

Aus der Klinik für Anästhesiologie
(Direktor: Prof. Dr. med. M. Quintel)
im Zentrum Anaesthesiologie-, Rettungs- und Intensivmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Vergleich präklinischer Behandlungsoptionen
der akzidentellen Hypothermie nach
Einklemmungstrauma
-
Eine Probandensimulation**

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizinischen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Christopher Jebens
aus Hamburg

Göttingen 2013

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer
I. Berichterstatter: Prof. Dr. med. A. Bräuer
II. Berichterstatter/in: Prof. Dr. med. K. Dresing
III. Berichterstatter/in: Prof. Dr. med. P. Virsik-Köpp
Tag der mündlichen Prüfung: 05.03.2014

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1. Einleitung.....	5
1.1. Problemstellung.....	5
1.2. Die Grundlagen der Thermoregulation	6
1.3. Die Neurophysiologie der Thermoregulation	7
1.4. Die Wärmeabgabe.....	10
1.5. Unterteilung der Hypothermie	11
1.6. Definition der akzidentellen Hypothermie.....	11
1.7. Die akzidentelle Hypothermie nach Einklemmungstrauma.....	14
1.8. Ursachen des Wärmeverlustes nach Einklemmungstrauma	15
1.9. Pathophysiologie der akzidentellen Hypothermie nach schwerem Trauma.....	18
1.10. Präklinische Behandlungsoptionen der akzidentellen Hypothermie bei eingeklemmten Verkehrsunfallopfern	20
1.11. Ziel der Arbeit.....	22
2. Material und Methoden	23
2.1. Genehmigung durch die Ethik-Kommission.....	23
2.2. Probanden	23
2.3. Einschlusskriterien:.....	23
2.4. Ausschlusskriterien	23
2.5. Abbruchkriterien	24
2.6. Geräte zur Wiedererwärmung	26
2.3.1. Halogenstrahler.....	26
2.3.2. Konvektiver Luftwärmer	27
2.4. Versuchsaufbau und Durchführung.....	28
2.4.1. Versuchsteil A (Halogenstrahler).....	31
2.4.2. Versuchsteil B (konvektiver Luftwärmer)	32
2.5. Messwerte.....	33
2.6. Methodik der Temperaturmessung	34
2.6.1. Körperkerntemperatur	34
2.6.2. Hauttemperatur	35
2.7. Auswertung der Temperaturmesswerte.....	36
2.7.1. Mittlere Hauttemperatur nach Ramanathan	36
2.7.2. Gesamtkörperwärmemenge nach Burton	36
2.8. Statistische Verfahren	37
3. Ergebnisse.....	38
3.1. Studien-Flowchart.....	38
3.2. Basisparameter	39
3.3. Körperkerntemperatur	40
3.4. Hauttemperatur	42
3.5. Mittlere Hauttemperatur	42
3.6. Mittlere Körpertemperatur.....	44
3.7. Gesamtkörperwärmemenge.....	46
3.8. Subjektive Beurteilung	48
3.9. Numerische Ratingskala	48

3.10. Bedside-Shivering-Assessment-Scale.....	50
3.11. Blutdruck, Herzfrequenz	50
4. Diskussion	57
3.1. Diskussion der Methodik	57
3.2. Diskussion der Wärmemethoden	59
4.2.1. Diskussion Wärmemethode Halogenstrahler	60
4.2.2. Diskussion Wärmemethode konvektiver Luftwärmer	61
4.3. Diskussion präklinischer Einsatz konvektiver Luftwärmer	65
4.4. Diskussion der Ergebnisse	66
5. Zusammenfassung	71
6. Anhang	73
6.1. Abkürzungen	73
6.2. Aufklärungs-/ Informationsschrift für Probanden	74
6.3. Einverständniserklärung Probanden	77
7. Literaturverzeichnis.....	79

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Trotz moderner Technologien in Automobilbau verunglückt jedes Jahr eine große Zahl von Personen auf deutschen Straßen. Zwar ist die Zahl der getöteten Personen seit vielen Jahren stets rückläufig, so ist die Zahl im Jahr 2010 mit 3648 im Straßenverkehr getöteten Personen auf den niedrigsten Stand seit 1950 gefallen, doch noch immer müssen Feuerwehren und Rettungsdienste in Fahrzeugwracks eingeklemmte Personen versorgen und mit schweren Rettungsgeräten befreien (Statistisches Bundesamt 2012).

Die meisten dieser schwer eingeklemmten Unfallopfer sind polytraumatisiert und müssen nach Stabilisierung und Erstversorgung an der Unfallstelle in ein spezialisiertes Traumazentrum verbracht werden. Neben den allgemeinen Risiken und Gefahren durch die erlittenen Verletzungen, spielt auch die Gefahr einer Hypothermie eine wesentliche Rolle für die weitere chirurgische Versorgung im Traumazentrum sowie das Outcome dieser schwerstverletzten Patienten (Crandall und González-Alonso 2010; Helm et al. 2001).

Bekannt aus Untersuchungen des peri-operativen Wärmemanagements und aus Studien zur akzidentellen Hypothermie ist, dass die Wiedererwärmung eines Patienten nur unter großen Anstrengungen und vor allem nur sehr langsam möglich ist. Aus diesem Grund müssen letztlich die Verhinderung einer tiefen Hypothermie bzw. die frühzeitige Wärmezuführung im Vordergrund stehen (Bräuer et al. 2002; Hess und Lawson 2006).

Aus dem Vergleich unterschiedlicher Wärmemethoden hat sich gezeigt, dass die konvektive Wärmezufuhr, z.B. durch Warmluftgebläse, eine der effektivsten Methoden zur Wärmung eines Patienten ist. Weitestgehend ungeklärt ist dabei die Frage, ob auch unter präklinischen Bedingungen der effektive Einsatz möglich ist. Neben rein passiven Wärmemethoden wie Woldecken und silberbedampften Rettungsfolien, die bei eingeschränkter Wärmeproduktion des Körpers, z.B. im Rahmen eines durch einen Verkehrsunfall erlittenen Polytraumas kaum einen Effekt zeigen, wird als weitere, bisher einzige, aktive Wärmemethode der Einsatz von Halogenstrahlern, wie sie von Hilfsorganisationen mitgeführt werden, eingesetzt, um

Patienten an der Einsatzstelle zu wärmen. Auch hierzu fehlen bisher Ergebnisse zum Nachweis der Effektivität.

Dabei wäre gerade bei eingeklemmten Unfallopfern aufgrund der langen präklinischen Versorgungszeiten der Einsatz von aktiven Wärmemethoden dringend wünschenswert. Daher soll auf diesem präklinischen Einsatzszenario der Focus dieser Arbeit liegen.

Denn gelänge es bereits in der Phase der technischen Rettung des Patienten aus dem Fahrzeug, die Körperkerntemperatur zu stabilisieren, könnten womöglich auch die zahlreichen negativen Begleiterscheinungen im innerklinischen Behandlungsverlauf minimiert werden.

1.2. Die Grundlagen der Thermoregulation

Der Mensch vermag als homoiothermer Organismus, seine Körperkerntemperatur mit Hilfe einer über den Hypothalamus vermittelten Thermoregulation in einem für ihn normothermen Bereich zu halten. Dieser normotherme Bereich ist dabei keinesfalls für alle Menschen konstant, sondern variiert individuell von Mensch zu Mensch und tageszeitabhängig. Der für das jeweilige Individuum normotherme Bereich wird über den Hypothalamus, wo die Informationen peripherer Wärme- und Kälterezeptoren als oberstes Zentrum der Thermoregulation zusammenfließen, gesteuert. Wird hier ein Abfall vom jeweiligen Temperatur-Sollwert bemerkt, reagiert der Körper mit entsprechenden regulatorischen Veränderungen: Mittels einer Anpassung des Verhaltens, der Vasokonstriktion in der Körperperipherie und Muskelzittern (engl. Shivering), wird versucht, einem weiteren Absinken der Körpertemperatur entgegenzutreten (Simon 1997). Bereits bei einem Abfall von 0,2 - 0,4 °C vom jeweiligen Sollwert werden diese Vorgänge beobachtet (Sund-Levander et al. 2002).

Auch räumlich besteht innerhalb des Körpers des Menschen ein je nach Umgebungstemperatur erhebliches Temperaturgefälle und zwar vom Körperkern zur Schale und von proximal nach distal. Dieser Temperaturunterschied lässt sich schematisch mit isothermen Linien darstellen (Abb. 1). Je nach Umgebungstemperatur kommt es durch die oben beschriebenen Vorgänge zu einer entsprechenden Veränderung der Temperaturverteilung, um entweder einem weiteren Wärmeverlust entgegenzuwirken (=kühle Umgebung) oder überschüssige Wärme an die Umgebung abzugeben (=warme Umgebung) (Golenhofen 2006).

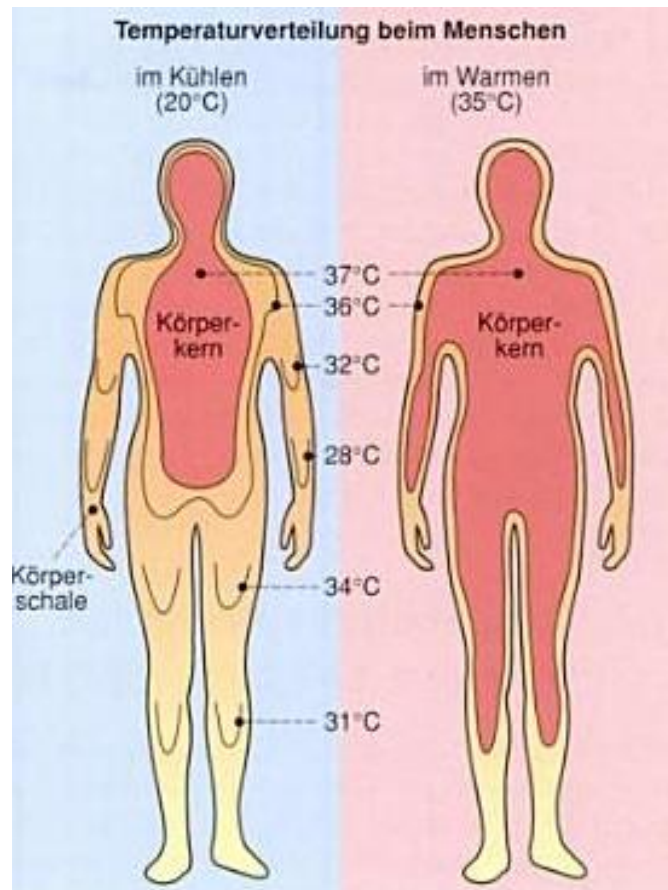


Abbildung 1: Temperaturverteilung beim Menschen in kühler und in warmer Umgebung aus Golenhofen (2006), Seite 301

1.3. Die Neurophysiologie der Thermoregulation

Im menschlichen Körper sind ubiquitär wärmesensitive Neurone verteilt, welche afferente Impulse ans ZNS senden. Bereits auf Rückenmarksebene, wo ebenfalls Thermorezeptoren vorhanden sind, finden erste Verschaltungen und Regulationsprozesse statt.

Über den Tractus spinothalamicus lateralis erfolgt die Reizweiterleitung. In Höhe des Ursprungssegmentes kreuzen dessen Fasern auf die Gegenseite und enden schließlich im Nucleus ventralis posterolateralis, im Nucleus ventralis posterior und in intralaminären Kernen des Thalamus. Dieser wird zu den diencephalen Komponenten des limbischen Systems gezählt.

Das limbische System ist ein Komplex aus Abschnitten des Di-, Tel-, und Mesencephalons, welche sowohl strukturell als auch funktionell eng miteinander verbunden sind. Zu den Aufgaben des limbischen Systems gehören Vorgänge, die der Erhaltung des Individuums und der Art dienen. Hierzu zählt die Homöostase, das Fortpflanzungs- und Sexualverhalten oder das Sozialverhalten.

Die Regulation der Temperatur zählt damit zur Aufrechterhaltung der Homöostase. Die zahlreichen Kerngebiete des limbischen Systems stehen dabei durch unterschiedlich lange, auf- und absteigende und zum Teil doppelläufige Fasersysteme in Verbindung.

Die präoptische Region im anterioren Hypothalamus und dort insbesondere der Nucleus praeopticus medialis wird als wichtigstes Regelzentrum angesehen. Aber auch in anderen Teilen des Hirnstamms enden Afferenzen, so z.B. in der Formatio reticularis. Weitere thermosensitive Neurone befinden sich im ventromedialen Hypothalamus, in der Medulla oblongata, sowie im Mittelhirn (Niewenhuys et al. 1991; Witte und Sessler 2002).

Die Regulation entspricht dabei den Regelkreisen anderer biologischer Systeme (siehe Abbildung 2):

Wird eine Abweichung des Istwertes vom Sollwert im Hypothalamus registriert, kommt es durch das autonome Nervensystem über efferente vegetative Fasern zu einer Veränderung an verschiedenen Stellgliedern wie dem motorischen System, dem braunen Fettgewebe oder der Vasomotorik usw., und zwar im Sinne einer positiven bzw. negativen Rückkopplung.

Das Absinken des Sollwertes der Körperkerntemperatur führt über diese Wege zu:

- einer Vasokonstriktion der Haut- und Körperschalengefäße, wodurch die Wärmeabgabe über die Körperschale gedrosselt wird
- einem Aufrichten der Haare (Pilomotorik), wodurch die isolierende Grenzschicht der Haut verbreitert und die Wärmeabgabe somit verringert wird. Dieses ist jedoch beim Menschen ohne relevanten Effekt.
- Eine erhöhte Wärmebildung durch Kältezittern (Gunga 2008).

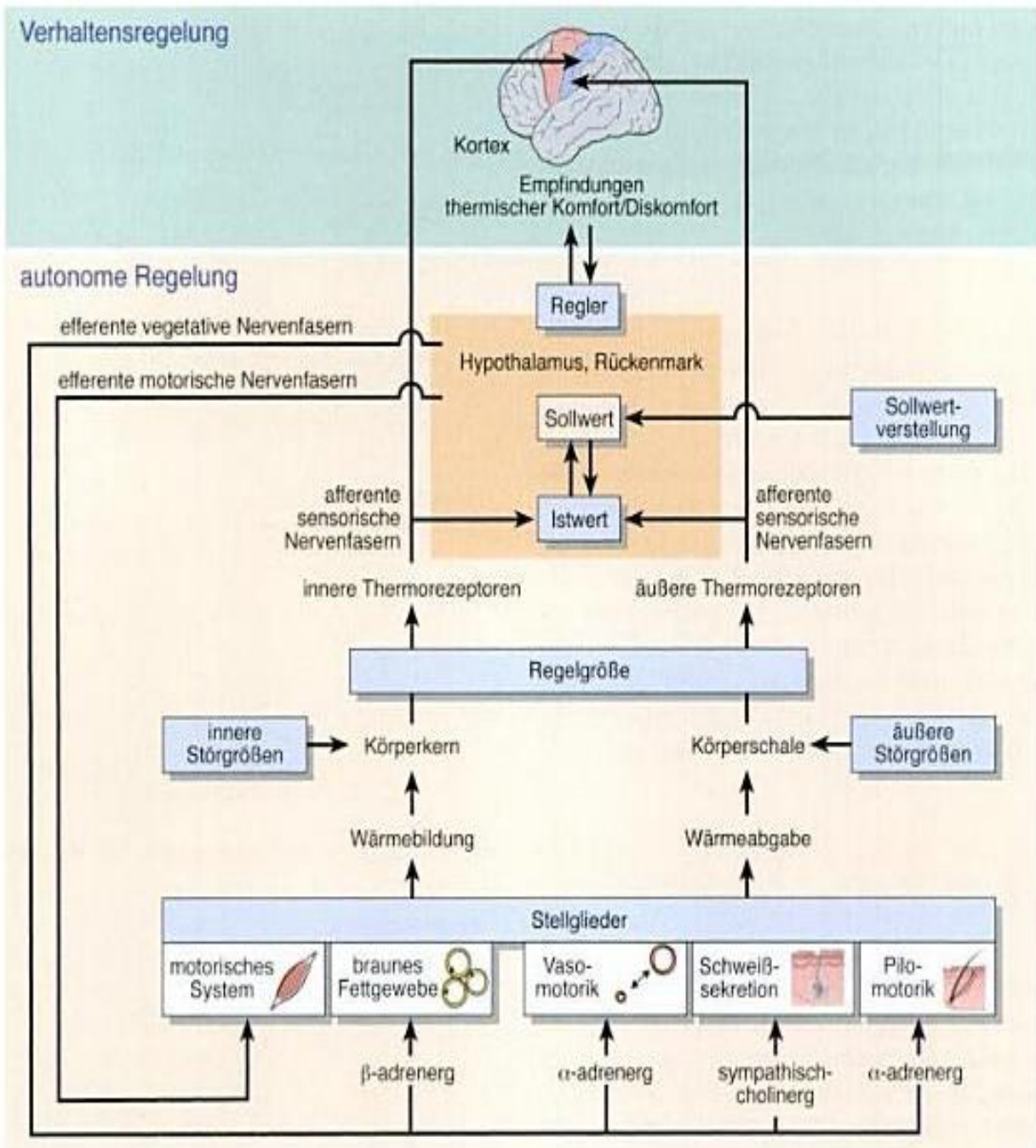


Abbildung 2: Schema der Temperaturregulation aus Gunga HC (2008), S. 627

1.4. Die Wärmeabgabe

Wärme kann auf vier verschiedene Weisen transportiert werden. Grundsätzlich fließt Wärme immer vom Ort der höheren Energie zu Orten mit niedrigerer Energie:

- Konduktion (Leitung)

Wärmeübertragung von Molekül zu Molekül.

Wärmeübertragung zwischen festen Körpern. Die Moleküle verändern ihren Standort nicht. Als Beispiel dient der Hautkontakt mit einer kalten Oberfläche.

- Konvektion (Strömung)

Wärmetransport durch Strömung von Gasen und Flüssigkeiten.

Ein im Operationssaal gebräuchliches Warmluftgebläse bedient sich dieses physikalischen Grundprinzips.

- Radiation (Strahlung)

Wärmetransport mittels elektromagnetischer Strahlung zwischen zwei Körpern.

Beispiel ist die Infrarotlampe.

- Evaporation (Verdunstung)

Wärmeabgabe aufgrund von verdunsteter Flüssigkeit.

Ist die Umgebungstemperatur höher als die Hauttemperatur, ist das Schwitzen (=Evaporation) die einzige Möglichkeit der Wärmeabgabe

Durch diese Mechanismen erfolgt somit auch der Wärmetransport im menschlichen Körper:

Am Ort der Bildung wird die Wärme konduktiv auf das Blut übertragen. Innerhalb des Körpers erfolgt der Wärmetransport über das Blut konvektiv, bevor mittels Konduktion die Wärme an die Hautoberfläche geleitet wird. Die Abgabe der Wärme an die Umgebung erfolgt dann wieder über alle 4 Arten (Golenhofen 2006).

1.5. Unterteilung der Hypothermie

Gemäß der Ursächlichkeit kann die Hypothermie weiterhin in endogen, kontrolliert-induziert und akzidentell unterteilt werden.

Eine endogene Hypothermie ist dabei die Folge von zentralnervösen Störungen mit einer insuffizienten Thermoregulation oder einer metabolischen Dysfunktion mit verminderter Wärmeproduktion. Darüber hinaus können auch dermale Schädigungen (z.B. Verbrennungen) durch verminderte Wärmeisolation des Körpers eine Hypothermie bedingen.

Die kontrolliert-induzierte Hypothermie durch aktive Kühlung wird im modernen Klinikalltag in vielen Bereichen genutzt. So hat diese Form der Unterkühlung aufgrund ihrer zytoprotektiven Effekte ihren festen Platz in der elektiven Chirurgie (Neurochirurgie, Transplantationschirurgie, Herz-Thoraxchirurgie) (Seekamp et al. 1999).

Unter einer akzidentellen Hypothermie versteht man das zufällige, nicht kontrollierte Absinken der Körperkerntemperatur unter Kälteexposition ohne Vorliegen einer intrinsischen Störung der Wärmeregulation. Als Beispiele können hier die Unterkühlung aufgrund von Drogen- oder Alkoholkonsum oder aber auch als Folge einer schweren Verletzung mit einhergehendem Schock, wie sie bei polytraumatisierten Patienten zu beobachten ist, genannt werden (Sefrin und Rosenberger 2008).

1.6. Definition der akzidentellen Hypothermie

Der Beginn der akzidentellen Hypothermie wird in der Literatur übereinstimmend bei einer Körperkerntemperatur von weniger als 35°C angegeben (Beilman et al. 2009; Danzl und Pozos 1994; Mommsen et al. 2011; Shafi et al. 2005; Trentzsch et al. 2012). Unterhalb dieser Schwelle beginnen als Folge der erniedrigten Körperkerntemperatur bereits Störungen der Homöostase. Pathologisch relevante Veränderungen können die Folge sein (Mommsen et al. 2011). Als kritischer Punkt wird eine Körperkerntemperatur von 34°C angesehen.

Unterhalb dieser Schwelle, so konnten Studien nachweisen, steigt die Mortalität signifikant. Die Hypothermie wird dabei, abhängig von der Körperkerntemperatur,

zusätzlich in die Formen mild, moderat und schwer klassifiziert, wobei die Temperaturgrenzen je nach Autor variieren.

Beispielhaft sind in Tabelle 1 zwei Einteilungsformen genannt:

Tabelle 1: Klassifikation der akzidentellen Hypothermie

Klassifikation der akzidentellen Hypothermie		
Form der Hypothermie	nach Giesbrecht 2000	nach Kempianen u. Brunette 2004
Mild	< 35 – 32°C	< 35 – 34°C
Moderat	< 32 – 28°C	< 34 – 32°C
Schwer	< 28°C	< 32°C

Entsprechend der drei Hypothermie-Schweregrade werden bei der akzidentellen Hypothermie typische Symptombilder beschrieben (Tabelle 2).

Tabelle 2 Symptombilder der Hypothermie nach Schweregrad (Weinberg, 1993)

Symptombilder der Hypothermie nach Schweregrad	
Mild (36-34°C)	„Erregungsphase“ <ul style="list-style-type: none"> - Herzfrequenz und Blutdruck normal oder erhöht - Hyperventilation - Gesteigerte Muskelreflexe - Feinmotorische Koordination gestört - Patient bewusstseinsklar, aber unruhig und erregt - Muskelzittern („Shivering“) - Haut blass und kalt - Schmerzen an Händen, Füßen und Akren
Moderat (34-30°C)	„adynamische Phase“ <ul style="list-style-type: none"> - Herzfrequenz erniedrigt (Bradykardie), Arrhythmien - Blutdruck normal oder erniedrigt - Atmung unregelmäßig, oberflächlich; Hypoventilation - Reflexabschwächung - Einschränkung der Bewusstseinslage - Kälterigor, kein Muskelzittern - Hypoglykämie - Extremitäten und Akren schmerzfrei
Schwer (<30°C)	„paralytische Phase“ <ul style="list-style-type: none"> - Extreme Bradykardie; Arrhythmien, Vorhofflattern - Blutdruck stark erniedrigt - Extreme Hypoventilation, geringste Atemexkursion → Atemstillstand - Extreme Reflexabschwächung → Reflexe nicht mehr auslösbar - Extreme Einschränkung der Bewusstseinslage → Bewusstlosigkeit - Extreme Hypoglykämie (<30mg/dl) - Im Extremfall: „Scheintod“ (Vita minima)

Bei Traumapatienten jedoch sind diese Symptombilder bei der klinischen Einschätzung der Hypothermieschwere zumeist nicht hilfreich. Durch neurologische Beeinträchtigungen als Folge eines Schädel-Hirn-Traumas, Schockzuständen oder auch Intoxikationen treten die beschriebenen Symptome gar nicht oder erst verspätet auf und bieten dem behandelnden Arzt keinen direkten Hinweis auf den Schweregrad der Hypothermie. Somit bleiben hypotherme Zustände oft unerkannt (Helm et al. 1995). Auch können den Symptomen andere Ursachen zugeordnet werden. Beispielhaft findet sich in der Literatur die Fehldeutung des Kälterigors als Krampfanfall (Russo et al. 2005).

1.7. Die akzidentelle Hypothermie nach Einklemmungstrauma

In Deutschland ereigneten sich 2012 ca. 2,4 Millionen Unfälle im Straßenverkehr mit rund 300 000 Verletzten, davon 66 000 Schwerverletzten (Statistisches Bundesamt 2012).

Können nach einem Verkehrsunfall die verletzten Kraftfahrzeuginsassen situativ bedingt nicht sofort gerettet werden, sondern bedürfen aufgrund einer teilweisen oder vollständigen Einklemmung zunächst der technischen Rettung durch Hilfsorganisationen wie z.B. die Feuerwehr, bezeichnet man diesen Zustand als „Einklemmungstrauma“ (Helm et al. 2001).

In einer Untersuchung von Sanson et.al. kam es bei 20% der Unfälle mit einem Personenkraftwagen (PKW) zu einem Einklemmungstrauma (Sanson et al. 1999) .

Bei Unfällen mit Lastkraftwagen (LKW) ist dieser Prozentwert noch deutlich erhöht und beträgt fast 40% (Svenson und Viden 1994).

Das Ausmaß der Verletzungen unterscheidet sich dabei deutlich von nicht eingeklemmten Patienten. Rund 80% der Patienten, die ein Einklemmungstrauma erlitten haben, sind mehrfachverletzt (Helm et al. 2001). Mehr als jeder zweite erleidet ein Polytrauma (Lampl et al. 1994). Als Polytrauma wird dabei die Verletzung mehrerer Körperregionen oder Organsysteme bezeichnet, wobei wenigstens eine Verletzung oder die Kombination mehrerer Verletzungen vital bedrohlich ist. Die Verletzungsschwere nach dem Injury Severity Score (ISS) muss 16 Punkte betragen.

Zu unterscheiden ist das Polytrauma von der Mehrfachverletzung ohne vitale Bedrohung sowie von der schweren, lebensbedrohlichen Einzelverletzung (Barytrauma) (DGU 2011).

Das Risiko von Traumapatienten, zusätzlich eine Hypothermie zu erleiden ist groß: Nach einer Studie von Helm et. al. haben Patienten, die nach einem Verkehrsunfall in ihrem Fahrzeug eingeklemmt sind, ein signifikant höheres Risiko, eine posttraumatische akzidentelle Hypothermie zu erleiden (Helm et al. 1995b). So wiesen 98,1% der Patienten, denen ein Einklemmungstrauma widerfahren war, bei Einlieferung in den Schockraum eine Hypothermie mit einer Körperkerntemperatur unter 35°C auf, während bei der nicht eingeklemmten Patientengruppe nur in 34,5% der Fälle eine Unterkühlung zu beobachten war. Zusätzlich wiesen die Patienten, die ein Einklemmungstrauma erlitten hatten, signifikant häufiger moderate und schwere Hypothermie-Zustände auf, als die Patienten des nicht eingeklemmten Kollektivs.

Wann der größte Teil des Wärmeverlustes in der Versorgungskette auftritt, wird unterschiedlich beurteilt: Gregory et al. konnten beobachten, dass der größte Wärmeverlust während der Versorgung im Schockraum auftrat, obwohl die Schwere des Traumas mit der Höhe der Hypothermie zum Zeitpunkt des Transfers in den Operationssaal korrelierte (Gregory et al. 1991). Seekamp et al. konnten in Ihrer Studie zeigen, dass im sog. therapiefreien Intervall, also während der Zeit zwischen dem Unfallzeitpunkt und dem Eintreffen des Rettungsdienstes (Seekamp et al. 1996). Die Patienten sind als Ergebnis dieser Studie bereits bei Beginn der Versorgung durch den Notarzt in einem hypothermen Zustand. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Luna et al., die ebenfalls die präklinische Phase für den Zeitpunkt des Beginns der Hypothermie ausmachten (Luna et al. 1987).

1.8. Ursachen des Wärmeverlustes nach Einklemmungstrauma

Die Frage, warum es bei Patienten, die nach einem Einklemmungstrauma ein Polytrauma erlitten haben, gehäuft zu einer Hypothermie kommt, ist nicht einem einzelnen Umstand geschuldet, sondern multifaktoriell zu sehen (Hildebrand et al. 2009).

Offensichtlich spielen dabei jedoch die Witterungseinflüsse und Jahreszeiten nur eine untergeordnete Rolle.

So konnten sowohl Sefrin als auch Helm in Ihren Studien nachweisen, dass Umweltbedingungen wie eine niedrige Lufttemperatur, Niederschlag zum Unfallzeitpunkt, Niederschlagsmenge, Windgeschwindigkeit sowie die relative Luftfeuchtigkeit das Risiko einer Hypothermie nach einem Einklemmungstrauma nicht signifikant steigern (Helm et al. 1995b; Sefrin und Rosenberger 2008).

Über die Frage, ob die Dauer der Einklemmung prädiktiv hinsichtlich eines veränderten Hypothermie-Risikos ist, findet sich in den bereits beschriebenen Studien von Helm und Sefrin uneinheitliche Angaben. Während Helm die Einklemmungszeit als Kofaktor sieht, konnte Sefrin in seinem, allerdings sehr kleinen Kollektiv (n=8), keinen statistischen Zusammenhang ausmachen.

Es konnte jedoch gezeigt werden, dass mit zunehmendem Schweregrad der erlittenen Verletzungen das Risiko der Entwicklung einer Hypothermie steigt.

Im Gegensatz zu einer moderaten Hypothermie ist eine schwere Hypothermie mit einer signifikant höheren Inzidenz von Verletzungen assoziiert. Insbesondere bei höheren Schweregraden bei Kopf- und Halsverletzungen sowie Becken- und

Extremitätenverletzungen wird ein erhöhtes Unterkühlungsrisiko beschrieben (Jurkovich et al. 1987; Seekamp et al. 1996).

Ein durch das Trauma erlittener schwerer hämorrhagischer Schock geht zudem typischerweise mit einem Verlust der Thermoregulation einher (Lier et al. 2009): Der Versuch, dem Auskühlen entgegenzuwirken, was letztlich einer sympathischen Aktivierung mit erhöhtem Verbrauch von Sauerstoff und Energiereserven bedarf, wird durch die bereits durch das Schockgeschehen bestehende Sauerstoffschuld der Peripherie begrenzt. Dies führt zu einer signifikanten Erniedrigung des Plasma-Adenosintriphosphats (ATP)-Spiegels, wobei das Ausmaß des ATP-Verbrauchs mit der Inzidenz eines multiplen Organversagens korreliert. (Seekamp et al. 1999).

Auch das Alter des Patienten korreliert signifikant mit dem Risiko einer Unterkühlung. Als Ergebnis Ihrer Untersuchungen an einem Patientenkollektiv mit einer Altersspanne von 14 bis 75 Jahren konnten Sefrin und Rosenberger zeigen, dass sich das Hypothermierisiko mit jedem ansteigenden Lebensjahr um den Faktor 1,035 erhöht. Weitere persönliche Merkmale wie Größe, Gewicht, Body-Mass-Index (BMI), sowie Körperoberfläche (KOF) haben keinen Einfluss auf das Hypothermierisiko (Sefrin und Rosenberger 2008).

Durch das Entkleiden des Patienten zur Diagnostik oder Durchführung invasiver Maßnahmen wie der Anlage einer Thoraxdrainage wird das Risiko der Auskühlung weiter verstärkt (Lier et al. 2009).

Viele der Maßnahmen, die der Notarzt an der Einsatzstelle und während des Transportes durchführt, können letztlich eine Hypothermie iatrogen verstärken: Durch den Einsatz von Muskelrelaxanzien und Anästhetika kann eine Reduktion der Wärmeproduktion, eine verminderte Vasokonstriktion mit folgender erhöhter Wärmeumverteilung und ein reduziertes Kältezittern hervorgerufen werden (Hildebrand et al. 2004). Da die Indikation zur Intubation bei Mehrfachverletzten gemäß S3-Leitlinie zur Versorgung von polytraumatisierten Patienten großzügig (DGU 2011) zu stellen ist, ist auch hier mit einer entsprechenden Häufigkeit dieser Maßnahme zu rechnen (Seekamp und Mahlke 2006).

Auch durch die Verabreichung nicht gewärmter Infusionen kann der Patient auskühlen. Das deutsche Traumaregister weist für das Jahr 2008 eine durchschnittliche präklinische Infusionsmenge von 1100ml pro Patient auf (DGU 2008).

Die Infusion von 2 Liter einer kristalloiden Lösung, deren Temperatur 18°C beträgt, kann einen Abfall der Körperkerntemperatur von 0,6°C bewirken (Hohlrieder et al. 2007). Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Sessler in einer Studie. Er konnte zeigen, dass die Transfusion einer gekühlten Blutkonserve oder 1 Liter einer bei Raumtemperatur gelagerten kristalloiden Lösung die mittlere Körpertemperatur eines Erwachsenen um etwa 0,25°C herabsetzt.

Bei größeren Mengen derartig verabreichter Lösungen konnten signifikante Temperaturverluste beobachtet werden (Sessler 1994).

Tabelle 3: Infusionsmenge, die in Abhängigkeit von Körpermasse und Infusionstemperatur zum Verlust von 1°C Körpertemperatur führt (Fritz et al. 1998).

Körpermasse	Infusionstemperatur 20°C	Infusionstemperatur 33°C
4 kg	211 ml	1229 ml
15 kg	792 ml	4611 ml
60 kg	3168 ml	18 444 ml
75 kg	3960 ml	23 055 ml

Die Gabe von gewärmten Infusionen kann zwar infusionsbedingte Wärmeverluste verhindern, eine aktive Wärmezufuhr von klinischer Relevanz gelingt hiermit aber nicht (Sessler 2001).

1.9. Pathophysiologie der akzidentellen Hypothermie nach schwerem Trauma

Der Abfall der Körperkerntemperatur hat zahlreiche Nebenwirkungen auf den Organismus zur Folge, welche in Tabelle 4 zusammengefasst sind (Poldermann 2008):

Tabelle 4 Häufige Nebenwirkungen der Hypothermie

Häufige Nebenwirkungen der Hypothermie
Gerinnungsstörungen
Kardiodepressive Wirkung, Arrhythmien
Elektrolytverschiebungen (Hypokaliämie, -kalziämie)
Hypovolämie, periphere Vasokonstriktion
Veränderung des Medikamentenmetabolismus
Insulinresistenz mit Hyperglykämie
Immunomodulation, Infektion
Rechtsverschiebung der Hb-Bindungskurve

Insbesondere die Koagulopathie ist bei der Behandlung von Schwerverletzten von Bedeutung. So versterben mehr als 80% der traumabedingten Toten im OP an der Hämorrhagie. Das Verbluten ist mit 40% neben dem Schädel-Hirn-Trauma (SHT) die häufigste Todesursache polytraumatisierter Patienten (Hess und Lawson 2006).

Durch schwere Weichteilverletzungen haben in rund ein Viertel der Fälle schwerverletzte Patienten bei Eintreffen im Schockraum eine beginnende, teilweise bereits manifeste Verbrauchskoagulopathie (Hess et al. 2008). Die vielfältigen Einflüsse der Hypothermie auf die Prozesse der Gerinnung können diese nicht nur verstärken, sondern potenzieren (Gubler et al. 1994).

Dabei wird sowohl der zelluläre als auch der plasmatische Anteil der Gerinnung durch die hypothermieinduzierte Verlangsamung der enzymatischen Prozesse der Gerinnungskaskade verändert (Hildebrand et al. 2004). Gemäß den Gesetzen von van't Hoff und Arrhenius bewirkt eine Temperaturabnahme um 1°C eine Aktivitätsabnahme der Gerinnungsproteasen um bis zu 10% (Lier et al. 2007). So konnte eine Studie von Johnston et al. zeigen, dass, obwohl die Konzentration an Gerinnungsfaktoren im Normalbereich lag, die Funktion der Faktoren IX, XI und XII im Rahmen der Hypothermie um bis zu 83% reduziert war (Johnston et al. 1994).

Zudem kommt es zu einer verminderten Ausschüttung antifibrinolytischer Faktoren (plasminogen-activator-inhibitor, Alpha-2-Antiplasmin), was eine erhöhte fibrinolytische Aktivität zur Folge hat (Yenari et al. 1995).

Aber auch die zelluläre Gerinnung ist verlängert unter hypothermen Bedingungen:

Zum einen durch die hypothermiebedingte Hemmung der Thrombozytenaktivierung (Michelson et al. 1994). Zum anderen kommt es durch die Inhibition der Interaktion des Von-Willebrand-Faktors und dem Thrombozyten-Glykoprotein-Ib-IX-V-Komplex zur Hemmung der Adhäsion der Thrombozyten (Kermode et al. 1999) .

Unterhalb von 35°C wird durch ein verstärktes Pooling in Milz und Leber zusätzlich der Anteil zirkulierender Thrombozyten vermindert (Kermode et al. 1999).

Therapeutisch lassen sich diese Gerinnungsstörungen nicht durch die Gabe von Blut- oder Gerinnungsprodukten beheben, sondern ausschließlich durch Erwärmung (Tieu et al. 2007; Ying et al. 2008).

Auch die Immunmodulation kann durch die Hypothermie beeinflusst werden. So kommt es durch einen Abfall der Körperkerntemperatur zu einer Beeinflussung der T-Zell-vermittelten Zytokinsynthese. In der frühen posttraumatischen Phase führt dies zu einer Reduktion der proinflammatorischen Zytokine wie TNF- α , IL-1 β sowie IL-6. Gleichzeitig kommt es zu einem Ansteigen der IL-10-Ausschüttung. (Hildebrand et al. 2004). Durch die Hypothermie werden jedoch ebenfalls die Anzahl der Adhäsionsmoleküle, die eine Interaktion der Granulozyten mit dem Endothel bewirken, herabgesetzt und dadurch deren spätere Migration in das Gewebe verhindert (Hildebrand et al. 2005).

Jedoch werden die möglicherweise protektiven Auswirkungen der Hypothermie neutralisiert durch die Reduktion der proinflammatorischen Zytokine und durch die gleichzeitige Förderung der antiinflammatorischen Mechanismen und der damit verbundenen Suppression der Abwehr von Infektionen.

Letztlich resultiert hieraus eine erhöhte Inzidenz von schweren Komplikationen wie Wundinfektionen und Pneumonien bis hin zur Sepsis (Lee et al. 2001).

Die Mortalitätsraten polytraumatisierter Patienten mit akzidenteller Hypothermie werden in der Literatur zwischen 25,5 und 80% angegeben und liegen damit signifikant höher als die normothermer traumatisierter Patienten (Ferrara et al. 1990; Jurkovich et al. 1987; Luna et al. 1987; Martin et al. 2005).

Die Frage, ob die akzidentelle Hypothermie eine unabhängige Determinante für die Mortalität von Traumapatienten darstellt, wird unterschiedlich beantwortet. Martin et al. konnten bei der Auswertung von über 700 000 Traumapatienten die akzidentelle Hypothermie als unabhängigen Mortalitätsfaktor ausmachen und forderten als Ergebnis, die Bekämpfung der Hypothermie bereits in der initialen Phase der Rettung von Traumapatienten (Martin et al. 2005).

Zu gleichen Ergebnisse kommen Shafi et al., die fast 40 000 verletzte Patienten auswerten. Auch hier zeigte sich, dass die Hypothermie ein unabhängiger Faktor für die Mortalität darstellt. (Shafi et al. 2005).

Beilman et al. analysierten über 700 Patienten und kamen hierbei jedoch zu dem Ergebnis, dass die Hypothermie zwar ein signifikanter Risiko-Faktor für das Multiorganversagen (MODS), jedoch nicht für die Mortalität sei (Beilman et al. 2009).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Trentzsch et al. bei einer Auswertung der Trauma-Datenbank der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie bei der über 5000 Patienten eingeschlossen wurden. Als Ergebnis sahen sie die Hypothermie als Folge der schweren Verletzungen. Dass die Hypothermie ein unabhängiger Risikofaktor für eine gesteigerte Mortalität dieses Patientenkollektivs sei, ist nach Einschätzung von Trentzsch et al. unwahrscheinlich (Trentzsch et al. 2012).

Auch Mommsen et al. zeigten in Ihrer Arbeit an 310 Patienten, dass die Hypothermie kein unabhängiger Mortalitätsfaktor sei (Mommsen et al. 2011).

Mortalität diskutieren

Allen Studien konnten jedoch eine deutlich gesteigerte Mortalität bei hypothermen Traumapatienten ausmachen.

Als Ergebnis wird daher in der Literatur eine frühe und effiziente Wiedererwärmung schwerstverletzter Patienten gefordert, wobei die Verhinderung einer akzidentellen Hypothermie oberste Priorität genießen muss, da die Prophylaxe einfacher ist als die Therapie (Hildebrand et al. 2009; Kobbe et al. 2009; Lier 2008).

1.10. Präklinische Behandlungsoptionen der akzidentellen Hypothermie bei eingeklemmten Verkehrsunfallopfern

In der Präklinik gibt es bisher nur wenige Strategien zur Vermeidung der Hypothermie oder gar für eine Wiedererwärmung eines hypothermen Patienten, der nach einem Verkehrsunfall im Unfallfahrzeug eingeklemmt ist. Die Autoren der bekannten notfallmedizinischen Fachbücher verweisen zwar in der überwiegenden Mehrheit auch auf den Wärmeerhalt des Patienten mit Aluminiumfolie (Rettungsfolie)

oder Wolldecken. Doch neben den Hinweisen auf die Durchführung einer rein passiven Erwärmung fehlen Maßnahmen, die eine suffiziente aktive Wiedererwärmung von unterkühlten Patienten als Ziel haben (Kühn et al. 1998; Naemt 2009).

Einige Autoren konstatieren gar, dass eine Wiedererwärmung präklinisch kaum zu erreichen sei und sich daher die Maßnahmen rein auf die Verhinderung eines weiteren Wärmeverlustes beschränkten (Hildebrand und Schöchel 2008; Hohlrieder et al. 2007).

In einigen Veröffentlichungen allerdings wird der Einsatz von Halogenscheinwerfern, wie sie von den Feuerwehren als Lichtquelle für nächtliche Einsätze mitgeführt werden, als Wärmestrahler zum Wärmeerhalt des Patienten beschrieben. Dabei soll der Scheinwerfer während der technischen Rettung in direkter Nähe des Einklemmten positioniert und der Lichtstrahl auf den Körper des Verunfallten gerichtet werden, um so mittels der Strahlungswärme ein weiteres Absinken der Körperkerntemperatur zu verhindern oder gar einen Wiedererwärmung des Patienten zu erreichen (Bernhard et al. 2004) (Auerhammer 2010).

Der Gedanke an die präklinische Verwendung von konvektiven Luftwärmern, deren erfolgreicher Einsatz zum Wärmeerhalt im perioperativen Bereich in vielen Studien nachgewiesen ist (Bräuer et al. 2002; Heuer 2000; Scherer 1997), fand sich in der Literaturrecherche lediglich in einem Lehrbuch zur technischen Unfallrettung (Südmersen und Heyne 2008).

Erschwerend kommt hinzu, dass in der präklinischen Patientenversorgung durch den Rettungsdienst und den Notarzt dem Temperaturmonitoring bisher nur wenig Bedeutung beigemessen wird. Eine Untersuchung von Helm et al. ergab, dass nur 44% der Rettungshubschrauberstützpunkte in dem Temperaturmonitoring eine wünschenswerte Erweiterung des präklinischen Monitorings sehen (Helm et al. 1995). Löb und Engelbrecht kamen sogar zu der Schlussfolgerung, dass die präklinische Temperaturmessung nur in Einzelfällen relevante Zusatzinformationen über den Patienten liefere (Löb und Engelbrecht 1999).

1.11. Ziel der Arbeit

Die akzidentelle Hypothermie hat für den nach einem Verkehrsunfall im Fahrzeug eingeklemmten schwerstverletzten Patienten eine erhebliche Bedeutung. Aktuell gibt es jedoch nur wenige Strategien zur Vermeidung der Hypothermie bzw. für eine aktive präklinische Wiedererwärmung von eingeklemmten Verkehrsunfallopfern.

Eine in der Literatur beschriebene Variante ist der Einsatz von Halogenstrahlern. Der Einsatz von konvektiven Luftwärmern dagegen stellt bisher eine Rarität an Einsatzstellen dar, obwohl ihr Nutzen und ihre Effektivität im perioperativen Bereich nachgewiesen sind. Zu beiden Varianten fehlen bisher Studien über die Wirksamkeit unter präklinischen Bedingungen. Da an eingeklemmten und schwerverletzten Patienten keine standardisierten Untersuchungen möglich sind, führten wir eine prospektive Modelluntersuchung an gesunden Probanden durch. Der Versuchsaufbau wurde dahingehend gestaltet, dass möglichst realistische, den präklinischen Gegebenheiten ähnliche Bedingungen simuliert wurden.

Hierdurch sollte unter standardisierten Bedingungen folgenden Fragestellungen nachgegangen werden:

- 1. Ist bei kälteexponierten Personen durch den Einsatz von Halogenstrahlern, wie sie von den Feuerwehren in Deutschland mitgeführt werden, eine Steigerung bzw. Stabilisierung der Körperkerntemperatur, der mittleren Hauttemperatur oder der Gesamtkörperwärmemenge möglich?**
- 2. Ist unter diesen Bedingungen durch den Einsatz von konvektiven Luftwärmern eine Steigerung bzw. Stabilisierung der Körperkerntemperatur, der mittleren Hauttemperatur oder der Gesamtkörperwärmemenge möglich?**
- 3. Gibt es signifikante Unterschiede zwischen beiden Methoden?**

2. Material und Methoden

2.1. Genehmigung durch die Ethik-Kommission

Die Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen bescheinigte auf Antrag, dass gegen die Durchführung des Forschungsvorhabens keine ethischen und rechtlichen Bedenken bestehen.

2.2. Probanden

Wir führten eine prospektive randomisierte Studie an 30 gesunden Probanden durch. Die teilnehmenden Probanden nahmen alle freiwillig an der Untersuchung teil. Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie waren volle Einwilligungsfähigkeit und das Verständnis der deutschen Sprache. Darüber hinaus mussten folgende Kriterien erfüllt sein:

2.3. Einschlusskriterien:

- Alter <18 Jahre, > 65 Jahre
- ASA I-II (siehe Tabelle 5. S.25)
- *Body-Mass-Index* < 30 kg/m²
- Subjektives Wohlbefinden zum Zeitpunkt der Untersuchung

2.4. Ausschlusskriterien

Folgende Parameter wurden vor Einschluss in die Studie erhoben. Eine positive Antwort hätte zum Ausschluss von der Studie geführt:

- Alter <18 Jahre, > 65 Jahre
- Bek. Herzrhythmusstörungen
- Hyper-/Hypothyreose
- Leberfunktionsstörungen
- Nierenfunktionsstörungen
- Infekt der oberen Luftwege

- Herzinsuffizienz
- Lungenerkrankung mit SaO₂ <95% oder bekannter Hyperkapnie
- Infekt des Gastrointestinaltraktes
- Bestehende Schwangerschaft
- Regelmäßige Medikamenteneinnahme (außer Antikonzeptiva)
- pAVK, Stadium II-IV
- Epilepsie
- Morbus Raynaud
- *BMI > 30kg/m²*

2.5. Abbruchkriterien

Folgende Kriterien hätten zu einem sofortigen Abbruch der Untersuchungen geführt:

- Körperkerntemperatur unter 34°C
- Herzfrequenz über 120/min
- Herzfrequenz unter 50/min
- Abfall der SaO₂ auf Werte unter 95%
- pathologische EKG-Veränderungen
- Subjektives Unwohlsein

Die Probanden wurden über die allgemeinen Risiken der Teilnahme an der Versuchsreihe aufgeklärt.

Zusätzlich erhielten die Probanden einen Aufklärungsbogen mit der detaillierten Darstellung des Studienvorhabens (s. Anhang).

Das schriftliche Einverständnis aller Probanden wurde vor deren Einschluss in die Studie eingeholt.

Für die teilnehmenden Probanden bestand selbstverständlich jederzeit die Möglichkeit, den Versuch abzubrechen. Hiervon machte jedoch kein Proband Gebrauch.

Tabelle 5: American Society of Anesthesiology (ASA) - Klassifikation

American Society of Anesthesiology (ASA) - Klassifikation	
I	Bis auf den durchzuführenden Eingriff gesunder Patient
II	Leichte Allgemeinerkrankung ohne Leistungseinschränkung
III	Schwere Allgemeinerkrankung mit Leistungseinschränkung
IV	Schwere Systemerkrankung, die eine ständige Bedrohung des Lebens des Patienten darstellt
V	Moribunder Patient, der voraussichtlich mit oder ohne Operation innerhalb der nächsten 24 h versterben wird
VI	Hirntoter Patient oder Organspender

2.6. Geräte zur Wiedererwärmung

In den Versuchsteilen A und B wurden unterschiedliche Geräte zur Wiedererwärmung benutzt. In Versuchsteil A ein Halogenstrahler und in Versuchsteil B ein konvektiver Luftwärmer.

2.3.1. Halogenstrahler

Als Halogenstrahler wurde der Flutlichtstrahler BS 1000 der Firma Karl Meister GmbH Feuerwehrtechnik verwendet. Dieser Flutlichtstrahler wird von vielen Feuerwehren in Deutschland verwendet. Der Scheinwerfer hat laut Herstellerangaben eine Leistungsaufnahme von 230V/1000W, ein entsprechendes Halogenleuchtmittel war in diesem Strahler verbaut. Die Abmessungen betragen (BxHxT) 288x162x145 mm.



Abbildung 3: Halogenstrahler auf Stativ. Quelle: Christopher Jebens

2.3.2. Konvektiver Luftwärmer

Als konvektiver Luftwärmer wurde das Gerät Polarn 4000 der Firma Eberspächer verwendet. Dieses Gerät ist durch seine Bauart für den präklinischen Einsatz vorgesehen. Dieser Luftwärmer wird mit Dieselkraftstoff betrieben und verfügt über 4 Heizstufen mit einem Wärmestrom zwischen 900 und 4000 Watt laut Herstellerangaben. Während der Versuchsreihe wurde ausschließlich die Heizstufe 2 (=1200 Watt) verwendet. Die Warmluft wird in dem Gerät erzeugt und dann über einen 1,5m langen und 90mm breiten Luftschlauch zum Patienten transportiert.



Abbildung 4: Konvektiver Luftwärmer Polarn 4000 der Firma Eberspächer. Quelle: Christopher Jebens

Als Wärmedecke wurde eine handelsübliche Kunststoffolie verwendet. Diese hatte die Abmessungen 2 x 2,5 Meter. Der Proband wurde mit der Folie bedeckt und der Warmluftschlauch an den Füßen des Patienten unter die Folie geführt.

2.4. Versuchsaufbau und Durchführung

Um die Umgebungssituation eines Verkehrsunfalls standardisiert zu simulieren, wurde in einem 7500m² großen Kühlhaus bei einer stabilen Umgebungstemperatur von 3°C ±1°C folgender Versuchsaufbau vorbereitet:

Der Fahrersitz eines PKW wurde inmitten des Kühlhauses positioniert. Der Flutlichtstrahler wurde auf einem Dreibein-Stativ in einer Höhe von 1m montiert und in einem Abstand von 2m zur Körpermitte des Probanden im rechten Winkel zu diesem aufgestellt. Das Warmluftgebläse stand ausgeschaltet auf der linken Seite des Patienten.

Die Studie wurde in zwei Teile, Versuchsteil A und Versuchsteil B geteilt, die jeder Proband mit einer zwischenzeitlichen Pause von mindestens 7 Tagen zu durchlaufen hatte. Die Zuordnung des Probanden zum ersten Versuchsteil erfolgte durch das Ziehen eines Loses vor dem Durchlauf des ersten Versuchsteils durch den Probanden selbst. Das Los wurde erst 20 Minuten nach Beginn des Versuches durch den Studienarzt geöffnet. Erst durch Beginn der Wärmemethoden erfuhr der Patient, welchen Versuchsteil er an diesem Tag zu durchlaufen hat.

Am zweiten Messtermin eines jeden Probanden wurde der jeweilige andere Versuchsteil durchlaufen, so dass jeder Proband sowohl den Versuchsteil A, als auch den Versuchsteil B als seine eigene Kontrolle absolvierte.

20 Minuten vor Beginn der Versuche wurde die tympanale Messsonde im rechten Gehörgang positioniert. Der Proband sollte den Kontakt mit dem Trommelfell bestätigen. Der Gehörgang wurde mit Watte abgedeckt und der Temperaturfühler zusätzlich mit einem Verband gesichert. Die Probanden waren für den Versuchszeitraum bekleidet mit T-Shirt, kurzer Hose, Unterwäsche, Strümpfen und Schuhen. Sie wurden aufgefordert, sich während des Versuches so wenig wie möglich zu bewegen.

Der Proband wurde schließlich auf dem PKW-Sitz platziert und das Monitoring angelegt und die erste Messung zum Zeitpunkt 0 Minuten gestartet. Die ersten 21 Minuten der beiden Versuchsreihen gliederten sich identisch.

Der Versuchsaufbau sollte den typischen Zeitverlauf der präklinischen Versorgung widerspiegeln.

Tabelle 6: Zeitverzug im präklinischen Notarzt/Rettungswesen (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie – Traumaregister 1993 – 2007)

Zeitverzug im präklinischen Notarzt / Rettungswesen		
Zeitspanne	Zeitverzug im Mittel (min)	Patienten- kollektiv (n)
Geschätzter Unfallzeitpunkt bis Eintreffen des Notarztes am Unfallort	19,2	17.034
Therapiephase des Notarztes am Unfallort	31,8	16.476
Transportphase Notarzt bis Klinik	18,8	15.415
Behandlungs- und Transportzeit seit Eintreffen Notarzt bis Eintreffen Klinik	50,2	17.666
Unfall bis zur Aufnahme im Schockraum	71,2	24.889



Abbildung 5: Versuchsaufbau im Überblick. (Einwilligung zur Veröffentlichung des Fotos liegt vor).

2.4.1. Versuchsteil A (Halogenstrahler)

Nach 21 Minuten Versuchsdauer wurden in diesem Teil die Probanden mit dem Halogenstrahler bestrahlt. Der Halogenstrahler wurde auf der linken Seite des Probanden auf einem Stativ in einer Höhe von 1m im rechten Winkel zum PKW-Sitz platziert. Der Abstand zwischen der Mitte des PKW-Sitzes und der Mitte des Statives betrug 2m.

Für die restlichen 39 Minuten des Versuches verblieb die Versuchsanordnung in dieser Art und Weise.



Abbildung 6: Versuchsteil A: Wärmung mit Hilfe des Halogenstrahlers. (Einwilligung zur Veröffentlichung des Fotos liegt vor).

2.4.2. Versuchsteil B (konvektiver Luftwärmer)

Nach 21 Minuten Versuchsdauer wurde in diesem Teil der konvektive Luftwärmer gestartet und der Proband mit der vorbereiteten Kunststoffolie umhüllt. Der Warmluftschlauch wurde zwischen den Füßen des Probanden unter die Folie geführt, um so die gewärmte Luft zwischen Folie und Proband zu blasen. Der Luftwärmer wurde auf der Stufe 2 betrieben. Für die restlichen 39 Minuten des Versuches verblieb die Versuchsanordnung in dieser Art und Weise.



Abbildung 7 : Versuchsteil B: Wärmung mit Hilfe des konvektiven Luftwärmers. (Einwilligung zur Veröffentlichung des Fotos liegt vor).

2.5. Messwerte

Sämtliche erhobenen Messwerte wurden ab dem Startzeitpunkt alle 3 Minuten aufgezeichnet. Der erste Eintrag war jeweils der Zeitpunkt „0-Minuten“, der letzte Eintrag der Zeitpunkt „60 Minuten“.

Folgende Daten wurden während der Versuche erhoben:

2.5.1. Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde mittels eines fortlaufend abgeleiteten Elektrokardiogramms (EKG) bestimmt.

2.5.2. Blutdruck

Eine Überwachung des systolischen und diastolischen Blutdruckes sowie des Mitteldrucks erfolgte nicht-invasiv, oszillometrisch am linken Oberarm alle 3 Minuten.

2.5.3. Periphere Sauerstoffsättigung (SpO₂)

Die periphere Sauerstoffsättigung wurde mittels einer Pulsoxymetrie am rechten Zeigefinger aufgezeichnet. Die Messung diente allein der Probandenüberwachung. Eine statistische Auswertung erfolgte nicht.

2.5.4. Numerische-Rating-Skala

Das subjektive Kälteempfinden wurde mittels einer numerischen Ratingskala bestimmt. Die Probanden sollten auf einer Skala zwischen 0=angenehmes Wärmegefühl bis 10=maximales Kältegefühl ihr jeweiliges Kälteempfinden beschreiben.

Numerische Rating-Skala (NRS)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
angenehmes					maximales					
Wärmegefühl					Kältegefühl					

Abbildung 8: Numerische Rating-Skala (NRS) zur subjektiven Einschätzung des Kältegefühls

2.5.5. Subjektives Kältegefühl

Zudem wurde durch den Studienarzt jeder Proband nach Durchlaufen jedes Versuchsteils nach seiner subjektiven Bewertung der Wärmemethode befragt. Zur Auswahl standen dabei jeweils folgende Antworten:

Die Wärmemethode hat:

- hat überhaupt nichts bewirkt
- hat nur gering gewärmt
- hat mäßig gewärmt
- hat deutlich gewärmt

2.5.5. Muskelzittern

Das Muskelzittern wurde mittels des Bedside-Shivering-Assessment-Scales (BSAS) (Badjatia et al. 2008) durch den anwesenden Studienarzt qualifiziert.

Tabelle 7: The Bedside Shivering Assessment Scale (Badjatia et al. 2008, S. 3246)

Score	Type of shivering	Location
0	None	No shivering is detected on palpation of the masseter, neck, or chest muscles
1	Mild	Shivering localized to the neck and thorax only
2	Moderate	Shivering involves gross movement of the upper extremities (in addition to neck and thorax)
3	Severe	Shivering involves gross movements of the trunk and upper and lower extremities

2.6. Methodik der Temperaturmessung

2.6.1. Körperkerntemperatur

Die Messung der Körperkerntemperatur erfolgte mittels tympanaler Messsonden. Die tympanale Messsonde der Firma GE-Healthcare wurde 20 Minuten vor Versuchsbeginn im rechten Gehörgang platziert und soweit vorgeschoben, bis die Probanden den Kontakt zum Trommelfell bemerkten. Anschließend wurde der Gehörgang mit Watte abgedeckt und zur sicheren Fixierung ein Verband um den Kopf angelegt.

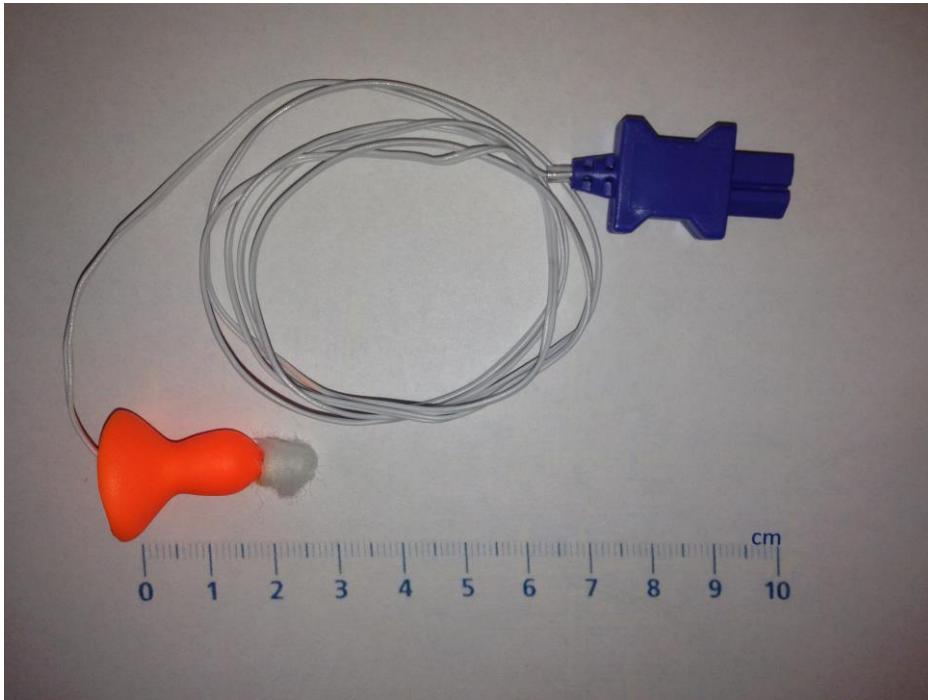


Abbildung 9: Tympanale Messsonde der Firma GE-Healthcare. Quelle: Christopher Jebens

Die Körperkerntemperatur sowie alle anderen genannten Messwerte wurden mit dem Multi-Parameter Patientenmonitor Propaq EL 104 EL erhoben. Die Genauigkeit der Temperaturmessung beträgt bei diesem Gerät $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, bei einer Auflösung von $0,1^{\circ}\text{C}$. Das Gerät ist laut Herstellerangaben für die im Kühlhaus herrschenden Umgebungstemperaturen zugelassen.

2.6.2. Hauttemperatur

Die Hauttemperatur wurde mit dem Infrarot-Thermometer KIRAY 300 bestimmt. An Folgenden Hautflächen wurde die Temperatur alle 3 Minuten bestimmt:

- Oberarm medial außen rechts
- Brust medial ca. 5cm oberhalb der Mamillarlinie, hierfür wurde das T-Shirt entsprechend für die Messungen heruntergezogen.
- Oberschenkel medial außen rechts
- Wade medial rechts

2.7. Auswertung der Temperaturmesswerte

Für die statistische Auswertung der Temperaturmesswerte wurden folgende Daten verwendet bzw. errechnet:

- Körperkerntemperatur (T_{tymp})
- Mittlere Hauttemperatur (MHT) nach der Formel nach Ramanathan
- Gesamtkörperwärmemenge (GKW) nach Burton

2.7.1. Mittlere Hauttemperatur nach Ramanathan

Die mittlere Hauttemperatur (MHT) wurde nach der Formel nach Ramanathan (Ramanathan 1964) aus den gemessenen Hauttemperaturen wie folgt bestimmt:

$$\text{MHT} = 0,3 \cdot (T_{\text{Brust}} + T_{\text{Oberarm}}) + 0,2 \cdot (T_{\text{Oberschenkel}} + T_{\text{Wade}})$$

2.7.2. Gesamtkörperwärmemenge nach Burton

Die Bestimmung der Gesamtkörpermenge (GKW) erfolgte gemäß der Formel nach Burton.

Zunächst ist es jedoch erforderlich hierfür die mittlere Körpertemperatur (MKT) zu errechnen. Hierzu wurde folgende Formel verwendet:

$$\text{MKT} = (0,64 \cdot T_{\text{Körperkern}}) + (0,36 \cdot \text{Mittlere Hauttemperatur})$$

Mithilfe der mittleren Körpertemperatur kann schließlich die Gesamtwärmemenge errechnet werden:

$$\text{GKW} = \text{mittlere Körpertemperatur (MKT)} \cdot \text{Gewicht} \cdot \text{spez. Wärmekapazität des menschlichen Körpergewebes (3,475 kJ} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

Die spezifische Wärmekapazität ist eine physikalische Größe, die für einen bestimmten Stoff angibt, welche Wärmemenge gemessen in der Einheit Joule diesem Stoff zuzufügen ist, um seine Temperatur um ein Kelvin zu erhöhen.

Die spezifische Wärmekapazität des Menschen beträgt durchschnittlich $3,475 \text{ kJ} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Burton 1935).

2.8. Statistische Verfahren

Die statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 19.0 (SPSS Inc., U.S.A.) durchgeführt. Die kontinuierlichen Variablen wurden mittels des Shapiro-Wilk-Tests hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Die getesteten Variablen wiesen überwiegend keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$). Bei den Vergleichen der Stichproben wurden daher durchgehend nichtparametrische Tests für nicht normalverteilte Stichproben herangezogen.

Die Darstellung der metrischen Variablen erfolgte als Mediane, während die Streumaße als Quantile angegeben wurden.

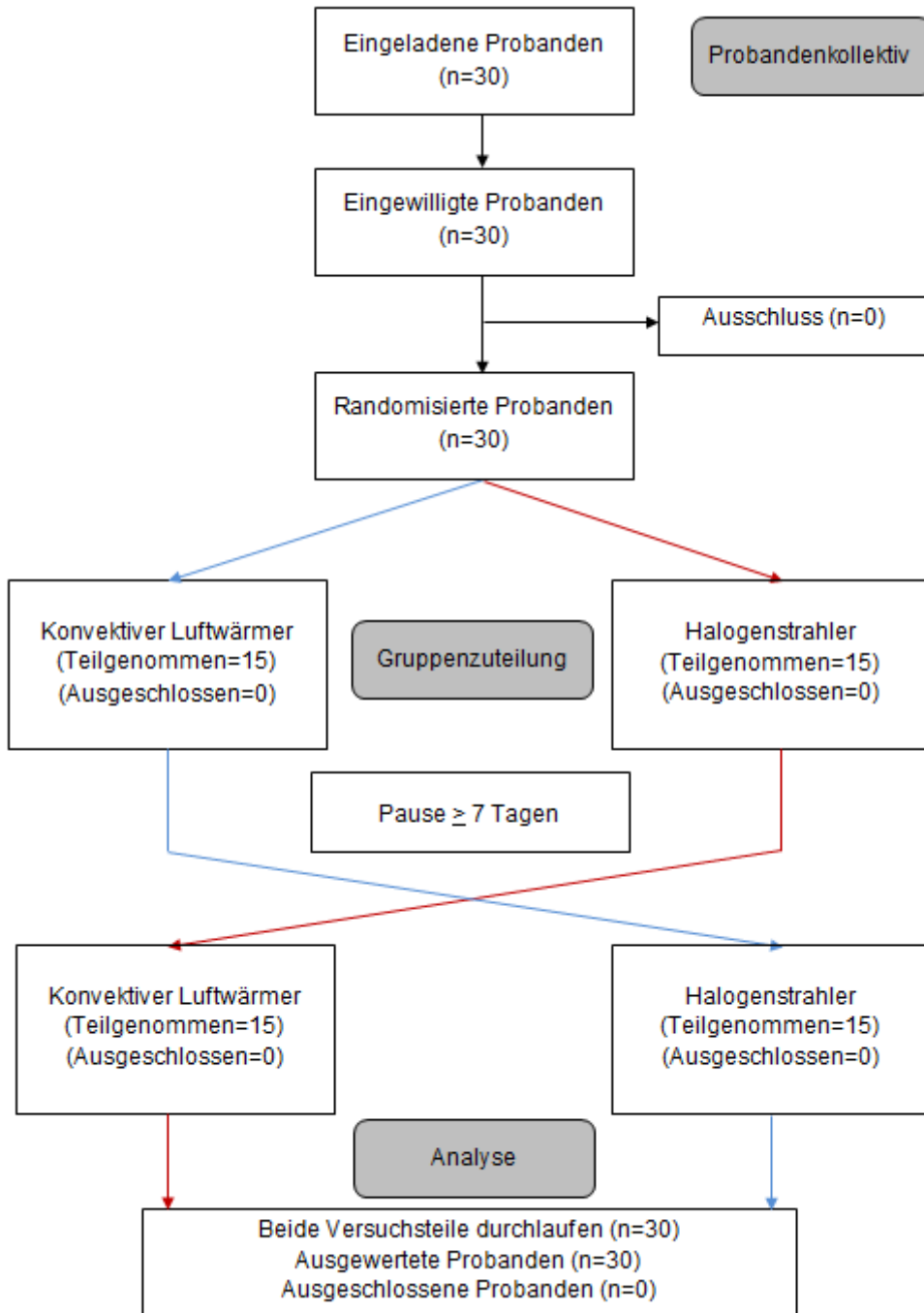
Zwei verbundene, nicht normalverteilte Stichproben wurde mittels Wilcoxon- Test hinsichtlich signifikanter Unterschiede überprüft, während beim Vergleich von mehr als zwei verbundenen, nicht normalverteilten Stichproben der Friedman-Test Anwendung fand.

Bei allen durchgeführten Tests erfolgte eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung, wobei für alle statistischen Tests ein p-Wert $< 0,05$ als statistisch signifikant angenommen wurde.

Die Grafiken wurden ebenfalls mit SPSS erstellt. Zur Darstellung der Mediane und Quartilsabstände wurden Boxplots angefertigt. Während in den Boxen der Median sowie die 25.-75. Perzentile aufgetragen sind, entsprechen die T-Balken dem kleinsten und größten Wert, sofern diese keine Ausreißer bzw. Extremwerte sind. Die Ausreißer sind dabei Werte, die zwischen $1 \frac{1}{2}$ - 3 Boxlängen außerhalb der Box lagen; sie sind in den Grafiken als Kreise dargestellt, während Extremwerte, die mehr als 3 Boxlängen außerhalb der Box gemessen wurden, als Kreuze aufgetragen sind. Die Altersverteilung wurde in einem Histogramm dargestellt

3. Ergebnisse

3.1. Studien-Flowchart



3.2. Basisparameter

Die Basisparameter sind den Tabellen 8 und 9 zu entnehmen.

Tabelle 8: Basisparameter Geschlechterverteilung

	Häufigkeit	Prozent
männlich	21	70,0
weiblich	9	30,0
gesamt	30	100,0

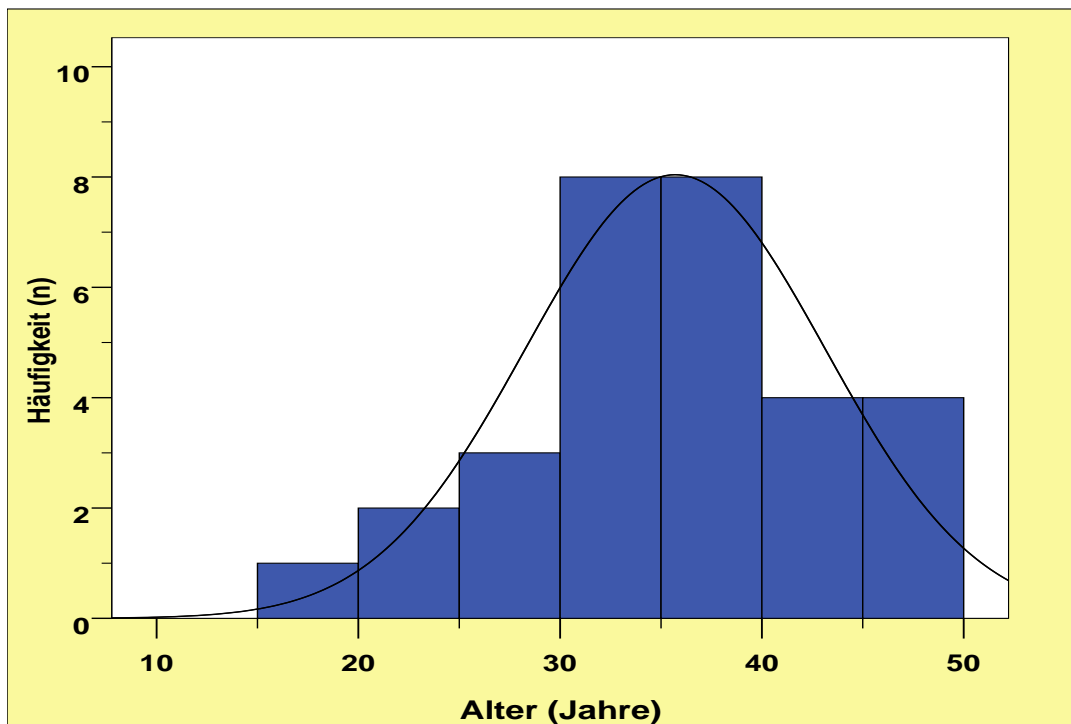


Abbildung 10: Altersverteilung Probanden

Tabelle 9: Basisparameter Größe und Gewicht

		Größe	Gewicht	BMI
N	Gültig	30	30	30
	Fehlend	0	0	0
Median		180,50	80,00	24,93
Minimum		155	52	19
Maximum		196	117	30
Perzentile	25	170,00	72,50	22,22
	75	186,25	89,00	27,00

3.3. Körperkerntemperatur

Die Körperkerntemperatur wurde fortlaufend alle drei Minuten aufgezeichnet. Hier zeigten sich zwischen den Wärmemethoden Halogenstrahler und konvektiver Luftwärmer keine signifikanten Unterschiede.

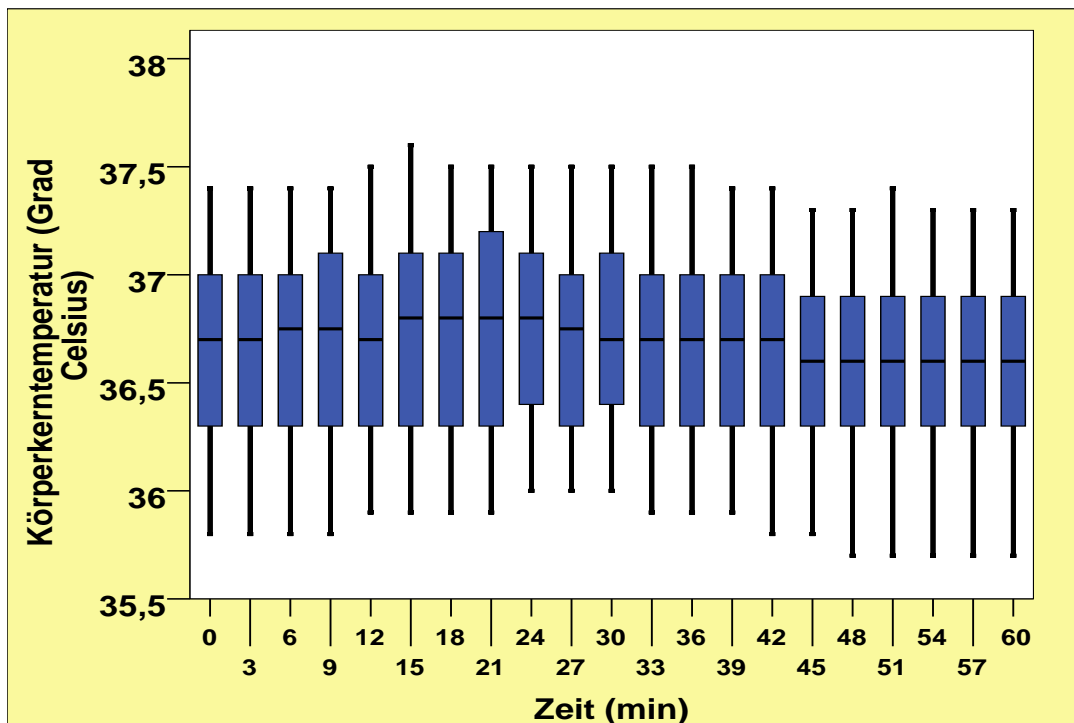


Abbildung 11: Körperkerntemperatur Halogenstrahler

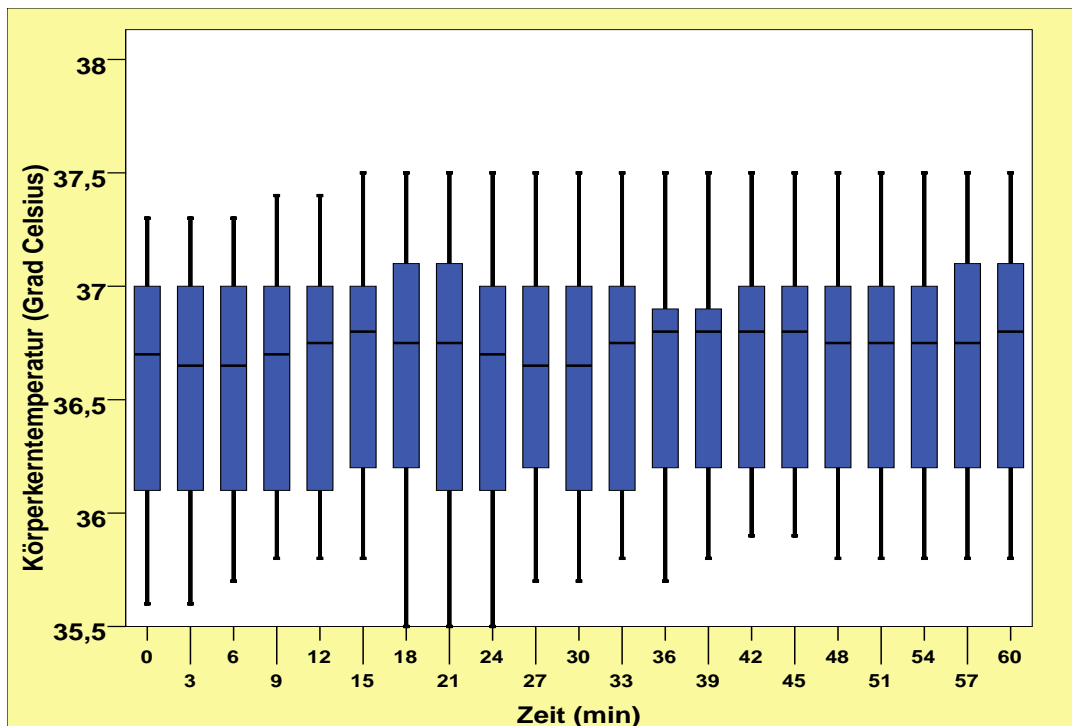


Abbildung 12: Körpertemperatur konvektiver Luftwärmer

Tabelle 10: Wilcoxon-Test Körpertemperatur (KKT)

	KKT 0min Halogen – KKT 0min Warmluft	KKT 21min Halogen – KKT 21min Warmluft	KKT 30min Halogen – KKT 30min Warmluft	KKT 45min Halogen – KKT 45min Warmluft	KKT 60min Halogen – KKT 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,380	,237	,254	,673	,304

3.4. Hauttemperatur

Die gemessenen Hauttemperaturen wiesen eine große Spanne auf. So zeigte sich ein Temperaturgefälle vom Körperstamm zur Peripherie.

Die an der Brust gemessenen Hauttemperaturen wiesen einen Temperaturbereich zwischen 19,1°C bis 38,0°C auf, während der an der Wade gemessene Temperaturbereich 20,1°C bis 33,4°C betrug. Kritische Hauttemperaturen über 41°C wurden nicht beobachtet. Von mehreren Probanden wurde die Temperatur der Luft am Ausgang des Schlauches des konvektiven Luftwärmers bemängelt und als zu heiß empfunden. Messungen der Hauttemperatur im Bereich der einströmenden Luft wurden nicht vorgenommen.

Regelmäßige Messungen der Temperaturen des Schlauches und der ausströmenden Luft ergaben Temperaturen über 60°C.

Die höchste gemessene Temperatur am Ende des zuführenden Warmluftschlauches wurde mit 70,5°C gemessen. Dieses wurde durch die Probanden mit dem rechtzeitigen Wegziehen des Fußes von der Eintrittsstelle des Schlauches unter die Kunststoffolie beantwortet. Thermische Schäden der Haut oder andere Verletzungen waren daher nicht zu beobachten. Bei bewusstlosen Personen oder in der Bewegung eingeschränkten Personen, zum Beispiel nach einem Einklemmungstrauma, wären die gemessenen Lufttemperaturen jedoch eine potentielle Gefahr für eine schwere Verbrennung.

Bei dem Versuchsteil A, in dem der Halogenstrahler als Wärmequelle Verwendung fand, wurden ebenfalls keine kritischen Hauttemperaturen gemessen. Die Probanden beklagten keine kritischen Temperaturen. Lediglich das Licht wurde als blendend und störend empfunden. Schäden traten hierdurch jedoch nicht auf.

3.5. Mittlere Hauttemperatur

Die Mittlere Hauttemperatur (MHT) wurde aus der Formel nach Ramanathan (Ramanathan 1964) berechnet. Hier zeigten die Probanden im Versuchsteil Warmluft nach 30 Minuten eine signifikant höhere mittlere Hauttemperatur als die Probanden, die mit dem Halogenstrahler gewärmt wurden. So beträgt die mittlere Hauttemperatur nach 30 Minuten beim Halogenstrahlerversuch im Median 25,425°C, während sie in der Warmluftgruppe 29,70°C beträgt. Nach 45 Minuten beträgt der Wert schließlich

24,48°C im Halogenstrahlerversuch und bereits 32,15°C in der Gruppe der mit dem konvektiven Luftwärmern gewärmten.

Nach 60 Minuten beträgt der Median im Halogenstrahlerversuch 23,77°C und 32,70°C im Warmluftversuch.

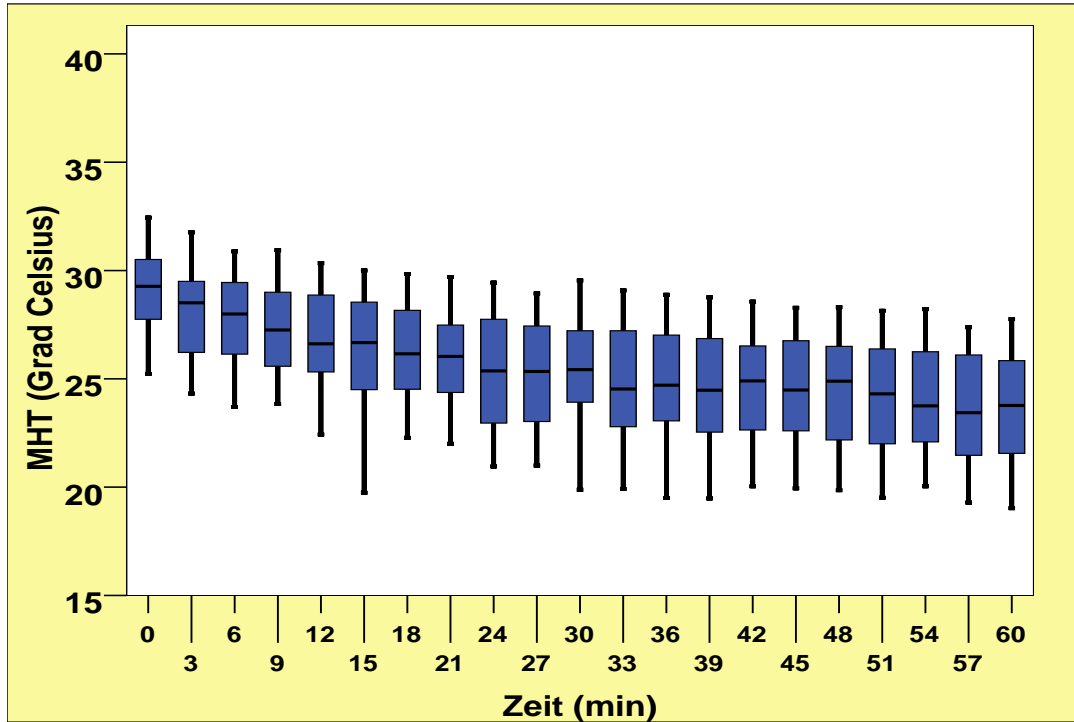


Abbildung 13: Mittlere Hauttemperatur Halogenstrahler

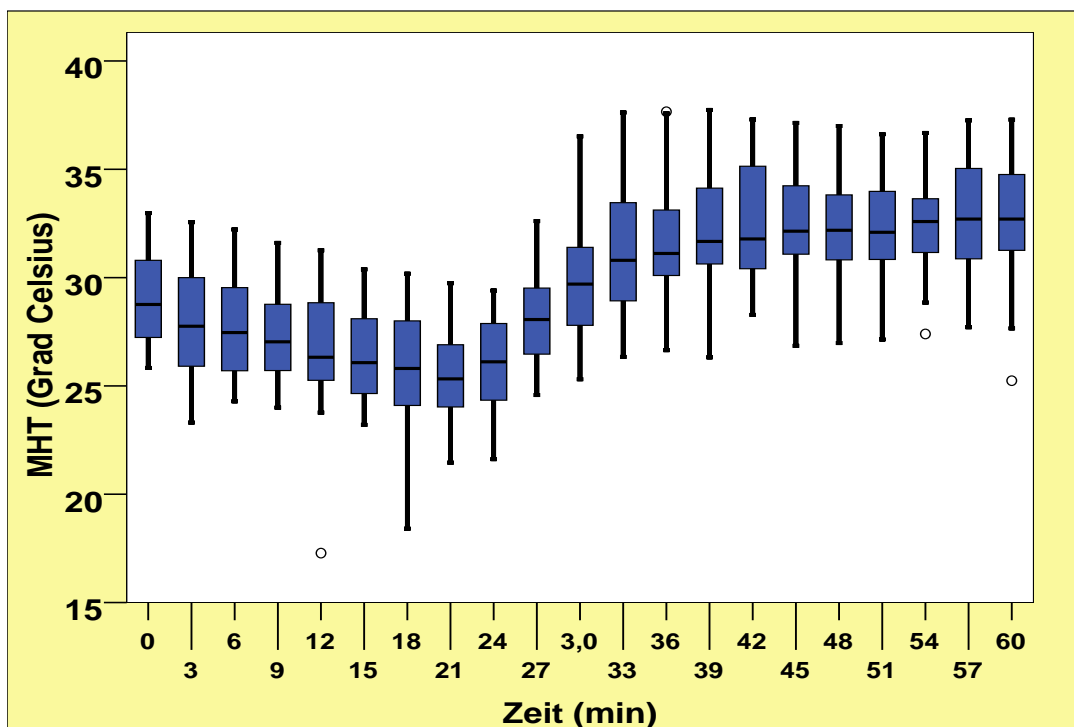


Abbildung 14: Mittlere Hauttemperatur Warmluft

Tabelle 11: Wilcoxon-Test Mittlere Hauttemperatur (MHT)

	MHT 0min Halogen - MHT 0min Warmluft	MHT 21min Halogen - MHT 21min Warmluft	MHT 30min Halogen - MHT 30min Warmluft	MHT 45min Halogen - MHT 45min Warmluft	MHT 60min Halogen - MHT 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,829	,910	0,0001	0,0001	0,0001

3.6. Mittlere Körpertemperatur

Auch bei der mittleren Körpertemperatur (MKT) zeigten die Probanden im Versuchsteil Warmluft nach 30 Minuten eine signifikant höhere mittlere Hauttemperatur als die Probanden, die mit dem Halogenstrahler gewärmt wurden. So beträgt die mittlere Körpertemperatur nach 30 Minuten beim Halogenstrahlerversuch im Median 32,53°C, während sie in der Warmluftgruppe 34,10°C beträgt. Nach 45 Minuten beträgt der Wert schließlich 32,20°C im Halogenstrahlerversuch und bereits 35,18°C in der Gruppe der mit dem konvektiven Luftwärmern gewärmten. Nach 60 Minuten beträgt der Median im Halogenstrahlerversuch 31,659°C und 35,26°C im Warmluftversuch.

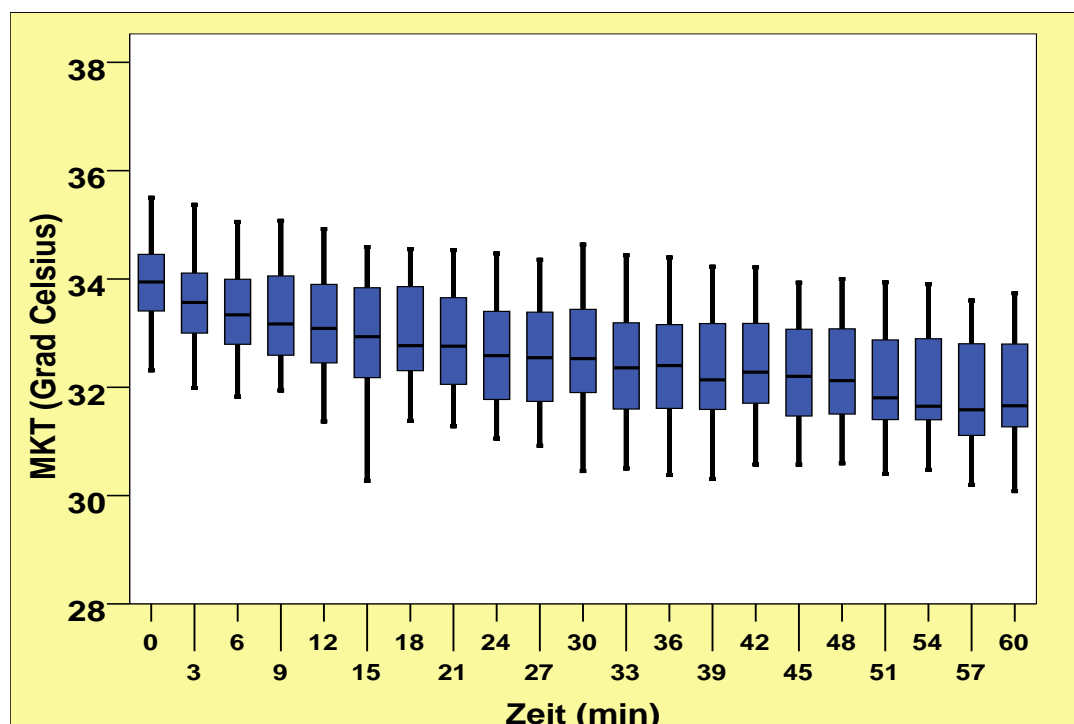


Abbildung 15: Mittlere Körpertemperatur Halogenstrahler

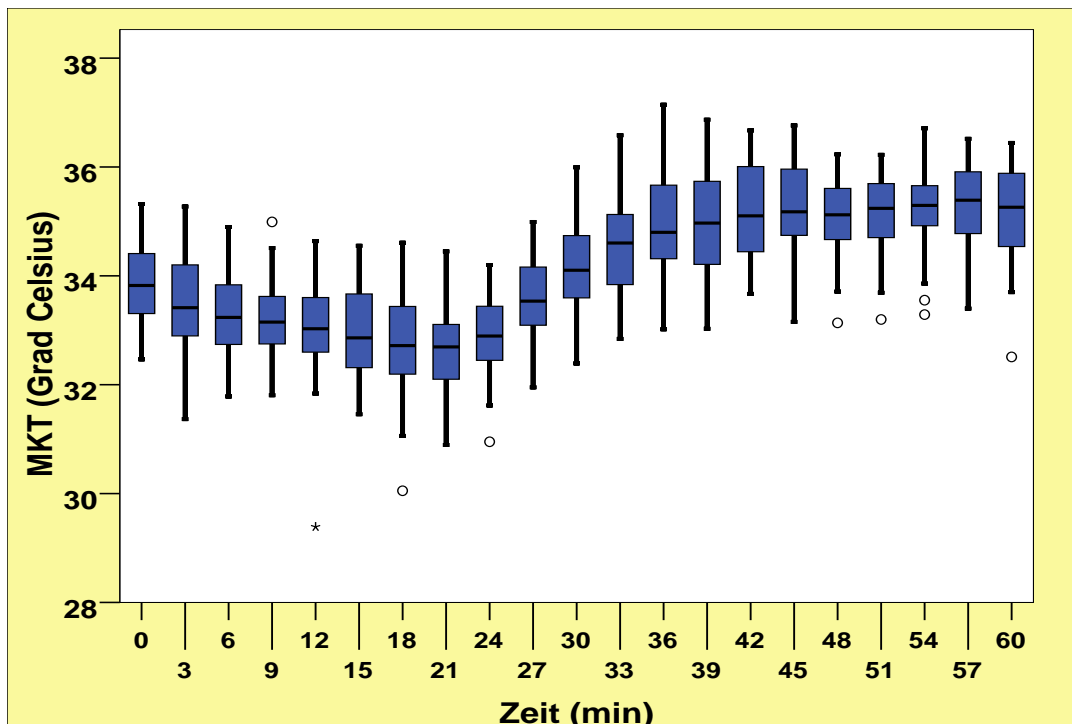


Abbildung 16: Mittlere Körpertemperatur Warmluft

Tabelle 12: Wilcoxon-Test Mittlere Körpertemperatur (MKT)

	MKT 0min Halogen - MKT 0min Warmluft	MKT 21min Halogen - MKT 21min Warmluft	MKT 30min Halogen - MKT 30min Warmluft	MKT 45min Halogen - MKT 45min Warmluft	MKT 60min Halogen - MKT 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,750	,478	0,0001	0,0001	0,0001

3.7. Gesamtkörperwärmemenge

Die Gesamtkörperwärmemenge (GKW) wurde nach Burton (Burton 1935) bestimmt. Hier zeigen sich nach 30 Minuten hoch signifikante Unterschiede. So verfügen die Probanden, die mit dem konvektiven Luftwärmer gewärmt wurden, bereits nach 30 Minuten über eine signifikant höhere Gesamtkörperwärmemenge. So beträgt die Gesamtkörperwärmemenge nach 30 Minuten beim Halogenstrahlerversuch im Median 8813,62kJ, während sie in der Warmluftgruppe 9632,82kJ beträgt. Nach 45 Minuten beträgt der Wert schließlich 8785,76kJ im Halogenstrahlerversuch und bereits 9780,37kJ in der Gruppe der mit dem konvektiven Luftwärmer Gewärmten. Nach 60 Minuten beträgt der Median im Halogenstrahlerversuch 8688,94kJ und 9477,18kJ im Warmluftversuch.

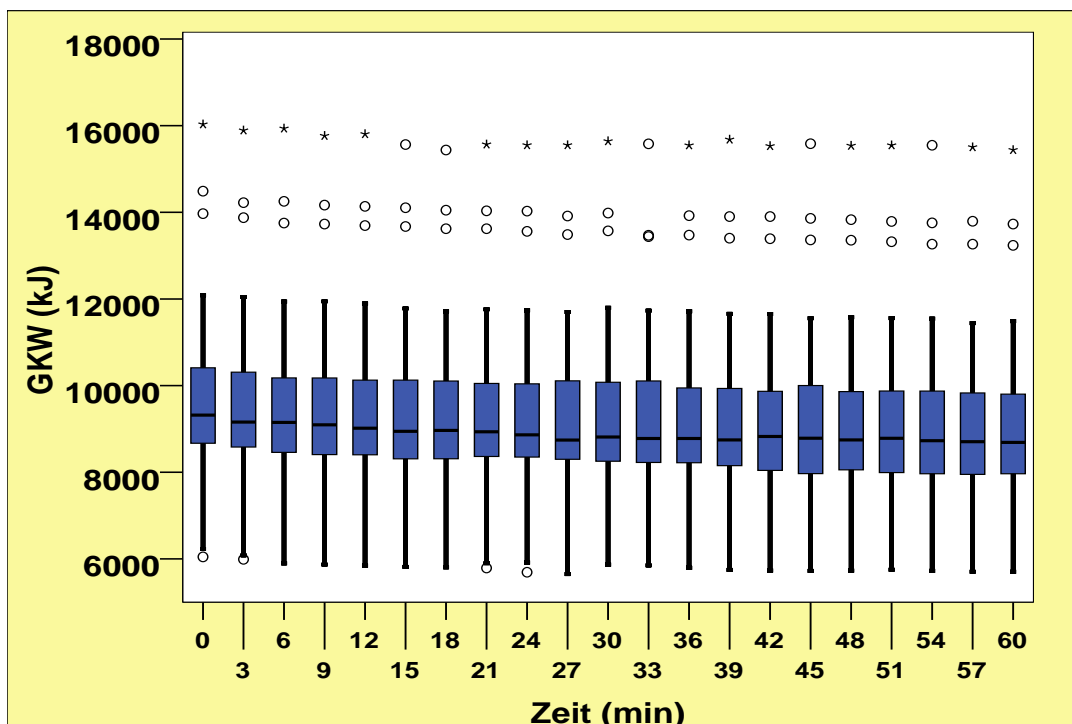


Abbildung 17: Gesamtkörperwärmemenge Halogenstrahler

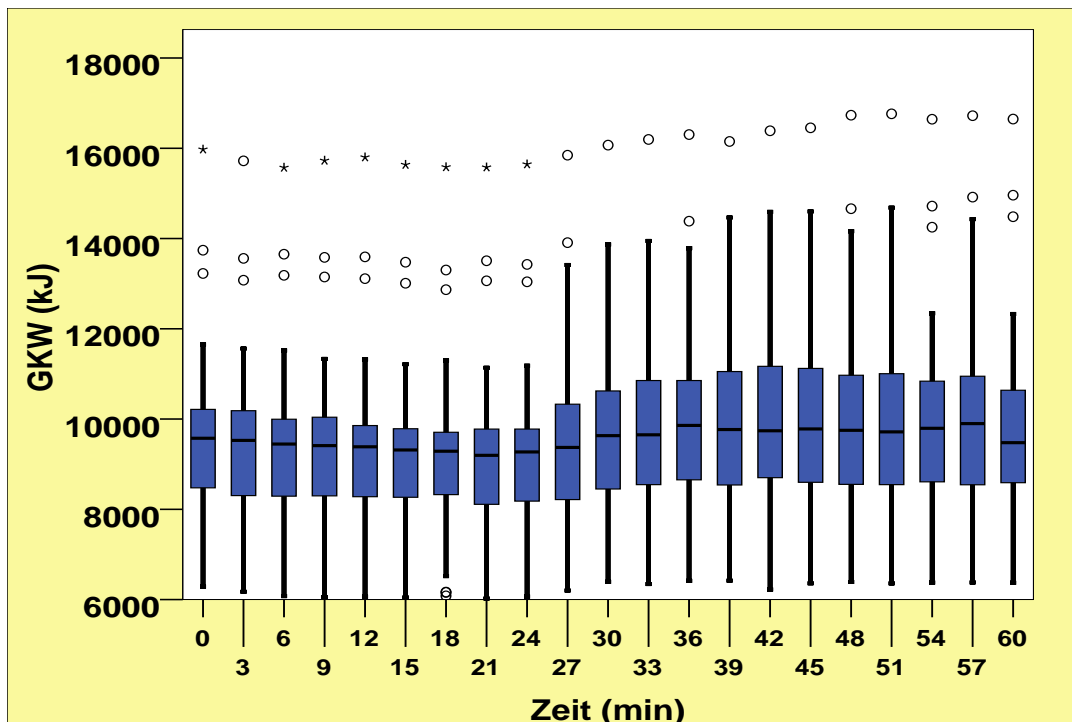


Abbildung 18: Gesamtkörperwärmemenge Warmluft

Tabelle 13: Wilcoxon-Test Gesamtkörperwärmemenge (GKW)

	GKW 0min Halogen - GKW 0min Warmluft	GKW 21min Halogen - GKW 21min Warmluft	GKW 30min Halogen - GKW 30min Warmluft	GKW 45min Halogen - GKW 45min Warmluft	GKW 60min Halogen - GKW 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,750	,382	0,0001	0,0001	0,0001

3.8. Subjektive Beurteilung

Nach Ende der Versuche wurden die Probanden aufgefordert, ihre Einschätzung zur Wirksamkeit der beiden Wärmemethoden anhand einer vorgelegten Tabelle zu bewerten. Zur Auswahl standen die folgenden Abstufungen:

- hat deutlich gewärmt
- hat mäßig gewärmt
- hat nur gering gewärmt
- hat überhaupt nichts bewirkt

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 13 und 14 dargestellt.

Tabelle 14: Subjektive Bewertung Warmluft

	Häufigkeit	Prozent
hat deutlich gewärmt	30	100,0

Tabelle 15: Subjektive Bewertung Halogenstrahler

	Häufigkeit	Prozent
hat überhaupt nichts bewirkt	18	60,0
hat nur gering gewärmt	12	40,0
gesamt	30	100,0

3.9. Numerische Ratingskala

Bei der Bewertung des Kältegefühls mittels der numerischen Ratingskala (NRS) gab es höchst signifikante Ergebnisse. So bewerteten die Probanden das Kältegefühl nach 60 Minuten bei der Wärmung mittels Halogenstrahler im Median mit 6. Dagegen betrug der Median bei der Wärmung mittels Warmluft 0.

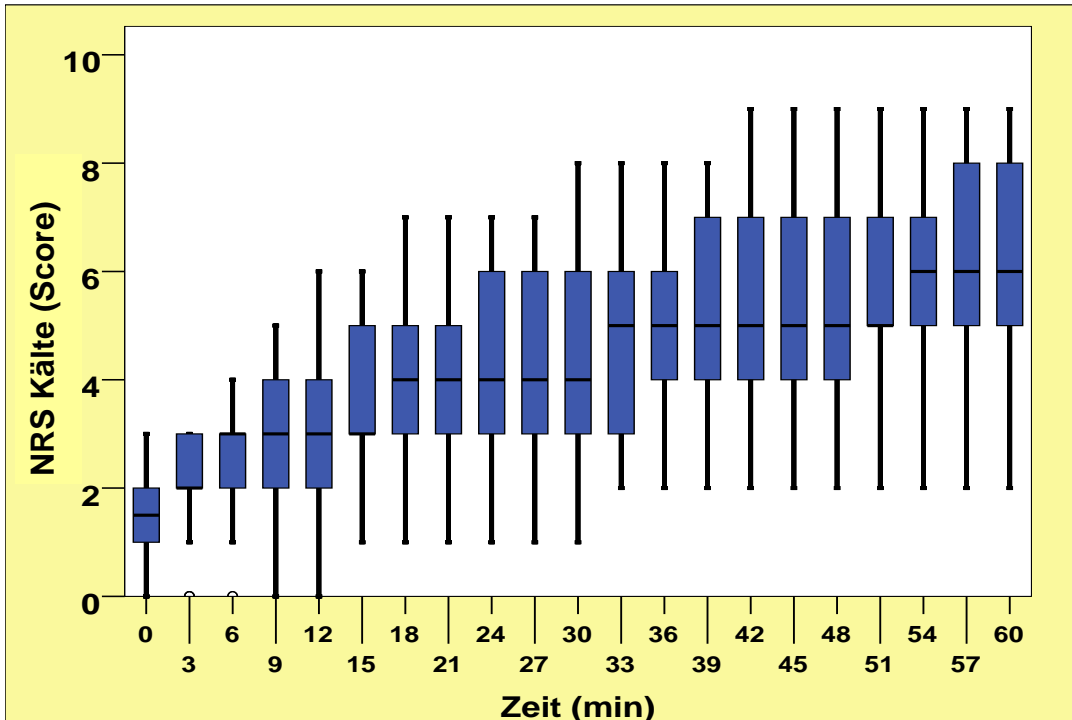


Abbildung 19: Kältegefühl NRS Halogenstrahler

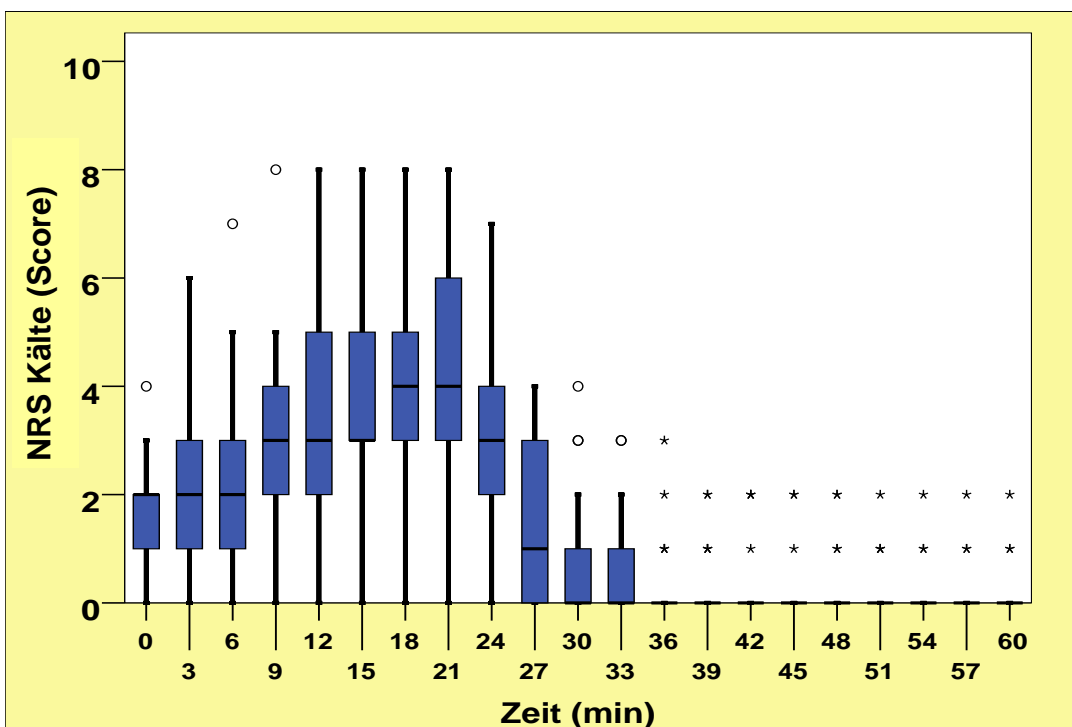


Abbildung 20: Kältegefühl NRS Warmluft

Tabelle 16: Wilcoxon-Test numerischen Ratingskala (NRS Kälte)

	NRS Kälte 0min Halogen - NRS Kälte 0min Warmluft	NRS Kälte 21min Halogen - NRS Kälte 21min Warmluft	NRS Kälte 30min Halogen - NRS Kälte 30min Warmluft	NRS Kälte 45min Halogen - NRS Kälte 45min Warmluft	NRS Kälte 60min Halogen - NRS Kälte 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,983	,802	0,0001	0,0001	0,0001

3.10. Bedside-Shivering-Assessment-Scale

Nur bei 3 Probanden ließ sich überhaupt ein Muskelzittern beobachten und somit eine Wertung gemäß Bedside-Shivering-Assessment-Scale (BSAS) beobachten, so dass der Median 0 betrug. Daher war eine statistische Auswertung dieses Parameters hinsichtlich der Signifikanz nicht sinnvoll. Jedoch trat bei zwei Probanden das Muskelzittern lediglich während des Halogenstrahlerversuches auf. Bei einem Probanden wurde das Shivering sowohl beim Halogen- als auch beim Warmluftversuch beobachtet, jedoch verschwand das Zittern im Verlauf des Warmluftversuches.

3.11. Blutdruck, Herzfrequenz

Bei der Verlaufsbeobachtung der Kreislaufparameter gab es lediglich beim systolischen Blutdruck einen signifikanten Unterschied. Der systolische Blutdruck lag beim Warmluftversuch nach 30 Minuten grenzwertig signifikant niedriger, und nach 45 und 60 Minuten signifikant niedriger als bei der Erwärmung mittels Halogenstrahler.

So beträgt der systolische Blutdruck nach 30 Minuten in der Gruppe der mit dem Halogenstrahler Gewärmten im Median 136mmHg, während er in der Gruppe der konvektiv gewärmten Probanden 132mmHg beträgt.

Nach 45 Minuten sind die Werte im Median 139,5mmHg (Halogenstrahler) zu 136,0mmHg (konvektiver Luftwärmer).

Nach 60 Minuten betragen die Mediane 140,5mmHg (Halogenstrahler) bzw. 134,5mmHg (konvektiver Luftwärmer).

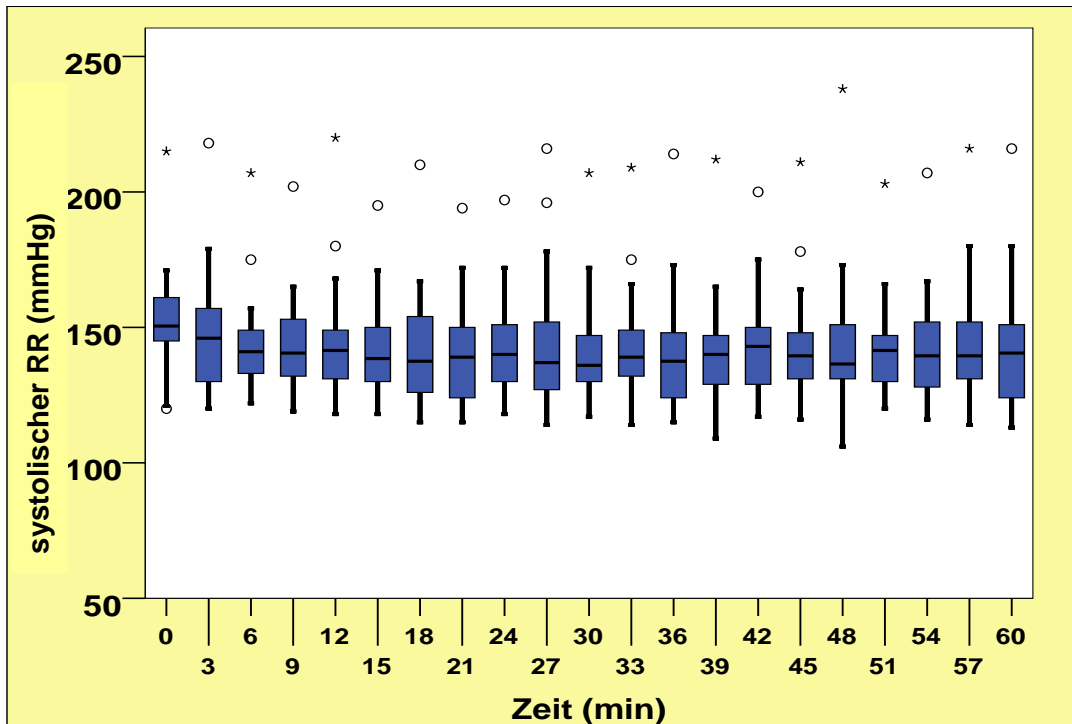


Abbildung 21: Systolischer Blutdruck Halogenstrahler

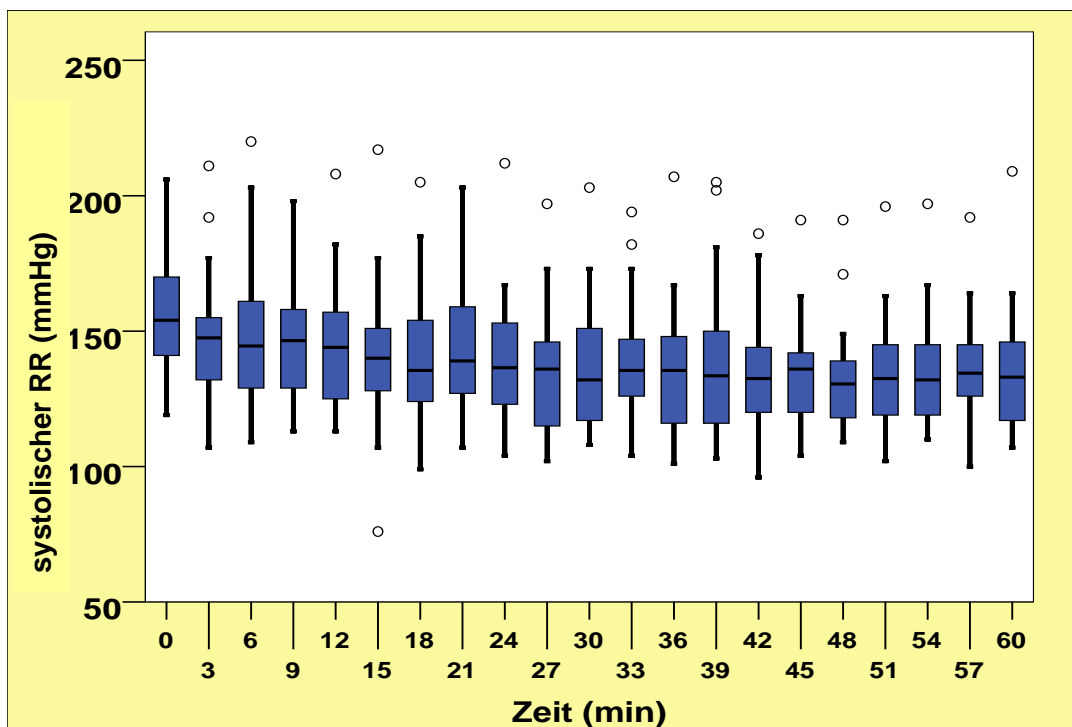


Abbildung 22: Systolischer Blutdruck Warmluft

Tabelle 17: Wilcoxon-Test Systolischer Blutdruck (systol. RR)

	systol. RR 0min Halogen - systol. RR 0min Warmluft	systol. RR 21min Halogen - systol. RR 21min Warmluft	systol. RR 30min Halogen - systol. RR 30min Warmluft	systol. RR 45min Halogen - systol. RR 45min Warmluft	systol. RR 60min Halogen - systol. RR 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,122	,323	,054	,005	,047

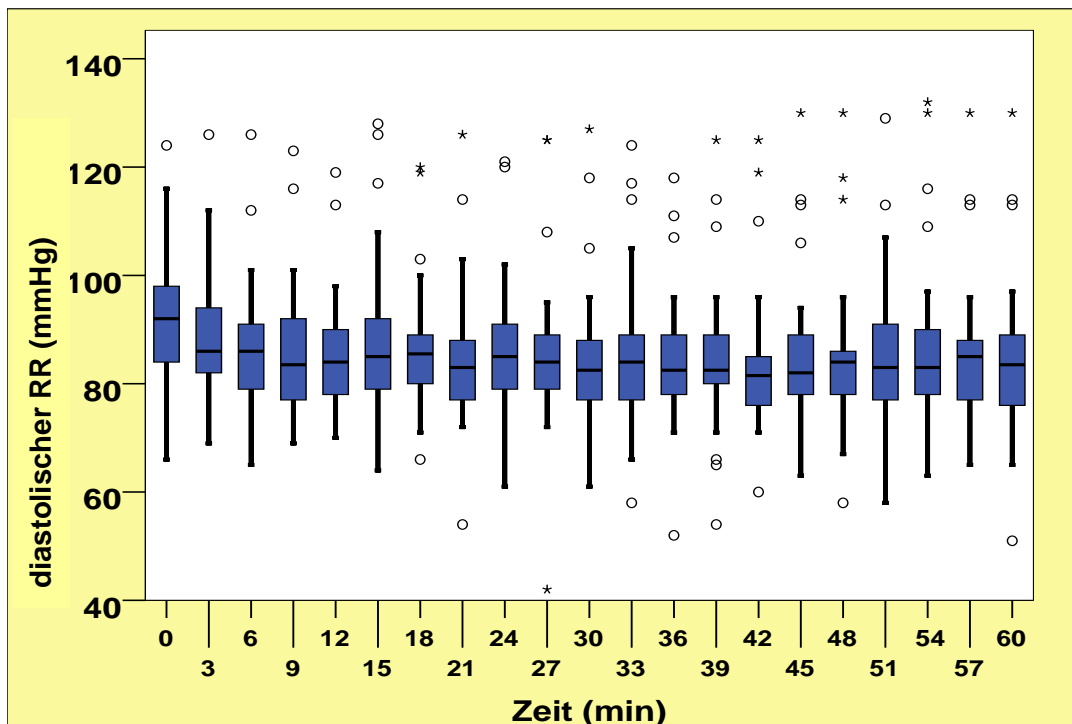


Abbildung 23: Diastolischer Blutdruck Halogenstrahler

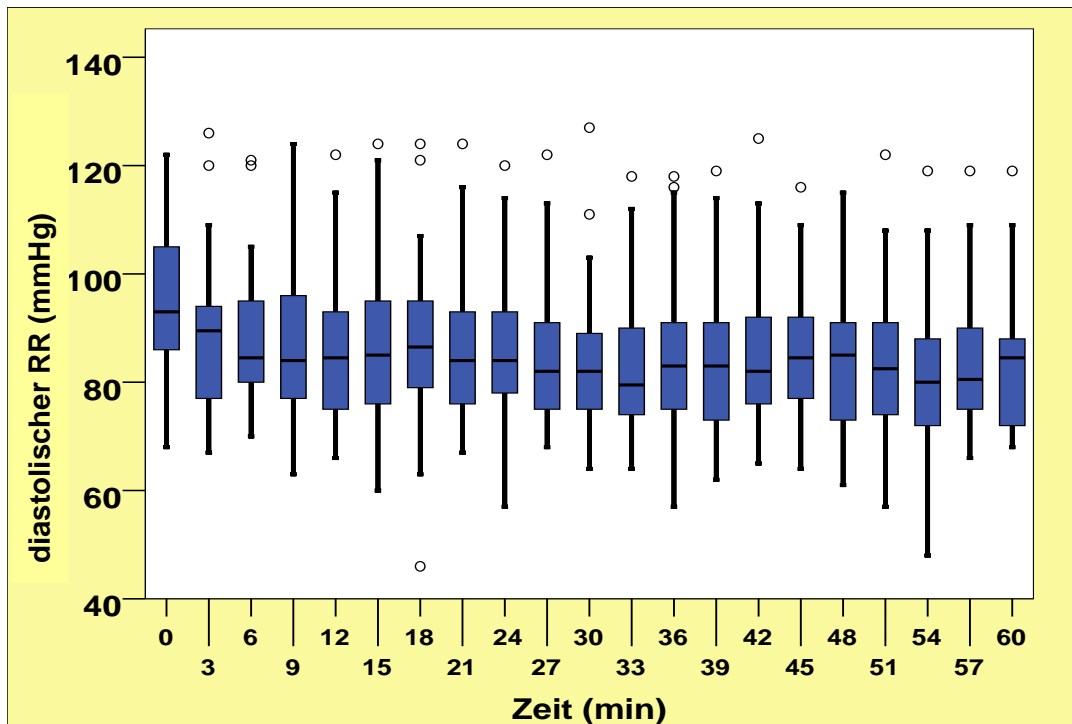


Abbildung 24: Diastolischer Blutdruck Warmluft

Tabelle 18: Wilcoxon-Test Diastolischer Blutdruck (diast. RR)

	diast. RR 0min Halogen - diast. RR 0min Warmluft	diast. RR 21min Halogen - diast. RR 21min Warmluft	diast. RR 30min Halogen - diast. RR 30min Warmluft	diast. RR 45min Halogen - diast. RR 45min Warmluft	diast. RR 60min Halogen - diast. RR 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,323	,548	,538	,754	,182

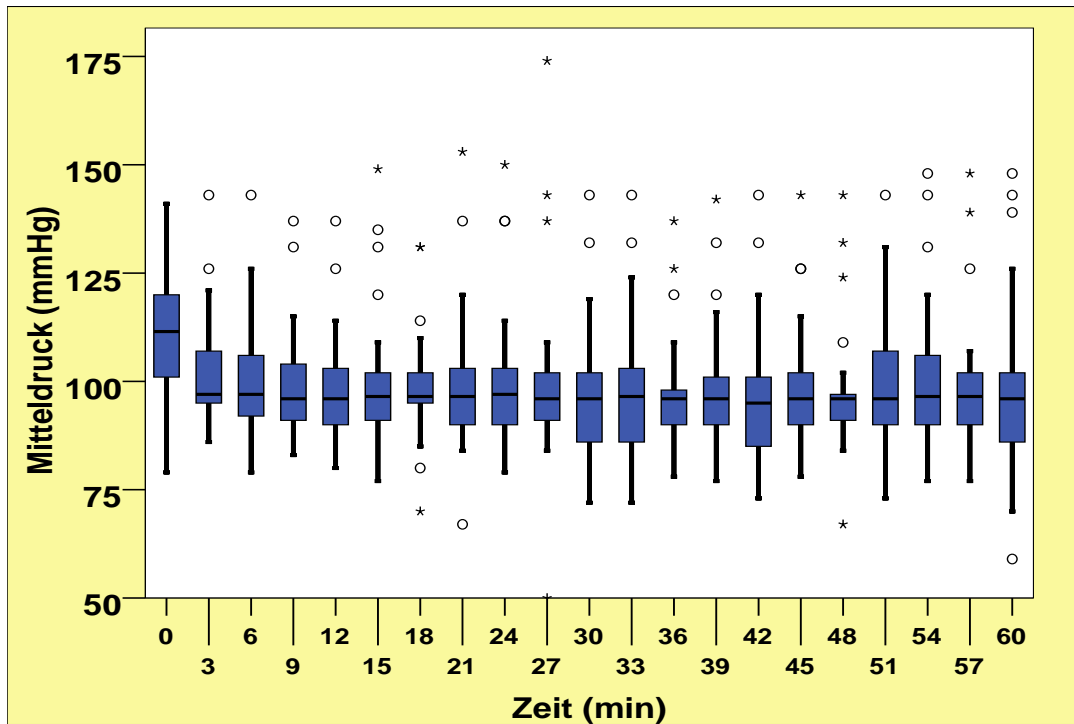


Abbildung 25: Mitteldruck Halogenstrahler

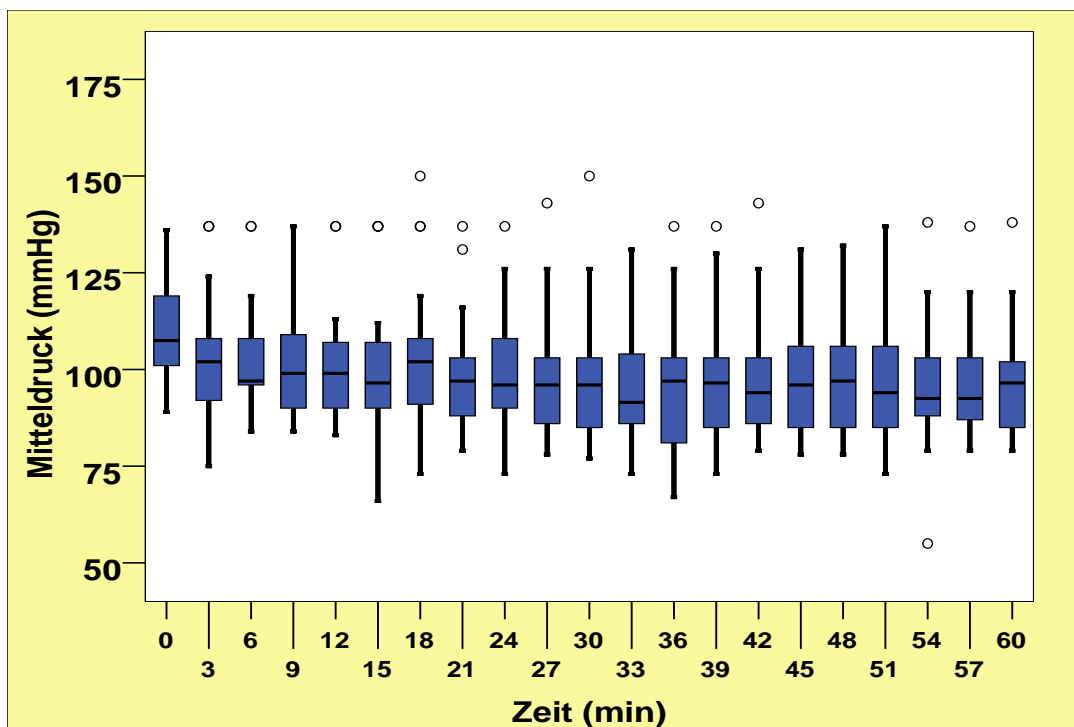


Abbildung 26: Mitteldruck Warmluft

Tabelle 19: Wilcoxon-Test Mitteldruck

	Mitteldruck 0min Halogen - Mitteldruck 0min Warmluft	Mitteldruck 21min Halogen - Mitteldruck 21min Warmluft	Mitteldruck 30min Halogen - Mitteldruck 30min Warmluft	Mitteldruck 45min Halogen - Mitteldruck 45min Warmluft	Mitteldruck 60min Halogen - Mitteldruck 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,564	,949	,964	,392	,128

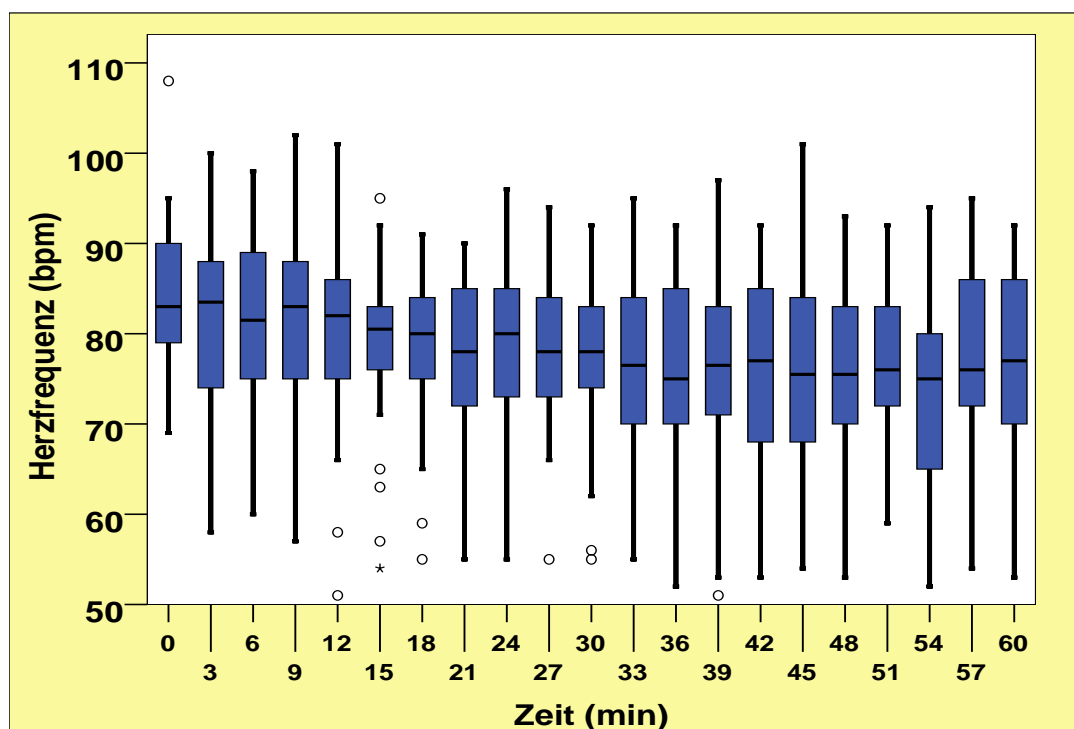


Abbildung 27: Herzfrequenz Halogenstrahler

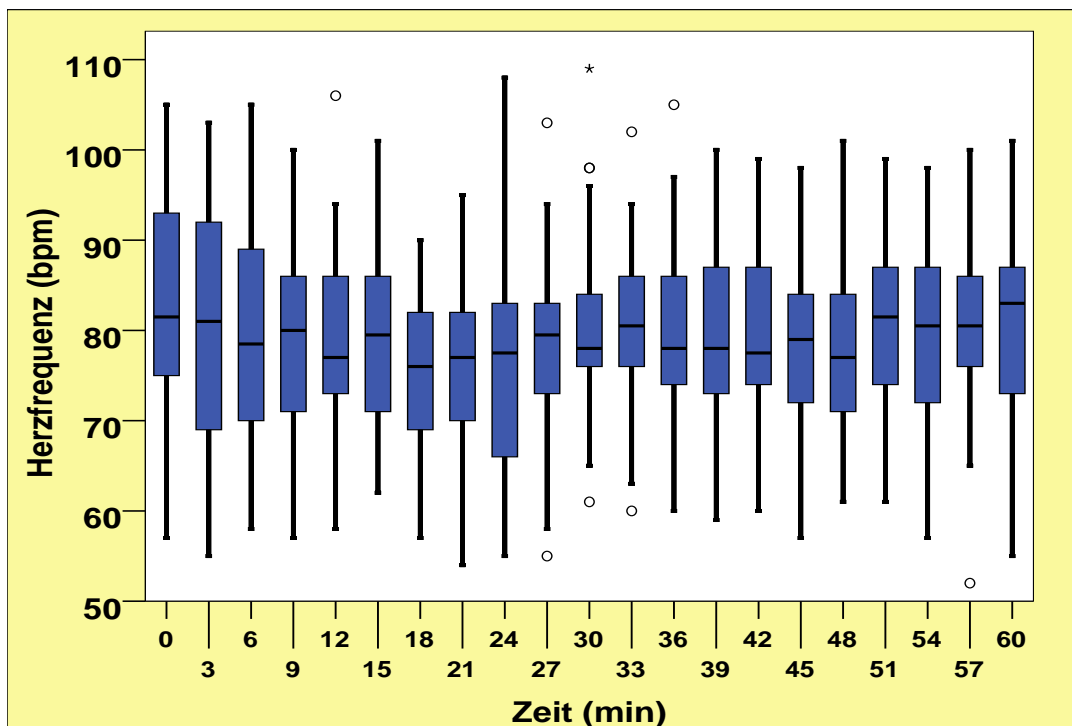


Abbildung 28: Herzfrequenz Warmluft

Tabelle 20: Wilcoxon-Test Herzfrequenz (HF)

	HF 0min Halogen - HF 0min Warmluft	HF 21min Halogen - HF 21min Warmluft	HF 30min Halogen - HF 30min Warmluft	HF 45min Halogen - HF 45min Warmluft	HF 60min Halogen - HF 60min Warmluft
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,410	,741	,085	,110	,024

4. Diskussion

3.1. Diskussion der Methodik

Die Überprüfung der Wirksamkeit von medizinischen Maßnahmen durch kontrollierte prospektive Studien in der präklinischen Phase ist dringend wünschenswert, gestaltet sich jedoch schwierig: So ist zum einen eine Randomisierung der Patienten in die einzelnen Gruppen kaum möglich, da die Einwilligungsfähigkeit der Patienten in der Regel nicht gegeben ist. Zum anderen ist jedoch auch die Einhaltung des strikten Studienprotokolls unter notfallmedizinischen Bedingungen, die oft sehr dynamisch sind, schwierig. Einbußen der Qualität der Studien sind so die Folge (Kreimeier et al. 2008)

Eine Lösung können dabei prospektive Modelluntersuchungen einzelner Maßnahmen an gesunden Probanden sein wie in diesem vorliegendem Fall.

Hierdurch können die Untersuchungen sehr standardisiert in einem überschaubaren Zeitrahmen durchgeführt werden und ethische Bedenken aufgrund der Unterlassung von Maßnahmen oder fehlender Zustimmung der Patienten vernachlässigt werden, - eine entsprechende Genehmigung des Studiendesigns durch die medizinische Ethikkommission vorausgesetzt.

Bisher gibt es nach der durchgeführten Literaturrecherche nur wenige Arbeiten, die der Frage nach der präklinischen Vermeidung der akzidentellen Hypothermie bei eingeklemmten Patienten mit aktiven Wärmemethoden nachgegangen sind. So unternahmen Kober et al. eine prospektiv randomisierte Untersuchung über die Wirkung von aktiver Wärmung mittels elektrisch betriebener Heizmatten an Patienten mit geringen Traumata. Sie konnten hiermit im Vergleich zu rein passiver Wärmung mittels Woldecken eine Steigerung der Körperkerntemperatur erreichen (Kober et al. 2001). Auch Lundgren et al. untersuchten die Wirkung von chemisch induzierter Wärme aus Heizmatten, die auf den Brustkorb gelegt wurden. Allerdings begannen sie die Wärmung erst im Rettungswagen. Zwar konnte kein Unterschied in der Körperkerntemperatur nachgewiesen werden, jedoch zeigte sich ein Vorteil im Wärmegefühl der Patienten (Lundgren et al. 2011). Untersuchungen zum präklinischen Einsatz von konvektiven Luftwärmern oder von Halogenstrahlern als

Wärmequelle fehlen bisher. Daher kann sich hauptsächlich an innerklinischen Studien orientiert werden.

Ziel war es, anhand eines standardisierten Ablaufes den zeitlichen Fortgang der technischen Rettung und Versorgung am Unfallort nachzubilden und anhand dessen entsprechende Veränderungen der Körpertemperaturen nachzuweisen.

Die Schwächen dieser Untersuchungen ergeben sich jedoch, insbesondere im Falle dieser Studie, aus den veränderten physiologischen Voraussetzungen der Probanden. Während von einem schwer traumatisierten Patienten Störungen in der physiologischen Reaktion, so auch ein Abfall der Körperkerntemperatur, zu erwarten sind (Kobbe et al. 2009; Lier et al. 2009), gelingt es dem gesunden Probanden über einen großen Zeitraum, trotz der sehr kalten Umgebungstemperaturen seine Körperkerntemperatur stabil zu halten. In Falle dieser Studie können die Veränderungen der Körperkerntemperatur nach schweren Traumata nur eingeschränkt wiedergegeben werden. Doch lassen sich trotzdem hoch signifikante Ergebnisse nachweisen, insbesondere auch zur Frage der Stabilisierung der Körpertemperaturen durch die Erwärmung mittels konvektivem Luftwärmer.

Durch die enge Adaptierung an den durchschnittlichen Zeitverzug im deutschen Rettungswesen (siehe Tabelle 6) waren die Zeiten ohne Wärmetherapie und der Zeitraum mit Wärmetherapie streng vorgegeben (DGU 2008). Hätte man insbesondere den Zeitraum, in dem keine Wärmetherapie erfolgt, ausgedehnt, hätten sich, dem Ergebnis anderer Studien folgend, mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bezüglich der Körperkerntemperatur signifikante Veränderungen gezeigt (König 1944).

Wichtig war es jedoch, auch die präklinischen Bedingungen zu berücksichtigen. Dieses hätte einer Ausdehnung der Versuchszeiten entgegengestanden.

3.2. Diskussion der Wärmemethoden

In der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Literaturrecherche zeigte sich, dass zur Vermeidung der akzidentellen Hypothermie bei eingeklemmten Verkehrsunfallopfern zur Zeit folgende zwei Behandlungsansätze existieren und präklinisch zur Anwendung kommen (Auerhammer 2010; Bernhard et al. 2004; Südmersen und Heyne 2008):

Zum überwiegenden Teil werden rein passive Methoden wie Rettungs- und Wolldecken angewendet. Als aktive Wärmemethode kommt der Einsatz von Halogenstrahlern zur Erwärmung der Patienten hinzu. Mithilfe der Strahlungswärme (Radiation) des Halogenstrahlers soll dabei der Patient an der Unfallstelle während der Zeit der Versorgung gewärmt werden.



Abbildung 29: Versuch der Erwärmung eines Unfallopfers mit einem Halogenstrahler durch den Feuerwehrmann am rechten Bildrand Quelle: Freiwillige Feuerwehr Mingolsheim <http://mi.ffbs.de>

4.2.1. Diskussion Wärmemethode Halogenstrahler

Eines der Ziele dieser Arbeit war die Frage, ob mit Hilfe der Halogenstrahlers eine Stabilisierung der Körpertemperatur zu erreichen ist. Zu diesem Zweck wurde ein standardisierter Versuchsaufbau geschaffen: Der Halogenstrahler stand immer im gleichen Abstand von 2 Metern im rechten Winkel zur Körpermitte. Während der Versuchszeit wurde die gesamte linke Körperhälfte des Probanden bestrahlt. Zu keiner Zeit wurde die Strahlung durch Hindernisse oder Personen behindert. Die Kleidung des Probanden war auf T-Shirt, kurze Hose, Socken und Schuhe reduziert. Dies stellt natürlich einen Unterschied zur realen Bekleidung eines Insassen in einem Kraftfahrzeug im Winter dar. Jedoch musste das Setup so gewählt werden, um zum einen eine Messung der Hauttemperaturen problemlos und valide sicherzustellen und zum anderen sollte der Effekt der Umgebungskälte möglichst groß ausfallen, um so größere Unterschiede in den gemessenen Temperaturverläufen beobachten zu können.

Als Ergebnis dieser Studie konnte gezeigt werden, dass unter Anwendung des Halogenstrahlers die Körperkerntemperatur zwar stabil blieb, es jedoch zu keiner Zeit gelang die mittlere Hauttemperatur, die mittlere Körpertemperatur oder die Gesamtkörperwärmemenge zu stabilisieren. Es kam im Verlauf des Versuches sogar zu einem Abfall dieser Werte im Median.

Dabei ist zu beachten, dass der Versuchsaufbau in seiner Standardisierung einen Unterschied zur Realität in der Versorgung eines Verletzten am Einsatzort darstellt.

So wird der Patient durch die Einklemmung im Fahrzeug und die Verdeckung durch Fahrzeugbauteile wie Türen o.ä. weniger Hautoberfläche präsentieren über die die Wärmestrahlung auf den Patienten übertragen werden kann.

Auch wird, bedingt durch die Arbeiten zur Rettung und Versorgung des Patienten und der dadurch bedingten Abschirmung der Strahlung durch die Körper des rettungsdienstlichen Personals, die Strahlung nicht in der Konstanz auf den Verunfallten einwirken können.

Es ist also anzunehmen, dass die Wirksamkeit des Halogenstrahlers unter realen Bedingungen noch geringer ausfällt, als in diesem Versuch beschrieben.

Hinzu kommt die Tatsache, dass die Probanden dieser Arbeit subjektiv kein oder nur ein geringes Wärmegefühl durch den Einsatz des Halogenstrahlers empfunden hatten. So beschrieben 60% der Probanden den Wärmeeffekt des Halogenstrahler mit „hat überhaupt nicht gewirkt“, 40% der Probanden beschrieben die Wirkung des Halogenstrahlers als gering. Dieses wird auch durch die Numerische Rating Skala wiedergegeben. So betrug die durch die Probanden angegebenen Zahl auf der Skala zur Qualifizierung des Kältegefühls zum Zeitpunkt 60min im Median 6. Im Vergleich betrug beim Warmluftversuch die NRS-Zahl zum Zeitpunkt 60min im Median 0.

Als störend und unangenehm wurde zudem die Blendung durch die Lichtquelle empfunden und durch den überwiegenden Teil der Probanden beschrieben. Daher ist zu vermuten, dass von Verkehrsunfallopfern der Einsatz des Halogenstrahlers auch eher als irritierend wahrgenommen wird.

Die Installation des Halogenstrahlers ist dabei unter einer Minute zu leisten. Auch sind die Halogenstrahler in den deutschen Feuerwehren standardisiert und ubiquitär verfügbar.

4.2.2. Diskussion Wärmemethode konvektiver Luftwärmer

Bei der operativen Versorgung von Patienten spielt die Erwärmung und der Wärmeerhalt mit Hilfe von konvektiven Luftwärmern eine entscheidende Rolle und ist durch viele Studien belegt. In diesen Studien waren diese Geräte allen anderen Wärmeverfahren wie Wärmelampen (Radiation) oder gewärmten Matten (Konduktion) überlegen (Bräuer et al. 2004; Bräuer et al. 2000; Heuer 2000; Scherer 1997). Kann mit Ihnen doch eine Prophylaxe der intraoperativen Hypothermie genauso durchgeführt werden wie die Wiedererwärmung von unterkühlten Patienten intra- oder postoperativ (Janke et al. 1996).



Abbildung 30: Patientenerwärmung mit konvektivem Luftwärmer im Operationssaal. Quelle: Christopher Jebens

Gleiches gilt für die Wiedererwärmung nach erlittener akzidenteller Hypothermie. Auch hier ist der konvektive Luftwärmer als das Mittel der Wahl für die Steigerung der Körperkerntemperatur anzusehen, wenn invasive Verfahren wie der Einsatz einer Herz-Lungen-Maschine nicht zur Verfügung stehen (Koller et al. 1997; Steele et al. 1996), bzw. als effektive Ergänzung in Verbindung mit invasiven Methoden (Bräuer et al. 1999).

Bisher gibt es jedoch nur wenige Autoren, die den präklinischen Einsatz von konvektiven Luftwärmern fordern. In der Literaturrecherche fand sich hierzu nur ein Hinweis in einem Lehrbuch zur technischen Hilfeleistung (Südmersen und Heyne

2008). Studien, ob der Einsatz von konvektiven Luftwärmern überhaupt unter präklinischen Bedingungen und hier insbesondere bei den deutlich niedrigeren Umgebungstemperaturen effektiv ist, fehlen bisher.

Für diese Studie wurde ein Modell gewählt, welches durch die Bauart auch für den präklinischen Einsatz vorgesehen ist. Die portable Heizung „Polarn 4000“ der Firma Eberspächer findet laut der Beschreibung des Herstellers auch für die „Wärmeversorgung von Unfallopfern und Verletzten“ Anwendung (Eberspächer 2012).

Zubehör, wie entsprechende Wärmedecken über die die warme Luft gleichmäßig an den Patienten abgegeben wird, wird vom Hersteller nicht angeboten.

Daher musste eine Lösung gefunden werden, wie mit einfachsten Mitteln durch die Einsatzkräfte von Rettungsdiensten und Feuerwehr an der Unfallstelle die warme Luft möglichst vergleichbar mit den innerklinisch verwendeten Wärmedecken dem Unfallopfer zugeführt werden konnte.

Als Alternative wurde eine herkömmliche Kunststoffolie verwendet, deren Maße 2 x 2,5 Meter betragen. Diese Folie wurde um den Körper des Patienten gelegt und unter dem Körper fixiert. Die gewärmte Luft wurde mit einem vom Hersteller gelieferten Schlauch unter die Folie geführt. Dies zeigte sich als hoch effektiv, wie die Ergebnisse zeigen.

Alle Probanden gaben dabei an, dass der Luftwärmer „deutlich gewärmt“ hätten.

Die Probanden berichten jedoch auch über eine starke Wärmeentwicklung am Ausgang des Schlauches, welcher im Bereich der Füße unter die Folie geführt war. Sowohl die Temperatur des Schlauchs, über den die gewärmte Luft zugeführt wurde als auch die Temperatur der ausströmenden Luft betrug deutlich über 60°C, was von den Probanden natürlicherweise als unangenehm empfunden wurde und mit einer entsprechenden Verhaltensänderung, dem Wegziehen des Fußes, beantwortet wurde.



Abbildung 31: Erwärmung einer im PKW eingeklemmten Person mit Hilfe des konvektiven Luftwärmers. Quelle: Dr. Tim Heyne

Diese Reaktion ist jedoch von traumatisierten Unfallopfern nicht immer zu leisten. So werden diese durch Trübung des Bewusstseins bzw. der Sensibilität oder auch situativ durch die Einklemmung nicht in der Lage sein, hierauf entsprechend zu reagieren.

Die Folge könnte eine nicht unerhebliche Verbrennung der Körperoberfläche in diesem Bereich darstellen. Dieses Phänomen ist auch bei der Verwendung der konvektiven Luftwärmern im innerklinischen Gebrauch unter dem Begriff „Hosing“ beschrieben und tritt bereits bei Temperaturen um 43° auf (Augustine 2002; Truell et al. 2000). Durch die Nutzung von speziellen Wärmedecken ist dieses jedoch ein sehr seltenes Phänomen geworden.

Zwar wurden in diesem Versuch keine kritischen Hauttemperaturen über 42°C gemessen, da jedoch im Bereich der einströmenden Warmluft keine Messungen durchgeführt wurden, kann keine definitive Aussage darüber getroffen werden. Da die Probanden jedoch, wie beschrieben, die Warmlufttemperatur bei Austritt aus dem Schlauch bereits als deutlich zu warm empfanden, ist davon auszugehen, dass bei

bewusstlosen oder situativ eingeklemmten Patienten kritische Hauttemperaturen erreicht würden.

So ist von den Herstellern eine Weiterentwicklung bzw. Anpassung der Geräte zu fordern, welche sich an den Geräten für den innerklinischen Bereich orientiert. Eine Temperaturbegrenzung der ausströmenden Luft und die Herstellung von Wärmedecken, die mit dem Gerät kompatibel sind und einen direkten Kontakt zwischen Haut und Warmluftschlauch unterbinden, wäre wünschenswert und würde den Einsatz für die Patienten sicherer gestalten.

Bisher lässt sich die Temperatur der ausströmenden Luft bei dem verwendeten Gerät nicht auf ein sicheres Temperaturniveau senken. Durch den Wahlschalter wird lediglich die Luftmenge pro Zeiteinheit erhöht. Zu einer Veränderung der Temperatur kommt es hierdurch nicht.

Der Aufbau des Gerätes gestaltete sich problemlos. Die Inbetriebnahme des Systems war deutlich unter einer Minute zu leisten.

4.3. Diskussion präklinischer Einsatz konvektiver Luftwärmer

Als Ergebnis dieser Untersuchung muss die Frage, ob unter präklinischen Bedingungen der Einsatz von konvektiven Luftwärmern mit einfachsten Mitteln überhaupt erfolgen kann, positiv bescheinigt werden.

Sowohl die Inbetriebnahme gestaltet sich einfach und in kürzester Zeit umsetzbar, als auch die Erwärmung von Probanden bei einer kalten Umgebungstemperatur ist möglich und folgt dabei den bekannten Ergebnissen aus Studien über den Einsatz im perioperativen Bereich. Die Wärmung stellt für die Einsatzkräfte keinerlei Behinderung dar, sowohl die technische als auch die medizinische Rettung kann ohne Zeitverlust weitergeführt werden.

Als Kritik an der vorliegenden Methode bleibt die fehlende Temperaturbegrenzung des eingesetzten Gerätes und das Fehlen geeigneter Wärmedecken mit der Gefahr der thermischen Schäden ("Hosing") an der Haut der Unfallopfer.

4.4. Diskussion der Ergebnisse

Die Frage, die mit dieser Arbeit beantwortet werden sollte, war, ob sowohl mit dem Halogenstrahler als auch mit einem konvektiven Luftwärmer unter präklinischen Bedingungen eine Steigerung bzw. Stabilisierung der Körpertemperatur von im Unfallfahrzeug eingeklemmten Personen erreicht werden kann und ob zwischen diesen Methoden ein signifikanter Unterschied besteht.

Schaut man sich den Verlauf der Körperkerntemperatur in den beiden Versuchsreihen an, so sind zwar im Median beim Einsatz der beiden Wärmemethoden Unterschiede zu erkennen, signifikante Unterschiede zeigen sich in der statistischen Berechnung jedoch nicht.

Ein Grund für die fehlenden signifikanten Unterschiede der Körperkerntemperatur zwischen beiden Wärmemethoden liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit in den Unterschieden in der Thermoregulation von gesunden Probanden und schwer verletzten Unfallopfern.

So erleiden polytraumatisierte Patienten häufig hypovolämische Schockzustände (Hess und Lawson 2006), in deren Verlauf es zu einer Beeinträchtigung der Thermoregulation kommt (Lier et al. 2009)

Bei einem schwer traumatisierten Patienten ist aufgrund multifaktorieller Umstände von einem deutlich stärkeren und schnelleren Abfall der Körperkerntemperatur auszugehen (Hildebrand et al. 2009). Zudem wird durch die Gabe von kalten Infusionen und die Durchführung einer Narkose dieser Prozess verstärkt (Hildebrand et al. 2004; Sessler 1994).

Da ein gesunder Mensch jedoch die Körperkerntemperatur durch viele regulatorische Vorgänge über einen großen Zeitraum stabil halten kann, ist die Körperkerntemperatur in diesem Versuch nicht als der alleinige Parameter zur Beschreibung der Temperaturverläufe der Probanden in beiden Versuchsabläufen geeignet.

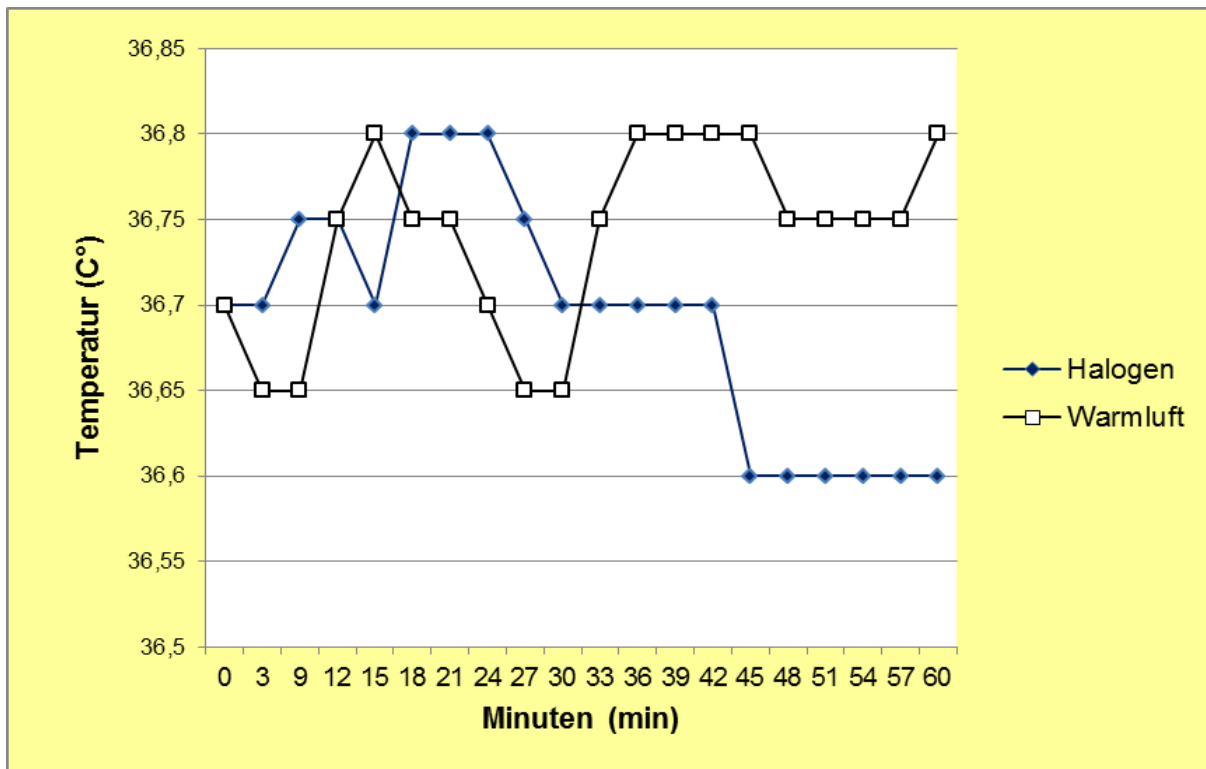


Abbildung 32: Verlauf der Körperkerntemperatur im Median

Daher wurden in dieser Arbeit zusätzliche Temperaturwerte erhoben, aus denen dann die mittlere Hauttemperatur nach Ramanathan errechnet werden konnte.

Da die Hauttemperatur nicht auf der gesamten Körperoberfläche gleich ist, ist mit der Formel nach Ramanathan mit Hilfe von vier Messpunkten eine Beschreibung der mittleren Hauttemperatur möglich.

Hier zeigen sich in diesem Versuch hoch signifikante Unterschiede zwischen beiden Wärmemethoden. Bereits nach 30 Minuten, also 9 Minuten nach Beginn der Wärmemethoden, zeigen die Probanden, die mit dem konvektiven Luftwärmer gewärmt wurden eine signifikant höhere mittlere Hauttemperatur als die Probanden, die mit dem Halogenstrahler gewärmt wurden. Ein Anstieg der mittleren Hauttemperatur ist bei der Halogenstrahler-Gruppe nicht zu beobachten.

Kritisch ist an der Formel nach Ramanathan zu bemerken, dass die Berechnung der mittleren Hauttemperatur aus nur 4 Punkten sicherlich eine gewisse Fehlerquote aufweist. Jedoch wird sie als ausreichendes Mittel für orientierende Untersuchungen beschrieben (Jirak et al. 1975).

Aus der mittleren Hauttemperatur wurde schließlich unter Einbeziehung der Körperkerntemperatur die mittlere Körpertemperatur errechnet. Auch hier zeigen sich

die gleichen signifikanten Unterschiede bereits nach 30 Minuten und auch hier ist der konvektive Luftwärmer dem Halogenstrahler deutlich überlegen. So kommt es in dem Versuchsteil „Halogenstrahler“ zu keiner Zeit zu einem Anstieg oder zu einer Stabilisierung der mittleren Körpertemperatur. Über den gesamten Versuchszeitraum zeigt sich bei den Probanden, die mit dem Halogenstrahler bestrahlt wurden ein Rückgang der mittleren Körpertemperatur.

Beim Versuchsteil, bei dem die Probanden mit dem konvektiven Luftwärmer gewärmt wurden, zeigt sich bereits zum Zeitpunkt 24 Minuten, also 3 Minuten nach Beginn der Wärmemethode ein Anstieg der mittleren Körpertemperatur, der schließlich ab dem Zeitpunkt 42 Minuten einen stabilen Zustand erreicht.

Die Formel zur Errechnung der mittleren Körpertemperatur ist auch kritisch zu sehen: So geht hier das Verhältnis von Körperkern zu Körperperipherie stets mit einer festen Gewichtung von 0,64 zu 0,36 in die verwendete Formel ein.

Schließlich wurde die Gesamtkörperwärmemenge nach der Formel von Burton bestimmt. Hierbei gehen das Gewicht und die spezifische Wärmekapazität des Probanden mit in die Berechnung ein. Und auch hier bestätigen sich die signifikanten Ergebnisse der vorausgegangenen Werte:

Kommt es bei den Probanden, die mit dem konvektiven Luftwärmer gewärmt wurden, zu einem Anstieg der Gesamtkörperwärmemenge nach Beginn der Wärmemethode, sinkt bei den Probanden der Versuchsreihe „Halogenstrahler“ trotz der Bestrahlung mit dem Scheinwerfer kontinuierlich die Gesamtkörperwärmemenge.

Schaut man sich das subjektive Empfinden der Probanden an, so bestätigt dieses sehr eindrücklich die bisher diskutierten Temperaturmesswerte.

Bei der Messung des Kälteempfindens anhand der Numerischen Rating-Skala (NRS) geben die Probanden bei der Wärmung mittels Halogenstrahler das subjektive Kälteempfinden zum Zeitpunkt 21 Minuten im Median mit 4 an. Jedoch nimmt das Kältegefühl dann im Verlauf bis NRS 6 zu, während die Probanden im Warmluftversuch bereits nach 30 Minuten NRS 0 angegeben, also eine angenehme Wärme beschreiben.

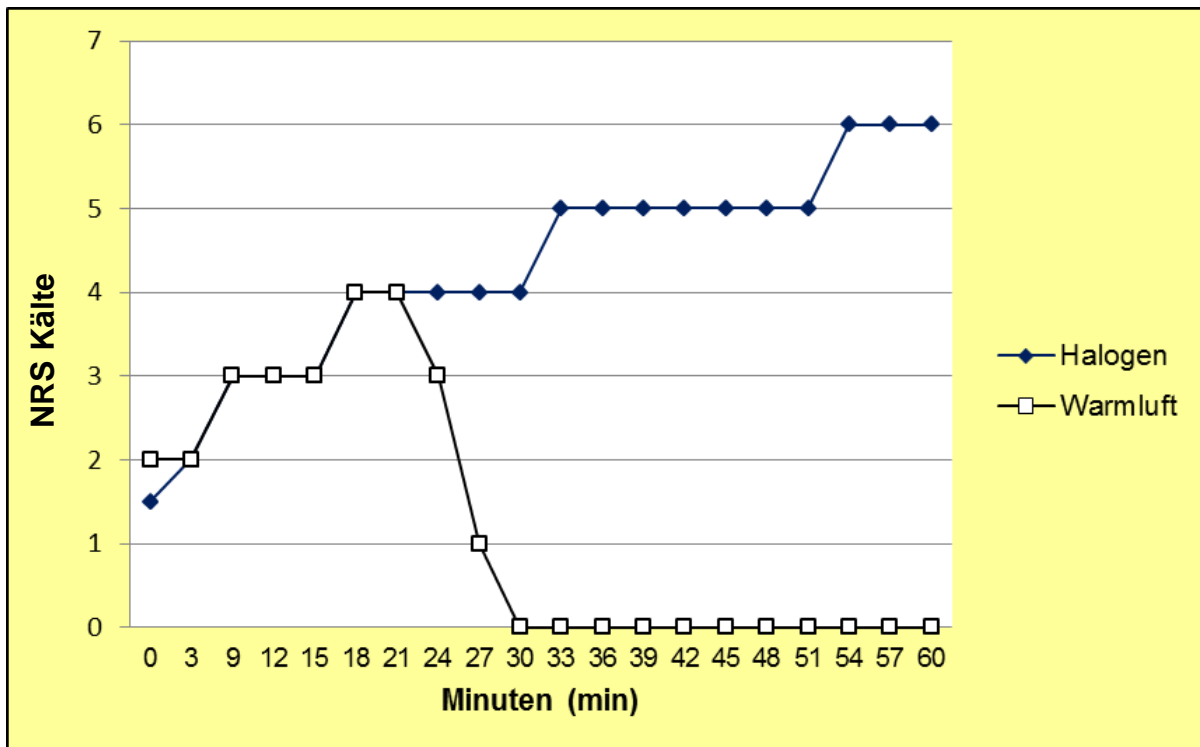


Abbildung 33: Verlauf des Kältegefühl nach NRS im Median

Das anhand der NRS durch die Probanden beschriebene Kälteempfinden zeigt sich schließlich in der zusammenfassenden subjektiven Bewertung der Effektivität der Wärmemethoden: Hier sehen alle Probanden den konvektiven Luftwärmer als überlegen an, während der Halogenstrahler durchgehend als wenig effektiv beschrieben wird.

Sicherlich kann aus dieser subjektiven Betrachtung keine allgemeine Aussage zur wirklichen Effektivität einer der getesteten Wärmemethoden getroffen werden.

Doch bestätigt es noch einmal die signifikanten Ergebnisse der Temperatur-Messwerte.

Bei der Auswertung der Kreislaufparameter zeigten sich nur im Falle des systolischen Blutdruckes signifikante Unterschiede. So war die gemessene Systole bei den Probanden während des Warmluftversuches nach Beginn der Wärmung zum Zeitpunkt 30 Minuten signifikant und dann zum Zeitpunkt 45 und 60 Minuten hoch signifikant niedriger. Betrachtet man die in den Ergebnissen beschriebenen Mediane der gemessenen systolischen Blutdrücke, so sieht man jedoch, dass diese trotz gemessener Signifikanz über keine klinische Relevanz verfügen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch schon Hynson et. al, welche in einer Arbeit nachweisen konnten, dass die Erwärmung des Körpers zu einer Erniedrigung des Blutdrucks führt (Hynson et al. 1993). Somit bestätigt auch dieses Ergebnis indirekt die Effektivität der Probandenerwärmung mittels konvektiven Luftwärmers unter präklinischen Bedingungen.

In der Gesamtbetrachtung ist das Ergebnis eindeutig und zeigt, dass mit dem konvektiven Luftwärmer eine Erwärmung bzw. Stabilisierung der Körpertemperatur zu erreichen ist, während der Effekt des Halogenstrahlers als aktive Wärmemethode zumindest unter präklinischen Bedingungen wirkungslos bleibt. Damit ist die Erwärmung mittels konvektiven Luftwärmers signifikant besser als der Einsatz eines Halogenstrahlers.

Eine Weiterentwicklung der konvektiven Luftwärmer durch die Industrie für den präklinischen Bereich wäre dringend wünschenswert.

Durch eine Temperaturbegrenzung und Herstellung von entsprechenden Wärmedecken könnte dieses wirksame Instrument zur Verhinderung der Hypothermie auch präklinisch erfolgreich und vor allem sicher zum Einsatz kommen. Zuletzt ist die Frage zu klären, wie dieses Gerät zum Einsatzort gelangt. Wünschenswert wäre, dass diese Geräte zur Standardausrüstung auf Rettungswagen (RTW) oder notarztbesetzten Rettungsmitteln gehören.

Aufgrund der Größe der Geräte und des begrenzten Platzangebotes auf diesen Rettungsmitteln erscheint dies jedoch nicht realistisch. Auch ist zur Inbetriebnahme weiteres Equipment wie Stromerzeuger für 220Volt, jedoch zumindest ein 12Volt-Anschluss erforderlich.

Somit sind die Erstangriffs- und Rüstfahrzeuge der Feuerwehren zurzeit die geeignetsten Transportmittel, auf denen diese Geräte verlastet werden sollten.

Die flächendeckende Ausstattung der Feuerwehren, die an der technischen Rettung von Unfallopfern direkt beteiligt sind, mit konvektiven Luftwärmern würde einen großen Beitrag in der Weiterentwicklung der präklinischen Traumaversorgung leisten. Die Erhebung der präklinischen Wärmung von traumatisierten Patienten zum allgemeingültigen Standard muss dabei das Ziel sein.

5. Zusammenfassung

Jährlich erleiden allein in Deutschland über 62 000 Personen eine schwere Verletzung nach einem Verkehrsunfall. Neben den persönlichen Verletzungsfolgen für die Patienten sind auch die volkswirtschaftlichen Kosten dabei nicht unerheblich. Die Summe der entstehenden Behandlungskosten wird durch das Statistische Bundesamt mit über 13,5 Milliarden Euro jährlich angegeben. Hinzu kommen weitere Aufwendungen, die sich durch Erwerbsminderung als Folge der Verletzungen ergeben. Durch Tod und Invalidität ergibt sich schließlich ein volkswirtschaftlicher Gesamtschaden von 41 Milliarden Euro jährlich (Statistisches Bundesamt 2012).

Auch die häufig mit den Verletzungen einhergehende akzidentelle Hypothermie hat auf den innerklinischen Behandlungsverlauf einen entscheidenden Einfluss und stellt einen unabhängigen Mortalitätsfaktor dar (Lier et al. 2007; Tryba und Leban 1996). Dabei ist die Hypothermie Teil der „Lethal Triad“, die das gleichzeitige Auftreten einer Koagulopathie, einer Azidose und einer Hypothermie beschreibt und zu einer gesteigerten Letalität führt (Kashuk et al. 1982).

Nach einer Studie von Helm et al. (Helm et al. 1995b) ist mit 49,6% jeder zweite Traumapatient hypotherm bei Einlieferung in den Schockraum des aufnehmenden Krankenhauses. Dabei ist der Schweregrad der Hypothermie unabhängig von Außentemperatur- und Witterungseinflüssen.

Ziel muss daher sein, die akzidentelle Hypothermie zu verhindern oder zumindest eine frühzeitige Wiedererwärmung einzuleiten.

Zur Durchführung einer Patientenerwärmung in der präklinischen Phase gibt es bisher jedoch neben der passiven Erwärmung mit Decken o.ä. nur wenige Ansätze. Eine in der Literatur beschriebene Möglichkeit der aktiven Wärmetherapie ist der Einsatz eines Halogenstrahlers, wie er von den Feuerwehren und Hilfsorganisationen als Lichtquelle mitgeführt wird. Dabei soll die Strahlungswärme (Radiation) die Körpertemperatur des Patienten stabilisieren.

Eine weitere Möglichkeit stellt der in vielen innerklinischen Studien beschriebene Einsatz von konvektiven Luftwärmern dar, die erfolgreich im innerklinischen Intensiv-

und Operationsalltag Anwendung finden. Dieses stellt jedoch an Einsatzstellen bisher eine Rarität dar.

Zu beiden Methoden fehlen bisher Studien über die Wirksamkeit unter präklinischen Bedingungen.

Dieses sollte mit dieser Arbeit untersucht werden. Dazu führten wir eine Studie an 30 gesunden Probanden bei einer standardisierten Umgebungstemperatur von 3°C durch. Die Probanden mussten jeweils zwei Versuchsteile durchlaufen, wobei sich die ersten 21 Minuten jeweils identisch gliederten. In dieser Zeit saßen die Studienteilnehmer bekleidet mit T-Shirt, Shorts, Strümpfen, Schuhen und Unterwäsche auf einem Fahrzeugsitz und waren schutzlos der Umgebungstemperatur ausgesetzt. Diese Zeit sollte dem Zeitverzug im präklinischen Rettungswesen zwischen Unfallzeitpunkt und Beginn der Hilfsmaßnahmen entsprechen. Danach erfolgte dann für weitere 39 Minuten die Erwärmung mittels Halogenstrahler bzw. konvektivem Luftwärmer. Bei der Erwärmung mit dem konvektiven Luftwärmer diente eine Kunststoffolie, mit der der Proband eingehüllt wurde, als Wärmedecke, Als konvektiver Luftwärmer wurde das Gerät „Polarn 4000“ der Firma Eberspächer ausgewählt, da dieses für den präklinischen Einsatz vorgesehen ist.

Während des Versuchszeitraumes wurde neben der Überwachung von Herzfrequenz, Blutdruck und Sauerstoffsättigung die Körpertemperatur an verschiedenen festgelegten Messpunkten in drei-minütlichem Abstand gemessen. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die Erwärmung mittels konvektivem Luftwärmer hoch effektiv und signifikant besser ist, als die mit einem Halogenstrahler. Bei der Erwärmung mittels Halogenstrahler konnte keine Stabilisierung und kein Anstieg der Körpertemperatur beobachtet werden.

Prinzipiell ist der Einsatz eines konvektiven Luftwärmern unter präklinischen Bedingungen auch mit einfachsten Mitteln möglich.

Ein Kritikpunkt muss jedoch die hohe Temperatur der erzeugten Warmluft sein. Hier sollte durch den Hersteller eine Temperaturregelung nachgebessert werden, um Verbrennungen der Patienten zu vermeiden. Bis dahin kann diese Methode in der jetzigen Form nicht allgemein empfohlen werden.

6. Anhang

6.1. Abkürzungen

°C	-	Grad Celcius
ASA	-	American Society of Anesthesiologists
ATP	-	Adenosintriphosphat
BMI	-	Body-Mass-Index
BSAS	-	Bedsite-Shivering-Assessment-Scale
DGU	-	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
diast. RR	-	Diastolischer Blutdruck
GKW	-	Gesamtkörperwärmemenge
HF	-	Herzfrequenz
IL	-	Interleukin
ISS	-	Injury-Severity-Score
kg	-	Kilogramm
KKT	-	Körperkerntemperatur
KOF	-	Körperoberfläche
LKW	-	Lastkraftwagen
m	-	Meter
m ²	-	Quadratmeter
MHT	-	Mittlere Hauttemperatur
MKT	-	Mittlere Körpertemperatur
ml	-	Milliliter
mm	-	Millimeter
MODS	-	Multi-Organ-Dysfunction-Syndrom
NRS	-	Numerische Rating-Skala
OP	-	Operationssaal
pAVK	-	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PKW	-	Personenkraftwagen
RTW	-	Rettungswagen
SaO ₂	-	arterielle Sauerstoffsättigung
SHT	-	Schädel-Hirn-Trauma
SpO ₂	-	periphere Sauerstoffsättigung
syst. RR	-	Systolischer Blutdruck
TNF	-	Tumornekrosefaktor
V	-	Volt
W	-	Watt
z.B.	-	zum Beispiel
ZNS	-	Zentrales Nervensystem

6.2. Aufklärungs-/ Informationsschrift für Probanden

UNIVERSITÄTSMEDIZIN : UMG
GÖTTINGEN

Universitätsmedizin Göttingen, 37099 Göttingen
Zentrum Anästhesiologie, Rettungs- u. Intensivmedizin, TI 105

Zentrum Anästhesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin
Geschäftsführender Leiter
Direktor Anästhesiologie

Herr/ Frau
Probandin

Prof. Dr. med. Michael Quintel

Projektleiter
Dr. med. Tim Heyne
Robert-Koch-Str. 40, 37075 Göttingen Adresse
0551 / 39-8828 Telefon
0551 / 39-8878 Fax
tim.heyne@medizin.uni-goettingen.de E-Mail
www.zari.med.uni-goettingen.de Homepage

27. August 2013

Klinische Studie zur Überprüfung "Präklinischer Behandlungsoptionen der akzidentellen Hypothermie"

Aufklärungs-/ Informationsschrift für Probanden (Version 05.2013)

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,

wir möchten Sie herzlich einladen an einer Untersuchung zur Überprüfung verschiedener Methoden zur Bekämpfung, bzw. Vermeidung einer Unterkühlung (Hypothermie) teilzunehmen.

Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig und auch nach Einwilligung kann diese von Ihnen jederzeit widerrufen werden.

Um Ihnen einen Überblick über die Hintergründe und den Ablauf dieser Untersuchung zu verschaffen, haben wir für Sie dieses Informationsblatt entworfen und möchten Sie bitten, dieses aufmerksam durchzulesen. Sollten Sie weitere Fragen zu dieser Studie haben, beantworten Ihnen die Studienärzte Ihre Fragen gerne.

Hintergrund dieser Studie

In der Bundesrepublik Deutschland ist der häufigste Grund für junge Menschen unter 45 Jahren zu versterben, der Unfalltod. Kommt es zu einem Unfall, wo ein Mensch eine potentiell tödliche Verletzung erlitten hat, erhöht eine Unterkühlung, d.h. ein Absinken der Körpertemperatur unter den Normalwert, die Wahrscheinlichkeit an dieser Verletzung zu versterben deutlich! Der Grund dafür liegt u.a. an der Beeinflussung der körpereigenen Blutgerinnungsfunktion durch die verminderte Körpertemperatur.

Damit ist die Bekämpfung, oder Vermeidung eines Absinkens der Körpertemperatur eines schwerverletzten Patienten von großer Bedeutung, um das Überleben von Trauma-Patienten zukünftig verbessern zu können.

Ziel der Untersuchung

Mit dieser Studie soll untersucht werden, ob es gelingt bereits in der präklinischen Behandlung, d.h. b während der Behandlung durch den Rettungsdienst, mit unterschiedlichen Methoden eine Stabilisierung bzw. Anstieg der Körperkerntemperatur, z.B. von in Ihren Fahrzeugen eingeklemmten Verkehrsunfallopfern zu erreichen und damit eine Auskühlung zu verhindern. Im Rahmen dieser Untersuchung sollen die Methoden der Erwärmung mit einem Warmluftgebläse im Vergleich zu der Strahlungswärme eines Halogenstrahlers gegenübergestellt und auf Ihre Effektivität überprüft werden.

Ablauf der Studie

Die Studie besteht aus zwei Untersuchungsabschnitten von jeweils einer Stunde Dauer. Dies bedeutet für Sie, dass Sie an zwei unterschiedlichen Tagen im Abstand von mindestens einer Woche, mit jeweils der einen, oder anderen Methode gewärmt werden.

Der Ablauf jedes Versuchsdurchgangs ist exakt gleich und läuft folgendermaßen ab: Nach Abholung durch das Untersucherteam von Ihnen zu Hause und dem Transport in ein Kühlhaus in der Nähe von Hamburg, werden sie mit einer standardisierten Bekleidung, welche die zerrissenen Kleidungsstücke eines Unfallpatienten demonstrieren soll, (Sandalen, Unterwäsche, T-Shirt und Shorts beschränkt) versorgt und an einen Überwachungsmonitor angeschlossen. Dieser überwacht kontinuierlich Ihre Körperfunktionen, bestehend aus EKG, Pulsoxymetrie, Blutdruck und der Körpertemperatur, welche über eine tympanale Sonde (Messsonde im Gehörgang eines Ohres) gemessen wird. Dann nehmen Sie auf einem Stuhl, welcher in dem Kühlhaus bei einer Umgebungstemperatur von ca. + 2°C platziert ist, Platz.

Beim ersten Versuchsdurchgang ziehen Sie einen Umschlag in welchem Sie die Erwärmungsmethode (Heizstrahler, oder Warmluftgebläse) finden, welche bei diesem Versuch angewendet werden soll und teilen die Methode dem Untersuchungsteam mit.

Dann beginnt bereits die Messung, d.h. Ihre überwachten Körperfunktionen werden von dem Studienteam kontinuierlich überwacht und in entsprechenden Protokollen dokumentiert. Für einen Zeitraum von 20 Minuten erfolgt keine aktive Erwärmung. Dieser Zeitraum simuliert den normalen Ablauf vom Unfallzeitpunkt bis zum Beginn der Rettungsmaßnahmen durch Feuerwehr und Rettungsdienst.

Ab der 21. Minute wird dann mit der aktiven Erwärmung begonnen, d.h. im ersten Messzyklus werden Sie über einen Zeitraum von 40 Minuten mit der von Ihnen in dem Umschlag gezogenen Methode gewärmt:

Methode A Heizstrahler

Nach Überlegen einer Rettungsdecke Wärmung mittels Halogenstrahler, welcher in einer Entfernung von 1,5 Metern zum Probanden aufgestellt wird

bzw.

Methode B Warmluftgebläse

Nach Überlegen einer Rettungsdecke wird mittels Warmluftgebläses auf 39 ° Celsius erwärmte Luft unter die Decke eingeleitet

Nach Abschluss der Messung werden Sie in einem gewärmten Raum gebracht, dort mit warmer Kleidung sowie Heiß-, oder Kaltgetränken versorgt und über einen Zeitraum von mindestens 2 Stunden durch die Studienärzte überwacht. Nach Ablauf dieser Zeit werden Sie, wenn Sie sich wohlfühlen, durch einen Fahrdienst nach Hause gebracht, wo wir Sie in die Obhut einer Betreuungsperson geben. Bitte stellen Sie sicher, dass bei Ihrer Rückkehr eine Ihnen vertraute Person Sie bis zum Folgetag zur Seite steht.

Nach Ablauf eines Zeitraumes von mindestens einer Woche nach Durchführung der ersten Messreihe, erfolgt dann die Durchführung des zweiten Untersuchungsgangs, allerdings fällt dann die Wahl der Wärmemethode weg, da bei jedem Probanden beide Methoden überprüft werden sollen.

Welche Gefahren bestehen für Sie?

Aufgrund zahlreicher ähnlicher Untersuchungen im klinischen Bereich sind schwerwiegende gesundheitliche Folgen für Sie nicht zu erwarten! Ausschließen können wir nicht, dass Sie im Rahmen dieser Studie an einem Infekte der oberen Atemwege, Fieber, einer Lungenentzündung, oder -im schlimmsten Fall – an Atemstörungen erkranken. Während der Untersuchung ist ein Ärzteteam mit umfangreicher Notfallausrüstung im Kühlhaus anwesend und kann bei eventuellen Notfällen umgehend qualifizierte Erstversorgung gewährleisten.

Sollte Sie sich im Anschluss an diese Untersuchung unwohl fühlen, suchen Sie umgehend Ihren Hausarzt auf und informieren Sie den Projektleiter, welchen Sie über die Kontaktdaten im Briefkopf erreichen.

Datenschutz

Alle im Rahmen dieser Studie aufgezeichneten Befunde und persönliche Informationen werden streng vertraulich behandelt. Sie werden auf Prüfprotokollen in pseudonymisierter Form festgehalten und unter Wahrung des gesetzlichen Datenschutzes ausgewertet. Pseudonymisierung bedeutet Verschlüsselung von Daten/Proben ohne Namensnennung nur mit Nummern codiert. Die Zuordnung der Daten oder Proben zu einer Person ist nur möglich, wenn hierfür der Schlüssel eingesetzt wird, mit dem die Daten pseudonymisiert wurden. Die personenbezogenen Daten/Proben werden unter besonderen Schutzvorkehrungen getrennt von der Schlüsselliste aufbewahrt. Eine Entschlüsselung ist nur durch die verantwortlichen Studienärzte möglich. Dritte erhalten keinen Einblick in Originalunterlagen.

Es steht Ihnen völlig frei, an dieser klinischen Studie teilzunehmen. Auch nach Einwilligung in die Studie können Sie diese Einwilligung ohne Angabe von Gründen jederzeit zurückziehen, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen werden! Bei Widerruf der Studienteilnahme werden die gespeicherten Daten umgehend gelöscht.

Die Datenspeicherzeit der erhobenen Daten beträgt 10 Jahre, Ihre personenbezogenen Daten werden nicht an **Dritte** weitergegeben. Eine Veröffentlichung findet nur mit anonymen Daten statt!

Weitere Hinweise

Falls Sie bereit sind, an dieser Studie teilzunehmen, müssen Sie die Anweisungen Ihres Prüfarztes genau befolgen. Wenn Sie die Behandlung beenden möchten oder unvorhergesehene Ereignisse auftreten, sollten Sie Ihren Studienarzt sofort benachrichtigen.

Die Untersuchung wird nach Beratung und zustimmender Bewertung durch die Ethikkommission der Universität Göttingen nach den Prinzipien des Weltärzteverbandes (Deklaration von Helsinki) durchgeführt.

6.3. Einverständniserklärung Probanden

Herr/ Frau
Probandin

Prof. Dr. med. Michael Quintel

Projektleiter
Dr. med. Tim Heyne
Robert-Koch-Str. 40, 37075 Göttingen **Adresse**
0551 / 39-8826 **Telefon**
0551 / 39-8876 **Fax**
tim.heyne@medizin.uni-goettingen.de **E-Mail**
www.zari.med.uni-goettingen.de **Homepage**

27. August 2013

Einverständniserklärung (Version 1.3 05.2013)

zur Teilnahme an der Studie zur Untersuchung

„Präklinischer Behandlungsoptionen der akzidentellen Hypothermie“

Ich, _____ (Name, Vorname), habe die vorliegende Probandenaufklärung gelesen und den Inhalt verstanden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, weitere Einzelheiten zu der Untersuchung zu erfragen – und genügend Zeit, um meine Entscheidung unbeeinflusst zu treffen.

Darüber hinaus wurde ich in einem persönlichen Gespräch mit Herrn _____ umfassend über die geplante Studie informiert und über meine Aufgabe sowie eventuelle Nutzen und Risiken, die im Rahmen dieser Studie für mich entstehen, aufgeklärt und weiß, dass die Anfahrt auf eigenes Risiko erfolgt.

Ich habe keine weiteren Fragen und bin belehrt worden, dass für eventuelle spätere Rückfragen mir die Studienärzte jederzeit zur Verfügung stehen.

Ich erkläre hiermit mein freiwilliges Einverständnis, an der klinischen Studie „Präklinischer Behandlungsoptionen der akzidentellen Hypothermie“ teilzunehmen.

Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung jederzeit widerrufen kann. Mein Rücktritt kann ohne Angabe von Gründen erfolgen, hieraus entstehen mit keine Nachteile. Eine Kopie dieser Einwilligungserklärung und die Probandenaufklärung habe ich erhalten.

Hinweis zum Datenschutz:

Bei dieser Studie werden die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz eingehalten. Es werden Ihre persönlichen Daten sowie die Messergebnisse erhoben, gespeichert und pseudonymisiert, d.h. Ihr Name und die Untersuchungsergebnisse werden durch die Prüfarzte mittels eines Nummerncode verschlüsselt, so dass nur durch die verantwortlichen Studienärzte eine Zuordnung der Messergebnisse zu Ihrer Person möglich ist! *Die Datenspeicherzeit der erhobenen Daten beträgt 10 Jahre, Ihre personenbezogenen Daten werden dabei nicht an Dritte weitergegeben. Die Veröffentlichung der Daten erfolgt ausschließlich in anonymer Form!*

Im Falle des Widerrufs Ihrer Einwilligung werden die gespeicherten Daten vernichtet.

Ort, Datum

Unterschrift des Probanden

Unterschrift des Studienarztes

7. Literaturverzeichnis

Auerhammer J (2010): Hypovolämie Teil 2: Flüssigkeits- und Volumentherapie, spezielle Aspekte. Notarzt 26: 271-286.

Augustine S (2002): Misuse of forced-air warming devices causes burns. APSF Newslett. 17: 13.

Badjatia N, Strongilis E, Gordon E, Prescutti M, Fernandez L, Fernandez A, Buitrago M, Schmidt JM, Ostapkovich ND, Mayer SA (2008): Metabolic impact of shivering during therapeutic temperature modulation: the Bedside Shivering Assessment Scale. Stroke 39(12): 3242-3247.

Beilman G, Blondet J, Nelson T, Nathens A, Moore F, Rhee P, Puyana J, Moore E, Cohn S (2009): Early Hypothermia in Severely Injured Trauma Patients Is a Significant Risk Factor for Multiple Organ Dysfunction Syndrome but Not Mortality. Annals of Surgery 249(5): 845-850.

Bernhard M, Helm M, Aul A, Gries A (2004): Präklinisches Management des Polytraumas. Anaesthesist 53(9): 887-904.

Bräuer A, Wrigge H, Kersten J, Rathgeber J, Weyland W, Burchardi H (1999): Severe accidental hypothermia: rewarming strategy using a veno-venous bypass system and a convective air warmer. Intensive Care Med 25: 520-523.

Bräuer A, Perl T, Wittkopp E, Braun U, Weyland W (2000): Stellenwert eines reflektierenden Isolationsmaterials (Thermadraper) zur Verhinderung intraoperativer Hypothermie. Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 35: 756-762.

Bräuer A, English MJM, Steinmetz N (2002): Comparison of forced-air warming systems with upper body blankets using a copper manikin of the human body. Acta Anaesthesiol Scand 46: 965–972.

Bräuer A, Pacholik L, Perl T, English M, Weyland W, Braun U (2004): Conductive heat exchange with a gel-coated circulating water mattress. Anesth Analg 99: 1742-1746.

Burton AC (1935): The average temperature of the tissues of the body. J Nutr 9: 264-267.

Crandall CG, Gonztález-Alonso J (2010): Cardiovascular function in the heat-stressed human. Acta Physiol (Oxf) 199(4): 407-423.

Danzl DF, Pozos RS (1994): Accidental hypothermia. N Engl J Med 331(26): 1756-1760.

DGU Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (2011). "S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung, AWMF-Register Nr. 012/019."
http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019I_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2011-07.pdf. 02.01.2013

DGU Traumaregister (2008). "Jahresbericht 2008."
http://www.traumaregister.de/downloads/Jahresbericht_2008.pdf. 26.01.2013

Eberspächer (2012). "Polarn." <http://www.eberspaecher-klima.de/produkte/polarn.html>. 24.05.2012

Ferrara A, MacArthur JD, Wright HK, Modlin IM, McMillen MA (1990): Hypothermia and acidosis worsen coagulopathy in the patient requiring massive transfusion. *Am J Surg* 160: 515–518.

Fritz U, Bräuer A, English M (1998): Aktive Wärmetherapie. *Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 33(6): 389-392.

Giesbrecht GG (2000): Cold stress, near drowning and accidental hypothermia: a review. *Aviat Space Environ Med* 71: 733-752.

Golenhofen K: Basislehrbuch Physiologie, 4. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer München 2006, 301

Gregory JS, Flancbaum L, Townsend (1991): Incidence and timing of hypothermia in trauma patients undergoing operations. *J Trauma* 31: 1247-1252.

Gubler KD, Gentilello LM, Hassantash SA (1994): The impact of hypothermia on dilutional coagulopathy. *J Trauma* 36: 847-851.

Gunga H C: Wärmehaushalt und Temperaturregulation; in: Physiologie; hrsg. v. Speckmann E-J, Hescheler J, Köhling R. 5. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer, München 2008, 627

Helm M, Felleiter P, Lampl L, Bock KH (1995a): Monitoring im Luftrettungsdienst. *Notarzt* 11: 71-77.

Helm M, Lampl L, Hauke J, Bock K (1995b): Akzidentelle Hypothermie bei Traumapatienten: von Relevanz bei der klinischen Notfallversorgung? *Anaesthesist* 44: 101-107.

Helm M, Hossfeld B, Hauke J, Lampl L (2001): Das Einklemmungstrauma aus notärztlicher Sicht - ein Überblick. *Notarzt* 17(02): 44-46.

Hess JR, Lawson JH (2006): The coagulopathy of trauma versus disseminated intravascular coagulation. *J Trauma* 60(6): 12-19.

Hess JR, Brohi K, Dutton RP (2008): The coagulopathy of trauma: a review of mechanisms. *J Trauma* 65: 748–754.

Heuer L: Prospektive Untersuchung zur Wirksamkeit der aktiven perioperativen Wärmetherapie auf den Verlauf der Körpertemperatur und den perioperativen Verlauf polytraumatisierter Patienten. Med. Diss. Bochum 2000

Hildebrand F, Schöchel H (2008): Akzidentelle Hypothermie. *Notfallmedizin up2date* 3(1): 9-24.

Hildebrand F, Giannoudis P, van Griensven M, Chawda M, Pape H (2004): Pathophysiologic changes and effects of hypothermia on outcome in elective surgery and trauma patients. *Am J Surg* 187(3): 363-371.

Hildebrand F, van Griensven M, Giannoudis P (2005): Impact of hypothermia on the immunologic response after trauma and elective surgery. *Surg Technol Int* 14: 41-50.

Hildebrand F, Probst C, Frink M, Huber-Wagner S, Krettek C (2009): Bedeutung der Hypothermie beim Polytrauma. *Unfallchirurg* 112: 959-964.

Hohlrieder M, Kaufmann M, Moritz M, Wenzel V (2007): Management der akzidentellen Hypothermie. *Anaesthesist* 56(8): 805-811.

Hynson JM, Sessler D, Moayeri A, McGuire J, Schroeder M (1993): The effects of preinduction warming on temperature and blood pressure during propofol/nitrous oxide anesthesia. *Anesthesiology* 79: 219-228.

Janke EL, Pilkington SN, Smith DC (1996): Evaluation of two warming systems after cardiopulmonary bypass. *Br J Anaesth* 77: 268-270.

Jirak Z, Jokl M, Stverák J, Pechlát R, Coufalov H (1975): Correction factors in skin temperature measurement. *J Appl Physiol* 38(4): 752-756.

Johnston TD, Chen Y, Reed RL (1994): Functional equivalence of hypothermia to specific clotting factor deficiencies. *J Trauma* 37: 413-417.

Jurkovich GJ, Greiser WB, Luterman A, Curreri PW (1987): Hypothermia in trauma victims: an ominous predictor of survival. *J Trauma* 27: 1919-1924.

Kashuk JL, Moore EE, Millikan JS, Moore JB (1982): Major abdominal vascular trauma—a unified approach. *J Trauma* 22(8): 672-679.

Kempainen RR, Brunette DD (2004): The evaluation and management of accidental hypothermia. *Respir Care* 49: 192-205.

Kermode JC, Zheng Q, Milner EP (1999): Marked temperature dependence of the platelet calcium signal induced by human von Willebrand factor. *Blood* 94: 199-207.

Kobbe P, Lichte P, Wellmann M, Hildebrand F, Nast-Kolb D, Waydhas C, Oberbeck R (2009): Bedeutung der Hypothermie in der Traumatologie. *Unfallchirurg* 112(12): 1055-1061.

Kober A, Scheck T, Fülesdi B, Lieba F, Vlach W, Friedman A, Sessler DI (2001): Effectiveness of Resistive Heating Compared With Passive Warming in Treating Hypothermia Associated With Minor Trauma: A Randomized Trial. *Mayo Clin Proc* 76: 369-375.

Koller R, Schnider TW, Neidhart P (1997): Deep accidental hypothermia and cardiac arrest-rewarming with forced air. *Acta Anaesthesiol Scand* 41: 1359-1364.

König F H (1944): Bluttemperatur und Wärmeregulation. Pflügers Arch. 247: 497-513.

Kreimeier U, Dirks B, Wenzel V (2008): Evidenzbasierte Notfallmedizin: Perspektiven. Notfall Rettungsmed 11: 18-24.

Kühn D, Luxem J, Runggaldier K: Rettungsdienst, 1. Auflage; Urban & Schwarzenberg, Muenchen 1998, 382-383

Lampl L, Helm M, Weidringer JW, Bock KH (1994): Vorschläge zur notärztlichen Strategie bei Einklemmungstrauma. Akt Traumatol 24: 163-166.

Lee SL, Battistella FD, Go K (2001): Hypothermia induces T-cell production of immunosuppressive cytokines. J Surg Res 100: 150–153.

Lier H (2008): Hypothermie und die tödliche Triade. Notfall Rettungsmed 11: 377-380.

Lier H, Kampe S, Schroder S (2007): Rahmenbedingungen für eine intakte Hämostase. Anaesthesist 56: 239-251.

Lier H, Krep H, Schöch H (2009): Gerinnungsmanagement bei der Polytraumaversorgung. Anaesthesist 58(10): 1010-1026.

Löb R, Engelbrecht K (1999): Monitoring in der präklinischen Phase – Möglichkeiten und Grenzen. Intensiv Notfallbeh 24: 2-9.

Luna GK, Maier RV, Pavlin EG, Anardi D, Copass MK, Orekovich MR (1987): Incidence and effects of hypothermia in seriously injured patients. J Trauma 27: 1014-1018.

Lundgren P, Henriksson O , Naredi P, Björnstig U (2011): The effect of active warming in prehospital trauma care during road and air ambulance transportation - a clinical randomized trial. Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine 19: 59.

Martin RS, Kilgo PD, Miller PR, Hoth JJ, Meredith JW, Chang MC (2005): Injury associated hypothermia: an analysis of the 2004 National Trauma Data Bank. Shock 24: 114-118.

Michelson AD, MacGregor H, Barnard MR (1994): Reversible inhibition of human platelet activation by hypothermia in vivo and in vitro. Thromb Haemost 71: 633–640.

Mommsen P, Zeckey C, Frink M, Krettek C, Hildebrand F (2011): Accidental hypothermia in multiple trauma patients. Zentralbl Chir 2011.

Naemt: Präklinisches Traumamanagement: Das PHTLS-Konzept, 1. Auflage; Elsevier, Muenchen 2009, 406-407

Niewenhuys R, Voogd J , Huijzen C van: Das Zentralnervensystem des Menschen, 2. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 1991, 305-336

Poldermann KH (2008): Induced hypothermia and fever control for prevention and treatment of neurological injuries. *Lancet* 371: 1955–1969.

Ramanathan NL (1964): A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J Appl Physiol* 19: 531-533.

Russo S, Timmermann A, Radke O, Kerren T, Bräuer A (2005): Akzidentelle Hypothermie in häuslicher Umgebung. *Anaesthesist* 54(12): 1209-1214.

Sanson G, Di Bartolomeo S, Nardi G, Albanese P, Diani A, Raffin L, Filippetto C, Cattarossi A, Scian E, Rizzi L (1999): Road traffic accidents with vehicular entrapment: incidence of major injuries and need for advanced life support. *Eur J Emerg Med* 6(4): 285-291.

Scherer R (1997): Intraoperative Wärmekonservierung – Viel Lärm um heiße Luft? *Anaesthesist* 46: 81-90.

Seekamp A, Mahlke L (2006): Präklinisches Polytrauma-Management. *Notfallmedizin up2date* 1 (2): 145-161.

Seekamp A, Ziegler M, Biank J, Grotz G (1996): Die Bedeutung der Hypothermie beim polytraumatisierten Patienten. *Unfallchirurg* 99(2): 100-105.

Seekamp A, van Griensven M, Hildebrandt F, Wahlers T, Tscherne H (1999): Adenosine-Triphosphate in Trauma-Related and Elective Hypothermia. *J Trauma* 47(4): 673-683.

Sefrin P, Rosenberger H R (2008): Hypothermie bei Traumapatienten. *Notfall Rettungsmed* 12(2): 109-116.

Sessler DI (1994): Consequences and treatment of perioperative hypothermia. *Anesth Clin North Am* 12: 425-456.

Sessler DI (2001): Complications and treatment of mild hypothermia. *Anesthesiology* 95: 531-543.

Shafi S , Elliott AC, Gentilello L (2005): Is hypothermia simply a marker of shock and injury severity or an independent risk factor for mortality in trauma patients? Analysis of a large national trauma registry. *J Trauma* 5: 1081-1085.

Simon E: Wärmehaushalt und Temperaturregelung; in: *Physiologie des Menschen*; hrsg. v. Schmidt RF und Thews G, 27. Auflage; Springer, Berlin, Heidelberg 1997, 649 - 671

Statistisches Bundesamt Wiesbaden (2012). "Unfallentwicklung auf deutschen Strassen 2012." <http://www.destatis.de>. 11.03.2013

Steele MT, Nelson MJ, Sessler DI, Fraker L , Bunney B , Watson WA, Robinson WA (1996): Forced Air Speeds Rewarming in Accidental Hypothermia. *Ann Emerg Med* 27: 479–484.

Südmersen J, Heyne T: Technische Hilfeleistung bei PKW-Unfällen; in: Einsatzpraxis; hrsg. v. Cimolino U, 2. Auflage Auflage; Ecomed-Verlag, Landsberg 2008,

Sund-Levander M, Forsberg C, Wahren L K (2002): Normal oral, rectal, tympanic and axillary body temperature in adult men and women: a systematic literature review. Scandinavian Journal of Caring Sciences 16(2): 122-128.

Svenson L, Viden S (1994): Accident investigation report Göteborg (Schweden). Volvo Truck Corporation 4.

Tieu BH, Holcomb JB, Schreiber MA (2007): Coagulopathy: its pathophysiology and treatment in the injured patient. World J Surg 31: 1055–1064.

Trentzsch H, Huber-Wagner S, Hildebrand F, Kanz KG, Faist E, Piltz St, Lefering R (2012): Hypothermia for Prediction of Death in Severely Injured Blunt Trauma Patients. Shock 37(2): 131-139.

Truell KD, Bakerman PR, Teodori MF, Maze A (2000): Third-degree burns due to intraoperative use of a Bair Hugger warming device. Ann Thorac Surg 69: 1933-1934.

Tryba M, Leban J (1996): Does active warming of severely injured trauma patients influence perioperative morbidity. Anesthesiology 85: 283.

Weinberg AD (1993): Hypothermia. Ann Emerg Med 22/Part 2: 370-377.

Witte J de, Sessler MD (2002): Perioperative shivering. Anesthesiology 96: 467-484.

Yenari MA, Palmer JT, Bracci PM (1995): Thrombolysis with tissue plasminogen activator (tPA) is temperature dependent. Thromb Res 77: 475–481.

Ying CL, Tsang SF, Ng KF (2008): The potential use of desmopressin to correct hypothermia-induced impairment of primary haemostasis-An in vitro study using PFA-100. Resuscitation 76: 129–133.

DANKSAGUNG

Mein Dank gilt Prof. Dr. Anselm Bräuer für die Überlassung dieses spannenden Dissertationsthemas.

Herrn Dr. Tim Heyne danke ich im besonderen Maße für die Idee zu dieser Dissertation und hervorragende Betreuung.

Weiterhin danke ich Annette Lorey-Tews und Dr. Stephan Apel für ihre fortlaufende Unterstützung während der unterschiedlichen Phasen in der Entstehung dieser Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt meinen Freunden und Bekannten und hier besonders Anja Cathrin Wurth und Stefan Ribbrock, die sich bereitwillig für diese Studie zur Verfügung stellten und tapfer in der Kälte ausgehalten haben.