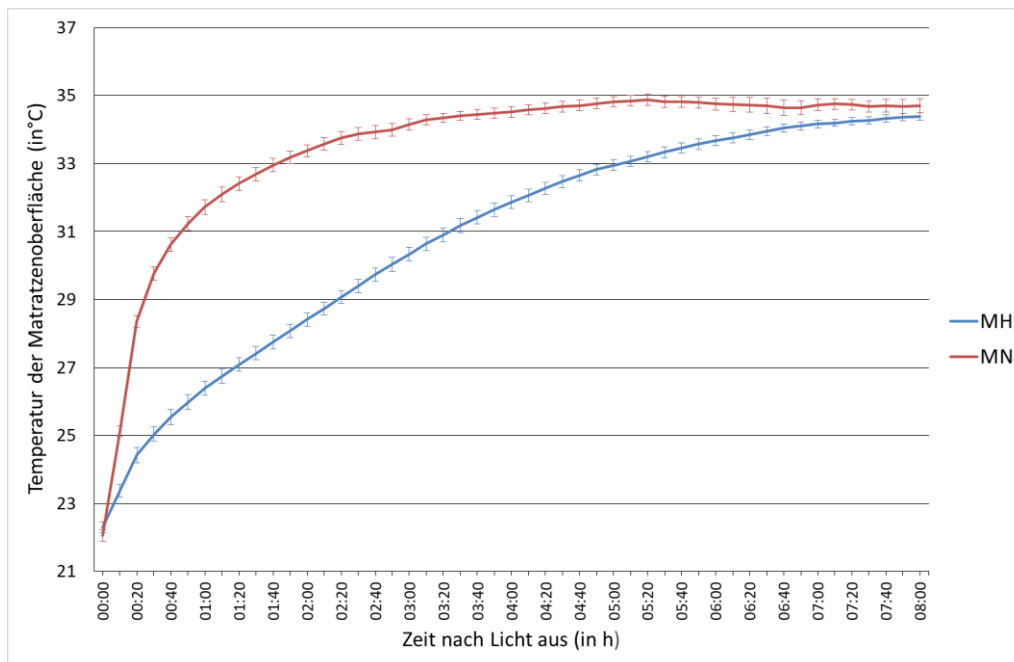


Abbildung 8: Vergleich Temperaturverlauf der Matratzenoberflächen zwischen MH und MN. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität und Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Temperatur in °C, Zeit in Stunden (h), N=33. Dargestellt ist der interindividuelle Mittelwertsvergleich mit Standardfehler.

Für beide Matratzen konnte im Temperaturverlauf über die Nacht zunächst ein positiver Anstieg der Oberflächentemperatur beobachtet werden (siehe Abbildung 8). Ebenfalls zeigten die Messungen, dass sich bei beiden Matratzen die Oberflächentemperatur im Laufe der Nacht an ein bestimmtes Niveau annähert.

Neben diesen Gemeinsamkeiten stellten sich auch deutliche Unterschiede im Verlauf der Oberflächentemperatur der beiden Matratzen dar.

Die Temperatur der Matratzenoberfläche mit einer niedrigeren Wärmekapazität (MN) ist stets höher als die der Matratze mit höherer Wärmekapazität (MH).

Insgesamt erwärmte sich die Oberfläche der Matratze mit der höheren Wärmekapazität (MH) langsamer im Verlauf der Nacht als die MN. Zum Zeitpunkt „Licht aus“ legten sich die Probanden auf die Matratzen. Daraufhin beginnen sich beide Matratzenoberflächen, ausgehend von einem Ausgangswert um die Raumtemperatur (ca. 22 °C), zu erwärmen.

Über die Nacht ergaben sich verschiedene Anstiege beider Temperaturverläufe. Während die Temperatur der MN in der ersten Stunde nach „Licht aus“ steil ansteigt, erhöht sich die Temperatur der MH deutlich langsamer. Zwischen 01:10 h und 02:20 h sind die Anstiege fast gleich. Im weiteren Verlauf steigt die Temperatur der MH weiter an, jedoch mit einem kleineren Anstieg als zu Beginn. Zum Ende der Nacht ist der Anstieg auf der MH fast 0, der Anstieg der MN wird sogar leicht negativ.

So unterscheiden sich auch die Zeitpunkte, an welchen das maximale Temperaturniveau erreicht wird. Die MN erreicht nach 3 Stunden eine Temperatur um 34°C. Diese Temperatur wird im Verlauf fast konstant gehalten und erreicht die maximale Temperatur bei 05:20 h nach „Licht aus“. Die maximale Temperatur der MH ist erst kurz vor „Licht an“ nach 8 Stunden erreicht. Der größte Temperaturunterschied von durchschnittlich 5,35 °C ergab sich nach 01:10 h nach Beginn der Nacht. Danach gleichen sie die Temperaturverläufe langsam wieder an. Durchschnittlich erwärmte sich die MH auf 34,4°C und die MN auf 34,7°C zum Ende der Nacht.

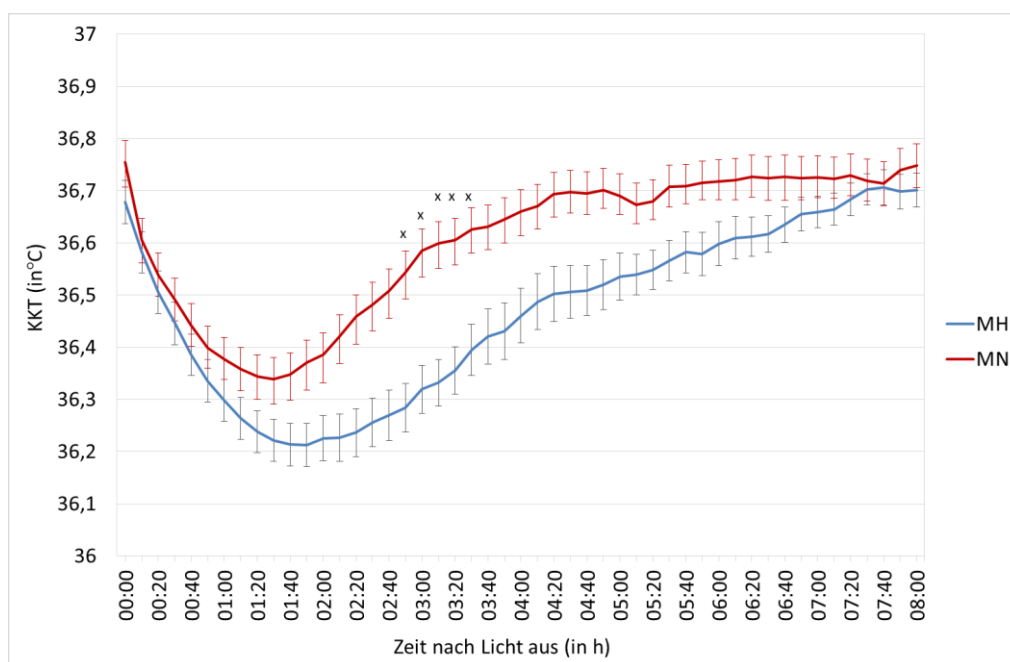


Abbildung 9: Vergleich Temperaturverlauf der KKT zwischen MH und MN. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität und Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. KKT (Körperkerntemperatur) in °C, Zeit in Stunden (h), N=33 (65). Dargestellt ist der interindividuelle Mittelwertvergleich mit Standardfehler. Die mit Kreuzen gekennzeichneten Zeitpunkte ergaben signifikante Unterschiede im Temperaturverlauf (Zeitpunkt 02:50, 03:00, 03:10, 03:20 nach „Licht aus“ mit $p < 000104$).

Die Untersuchung der KKT ergab ebenfalls deutliche Unterschiede im Verlauf der Testnächte zwischen MH und MN (siehe Abbildung 9). Im Vergleich mit der MN weisen die Probanden beim Schlaf auf der MH eine niedrigere KKT auf. Zu keinem Zeitpunkt im Verlauf der Testnächte fällt die durchschnittliche KKT auf der MN unter den Wert der MH.

Ausgehend von einem ähnlichen Ausgangswert von rund 36,68°C auf der MH bzw. 36,78°C auf der MN, sinken die Mittelwertkurven zu Beginn der Nacht. Dies entspricht dem physiologischen Verlauf der KKT. Dabei zeichnet sich der Verlauf für MH durch einen initial stärkeren Abfall der KKT aus. Im Durchschnitt liegt das Minimum dabei zum Zeitpunkt 01:40 h nach „Licht aus“ bei 36,21°C. Im Vergleich dazu wurde das Minimum für MN mit 36,34°C bei 01:30 h nach "Licht aus" gemessen. Danach steigen die Mittelwertkurven für beide Bedingungen an. Signifikant wird der Unterschied etwa 3 Stunden nach „Licht aus“. Dann nähern sich die Werte langsam bis zum Ende der Nacht wieder an und erreichen bei „Licht an“ etwa den Ausgangswert (ca. 36,7°C auf MH bzw. 36,75°C auf MN).

Die Verwendung des Graphen erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Frau Julia Hein. Die Auswirkung der thermischen Unterschiede der Bettsysteme auf die KKT und die Hauttemperaturen sind Gegenstand ihrer Dissertation (65).

3.3 Polysomnografisch gemessene Schlafparameter

3.3.1 SWSL

Die durchschnittliche Zeit die die Probanden (N=32) gebraucht haben, um in die erste Tiefschlafphase zu fallen betrug 43,1 Minuten auf der Testmatratze MH und 51,8 Minuten auf der Kontrollmatratze (siehe Tabelle 3, Abbildung 10). Im Durchschnitt sind die Probanden auf der Testmatratze also ca. 8 Minuten schneller in den Tiefschlaf gefallen (n.s.; $p=0,3$).

Für einen Probanden wurde in einer Testnacht kein Anteil von Tiefschlaf gemessen (TG-B-014; Sequenzgruppe 0 (MN - MH): N2 auf MH; SWSL = 0 Minuten). Die Daten für beide Testnächte dieses Probanden wurden deshalb in der Berechnung der durchschnittlichen SWSL nicht berücksichtigt.

Tabelle 3: SWSL auf MH und MN (SWSL=Schlaflatenz zu N3 in Minuten, N=Fallzahl, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, Max=Maximum, Min=Minimum)

	N	MW	SD	Max	Min
MH	32	43,1	30,8	160	8,5
MN	32	51,8	42	219	13,5

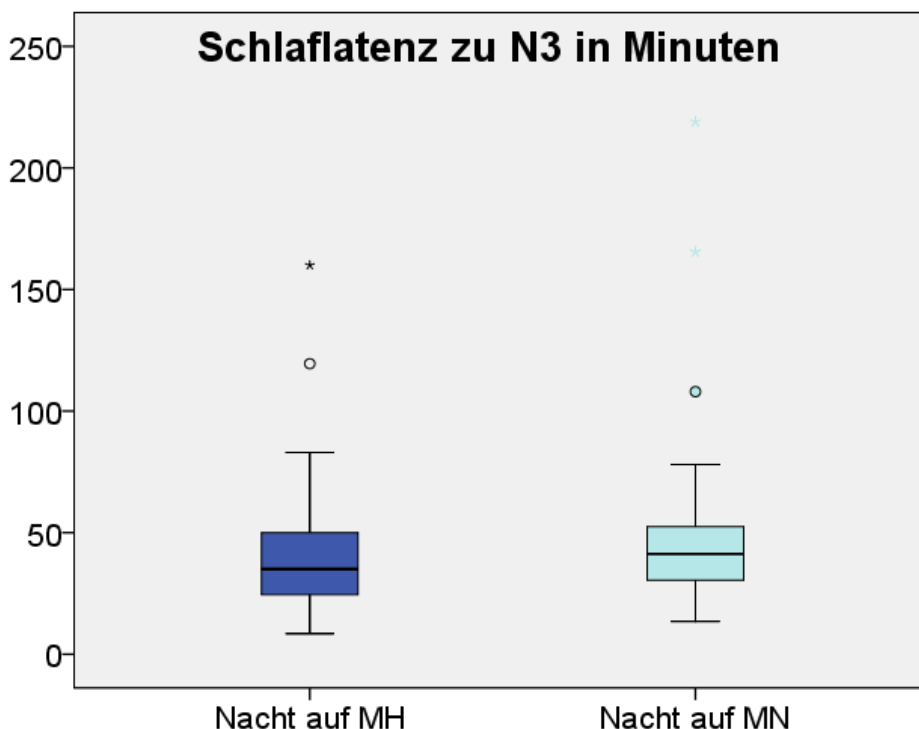


Abbildung 10: Boxplot zum Vergleich SWSL zwischen MH und MN. SWSL = Tiefschlafphasenlatenz. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität und Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Zeit in Minuten, N=32. Durchschnittlich benötigten die Probanden 43,1 Minuten auf der MH und 51,8 Minuten auf der MN, um in die erste Tiefschlafphase zu fallen (n.s.; p=0,3).

3.3.2 TST

Die Probanden schliefen in der Nacht auf der Testmatratze durchschnittlich 396,6 Minuten, auf der Kontrollmatratze rund 388,4 Minuten (siehe Tabelle 4, Abbildung 11). Somit schliefen die Probanden auf der Testmatratze rund 8 Minuten länger (n.s.; p=0,31).

Tabelle 4: TST auf MH und MN (TST=gesamte Schlafdauer in Minuten, N=Fallzahl, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, Max=Maximum, Min=Minimum)

	N	M	SD	Max	Min
MH	33	396,6	43,46	462,5	285,5
MN	33	388,4	43,37	448,5	275,5

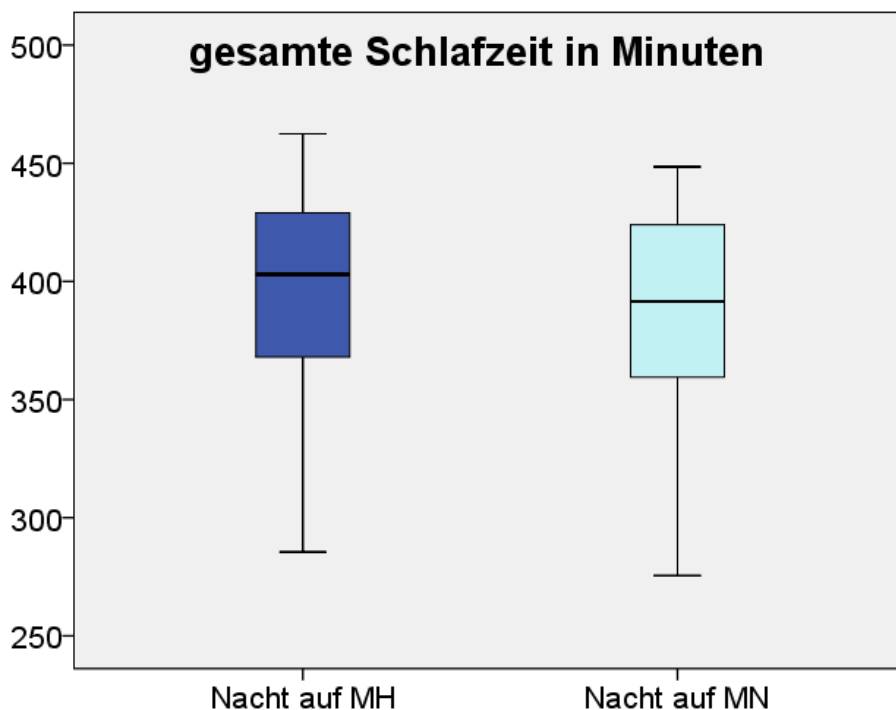


Abbildung 11: Boxplot zum Vergleich der TST zwischen MH und MN. TST = gesamte Schlafzeit. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität und Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Zeit in Minuten, N=33. Durchschnittlich schliefen die Probanden 396,6 Minuten auf der MH und 388,4 Minuten auf der MN (n.s.; $p=0,31$).

3.3.3 Schlafeffizienz

Von den festgelegten 8 Stunden schliefen die Probanden auf der Testmatratze durchschnittlich 83%, auf der Kontrollmatratze rund 81% (n.s; $p=0,29$) (siehe Tabelle 5, Abbildung 12).

Tabelle 5: Schlafeffizienz auf MH und MN (Schlafeffizienz in %, N=Fallzahl, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, Max=Maximum, Min=Minimum)

	N	MW	SD	Max	Min
MH	33	0,83	0,09	0,96	0,6
MN	33	0,81	0,09	0,93	0,54

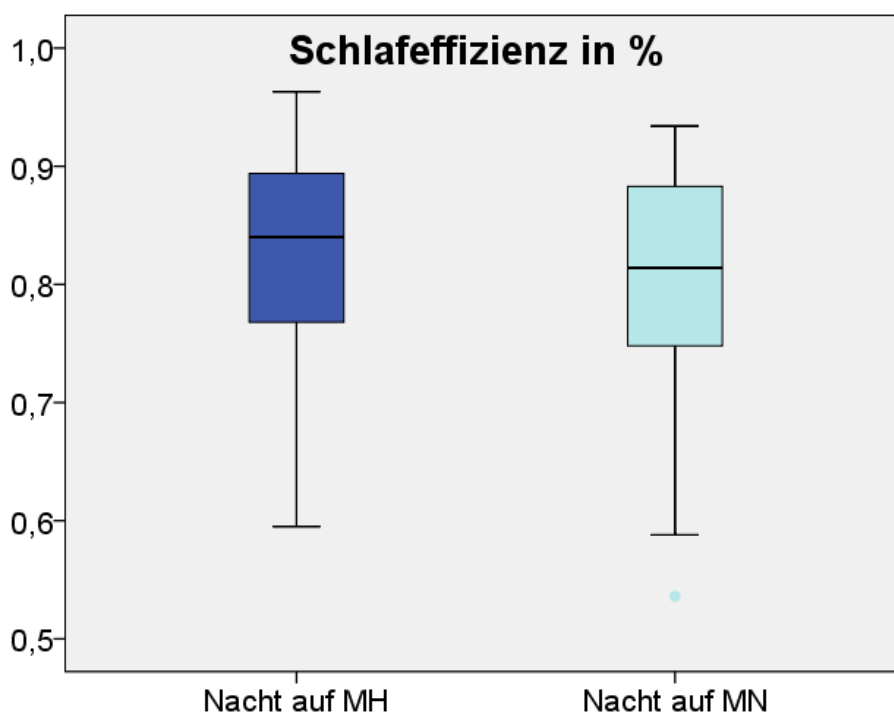


Abbildung 12: Boxplot zum Vergleich der Schlafeffizienz zwischen MH und MN. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität und Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Angaben in %, N=33. Durchschnittlich schliefen die Probanden 83% der Zeit auf der MH und 81% der Zeit auf der MN von der jeweiligen Testnacht (n.s.; $p=0,29$).

3.3.4 Schlafstadien-Verteilung

Für alle 33 Probanden der Studie wurde mittels Polysomnografie der Schlafverlauf beobachtet und aufgezeichnet. Bei einer Testperson wurde jedoch in einer Untersuchungsnacht kein Anteil von Tiefschlaf gemessen. Die Daten dieses Probanden wurden deshalb für beide Testnächte in der Auswertung der Schlafstadien-Verteilung nicht berücksichtigt.

Auf der MH verlängerte sich das Schlafstadium N3 in Minuten durchschnittlich um 8 Minuten, dies entspricht einem Unterschied von 11,4 % (siehe Tabelle 6). Dieser Unterschied wurde als signifikant identifiziert ($p=0,01$). Für N3 ergab sich für MH ein Tiefschlafanteil von durchschnittlich 18,4 %, für MN 16,7 %. Dieser Unterschied wurde nicht signifikant.

Die Schlafstadien N1, N2 und REM unterschieden sich weder in der Dauer in Minuten, noch als Anteil in Prozent, signifikant. Diese Daten beziehen sich auf die Schlafinformation, welche in jedem Polysomnografie-Befund erhoben werden. Diese sind als absolute Werte in den Polysomnografie-Befunden zu finden und lassen keinen Bezug auf die Schlafverteilung im Verlauf der Nacht zu.

Tabelle 6: Schlafstadien-Verteilung (Angabe in MW \pm SEM; N=32; Die Schlafstadien sind entweder in Minuten/8-Stunden Schlaf oder in % der totalen Schlafzeit angegeben.)

	MH	MN	MH - MN
N1 (min)	62,45 \pm 6,01	64,42 \pm 5,76	-1,97 \pm 4,50
N2 (min)	196,56 \pm 7,75	192,12 \pm 6,36	4,44 \pm 6,68
N3 (min)	72,05 \pm 4,54	64,03 \pm 4,23	8,02 \pm 2,79 *p=0,01
REM (min)	69,89 \pm 4,44	66,25 \pm 4,83	3,64 \pm 4,18
N1 (%)	15,80 \pm 1,48	16,48 \pm 1,46	-0,68 \pm 1,20
N2 (%)	48,63 \pm 1,46	49,70 \pm 1,29	-1,07 \pm 1,32
N3 (%)	18,42 \pm 1,33	16,67 \pm 1,15	1,74 \pm 0,87
REM (%)	17,15 \pm 1,14	17,13 \pm 1,09	0,03 \pm 1,02

Die dynamische Verteilung der Schlafstadien über den Verlauf der Testnacht wurde als Kurvendiagramm dargestellt (siehe Abbildung 13-18). Diese Daten beziehen sich auf die Werte, die mittels Polysomnografie im Verlauf der Nacht alle 30 Sekunden ermittelt wurden. Diese Daten wurden auf 10 Minuten Abstände geplottet, sodass sich für 8 Stunden lang aufgezeichnete Schlafstadien 48 Durchschnittswerte ergeben. Es sind jeweils für W (siehe Abbildung 13, 14), N3 (siehe Abbildung 15, 16) und REM (siehe Abbildung 17, 18) die Kurvenverläufe dargestellt. Im Schlafstadium N1 und N2 unterscheiden sich die Schlafstadien-Verläufe über die Nacht kaum, weshalb sie hier nicht gesondert aufgeführt werden.

Der höchste Anteil von „Wach“ wurde für beide Bedingungen zu Beginn der Testnächte ermittelt. Bereits in den ersten Minuten nach „Licht aus“ schliefen die ersten Probanden in beiden Testnächten ein, es wurde ein Anteil von „Wach“ von 87,2% auf MH und 90,3% auf MN in den ersten 10 Minuten ermittelt (siehe Abbildung 13).

Beide Graphen fallen zu Beginn der Testnacht fast identisch ab, durchschnittlich schliefen die Probanden im gleichen Tempo ein.

Nach der ersten Stunde ist der Anteil von „Wach“ zum ersten Mal für beide Bedingungen auf einem ersten lokalen Minimum mit einem Anteil von 9,2% auf MH und 7,1% auf MN. Zu diesem Zeitpunkt schlafen fast alle Probanden. Im weiteren Verlauf beginnen sich die Verläufe von „Wach“ zu unterscheiden. Während das absolute Minimum von „Wach“ auf der MN bereits im ersten Drittel der Nacht (02:10 h nach „Licht aus“) mit 5,3% erreicht wird, steigt der Anteil von „Wach“ auf der MH wieder etwas an. Ab 02:40 h nach „Licht aus“ sinkt der Wert auf MH wieder unter den von MN. Im Verlauf schwankt die Verteilung von „Wach“ für beide Bedingungen um 15 %, die Mehrheit der Probanden schläft in den Testnächten. Etwa ab 5 Stunden nach „Licht aus“, bleibt der Anteil von „Wach“ auf MH deutlich niedriger und erreicht 05:50 h das absolute Minimum mit 6,2%. Zu diesem Zeitpunkt schlafen fast alle Probanden auf der MH. Zum Ende der Nacht vergrößert sich der Anteil von „Wach“ für beide

Bedingungen langsam wieder, die Probanden wachen auf. Kurz vor „Licht an“ ist der Anteil für beide Bedingungen bei 37 %, es schlafen noch genauso viele Probanden auf der MH wie auf der MN.

02:00 h nach „Licht aus“ wird der Unterschied von „Wach“ zwischen MH und MN mit 10,2% maximal (siehe Abbildung 14). Zu diesem Zeitpunkt sind im Vergleich zur MN rund 10% mehr Probanden auf der MH wach. Bei 05:50 h wird der Unterschied mit rund -17% minimal. Es schlafen rund 17% mehr Probanden auf der MH als auf der MN. Die Differenzkurve zeigt ab 04:20 h insgesamt überwiegend negative Werte auf.

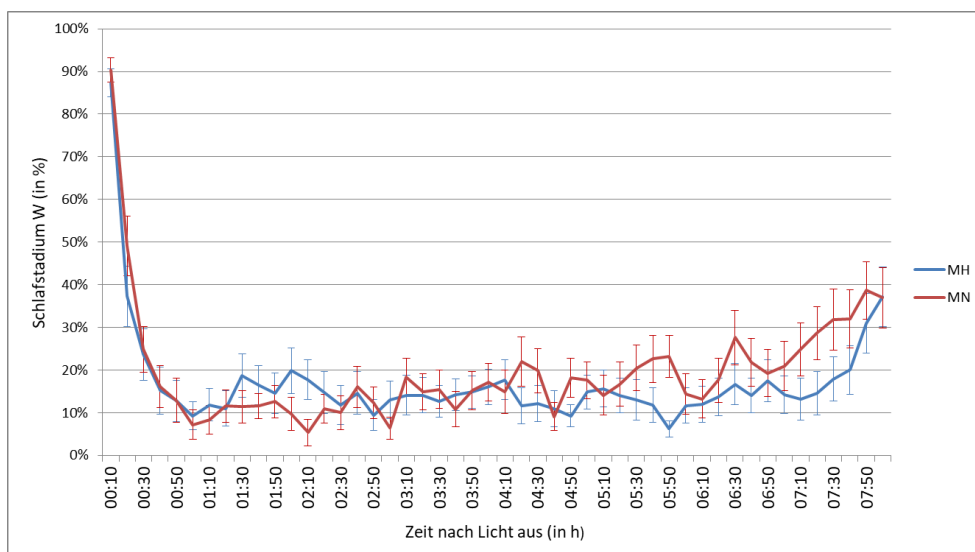


Abbildung 13: Schlafstadien-Verteilung für W zwischen MH und MN. W = „Wach“, in Prozent (%), Zeit in Stunden (h), N=32. Testmattze = MH, hohe Wärmekapazität und Vergleichsmattze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Dargestellt ist der interindividuelle Mittelwertsvergleich mit Standardfehler.

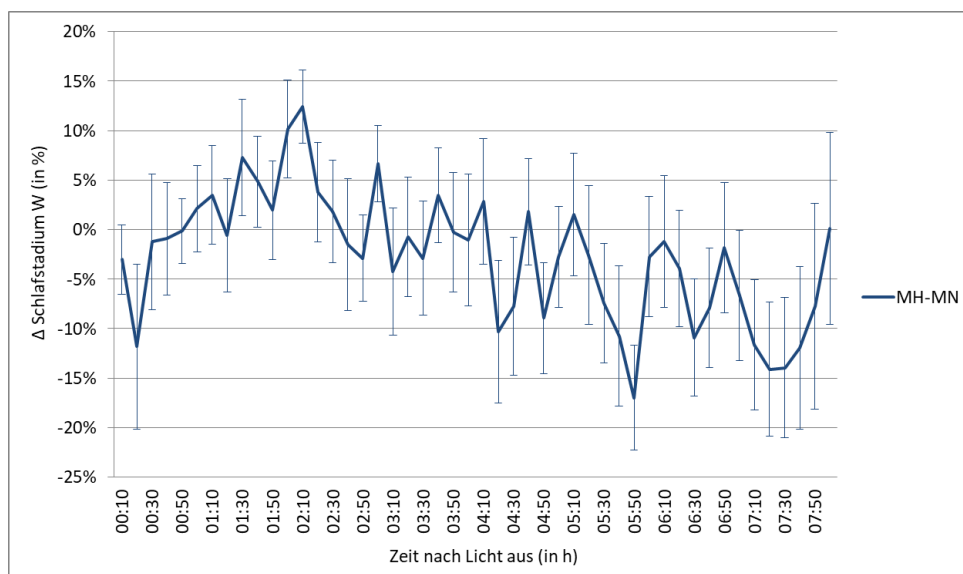


Abbildung 14: Mittlere Differenz (Δ) von W zwischen MH und MN. „Wach“ = W, in Prozent (%), Zeit in Stunden (h), N=32. Testmattze = MH, hohe Wärmekapazität, Vergleichsmattze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Die vertikalen Linien stellen den Standardfehler dar.

In Hinblick auf die Schlafarchitektur wird zunächst das Schlafstadium W, N1 und N2 durchlaufen, bevor sich die Tiefschlafphase einstellt.

Zu Beginn der Aufzeichnung ist der Anteil von N3 für beide Nächte um 0 % (siehe Abbildung 15).

Für beide Bedingungen erreicht der Anteil von N3 dann in der frühen ersten Hälfte der Nacht den höchsten Wert von 52,4% auf MH und 58% auf MN. Danach flachen die Kurven über den Verlauf der Testnächte ab. Kurz vor „Licht an“ ist der gemessene Anteil von N3 für beide Testnächte nahezu bei 0 %.

In der Betrachtung der Differenz der Mittelwerte ergeben sich mehr positive als negative Werte (siehe Abbildung 16). Es gibt mehr Zeitpunkte an denen mehr Tiefschlaf auf der MH als auf der MN ermittelt wurde. Dabei sind die Werte vor allem im zweiten und dritten Nachtdrittel positiv mit einem Maximum bei 02:30 h mit 14,39 %. Das heißt, dass rund 14% mehr Probanden auf der MH zu diesem Zeitpunkt im Tiefschlaf waren.

Dieser positive Verlauf wird im Wesentlichen bei 05:10 h nach „Licht aus“ durch einen kurzen Abfall der Werte auf ein Minimum mit -15,15 % unterbrochen. Zu diesem Zeitpunkt wurden für rund 15% mehr Probanden auf der MN Tiefschlaf ermittelt, als auf der MH.

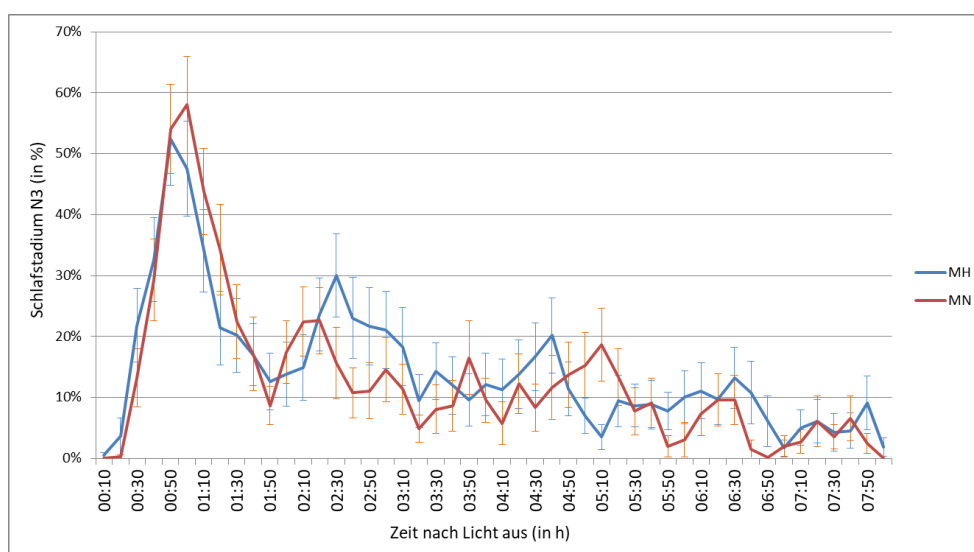


Abbildung 15: Schlafstadien-Verteilung für N3 zwischen MH und MN. N3 = Tiefschlafphase, in Prozent (%), Zeit in Stunden (h), N=32. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität und Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Dargestellt ist der interindividuelle Mittelwertsvergleich mit Standardfehler.

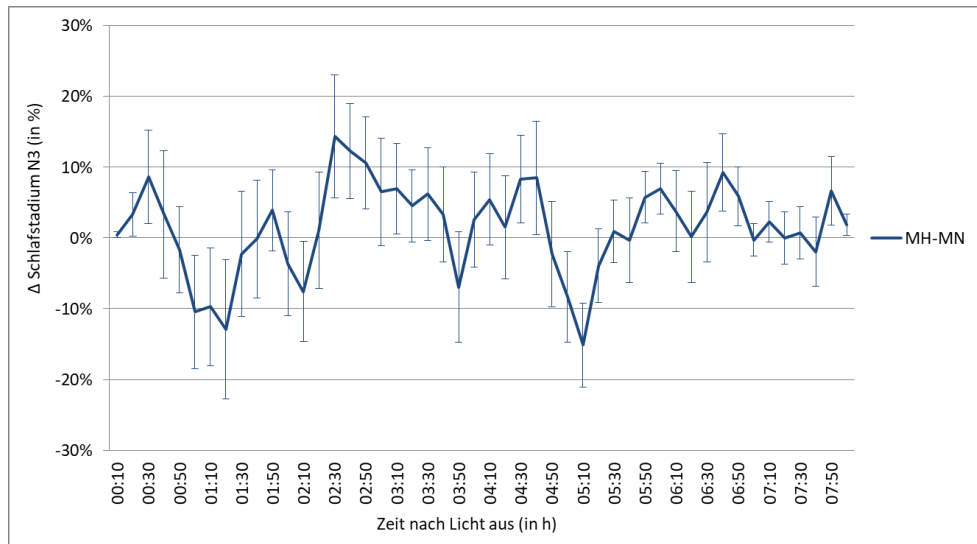


Abbildung 16: Mittlere Differenz (Δ) von N3 zwischen MH und MN. N3 = Tiefschlafphase, in Prozent (%), Zeit in Stunden (h), N=32. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität, Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Die vertikalen Linien stellen den Standardfehler dar.

Der REM-Schlaf tritt mit zeitlicher Verzögerung nach „Licht aus“ auf. Das REM-Schlafstadium wird für beide Testnächte zum ersten Mal etwa 1 Stunde nach Beginn der Testnacht gemessen (siehe Abbildung 17). Dann steigt der Graph für MH und MN über den Verlauf der Nacht langsam an. Während des Anstiegs schwankt der Verlauf dabei stark. Zeitlich liegen die lokalen Maxima und Minima zwischen MH und MN teilweise versetzt, teilweise fallen sie fast zusammen. Der höchste Wert für MN liegt bei 29% um 04:10 h, für MH bei 28% kurz vor Ende der Testnacht um 07:40 h. Zum Ende der Testnächte fallen die Graphen fast zeitgleich noch einmal steil ab. Die letzten gemessenen Werte liegen bei 11% bzw. 13% für MH bzw. MN kurz vor „Licht an“.

Die Differenzkurve schwankt entsprechend den Mittelwertverläufen über die Nacht um etwa 10 % um die Nulllinie (siehe Abbildung 18). Bei 04:50 h wird der Unterschied für REM zwischen MH und MN mit rund 18% maximal. Es wurde für etwa 18% mehr Probanden zu diesem Zeitpunkt das Schlafstadium REM ermittelt. Zu den Zeitpunkten 02:30 h und 04:10 h nach „Licht aus“ ergeben sich lokale Minima um rund -18 %. Hier schliefen rund 18% mehr Probanden im REM Schlafstadium auf der MN.

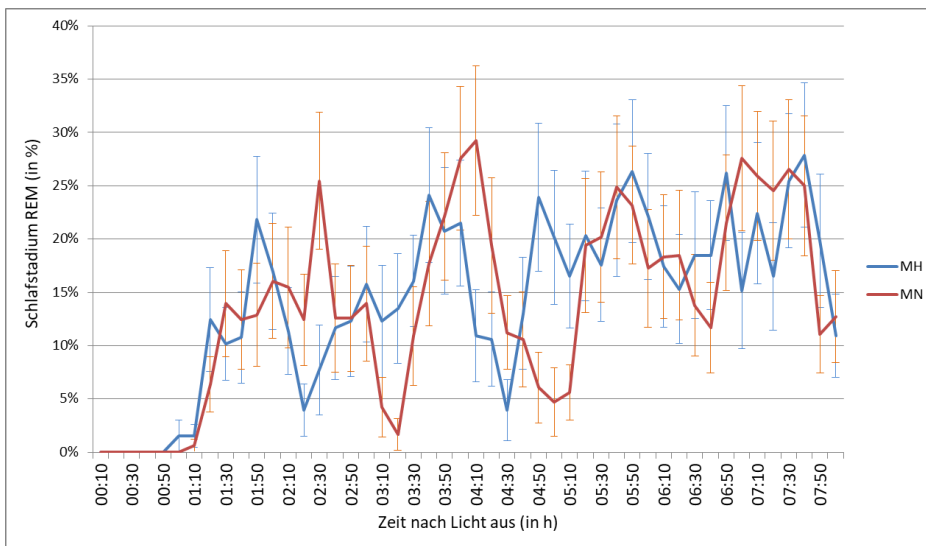


Abbildung 17: Schlafstadien-Verteilung für REM zwischen MH und MN. REM = „Rapid-Eye-Movement“, in Prozent (%), Zeit in Stunden (h), N=32. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität und Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Dargestellt ist der interindividuelle Mittelwertsvergleich mit Standardfehler.

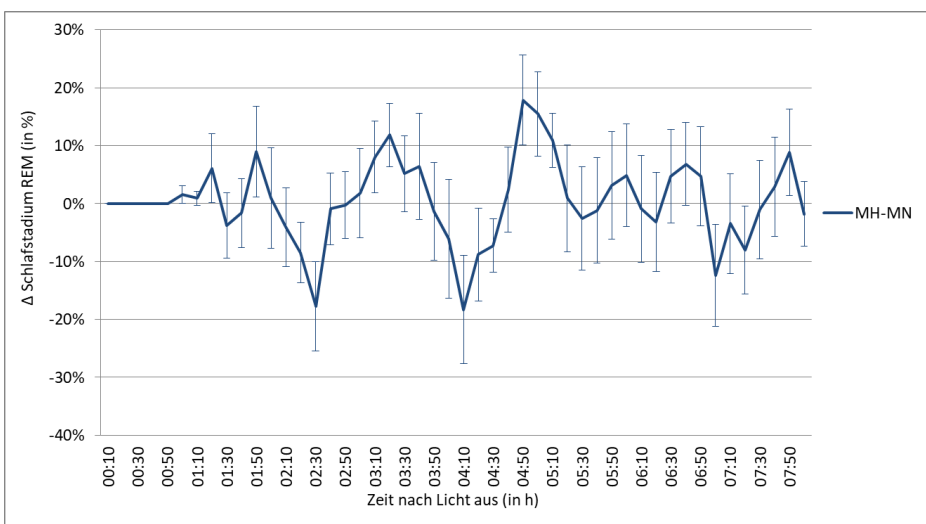


Abbildung 18: Mittlere Differenz (Δ) von REM zwischen MH und MN. REM = Rapid-Eye-Movement, in Prozent (%), Zeit in Stunden (h), N=32. Testmatratze = MH, hohe Wärmekapazität, Vergleichsmatratze = MN, niedrigere Wärmekapazität. Die vertikalen Linien stellen den Standardfehler dar.

3.4 Fragebögen

3.4.1 Karolinska-Schläfrigkeitsskala

Die Probanden haben am Morgen nach den Testnächten auf beiden Matratzen im Durchschnitt angegeben „Wach“ zu sein ($3,5 \pm 1,4$ vs. $3,4 \pm 1,4$; siehe Tabelle 7). „Extrem Wach“ bzw. „Schläfrig, aber kann noch ohne Mühe wach bleiben“ waren nach beiden Nächten das jeweilige Maximum bzw. Minimum an Wachheit.

Tabelle 7: KSS morgens nach der Testnacht (Karolinska-Schlaf­rigkeitsskala, N=Fallzahl, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, Max=Maximum, Min=Minimum)

	N	MW	SD	Max	Min
morgens nach MH	33	3,5	1,4	7,0	1,0
morgens nach MN	33	3,4	1,4	7,0	1,0

Skala der KSS: 1: Extrem Wach, 2: Sehr Wach; 3:Wach; 4: Ziemlich Wach; 5:Weder wach noch schlaf­rig; 6:Einige Anzeichen von Schlaf­rigkeit; 7:Schlaf­rig, aber kann noch ohne Mühe wach bleiben; 8:Schlaf­rig, habe Mühe wach zu bleiben; 9: Sehr schlaf­rig, kann nur mit großer Mühe wach bleiben; kämpfe gegen den Schlaf.

Bezüglich der Schlaf­rigkeitsreduktion ergaben sich für beide Nächte ähnliche Werte (auf MH: $5,2 \pm 1,3$ abends vs. $3,5 \pm 1,4$ morgens/ auf MN: $5,6 \pm 1,3$ abends vs. $3,4 \pm 1,4$ morgens; siehe Tabelle 8).

Damit ergibt sich zwischen den beiden Matratzen ein sehr kleiner subjektiver Unterschied für „Wach“ im Vergleich zwischen abends und morgens nach einer Testnacht (Differenz der Mittelwerte abends vor bzw. morgens danach auf MH= 1,7; MN= 2,2, n.s.; $p=0,15$).

Tabelle 8: KSS Vergleich vor und nach der jeweiligen Testnacht (Karolinska-Schlaf­rigkeitsskala, N=Fallzahl, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, Max=Maximum, Min=Minimum)

	N	MW	SD	Max	Min
abends vor MH	33	5,2	1,3	7,0	3,0
morgens nach MH	33	3,5	1,4	7,0	1,0

	N	MW	SD	Max	Min
abends vor MN	33	5,6	1,3	7,0	3,0
morgens nach MN	33	3,4	1,4	7,0	1,0

Skala der KSS: 1: Extrem Wach, 2: Sehr Wach; 3: Wach; 4: Ziemlich Wach; 5: Weder wach noch schlaf­rig; 6: Einige Anzeichen von Schlaf­rigkeit; 7: Schlaf­rig, aber kann noch ohne Mühe wach bleiben; 8: Schlaf­rig, habe Mühe wach zu bleiben; 9: Sehr schlaf­rig, kann nur mit großer Mühe wach bleiben; kämpfe gegen den Schlaf

3.4.2 SF-A

Die Auswertung des SF-A bezüglich der Schlafqualität für beide Nächte ergab keine signifikanten Unterschiede ($2,8 \pm 0,7$ vs. $2,7 \pm 0,6$; n.s. mit $p = 0,64$, siehe Tabelle 9). Aufgrund mangelhaft ausgefüllter Fragebögen erfolgte die Berechnung für den Parameter der Schlafqualität nur für N=29. Insgesamt ist die Schlafqualität auf einer Skala von 1-5 (fehlend bis sehr gut) als mittel einzuschätzen (64). Als weitere Faktorenwerte wurden das Erholtsein nach

dem Schlaf (GES), die Psych. Ausgeglichenheit am Abend (PSYA), die Psychische Erschöpftheit am Abend (PSYE), sowie Psychosomatische Symptome (PSS) erfasst (siehe Tabelle 10).

Tabelle 9: SF-A Schlafqualität (Schlafragebogen A, SQ=Schlafqualität, N=Fallzahl, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, Max=Maximum, Min=Minimum)

	N	MW	SD	Max	Min
MH	29	2,8	0,7	4,0	1,6
MN	29	2,7	0,6	3,7	1,4

Die Antwortskala erstreckt sich wie für alle SF-A Werte von 1-5, für fehlend bzw. symptomfrei bis zu sehr hoch bzw. sehr stark

Tabelle 10: SF-A Faktorenwerte (Schlafragebogen A, N=Fallzahl, MW= Mittelwert (Standardabweichung))

	MH (N=31)	MN (N=32)
GES	3,6 (0,6)	3,6 (0,7)
PSYA	3,9 (0,5)	3,9 (0,4)
PSYE	2,3 (0,4)	2,4 (0,5)
PSS	1,2 (0,4)	1,4 (0,5)

GES: Erholtsein nach dem Schlaf, PSYA: Psych. Ausgeglichenheit am Abend, PSYE: Psych. Erschöpftheit am Abend, PSS: Psychosomatische Symptome; Die Antwortskalen erstrecken sich für alle Werte von 1-5, für fehlend bzw. symptomfrei bis zu sehr hoch bzw. sehr stark

3.4.3 Charité Fragebogen

Der Charité Fragebogen ist ein nicht standardisierter Fragebogen, welcher an der Charité im Zuge vorangegangener Studien entwickelt wurde. Dieser umfasst insgesamt 13 Fragen, welche den Schlafkomfort erfragen. Im Folgenden werden die für diese Studie wichtigsten Fragen betrachtet (siehe Tabelle 11, vollständiger Fragebogen s. Anhang). Da es sich um einen nicht standardisierten Fragebogen handelt, werden die Ergebnisse nur deskriptiv besprochen.

Tabelle 11: Vergleich der Selbstbeurteilung des Schlafkomforts mittels Charité Fragebogen. Vergleich Bedingung auf Testmatratze = MH und Kontrollmatratze = MN (MW \pm SD (Min-Max))

Frage	MH	MN	Differenz MH-MN
Wie haben Sie heute Nacht geschlafen? (Frage 1) 1 = sehr gut 5 = sehr schlecht	2,49 \pm 0,74 (1-4)	2,52 \pm 0,61 (1-4)	-0,03
Welchen Einfluss hatte die Matratze auf ihre persönliche Schlafqualität? (Frage 6) 1 = negativen Einfluss 5 = positiven Einfluss	3,55 \pm 0,86 (2-5)	3,74 \pm 0,80 (2-5)	-0,2
Welchen Effekt hatte die Temperatur der Matratze auf Ihr Empfinden... 1 = zu warm 5 = zu kalt			
...beim Zubettgehen?* (Frage 11a)	3,33 0,64 (3-5)	3,12 0,33 (3-4)	0,21
... beim Licht löschen?* (Frage 11b)	3,33 \pm 0,59 (3-5)	3,03 \pm 0,3 (2-4)	0,30
... im Verlauf der Nacht? (Frage 11c)	3 \pm 0,43 (2-4)	2,69 \pm 0,53 (1-3)	0,31
... beim Aufwachen? (Frage 11d)	2,82 \pm 0,52 (1-4)	2,73 \pm 0,45 (2-3)	0,09
Wie haben Sie den Liegekomfort der Matratze empfunden? (Frage 12) 1 = sehr komfortabel 5 = sehr unkomfortabel	2,06 \pm 0,74 (1-4)	1,97 \pm 0,72 (1-4)	0,09

*Es ist zu beachten, dass in dieser Studie das Zubettgehen und Licht Löschen auf einen Zeitpunkt fallen.

Hinsichtlich der subjektiven Bewertung des Nachtschlafes liegen keine Unterschiede zwischen der Testmatratze und der Kontrollmatratze vor ($2,49 \pm 0,74$ auf MH vs. $2,52 \pm 0,61$ auf MN). Auch hinsichtlich des subjektiv empfundenen Einflusses der Matratze auf die Schlafqualität liegen keine Unterschiede zwischen der Testmatratze und der Kontrollmatratze vor ($3,55 \pm 0,86$ auf MH vs. $3,74 \pm 0,8$ auf MN).

Die Mehrheit der Probanden gab an, beide Matratzen von Beginn der Nachtruhe, während der Nacht und bis hin zum Aufwachen, als angenehm zu empfinden (rund 77,7 % (MH) vs. 80,3 % (MN) der Probanden, siehe Abbildung 19). Der subjektive Eindruck von Kälte wurde am Häufigsten zu Beginn der Nacht angegeben (25,8% (MH) vs. 9,1% (MN) der Probanden), ein wärmerer Effekt wurde nur von einem Probanden auf der MN angegeben. Dahingegen gaben die Probanden für den Verlauf der Nacht und beim Aufwachen vermehrt den Eindruck von Wärme an, hier auch häufiger auf der Kontrollmatratze, als auf der Testmatratze (im Verlauf der Nacht: 9,1 % (MH) vs. 27,3 % (MN); beim Aufwachen: 18,2 % (MH) vs. 27,3 % (MN) der Probanden).

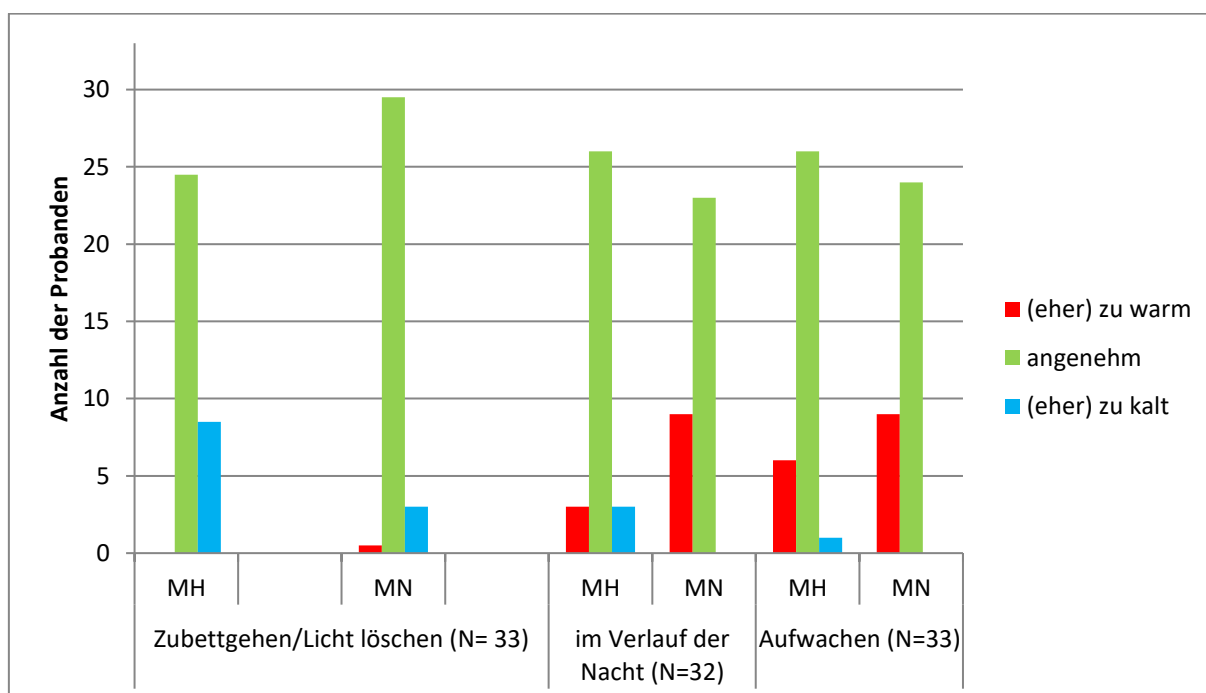


Abbildung 19: Charité Fragebogen zum Schlafkomfort: Effekt der Matratzentemperatur auf das Empfinden. N=33 für Angaben für den Zeitpunkt des Zubettgehens/Licht Löschen, N=32 für Angaben zum Verlauf der Nacht. Insgesamt empfinden die meisten Probanden beide Matratzen über den Verlauf der Nacht als angenehm. „(Eher) zu kalt“ wird fast ausschließlich nur für die MH, und dass v.a. zu Beginn der Nacht angeführt. „(Eher) zu warm“ wird v.a. für den Verlauf der Nacht bzw. beim Aufwachen angegeben.

Hinsichtlich des subjektiv empfundenen Liegekomforts liegen keine Unterschiede zwischen der Testmatratze und der Standardmatratze vor, es wurde durchschnittlich als komfortabel empfunden ($2,06 \pm 0,74$ auf MH vs. $1,97 \pm 0,72$ auf MN).

Als einzige nominale Frage steht die Frage nach allgemeinen Störungen durch die Matratze (Frage 13). Es werden insgesamt 5 verschiedene Antwortmöglichkeiten vorgeschlagen (1 trifft nicht zu, 2 zu weich, 3 zu hart, 4 zu unbequem, 5 zu warm, 6 zu kalt). Zusätzlich kann-

ten die Probanden selbst Anmerkungen als Textform ergänzen (7 anderes). Etwa 75% der Probanden gaben an, sich weder auf Matratze MH, noch auf Matratze MN an etwas gestört zu haben (26 vs. 25 Probanden). 3 Probanden empfanden die Testmatratze MH insgesamt als zu kalt, 2 empfanden die Kontrollmatratze MN insgesamt als zu warm. Keiner der Probanden beschrieb die Testmatratze als zu warm oder die Kontrollmatratze als zu kühl.

4 Diskussion

Zielsetzung dieser Arbeit war die Ermittlung der Schlafqualität und der Befindlichkeit von 33 schlafgesunden männlichen Probanden durch eine milde Form der Temperaturintervention. Hierzu wurde der Schlaf auf einem Bettsystem mit hoher Wärmekapazität der Auflage dem Schlaf auf einem Bettsystem mit niedriger Wärmekapazität gegenübergestellt. Es wurden 2 Untersuchungs Nächte durchgeführt, jeweils auf einer der beiden Matratzen mit einer einwöchigen Pause zwischen den Nächten. Die Reihenfolge der Schlafuntersuchung wurde gemäß dem doppelt-verblindeten Cross-Over Designs zufällig zugeteilt.

Das wesentliche Ergebnis dieser Arbeit ist, dass sich das Schlafstadium N3 (in Minuten) auf der MH signifikant um 11,4 % im Vergleich zur MN verlängert. Zudem ist eine Abnahme der Schlaflatenz zu N3 und eine Zunahme der gesamten Schlafzeit im Vergleich zwischen MH und MN festzustellen. Die Schlafeffizienz unterscheidet sich kaum zwischen den beiden Bedingungen. Zwischen der subjektiven Beurteilungen und den dazugehörigen objektiven Befunden besteht generell Übereinstimmung, wobei hier keine nennenswerten Unterschiede zu ermitteln waren.

4.1 Diskussion der Methoden

KKT Kapsel

Die VitalSense Kapsel ist eine elegante Lösung zur Messung der Körperkerntemperatur. Sie stellt eine gute Alternative zu der sonst üblicherweise verwendeten Rektalsonde in der Schlafmedizin dar. Ein Vorteil der Kapsel ist die kabellose Übertragung der Daten, welches die Kapsel besonders bei Extremsportarten oder extremen Umgebungen zur Anwendung kommen lässt. Es kann jedoch passieren, dass es zu Unterbrechung der Datenübertrag zwischen der Kapsel und dem Datenempfangsgerät (SEM) kommt, wenn die Kapsel die tiefer liegenden Regionen des Gastrointestinal Traktes passiert. Diese Problematik führte aufgrund fehlender Daten zu einer Wiederholungsnacht in dieser Studie. Nach Rücksprache mit dem Hersteller wurde das Studienprotokoll dahingehend geändert, die Kapsel erst kurz vor dem zu Bettgehen zu verabreichen. Somit verließ die Kapsel in der Zeit der Aufzeichnung in oberflächlicheren Teilen des Verdauungssystems, was im Folgenden eine reibungslose Datenübertragung gewährleistete.

Erfassung der Schlafqualität

Die Schlafqualität ist kein klar definierter Begriff, welches die empirische Evaluation erschwert. Zunächst ist die Qualität des Schlafes eine subjektiv geprägte Kategorisierung. In der Tat setzten viele Studien allein auf Fragebögen, um die Schlafqualität zu ermitteln (66–68). Dabei findet der Pittsburgh Sleep Quality Index (69) besonders häufig Verwendung. Dieser Fragebogen erfasst schlafrelevante Daten der letzten vier Wochen. Insgesamt erfragt er 19 Items, welche sieben Komponenten zugeordnet werden. Die Komponente „subjektive Schlafqualität“ wird dabei nur durch ein Item repräsentiert. Dennoch gilt er als zuverlässiges Instrument, um die Schlafqualität der Befragten abzubilden und diese in gute und schlechte Schläfer zu unterscheiden.

Da die vorliegende Studie jedoch das subjektive Erleben von insgesamt zwei Nächten vergleicht, schied ein retrospektiver Fragebogen mit Erfassung der vergangenen Wochen aus. In dieser Studie wurde sich für eine andere Herangehensweise entschieden. Zur Rekrutierung einer homogenen Probandenkohorte erfolgte im Vorfeld die Abfrage nach regulären Schlafgewohnheiten im Anamnesegespräch. Zusätzlich erfolgte die Erhebung des SF-B Fragebogens (63), welcher die Schlafgewohnheiten und das Schlaferleben der vergangenen 2 Wochen erfasst. Dieser Fragebogen beruht insgesamt auf 29 Items und lässt unter anderem eine Differenzierung in Schlafqualität (SQ) oder das Gefühl des Erholtseins nach dem Schlaf (GES) zu.

Für die Erfassung der subjektiven Schlafqualität während der Studie wurden Fragebögen und Scores herangezogen, welche verschiedene Informationen zum Schlaf zeitnah in den einzelnen Testnächten sammelten. Dabei kamen die Karolinska Schläfrigkeits-Skala, der Schlaffragebogen-A, sowie der nicht standardisierte Charité Fragebogen zum Schlafkomfort zum Einsatz. Alle Fragebögen wurden direkt nach den Testnächten vom Probanden ausgefüllt, der KSS jeweils vor und nach einer Testnacht.

Es ist zu betonen, dass der Schwerpunkt dieser Studie nicht allein bei der allgemeinen Schlafqualität der Probanden lag, sondern dass das spezifische Erleben der Bettstätte von besonderem Interesse war. Es ist jedoch noch nicht wissenschaftlich evaluiert, mit welchen gezielten Fragen der subjektive Einfluss der Qualität der Bettstätte auf den Schlaf beschrieben werden kann oder ob es beispielsweise die Polysomnografie zur Objektivierung braucht. Demnach steht der bisher noch nicht standardisierte Charité Fragebogen zum Schlafkomfort für den Versuch diesen Eindruck gezielt zu erfragen. Es besteht weiterer Forschungsbedarf um die Schlafmedizin in diesem speziellen Themengebiet voranzubringen.

Letztendlich wurden in dieser Studie subjektive und objektive Methoden zur Evaluation des Schlafeindrucks kombiniert, um ein gutes Abbild der Schlafqualität nach dem heutigen Stand der Forschung darzustellen.

4.2 Diskussion der Studien- und Rahmenbedingungen

Im Folgenden werden verschiedene Bedingungen dieser Studie betrachtet und ihre Vor- bzw. Nachteile erörtert.

a) Durchführung der Testnächte von März bis August

In dieser Studie fielen die durchgeführten Testnächte in den Frühling und den Sommer. Die Raumtemperatur im Schlaflabor wurde konstant mittels Klimaanlage auf 21° Celsius gehalten. Die Studie betrachtete jedoch nicht die Jahreszeit und die damit verbundenen Wechsel der Außentemperaturen und Luftfeuchtigkeit. Andere Studien zeigten jedoch, dass dies bereits auch einen Einfluss auf die Schlafarchitektur haben kann. In einer japanischen Studie von 2010 (70) wurde der Einfluss der Jahreszeit auf den Schlaf und die Hauttemperatur von 19 älteren Probanden untersucht. Im Unterschied zu der vorliegenden Studie wurden die Testnächte in der Häuslichkeit und ohne konstante Einstellung der Schlafzimmertemperatur ermittelt. Bei gestiegenen Raumtemperaturen und Luftfeuchtigkeit im Sommer reduzierte sich die totale Schlafzeit und die Schlafeffizienz sank signifikant im Vergleich zum Winter und Herbst. Diese Ergebnisse wurden ohne weiterführende Veränderung der Schlafbedingungen

ermittelt und weisen auf einen deutlichen Einfluss der Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit auf den Schlaf. In der vorliegenden Studie wurde eine konstante Raumtemperatur gewählt, um eben diese Einflüsse der Außentemperatur weitestgehend zu minimieren. Zudem bestehen die signifikanten Unterschiede vor allem zwischen Sommer und Herbst bzw. Winter. Da sich diese Studie über Frühjahr bis Sommer erstreckte, sind ähnlich signifikante Auswirkungen nicht anzunehmen.

b) Randomisierung der Reihenfolge der Schlafstätten

Durch die Randomisierung sollte unter anderem die Auswirkung eines möglichen „first night effects“ vermieden werden. Dieser Effekt beschreibt das Phänomen, dass Menschen in der ersten Nacht in neuer und ungewohnter Umgebung schlechter schlafen und diese Auswirkung auch polysomnografisch in der Schlafarchitektur messbar ist (71). Erst 2016 beschrieben Masako Tamaki et al. (72) erstmals einen unterschiedlichen Wachheitsgrad der beiden Gehirnhemisphären während des Schlafes als ein anatomisch funktionelles Korrelat für diesen Effekt. Um zu vermeiden, dass dieser Effekt die Ergebnisse dieser Studie verfälscht, wurde die Probandenkohorte nach Einschluss in die Studie doppelt verblindet jeweils einer Sequenzgruppe zugeordnet. Somit schliefen 15 Probanden als erstes auf der Matratze mit erhöhter Wärmekapazität und 18 Probanden auf der Vergleichsmatratze. Dennoch hätte eine Adaptationsnacht den Probanden eventuell geholfen sich an die ungewohnte Laborsituation zu gewöhnen, welches unter Umständen zu einem insgesamt verbesserten Schlaf der Probanden auf den beiden Testmatratzen geführt hätte.

c) Eine Woche Auswaschphase zwischen den Testnächten

Zwischen den beiden Testnächten muss gemäß dem Cross-Over Designs eine Auswaschphase geschaltet sein, um eventuelle Überhangseffekte auszuschließen. Diese Auswaschphase betrug bei fast allen Probanden genau eine Woche, aufgrund von Problemen im Ablauf der Studie mussten jedoch 4 Probanden eine Testnacht wiederholen, welches zu einem längeren Pausenintervall führte. Da dieses Zeitintervall der Reduzierung eines möglichen Überhangseffektes diene, ist davon auszugehen, dass die Wiederholungsnächte bzw. die verlängerte Zeit zwischen den Nächten keinen Einfluss auf die Messergebnisse hatte.

d) Raumtemperatur bei konstanten 21 ° Celsius

Im Schlaf gibt der Körper Wärme ab, die Wärmeverlagerung folgt aus dem Körperkern in die Körperperipherie. Diese Wärmeverteilung vollzieht sich vor allem in der ersten Stunde nach dem das Licht ausgeschaltet wurde. Der Körper erreicht einen vollkommen entspannten Modus, es wird keine Wärme mehr umgelagert. Dieser Zustand ist jedoch anfälliger dafür schnell auszukühlen. Obwohl im NREM-Schlaf noch eine Regulierung der Körperkerntemperatur möglich ist, kann der menschliche Körper im REM-Schlaf seinen Temperaturhaushalt nicht mehr ausreichend beeinflussen. Die sogenannte thermoneutrale Zone beschreibt eine Temperaturspanne der Umgebung in welcher der Körper allein durch vasomotorische Aktivität seine Temperatur regulieren kann. In dieser Zone scheint der Mensch besonders gute Bedingungen für seinen Schlaf zu finden, hier wurden in Studien die höchsten TST gemessen (73).

Eine Studie von Li Lan et al. (51) lotet den Einfluss auf die Schlafqualität bei unterschiedlichen Temperaturen aus und bestärkt die Annahme, dass die Umgebungstemperatur ein zentraler Einflussfaktor auf den Schlaf ist. Die Forscher untersuchten den Schlaf von 18 gesunden

Probanden zwischen 20 und 25 Jahren in der Sommerzeit in Shanghai. Jeder von ihnen schlief eine Nacht in einem klimatisierten Raum bei eingestellten 23°C, 26°C, sowie 30°C. Die Ergebnisse zeigen, dass die unterschiedlichen Raumtemperaturen einen signifikanten Einfluss auf die Schlafqualität hatten. Hierbei schliefen die Probanden insgesamt bei 26°C am besten, mit einer kürzeren Einschlafphase, längerer SWS Schlafphase und subjektiv besserer Schlafqualität gegenüber den Nächten bei 23°C und 30°C.

Auch die vorliegende Studie war bestrebt eine Raumtemperatur einzustellen, in denen die Probanden optimale Schlafvoraussetzungen vorfinden konnten. Jedoch ist bislang keine allgemeingültige Aussage über die Spannbreite der thermoneutralen Zone möglich. Zu viele Faktoren wie unterschiedliche regionale Temperaturunterschiede, Verwendung unterschiedlichster Schlafstätten, sowie Schlafgewohnheiten erschweren eine Vereinheitlichung (50). Am Beispiel der oben genannten Studie von Li Lan et al. wird die schlechte Übertragbarkeit der Ergebnisse deutlich, stellt ein Sommer in Shanghai mindestens klimatisch eine andere Ausgangssituation verglichen mit einem Berliner Frühling bzw. Sommer dar.

Die World Health Organization empfiehlt am ehesten kalte (Schlaf-)Zimmer auf ein Minimum von 18 ° Celsius zu erwärmen, allerdings unter dem Gesichtspunkt eines reduzierten Risikos für respiratorische Mortalität und Morbidität (74).

e) Ausschließlich männliche Probanden

Da diese Studie einen Schwerpunkt auf Temperaturverläufe und deren Auswirkungen auf die Schlafqualität legt, wurde eine homogene und damit gut vergleichbare Kohorte an Probanden angestrebt. Durch den Menstruationszyklus unterliegt die Körperkerntemperatur von Frauen, einer periodischen Schwankung, meist in einem 28 Tage Rhythmus. Mit dem Eisprung steigt die Temperatur Gestagen bedingt um bis zu 0,5° Celsius und sinkt mit dem Eintreten der Menstruation wieder ab (23). Im Zuge des Klimakteriums sind weitere starke hormonelle und somit auch thermische Veränderungen zu erwarten. Bei Männern ist eine solche monatliche Schwankung nicht beschrieben und auch eine vergleichbare drastische Veränderung im Alter ist bei Männern nicht zu beobachten.

Zusätzlich werden geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Wärmeregulation und des Temperaturempfindens beschrieben (75). Unter anderem präferieren Frauen eine höhere Raumtemperatur zum Schlafen als Männer oder haben eine durchschnittlich schlechtere Schlafqualität. Für eine einfachere Planung der Studie und bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden für diese Studie deshalb nur männliche Probanden ausgewählt. Weitere Untersuchungen, welche auch Frauen miteinschließen, sollten zukünftig angestrebt werden.

f) Anzahl der Probanden

Die Powerkalkulation für den Primärparameter SWSL wurde in der Vorbereitung der Studie durch einen Statistiker ermittelt. Entsprechend des gewählten Studiendesigns errechnete dieser eine Probandenanzahl von N=31. Diese Anzahl sollte eine 5-minütige Verringerung der SWSL nachweisen können. Bei angenommenen 3-4 Drop-outs wurden daher N=36 Probanden in die Studie eingeschlossen werden. Abschließend konnte kein signifikantes Ergebnis für die SWSL nachgewiesen werden. Jedoch ist mit einem signifikanten Unterschied für SWS in Minuten und in Zusammenschau mit den erhobenen objektiven Parametern ein klarer Trend zu erkennen. In weiterführenden Studien könnte dieses Ergebnis durch eine größere Proban-

denkohorte optimiert werden. Zudem sollte man sich weiterhin bemühen starke Ausreißer zu vermeiden, indem man zum Beispiel eine Adaptationsnacht vorschaltet, um eventuelle Panikattacken während der Studie zu vermeiden.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

4.3.1 Temperaturverlauf der Matratzenoberfläche und der Körperkerntemperatur

In dieser Studie wurde der Schlaf auf einem Bettsystem mit hoher Wärmekapazität der Oberfläche dem Schlaf auf einem Bettsystem mit niedriger Wärmekapazität gegenübergestellt. Der Unterschied in der Wärmekapazität beeinflusste den Temperaturverlauf der Matratzenoberflächen deutlich. Insgesamt erwärmte sich die Oberfläche der Matratze mit der höheren Wärmekapazität (MH) langsamer im Verlauf der Nacht als die MN.

In der Pilotstudie von Kräuchi et al. (54) konnte bereits gezeigt werden, dass die KKT während des Schlafes durch eine hohe Wärmekapazität der Matratzenoberfläche beeinflusst wird. Dies bestätigen die vorliegenden Ergebnisse. Im Vergleich mit der MN weisen die Probanden beim Schlaf auf der MH eine signifikant niedrigere KKT auf. Im Verlauf der 8-stündigen Testnacht ist die durchschnittliche KKT auf der MN stets niedriger als auf der MH gemessen worden. Die Matratzenoberfläche mit höherer Wärmekapazität unterstützt die physiologische Wärmeabgabe des Körpers während der Nacht, der Körper kann auf der MH mehr Wärme an die Unterlage abgeben als auf der MN.

In der Pilotstudie (54) wurde die Wärmeabgabe noch genauer untersucht und als überwiegende konduktive Wärmeabgabe vom Körperstamm an die Matratzenoberfläche beschrieben. Dies bestätigt auch der Artikel von Herberger (76), welcher einen Schwerpunkt auf die Analyse der Hauttemperaturen legt.

4.3.2 Objektive Schlafqualität: Tiefschlafphasenlatenz und Schlafeffizienz

Eine einheitliche und standardisierte Definition der Begrifflichkeit der Schlafqualität ist derzeit in der Schlafforschung nicht vorhanden. In dieser Studie wird die objektive Schlafqualität durch die Tiefschlafphasenlatenz und die Schlafeffizienz abgebildet. Diese Parameter haben sich als Indikatoren für guten bzw. schlechten Schlaf bereits in vielen Schlafstudien bewährt.

Durchschnittlich war die Latenz bis zur ersten Tiefschlafphase auf der Matratze mit hoher Wärmekapazität (MH) rund 8 Minuten kürzer als auf der Matratze mit niedriger Wärmekapazität (MN). Insgesamt brauchten die Probanden auf der MH durchschnittlich 43,1 Minuten und auf der MN 51 Minuten, um zum ersten Mal in die Tiefschlafphase zu fallen.

Die Probanden schliefen mit durchschnittlich 396,6 Minuten auf der MH rund 8 Minuten länger als auf der MN, dies ergab einen Unterschied in der Schlafeffizienz von 2 % (83% auf der MH vs. 81% auf der MN).

Eine statistische Signifikanz erreichten die erhobenen Daten nicht. Dennoch lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass eine stärkere Senkung der KKT zum Beginn der Nacht mit einer

verbesserten Schlafqualität assoziiert ist, abgebildet als Tiefschlafphasenlatenz und Schlafeffizienz.

Vorangegangene Studien zeigten, dass vor und um den Schlafbeginn Wärme vom Körperkern in die distalen Hautregionen durch eine Zunahme der Blutperfusion abgegeben wird (32). Dies resultierte in einer Reduktion der KKT. Dabei wird eine Reduktion der KKT in einigen Studien mit einer Förderung des Tiefschlafs in Verbindung gebracht (54,77).

Die MH verstärkt durch die hohe Wärmekapazität der Oberfläche die natürliche Wärmeabgabe des Körpers in der Nacht, die KKT sinkt schneller ab. An den erhobenen Daten ist abzulesen, dass eine Beeinflussung durch milde thermische Intervention während des Schlafens durch die Beschaffenheit der Matratzenoberfläche auf die Schlafqualität möglich ist.

Insgesamt gibt es jedoch nur wenige Studien, welche die thermischen Eigenschaften der Schlafstätte in Zusammenhang mit der Schlafqualität setzten.

Die initiale Pilotstudie von Kräuchi et al. von 2018 (54) untersuchte vorrangig den Einfluss der milden Körperkernkühlung durch die MH auf die KKT und den SWS. Objektive Parameter der Schlafqualität wurden erhoben, jedoch nicht primär als solche betrachtet. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der TST oder Schlafeffizienz, welches mit den Ergebnissen dieser Studie übereinstimmt. In der Pilotstudie betrug die Schlafeffizienz bei den untersuchten 15 jungen Probanden auf der MN 93,09 %, auf der MH 89,15 %. Insgesamt erreichten die Unterschiede keine statistische Signifikanz. Verglichen mit der Pilotstudie ist die Schlafeffizienz insgesamt niedriger (80–83% vs. 89–93%). Diese Diskrepanz ist zum Beispiel durch den Altersunterschied der Probandenkohorte erklärbar. Zudem wurden in der Pilotstudie Adaptationsnächte vor den Testnächten durchgeführt, welches durchaus zu einer verbesserten Schlafeffizienz geführt haben könnte (71).

Eine 2018 veröffentlichte japanische Studie untersucht ebenfalls zwei unterschiedliche Matratzenoberflächen im Hinblick auf den Verlauf der KKT und den Tiefschlaf (78). In einer randomisierten, einfach verblindeten Cross-Over Studie wurde der Schlaf von jungen, gesunden Probanden (N=10, 26.7±7.7 Jahre alt) und älteren, gesunden Probanden (N=20, 61.2±3.2 Jahre alt) untersucht. Diese schliefen nach einer Adaptationsnacht jeweils eine Nacht auf einer Matratze mit einer Auflage mit hohen (HR) und niedrigen (NR) Rebound Eigenschaften. Die Auflagen waren etwa gleich groß und mit 3,5 cm gleich dick, unterschieden sich jedoch in ihrer Materialzusammensetzung. Die HR Auflage wurde aus Kunstharzfasern aus Polyethylen gefertigt, die LR Auflage aus einem Formgedächtnis-Polymer bzw. Memory Foam. Das Hauptergebnis war eine signifikante Reduktion der KKT in der ersten Hälfte der Nacht in beiden Kohorten auf der HR. Dabei betrug das Temperaturminimum in der jüngeren Kohorte auf der HR 36.05°C und auf der LR 36,35 °C, jeweils gegen 02:00 Uhr. Damit assoziiert war eine Zunahme an SWS. Dies ist ein interessantes Ergebnis, da diese Matratzenauflagen nicht primär thermische Eigenschaften vermuten lassen. Dennoch scheint auch diese Materialzusammensetzung für eine milde thermische Intervention geeignet zu sein. Leider erhebt die Studie keine Haut- oder Matratzentemperaturen, welches keinen direkten Vergleich mit den Matratzeneigenschaften dieser Studie zulässt.

Chiba et al. (78) erhoben zusätzlich Parameter der objektiven Schlafqualität, unter anderem total sleep period (SPT), total sleep time (TST), sleep latency (SL), REM latency und sleep efficiency (SE). Die Schlafeffizienz wird zweimal erhoben, SE1 als Quotient aus TST/TSP

und SE2 als Quotient aus TST/TIB (time in bed). Die SE2 betrug auf der HR $89,29\% \pm 3,6$ und auf der LR $92,28\% \pm 1,62$ (n.s., p-Wert = 0,6) in der jungen Probandenkohorte. In der älteren Kohorte wurde eine SE2 von $79,46\% \pm 2,78$ auf der HR und $81,17\% \pm 3,31$ auf der LR (n.s., p-Wert = 0,72) ermittelt. Der Unterschied zwischen den Kohorten innerhalb der Studie in der Schlafeffizienz ist durch den Altersunterschied erklärbar. Die Altersspanne der Probanden der vorliegenden Studie befindet sich zwischen denen der japanischen Studie. Die ermittelte Schlafeffizienz von 83% bzw. 81% stimmt mit der Erkenntnis der reduzierten Schlafeffizienz im Verlauf des Alters überein (58). Anders als erwartet ist die Schlafeffizienz bei Chiba et al. jeweils in der Nacht auf der HR etwas niedriger, also in der Nacht in der eine signifikante Reduktion der KKT und ein Anstieg des SWS gemessen wurde. Dies könnte dagegen sprechen, aus der Tendenz der vorliegenden Studie mit leicht erhöhter Schlafeffizienz in den Nächten auf der MH, einen Trend für bessere Schlafqualität, zumindest im Sinne einer erhöhten Schlafeffizienz, zu interpretieren. Wiederum sind die Parameter der sleep latency und der REM latency auf der HR minimal kürzer, welches als Ausdruck einer erhöhten Schlafqualität gedeutet werden könnte.

Grundsätzlich sind aufgrund der fehlenden Signifikanz der Daten diese Betrachtungen vorerst nur als Interpretation zu verstehen. Zusätzlich ist der Vergleich der Schlafqualität dadurch erschwert, dass es derzeit keine standardisierten Parameter für die Darstellung der objektiven Schlafqualität gibt. In der vorliegenden Studie wurde die SWSL als Ausdruck für guten Schlaf gewählt, in der japanischen Studie wurde die allgemeine Schlaflatenz bzw. die Latenz bis zur ersten Aufzeichnung von REM gewählt. Dies erschwert einen einheitlichen Vergleich und sollte Gegenstand weiterer Studien sein.

Darüber hinaus gibt es einige Studien, welche auf anderem Wege die Temperatur beeinflussen und die Effekte dieser Interventionen auf die Schlafqualität untersuchen.

Eine 2019 publizierte Metaanalyse untersuchte die Effekte passiver körpererwärmender Intervention mit Wasser, wie sie zum Beispiel bei Fußbädern oder warmen Duschen zum Tragen kommen (79). Verglichen wurden die Effekte unter anderem auf die Parameter der Einschlafatenz, TST, SE, SWS und der subjektiven Schlafqualität. In den 13 untersuchten Studien waren die körpererwärmenden Anwendungen bei einer Wassertemperatur von $40-42,5\text{ °C}$ mit einer subjektiven Verbesserung der Schlafqualität und der Schlafeffizienz assoziiert. Bei Anwendungen 1-2 Stunden vor dem Zubettgehen zeigte sich eine signifikante Reduktion der Einschlafatenz. Diese Ergebnisse zeigen auf, dass auch anderweitige thermische Interventionen positiven Einfluss auf die Schlafqualität nehmen können. Daraus abgeleitete allgemeingültige Empfehlungen sind jedoch derzeit nicht möglich, insbesondere für die optimale Zeitdauer und Timing der Anwendungen gibt es derzeit keine einheitlichen Ergebnisse.

In der explorativen Studie von Zulley et al. (48) ist es nicht die Matratze, sondern die Bettdecke, welche unter anderem im Hinblick auf ihre Auswirkung auf die objektive Schlafqualität untersucht wurde. Dabei stand die Überlegung im Mittelpunkt, inwiefern das Betthöhlenklima, ermittelt aus Temperatur und Luftfeuchtigkeit, den Schlaf beeinflusst. Untersucht wurden insgesamt 12 Probanden, davon jeweils 6 Männer und 6 Frauen, mit einem durchschnittlichen Alter von $40,1 \pm 8,9$ Jahren und einem durchschnittlichen BMI von $23,4\text{ kg/m}^2$. Es wurde in den meisten Fällen (N=6) in der Betthöhle eine niedrigere Temperatur und Luftfeuchtigkeit unter der Klimadecke im Vergleich zur Standarddecke ermittelt. Insgesamt (N=12) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Testbedingungen. Die Schlafla-

tenz, hier als Einschlaflatenz zu S2 und REM-Latenz betrachtet, unterschieden sich kaum, ebenso wie die Schlafeffizienz (89,4% bei der Standarddecke vs. 92,4% bei der Klimadecke). Zwei der größten Unterschiede ergaben sich für die TST, mit etwa 26 Minuten längerer Gesamtschlafdauer und den Arousal-Index (Reduktion um 1,14 Arousal/h) unter der Klimadecke. Auch wenn die Studie keine signifikante Korrelation zwischen Betthöhlenklima und Schlafparameter nachweist, stellt sie eine interessante Erweiterung thermophysilogischer Betrachtungen um den Parameter der Luftfeuchtigkeit innerhalb der Betthöhle dar. Dies könnte in weiteren Studien die Betrachtung thermischer Interventionen ergänzen, da beide Faktoren, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit, zum Raumklima beitragen, wie es bereits in einigen Studien der Fall ist (51,80).

4.3.3 Schlafstadien-Verteilung

In der Betrachtung der absoluten Werte der Schlafstadien ergab sich auf der MH ein signifikant verlängertes Schlafstadium N3 (in Minuten) um 11,4 % im Vergleich zur MN. Der Vergleich der anderen Schlafstadien in absoluten Werten ergab keinen signifikanten Unterschied. Der spezifische Anstieg von SWS weist daraufhin, dass der Anstieg nicht auf Kosten eines anderen Schlafstadiums ging.

Die Betrachtung der Schlafstadien-Verteilung über die Nacht ergab eine insgesamt physiologische Schlafarchitektur der Probanden in beiden Testnächten (siehe Abbildung 13-18).

Der höchste Anteil von „Wach“ wurde für beide Bedingungen naturgemäß zu Beginn der Testnächte ermittelt. Bereits wenige Minuten nach „Licht aus“ schiefen dann die ersten Probanden in beiden Testnächten ein (siehe Abbildung 13). Der Anteil von „Wach“ reduziert sich für beide Probandengruppen in der ersten Stunde mit einem ähnlichen Verlauf. Zu Beginn der Nacht scheinen die unterschiedlichen Bettsysteme also keinen Unterschied auf das Einschlaf-tempo der Probanden zu haben.

Die Differenzkurve zeigt entsprechend den Mittelwertverläufen in der ersten Nachthälfte überwiegend positive, ab 04:20 überwiegend negative Werte auf (siehe Abbildung 14). In der zweiten Nachthälfte wurde also durchschnittlich mehr „Wach“ auf der MN als auf der MH gemessen. Dies bedeutet, dass in der zweiten Nachthälfte die Probanden auf der MH „mehr schlafen“ als auf der MN. Diese Beobachtung deckt sich mit dem Ergebnis für den Parameter der TST. Nach diesem Parameter schiefen die Probanden auf der MH ebenfalls länger.

Die Verteilung von N3 entspricht ebenfalls für beide Bedingungen dem physiologischen Verlauf in der Schlafarchitektur. Das Maximum des Tiefschlafes findet sich im ersten Schlafzyklus, dann nimmt der Anteil an N3 über die Nacht hin ab.

Die mittleren Differenzen für N3 zeigen vor allem ab dem zweiten Nachtdrittel mehr positive als negative Werte auf (siehe Abbildung 16). Dies bedeutet, dass zu Beginn der Testnächte für MN mehr N3 gemessen wurde. Im weiteren Verlauf wurde dann durchschnittlich mehr N3 auf der MH als auf der MN gemessen. Für dieses Schlafstadium ergab sich ein signifikanter Unterschied in den absoluten Werten (siehe Tabelle 6).

Entsprechend der physiologischen Abfolge in den Schlafzyklen tritt der REM-Schlaf für beide Testnächte mit zeitlicher Verzögerung nach „Licht aus“ auf. Der Schlaf setzt sich aus periodisch wiederkehrenden Schlafzyklen zusammen, welches an der Darstellung von der Verteilung von REM gut sichtbar wird (siehe Abbildung 17). Auch die Zunahme vom REM-Schlaf

im Verlauf der Nacht wird in dieser Darstellung deutlich. Insgesamt scheint sich jedoch kein wesentlicher Unterschied in der Verteilung von REM zwischen MH und MN abzubilden.

In der initialen Pilotstudie von Kräuchi et al. von 2018 (54) schliefen 15 gesunde, männliche Probanden in einer randomisierten und einfach verblindeten Cross-Over Studie jeweils eine Nacht auf der MH und auf der MN. Die Probanden zeigten auf der MH mit 16 % signifikant mehr SWS im Vergleich mit der MN und zusätzlich einen geringeren Anteil des REM-Schlafes in der zweiten Hälfte der Nacht. Die Ergebnisse der Pilotstudie hinsichtlich der Schlafstadien-Verteilung für SWS werden durch die vorliegende Arbeit bestätigt. Die Ergebnisse zur Reduktion von REM in der zweiten Nachthälfte können anhand dieser Studie jedoch nicht reproduziert werden. Dabei ist zu beachten, dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse nur eingeschränkt möglich ist. Kräuchi et al. haben die Parameter für N3 und REM als getrennten Datensatz für eine erste und zweite Nachthälfte in einer cumsum Analyse untersucht (erste 190 Minuten der Testnacht vs. Minute 190-450 nach „Licht aus“). Dabei zeigten N3 und REM einen selektiv in der zweiten Nachthälfte signifikanten Unterschied zwischen MH und MN, wobei die beiden Schlafstadien inverse Effekte aufweisen.

Die Ergebnisse einer gegensinnigen Regulation von N3 und REM unter milder thermischer Kühlung finden sich auch in anderen Studien wieder. Togo et al. (81) untersuchten den Einfluss auf die Schlafstadien-Verteilung unter unterschiedlichen Raumtemperaturbedingungen (N=7, durchschnittliches Alter 26 Jahre). Anders als in der vorliegenden Arbeit wurden die Untersuchungs Nächte ohne Bettdecke oder Bekleidung, bis auf die Unterwäsche, durchgeführt. Die Raumtemperatur wurde mittels Klimaanlage in einer Kontrollnacht bei konstanten 29,5 °C eingestellt, in der Testnacht wurde die Raumtemperatur ausgehend von 29,5 °C über 60-240 Minuten auf 27, 5°C abgesenkt und dann wieder langsam auf den Ausgangswert zurückgeführt. Um störende Arousals durch Gegenregulationen des Körpers zu vermeiden, wurde dieses Temperaturfenster gewählt, da es in einigen Studien als thermoneutrale Zone für nackte Menschen beschrieben wird. Unter der langsamen Reduktion der Raumtemperatur in der Testnacht ergaben sich allem voran eine signifikant reduzierte KKT und ein deutlicher Anstieg des SWS (N3+N4). Die kumulative Dauer von REM stieg in der Testnacht jedoch langsamer an als in der Kontrollnacht (ab 150 Minuten nach „Licht aus“).

Auf der anderen Seite gibt es jedoch auch Studien, welche unter Reduktion der KKT, einen Anstieg von REM in der zweiten Nachthälfte darstellen. Unter anderem beschrieben Dewasmes et al. (82) bei dynamischer Veränderung der Raumtemperatur eine signifikant schnellere Reduktion der KKT, sowie einen Anstieg der kumulativen Dauer von REM-Schlaf in der zweiten Nachthälfte. Ähnlich wie bei Togo et al. wurden die Unterschiede zwischen einer Kontrollnacht (konstante 29°C Raumtemperatur) und einer Testnacht (kontinuierliche Temperaturänderung von 29°C auf 26°C von 23:00-01:00 Uhr; 26°C-32°C von 01:00-05:00 Uhr; 32°- 29°C von 05:00-07:00 Uhr) ermittelt. Eine gesonderte Betrachtung von SWS wurde nicht durchgeführt.

Es ist möglich, dass SWS und REM abhängig voneinander reguliert werden. Inwiefern sich jedoch diese physiologischen Regelgrößen zueinander verhalten bzw. wie sie reguliert werden, verbleibt Gegenstand zukünftiger Untersuchungen der Grundlagenforschung.

In diesem Zuge fand die Betrachtung der vorliegenden Daten Eingang in den 2020 im internationalen Journal für Schlafforschung SLEEP® veröffentlichten Artikel von Sebastian Herberger et. al. (76). In diesem Paper wird zusätzlich im Rahmen einer EEG Spektralanalyse der Parameter der standardisierten Slow Wave Energy (sSWE, 0.791–4.297 Hz) erhoben, welcher signifikant mit den Veränderungen der KKT in der zweiten Nachthälfte korrelierte. Insgesamt konnten jedoch aufgrund der relativ kleinen Probandenanzahl der Studie bisher nur relativ einfache multivariable statistische Analysen durchgeführt werden. Um die physiologischen Zusammenhänge zwischen Temperatur- und Schlafstadien-Verlauf noch besser zu verstehen, wäre beispielsweise die Überprüfung der Wechselbeziehung von Variablen über den Verlauf einer Testnacht sinnvoll.

Chiba et al. (78) vergleichen in der oben genannten Studie den Schlaf auf zwei unterschiedlichen Matratzenauflagen, der HR und der LR (high-rebound und low-rebound) in einer jungen und älteren Probandenkohorte. Es wird ein signifikanter Abfall der KKT in der ersten Nachthälfte auf der HR beschrieben. Die Schlafstadien-Verteilung weist im Verlauf der Nacht dennoch keine signifikanten Unterschiede auf. Erst in der Betrachtung von N3 und N4 in Minuten in Bezug auf zusammengefasste zwei stündige Zeitabschnitte der Nacht ergab sich für N4 ein signifikanter Anstieg in der Kohorte der jungen Probanden auf der HR in der ersten Nachthälfte. Zusätzlich vertiefte die Studie mittels EEG Spektralanalyse die Analyse der SWS Verteilung. Dabei konnte ein signifikanter Anstieg des EEG-definierten Tiefschlafs in beiden Probandenkohorten, in diesem Fall in der ersten Nachthälfte, beobachtet werden (+27.8% in der jungen Kohorte, +24.7% in der älteren Kohorte zwischen 11:00–01:00 Uhr). Dies bestätigt nochmals die Assoziation zwischen einer Reduktion der KKT mit einem Anstieg des Tiefschlafes.

Die vorgestellten Studien erfassen unter den thermischen Interventionen wiederholt einen Anstieg des Tiefschlafes. Zusammen mit dem REM-Schlaf werden diesen Schlafperioden eine zentrale Rolle in der Optimierung der Gedächtniskonsolidierung zugeschrieben (13). Zudem ist der Tiefschlaf assoziiert mit Schlafkontinuität. Studien mit Unterbrechung des Tiefschlafs führten zu einer Reduktion der Schlafqualität, eine mögliche Beeinträchtigung für die Tagesleistung wird diskutiert (55). Eine milde thermische Intervention könnte also nicht nur eine bessere Schlafqualität für das Individuum schaffen, sondern auch die positiven Effekte des Schlafes auf die Gedächtnisleistung und damit auf die Tagesleistung steigern.

4.3.4 Subjektiver Schlafeindruck

Um ein umfassendes Abbild der Schlafqualität darstellen zu können, wurde die Betrachtung der objektiven Schlafqualität mittels Fragebögen um den Aspekt der subjektiven Schlafqualität bzw. der individuellen Wahrnehmung der Probanden ergänzt.

Insgesamt konnte in dieser Studie keine deutliche veränderte Wahrnehmung der Schlafqualität nachgewiesen werden. Zwischen den subjektiven Beurteilungen und den dazugehörigen objektiven Befunden besteht jedoch generell Übereinstimmung.

Die KSS bildet die Schläfrigkeit zum Zeitpunkt der Erhebung ab, welcher in dieser Studie vor und nach der jeweiligen Testnacht erhoben wurde. Die Auswertung der KSS ergab für die Schläfrigkeitsreduktion nach beiden Nächten keinen signifikanten Unterschied. Insgesamt bildet die KSS eine sehr ähnliche Reduktion der Schläfrigkeit durch beide Testnächte von „Weder wach noch schläfrig“ am Abend vor dem Zubettgehen auf „Wach“ am Morgen ab

(auf MH: $5,2 \pm 1,3$ abends vs. $3,5 \pm 1,4$ morgens/ auf MN: $5,6 \pm 1,3$ abends vs. $3,4 \pm 1,4$ morgens, siehe Tabelle 7-8).

Der SF-A dient zur quantitativen und qualitativen Beschreibung und Bewertung des Schlafverhaltens und Schlaferlebens der vergangenen Nacht (63). Die Auswertung des SF-A bezüglich der Schlafqualität für beide Nächte ergab keine signifikanten Unterschiede ($2,8 \pm 0,7$ vs. $2,7 \pm 0,6$; n.s. mit $p = 0,64$, siehe Tabelle 9). Insgesamt wird die Schlafqualität auf einer Skala von 1: fehlende Schlafqualität bis 5: sehr gute Schlafqualität beschrieben. Die Schlafqualität ist damit für beide Testnächte im Durchschnitt als mittel einzuschätzen. Görtelmeyer (64) erfasste für $N=302$ schlafgesunde Probanden im Alter zwischen 20-60 Jahren Vergleichswerte für die Schlafqualität von 3,5. Die Schlafqualität der Probanden dieser Schlafstudie liegt mit durchschnittlich 2,8 bzw. 2,7 etwas darunter, was unter anderem am höheren Lebensalter der Probandenkohorte liegen könnte.

Der Charité Fragebogen, ein nicht standardisierter Fragebogen, wurde an der Charité im Zuge vorangegangener Studien entwickelt. Insgesamt beschreiben die Probanden den Schlaf in beiden Testnächten als komfortabel (siehe Tabelle 11). Im Durchschnitt wurde kein Einfluss der Matratze auf die Schlafqualität beschrieben (Frage 6; $3,5 \pm 0,86$ auf A vs. $3,7 \pm 0,55$ auf B) und der Liegekomfort beider Matratzen als ähnlich komfortabel wahrgenommen (Frage 12; $2,1 \pm 0,74$ auf A vs. $2,0 \pm 0,72$ auf B). Interessanterweise gab es dennoch einige Probanden, welche durchaus ein unterschiedliches Temperaturempfinden in Abhängigkeit der jeweiligen Matratze angaben (siehe Abbildung 19). Insgesamt gab es mehr Probanden, welche die MH als (eher) zu kühl empfanden oder die MN als (eher) zu warm. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die kühlenden Eigenschaften der Testmatratze durchaus von den Probanden wahrgenommen wurden.

Andere Schlafstudien verwenden zusätzlich visuelle Skalen zur subjektiven Beurteilung der Schlafqualität der vorangegangenen Nacht (48,54,78).

In der Pilotstudie von Kräuchi et al. (54) wurde eine visuelle Analogskala zur Erhebung des allgemeinen Komforts der vergangenen Nacht erhoben. Auf einer 100 mm Skala (0 mm= extrem unkomfortabel, 100 mm= extrem komfortabel) gaben die Probanden jeweils am Morgen nach den Testnächten ihre Bewertung ab. Dies stellte in dieser Studie das einzige Instrument zur Erhebung der subjektiven Schlafqualität dar. Im Vergleich mit der MN wurde der Schlaf auf der MH als signifikant komfortabler eingeschätzt (MH: 78 ± 4 mm vs. MN: 74 ± 5 mm; $p < 0,05$). Die Signifikanz der subjektiven Schlafqualität der Pilotstudie konnte in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden, wobei sich die Daten nicht grundsätzlich widersprechen. Zu beachten ist dabei, dass aufgrund der unterschiedlichen Erhebung kein direkter Vergleich gezogen werden kann.

Etwas umfangreicher erhob die oben genannte Studie um Chiba et al. den subjektiven Schlafeindruck. Am Morgen nach den Testnächten zwischen 7:00 und 8:00 Uhr bewerteten die Probanden mittels visueller Analogskala ihren Schlafstatus. Vor und nach der Testnacht wurden mittels visueller Analogskala zusätzlich die Leistungsfähigkeit und die Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS) erhoben. In der jungen Kohorte tendieren die Ergebnisse der visuellen Analogskalen für den Schlafstatus und der Leistungsfähigkeit nach der Nacht auf der HR besser zu sein als im Vergleich zur LR. Für die SSS ergab sich nur ein geringfügiger Unterschied. Keines der Ergebnisse erreichte Signifikanzniveau. In der älteren Kohorte unterschied-

den sich die Ergebnisse zwischen den beiden Testnächten kaum. Die Daten stimmen insofern mit dieser Arbeit überein, als dass tendenziell der Schlaf bei signifikanter Reduktion der KKT und höherer SWS als besser bewertet wurde, dies jedoch nicht sicher nachgewiesen werden konnte. Inwiefern der Unterschied in der subjektiven Wahrnehmung zwischen jüngerer und älterer Kohorte mit den unterschiedlich stark ausgeprägten Verläufen der KKT und SWS (signifikant nur in der jüngeren Kohorte) korreliert, verbleibt Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Im Rahmen der explorativen Arbeit über „Auswirkungen passiver Änderungen des Bettklimas auf den Schlaf“ (48) wurden, ebenso wie in der vorliegenden Studie, eine Kombination aus standardisiertem Fragebogen und selbst entwickelten Fragen erhoben. Verwendet wurden der Selbstbeurteilungsbogen für Schlaf- und Aufwachqualität (SSA) und ein selbst entwickelter Fragebogen mit insgesamt 17 Fragen zum allgemeinen Schlafkomfort, sowie im spezielleren nach der Einschätzung von Matratze, Oberbett und Kopfkissen. Der SSA unterscheidet Fragen zur Schlafqualität, Aufwachqualität, sowie zu körperlichen Beschwerden (Gesamtwert zwischen 0-80, je kleiner der Wert, desto geringer die Qualität bzw. deutlicher die Beschwerden) und ergab nur einen minimalen Unterschied mit einem Wert von 25,8 Punkten mit der Standarddecke und 25,5 Punkten mit der Klimadecke. Aus dem selbstentwickelten Fragebogen zum Schlafkomfort wurden 5 Fragen ausgewertet, von denen sich 4 konkret auf die Bettdecke bezogen. Die Antworten wurden mittels visueller Analogskala erfasst (Gesamtwert zwischen 0-10, je höher der Wert, desto negativer die Einschätzung) und ergaben nur bei der Frage nach der Benotung der Bettdecke eine tendenzielle Signifikanz im Sinne einer besseren Bewertung der Klimadecke (p -Wert = 0,067).

Die Kombination aus standardisiertem Fragebogen und selbst entwickelten Fragen scheint sinnvoll, um sich der konkreten Fragestellung der jeweiligen Arbeit besser zu nähern. Selbst entwickelte Fragen sind ein erster wichtiger Schritt in der Erforschung eines spezifischen Themas, im Verlauf sollten solche Fragen jedoch auf ihre Reliabilität und Validität geprüft werden. Mit der gewählten Fragebögen Kombination gelang es in der Studie dennoch nicht, signifikante Unterschiede in der subjektiven Schlafqualität aufzudecken. Es ist möglich, dass die Effekte der Bettdecke tatsächlich zu minimal waren, da auch kein anderer Schlafparameter das Signifikanzniveau erreichte. Dennoch lassen die objektiven Ergebnisse auf eine Tendenz zu einer verbesserten Schlafqualität in einem trockeneren Betthöhlenklima schließen, weshalb weitere Untersuchungen mit größerer Stichprobengröße für eine profunde Beurteilung ausstehen.

Es ist sinnvoll, objektive und subjektive Schlafqualität zu erfassen, um ein ganzheitliches Abbild des Schlafes zu erfassen. Nicht immer sind die Resultate gleichsinnig (83). Zudem lässt sich an den exemplarisch vorgestellten Studien ablesen, dass es auch in der Erhebung der subjektiven Schlafwahrnehmung große Unterschiede gibt. Die Ursache für die vielen inhomogenen Herangehensweisen zur Erfassung der subjektiven Schlafqualität gründet sich wohl darin, dass es keine genaue Definition einer solchen gibt. Unterschiedlichste Parameter haben einen Einfluss auf den Schlaf, unter anderem eben die Temperatur. Jedoch kann man sich auch vorstellen, dass der emotionale Status des Schläfers eine Rolle auf die Wahrnehmung spielt. Diese unterschiedlichen Einflüsse zu differenzieren ist eine Herausforderung. Mit Sicherheit kann man wohl nur davon ausgehen, dass die subjektive Wahrnehmung des Schlafs nicht mit eindimensionalen Fragebögen suffizient abzubilden ist. Dies spiegelt sich unter anderem in der

Fülle der vorhandenen Schlafragebögen ab (84). Es bedarf weiterer Forschungen, um die Vergleichbarkeit der subjektiven Schlafqualität intra- und interindividuell zu verbessern.

Dass das Thema Temperatur und Schlafqualität keine rein medizinische Fragestellung ist, zeigt eine 2020 veröffentlichte Studie im Journal „Science and Technology for the Built Environment“ (80). Der Schlaf von 48 Probanden (22 Männer und 26 Frauen) wurde 5 Tage lang in ihren eigenen Schlafzimmern untersucht und mit dem Raumklima und Belüftungsbedingungen in Beziehung gesetzt. Morgens wurden die subjektive Schlafqualität und die Qualität des Schlafraumes mittels eines online Fragebogens abgefragt, objektive Schlafparameter wurden mittels Armband (Fitbit Charge 2) erhoben. Das Raumklima wurde mit einem SAM-BA IEQ Gerät (Sentient Ambient Monitoring of Buildings in Australia; Indoor environmental Quality) gemessen. Ein Ergebnis der Studie war, dass die subjektive Bewertung der nächtlichen thermischen Empfindung nicht mit den tatsächlichen Raumtemperaturen unter milden thermischen Bedingungen korrelierte. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Probanden ihre Schlafkleidung und Decken individuell auf ihre Bedürfnisse anpassten und das Mikroklima in direkter Umgebung des Probanden nicht erhoben wurde. Ein Ziel der Studie war es, die Daten der Testnächte unter natürlichen Bedingungen zu erheben. Aufgrund der fehlenden Standardisierung, wie sie im Schlaflabor angestrebt wird, lässt sich die Studie damit nicht mit der vorliegenden Arbeit vergleichen. Dennoch steht diese Arbeit beispielhaft dafür, dass der thermische Einfluss auf die Schlafqualität interdisziplinär weiter in den Fokus rückt.

4.4 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, inwiefern die Beschaffenheit der Schlafstätte die Schlafqualität von gesunden Probanden mittleren Alters beeinflusst. Die Studie zeigt, dass die von der MH verursachte Senkung der KKT mit einem längeren Schlafstadium N3 assoziiert ist. Zudem lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass eine stärkere Senkung der KKT zum Beginn der Nacht mit einer verbesserten Schlafqualität assoziiert ist, ausgedrückt als Tiefschlafphasenlatenz und Schlafeffizienz. Subjektiv wurden diese Veränderungen des Schlafes eher nicht von den Probanden wahrgenommen.

Die Ergebnisse der objektiven Schlafparameter bestätigen die in vielen Studien aufgestellte Vermutung, dass eine effektive Minderung der Körperkerntemperatur auch eine bessere Schlafqualität begünstigt (32, 35, 81). Besonders interessant sind dabei die milden Temperaturinterventionen, welche es ermöglichen den Schlaf ohne schlafstörende Arousals oder Wachphasen zu untersuchen. In diesem Sinne bestätigen und erweitern die Ergebnisse die vorangegangene Pilotstudie, welche den Schlaf einer kleineren Kohorte junger Männer auf den gleichen Matratzentypen untersuchte. Dennoch gibt es in diesem Gebiet bisher zu wenige Untersuchungen, insbesondere indem die Schlafstätte selbst die thermische Intervention darstellt.

Dies kann von besonderem Interesse sein, denn die Nachfrage an kostengünstigen und nebenwirkungsfreien Interventionen im Rahmen der Präventivmedizin steigt. Bislang sind nur die Verhaltenstherapie, sowie die medikamentöse Therapie als Standard bei Schlafstörungen etabliert. Dabei ist die Schlafqualität von diversen Einflüssen abhängig. Diese Studie setzt ein Schwerpunkt auf die Thermoregulation durch die unterschiedlichen Matratzeigenschaften.

Dabei wäre es interessant, die Ergebnisse dieser Studie mit einer größeren und heterogeneren Kohorte zu vertiefen. Insbesondere auch die Frage, inwiefern Menschen mit Schlafstörungen vom Schlaf auf einer MH profitieren können, muss weiter untersucht werden. Darüber hinaus gibt es diverse weitere äußere Einflussfaktoren auf die Schlafqualität, wie zum Beispiel die Ansammlung von Mikroben oder Staubpartikeln in der Schlafstätte, Luftfeuchtigkeit und Außentemperatur oder die Beschaffenheit der Bettdecken- und Kissen. Zum Teil wurden diese Themen bereits wissenschaftlich beleuchtet, in aller Regel jedoch als unabhängig voneinander agierende Faktoren. Es gilt die bisher gewonnenen Erkenntnisse auszubauen, miteinander zu verknüpfen und im Sinne der Gesundheitsvorsorge einen praktischen Nutzen aus ihnen zu ziehen.

5 Anhang

5.1 Literaturverzeichnis

1. Ahlheim H. Der Traum vom Schlaf im 20. Jahrhundert. Wissen, Optimierungsphantasien und Widerständigkeit. Göttingen: Wallstein Verlag; 2018.
2. Ko PT, Kientz JA, Choe EK, Kay M, Landis CA, Watson N. Consumer sleep technologies : a review of the landscape. *J Clin Sleep Med*. 2015;11(12):1455–61.
3. Techniker Krankenkasse. Online-Training gegen Schlafstörungen. 2021. <https://www.tk.de/techniker/magazin/digitale-gesundheit/online-training-gegen-schlafstoerungen-2010652> (last accessed 11.04.2021, 11:15).
4. Plag C. Schlafen wird jetzt Statussymbol. 2016. <http://www.sueddeutsche.de/stil/luxus-matratzen-und-edel-pyjamas-schlafen-wird-jetzt-statussymbol-1.3026093> (last accessed 11.04.2021, 11:22).
5. Becker HF, Ficker J, Fietze I, Geisler P, Happe S, Hornyak M, Kotterba S, Orth M, Podszus T, Raschke F, Randerath W, Rühle K-H, Stiasny-Kolster K, Walther B, Wiater A, Arzt M, Schulz R, Wessendorf T. S3-Leitlinie Nicht erholsamer Schlaf/Schlafstörungen Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM). *Somnologie*. 2009;13(S1):4–160.
6. Morselli LL, Guyon A, Spiegel K. Sleep and metabolic function. *Pflugers Arch Eur J Physiol*. 2012;463(1):139–60.
7. Schmid SM, Hallschmid M, Schultes B. The metabolic burden of sleep loss. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2015;3(1):52–62.
8. Banks S, Dinges DF. Behavioral and Physiological Consequences of Sleep Restriction. *J Clin Sleep Med*. 2007;3(5):519–28.
9. Altman NG, Schopfer E, Jackson N, Izci-Balserak B, Rattanaumpawan P, Gehrman PR, Patel NP, Grandner MA. Sleep Duration versus Sleep Insufficiency as Predictors of Cardiometabolic Health Outcomes. *Sleep Med*. 2012;13(10):1261–70.
10. Grandner MA, Chakravorty S, Perlis ML, Oliver L, Gurubhagavatula I. Habitual Sleep Duration Associated with Self-Reported and Objectively-Determined Cardiometabolic Risk Factors. *Sleep Med*. 2014;15(1):42–50.
11. Cappuccio FP, D’Elia L, Strazzullo P, Miller MA. Quantity and Quality of Sleep and Incidence of Type 2 Diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Care*. 2010;33(2):414–20.
12. Walker MP. The role of sleep in cognition and emotion. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1156:168–97.
13. Diekelmann S, Born J. The memory function of sleep. *Nat Rev Neurosci*. 2010;11(2):114–26.
14. Techniker Krankenkasse. Schlaf gut, Deutschland TK-Schlafstudie 2017. 2017. <https://www.tk.de/resource/blob/2033604/118707bfcdd95b0b1ccdaf06b30226ea/schlaf-gut-deutschland-data.pdf> (last accessed 11.04.2021, 11:46).
15. Institute of Medicine (US) Committee on Sleep Medicine and Research. Sleep Disorders and Sleep Deprivation: An Unmet Public Health Problem. Colten HR, Altevogt BM, editors. Washington, DC: The National Academies Press; 2006.

16. Centers for Disease Control and Prevention. Short sleep duration among workers - United States, 2010. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2012;61(16):281–93.
17. Akerstedt T, Fredlund P, Gillberg M, Jansson B. A prospective study of fatal occupational accidents - relationship to sleeping difficulties and occupational factors. *J Sleep Res.* 2002;11(1):69–71.
18. Robert Koch Institut, Statistisches Bundesamt. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Schlafstörungen. Heft 27. 2005. https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/3178/23zMV5WzsY6g_44.pdf?sequence=1&isAllowed=y (last accessed 09.04.2021, 18:55).
19. Kripke DF. Chronic hypnotic use: deadly risks, doubtful benefit. *Sleep Med Rev.* 2000;4(1):5–20.
20. Harvard Medical School Sleep Medicine. The Price of Fatigue: The surprising economic costs of unmanaged sleep apnea. 2010. https://sleep.hms.harvard.edu/sites/g/files/mcu911/files/assets/Images/The_Price_of_Fatigue.pdf (last accessed 11.04.2021, 12:26).
21. DAK-Gesundheit. Gesundheitsreport 2017. Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Update: Schlafstörungen. 2017. <https://www.dak.de/dak/download/gesundheitsreport-2017-1885298.pdf> (last accessed 01.03.2020, 12:03).
22. Uppender RP. Sleep Medicine, Public Policy, and Public Health. In: Kryger M, Roth T, Dement W, editors. *Principles and Practice of Sleep Medicine*. 6th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Inc.; 2017. p. 638-645.e4.
23. Birbaumer N, Schmidt R. Wach-Schlaf-Rhythmus und Aufmerksamkeit. In: Schmidt R, Lang F, Heckmann M, editors. *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*. 31st ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2010. p. 181–200.
24. Claustrat B, Brun J, Chazot G. The basic physiology and pathophysiology of melatonin. *Sleep Med Rev.* 2005;9:11–24.
25. Berry RB, Brooks R, Gamaldo CE, Harding S, Lloyd R, Marcus C, Vaughn B. *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and associated Events*. Darien, Illinois: American Academy of Sleep Medicine; 2016.
26. Carskadon MA, Dement WC. Normal Human Sleep: An Overview. In: Kryger M, Roth T, Dement W, editors. *Principles and Practice of Sleep Medicine*. 6th ed. Philadelphia, PA: Elsevier; 2017. p. 15-24.e3.
27. Moore RY, Danchenko RL. Paraventricular-subparaventricular hypothalamic lesions selectively affect circadian function. *Chronobiol Int.* 2002 Mar;19(2):345–60.
28. Kräuchi K, Cajochen C, Pache M, Flammer J, Wirz-Justice A. Thermoregulatory effects of melatonin in relation to sleepiness. *Chronobiol Int.* 2006;23(1–2):475–84.
29. Grissmer S. Energie- und Wärmehaushalt. In: Behrends JC, Bischofberger J, Deutzmann R, Ehmke H, Frings S, Grissmer S, Hoth M, Kurtz A, Leipziger J, Müller F, Pedain C, Rettig J, Wagner C, Wischmeyer E. *Physiologie Duale Reihe*. 1st ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2010. p. 513–33.
30. Persson P. Energie- und Wärmehaushalt, Thermoregulation. In: Schmidt R, Lang F, Heckmann M, editors. *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*. 31st ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2010. p. 834–53.
31. Maurer J, Weeß H, Schredl M. Physiologische Grundlagen des normalen und gestörten Schlafes. In: Stuck B, Maurer JT, Schlarb A, Schredl M, Weeß H-G. *Praxis der*

- Schlafmedizin Diagnostik, Differenzialdiagnostik und Therapie bei Erwachsenen und Kindern. 3rd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag; 2018. p. 1–22.
32. Kräuchi K. The thermophysiological cascade leading to sleep initiation in relation to phase of entrainment. *Sleep Med Rev.* 2007;11(6):439–51.
 33. Czeisler C, Weitzman E, Moore-Ede M, Zimmerman J, Knauer R. Human sleep: its duration and organization depend on its circadian phase. *Science.* 1980;210(4475):1264–7.
 34. Zulley J, Wever RA. Interaction Between the Sleep-Wake Cycle and the Rhythm of Rectal Temperature. In: Aschoff J, Daan S, Groos G, editors. *Vertebrate Circadian Systems.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1982. p. 253–61.
 35. Campbell SS, Broughton RJ. Rapid decline in body temperature before sleep: Fluffing the physiological pillow? *Chronobiol Int.* 1994;11(2):126–31.
 36. Raymann RJEM, Swaab DF, Van Someren EJW. Skin deep: Enhanced sleep depth by cutaneous temperature manipulation. *Brain.* 2008;131(2):500–13.
 37. Liao WC, Wang L, Kuo CP, Lo C, Chiu MJ, Ting H. Effect of a warm footbath before bedtime on body temperature and sleep in older adults with good and poor sleep: An experimental crossover trial. *Int J Nurs Stud.* 2013;50(12):1607–16.
 38. Riemann D, Baum E, Cohrs S, Crönlein T, Hajak G, Hertenstein E, Klose P, J L, Mayer G, Nissen C, Pollmächer T, Rabstein S, Schlarb A, Sitter H, Weeß H-G, Wetter T, Spiegelhalder K. S3-Leitlinie Nicht erholsamer Schlaf/Schlafstörungen Kapitel “Insomnie bei Erwachsenen” (AWMF-Register Nr. 063/003), Update 2016. AWMF online. 2017;1–44.
 39. Stepanski EJ, Wyatt JK. Use of sleep hygiene in the treatment of insomnia. *Sleep Med Rev.* 2003;7(3):215–25.
 40. Morgenthaler T, Kramer M, Alessi C, Friedman L, Boehlecke B, Brown T, Coleman J, Kapur V, Lee-Chiong T, Owens J, Pancer J, Swick T. Practice parameters for the psychological and behavioral treatment of insomnia: an update. An american academy of sleep medicine report. *Sleep.* 2006;29(11):1415–9.
 41. Voinescu B, Szentagotai-Tatar A. Sleep hygiene awareness: its relation to sleep quality and diurnal preference. *J Mol Psychiatry.* 2015;3(1):1–7.
 42. Irish LA, Kline CE, Gunn HE, Buysse DJ, Hall M. The role of sleep hygiene in promoting public health: a review of empirical evidence. *Sleep Med Rev.* 2015;22(8):23–36.
 43. Fietze I, Garcia C, Glos M, Zimmermann S, Froberg D, Paritschkow S, Schmauder M, Rödel H, Zosel J, Penzel T. Einfluss des Bettsystems auf den Schlaf: Eine Pilotstudie. *Somnologie.* 2012;16(4):263–70.
 44. Chen Z, Li Y, Liu R, Gao D, Chen Q, Hu Z, Guo J. Effects of interface pressure distribution on human sleep quality. *PLoS One.* 2014;9(6):1–8.
 45. Bidarian-Moniri A, Nilsson M, Attia J, Ejnell H. Mattress and pillow for prone positioning for treatment of obstructive sleep apnoea. *Acta Otolaryngol.* 2015;135(3):271–6.
 46. Park SJ, Lee H-J, Hong K, Kim JT. Evaluation of mattress for the Koreans. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet.* 2001;45(7):727–30.
 47. Lee H, Park S. Quantitative effects of mattress types (comfortable vs. uncomfortable)

- on sleep quality through polysomnography and skin temperature. *Int J Ind Ergon.* 2006;36(11):943–9.
48. Zulley J, Popp R, Ettenhuber K, Schwarz J, Hajak G, Pieh C, Schulz G, Geisler P. Auswirkungen passiver Änderungen des Bettklimas auf den Schlaf. *Somnologie.* 2010;14(4):275–81.
 49. Okamoto K, Mizuno K, Okudaira N. The effects of a newly designed air mattress upon sleep and bed climate. *Appl Human Sci.* 1997;16(4):161–6.
 50. Lan L, Tsuzuki K, Liu YF, Lian ZW. Thermal environment and sleep quality: A review. *Energy Build.* 2017;149:101–13.
 51. Lan L, Pan L, Lian Z, Huang H, Lin Y. Experimental study on thermal comfort of sleeping people at different air temperatures. *Build Environ.* 2014;73:24–31.
 52. Tsuzuki K, Okamoto-Mizuno K, Mizuno K, Iwaki T. Effects of airflow on body temperatures and sleep stages in a warm humid climate. *Int J Biometeorol.* 2008;52(4):261–70.
 53. Krauchi K, Deboer T. The interrelationship between sleep regulation and thermoregulation. *Front Biosci.* 2010;15(2):604–25.
 54. Kräuchi K, Fattori E, Giordano A, Falbo M, Iadarola A, Agli F, Tribolo A, Mutani R, Cicolin A. Sleep on a high heat capacity mattress increases conductive body heat loss and slow wave sleep. *Physiol Behav.* 2018;185:23–30.
 55. Dijk D-J. Regulation and functional correlates of slow wave sleep. *J Clin Sleep Med.* 2009;5(2 Suppl):S6-15.
 56. Cappuccio FP, D’Elia L, Strazzullo P, Miller MA. Sleep duration and all-cause mortality: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Sleep.* 2010;33(5):585–92.
 57. Hirshkowitz M, Whiton K, Albert SM, Alessi C, Bruni O, DonCarlos L, Hazen N, Herman J, Katz ES, Kheirandish-Gozal L, Neubauer DN, O’Donnell AE, Ohayon M, Peever J, Rawding R, Sachdeva RC, Setters B., Vitiello MV, Catesby Ware J, Adams Hillard PJ. National sleep foundation’s sleep time duration recommendations: Methodology and results summary. *Sleep Heal.* 2015;1:40–3.
 58. Spriggs WH, editor. *Normal Sleep. In: Essentials of Polysomnography A Training Guide and Reference For Sleep Technicians.* 2nd ed. Jones & Bartlett; 2014. p. 1–11.
 59. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1922L-DS1922T.pdf>, (last accessed 09.04.2021, 18:39).
 60. http://verlag-systemische-medizin.de/download/pdf/101013_Anamnesebogen.pdf, (last accessed 17.04.2018, 22:05).
 61. <http://www.actigraphy.respiroics.com/solutions/equivital/components.html>, (last accessed 09.04.2021, 20:50).
 62. <http://www.equivital.co.uk/products/tnr/sense-and-transmit> (last accessed 24.04.2018, 19:42).
 63. Görtelmeyer R. SF-A und SF-B Schlafragebogen A und B. In: *Internationale Skalen für Psychiatrie.* 4th ed. Göttingen: Collegium Internationale Psychiatriae Scalarum, Beltz Test; 1996. p. 125–35.
 64. Görtelmeyer R. *Manual SF-A/R und SF-B/R Schlafragebogen A und B.* 1st ed. Hogrefe Verlag; 2011.

65. Hein J. Auswirkung einer Unterlage mit erhöhter Wärmekapazität auf die Körpertemperatur während des Schlafes. 2021. Ph.D. thesis in preparation. Charité Universitätsmedizin Berlin;
66. Richter K, Myllymaeki J, Scharold-Schaefer S, Tomova I, Mayrer R, Niklewski G. Treating Comorbid Insomnia in Older Adults via Cognitive-Behavioural Treatment, Bright Light and Exercise. *Health*. 2014;6(10):960–8.
67. Bergholdt K, Fabricius RN, Bendix T. Better backs by better beds? *Spine*. 2008;33(7):703–8.
68. Ko HJ, Youn CH. Effects of laughter therapy on depression, cognition and sleep among the community-dwelling elderly. *Geriatr Gerontol Int*. 2011;11(3):267–74.
69. Buysse DJ, Reynolds III CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*. 1989;28(2):193–213.
70. Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K. Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly. *Int J Biometeorol*. 2010;54(4):401–9.
71. Agnew Jr. H, Webb W, Williams R. The first night effect: an EEG study of sleep. *Psychophysiology*. 1966;2(3):263–6.
72. Tamaki M, Bang JW, Watanabe T, Sasaki Y. Night Watch in One Brain Hemisphere during Sleep Associated with the First-Night Effect in Humans. *Curr Biol*. 2016;26(9):1190–4.
73. Kräuchi K, Deboer T. Thermoregulation in Sleep and Hibernation. In: Kryger M, Roth T, Dement W, editors. *Principles and Practice of Sleep Medicine*. 6th ed. Philadelphia, PA: Elsevier; 2017. p. 220-228.e5.
74. World Health Organization. Low indoor temperatures and insulation. In: WHO Housing and health guidelines. Genf: World Health Organization (Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO); 2018. p. 31–41.
75. Lan L, Lian Z. Ten questions concerning thermal environment and sleep quality. *Build Environ*. 2016;99:252–9.
76. Herberger S, Kräuchi K, Glos M, Lederer K, Assmus L, Hein J, Penzel T, Fietze I. Effects of sleep on a high-heat capacity mattress on sleep stages, EEG power spectra, cardiac interbeat intervals and body temperatures in healthy middle-aged men. *Sleep*. 2020;43(5):1–9.
77. McGinty D, Szymusiak R. Keeping cool: a hypothesis about the mechanisms and functions of slow-wave sleep. *Trends Neurosci*. 1990;13(12):480–7.
78. Chiba S, Yagi T, Ozone M, Matsumura M, Sekiguchi H, Ganeko M, Uchida S, Nishino S. High rebound mattress toppers facilitate core body temperature drop and enhance deep sleep in the initial phase of nocturnal sleep. *PLoS One*. 2018;13(6):1–13.
79. Haghayegh S, Khoshnevis S, Smolensky MH, Diller KR, Castriotta RJ. Before-bedtime passive body heating by warm shower or bath to improve sleep: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev*. 2019;46:124–35.
80. Xiong J, Lan L, Lian Z, de Dear R. Associations of bedroom temperature and ventilation with sleep quality. *Sci Technol Built Environ*. 2020;26(9):1274–84.
81. Togo F, Aizawa S, Arai JI, Yoshikawa S, Ishiwata T, Shephard RJ, Aoyagi Y. Influence on human sleep patterns of lowering and delaying the minimum core body

- temperature by slow changes in the thermal environment. *Sleep*. 2007;30(6):797–802.
82. Dewasmes G, Signoret P, Nicolas A, Ehrhart J, Muzet A. Advances of human core temperature minimum and maximal paradoxical sleep propensity by ambient thermal transients. *Neurosci Lett*. 1996;215:25–8.
 83. Landry GJ, Best JR, Liu-Ambrose T. Measuring sleep quality in older adults: A comparison using subjective and objective methods. *Front Aging Neurosci*. 2015;7(166):1–10.
 84. Shahid A, Wilkinson K, Marcu S, Shapiro CM, editors. *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales*. 1. Auflage. New York: Springer; 2012.

5.2 Fragebogen zum Schlafkomfort

Fragebogen zum Schlafkomfort

Proband ID:...TG-B-.....**Gewicht (kg):**.....

Schlafnacht: 1. Nacht 2. Nacht

1. Wie haben Sie heute Nacht geschlafen?

- sehr gut
- gut
- teils/teils
- schlecht
- sehr schlecht

2. Wie häufig haben Sie heute Nacht schätzungsweise Ihre Körperhaltung geändert?

- sehr häufig
- häufig
- manchmal
- selten
- sehr selten

3. Wie häufig wechseln Sie normalerweise Ihre Körperhaltung (durch Drehen/Bewegen) im Schlaf?

- sehr häufig
- häufig
- manchmal
- selten
- sehr selten

4. Sind Sie heute Morgen mit Rücken- und/oder Nackenschmerzen erwacht?

- ja ... (welche? Rückenschmerzen Nackenschmerzen)
- nein

5. Leiden Sie in der letzten Zeit unter Rücken- und/oder Nackenschmerzen?

- sehr häufig
- häufig
- manchmal
- selten
- sehr selten

6. Welchen Einfluss hatte die Matratze auf Ihre persönliche Schlafqualität?

- negativen Einfluss
- eher negativen
- keinen Einfluss
- eher positiven Einfluss
- positiven Einfluss

7. Welchen Effekt hatte die Matratze auf Ihren Wirbelsäulenbereich (in Form von Entlastung/Entspannung)?

- positiver Effekt
- kein Effekt
- negativer Effekt

8. Welchen Effekt hatte die Matratze auf Ihren Schulternbereich (in Form einer Druckentlastung)?

- positiver Effekt
- kein Effekt
- negativer Effekt

9. Welchen Effekt hatte die Matratze auf Ihren Beckenbereich (in Form einer Druckentlastung)?

- positiver Effekt
- kein Effekt
- negativer Effekt

10. Welchen Effekt hatte die Matratze auf Ihre Extremitäten (wie

Arme und Beine) in Form einer Druckentlastung?

- positiver Effekt
- kein Effekt
- negativer Effekt

11. Welchen Effekt hatte die Temperatur der Matratze auf ihr Empfinden...**a) ...beim Zubettgehen:**

- zu warm
- eher zu warm
- angenehm
- eher zu kalt
- zu kalt

b) ...beim Lichtlöschen:

- zu warm
- eher zu warm
- angenehm
- eher zu kalt
- zu kalt

c) ...im Verlauf der Nacht:

- zu warm
- eher zu warm
- angenehm
- eher zu kalt
- zu kalt

d) ...morgens beim Erwachen:

- zu warm
- eher zu warm
- angenehm
- eher zu kalt
- zu kalt

12. Wie haben Sie den Liegekomfort der Matratze empfunden?

- sehr komfortabel
- komfortabel
- teils/teils
- unkomfortabel
- sehr unkomfortabel

13. Was hat Sie an der Matratze allgemein gestört?

- trifft nicht zu
- zu weich
- zu hart
- zu unbequem
- zu warm
- zu kalt
- anderes (bitte genau ausführen):

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

5.3 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Lisa Aßmus, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Vergleich der Auswirkung zweier Bettsysteme mit hoher bzw. niedriger Wärmekapazität auf die Schlafqualität“ / „Comparision of the effects of two bedding systems with high and low heat capacity on sleep quality“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Erstbetreuer, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer un- wahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

5.4 Anteilserklärung an erfolgten Publikationen

Lisa Aßmus hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikaton 1: Aßmus L, Hein J, Fabig V, Kräuchi K, Fietze I, Penzel T. Auswirkung der Beschaffenheit der Schlafstätte auf den Schlaf. Poster-Vortrag zur 24. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin e.V., DGSM, 02.12.2016 in Dresden

Beitrag im Einzelnen: Zusammen mit Julia Hein erfolgte zu gleichen Teilen die Planung, Anleitung und Dokumentation der Testnächte (Probandenrekrutierung inkl. Vorauswahl der Probanden; Vor- und Nachbereitung der Testnächte, Anleitung des Nachtdienstes in Bezug auf das Nachdienstprotokoll; Auslesung und Speicherung der PSG-Daten und Temperatursonden); selbstständig erfolgte die Datenauswertung der Schlafparameter, sowie die Erstellung und Präsentation des Posters

Publikation 2: Herberger S, Kräuchi K, Glos M, Lederer K, Assmus L, Hein J, Penzel T, Fietze I. Effects of sleep on a high-heat capacity mattress on sleep stages, EEG power spectra, cardiac interbeat intervals and body temperatures in healthy middle-aged men. *Sleep*. 2020;43(5).

Beitrag im Einzelnen: Zusammen mit Julia Hein erfolgte zu gleichen Teilen die Planung, Anleitung und Dokumentation der Testnächte (genaue Ausführung s. Publikation 1); selbstständig erfolgte die Aufarbeitung der PSG-Daten zu den Schlafstadienverläufen mit Vorbereitung und Optimierung der Datenauswertung

5.5 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

5.6 Bisherige Publikationen

Publikation 1: Aßmus L, Hein J, Fabig V, Kräuchi K, Fietze I, Penzel T. **Auswirkung der Beschaffenheit der Schlafstätte auf den Schlaf.** Poster-Vortrag zur 24. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin e.V., DGSM, 02.12.2016 in Dresden

Publikation 2: Herberger S, Kräuchi K, Glos M, Lederer K, Assmus L, Hein J, Penzel T, Fietze I. **Effects of sleep on a high-heat capacity mattress on sleep stages, EEG power spectra, cardiac interbeat intervals and body temperatures in healthy middle-aged men.** Sleep. 2020;43(5).

5.7 Danksagung

Mein Dank gilt dem Leiter des Interdisziplinären Schlafmedizinischen Zentrums, Herrn Prof. Dr. med. Ingo Fietze für die Betreuung meiner Arbeit. Herrn Prof. Dr. rer. physiol. Thomas Penzel danke ich für seine Unterstützung und seine Motivation in den entscheidenden Momenten.

Dipl. chem. HTL Kurt Kräuchi danke ich für seine professionelle Unterstützung.

Des Weiteren danke ich dem Team des Schlaflabors "Advanced Sleep Research", welches mich in der Zeit der Studiendurchführung herzlich aufgenommen hat.

Bei Jan Mostertz bedanke ich mich für die Erstellung und Zurverfügungstellung eines VBA-Makros zur Datenverarbeitung.

Mein Dank gilt natürlich auch den Probanden, welche sich die Zeit genommen haben an dieser Studie teilzunehmen.

Diese Studie wurde unterstützt durch die Firma Technogel®, welche die Matratzen und Sensortechnik zur Verfügung stellte.