



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

**Infrarotstrahler zur
Hypothermie-Prävention
verkehrsunfallbedingt eingeklemmter
Personen**

Bachelorarbeit
im Studiengang
Gefahrenabwehr/Hazard Control

Christian Schöne

Matr.-Nr.: 1979444

18. Januar 2013

Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg

1. Gutachter: Prof. Dr. Frank Hörmann, MBA
2. Gutachter: Dipl.-Biochem. Dr. med. Ralf Stroop, M.Sc.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Bachelor-Arbeit werden unterschiedliche Strategien untersucht, um eingeklemmte Personen nach einem Verkehrsunfall innerhalb der präklinischen Rettungsphase vor einer drohenden Hypothermie zu schützen.

Dabei werden neben einem von der Berufsfeuerwehr Gütersloh entwickelten Infrarotstrahler, eine Warmluftgebläsedecke und eine sich selbsterwärmende Decke miteinander verglichen.

Initial wurden retrospektiv die Personen im Kreis Gütersloh ermittelt, die infolge eines Verkehrsunfalls eingeklemmt waren und von Rettungskräften befreit werden mussten. Betrachtet wurden hierbei die kalten Monate von Oktober bis einschließlich April, in denen aufgrund der Witterung verstärkt mit einer Hypothermie gerechnet werden muss. Um eine Inzidenz einer möglichen Hypothermie-Prävention zu diagnostizieren, wurden die Einsätze, in denen eine Rettungszeit von mehr als 20 Minuten eruiert wurde, als ausschlaggebend angesehen. Zusätzlich erfolgte eine Korrelation dieser Einsätze zu der Rettungszeit und der Umgebungstemperatur.

Anschließend wurde anhand eines realitätsnahen, simulierten Szenarios die Praktikabilität und Integration der Erwärmungsstrategien in den präklinischen Rettungsablauf der Systeme ermittelt. Dabei wurden sowohl auf die technische Rettung, als auch auf die rettungsdienstliche Versorgung geachtet, um den Rettungsablauf nicht zu beeinflussen.

Der dritte Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Effizienz der verglichenen Systeme. Hierbei wurden mit drei Probanden Messungen in einer Klimakammer durchgeführt, um unter konstanten klimatischen Parametern die Temperaturverläufe der unterschiedlichen Systeme zu erfassen.

Innerhalb dieser drei Fragestellungen – der Inzidenz, der Praktikabilität und der Effizienz – konnte gezeigt werden, dass eine Hypothermie-Prävention sowohl notwendig, als auch mit den erprobten Systemen realisierbar ist.

In der Analyse der Praktikabilität zeigte sich, dass der entwickelte Infrarotstrahler die besten Präferenzen vorweist. Auch die selbsterwärmende Decke zeigte eine hohe Akzeptanz in der Rettungsphase. Das Warmluftgebläse dagegen wurde von den Rettungskräften als am wenigsten handhabbares und praktikables System bewertet und weist einige Defizite in der präklinischen Phase auf.

Die Analyse der Effizienz stellt hingegen andere Ergebnisse dar. Die Aufwärmkinetik der selbsterwärmenden Decke ist innerhalb der präklinischen Phase zu träge, da die Solltemperatur erst in 30 Minuten erreicht werden kann. Der Infrarotstrahler und das Warmluftgebläse lassen dagegen einen sehr zügigen und ansteigenden Temperaturverlauf der Probanden aufzeigen, wodurch eine akzidentielle Hypothermie eines Traumapatienten verlangsamt, wenn nicht sogar vermieden werden kann.

Als Fazit der untersuchten Fragestellung lässt sich zusammenfassen, dass der entwickelte Infrarotstrahler durchaus eine praktikable und effiziente Variante darstellt, um einer möglichen Hypothermie in der präklinischen Phase – explizit bei Verkehrsunfällen – vorzubeugen.

Schlagwörter:

Hypothermie, Infrarot, Verkehrsunfall, eingeklemmte Person, Rettungsdienst, Notfallmedizin, Patientenorientierte Rettung

Abstract

The objective of this bachelor thesis is the analysis and comparison of available options to prevent hypothermia of incarcerated car crash victims during the preclinical phase (extrication). The available options covered by this thesis are an infrared radiator – developed by Gütersloh municipal fire department –, a warming blanket via warmed air and an active self-warming blanket activated by air contact.

The starting point was an inquiry to retrieve all car crash incidents that required extrication in the district of Gütersloh from 2009 to 2012. The investigation period focuses on the cold weather period between start of October and end of April of each year expecting a high likeliness of hypothermia in case of an incident. Furthermore only incidents requiring extrication exceeding more than 20 minutes were included. All extrications were set into correlation with duration and outside temperature of the incident location.

The data collection and analysis resulted in a scenario very close to reality allowing the simulation regarding practicability and integration into the extrication process of all hypothermia prevention options in focus. The simulation considered the technical aspects as well as the medical emergency treatment aspects during the rescue process to avoiding any negative impact.

In the third part of this thesis all hypothermia prevention devices were analyzed and compared regarding their efficiency. In order to collect temperature sequences of each device, the body-heat of a subject group of three volunteers was measured under the constant climatic parameters of a climatic chamber.

The results to all three investigation perspectives – incidents, practicality and efficiency – shows clearly the necessity but also the feasibility of hypothermia prevention by proven warming devices.

In comparison of all warming devices the infrared radiator was mostly preferred during an extrication regarding ease of use and efficiency. Also the active self-warming blanket achieved a high acceptance. The warming blanket based on warm air was rated by far the lowest regarding practicality and usability.

The analysis of efficiency per device resulted in a different order. The warming kinetics of the active self-warming blanket takes 30 minutes to reach required temperature and therefore is too slow. The infrared radiator as well as the warming blanket based on warm air led to a quick and constantly increasing body temperature of the subject group. This proves that these two devices can slow down or even most likely prevent hypothermia.

All in all, it can be concluded that the development of the infrared radiator is a practicable and efficient way to prevent hypothermia – especially for incarcerated car crash victims.

Keywords:

hypothermia, infrared, incarcerated car crash victim, rescue service, emergency medical aid, patient-oriented

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	ii
Abstract	iv
Inhaltsverzeichnis	vi
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	xii
1 Einleitung	13
1.1 Aufgabenstellung.....	16
2 Grundlagen	17
2.1 Medizinische Grundlagen	17
2.1.1 Physiologie des Wärmeeerhalts und der Wärmeregulation	18
2.1.2 Pathophysiologie und Wärmeverlust	19
2.1.3 Maßnahmen zum perioperativen Wärmeeerhalt	21
2.1.4 Konzepte der präklinischen Patientenerwärmung	22
2.2 Infrarotstrahlung	25
2.3 Medizinische Diskussion unfallassoziierter Hypothermie	31
3 Materialien, Methoden und Konzepte	32
3.1 Vorstellung der Testobjekte.....	32
3.1.1 Infrarotstrahler	32
3.1.2 Mönlycke Barrier® EasyWarm®	35
3.1.3 3M® Bair Hugger®	36
3.2 Indikationsinzidenz Kreis Gütersloh.....	38
3.3 Praktikabilitätsanalyse: Technisch/Medizinische Rettung.....	39
3.3.1 Vorgehensweise	40
3.3.2 Materialien	44
3.3.2.1 Rettungsmittel und technische Ausstattung.....	45
3.3.2.2 Messausrüstung	46
3.3.2.3 Dokumentation	46
3.4 Effizienzanalyse: Messung in der Klimakammer	47
3.4.1 Vorgehensweise	47

3.4.2	Materialien	49
3.4.2.1	Messausrüstung	49
3.4.2.2	Dokumentation	52
4	Ergebnisse und Diskussion	53
4.1	Indikationsinzidenz Kreis Gütersloh.....	53
4.1.1	Diskussion	55
4.2	Praktikabilitätsanalyse: Technisch/Medizinische Rettung.....	58
4.2.1	Auswertung Evaluationsbögen	58
4.2.2	Diskussion	63
4.3	Effizienzanalyse: Messung in der Klimakammer	66
4.3.1	Messung 1: 45 min ohne Erwärmung + 10 min Infrarotstrahler	74
4.3.1.1	Diskussion Messung 1.....	75
4.3.2	Messung 2: 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mölnlycke Barrier [®] EasyWarm [®]	81
4.3.3	Messung 3: 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M [®] Bair Hugger [®]	88
4.3.4	Messung 4: 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler	95
4.3.4.1	Diskussion Messung 2–4.....	96
5	Fazit	98
6	Schlussfolgerung und Ausblick.....	100
6.1	Schlussfolgerung	100
6.2	Ausblick	100
	Literaturverzeichnis	103
	Weblinks	105
	Anhang A: Abkürzungsverzeichnis.....	106
A.1	Abkürzungen	106
A.3	Einheiten	108
	Anhang B: Tabellen, Fragebögen, Zeichnungen.....	109
	Anhang C: Curriculum Vitae	115
	Anhang D: Danksagung.....	117
	Anhang E: Erklärung an Eides Statt.....	120
	Anhang F: Digital Video Disc (DVD)	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Golden hour of shock	14
Abbildung 2:	Enzymaktivität in Abhängigkeit zur Temperatur	17
Abbildung 3:	Körpertemperatur	20
Abbildung 4:	Vergleich verschiedener Techniken zur Wiedererwärmung. Die Wirksamkeit der passiven Methoden ist vergleichsweise gering. Eine hohe Effizienz wird mit den Methoden erzielt, welche in der präklinischen Phase keine Anwendung finden können.....	22
Abbildung 5:	Elektromagnetisches Spektrum mit sichtbarem Spektralanteil im Detail	23
Abbildung 6:	Barkey rescuetherm.....	24
Abbildung 7:	Experiment von Herschel	26
Abbildung 8:	Eindringtiefe von IR-Strahlung	28
Abbildung 9:	Absorption und Eindringtiefe entsprechend der Wellenlänge in Wasser	29
Abbildung 10:	Vergleich Strahlungsspektrum	33
Abbildung 11:	Infrarotstrahler	33
Abbildung 12:	Infrarotstrahler auf einem Stativ.....	34
Abbildung 13:	Mölnlycke Barrier® EasyWarm® ⁵¹	35
Abbildung 14:	3M® Bair Hugger® Model 750	36
Abbildung 15:	3M® Wärmedecke Model 522	37
Abbildung 16:	Ausbildungsbus Weber Rescue.....	41
Abbildung 17:	Geräteablageplatz	41
Abbildung 18:	Große Seitenöffnung.....	43
Abbildung 19:	Dachentfernung und Patientenschutz.....	44
Abbildung 20:	PKW in der Klimakammer.....	47
Abbildung 21:	Proband 1 in der Klimakammer	47
Abbildung 22:	Anordnung Temperaturfühler.....	50
Abbildung 23:	cosinuss°-Sensor	51
Abbildung 24:	Rettungszeiten der 107 Einsätze „eingeklemmter Personen“ im Zeitraum 01.01.2009–31.12.2012 bei Verkehrsunfällen im Kreis Gütersloh	53
Abbildung 25:	Abbildung 25 zeigt – der Abbildung 24 überlagert – die benötigten Befreiungszeiten für diese Einsätze, die berechnet wurden ab dem Eintreffen des HLF.	54
Abbildung 26:	Einsätze „eingeklemmte Person“ mit Rettungszeiten größer 20 min in den kalten Monaten: Oktober bis (einschließlich) April während des Zeitraums 01.01.2009 bis 31.12.2012	55
Abbildung 27:	Zeiten bis zur Klinikeinlieferung in die drei primär angefahrenen Krankenhäuser (Ein Balken entspricht einem Patienten)	57
Abbildung 28:	Überlagert zu den 45 ermittelten Einsätzen werden die Zeiten bis zur Klinikeinlieferung dargestellt. Bei fünf Einsätzen war keine Einlieferungszeit dokumentiert.....	57
Abbildung 29:	Patient mit Mölnlycke Barrier® EasyWarm® im PKW	59
Abbildung 30:	Erwärmung mit dem Infrarotstrahler durch die Seitenscheibe. (Abstand ca. 0,8 m)	60

Abbildung 31:	Erwärmung mit dem Infrarotstrahler auf einem Stativ vor der Motorhaube. (Abstand ca. 2,2 m)	60
Abbildung 32:	Erwärmung mit dem Infrarotstrahler auf einem Stativ durch die Seitenscheibe (Abstand ca. 1,3 m)	60
Abbildung 33:	Erwärmung mit dem Infrarotstrahler von der Motorhaube. (Abstand ca. 1,0 m)	60
Abbildung 34:	Patient mit 3M [®] Bair Hugger [®] im PKW	61
Abbildung 35:	Soll-/Ist Werte der Klimakammer, Aufzeichnung der Regelungstechnik der Klimakammer	68
Abbildung 36:	Mittelwerte der Temperatur und relativen Luftfeuchte in der Klimakammer. Temperaturmessung mittels Pt 100 Sensoren nach Abbildung 65 und Abbildung 66 Feuchtemessung mittels Rotronic HygroClip2 HC2-S nach Abbildung 65 und Abbildung 66	68
Abbildung 37:	Proband 1, 45 min ohne Erwärmung + 20 min Infrarotstrahler Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	69
Abbildung 38:	Proband 2, 45 min ohne Erwärmung + 15 min Infrarotstrahler Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	70
Abbildung 39:	Proband 3, 42 min ohne Erwärmung + 10 min Infrarotstrahler Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	71
Abbildung 40:	Infrarotbilder der Messung 1 von Proband 1 mit entsprechendem Temperaturverlauf der Messpunkte. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM [®] hr inspect 400)	72
Abbildung 41:	Zeitlicher Verlauf der Infrarotbilder der Messung 1 von Proband 1. Die Aufnahmen sind als Video auf der DVD im Anhang vorhanden. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM [®] hr inspect 400)	73
Abbildung 42:	Proband 1, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mölnlycke Barrier [®] EasyWarm [®] Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	76
Abbildung 43:	Proband 2, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mölnlycke Barrier [®] EasyWarm [®] Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	77
Abbildung 44:	Proband 3, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mölnlycke Barrier [®] EasyWarm [®] Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	78

Abbildung 45:	Infrarotbilder der Messung 2 von Proband 1 mit entsprechendem Temperaturverlauf der Messpunkte. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM® hr inspect 400)	79
Abbildung 46:	Zeitlicher Verlauf der Infrarotbilder der Messung 2 von Proband 1. Die Aufnahmen sind als Video auf der DVD im Anhang vorhanden. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM® hr inspect 400)	80
Abbildung 47:	Infrarotbild: Proband 2 am Ende der Erwärmungsphase mit Mölnlycke Barrier® EasyWarm®. Die Wärmepads haben eine Temperatur von ungefähr 20 °C erreicht. T_{\max} : Stirn = 26,36 °C	82
Abbildung 48:	Proband 1, 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M® Bair Hugger® Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	83
Abbildung 49:	Proband 2, 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M® Bair Hugger® Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	84
Abbildung 50:	Proband 3, 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M® Bair Hugger® Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	85
Abbildung 51:	Infrarotbilder der Messung 3 von Proband 1 mit entsprechendem Temperaturverlauf der Messpunkte. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM® hr inspect 400)	86
Abbildung 52:	Zeitlicher Verlauf der Infrarotbilder der Messung 3 von Proband 1. Die Aufnahmen sind als Video auf der DVD im Anhang vorhanden. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM® hr inspect 400)	87
Abbildung 53:	Proband 1 in der Erwärmungsphase mit dem 3M® Bair Hugger® System. Der Luftstrom erfolgt aufwärts der Oberschenkel. Je nach Decke und räumlichen Verhältnissen kann unter Umständen auch eine Erwärmung der Beine erreicht werden.....	89
Abbildung 54:	Infrarotbild: Proband 1 in der Erwärmungsphase mit dem 3M® Bair Hugger® System T_{\max} : Stirn = 28,4 °C	89
Abbildung 55:	Proband 1, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	90
Abbildung 56:	Proband 2, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	91

Abbildung 57:	Proband 3, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung.....	92
Abbildung 58:	Infrarotbilder der Messung 4 von Proband 1 mit entsprechendem Temperaturverlauf der Messpunkte. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM [®] hr inspect 400)	93
Abbildung 59:	Zeitlicher Verlauf der Infrarotbilder der Messung 4 von Proband 1. Die Aufnahmen sind als Video auf der DVD im Anhang vorhanden. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM [®] hr inspect 400)	94
Abbildung 60:	Proband 2 in der Erwärmungsphase mit dem Infrarotstrahler Abstand: 1,0 m	96
Abbildung 61:	Infrarotbild: Proband 2 in der Erwärmungsphase mit dem Infrarotstrahler T_{max} : Stirn = 35,33 °C	96
Abbildung 62:	Messkopf mit Elektronikbox der Firma Optris	101
Abbildung 63:	Evaluationsbogen Patient für den Infrarotstrahler	111
Abbildung 64:	Evaluationsbogen Rettungskräfte für den Infrarotstrahler	112
Abbildung 65:	Anordnung der Temperatur- und Luftfeuchtefühler, linke Seite.....	113
Abbildung 66:	Anordnung der Temperatur- und Luftfeuchtefühler, rechte Seite.....	114

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mechanismen der Wärmeleitung	18
Tabelle 2:	Stadien der Unterkühlung	21
Tabelle 3:	Einteilung der Infrarotstrahlung nach DIN 5031-7	27
Tabelle 4:	Personalansatz der praktischen Übung	39
Tabelle 5:	Auswertung der geschlossenen Fragen der Evaluations- bögen - unterteilt nach Rettungskräften und Patient.	58
Tabelle 6:	Auswertung der Praktikabilität anhand des Scoring-Modells	62
Tabelle 7:	Übersicht Probanden	109
Tabelle 8:	Technische Ausstattung.....	109
Tabelle 9:	Erweiterte persönliche Schutzausrüstung	110

1 Einleitung

Die Befreiung einer eingeklemmten Person infolge eines Verkehrsunfalls stellt eine zeitkritische und technisch anspruchsvolle Aufgabe dar, die nur mit qualifiziertem Personal mit entsprechender Ausrüstung bewältigt werden kann.

Die Problematik der heutigen Karosserien besteht in der zunehmend steiferen Ausführung. Die Verarbeitung von hoch- bis höchstfesten Stählen und Verbundwerkstoffen, insbesondere im Bereich der A- und B-Säule, stellen die Rettungskräfte zunehmend vor Probleme. Darüber hinaus steigt die Anzahl der Airbagsysteme und damit resultierend die Anzahl von Gasgeneratoren, die aufgrund einer notwendigen und umsichtigen Erkundung zum Eigenschutz ebenfalls die Rettungsphase verlängern. Weitere Hindernisse können durch mehrere Fahrzeugbatterien oder Hochvolt-Komponenten in Elektro- oder Hybridfahrzeugen entstehen. Obwohl durch die steiferen Karossen und Sicherheitssysteme die Verletzungsschwere oftmals gesenkt wird, treten im Falle einer Einklemmung der Insassen erhebliche Probleme auf, da die hydraulischen Rettungsgeräte – insbesondere Rettungsscheren –, häufig nicht mehr in der Lage sind die verwendeten Werkstoffe zu schneiden.

Dem gegenüber steht der Einsatzgrundsatz den Patienten unter Berücksichtigung aller Kriterien, wie z. B. Witterungsverhältnissen und Verletzungen, innerhalb kürzester Zeit aus dem PKW zu befreien und in ein geeignetes Klinikum zu transportieren. Die sogenannte „golden hour of shock“ dient als Regel, diese Aufgaben innerhalb von 60 Minuten abgearbeitet zu haben.

There is a golden hour between life and death. If you are critically injured you have less than 60 minutes to survive. You might not die right then; it may be three days or two weeks later -- but something has happened in your body that is irreparable.
(R Adams Cowley 1976) ¹

¹ Cowley 1976

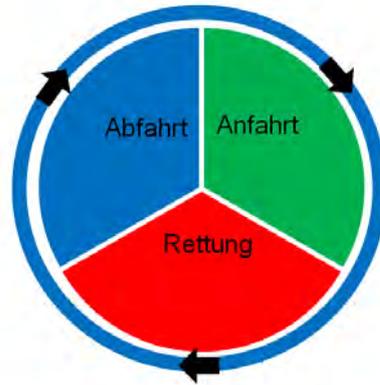


Abbildung 1: Golden hour of shock ²

Ist es trotz aller Bemühungen aufgrund der aufgeführten Problematik nicht möglich den Verunfallten in ein geeignetes Krankenhaus zu transportieren, droht diesem zeitabhängig eine akzidentielle Hypothermie, welche durch geeignete Strategien in der präklinischen Phase vermieden werden soll. Akzidentielle Hypothermie bedeutet, dass der Patient ohne Existieren einer thermoregulatorischen Störung des Körpers, bei entsprechenden Witterungsverhältnissen ein Absinken der Körperkerntemperatur entwickelt.

Durch den Einfluss hoher kinetischer Energie auf den Körper, welche häufig bei Verkehrsunfällen auftritt, entsteht ein sogenanntes Hochrasanztrauma, wodurch oftmals gleichzeitig Verletzungen unterschiedlicher Körperregionen resultieren. Ist eine dieser Verletzungen oder die Kombination unterschiedlicher Verletzungen lebensbedrohlich, spricht man von einem Polytrauma.

Nach einer Studie von Gregory et al. und Hildebrand et al. ist bei bis zu 66 % der polytraumatisierten Patienten eine Hypothermie bei der Klinikeinlieferung festzustellen, womit eine signifikant höhere Mortalität induziert wird.^{3 4} Der Einfluss einer akzidentuellen Hypothermie mit einer daraus folgenden Koagulopathie und Azidose ist somit ein gravierender und zu berücksichtigender Faktor in der präklinischen Phase.

² Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. 2010 (modifiziert)

³ Hildebrand et al. 2004

⁴ Gregory et al. 1991

Die präklinische Hypothermie-Prävention wird jedoch kontrovers diskutiert, da einer moderaten Hypothermie beispielsweise auch neuroprotektive Effekte, wie beim Schädel-Hirn-Trauma, zugesprochen werden.

Die Indikationsstellung einer möglichen Patientenwärmung, welche in dieser Arbeit behandelt wird, gilt daher hier nur für kreislaufstabile und wache Patienten.

Des Weiteren ist neben den sicherheitstechnischen und effizienten Aspekten immer ein wirtschaftlicher Kontext zu berücksichtigen. Im Land Nordrhein-Westfalen entstand im Jahr 2011 ein volkswirtschaftlicher Schaden durch Verkehrsunfälle von 6,49 Milliarden Euro. Davon sind allein 2,45 Milliarden Euro auf Personenschäden zurückzuführen.⁵

⁵ Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen 2011

1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe dieser Arbeit war die Beurteilung eines von der Berufsfeuerwehr Gütersloh entwickelten Infrarotstrahlers, der für die präklinische Patientenwärmung konzipiert wurde.

Dabei waren folgende Fragestellungen zu untersuchen:

- Die **Indikationsinzidenz** eines Infrarotstrahlers zur präklinischen Patientenwärmung im Rettungsdienst sollte – basierend auf retrospektiv zu analysierenden Zahlen von Verkehrsunfällen im Kreis Gütersloh – ermittelt werden.
- Die **Praktikabilität** zum möglichen Einsatz eines Infrarotstrahlers galt es anhand eines realitätsnah nachgestellten Szenarios, “Verkehrsunfallbedingt eingeklemmte Person in einem PKW“ aus feuerwehrtechnischer und aus rettungsdienstlicher Sicht zu beurteilen.
- Die **Effizienz** eines Infrarotstrahlers war unter definierten Parametern anhand von Personen-Temperaturverläufen in einer Klimakammer zu ermitteln.

Zum Vergleich dieses Infrarotstrahlers wurden zwei weitere Systeme der aktiven Patientenwärmung hinzugezogen und mit diesem verglichen.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden medizinische und technische Grundlagen der Fragestellung dargestellt und erläutert, damit eine Basis entsteht, um den Hintergrund dieser Arbeit nachvollziehen zu können.

2.1 Medizinische Grundlagen

Die Körpertemperatur des Menschen ist zunächst unabhängig von der Umgebung in der er sich befindet. Er ist ein homöothermes (gleichwarmes) Lebewesen. Eine besondere Rolle spielt dies im Inneren des Körpers bei den Stoffwechselreaktionen. Die hierfür benötigten Enzyme arbeiten meist in einem engen Temperaturfeld. Organe, wie z. B. Nieren, Milz, Leber, Herz und Gehirn, benötigen zur einwandfreien Funktion eine Körperkerntemperatur von 37 °C. Im Tagesverlauf entstehen hier Schwankungen von $\pm 0,5$ °C (circadiane Rhythmik).⁶

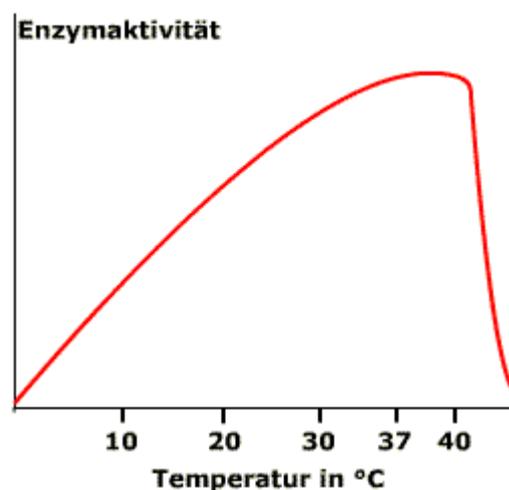


Abbildung 2: Enzymaktivität in Abhängigkeit zur Temperatur ⁷

⁶ Schmidt et al. 2010: 850

⁷ FIZ Chemie

Genauer betrachtet ist der Mensch jedoch nicht ausnahmslos homöotherm. Die Körperschale, wozu Extremitäten und die Haut zählen, unterliegt weitaus größeren Abweichungen, die abhängig von der Umgebungstemperatur sind. Wenn die Umgebungstemperatur bei 33–34 °C liegt, befindet sich der Mensch im thermoneutralen Bereich. Dies bedeutet, dass die Temperaturempfindung als neutral bewertet wird, d. h., dass der Mensch weder friert noch schwitzt.⁸

2.1.1 Physiologie des Wärmeeerhalts und der Wärmeregulation

Da der Körper eine konstante Temperatur benötigt, messen innere und äußere Thermorezeptoren kontinuierlich die Temperatur. Um ein Gleichgewicht zwischen Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe zu halten, greift der Körper auf unterschiedliche Regulationsmechanismen zurück. Der Großteil der Körperwärme wird anhand der Stoffwechselaktivität der Organe produziert. Zusätzliche Wärme wird durch willentliche Muskelbewegung (körperliche Bewegung) oder autonome Muskelbewegungen (Kältezittern) produziert. Diese Wärmebildung ist jedoch nicht sehr effektiv, da durch das Zittern zeitgleich die Durchblutung steigt. Somit wird ein Großteil der erzeugten Wärme über die Hautoberfläche wieder an die Umgebung abgegeben.⁹

Tabelle 1: Mechanismen der Wärmeleitung¹⁰

Mechanismus	Erklärung	Beispiel
Konduktion (Leitung)	Wärme wird über Materie geleitet	Person liegt auf kaltem Boden
Konvektion (Strömung)	Wärme wird durch ein bewegtes Medium transportiert	Person wird Luftströmung ausgesetzt
Radiation (Strahlung)	Wärme wird durch elektromagnetische Strahlung transportiert	Person gibt Wärme ab (wie ein Heizkörper)
Evaporation (Verdunstung)	Wärme wird über die Verdunstung von Schweiß abgegeben	Person kühlt durch nasse Haut aus

⁸ Schmidt et al. 2010: 841

⁹ Schmidt et al. 2010: 845

¹⁰ Menzel-Severing et al. 2003 (modifiziert)

Fast die gesamte Wärme im Körper wird über Konvektion mit dem Blut verteilt. Aufgrund des hohen Wasseranteils im Blut, ca. 90 %, und der damit verbundenen hohen spezifischen Wärmekapazität, ist eine effektive Verteilung im gesamten Körper gegeben.¹¹

Zusätzlich nimmt der Körper durch eine warme Umgebung, der Sonne oder Wärmequellen, wie z. B. Infrarotstrahlern, Wärme auf.

2.1.2 Pathophysiologie und Wärmeverlust

Kommt der Körper an einen Punkt, an dem er nicht mehr in der Lage ist, durch eigene Maßnahmen die Körpertemperatur zu regulieren, spricht man von Hyperthermie, bzw. Hypothermie. Im Folgenden sei lediglich die Hypothermie betrachtet.

Durch Muskelhyperkinese ist der Körper in der Lage, seine Wärmebildung auf ein Vierfaches zu steigern, dementsprechend ist aber auch der Sauerstoffverbrauch erhöht. Des Weiteren versucht der Körper durch eine Drosselung der Durchblutung, die vorhandene Wärme im Körperkern zu halten und nicht über die Haut abzugeben. Das dadurch entstehende Temperaturgefälle in axialer Richtung der Extremitäten, ist an den Akren am größten. Hier lassen sich Temperaturen von nur 20 °C messen.¹²

¹¹ Schmidt et al. 2010: 846

¹² Schmidt et al. 2010: 841

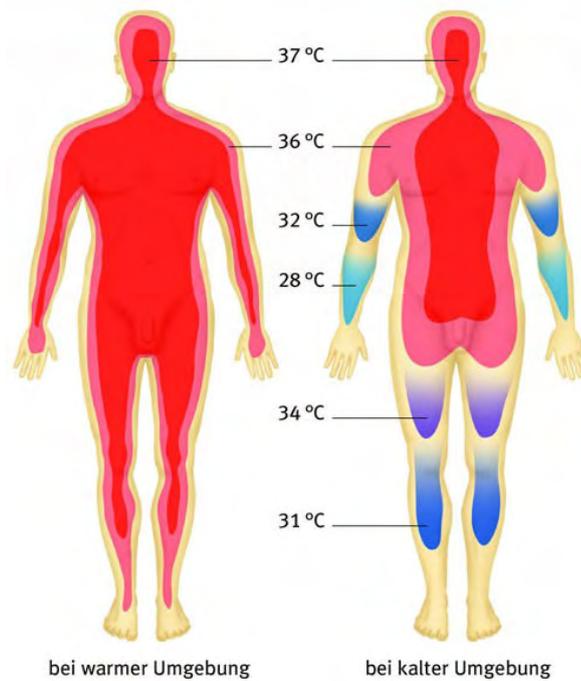


Abbildung 3: Körpertemperatur ¹³

Fällt trotz dieser Maßnahmen die Körperkerntemperatur auf unter 35 °C, spricht man von Hypothermie. „Die Hypothermie des Patienten ist eine im Rettungsdienst häufig auftretende Komplikation, da im Zusammenhang mit anderen Erkrankungen und Verletzungen immer wieder Wärmeverluste entstehen können“.¹⁴ Gründe hierfür können neben Erschöpfung oder Alkoholmissbrauch auch Schocksituationen, Verbrennungen oder Polytraumata sein. In der präklinischen Phase ist es wichtig, die Anzeichen zu erkennen und eine weitere Auskühlung zu verhindern. Kühlt der Körper trotzdem weiter aus, setzt das Zittern ab 34 °C aus. Die Folgen sind Bewusstlosigkeit, Aussetzen der Atmung bis hin zu Herzkammerflimmern bei 28 °C. In Tabelle 2 werden die Stadien und Symptome der Hypothermie erläutert.¹⁴

¹³ wissenmedia GmbH 2008

¹⁴ Kühn und Aechter 2007: 628

Tabelle 2: Stadien der Unterkühlung ¹⁵

Stadium	Körperkern-temperatur	Symptome
I	37–34 °C	Patient bewusstseinsklar, Muskelzittern, Schmerzen, RR ¹⁶ und Puls erhöht, Haut blass und kalt
II	34–30 °C	Schläfrigkeit, Reflexe abgeschwächt, keine Schmerzen, RR und Puls erniedrigt, nach einem Tag Hautödem und Blasen
III	30–27 °C	Koma, Puls nicht tastbar, minimale Atmung, keine Reflexe, evtl. Herz-Kreislaufstillstand, Pupillenerweiterung, nach einer Woche Hautnekrosen

Neben den Wärmeverlusten durch Erkrankungen oder Verletzungen spricht man von einer akzidentellen Hypothermie, worunter man ein Absinken der Körperkerntemperatur ohne eine Störung der Wärmeregulation versteht.¹⁷ Falldokumentationen weisen oftmals auf die akzidentielle Hypothermie hin und bemerken, dass jeder Notfallpatient, insbesondere der Traumapatient, Hypothermie gefährdet ist. „Schon bei einer milden Hypothermie gibt es Hinweise auf eine erhöhte Infektionsrate, Kreislaufinstabilität, Koagulopathien, Hyperglykämie und Elektrolytentgleisungen.“ ¹⁸

2.1.3 Maßnahmen zum perioperativen Wärmeerhalt

In der perioperativen Phase spielt die Hypothermie eine entscheidende Rolle. Vor allem im intraoperativen Stadium, wenn der Patient anästhesiert ist, setzt die eigene Regulation der Körpertemperatur aus. Daraus resultiert ohne entsprechende Kompensationsmaßnahmen eine Hypothermie. Weitere Gründe können eine geringe präoperative Körperkerntemperatur, die Operationsaal-Temperatur oder kühle Infusionen sein. Um hier präventive Maßnahmen zu

¹⁵ Schäffler und Amberg 1999: 477 (modifiziert)

¹⁶ RR, Abkürzung für den nicht invasiv gemessenen arteriellen Blutdruck, nach Scipione Riva Rocci, italienischer Internist

¹⁷ Sefrin und Rosenberger 2009: 109

¹⁸ Polderman 2004: 757–769

treffen, finden verschiedene Maßnahmen Anwendung. Eine Vorwärmung des Patienten, eine pharmakologisch induzierte Vasodilatation, Infusionswärmer, als auch konduktive und konvektive Verfahren sind Vorgehensweisen.¹⁹ Als Grundlage sollte jedoch auf die Isolation des Körpers geachtet werden.

Die effektivste Form stellen derzeit konvektive Systeme dar, welche im Vergleich dieser Arbeit auch zur Verwendung kamen. Eine genaue Einführung erfolgt in Kapitel 3.1.3.

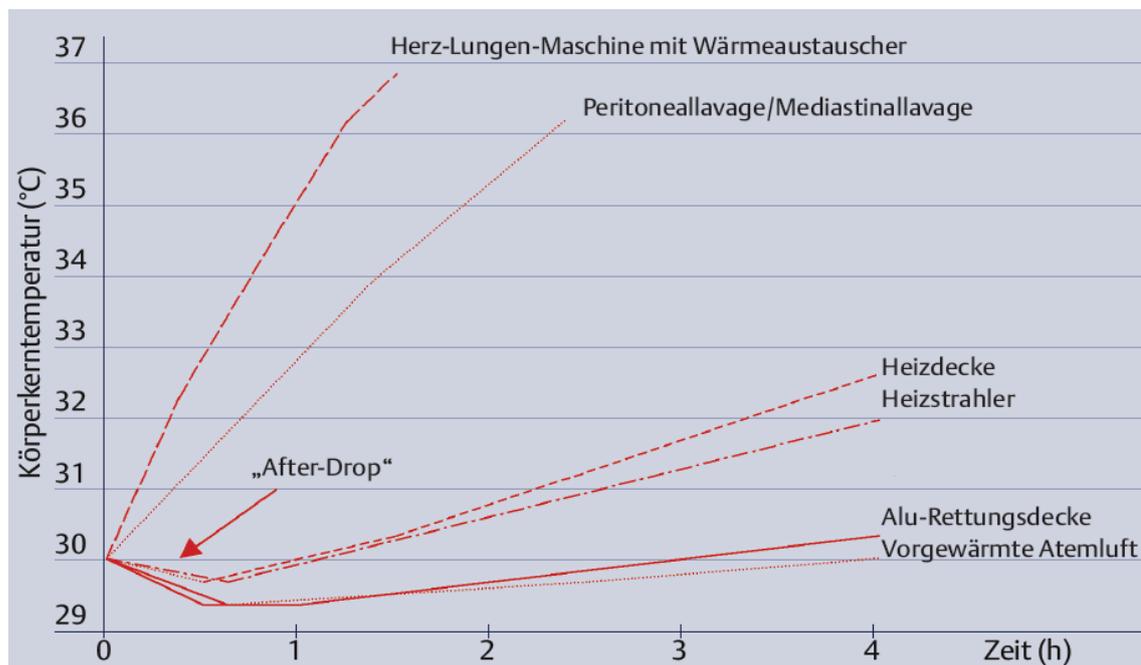


Abbildung 4: Vergleich verschiedener Techniken zur Wiedererwärmung. Die Wirksamkeit der passiven Methoden ist vergleichsweise gering. Eine hohe Effizienz wird mit den Methoden erzielt, welche in der präklinischen Phase keine Anwendung finden können.²⁰

2.1.4 Konzepte der präklinischen Patientenerwärmung

Obwohl in der perioperativen Phase eine Anzahl verschiedener Produkte Verwendung findet, sind hingegen in der präklinischen Phase in Deutschland die präventiven Mittel gegenüber einer Hypothermie gering.

¹⁹ Bräuer

²⁰ Shackford 1995: 242–256

Die Rettungsdecke ist Komponente jedes Verbandkastens, entsprechend der DIN 13164. Diese aluminiumbeschichtete Foliendecke soll bewirken, dass die Wärmestrahlung des menschlichen Körpers zum Körper zurück reflektiert wird und die Auskühlung verlangsamt wird. Neben der Reflektion soll sie die Konvektion reduzieren. Dafür ist es wichtig, dass die Decke nicht direkt an den Körper gelegt wird, sondern ein Luftpolster zwischen Decke und Körper entstehen kann. Entscheidend ist jedoch, dass die Decke den Körper fest einhüllt, damit das entstehende Luftpolster nicht fort getragen wird.²¹ Weitere Decken aus Vliesstoff mit Papierfüllung oder Polyesterwattefüllung, werden im Rettungsdienst ebenfalls angewandt.

Eine Methode, welche bei vielen Feuerwehren umgesetzt wird, ist die Abwärme der mitgeführten Halogenstrahler zu nutzen. Mit den 1 kW Halogenstrahlern wird – neben dem sichtbarem Spektralanteil – die Energie vollständig im Infrarot- oder Wärmestrahlungsbereich abgegeben und ist somit für die Patientenwärmung nutzbar. Aufgrund des Abstand-Quadrat-Gesetzes muss der Halogenstrahler derart nah an den Patienten herangeführt werden, dass hier eine erhebliche, störende Blendwirkung entsteht.

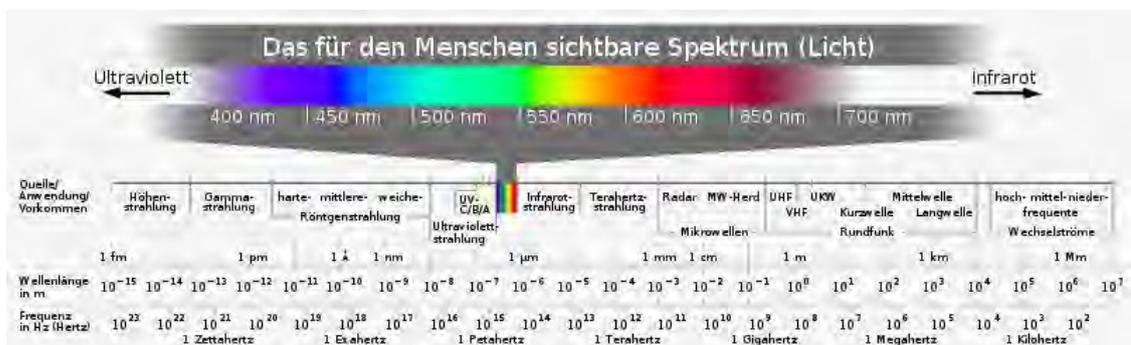


Abbildung 5: Elektromagnetisches Spektrum mit sichtbarem Spektralanteil im Detail²²

Als erweiterte Maßnahme kann der Rettungsdienst gewärmte Infusionslösungen verabreichen, welche durch eine eingeschränkte Infusionsmenge limitiert ist. Diese sollten auf 40 °C erwärmt werden, um einen Effekt zu

²¹ Sefrin et al. 2012

²² Horst Frank 2008

erzielen.²³ So wurde z.B. für den mobilen Einsatz von der Firma Barkey ein Koffer entwickelt, der vier Infusionsbeutel enthält. Über einen 12 V SAE J563 PKW-Bordspannungsanschluss kann mit einer Wärmflasche eine Heizdecke mit darin liegenden Infusionslösungen im Koffer erwärmt und im Rettungsmittel mitgeführt werden. Mittlerweile befindet sich dieses Modell jedoch nicht mehr auf dem Markt.



Abbildung 6: Barkey rescuetherm

In den skandinavischen Ländern ist über einen längeren Zeitraum mit niedrigeren Temperaturen zu rechnen. Ein Konzept, welches in Schweden angewendet wird, ist die Warmluftinsufflation. Aufgrund der niedrigen Temperaturen werden Löschfahrzeuge mit Zusatzheizungen ausgestattet, welche das Einfrieren von Löschwasser und Leitungen verhindern sollen. An dieser Heizung ist ein 15 m langer Schlauch montiert, über den warme Luft abgegeben werden kann. Kommt es zu einem Unfall, wird der Verunfallte mit einer Decke abgedeckt und mit warmer Luft der Zusatzheizung gewärmt. Dabei steht neben einer normalen Wolledecke, eine Decke mit Luftpolstern – ähnlich der Luftpolsterfolie für Verpackungen – zur Auswahl. Die Luftpolster speichern zusätzliche Wärme. Ist es räumlich nicht möglich mit dem Fahrzeug in den Radius des

²³ Kühn und Aechter 2007: 630

Luftschlauches zu gelangen, kann die Feuerwehr auf PKW-Heizlüfter zurückgreifen. Da diese Maßnahmen auf eine Person begrenzt sind, werden außerdem Planen mitgeführt. Diese können über das gesamte Fahrzeug gelegt werden, um so ein Wärmepolster um das Fahrzeug zu schaffen, welches ebenfalls mit der Fahrzeugzusatzheizung der Feuerwehr beheizt wird. Gleichermaßen besteht die Möglichkeit, die Einsatzstelle mit Zelten einzuhausen und diese zu erwärmen.²⁴

2.2 Infrarotstrahlung

Der Teil des elektromagnetischen Wellenspektrums, welcher für das menschliche Auge sichtbar ist, wird als Licht (VIS = visible) bezeichnet. An das sichtbare Spektrum gliedert sich mit kürzeren Wellenlängen die ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung), mit längeren Wellenlängen die Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) an. Diese drei Bereiche werden zusammen als optische Strahlung bezeichnet und durch die Wellenlängen von 100 nm bis 1 mm begrenzt.

Obwohl die lichtinduzierte Bildung vom notwendigen Vitamin D₃ durch UV-Strahlung unterstützt wird, kann die Exposition mit UV-Strahlung gefährlich sein und eignet sich nicht zur Erwärmung von menschlichen Körpern. Die UV-Strahlung (100–380 nm)²⁵ ist die energiereichste der optischen Strahlung und hat ab einer Wellenlänge von 200 nm ionisierende Eigenschaften. Dies bedeutet, dass sie genügend Energie mit sich führt, um Atombindungen aufzuspalten. Die dadurch entstehenden freien Radikale zerstören wiederum Proteine, Zellen und schädigen die DNS.²⁶ Die UV-Strahlung wird jedoch in der Epidermis (Oberhaut) und Dermis (Lederhaut) zum größten Teil absorbiert und schädigt dort die Haut. Obwohl die Haut durch die induzierte Pigmentierung einen Eigenschutz aufbaut, werden durch zu intensive Bestrahlung Kollagene geschädigt und das Risiko von Hautkrebs gesteigert. In den Augen führt eine zu energiereiche UV-Strahlung zu photodynamischen oxidativen Prozessen,²⁷ die

²⁴ Günther: 47

²⁵ DIN 5031-7

²⁶ Jans et al. 2005

²⁷ Rais 2008

eine Trübung der Linse (grauer Star) hervorrufen. Des Weiteren kann es zu Hornhaut- und Netzhautentzündungen kommen.

Im Folgenden werden die Aspekte der Infrarotstrahlung genauer betrachtet, die häufig zur Erwärmung genutzt wird. Die IR-Strahlung, welche häufig auch als Wärmestrahlung bezeichnet wird, wurde erstmals im Jahr 1800 von dem Astronomen Friedrich William Herschel ²⁸ nachgewiesen. Während er mit einem Prisma das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegte und auf eine Platte projizierte, ermittelte er die Temperaturen der einzelnen Farben. Dabei stellte Herschel fest, dass hinter dem roten sichtbaren Licht die höchste Temperatur zu messen war.

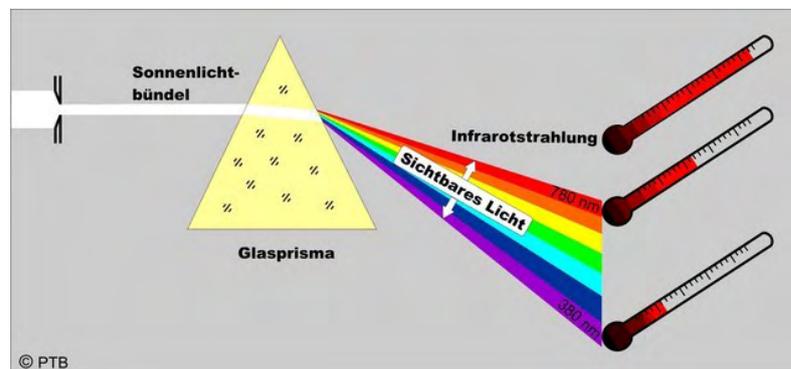


Abbildung 7: Experiment von Herschel ²⁹

Die wichtigste natürliche Quelle optischer Strahlung ist die Sonne, welche einen infraroten Anteil von 50 % mit der Sonnenstrahlung auf die Erde bringt. Weitere IR-Quellen sind Glühlampen, Heizstrahler und – letztlich – jedes warme Objekt. Sobald die Temperatur über der des absoluten Nullpunkts (0 K, -273,15 °C) liegt, strahlt ein Körper eine gewisse Wärmemenge ab.³⁰ Als schwarzer Körper wird ein Objekt – in diesem Fall der menschliche Körper – verstanden, der seine gesamte thermische Leistung im Strahlungsspektrum abstrahlt. Mit einer vereinfachten Rechnung, dass ein unbedeckter menschlicher Körper mit einer Körpertemperatur von 37 °C ein Strahlungsspektrum ausstrahlt und der Annahme, dass dieser als schwarzer Körper fungiert, lässt sich mit dem Stefan-

²⁸ Friedrich Wilhelm Herschel, Astronom und Musiker. (*1738 - †1822)

²⁹ Physikalisch-Technische Bundesanstalt

³⁰ Anton 2003

Boltzmann-Gesetz die Strahlungsleistung berechnen. Berücksichtigt wird hierbei nicht die Wärme, die er durch seine Umgebung zeitgleich aufnimmt.

Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$P_k = \varepsilon * A * \sigma * T^4$$

$$P_k = 0,98 * 1,75 \text{ m}^2 * 5,67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} * (310,15 \text{ K})^4$$

$$P_k = 899,78 \text{ W}$$

P_k : Strahlungsleistung Körper

ε : Emissionsgrad ³¹

(menschliche Haut)

A : Fläche

(Hautfläche)

σ : Stefan-Boltzmann-Konstante

$$5,67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

T : Absolute Temperatur

Die Strahlungsleistung steigt mit zunehmender Temperatur und bringt eine kürzere Wellenlänge mit sich. Ebenso ist ab ungefähr 600 °C ein geringer Teil der abgestrahlten Wärme für das menschliche Auge sichtbar. Man spricht dabei von Rotglut.³²

Tabelle 3: Einteilung der Infrarotstrahlung nach DIN 5031-7

Benennung der Strahlung		Kurzzeichen		Wellenlänge
Infrarotstrahlung	Nahes IR	NIR	IR-A	0,78 µm – 1,4 µm
			IR-B	1,4 µm – 3 µm
	Mittleres IR Fernes IR	IR-C	MIR	3 µm – 50 µm
			FIR	50 µm – 1000 µm

Ein Vorteil der elektromagnetischen Strahlung – wie der Infrarotstrahlung – ist, dass sie sich anders, als beispielsweise Schallwellen, ohne Materie ausbreiten können. Elektromagnetische Wellen lassen sich im Vakuum somit verlustfrei transportieren. Eingrenzen lässt sich die Strahlung jedoch durch bestimmte Glasarten. Normales Bauglas (Borsilikatglas) ist praktisch undurchlässig für IR-Strahlung, da dieses nur Strahlungen bis zu einer Wellenlänge von 5 µm

³¹ Jones 1998

³² Hering et al. 2007: 540

durchlassen. Man spricht von einer geringen Transmission gegenüber Infrarotstrahlung. Dies beruht auf der Interaktion zwischen den Photonen (Lichtteilchen, bzw. Lichtwelle) und den Elektronen im Glas. Die Photonen des Lichts haben entsprechend ihrer Wellenlänge eine Energie. Da im Glasgefüge die Elektronen fest an ihre Atome gebunden sind und die eingebrachte Energie gering ist, können keine Wechselwirkungen mit der elektromagnetischen Welle entstehen – es wird kein Molekül zur Schwingung angeregt –, dadurch wird das Licht nicht absorbiert. Bei der IR-Strahlung reicht die eingebrachte Energie aus, um Schwingungen zu erzeugen und die Strahlung zu reflektieren und zu absorbieren.³³

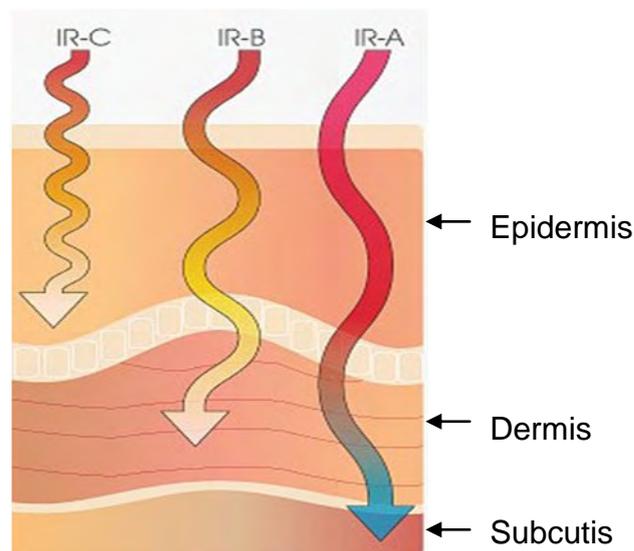


Abbildung 8: Eindringtiefe von IR-Strahlung³⁴

Die mögliche Erwärmung eines menschlichen Körpers (Wasseranteil ca. 65 %) ³⁵ ist stark abhängig vom Absorptionskoeffizienten des Wassers. Deshalb kann die Erwärmung hauptsächlich über den IR-A Anteil erfolgen, da eine maximale Absorption bei einer Wellenlänge von 3 μm durch Wasser gegeben ist. Somit dringt IR-C Strahlung ca. 0,1 mm und IR-B Strahlung ca.

³³ Thienel 2008

³⁴ Boggasch

³⁵ Schmidt et al. 2010: 666

2 mm tief in die Haut ein.³⁶ Anders als IR-B- und IR-C Strahlung, wird IR-A Strahlung nicht in der Epidermis absorbiert.

Die kurzwelligere Infrarotstrahlung dringt bis zu 5 mm tief ein und gibt seine Energie dort an den Wasseranteil des Blutes ab. Ein weiterer Effekt ist die Vasodilatation, die den Wärmetransport verstärkt.

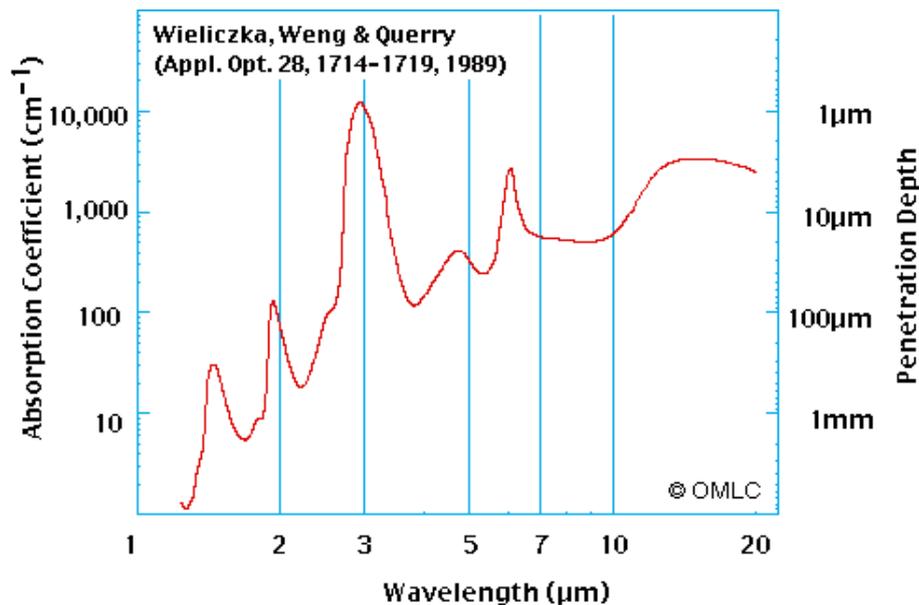


Abbildung 9: Absorption und Eindringtiefe entsprechend der Wellenlänge in Wasser³⁷

Da die meisten Nerven in der Dermis enden, ist die Gefahr einer unbemerkten Überwärmung durch IR-A Strahlung zu beachten.³⁸ Die Thermosensoren melden eine Überwärmung erst, wenn diese erreicht wird und Blutgefäße über Konduktion rückwirkend die Thermosensoren in den äußeren Hautschichten erwärmen. Bei einer bewusstlosen Person setzen diese Schutzmechanismen aus. Je nach Wellenlänge und Eindringtiefe können in den Zellen thermische, wie auch photochemische Prozesse stattfinden. Nach Beobachtungen von Dover et al. (1989) ist dagegen keine direkte Schädigung durch IR-Strahlung möglich. Jedoch kann eine erhöhte Zelltemperatur als Promoter wirken. Die DNS-Reparatur wird beispielsweise verlangsamt und Zellschäden somit

³⁶ Raulin 2003: 11

³⁷ Wieliczka et al. 1989

³⁸ Ziegelberger 2006

begünstigt.³⁹ Des Weiteren kann ein Muskelkrampf durch den Verlust von Salzen mit dem Schweiß, als auch ein Blutdruckabfall, der mit der Vasodilatation einhergeht, durch zu starke Erwärmung erfolgen.⁴⁰

Um thermische Schäden an der Haut durch Infrarotstrahlung hervorzurufen, sind Oberflächentemperaturen ab 45 °C notwendig.⁴¹ Ebenfalls führt eine zu lange Bestrahlung zur Hyperthermie.

Im Gewebe der Augen kann es durch zu intensive Infrarotstrahlung zu Schädigungen kommen. IR-B- und IR-C Strahlung wird an der Hornhaut des Auges absorbiert und kann zu einer Katarakt (grauer Star) führen.⁴² Dafür werden jedoch starke Quellen, wie Xenon Lampen benötigt. Ein weiterer Teil der IR-A Strahlung dringt bis zur Netzhaut vor und kann dort Netzhautverbrennungen verursachen.³⁸

³⁹ Dover et al. 1989

⁴⁰ Meffert und Meffert 2000

⁴¹ Greene und Hardy 1962

⁴² Siekmann 2002

2.3 Medizinische Diskussion unfallassoziierter Hypothermie

Bei Verkehrsunfällen ist die Wahrscheinlichkeit ein Polytrauma⁴³ zu erleiden verhältnismäßig hoch, da mit Verletzungen mehrerer Körperregionen gerechnet werden muss. Die Verletzungsschwere stellt einen der entscheidenden Faktoren einer akzidentiellen Hypothermie dar.⁴⁴ Da es derzeit im Rettungsdienst nicht üblich, ist ein Temperaturmonitoring bei Polytrauma Patienten durchzuführen, wird eine Hypothermie oftmals nicht erkannt. Eine signifikant höhere Letalität ist jedoch ab einer Körperkerntemperatur unter 34 °C bei der Klinikeinlieferung gegeben.⁴⁵ Des Weiteren ist es möglich, dass bereits bei einer milden Hypothermie eine erhöhte Infektionsrate, Kreislaufinstabilität, Koagulopathie, Hyperglykämie und Elektrolytentgleisungen entstehen können.⁴⁶ Helm et al. zeigten in einer Studie, dass ältere Menschen eine höhere Inzidenz der Hypothermie aufweisen und mit jedem Lebensjahr das Risiko hierfür um 3,5 % steigt.^{47 48} Die Verletzungsschwere von Polytrauma Patienten wird nach einer Verletzungsgradtabelle, der Injury Severity Score (ISS) bewertet. Eine retrospektive Analyse von Seekamp et al. bestätigte, dass ein hoher ISS, sowie Extremitätenverletzungen, die Ausprägung einer Hypothermie begünstigt.⁴⁹ Dies wird ebenfalls in der Studie von Sefrin und Rosenberger bestätigt. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass bei einer schwereren Verletzung des Kopf- bzw. Halsbereiches, des Beckens oder der Extremitäten eine Hypothermie begünstigt wird. Als Risikogruppe für eine akzidentielle Hypothermie gelten Patienten, die für längere Zeit in ihrem Fahrzeug eingeklemmt sind. In einer Studie von Helm et al. wurde ermittelt, dass Patienten mit einem Einklemmungstrauma zu 98,1 % eine Hypothermie aufwiesen.⁴⁸ Ein erhöhtes Risiko, aufgrund der Jahreszeit und der damit verbundenen Umgebungstemperatur oder der Windgeschwindigkeit, konnte in dieser Studie nicht nachgewiesen werden.

⁴³ Definition Polytrauma: Eine gleichzeitig entstandene Verletzung verschiedener Körperregionen, von denen mindestens eine oder die Kombination mehrerer vital bedrohlich ist. (Tscherne 1978)

⁴⁴ Sefrin und Rosenberger 2009

⁴⁵ Scholz 2008: 226-226

⁴⁶ Polderman 2004

⁴⁷ Antretter und Dapunt 1997

⁴⁸ Helm et al. 1995

⁴⁹ Seekamp et al. 1996

3 Materialien, Methoden und Konzepte

Das dritte Kapitel beschreibt den Verlauf zur Beurteilung der einzelnen Fragestellungen. Dabei werden alle Sachverhalte dargestellt, die zur Anwendung kamen. Neben der Vorstellung der eingesetzten Wärmungsmethoden und der Indikationsinzidenz, wird explizit das Vorgehen zur Bewertung der Praktikabilität und Effizienz erläutert.

3.1 Vorstellung der Testobjekte

Um die mögliche Implementierung des Infrarotstrahlers in der Rettungskette darzustellen, wurde dieser mit zwei weiteren Systemen, welche bereits zur intraoperativen Wärmung von Personen etabliert sind, verglichen.

3.1.1 Infrarotstrahler

Der entwickelte Infrarotstrahler besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten, zwei baugleichen, handelsüblichen Infrarotstrahlern und dem Rahmen. Bei den Infrarotstrahlern handelt es sich um das Modell Solamagic 1400 ECO+.⁵⁰ Jeder Strahler hat eine Leistung von 1400 W und eine Gesamtbreite von 444 mm. Der Strahler entspricht der Schutzklasse IP 24 elektrisch betriebener Geräte nach DIN EN 60529, wodurch ein Einsatz im Außenbereich auch bei Regen möglich ist. Üblicherweise wird dieser Typ für den Einsatz auf Balkonen, Terrassen und unter Markisen vertrieben. In jedem Strahler befindet sich eine Philips HeLeN Infrarot-Halogenlampe. Da diese zu 34 % im kurzwelligen IR-A Bereich, ähnlich dem Spektrum der Sonne (s. Abbildung 10: Vergleich Strahlungsspektrum), strahlen, ist durch die Eindringtiefe eine effektive Erwärmung über den Blutkreislauf möglich. Durch die spezielle Halogenröhre werden 90 % der Leistung

⁵⁰ Solamagic GmbH

direkt nach dem Einschalten in Wärmestrahlung umgesetzt. Eine Reduzierung der Blendwirkung wird durch die HeLeN Beschichtung erreicht. Der entwickelte Rahmen bietet zudem die Möglichkeit den Infrarotstrahler auf einem Stativ, nach DIN 14640, einzusetzen, welches zur Normbeladung der meisten Feuerwehrfahrzeuge gehört.

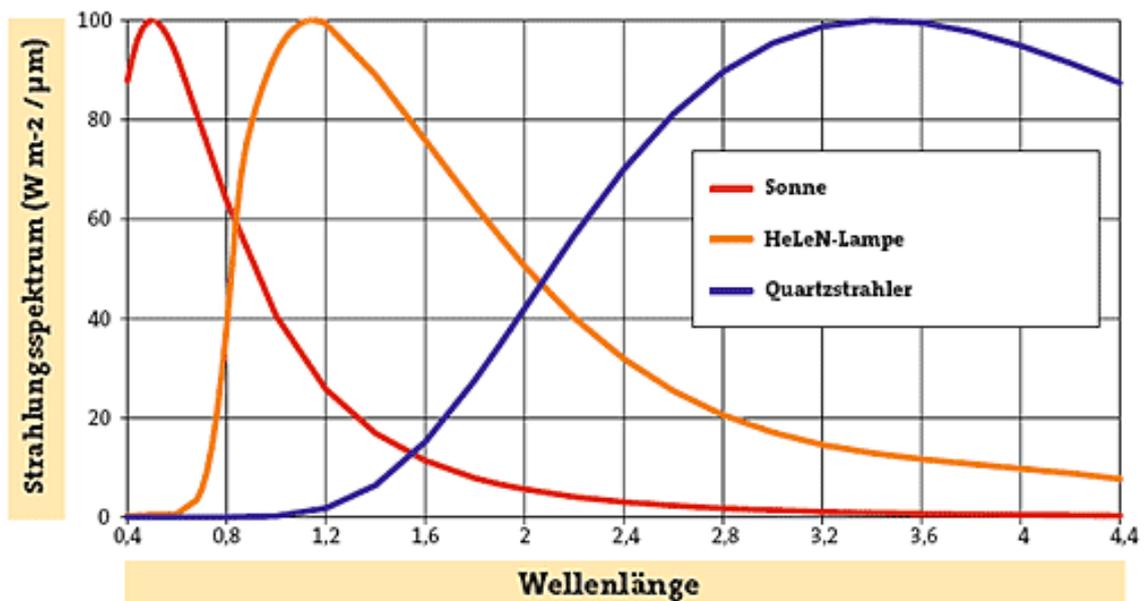


Abbildung 10: Vergleich Strahlungsspektrum⁵¹

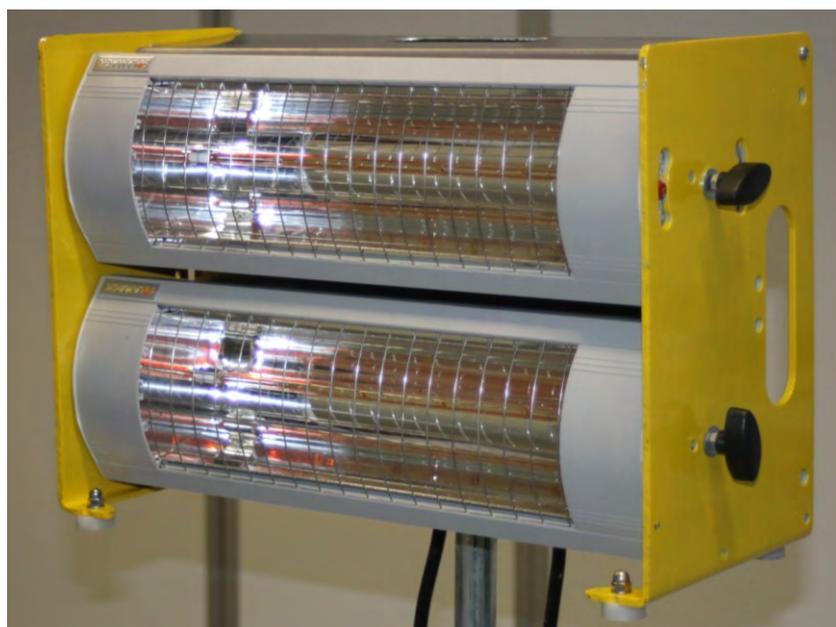


Abbildung 11: Infrarotstrahler

⁵¹ imowell GmbH

Technische Daten:

Größe: 34 cm x 46 cm x
20 cm (H x B x T)

Gewicht: 6,5 kg

Leistung: 12,2 A



Abbildung 12: Infrarotstrahler auf einem Stativ

3.1.2 Mölnlycke Barrier® EasyWarm®

Bei der Mölnlycke Barrier® EasyWarm® handelt es sich um eine Wärmdecke (152 cm x 92 cm), welche im letzten Quartal 2011 auf den Markt gekommen ist. Nach Herstellerangaben erwärmt sie sich nach dem Öffnen selbstständig auf 40 °C. Dieser Prozess soll innerhalb 30 Minuten herbeigeführt werden und bis zu 10 Stunden⁵² aufrecht erhalten werden können. Über die Decke verteilt, befinden sich zwölf eingearbeitete Wärmepads (13 cm x 10 cm) die - nach Aktivierung – eine aktive Wärmeabgabe vollziehen. Die Aktivierung beginnt durch Sauerstoff, wodurch eine chemische, exotherme Reaktion mit Eisenpulver, Aktivkohle Ton und Natriumchlorid startet.



Abbildung 13: Mölnlycke Barrier® EasyWarm®⁵²

Reaktionsenthalpie-Berechnung der Oxidation von Eisen⁵³

Reaktionsgleichung:



Standardbildungsenthalpie:

$$\Delta H_f^\circ \text{ (kJ/mol) } 25 \text{ }^\circ\text{C: } 4 * 404,12 + 3 * 0 + 6 * -248,96 = 4 * -823,00$$

⁵² Mölnlycke Health Care GmbH

⁵³ Weast und Astle 1981

3.1.3 3M[®] Bair Hugger[®]

Die Bair Hugger[®]-Therapie der Firma 3M[®] ist das erste konvektive System zur aktiven Patientenerwärmung. Das vor 25 Jahren entwickelte System hat sich zu einem Standard in Operationssälen etabliert. Zur Erwärmung wird eine Kombination zweier Teile benötigt. Zum einen das Temperaturmanagementgerät, zum anderen die Wärmedecke. Durch das Temperaturmanagementgerät wird erwärmte Luft durch einen Schlauch in die Decke, ähnlich einer Luftmatratze, geblasen. Die Decke wiederum ist perforiert, sodass die Wärme auf dem Patienten an der gewünschten Stelle verteilt wird. Das Prinzip der Luftströmung sorgt hierbei für eine gleichmäßige Wärmeverteilung.

Technische Daten:

Größe: 30 cm x 25 cm x
43 cm (H x B x T)

Gewicht: 7 kg

Temperaturstufen:

- 43,0 °C ± 1,5 °C
- 38,0 °C ± 1,5 °C
- 32,0 °C ± 1,5 °C

Leistung: 7,2 A



Abbildung 14: 3M[®] Bair Hugger[®] Model 750 ⁵⁴

Im Versuch wurde das Model 750 verwendet, an dem sich drei Temperaturstufen wählen lassen. Die Firma 3M[®] stellt 25 unterschiedliche Decken für verschiedene Anwendungsbereiche her. Alle sind gleichmäßig perforiert, um eine konstante Wärmeabgabe zu gewährleisten. Des Weiteren sind alle Decken latexfrei und röntgendurchlässig.

In der Untersuchung der Praktikabilität wurde mit einer intraoperativen Oberkörperdecke, Modell 522, geübt. Das Modell deckt den oberen Torso, Arme, Hals und Kopf des Patienten ab. In der Effizienz-Analyse wurde auf das Modell SW-2001 der Firma Smiths Medical zurückgegriffen. Hierbei handelt es sich um eine Ganzkörperdecke (102 cm x 203 cm).



Abbildung 15: 3M® Wärmedecke Model 522⁵⁵

3.2 Indikationsinzidenz Kreis Gütersloh

In einer retrospektiven Analyse erfolgte eine Auswertung der Einsatzdaten der Kreisleitstelle des Kreises Gütersloh.

Die Kreisleitstelle nutzt als computerbasiertes Einsatzleitsystem das Softwaremodul Cobra der Firma ISE (Aachen) ⁵⁶ Dieses ermöglicht eine Datenbankauswertung nach unterschiedlichen Suchkriterien.

Untersucht wurde ein Zeitraum von 3 Jahren, vom 01.01.2009 bis 31.12.2012. Suchkriterium war das Stichwort: „PKE“, die eine ortsbezogene Alarmierungsroutine für den Einsatz „Unfall mit eingeklemmter Person“ impliziert und je nach Alarmierungskonzept der betreffenden Feuerwehren vorgegebene Rüstwagen (RW) und/oder Hilfeleistungs-Löschgruppenfahrzeuge (HLF) inkludiert. Ausgenommen wurden Betriebsunfälle, Bahnunfälle sowie Einsätze außerhalb des Kreisgebiets Gütersloh, sodass allein PKW-/LKW-Verkehrsunfälle mit eingeklemmter Person verbleiben.

Für diese Einsätze wurden die Rettungszeiten extrahiert. Definiert wurde die Rettungszeit, als die Zeit, vom Zeitpunkt der Einsatzeröffnung durch die Leitstelle, bis zu dem durch den Einsatzleiter am Einsatzort zurückgemeldeten Zeitpunkt „Person befreit“.

⁵⁶ Informatikgesellschaft für Software-Entwicklung, computergestützte Dispositionssysteme
<http://www.ise-online.com/www/index.php?produkte>

3.3 Praktikabilitätsanalyse: Technisch/Medizinische Rettung

Um einen umfassenden Einblick in die mögliche Integration der vorgestellten Systeme in die Praxis zu bekommen, wurde ein weitgehend einheitliches, realitätsnahes Szenario definiert, in welchem die einzelnen Systeme in Echtzeit erprobt wurden.

Der Personalansatz der Rettungskräfte orientierte sich an der Richtlinie 06/01, Technisch-medizinische Rettung nach Verkehrsunfällen der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb). Dort wird ein Personalansatz von 14 Einsatzkräften der Feuerwehr angenommen. Da sich diese Übungen jedoch auf die eigentliche technische Rettung beschränkten, wurde, wie in der Richtlinie beschrieben, mit einer feuerwehrtechnischen Gruppe (9 Einsatzkräften) geübt. Die Aufgaben der Sicherung und Logistik, welche im Realfall von der verbleibenden Staffel (5 Einsatzkräfte) durchgeführt wird, wurde hier ausgeklammert, da diese nicht mit der Patientenwärmung interagieren. Der Personalansatz der medizinischen Rettung wurde mit einem Notarzt und drei Rettungsassistenten gewählt, welches der Richtlinie entspricht.

Tabelle 4: Personalansatz der praktischen Übung

Einheit	Personen
Feuerwehrtechnische Gruppe	
Einheitsführer	1
Maschinist	1
Melder	1
Angriffstrupp	2
Wassertrupp	2
Schlauchtrupp	2
RTW-Besatzung	
Rettungsassistent	2
NEF-Besatzung	
Notarzt	1
Rettungsassistent	1
Gesamt	14

Um hier eine Analogie aller Übungen zu erreichen, wurden alle Übungen an einem Tag mit der gleichen Besetzung durchgeführt. Durch dieses Konzept ist eine Lernkurve der Übung zu erwarten, woraus eine Optimierung der Rettungszeit resultieren kann.

Um eine möglichst hohe Standardisierung und Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Abläufe zu erreichen, wurde allen Beteiligten eine standardisierte Vorgehensweise vorgegeben. Diese Vorgehensweise wurde vorher festgelegt und orientiert sich an den heutigen Standards der technischen und medizinischen Hilfeleistung nach Verkehrsunfällen.⁵⁷

3.3.1 Vorgehensweise

In diesem Teil wird das angenommene Szenario, mit den daraus resultierenden Maßnahmen, erläutert. Alle Maßnahmen, insbesondere die rettungsdienstlichen, wurden so ausgeführt, wie es im Realeinsatz auch erfolgen würde. Dieser Aspekt sollte zu einer wirklichkeitsnahen Zeiterfassung dienen. Gegenüber dem Rettungsdienst haben die Einsatzkräfte der Feuerwehr jedoch nicht von einem Fahrzeug aus geübt, sondern hatten ihre gesamte technische Ausrüstung bereits abgelegt. Der Beweggrund hierfür ist, dass ein Ausbildungsbus der Firma Weber Rescue zur Verfügung stand, sodass die Übung mit neuesten Geräten der technischen Hilfeleistung durchgeführt werden konnte. Um auch hier einen zeitlichen Rahmen ermitteln zu können, wurde dieses jedoch einige Meter bewegt und auf einen definierten Geräteablageplatz gelegt, welcher sowohl für die Feuerwehr, als auch für den Rettungsdienst eingerichtet wurde.

⁵⁷ Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. 2010

schaffen. Neben den Maßnahmen der Eigensicherung, wie das Abschalten des Motors, Einschalten der Warnblinkanlage und der Installation eines Airbag-Schutzes, wurde auch der Patient vor Gefahren, die bei der Rettung entstehen können, geschützt. Dazu wurden dem Patienten ein Schutzhelm, eine Schutzbrille und eine Staubschutzmaske aufgesetzt. Bei der Übung mit dem Infrarotstrahler wurde eine Infrarotschutzbrille der Schutzklasse IR 5 (s. Tabelle 9: Erweiterte persönliche Schutzausrüstung) gewählt, die üblicherweise bei Schweißarbeiten Anwendung findet, um vor eventuellen Augenschädigungen zu schützen. Während der gesamten Übung erfolgte die Betreuung durch den Melder im Fahrzeuginneren. Für einen ersten Body-Check⁵⁹ folgte ein Rettungsassistent in der ersten Phase dem Melder ins Innere des PKW. Parallel wurde durch den Wassertrupp das Sichern des PKWs und das Batteriemangement durchgeführt. Da nun eine Erstversorgung des Patienten sichergestellt war, entfernte der Angriffstrupp alle weiteren Seitenscheiben und die Heckscheibe. Somit konnte vom zweiten Rettungsassistenten eine bessere Betreuung durch das Seitenfenster vorne links gewährleistet werden. Bei den Übungen war zu diesem Zeitpunkt das NEF eingetroffen. Da sich der PKW jetzt in einem weitgehend sicheren Zustand befand, geht der Rettungsdienst jetzt nach dem ABCDE-Schema⁶⁰ vor, wodurch ein erster Eindruck der Verletzungen ermittelt werden soll. Synchron dazu erfolgte das Monitoring für Blutdruck und Sauerstoffsättigung, das Elektrokardiogramm (EKG), sowie das simulierte Legen des ersten Zugangs und die fingierte Gabe von Sauerstoff und Schmerzmittel.

Nach der durchgeführten Anamnese wurde der Rettungsmodus, „Schonende Rettung“, in Absprache zwischen dem Einheitsführer und dem Notarzt festgelegt. Mit der daraus resultierenden Verlängerung der Rettungszeit aus dem PKW entschied sich der Einheitsführer jetzt für die aktive Patientenzwärmung. Das jeweilige System (Infrarotstrahler, Mölnlycke Barrier[®] EasyWarm[®], 3M[®] Bair Hugger[®]) wurde nun aufgebaut und in Betrieb genommen.

⁵⁹ Als Body-Check wird das systematische Abtasten des Patienten von Kopf bis Fuß beschrieben.

⁶⁰ Das ABCDE-Schema folgt dem Prinzip, den Patienten zu beurteilen und gleichzeitig zu behandeln. Sofern ein behandlungsbedürftiges Problem erkannt wird, wird dieses zuerst behandelt. („Treat first, what kills“) A, Airway; B, Breathing; C, Circulation; D, Disability; E, Exposure, Dönitz 2009

Da bisher nur eine Versorgung durch das Seitenfenster möglich war, wurde jetzt die Erstellung der großen Seitenöffnung entschieden. Bei dieser Methode werden beide Türen auf der Fahrerseite gemeinsam mit dem B-Holm entfernt. Folglich wurde ein weiterer Body-Check im Fußraum durchgeführt und die Versorgung der Armfraktur ermöglicht. Zeitgleich wurde die Anlage eines zweiten Zugangs simuliert.



Abbildung 18: Große Seitenöffnung

Um für die weitere Rettung mehr Platz zu schaffen und den Patienten achsgerichtet befreien zu können, wurde die Entscheidung getroffen, das Dach mit einem Rettungszyylinder schräg zur Beifahrerseite zu drücken. Ausgehend von der Intention der Automobilhersteller, immer häufiger hochfeste Stähle zu verwenden, ist diese Methode von Vorteil, da so nur drei statt sechs Holme geschnitten werden müssen. In diesem Szenario mussten nur noch der A- und der C-Holm geschnitten werden, da der B-Holm bereits mit der großen Seitenöffnung entfernt wurde. Um den Patienten jetzt aus dem Fahrzeug zu

retten, wurde ein Spineboard⁶¹ zwischen Rücken und Rückenlehne geschoben. Im Anschluss wurden die Gelenke der Rückenlehne mit einer Rettungsschere durchtrennt. Somit war es möglich, den Patienten gerade und flach nach hinten auf das Spineboard zu ziehen. Der primäre Endpunkt war erreicht, sobald der Patient auf der Trage des Rettungswagens (RTW) lag.



Abbildung 19: Dachentfernung und Patientenschutz

3.3.2 Materialien

In diesem Abschnitt werden die Materialien erläutert, welche bei dem Szenario zum Einsatz kamen. Es wird sowohl auf die Ausstattung der technisch/medizinischen Rettung, als auch auf die der Dokumentation eingegangen.

⁶¹ „Das Spineboard ist ein Hilfsmittel zur Rettung verunfallter Personen, bei denen eine Verletzung der Wirbelsäule nicht auszuschließen ist. Das heutige Spineboard besteht aus Hartplastik. Moderne Spineboards können, je nach Hersteller, bis 1.000 kg Gewicht tragen und sind meistens komplett röntgendurchlässig. Wegen seiner Schwimmfähigkeit wird es auch in der Wasserrettung eingesetzt, ähnlich einem Rettungsbrett.“ Freyer 2012

3.3.2.1 Rettungsmittel und technische Ausstattung

Damit bei den Übungen keine Gefährdung für die Einsatzkräfte entsteht, wurde die persönliche Mindestschutzausrüstung nach Feuerwehrdienstvorschrift (FwDV) 1 um eine Schutzbrille und eine Staubschutzmaske ergänzt. Der Proband wurde ebenfalls mit einem erweiterten Patientenschutz ausgestattet. Eine Auflistung befindet sich im Anhang in Tabelle 9: Erweiterte persönliche Schutzausrüstung.

Die Rettungsmittel, sowie deren gerätetechnische Ausstattung, lassen sich in zwei Bereiche unterteilen: die Technische und die Medizinische.

Wie im vorhergehenden Abschnitt ausgeführt, wurde sich an heutigen Standards der Rettung nach Verkehrsunfällen orientiert.

Für die medizinische Rettung standen ein NEF mit Normbeladung nach DIN 75079 und ein Krankenkraftwagen (KKW) nach DIN EN 1789 zur Verfügung. Für den Tag der Übung stand ein KKW, Typ A₁⁶² zur Verfügung, der um folgendes Equipment ergänzt wurde.

- corpus³
- Weinmann MEDUMAT Transport
- Notfallkoffer nach DIN 13232
- HWS-Stützkragen

Um die technische Rettung mit modernen hydraulischen Rettungsgeräten und Hilfsmitteln durchzuführen und keine zeitlichen Defizite zu begünstigen, wurde auf einen Ausbildungsbus der Firma Weber-Hydraulik zurückgegriffen. Eine Auflistung der Geräte befindet sich im Anhang in Tabelle 8: Technische Ausstattung.

⁶² Nach DIN 1789 werden Krankenkraftwagen in drei Klassen unterteilt. Typ C entspricht dem Rettungswagen (RTW), welcher aufgrund seiner Ausstattung normalerweise bei einem Verkehrsunfall zum Einsatz kommt.

3.3.2.2 Messausrüstung

Zur Überwachung des Probanden und der orientierenden Erfassung der Temperaturverläufe wurden bei den Übungen Messungen durchgeführt. Aus medizinischer Sicht wurden mit einem Dräger Infinity[®] Delta Monitor, die Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung und Körpertemperatur minütlich gemessen. Die Temperatur wurde mittels eines Hautoberflächensensors an der Leiste aufgenommen.

Die ermittelten medizinischen Daten wurden autark zu denen des rettungsdienstlichen Monitorings aufgezeichnet. Hierbei wurden ebenfalls die Herzfrequenz, die Sauerstoffsättigung, sowie der Blutdruck erfasst.

In Kapitel 4.1 werden die Daten in Diagrammen dargestellt und erläutert.

3.3.2.3 Dokumentation

Während der Übungen standen sechs Beobachter bereit, die alle Bemerkungen Ihrerseits notiert haben.

Nach jeder Übung gab es für die Rettungskräfte und den Patienten einen Evaluationsbogen, in dem bezogen auf Ihre Position, Angaben zum Übungsverlauf, insbesondere der Erwärmung gemacht wurden.

Zur visuellen Dokumentation und Erleichterung der Auswertung wurde mit einer Canon Legria HF200 HD Kamera jede Übung aufgezeichnet. Des Weiteren wurden fotografische Aufnahmen mit einer Canon EOS 350 D, Sigma-Objektiv 18-200 mm F 3,5–6,3 DC gemacht.

3.4 Effizienzanalyse: Messung in der Klimakammer

Als dritte Aufgabe dieser Arbeit galt es die Effizienz der drei Systeme zu ermitteln und miteinander zu vergleichen. Dabei wurde die Priorität auf die Temperaturmessung der Probanden gelegt. Ziel sollte es sein, eine identische Situation für mehrere Probanden zu generieren, um so auch eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Dadurch war es erforderlich, alle Analysen in einer Klimakammer durchzuführen, um keine Schwankungen aufgrund der Umgebungstemperatur zu erhalten. Jede Messung wurde mit drei Probanden durchgeführt. Zur detailgetreuen Darstellung eines Verkehrsunfalls, wurde in der Klimakammer ein PKW aufgebaut. Bei diesem wurde, zur Simulation einer fortgeschrittenen Rettungsphase, vorher das Dach vollständig entfernt. Richtungsweisend war hierbei, dass eine geringe Transmission der IR-Strahlung bei Glas gegeben ist.



Abbildung 20: PKW in der Klimakammer



Abbildung 21: Proband 1 in der Klimakammer

3.4.1 Vorgehensweise

Die Messungen wurden bei einer eingestellten Temperatur von 5 °C durchgeführt. Eine aktive Regelung der relativen Luftfeuchte war bei dieser Temperatur in der Klimakammer nicht mehr möglich. Der Mittelwert lag bei

82 % Luftfeuchte. Die Parameter-Konstanz in der Kammer wird in Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellt.

Insgesamt wurden vier verschiedene Messungen in numerischer Reihenfolge durchgeführt:

- Messung 1: 45 min ohne Erwärmung + 10 min Infrarotstrahler
- Messung 2: 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mölnlycke Barrier[®] EasyWarm[®]
- Messung 3: 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M[®] Bair Hugger[®]
- Messung 4: 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler

Um eine einheitliche Kleidung zu gewährleisten, wurde diese wie folgt festgelegt:

- Halbschuhe
- Socken ohne thermische Eigenschaften
- Jeanshose, lang
- Unterhemd
- Hemd, langärmelig

Zunächst wurden die Probanden mit Temperaturfühlern, Elektroden für das EKG, Blutdruckmanschette und Pulsoxymeter ausgestattet. Eine genaue Auflistung der Messausrüstung wird in Kapitel 3.4.2.1 dargelegt. Im Anschluss wurden die Probanden in die Klimakammer geführt. Nachdem die Position auf dem Fahrersitz des PKW eingenommen wurde, mussten die Messsysteme noch angeschlossen und die Aufzeichnung derer aktiviert werden. Dadurch können sich geringe Diskrepanzen bei der zeitlichen Erfassung der Messungen ergeben. In der Messung 1 sollte ermittelt werden, wie der Proband auf die Temperatur reagiert und in welchen Körperregionen sich Abkühlungen entwickeln. Nach einem Zeitraum von 45 Minuten wurde für 10 Minuten der Infrarotstrahler eingeschaltet. Die Messungen 2–4 verliefen in zwei Phasen.

Unter der Annahme, dass innerhalb der Hilfsfrist⁶³ von 8 Minuten ein Feuerwehrfahrzeug an der Einsatzstelle eintrifft und die Gefahr einer Hypothermie erkannt wird, wurde eine Zeit von 12 Minuten gewählt, in der eine erste aktive Erwärmung erfolgen könnte. Dadurch erfolgte eine erste, zwölfminütige Phase ohne Erwärmung, gefolgt von 30 Minuten aktiver Erwärmung mit den drei Systemen. Zwischen den einzelnen Messungen wurde den Probanden genügend Zeit gegeben, um sich zu erwärmen.

3.4.2 Materialien

Die benötigten Materialien der Effizienzermittlung beziehen sich ausschließlich auf die Messausrüstung und die Dokumentation der Versuche. Der PKW sollte eine realitätsnahe Darstellung ermöglichen.

3.4.2.1 Messausrüstung

Analog zu dem Szenario der Praktikabilität wurden auch hier die medizinischen Parameter mit einem Dräger Infinity[®] Delta Monitor aufgezeichnet. Zusätzlich zur Messung der Herzfrequenz und Sauerstoffsättigung wurden in der Klimakammer Blutdruck und Körperkerntemperatur gemessen. Die Messung des Blutdrucks erfolgte im 3-Minutentakt. Die Temperaturfühler gliederten sich in drei Systeme. Über den Dräger Monitor wurden rektal die Körperkerntemperatur, sowie die Temperatur unter dem rechten Fuß gemessen. Weitere 15 Nickel-Chrom/Nickel Thermoelemente (Typ K) wurden auf der Körperoberfläche verteilt.

⁶³ „Die Hilfsfrist ist die Zeitdifferenz zwischen Beginn der Notrufabfrage – möglichst ab der ersten Signalisierung des ankommenden Notrufes – in der Notrufabfragestelle und dem Eintreffen des ersten Feuerwehrfahrzeuges an der Einsatzstelle“. Donner et al. 2001

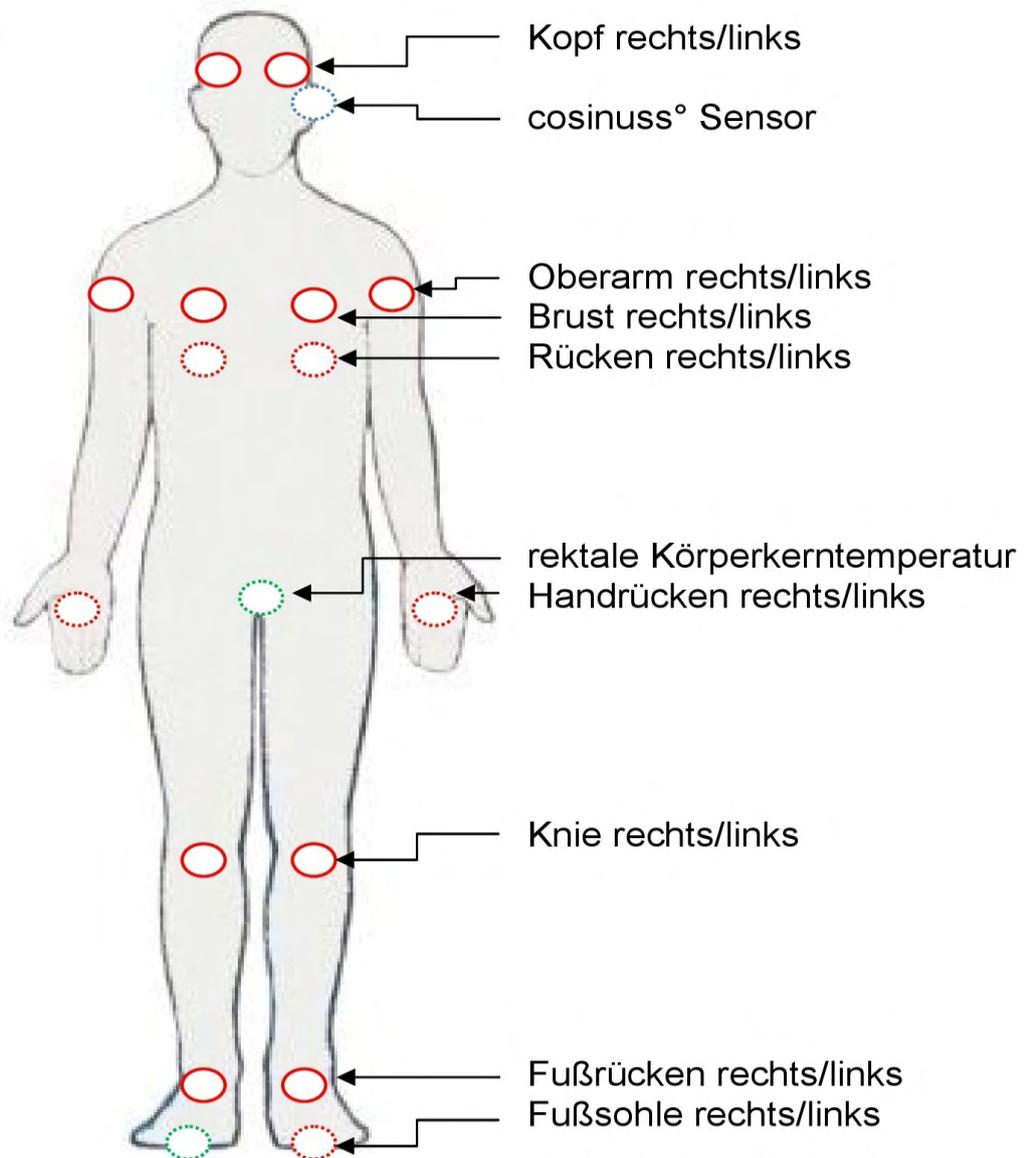


Abbildung 22: Anordnung Temperaturfühler

Die grün gekennzeichneten Messfühler wurden über den Dräger Monitor ausgelesen. Die rot gekennzeichneten Nickel-Chrom/Nickel Thermoelemente wurden über ein National Instruments Messmodul 9214 per DIAdem 11.1 aufgezeichnet.

Die Temperaturparameter der Klimakammer wurden über 30 Pt100 Sensoren⁶⁴ ermittelt. Die Messung der relativen Luftfeuchte erfolgte über vier Robotronic HC2-SH Feuchtefühler. Die Anordnung der Fühler ist in Abbildung 65 und Abbildung 66 dargestellt. Über einen cosinuss°-Sensor wurden die tympanale Temperatur und die Temperatur am äußeren Gehörgang gemessen.



Abbildung 23: cosinuss°-Sensor⁶⁵

Der tympanale Temperatur-Sensor der Firma cosinuss° ist ein neu auf dem Markt angebotener Ohr-Sensor, mit einem beabsichtigten Anwendungsspektrum für die Bereiche Medizin, Arbeitsschutz und Sport, mit der Möglichkeit einer mobilen und kontinuierlichen Überwachung der Körperkerntemperatur. Messaufnehmer finden sich an apikal am Sensor zur Bestimmung der tympanalen Temperatur, sowie weiter distal zur Bestimmung der Gehörgangstemperatur. Es werden – je nach Gehörgangs-anatomie - 3 unterschiedliche Sensorgrößen angeboten. Herstellerseitig wird empfohlen, nach Einsetzen des Sensors das Ohr abzukleben. Ebenfalls erfolgt eine Datenspeicherung der gemessenen Temperaturen im XML-Format.

⁶⁴ Bei einem Pt100 Sensor handelt es sich um ein elektrisches Widerstandsthermometer. Es basiert auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Metallen und Halbleitern (sog. Thermistoren) als thermometrische Eigenschaft. Bei den Metallen erweist sich Platin als besonders geeignet, weil es einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen dem elektrischen Widerstand und der Temperatur aufweist und sich darüber hinaus als sehr langzeitstabil und in den verschiedensten Medien einsetzbar erweist. Der sogenannte Pt100-Messfühler gilt als genormter Standard-Fühler. Er weist bei 0 °C einen elektrischen Widerstand von 100 Ω auf. Herwig und Moschallski 2006: 204

⁶⁵ cosinuss° GmbH

Im Rahmen dieser Arbeit sollte nebenaspektlich untersucht werden, inwieweit dieser Sensortypus für die Patiententemperatur-Messung im Rettungsdienst geeignet ist.

Die Klimakammer-Experimente zeigten hier eine gewisse Diskordanz der tympanalen Temperatur-Entwicklung zum dargestellten rektalen Körperkern-temperaturverlauf.

Inwieweit diese Abweichung vom erwarteten Verhalten auf die fehlende Ohrabdeckung, eine möglicherweise nicht ideale, passgenaue Insertion eines geeigneten Sensortypus zurückzuführen ist, gilt es mit dem Hersteller zu diskutieren und mit den derzeit laufenden Untersuchungen in der Abteilung für Anästhesiologie der Technischen Universität München zu vergleichen.

3.4.2.2 Dokumentation

Neben erwähnenswerten Notizen durch Beobachter, wurden korrespondierend zu der Auswertung der Praktikabilität, Evaluationsbögen an die Probanden nach jeder Messung ausgegeben.

Zur visuellen Dokumentation standen zwei Wärmebildkameras und eine digitale Spiegelreflexkamera zur Verfügung. Mit der Wärmebildkamera InfraTec VarioCAM[®] hr inspect 400 wurde von einem festen Standpunkt aus, alle zehn Sekunden ein Infrarotbild gemacht. Mit einer zweiten Wärmebildkamera, einer Rosenbauer Argus[®] 4, wurden intermittierend aus einem weiteren Blickwinkel Aufnahmen gemacht. Eine Spiegelreflexkamera Canon EOS 350 D, Sigma-Objektiv 18-200mm F 3,5-6,3 DC, stand für die Fotodokumentation zur Verfügung.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Indikationsinzidenz Kreis Gütersloh

Entsprechend der Analyse der Leitstellen-Datenbank, hinsichtlich der Szenarien „PKW-/LKW-Verkehrsunfälle mit eingeklemmter Person“, wurden in dem betrachteten Zeitraum von drei Jahren insgesamt 292 Einsätze eröffnet. Hierbei handelte es sich um Einsätze, die nach Meldungseingang primär unter dem Verdacht „eingeklemmte Person“ klassifiziert wurden, oder um Unfälle, bei denen nach rettungsdienstlicher Sichtung erst sekundär die Nachalarmierung „PKE“ aufgrund des Vorfindens einer eingeklemmten Personen notwendig wurde. Da der Zeitpunkt der Personen-Befreiung einer eingeklemmten Person über den Einsatzleiter der Leitstelle zurückgemeldet wird, lassen sich die Einsätze mit eingeklemmter Person, gegenüber den falsch-positiven Einsätzen, also Unfällen ohne eingeklemmte Person, abgrenzen.

Es konnten insgesamt 107 derartige Einsätze identifiziert werden. Abbildung 24 zeigt diese Einsätze, aufgeschlüsselt gemäß der benötigten Rettungszeit.

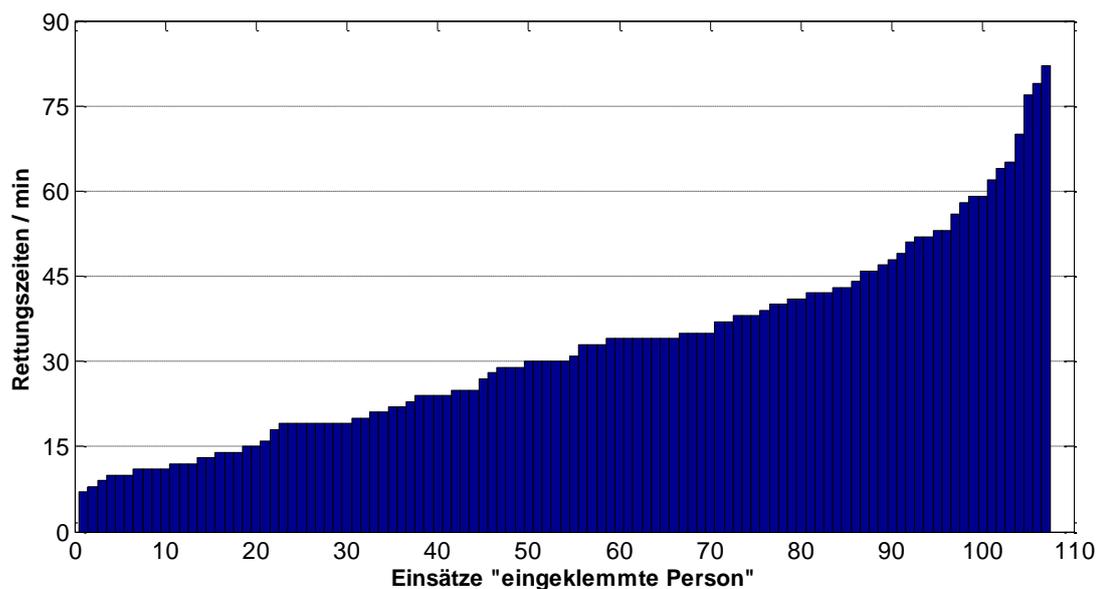


Abbildung 24: Rettungszeiten der 107 Einsätze „eingeklemmter Personen“ im Zeitraum 01.01.2009–31.12.2012 bei Verkehrsunfällen im Kreis Gütersloh

Die Rettungszeiten werden ab dem Zeitpunkt des Notrufeingangs, bzw. der Eröffnung des Einsatzes, in der Leitstelle gerechnet. Daher ist zur Abschätzung der Zeit, über die eine Patientenwärmung hätte erfolgen können, das Eintreffen des Wärmemodul führenden HLF abzüglich einer Rüstzeit für den Aufbau der Wärmemaßnahme von Interesse.

Da – retrospektiv betrachtet – für Einsätze mit Rettungszeiten von unter 20 Minuten keine Wärmemaßnahmen erforderlich bzw. nur bedingt effektiv gewesen wären, werden anschließend nur Einsätze mit Rettungszeiten über 20 Minuten betrachtet.

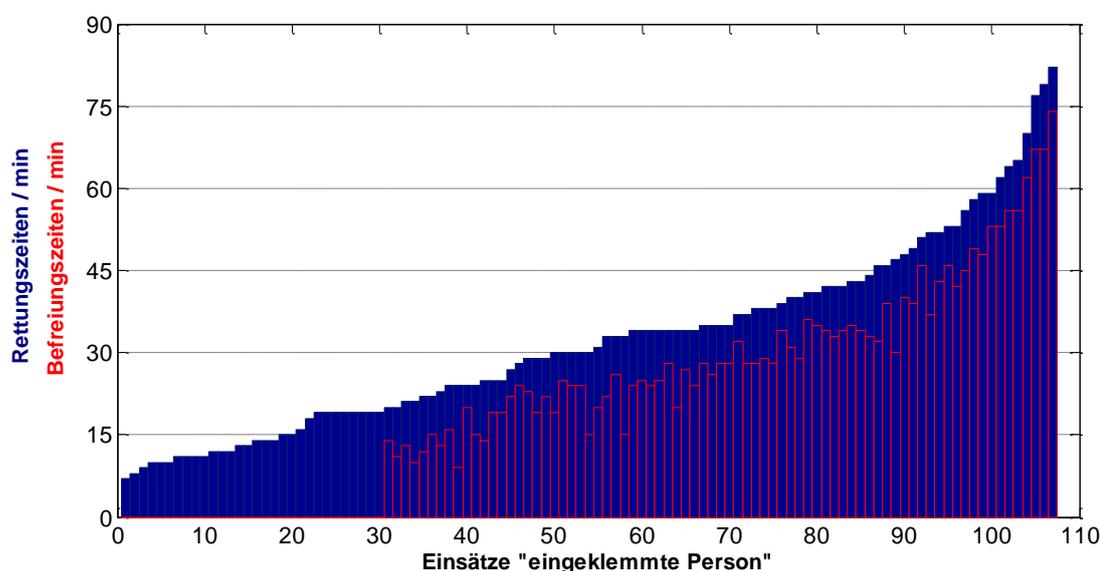


Abbildung 25: Abbildung 25 zeigt – der Abbildung 24 überlagert – die benötigten Befreiungszeiten für diese Einsätze, die berechnet wurden ab dem Eintreffen des HLF.

Im Weiteren wurden nun für die Einsätze, die sich in den kalten Monaten Oktober bis einschließlich April ereigneten, über eine meteorologische Datenbankkorrelation,⁶⁶ die zum Unfallzeitpunkt herrschenden Außentemperaturen zugeordnet. Hier wurden insgesamt 45 Einsätze gezählt, die diesen Bedingungen genügten.

⁶⁶ Die Wetterdaten stammen von dem Royal Air Force Flughafen in Gütersloh (ETUO), der seine meteorologischen Daten der World Meteorological Organization (WMO) zur Verfügung stellt.

Die Temperaturangaben erfolgten stundengenau mit einer Ortsabweichung von maximal 25 km.

Die Rettungszeiten dieser Einsätze, somit also die Zeiten, während der der Patient der Kälte weitgehend schutzlos exponiert war, sind nach steigenden Temperaturen in Abbildung 26 dargestellt.

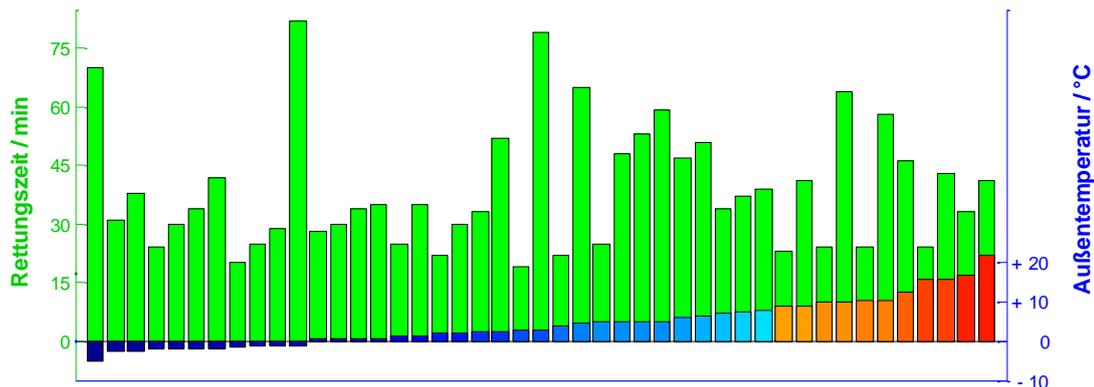


Abbildung 26: Einsätze „eingeklemmte Person“ mit Rettungszeiten größer 20 min in den kalten Monaten: Oktober bis (einschließlich) April während des Zeitraums 01.01.2009 bis 31.12.2012

4.1.1 Diskussion

Der Kreis Gütersloh stellt mit einer Einwohnerzahl von 354.975⁶⁷ und einer Gesamtfläche von 968,15 km² einen typischen Flächenlandkreis mit ländlicher Strukturierung dar. Mit etwa 76,5 % wird der überwiegende Teil der Kreisfläche landwirtschaftlich bzw. forstwirtschaftlich genutzt, etwa 21,0 % sind Siedlungs- und Verkehrsflächen.

Der Kreis Gütersloh wird von der Bundesautobahn A2 (Dortmund–Hannover) und der Bundesautobahn A33 (Bielefeld–Paderborn) durchzogen.

An Bundesstraßen queren die B55 (Niederrhein–Ostwestfalen-Lippe), die B61 (Ruhrgebiet–Bremen), die B64 (Münsterland–Harz), die B68 (Oldenburger Münsterland–Warburger Börde) sowie die B476 und die B513 das Kreisgebiet.⁶⁸

⁶⁷ 30. Juni 2012, Amtliche Bevölkerungszahlen, Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW)

⁶⁸ Kreisverwaltung Gütersloh

Als urbane Zentren des Kreises werden die Kreisstadt Gütersloh, sowie die Doppelstadt Rheda-Wiedenbrück verstanden. Oberzentrum ist die kreisfreie Nachbarstadt Bielefeld.

Diese regionale Strukturierung erklärt u.a. das für Flächenlandkreise typische Unfallspektrum mit im Vergleich zu Metropol-Regionen überdurchschnittlich vielen Hochrasanztraumen⁶⁹ mit Alleinunfällen (z.B. Kollisionen gegen einen Baum) oder Unfällen im Begegnungsverkehr (wie frontale Zusammenstöße), die mit einer hohen Inzidenz von eingeklemmten Personen einhergehen.

Statistisch nicht signifikant auffallend sind die in der Tendenz unterschiedlich langen Einlieferungszeiten der Patienten in die primär versorgenden Krankenhäuser.

Hier deutet sich für die Einlieferung nach Gilead Bielefeld eine längere Zeitdauer an. Gilead ist als Krankenhaus der Maximalversorgung das wichtigste Zentrum, liegt aber im Gegensatz zu den Krankenhäusern St. Elisabeth-Hospital Gütersloh und dem Klinikum Gütersloh nicht im Kreisgebiet. Die Datenlage differenziert hier ursächlich nicht mit einem möglicherweise erhöhten primären Behandlungsaufwand oder dem weiteren Anfahrtsweg. Hinsichtlich des Temperaturerhalts, der auch während des Patiententransports nur unzureichend sein kann, könnte hier ein weiteres Problem bezüglich des Wärmeverlustes des Patienten entstehen.

⁶⁹ Unter einem Hochrasanztrauma versteht man die Einwirkung von hoher kinetischer Energie auf den menschlichen Körper, wie es häufig bei Verkehrsunfällen auftritt.

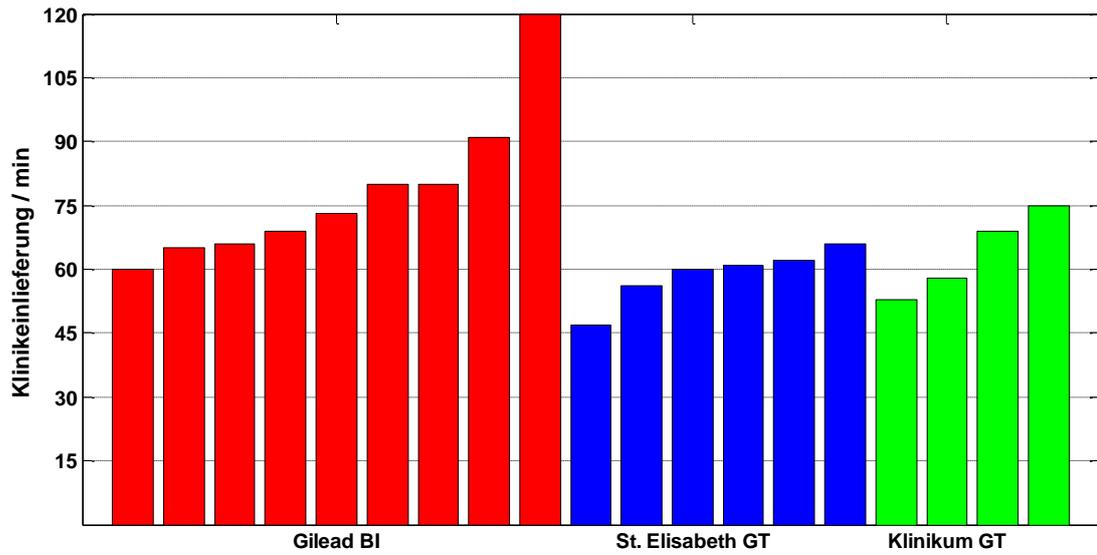


Abbildung 27: Zeiten bis zur Klinikeinlieferung in die drei primär angefahrenen Krankenhäuser (Ein Balken entspricht einem Patienten)

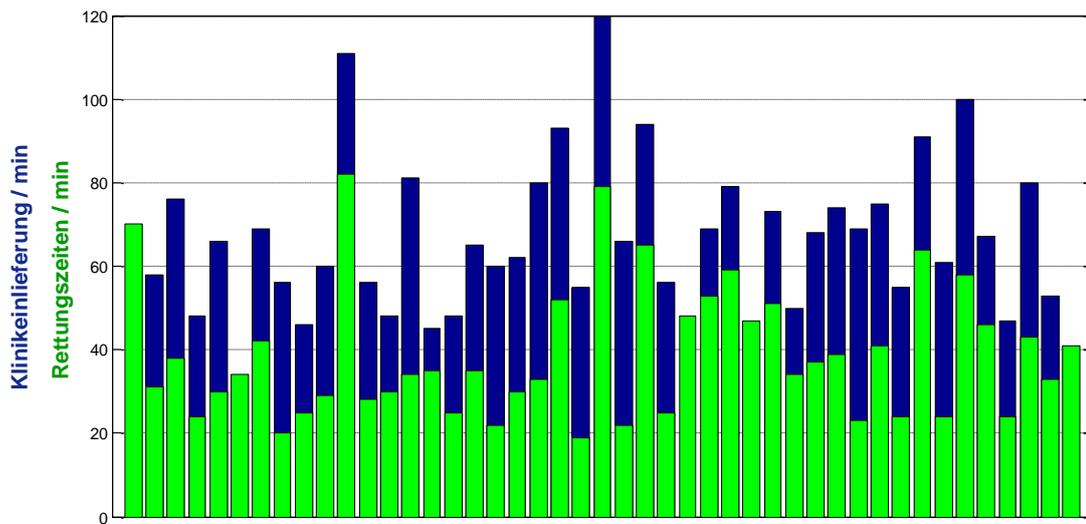


Abbildung 28: Überlagert zu den 45 ermittelten Einsätzen werden die Zeiten bis zur Klinikeinlieferung dargestellt. Bei fünf Einsätzen war keine Einlieferungszeit dokumentiert.

4.2 Praktikabilitätsanalyse: Technisch/Medizinische Rettung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der praktischen Übungen dargestellt, um eine qualitative Aussage der möglichen Implementierung der Erwärmungsmethoden in den Rettungsablauf zu erhalten.

Sowohl die Evaluationsbögen der Rettungskräfte, als auch der des den Patienten simulierenden Probanden, wurden hierbei berücksichtigt. Des Weiteren wurden die Notizen der sechs Beobachter, sowie aufgezeichnete Daten, betrachtet. Alle Beobachter, als auch der Patient, verfügen über mehrjährige Erfahrung in der technischen Rettung oder der Notfallmedizin, sodass die Voraussetzungen für eine valide Analyse gegeben sind.

4.2.1 Auswertung Evaluationsbögen

Die Bewertung der geschlossenen Fragen des Evaluationsbogens erfolgte mit einer schulischen Notenvergabe von 1–6. Zur Auswertung der Rettungskräfte wurde das arithmetische Notenmittel aller Bögen gebildet.

Jeweils ein Muster der ausgewerteten Evaluationsbögen befinden sich im Anhang in Abbildung 63 und Abbildung 64.

Tabelle 5: Auswertung der geschlossenen Fragen der Evaluationsbögen - unterteilt nach Rettungskräften und Patient.

Übung	Rettungskräfte	Patient
1. Mölnlycke Barrier® EasyWarm®	2	2 +
2. Infrarotstrahler	2 +	2
3. 3M® Bair Hugger®	3 -	2

Die errechneten Notenmittel sind aufgrund der Anzahl ($n = 42$) der Evaluationsbögen nicht statistisch signifikant, mit der Auswertung der freitextlichen Notizen der Übungsteilnehmer wird der berechnete Notentrend zur Beurteilung der jeweiligen Wärmemaßnahmen jedoch konkordant bestätigt.

Die Mölnlycke Barrier® EasyWarm® wird von allen Rettungskräften als schnelle und einfache Methode beschrieben, die auch keine Komplikationen im weiteren Verlauf hervorruft. Einheitlich zu den üblicherweise verwendeten Einmaldecken, muss auch hier der Patient für rettungsdienstliche Tätigkeiten zwischenzeitlich abgedeckt werden.



Abbildung 29: Patient mit Mölnlycke Barrier® EasyWarm® im PKW

Da die Decke üblicherweise im OP-Bereich angewendet und nur aufgelegt wird, sind keine Befestigungsmöglichkeiten vorhanden. Durch das hohe Eigengewicht (680 g) der Decke aufgrund der Wärmepads, muss diese zusätzlich befestigt werden. Als größter Nachteil wird mehrfach die lange Aufwärmzeit kritisiert, welche ein effektives Erwärmen in der primären Rettungsphase wenig effizient gestaltet. Der Patienten-Darsteller konnte die geringe Wärmezufuhr bestätigen. Positiv wurde aus patiententechnischer Sicht angemerkt, dass durch eine Decke ein Gefühl von Schutz und Sicherheit gegeben wird. Gegenüber Witterungseinflüssen wird ebenfalls ein erweiterter Schutz erreicht, jedoch sind die Maße der Decke (152 cm x 92 cm) unzureichend, um den Patienten vollständig zu schützen.

Die Übung mit dem Infrarotstrahler zeigte diverse positive, wie auch negative Eigenschaften auf. Die Rettungskräfte bestätigten mehrfach das einfache Handling mit dem Strahler. Das Gewicht und die Größe machen das Gerät sehr flexibel und ermöglichen schnelle Standortwechsel und Anpassung an den Patienten. Ebenfalls wurden die einfache Bedienung und die sofortige Wärmeabgabe des Infrarotstrahlers angemerkt. Die Verstellung der beiden Infrarotstrahler ermöglicht eine optimale Infrarotstrahlung in die Richtung des Patienten. Zeitgleich erwärmt sich die Rückseite des Gerätes nur minimal und stellt so keine Verbrennungsgefahr für die Rettungskräfte dar, falls das Gerät infolge der Situation gehalten werden muss.



Abbildung 30: Erwärmung mit dem Infrarotstrahler durch die Seitenscheibe. (Abstand ca. 0,8 m)



Abbildung 31: Erwärmung mit dem Infrarotstrahler auf einem Stativ vor der Motorhaube. (Abstand ca. 2,2 m)



Abbildung 32: Erwärmung mit dem Infrarotstrahler auf einem Stativ durch die Seitenscheibe (Abstand ca. 1,3 m)



Abbildung 33: Erwärmung mit dem Infrarotstrahler von der Motorhaube. (Abstand ca. 1,0 m)

Beanstandet wurde eine fehlende Temperaturüberwachung, da durch die hohe Leistung von 2,8 kW schnell eine ungewollte Überwärmung des Patienten erreicht werden könnte. Die Aussage des Patienten-Darstellers, dass er zeitweise eine zu intensive Erwärmung verspürte, bestätigt dies. Als der Infrarotstrahler auf der Motorhaube positioniert wurde, war ebenfalls nach kurzer Zeit ein bedeutender Wärmeeintrag am Armaturenbrett zu registrieren. Um die Wärmeleistung besser zu dosieren, wäre eventuell eine Einzelschaltung der Infrarotstrahler oder eine Temperaturüberwachung zu realisieren. In der Übung wurde aus Sicherheitsaspekten eine getönte Infrarotschutzbrille verwendet. Diese könnte unter Umständen ein beklemmendes Gefühl des Patienten auslösen.

Der 3M[®] Bair Hugger[®] enthält aus Sicht der Rettungskräfte die meisten Unzulänglichkeiten für den Einsatz an der Unfallstelle. Vorrangig wurde hier das Handling mit der Decke bemängelt. Da diese Decke ebenfalls für den OP-Bereich bestimmt ist, fehlen auch hier Befestigungsmöglichkeiten. Ohne eine entsprechende Befestigung am Körper, sind die Wärmeverluste des Systems relativ hoch, da sich kein Luftpolster am Patienten bilden kann. Nachdem die Decke in Position gebracht und aufgeblasen wurde, ist es äußerst hinderlich, erneut rettungsdienstliche Aufgaben mit Zugang zum Patienten durchzuführen.



Abbildung 34: Patient mit 3M[®] Bair Hugger[®] im PKW

Darüber hinaus wurde die Robustheit des Systems kritisiert, da sowohl das Temperaturmanagementgerät, als auch das Zubehör, nicht für den Außen-einsatz geeignet ist. Die Decke ist aufgrund der dünnen Folie anfällig gegen-über Glassplitter und Kanten, die innerhalb der Rettungsphase entstehen. Die Kürze des Schlauches beschränkt zusätzlich den Aufstellradius des Tempe-raturmanagementgerätes und birgt weitere Stolpergefahren. Ein schnelles Abknicken des nur bedingt formstabilen Schlauches stellt ebenfalls ein Problem dar.

Tabelle 6: Auswertung der Praktikabilität anhand des Scoring-Modells

Faktor	Mölnlycke Barrier [®] EasyWarm [®]	Infrarot- strahler	3M [®] Bair Hugger [®]	
Technik				
Bedienung	1	1	2	4
Größe/Gewicht/Handling	1	1	1	4
Multifunktionalität	1	3	2	3
Befestigung	1	3	4	5
Sicherheit				
Thermisch	1,5	3	4	3
Mechanisch	1,5	3	3	5
Medizinisch	1,5	4	4	3
Aufwand				
Aufbau	1	3	1	2
Anlaufzeit	1	4	1	3
Betreuung	1	2	4	4
Flexibilität	1	3	3	4
Nutzen				
Wärme	1,5	4	1	2
Wärmeverteilung	1	3	1	4
Schutz	1	2	3	3
16	46,0	40,0	55,5	
	2,9	2,5	3,5	

Letztendlich wurden die Notizen sämtlicher Mitwirkenden nochmals zusammengefasst und nach dem Scoring-Modell bewertet. In dem Scoring-System wurden die Relevanz der Items „Technik“, „Aufwand“, „Nutzen“ gleichwertig gewichtet, der Punkt „Sicherheit“ und „Wärme“ erhielten mit dem Faktor 1,5 eine entsprechende höherwertige Priorisierung für die Beurteilungsbewertung.

4.2.2 Diskussion

Die durchgeführten Übungen zeigten für alle erprobten Erwärmungssysteme Vor- und Nachteile innerhalb der Rettungsphase eines Verkehrsunfalls. Als wichtiger Aspekt sollten immer die Zugänglichkeit und die Platzverhältnisse bedacht werden. Je nach Lage des Verkehrsunfalls, kann der Einsatz technischer Rettungsgeräte ohnehin ein logistisches Problem darstellen. So sollte geprüft werden, inwiefern weitere Geräte, die nicht für die primäre Rettung benötigt werden, zusätzlich die Einsatzstelle verbauen. Bei dem Aufbau eines aktiven Wärmungssystem, wie dem 3M Bair[®] Hugger[®] oder dem Infrarotstrahler, ist auch der Kräfteansatz und der beabsichtigte Rettungsmodus zu berücksichtigen. Ist aufgrund des Verletzungsmusters oder sekundärer Gefahren, wie einem Brand oder Gefahrstoffen, eine Sofortrettung⁷⁰ einzuleiten, macht eine aktive Erwärmung wenig Sinn. Außerdem ist die Zeit eine entscheidende Variable zur Prävention einer Hypothermie. Wird jedoch eine schonende Rettung eingeleitet, die normalerweise mehr Zeit in Anspruch nimmt, sollte mit den zur Verfügung stehenden Einsatzkräften zunächst ein sicherer Zustand des PKW, in Bezug auf die Stabilisierung und den Brandschutz, gewährleistet sein, bevor eine aktive Erwärmung stattfindet. Die Sicherstellung des Brandschutzes findet gerade in Hinsicht der benötigten elektrischen Zuleitung und der nicht explosionsgeschützten Geräte Beachtung. Die Vorhaltung eines zweifachen Brandschutzes (i. d. R. Wasser und Pulver) gehört jedoch zum Standardvorgehen bei Verkehrsunfällen mit Kraftfahrzeugen, um Entstehungsbrände rasch bekämpfen zu können.

⁷⁰ „Sofortrettung ist die schnellstmögliche Rettung, unter Tolerierung einer möglichen weiteren Schädigung des Patienten, aus unmittelbarer Gefahr (z. B. durch Brand) oder aufgrund medizinischer Rahmenbedingungen (z. B. Unmöglichkeit des Atemwegsmanagement oder Reanimationspflichtigkeit).“ vfd e. V. 2010

In der praktischen Übung mit dem 3M[®] Bair Hugger[®] gab es erhebliche Probleme mit der Befestigung und der optimalen Lage der verwendeten Decke. Unter Umständen wäre ein anderes Deckenmodell idealer gewesen. Alle bisher bekannten Decken eignen sich jedoch nur für eine horizontale und flache Auflage und können nicht an den Patienten geformt werden. Unter Umständen müsste eine Auswahl an Wärmedecken auf den Rettungsmitteln mitgeführt werden, was einen weiteren Kosten- und Logistikkfaktor zur Folge hätte. Ebenfalls besteht keine Möglichkeit, mehrere Decken für mehrere Patienten an ein Temperaturmanagementgerät anzuschließen. Neben der Problematik der kurzen Luftschläuche, müsste auch die Leistung des Systems berücksichtigt werden, falls über eine Lösung für mehrere Decken nachgedacht werden sollte.

Der Infrarotstrahler wurde von den Rettungskräften als ein leicht zu bedienendes und flexibles Gerät beschrieben. Ohne weiteres Material lässt sich der Infrarotstrahler in kürzester Zeit aufbauen und einschalten. Die Wärme lässt sich somit äußerst schnell und ohne Beeinflussung an den Patienten abgeben. Umliegende Tätigkeiten der technischen oder medizinischen Rettung werden in geringstem Umfang beeinträchtigt oder lassen sich ohne merklichen Aufwand beseitigen. In der Übung erreichte der Trupp eine Aufbauzeit des Infrarotstrahlers von unter 1 Minute. Der 3M[®] Bair Hugger[®] war dagegen nach ca. 4 Minuten einsatzbereit. Ist der Einsatz des Infrarotstrahlers über ein Stativ räumlich möglich, kann dieser nach dem Aufbau auch eigenständig betrieben werden und die Rettungskräfte anderweitig eingesetzt werden. Sollte der Einsatz ohne Personal erfolgen, muss allerdings gewährleistet sein, dass keine Überwärmung des Patienten stattfinden kann und eine Distanzierung des Infrarotstrahlers unmittelbar erfolgen könnte. Überlegungen diverser technischer Erweiterungen und Änderungen sind anhand der Analyse der Praktikabilität abgeleitet worden. Sowohl ein Temperaturüberwachungssystem zur Kontrolle des Patienten, als auch die Einzelschaltung der Infrarotstrahler wurde seitens der Rettungskräfte gefordert, um die Gefahr einer eventuellen Überwärmung zu reduzieren. Ob hinsichtlich der Infrarotstrahlung eine Schutzbrille zur Verhinderung von Netzhautverbrennungen oder Katarakt

erforderlich ist, wird derzeit von der BG ETEM⁷¹ in Köln geprüft. Sollte in jedem Fall eine Schutzbrille erforderlich sein, kann diese je nach Patient und Umgebung, ein weiteres Problem hinsichtlich des Wohlbefindens, nach sich ziehen.

Das sicherlich einfachste und schnellste System ist die Mönlycke Barrier[®] EasyWarm[®]. Nach dem Öffnen der eingeschweißten Decke muss diese nur noch aufgelegt werden. Wie die bisher üblicherweise verwendeten Decken (Rettungsdecken und Einmaldecken), stört auch diese unter Umständen die Arbeitsabläufe des Rettungsdienstes und muss mehrfach beiseite genommen werden. Das entstehende Wärmepolster wird so jedes Mal durch Konvektion zerstört. Als größter Nachteil der Decke ist dagegen die lange Aufwärmzeit zu nennen. Nach Herstellerangaben ist die Solltemperatur von 40 °C nach ungefähr 30 Minuten erreicht. Je nach Umgebungstemperatur werden hier vermutlich noch längere Zeiten benötigt. In der Phase der technischen Rettung ist eine Erwärmung mit der Mönlycke Barrier[®] EasyWarm[®] somit nicht zielführend, da zunächst nur die Funktion einer wärmeerhaltenden Decke gegeben ist, welche auch durch kostengünstigere Methoden erreicht werden kann.

⁷¹ Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse

4.3 Effizienzanalyse: Messung in der Klimakammer

Im Folgenden werden die aufgezeichneten Temperaturen und physiologischen Parameter der drei Probanden innerhalb der Klimakammer dargestellt. In den oberen zwei Diagrammen werden die Temperaturverläufe der 18 Patientensensoren abgebildet. Das untere Diagramm stellt die physiologischen Parameter dar. Um eine direkte Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden diese immer auf einer Seite dargestellt. Die Messungen unterteilen sich in zwei Phasen, die Kälteexpositionsphase und die Erwärmungsphase, welche in den Diagrammen – durch eine rote Vertikallinie getrennt – dargestellt wird.

Diagramm 1 bezieht sich auf die Messsysteme der Körperkerntemperatur. Gezeigt werden die rektale Körperkerntemperatur und die durch den \cosinuss° -Sensor tympanal gemessene Temperatur. Eine zweite Temperatur wurde am äußeren Gehörgang ebenfalls über den \cosinuss° -Sensor ermittelt.

Diagramm 2 stellt die Temperaturverläufe der 15 Thermoelemente dar, welche die Hautoberflächentemperaturen nach Abbildung 22 aufgezeichnet haben. Angesichts möglicher Störanfälligkeiten der Sensoren durch Bewegungen der Probanden, wurden die Daten körpersymmetrisch gemittelt.

Diagramm 3 zeigt mit zwei vertikalen Achsen die physiologischen Parameter. Auf der Primärachse werden die Herzfrequenz und der arterielle Blutdruck (systolisch und diastolisch) angezeigt. Auf der Sekundärachse wird die pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung dargestellt.

Des Weiteren werden auf den nachfolgenden Seiten hinter den drei Diagrammen die zu den jeweiligen Untersuchungen gehörigen Infrarotbilder abgebildet. Dargestellt sind diese exemplarisch für Proband 1. Mit der Infrarotkamera der Firma InfraTec wurden im Nachhinein fünf Messpunkte ausgewertet.

Diese Datenverläufe wurden ebenfalls kursorisch dargestellt. Zwischen drei Infrarotbildern – Start Kälteexpositionsphase, Beginn Erwärmungsphase, Ende Erwärmungsphase –, wurden zwei Diagramme erstellt, die den Verlauf der Messpunkte darlegen. Die Messpunkte waren auf der Stirn, am Hals und an der Brust.

Zusätzlich folgt eine Infrarotbildfolge der Messungen, welche ebenfalls aus Aufnahmen der InfraTec VarioCAM[®] hr inspect 400 besteht. Diese sind auch als Video auf der DVD im Anhang zu finden.

Zur Dokumentation der Umgebungsparameter in der Klimakammer wurden diese gemäß des Messaufbaus, wie Abbildung 65 und Abbildung 66 darstellt, aufgezeichnet. Die gemessenen Daten der Temperatur und relativen Luftfeuchte werden in Abbildung 35 und Abbildung 36 wiedergegeben.

Die während der Messphasen (13.11.2012 zwischen 9:00–17:00 Uhr und 14.11.2012 zwischen 7:00–15:00 Uhr) in den Abbildungen 35 und 36 dargestellten Schwankungen zeigten Abweichungen von der gewünschten Solltemperatur von max. $\pm 1,5$ °C Diese Abweichungen ergaben sich durch das Öffnen der Klimakammer-Tür. Während der Einzelmessungen waren diese Abweichungen kleiner 1,0 °C und somit ohne Relevanz für die Versuchsreihen.

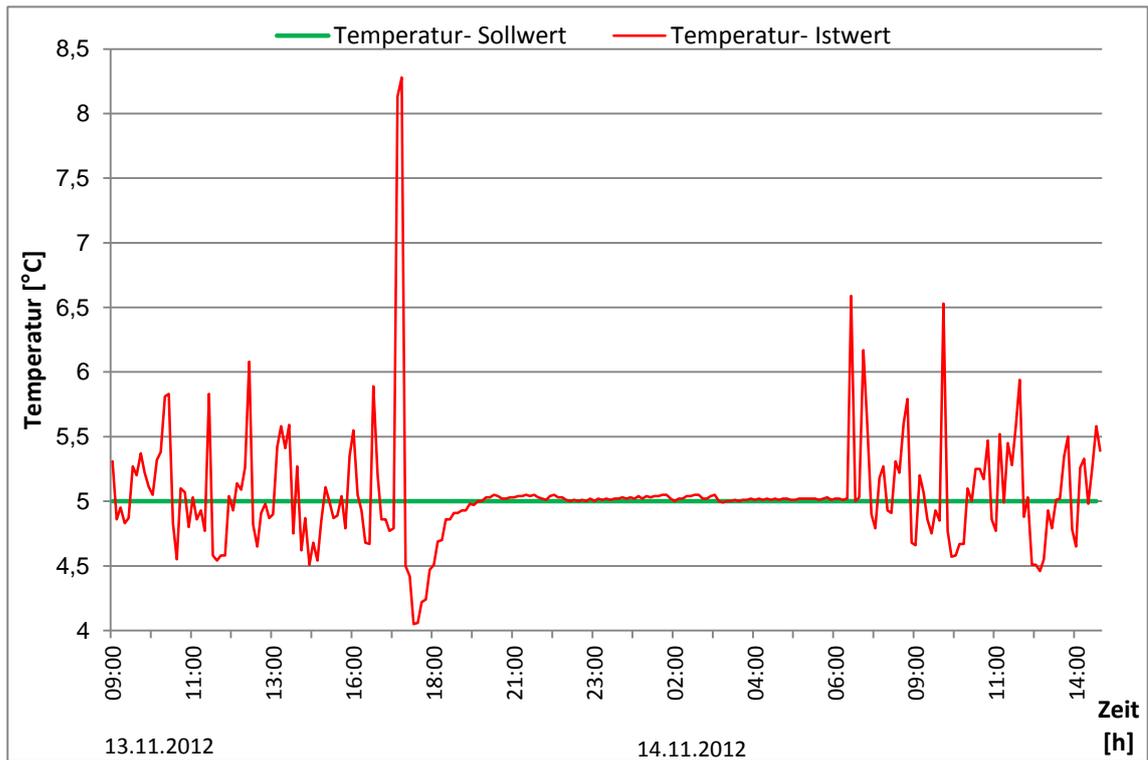


Abbildung 35: Soll-/Ist Werte der Klimakammer, Aufzeichnung der Regelungstechnik der Klimakammer

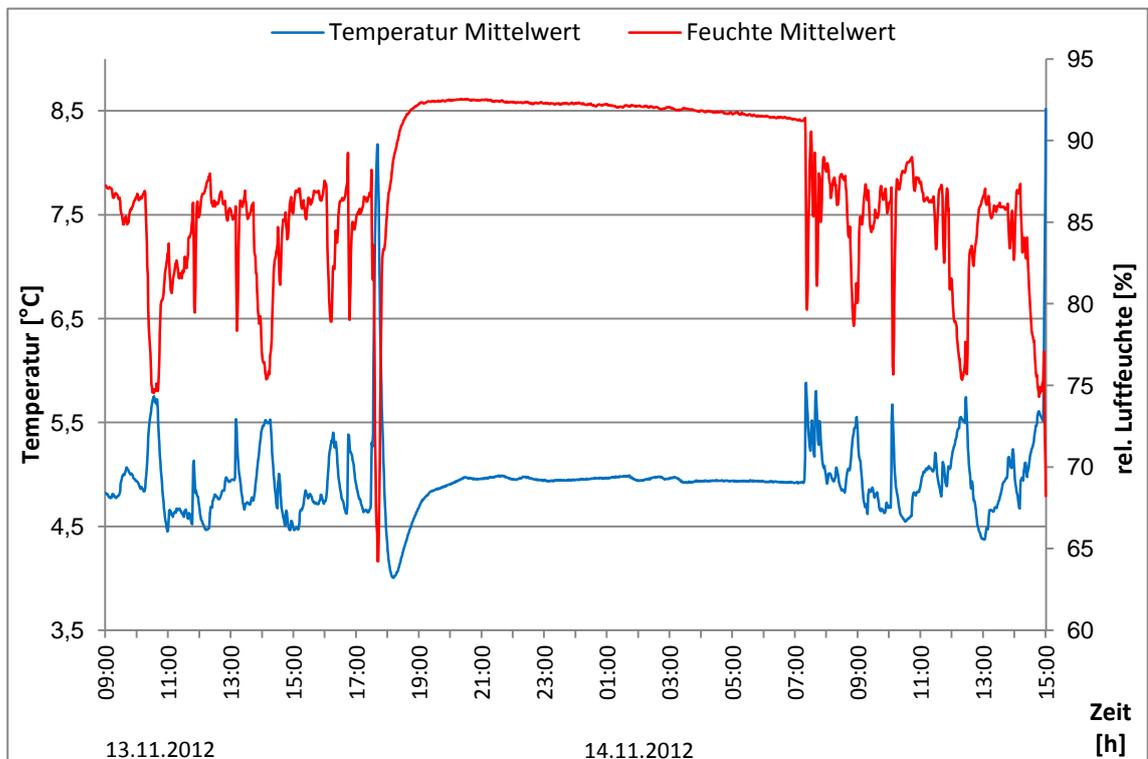


Abbildung 36: Mittelwerte der Temperatur und relativen Luftfeuchte in der Klimakammer. Temperaturmessung mittels Pt 100 Sensoren nach Abbildung 65 und Abbildung 66 Feuchtemessung mittels Rotronic HygroClip2 HC2-S nach Abbildung 65 und Abbildung 66

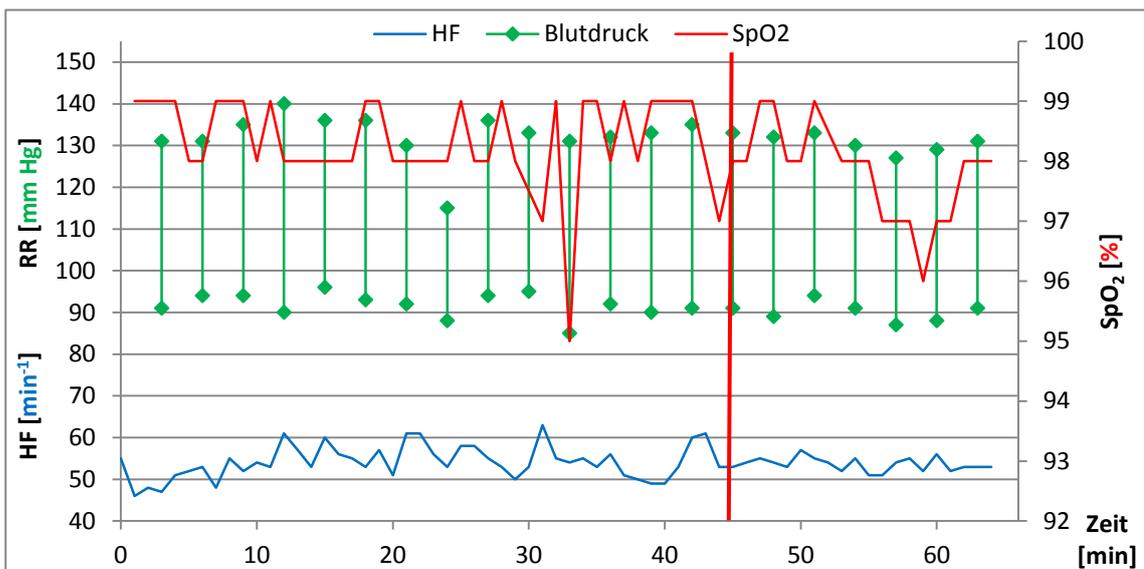
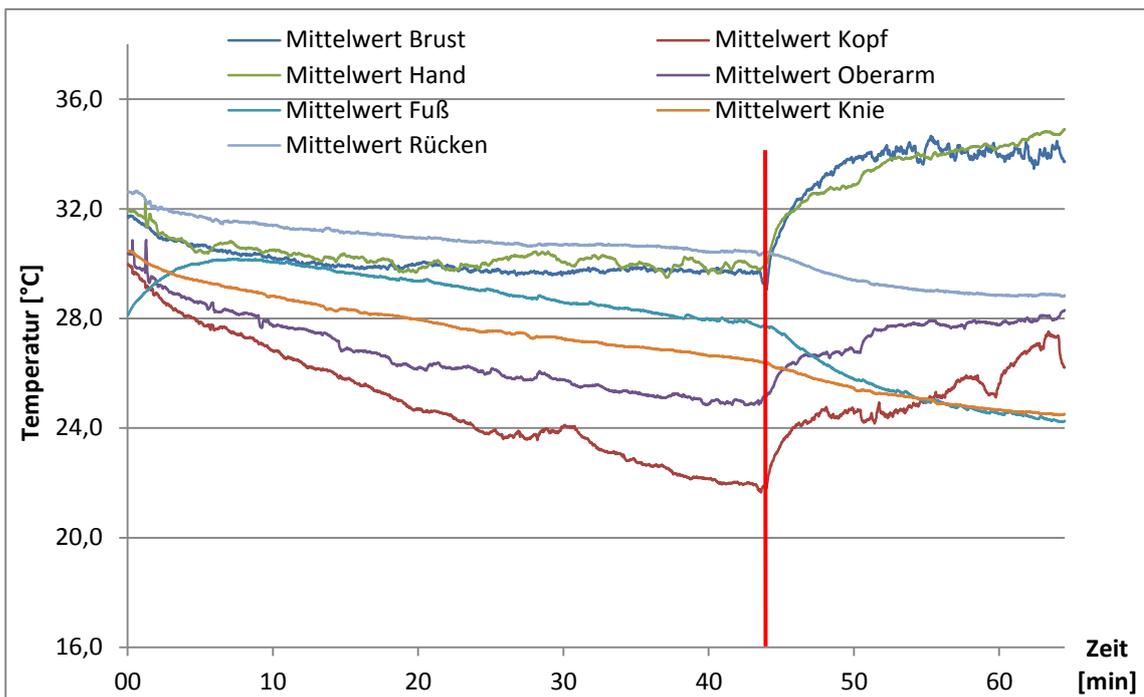
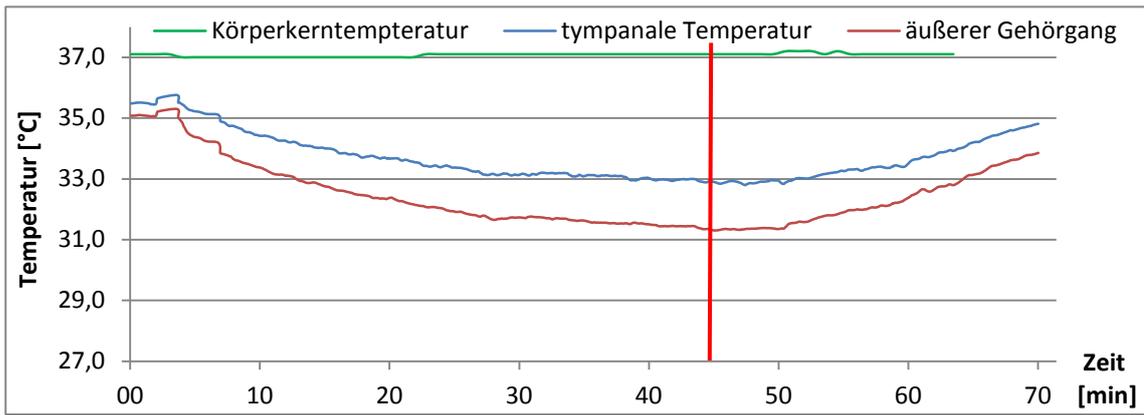


Abbildung 37: Proband 1, 45 min ohne Erwärmung + 20 min Infrarotstrahler
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

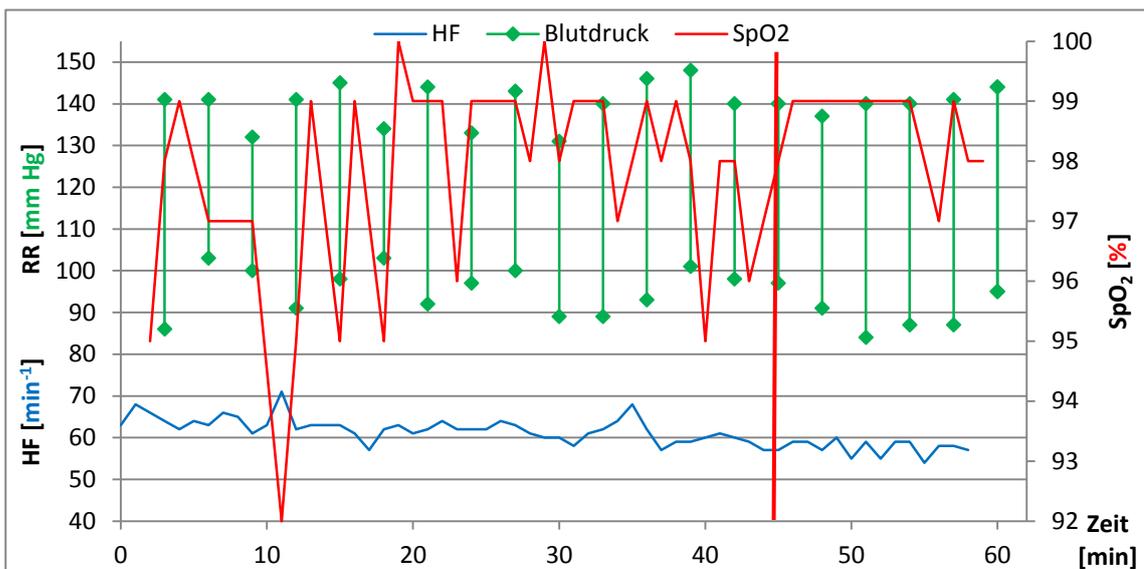
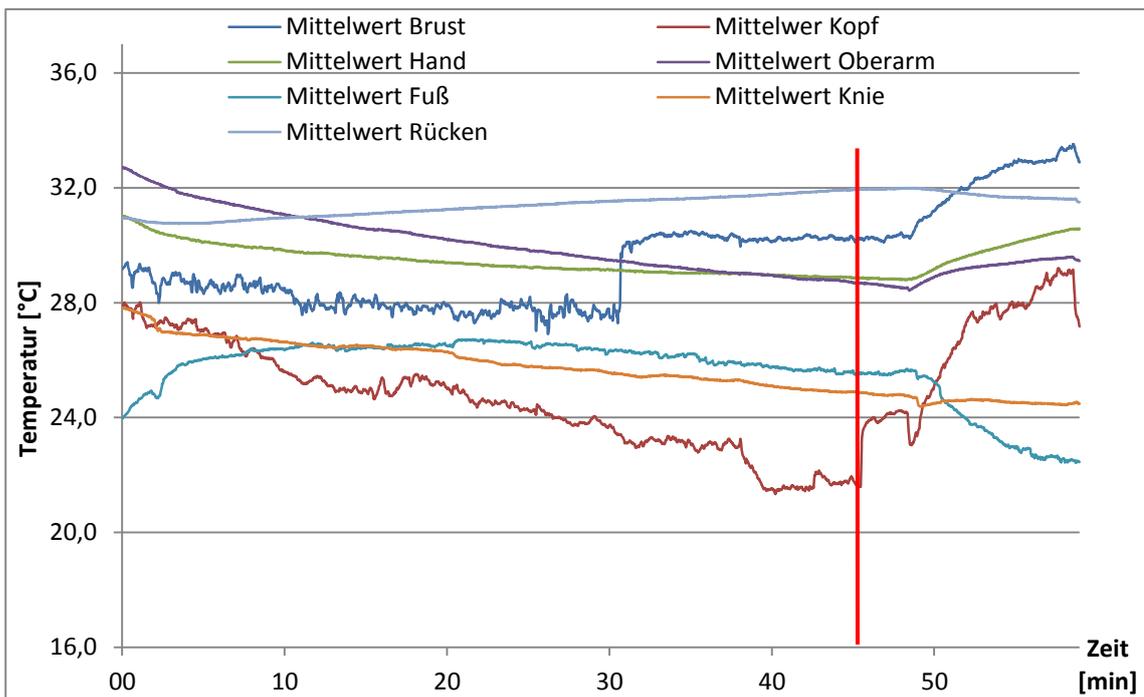
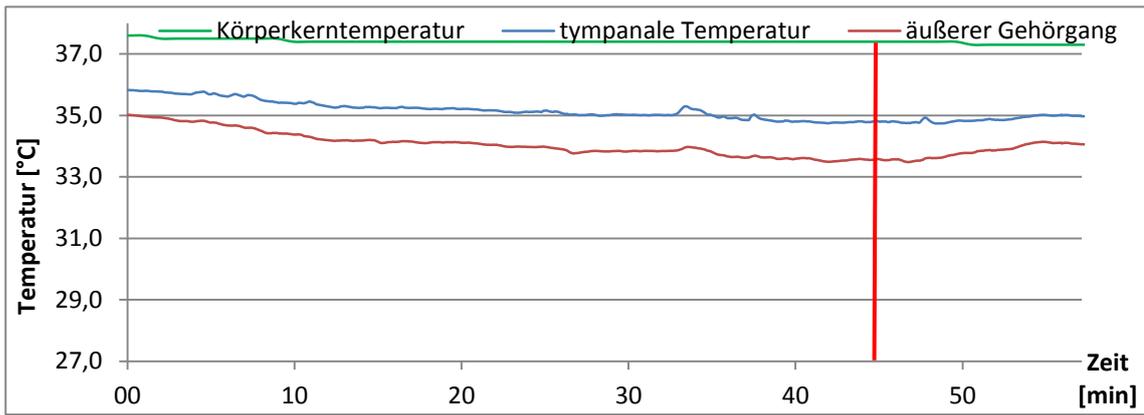


Abbildung 38: Proband 2, 45 min ohne Erwärmung + 15 min Infrarotstrahler
 Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

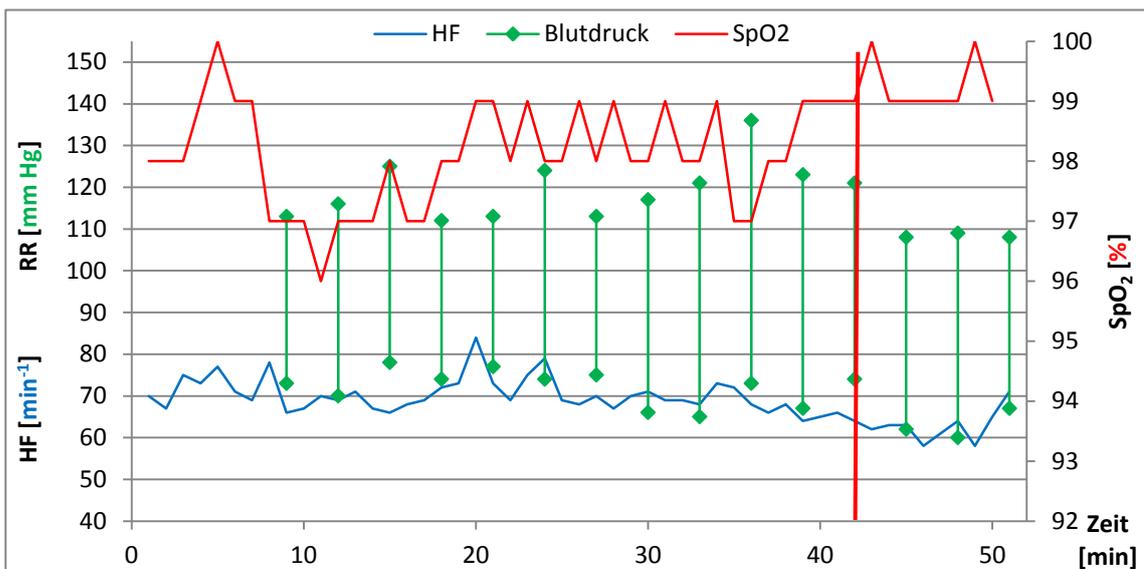
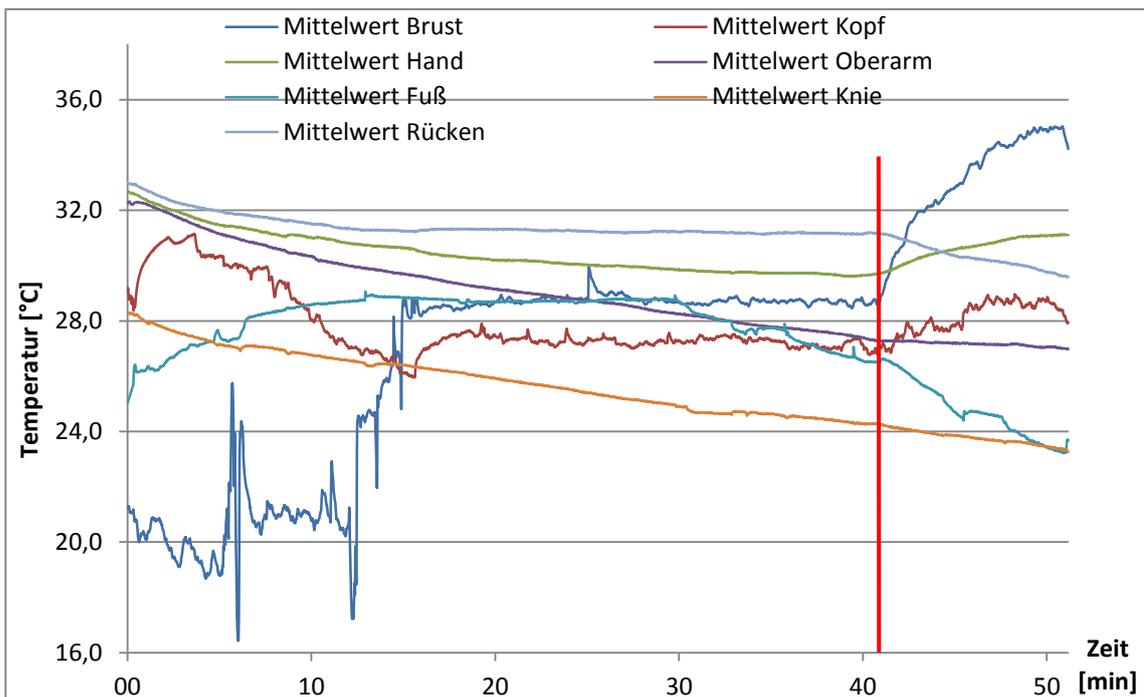
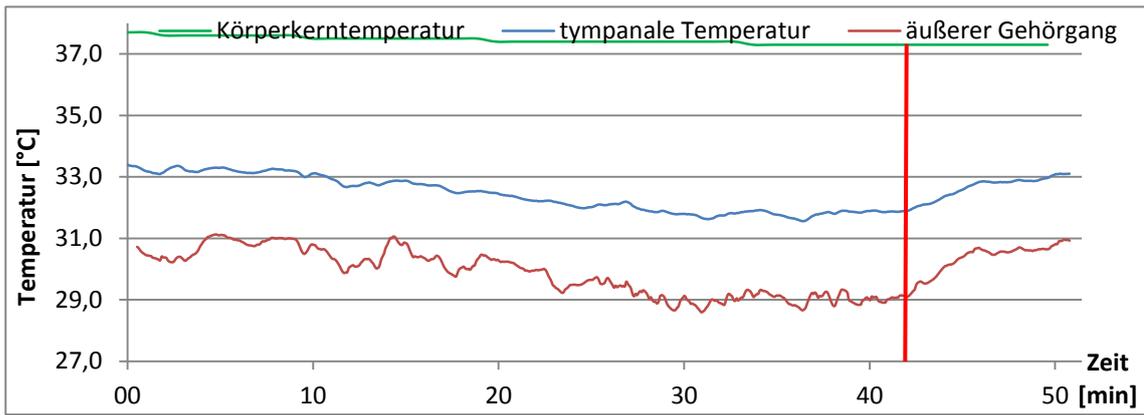


Abbildung 39: Proband 3, 42 min ohne Erwärmung + 10 min Infrarotstrahler
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

Proband 1: 45 min ohne Erwärmung + 20 min Infrarotstrahler

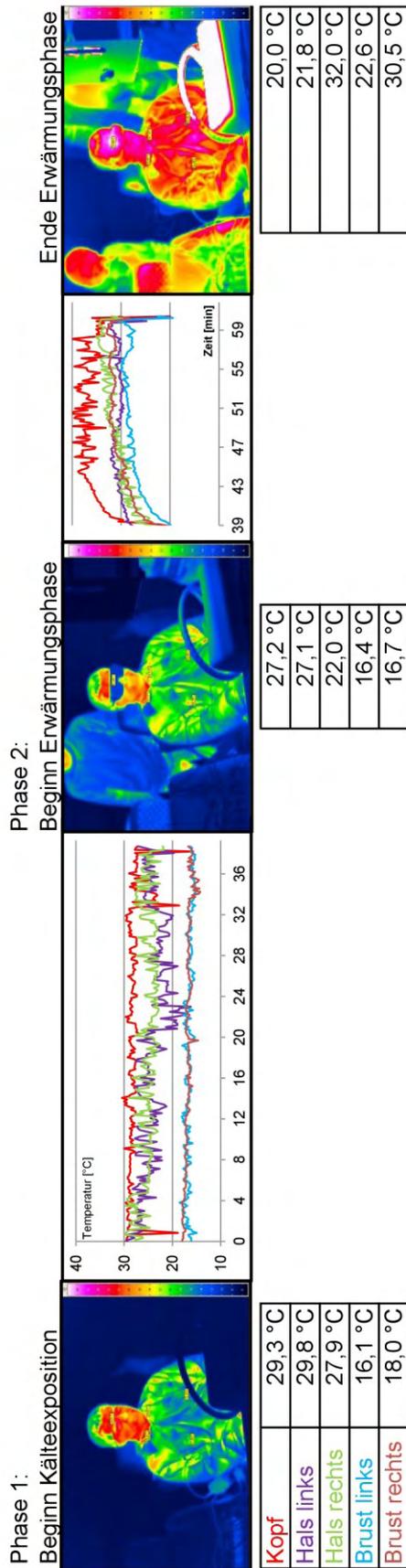


Abbildung 40: Infrarotbilder der Messung 1 von Proband 1 mit entsprechendem Temperaturverlauf der Messpunkte. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM[®] hr inspect 400)

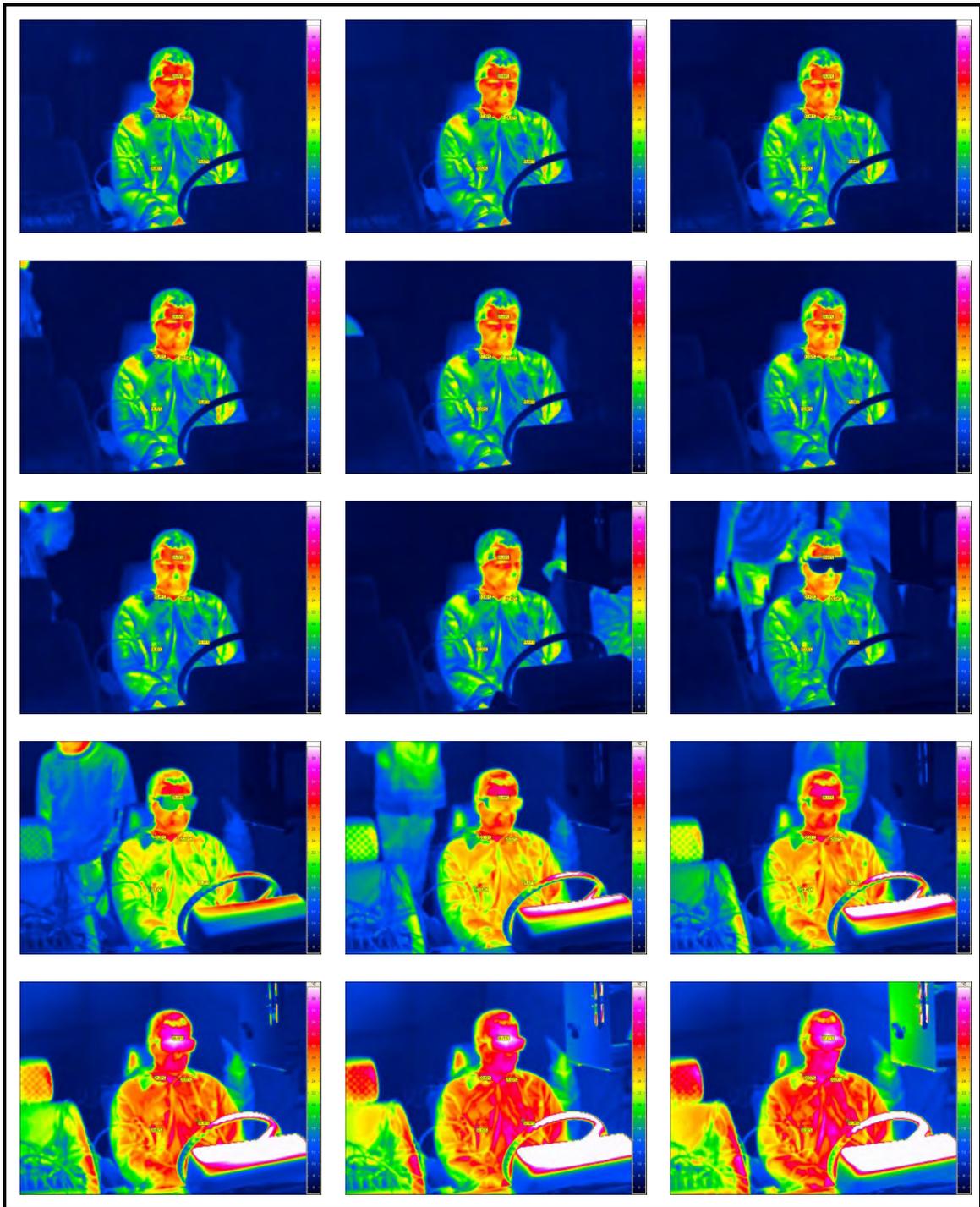


Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf der Infrarotbilder der Messung 1 von Proband 1. Die Aufnahmen sind als Video auf der DVD im Anhang vorhanden. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM® hr inspect 400)

4.3.1 Messung 1: 45 min ohne Erwärmung + 10 min Infrarotstrahler

Phase 1: Kälteexpositionsphase

Die Körperkerntemperatur ist bei allen Messungen weitgehend gleich geblieben. Lediglich geringe Divergenzen im Bereich von $\pm 0,3$ °C sind bei manchen Messungen zu beobachten.

Die tympanale Temperatur und die am äußeren Gehörgang verlaufen parallel während der Kälteexposition. Alle Probanden verzeichnen Temperaturabfälle um bis zu 4 °C.

Während der Kälteexposition ist ein wesentlicher Abfall der Hautoberflächentemperaturen zu vermerken. Diese sinken kontinuierlich an allen Messpunkten. Dabei lassen sich die größten Senkungen am Bereich des Kopfes verzeichnen. Unter den Probanden sind jedoch geringe Divergenzen der verschiedenen Körperbereiche festzustellen.

Der Blutdruck liegt während der gesamten Messung im normalen Bereich und zeigt keine nennenswerten Änderungen auf. Die Herzfrequenz und Sauerstoffsättigung bewegen sich ebenfalls im normalen Bereich. Bei der Sauerstoffsättigung treten zum Teil signifikante Schwankungen auf, was auf die Störanfälligkeit der Pulsoxymetrie aufgrund mäßiger peripherer Kapillardurchblutung zurückzuführen ist.

Phase 2: Erwärmungsphase

Während der Erwärmungsphase bleibt die Körperkerntemperatur weiterhin konstant.

Eine Erhöhung der tympanalen Temperatur und der am äußeren Gehörgang sind bei allen Probanden zu verzeichnen. Mutmaßlich ist dies darauf zurückzuführen, dass der Kopf und somit der cosinuss°-Sensor im direkt bestrahlten Bereich liegen. Sehr gut lässt sich, aufgrund der längeren Erwärmungsphase von 25 Minuten, der parabelförmige Verlauf der vom cosinuss°-Sensor

gemessenen Temperaturen des ersten Probanden verfolgen. Annähernd wird hier die Ausgangstemperatur erreicht.

Sofort nach dem Einschalten des Infrarotstrahlers ist bei den Probanden ein Anstieg der Hautoberflächentemperaturen der Bereiche zu dokumentieren, die unmittelbar der Infrarotstrahlung ausgesetzt sind. Dazu zählen Kopf, Oberarme, Brust und Hände. Es ist immer zu beobachten, dass sobald die Temperatur an der Brust ansteigt, die Temperatur an den Füßen weiter abfällt. Dies könnte an der Vasodilatation im Bereich des Torsos und der damit einhergehenden Umverteilung des Blutes im Körper liegen. An den übrigen Bereichen, die nicht im Bestrahlungsfeld liegen, fällt die Temperatur gleichbleibend oder langsamer ab. Resultierend durch die Vasodilatation, kommt es somit zu einer relativen Durchblutungs-Umverteilung, was in der Medizin im Allgemeinen als „steal phenomen“ bezeichnet wird.

Die physiologischen Parameter sind zur ersten Phase konform. Ausschließlich bei Proband 3 zeigt sich eine moderate Senkung des Blutdrucks. Dieser liegt dennoch weiterhin im Normbereich.

4.3.1.1 Diskussion Messung 1

Die erste Messung zeigt, wie sehr Patienten in einer ausgedehnten Rettungsphase von ca. 45 Minuten bei einer Umgebungstemperatur von 5 °C auskühlen. Vor allem an der Hautoberfläche sind hier deutliche Temperaturabfälle festzustellen. Die Körperkerntemperatur zeigt hingegen, dass zu keinem Zeitpunkt eine gesundheitliche Gefahr für die gesunden Probanden durch eine abfallende Körperkerntemperatur bestand. Zu berücksichtigen ist, dass in diesem Fall alle Probanden in einem physiologischen Normzustand waren und so die thermoregulatorischen Mechanismen des Körpers funktionierten.

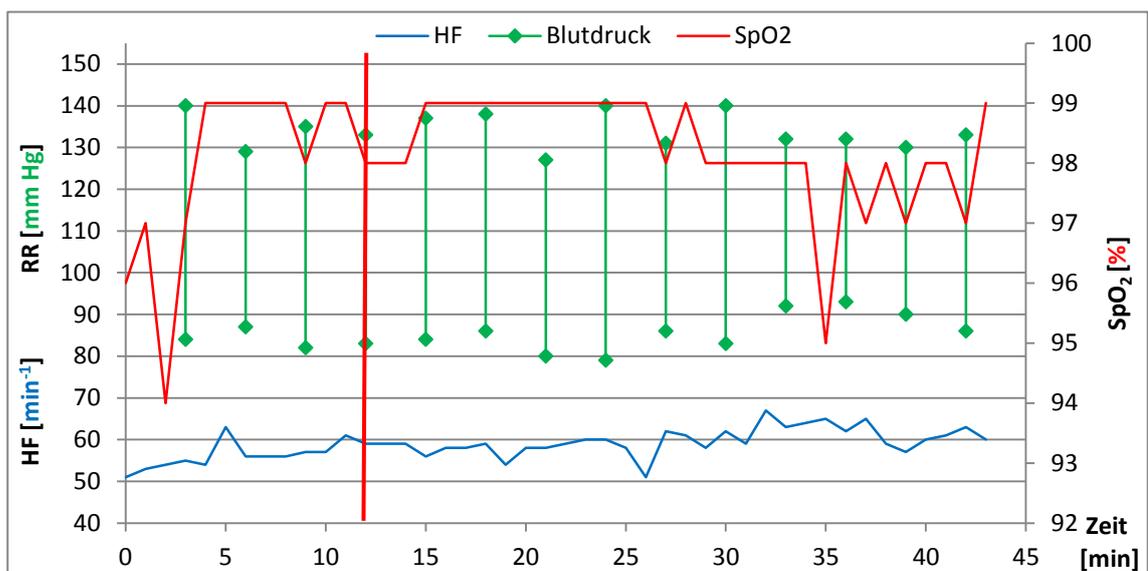
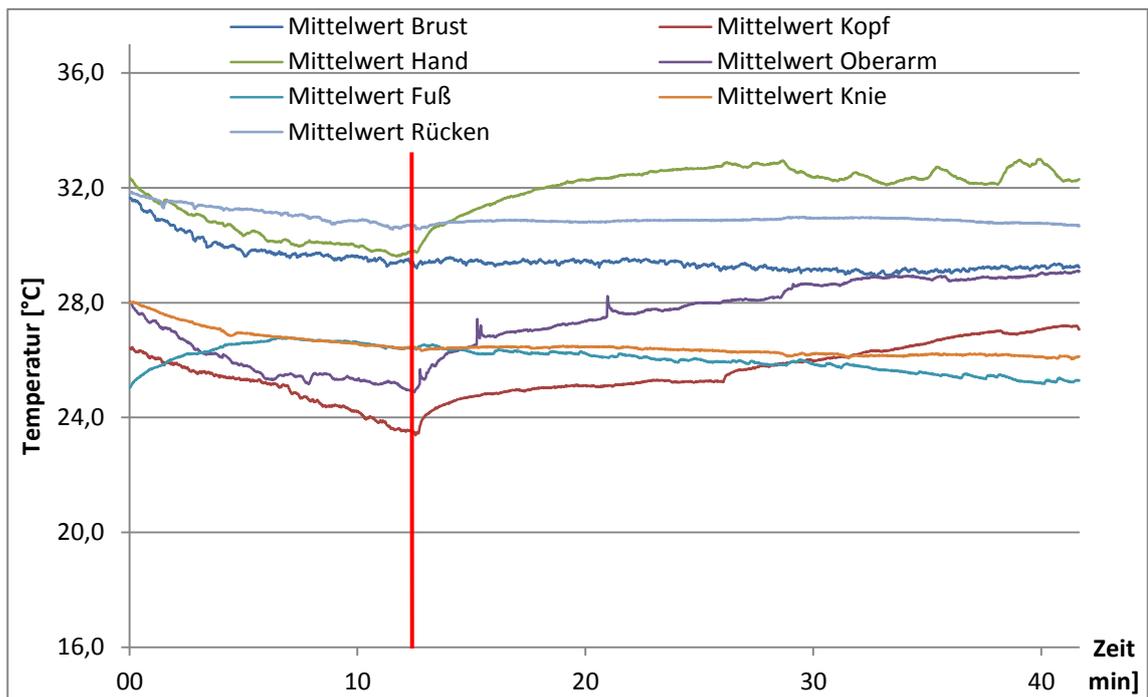
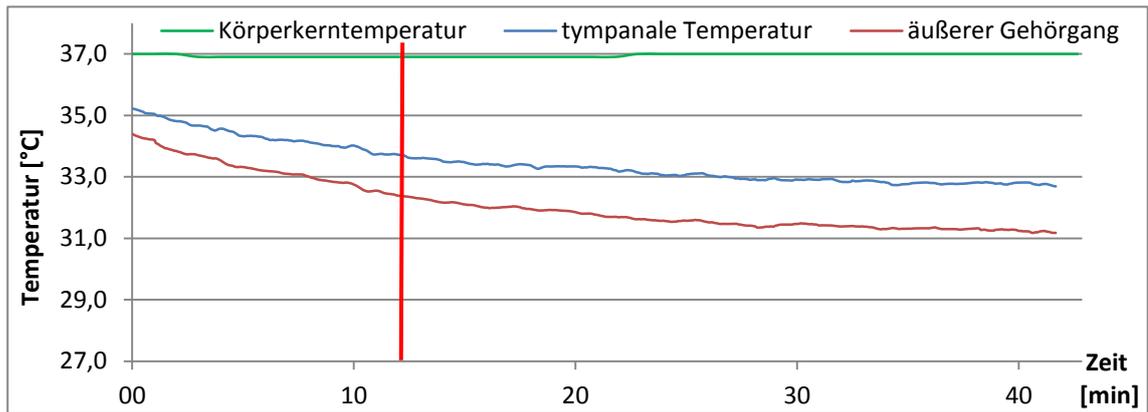


Abbildung 42: Proband 1, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mölnlycke Barrier® EasyWarm®
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

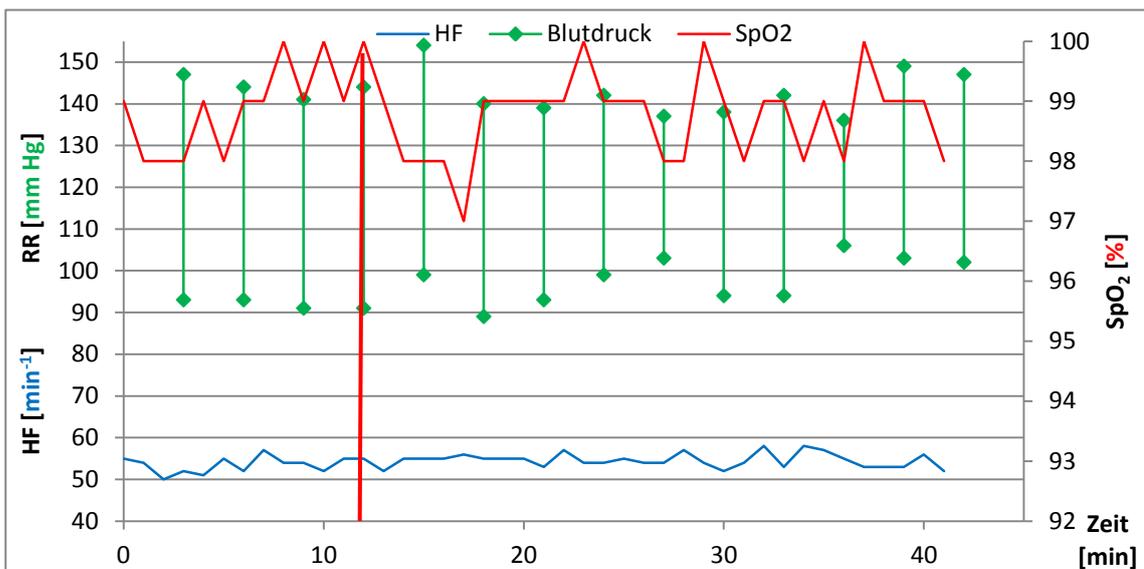
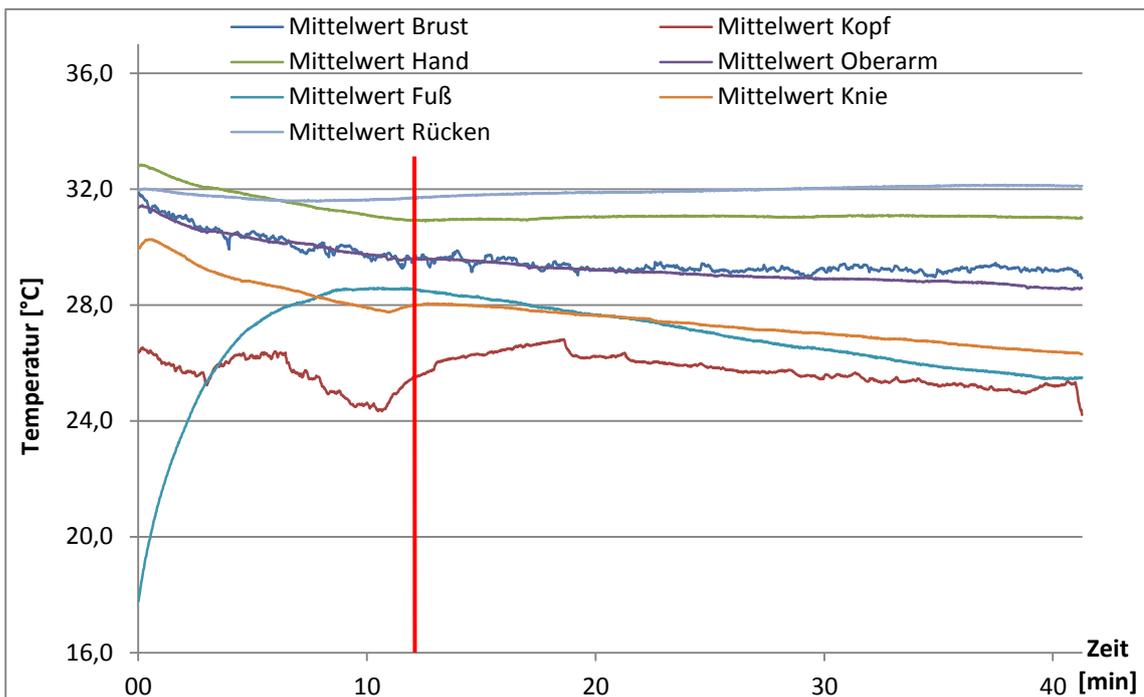
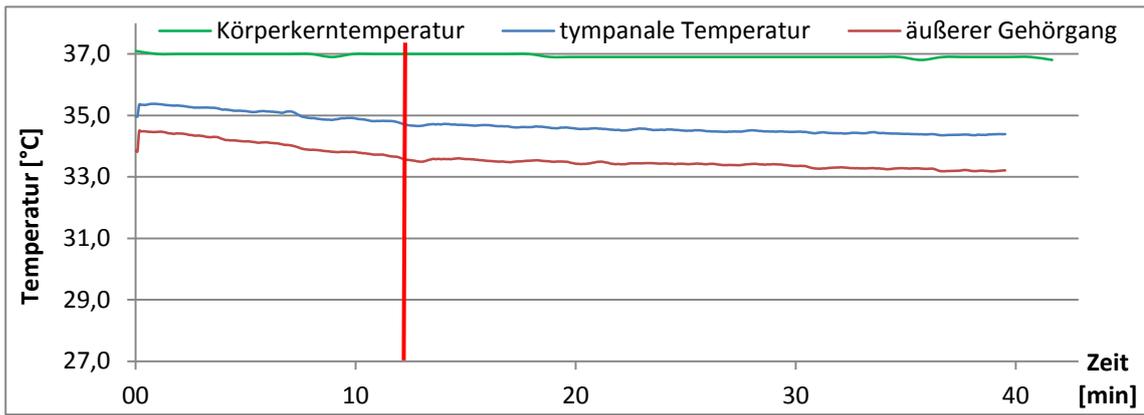


Abbildung 43: Proband 2, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mölnlycke Barrier® EasyWarm®
 Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

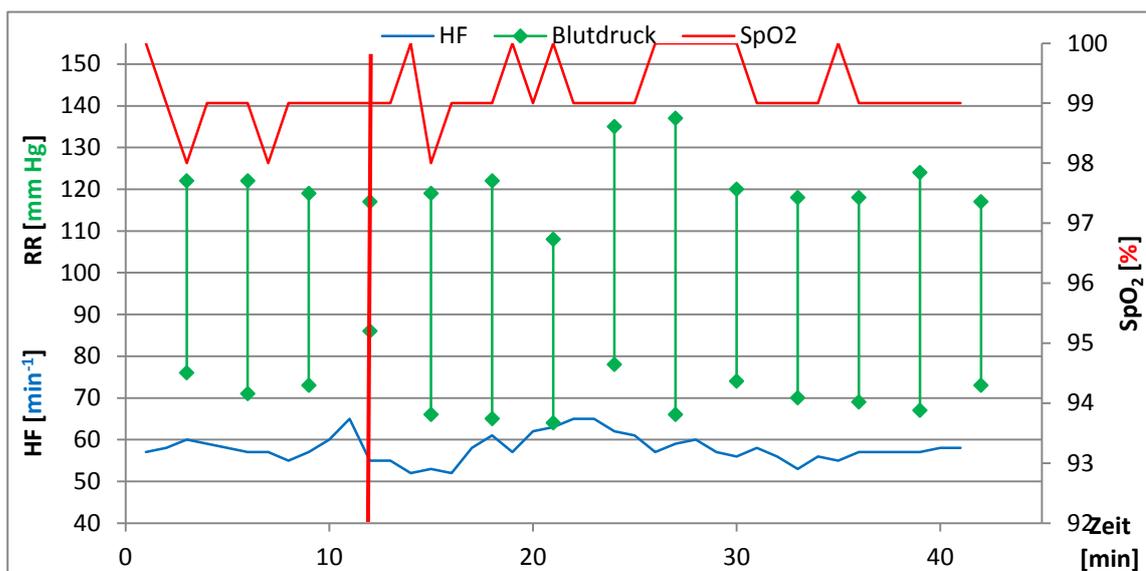
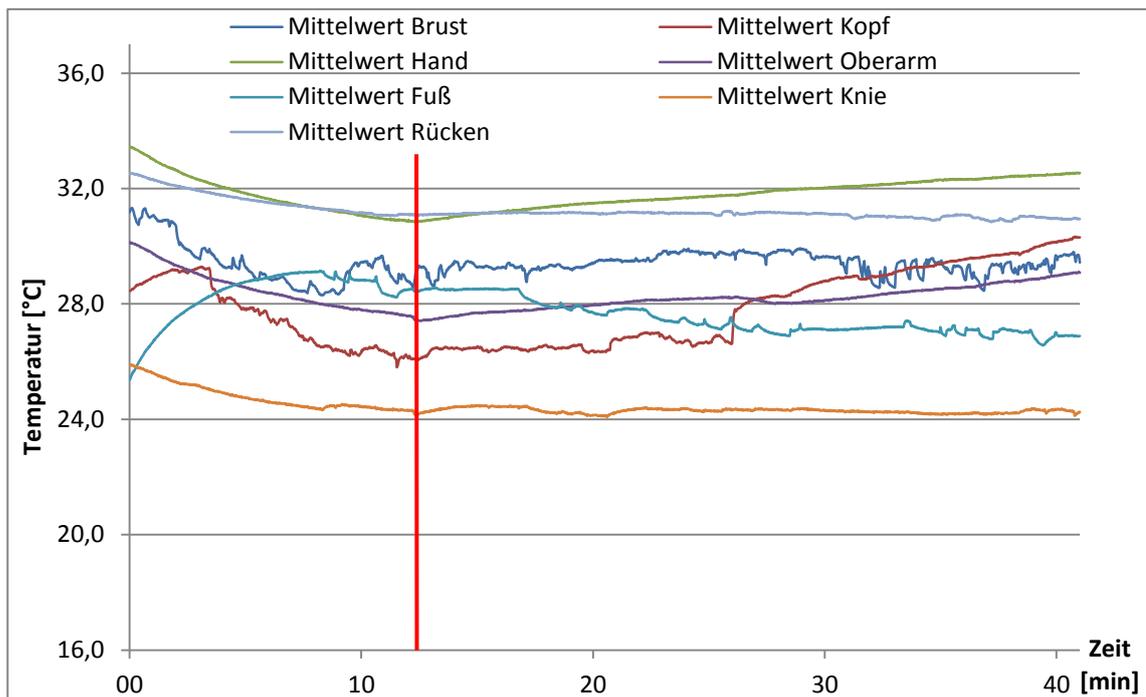
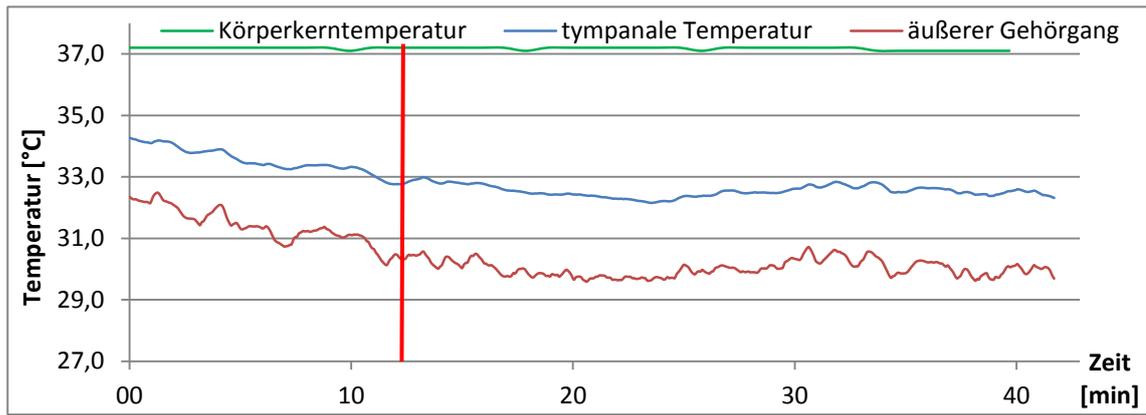


Abbildung 44: Proband 3, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mölnlycke Barrier® EasyWarm®
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

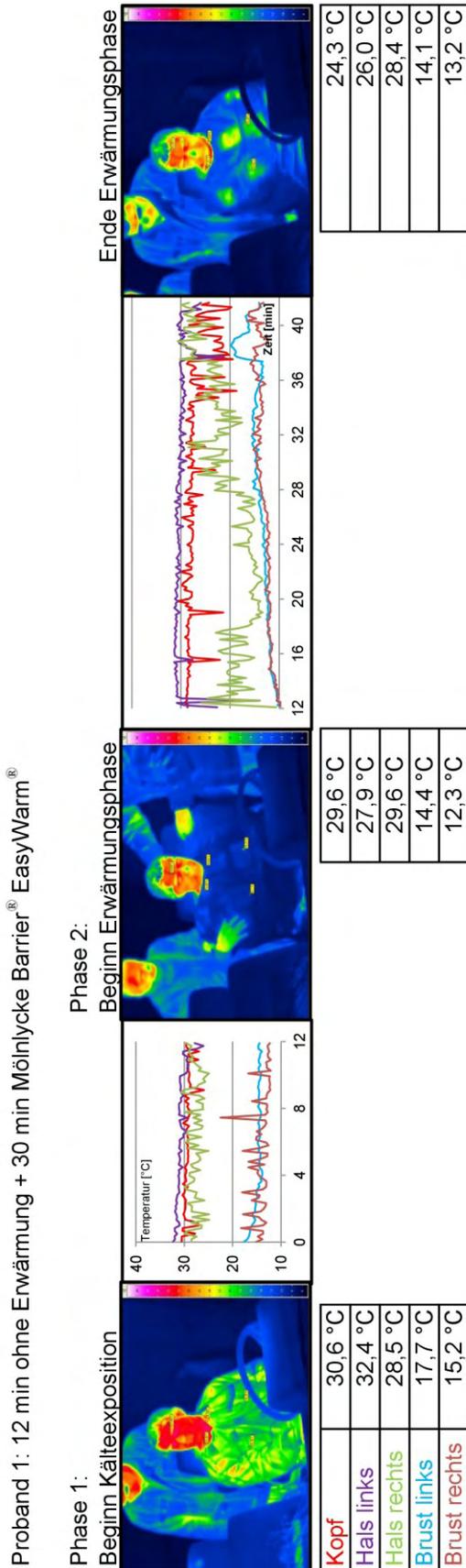


Abbildung 45: Infrarotbilder der Messung 2 von Proband 1 mit entsprechendem Temperaturverlauf der Messpunkte. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM[®] hr inspect 400)

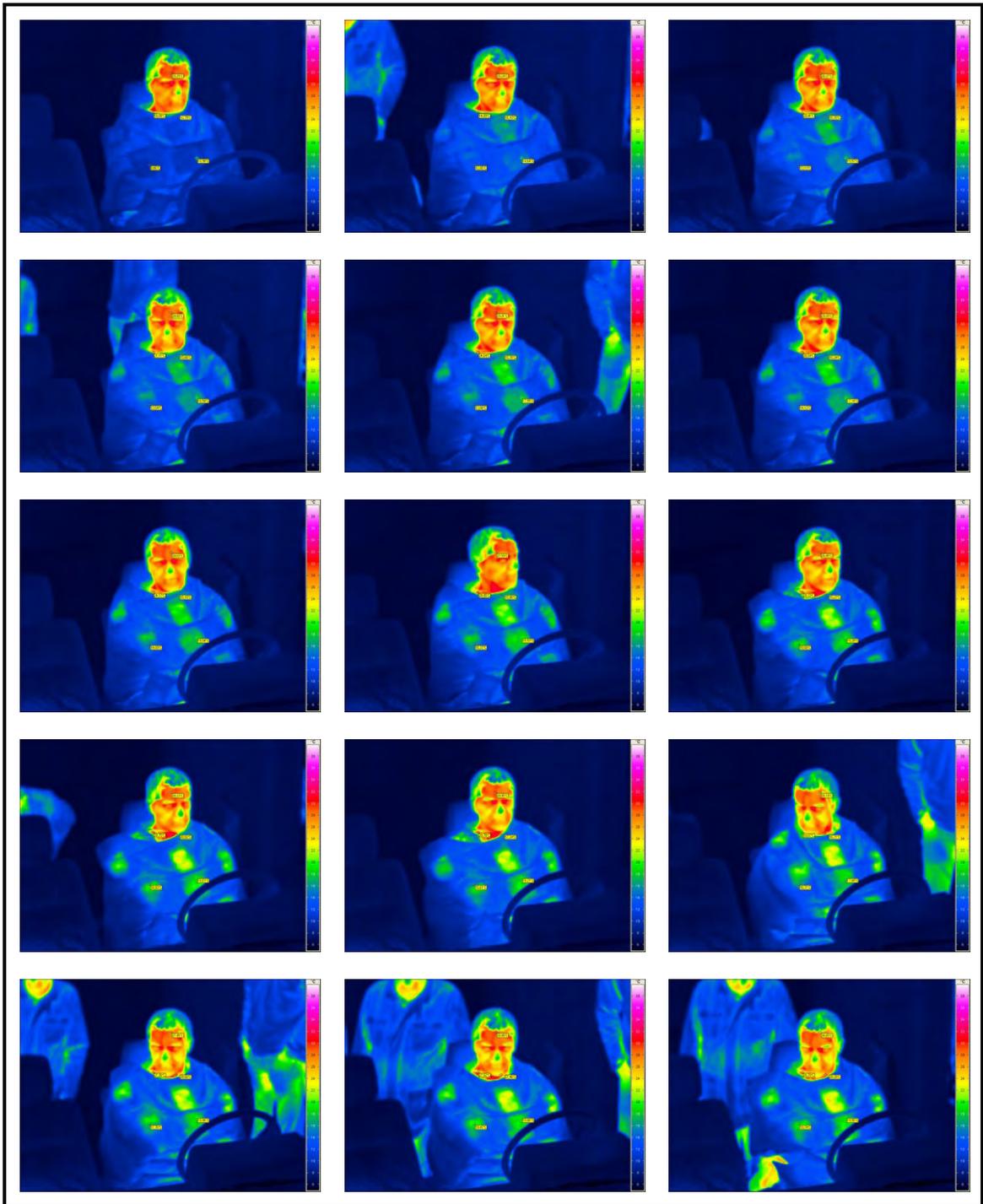


Abbildung 46: Zeitlicher Verlauf der Infrarotbilder der Messung 2 von Proband 1. Die Aufnahmen sind als Video auf der DVD im Anhang vorhanden. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM® hr inspect 400)

4.3.2 Messung 2: 12 min ohne Erwärmung + 30 min Mönlycke Barrier® EasyWarm®

Phase 1: Kälteexpositionsphase

In der ersten zwölfminütigen Phase ist kein Abfall der Körperkerntemperatur festzustellen.

Bei dem \cosinuss° -Sensor erfolgt, ähnlich der vorherigen Messung, ein paralleler Abfall der beiden Temperaturen um maximal 3 °C, wobei die niedrigere Temperatur immer am äußeren Gehörgang zu messen war.

Bei allen Probanden ist ein stetiger Abfall der Hautoberflächentemperaturen, ähnlich der ersten Messung, erfolgt. Im Mittel sind hier Temperaturabfälle von 2 °C zu verzeichnen, wobei die tiefste Temperatur erneut am Kopf zu ermitteln war.

Die physiologischen Parameter befinden sich alle im Normbereich und zeigen keine Auffälligkeiten.

Phase 2: Erwärmungsphase

In der Phase der Erwärmung gab es weiterhin keine Veränderungen der Körperkerntemperatur.

Bei den Temperaturen des \cosinuss° -Sensors lässt sich eine Reduzierung des Temperaturabfalls bei allen Probanden verzeichnen. Bei Proband 3 sind kurzzeitige Temperaturanstiege zu beobachten. Ein andauernder Anstieg oder eine Einstellung des Temperaturabfalls ist innerhalb der 30 Minuten jedoch nicht festzustellen.

In der zweiten Phase lassen sich teilweise geringe Temperaturerhöhungen an den Hautoberflächensensoren feststellen. Vorrangig sind die Erhöhungen an den Stellen zu beobachten, an denen vermutlich direkt die Wärmepads der Decke anliegen. Dazu zählen Bereiche wie Hand, Oberarm und Brust.

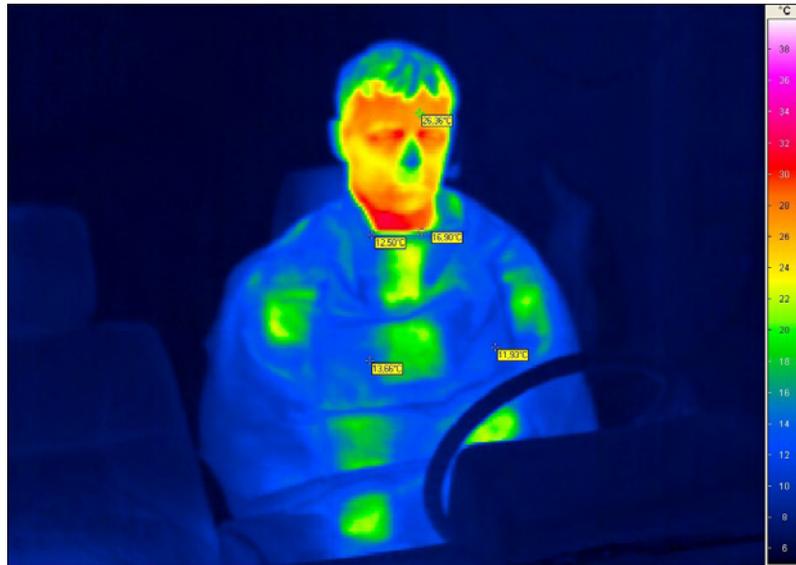


Abbildung 47: Infrarotbild: Proband 2 am Ende der Erwärmungsphase mit Mölnlycke Barrier® EasyWarm®. Die Wärmepads haben eine Temperatur von ungefähr 20 °C erreicht. T_{\max} : Stirn = 26,36 °C

Die physiologischen Parameter bleiben auch in der zweiten Phase unverändert und zeigen keine nennenswerten Daten auf.

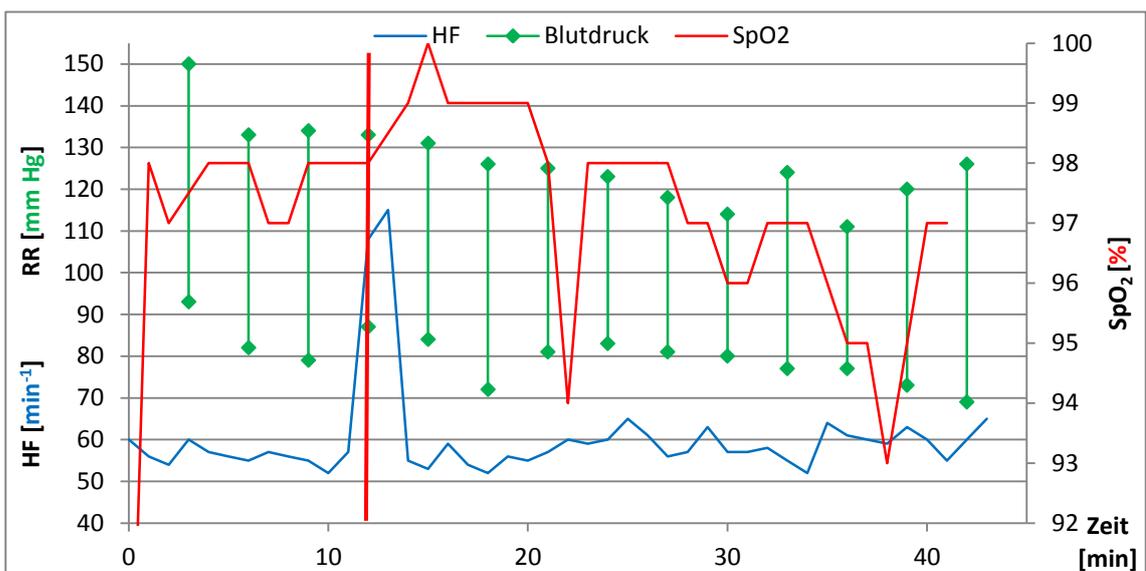
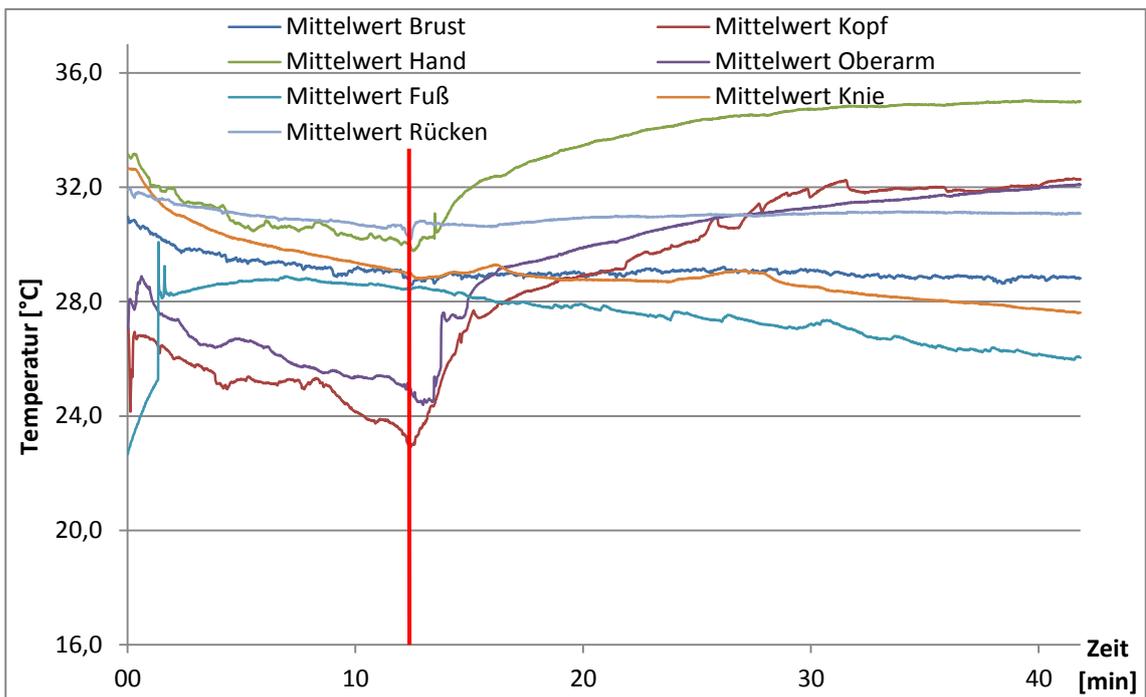
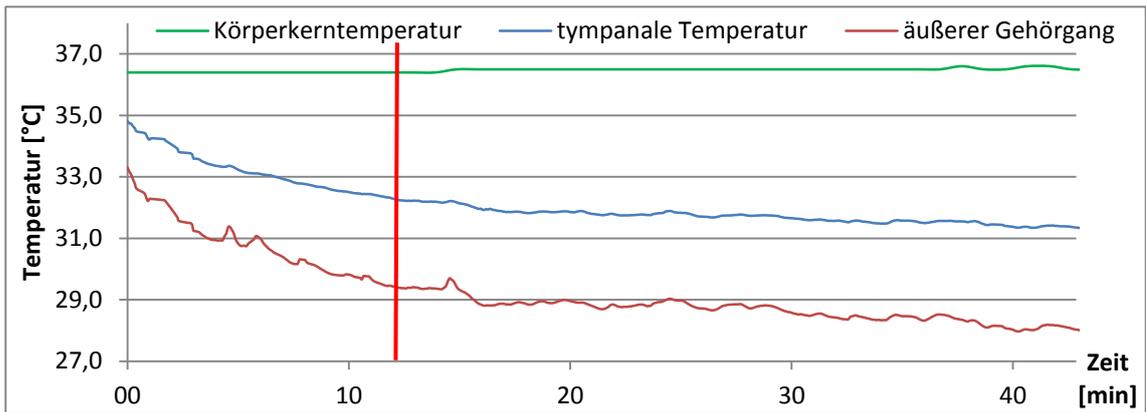


Abbildung 48: Proband 1, 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M[®] Bair Hugger[®]
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

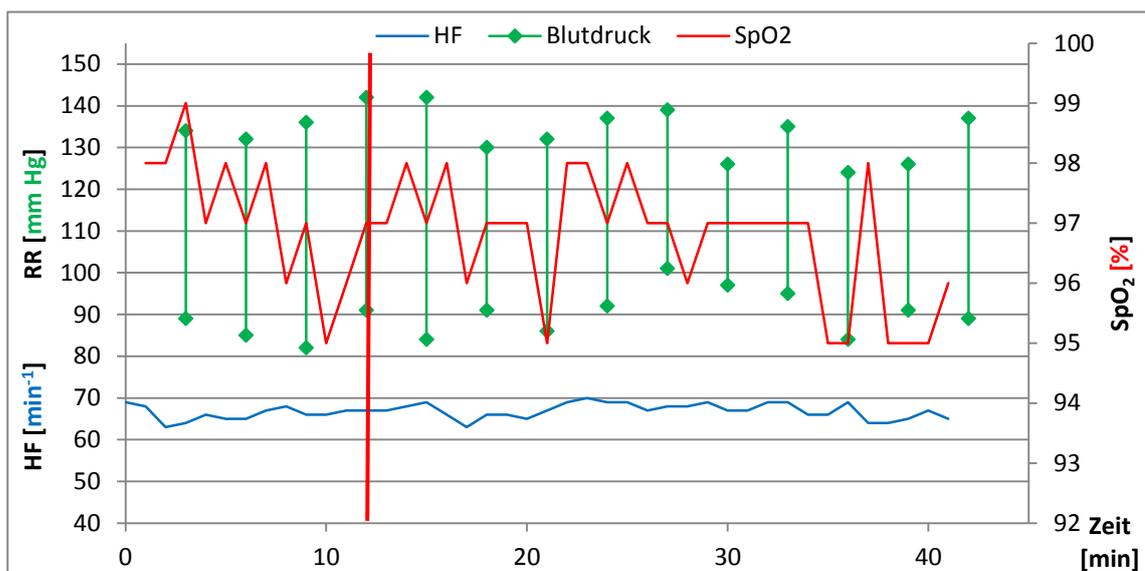
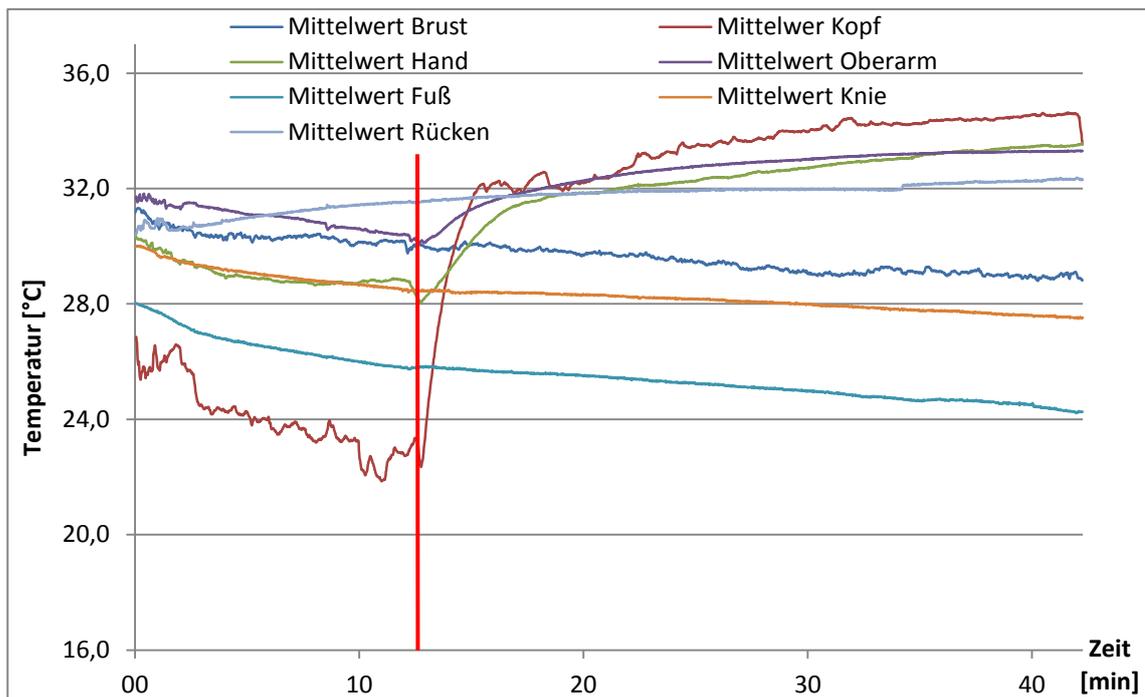
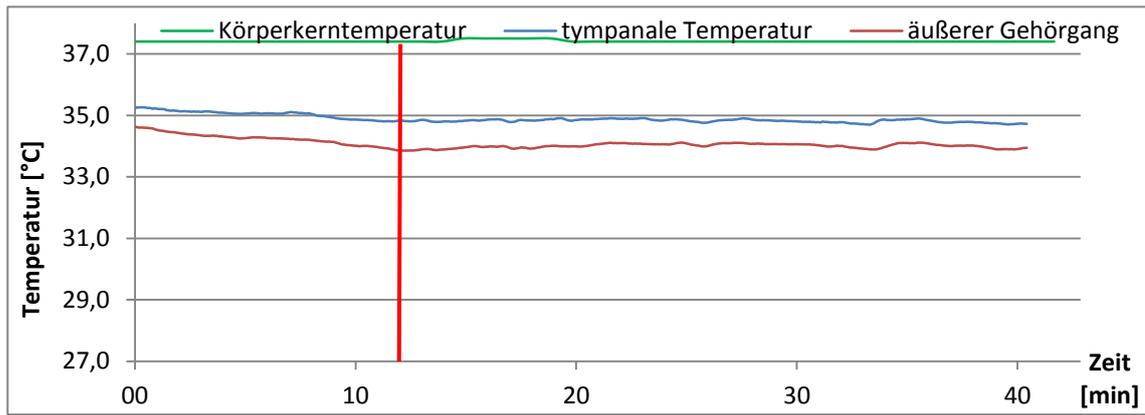


Abbildung 49: Proband 2, 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M[®] Bair Hugger[®]
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

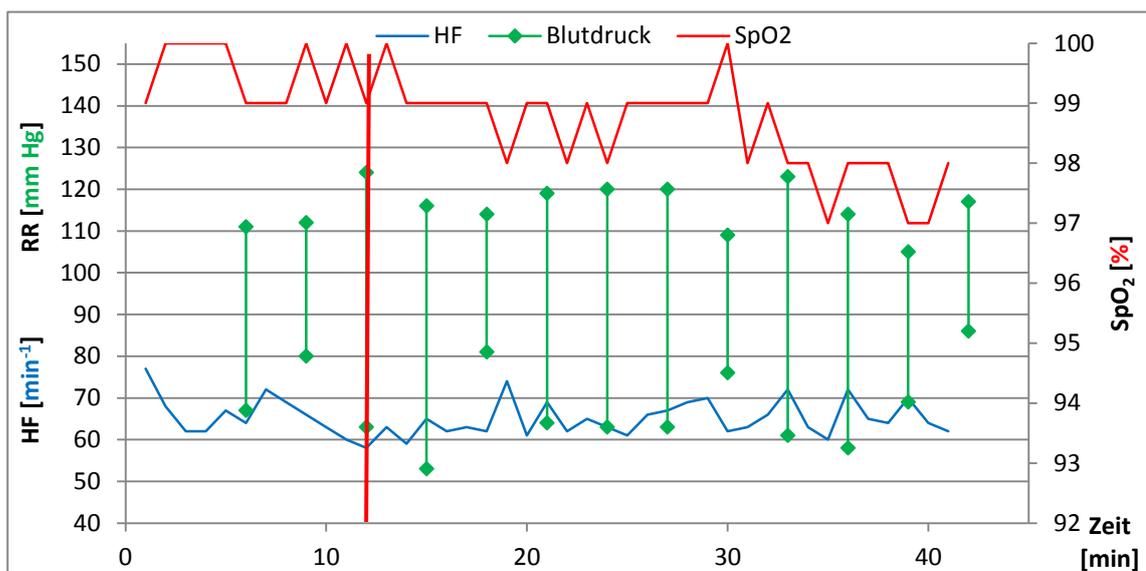
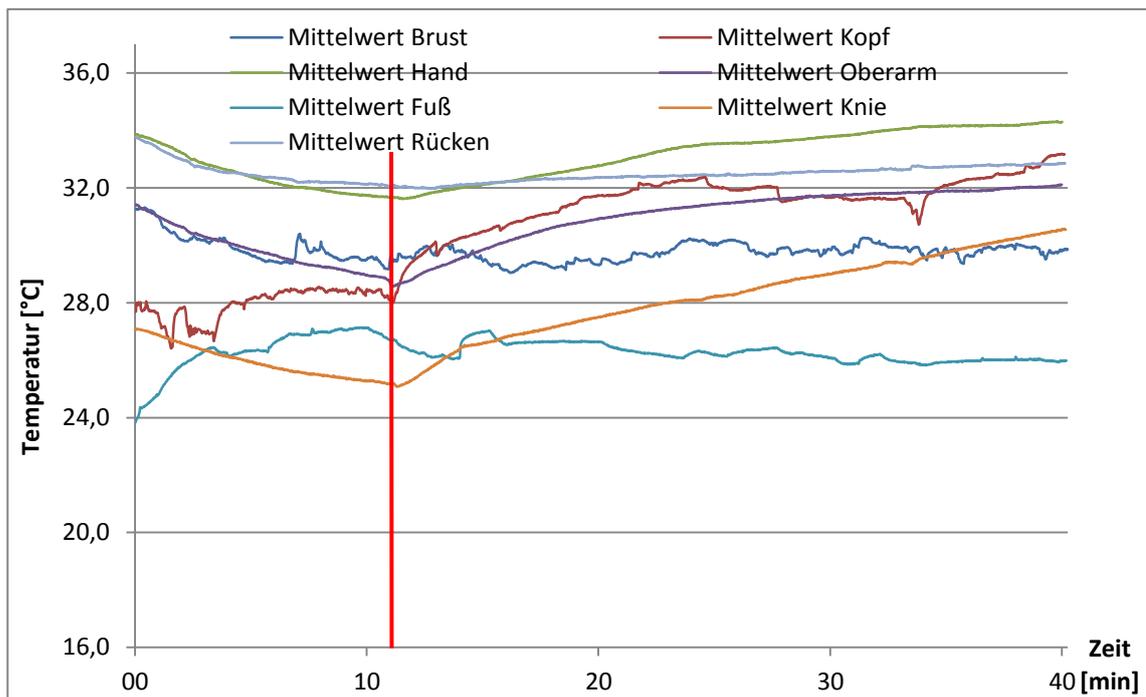
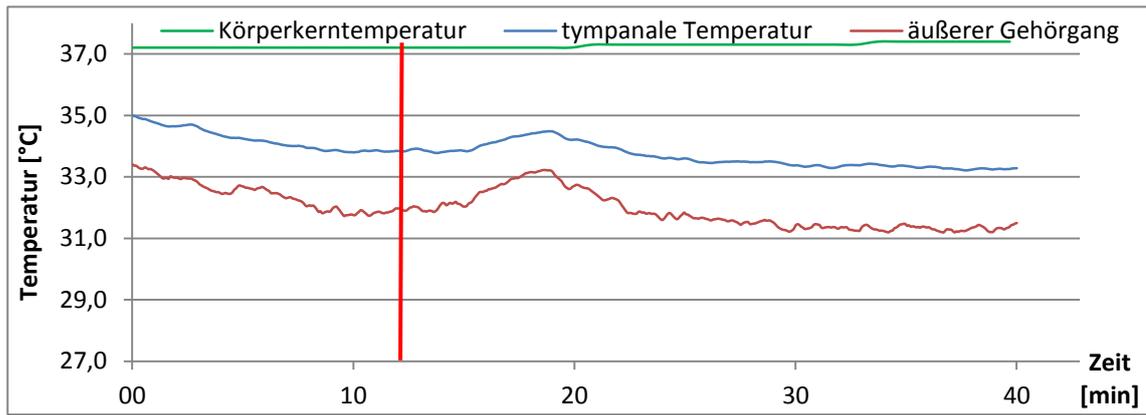


Abbildung 50: Proband 3, 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M[®] Bair Hugger[®]
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

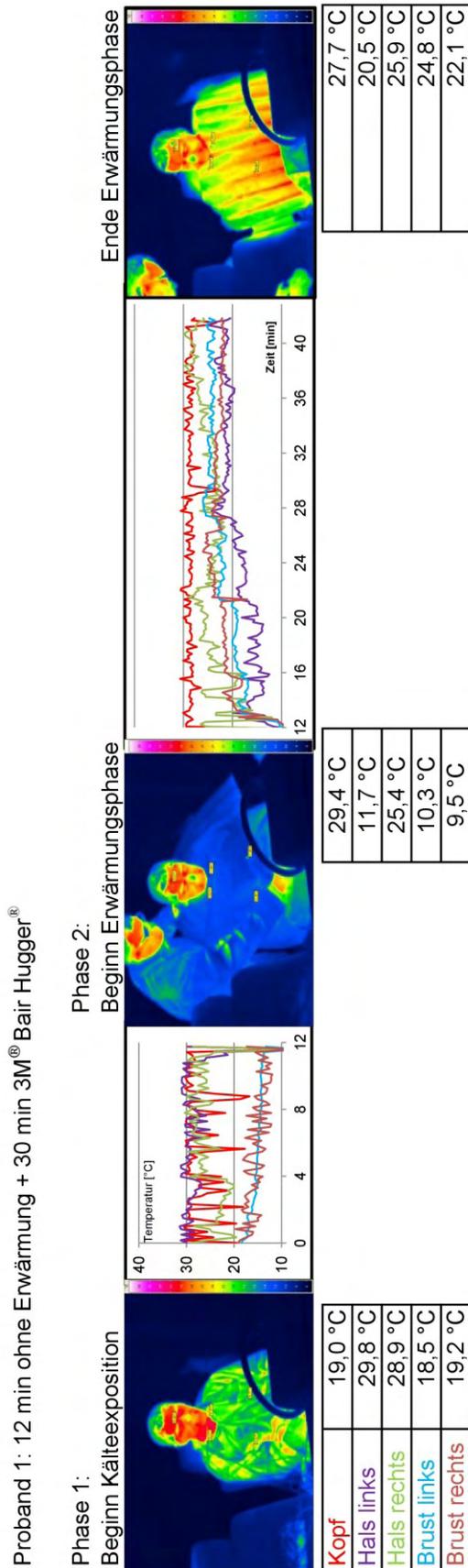


Abbildung 51: Infrarotbilder der Messung 3 von Proband 1 mit entsprechendem Temperaturverlauf der Messpunkte. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM[®] hr inspect 400)

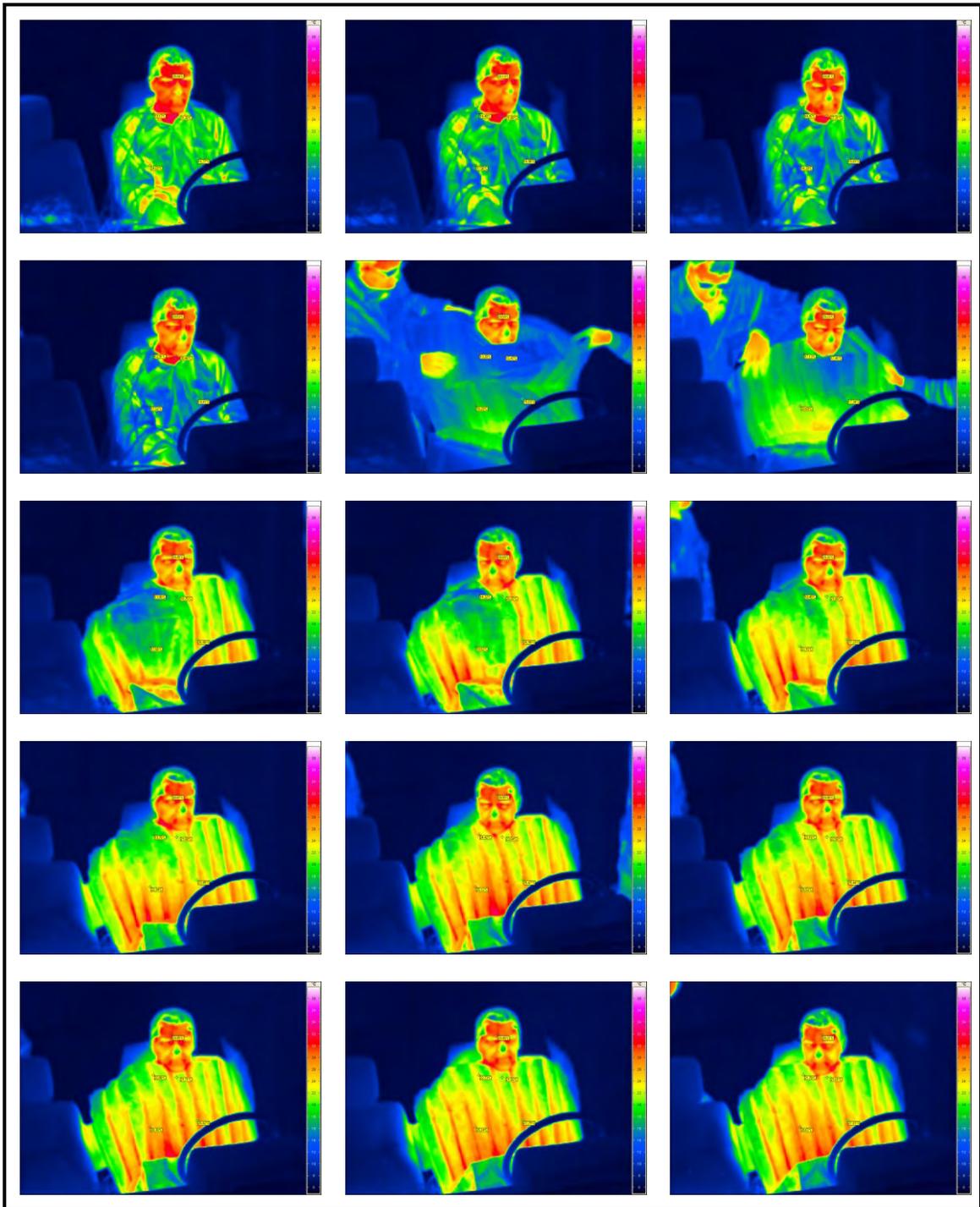


Abbildung 52: Zeitlicher Verlauf der Infrarotbilder der Messung 3 von Proband 1. Die Aufnahmen sind als Video auf der DVD im Anhang vorhanden. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM® hr inspect 400)

4.3.3 Messung 3: 12 min ohne Erwärmung + 30 min 3M[®] Bair Hugger[®]

Phase 1: Kälteexpositionsphase

Die Körperkerntemperatur ist, ähnlich zu den bisherigen Messungen, gleich geblieben.

Die mit dem cosinuss[°]-Sensor gemessenen Temperaturen zeigten erneut eine Senkung auf, jedoch ist diese bei dieser Messung stark variabel. Proband 1 zeigt hier den bisher signifikantesten Abfall der Temperatur auf.

Die Temperatur-Senkungen an der Hautoberfläche sind, ähnlich der vorhergehenden Messung, zu beobachten. Bis auf unerhebliche Abweichungen fallen hier alle Temperaturen innerhalb der Kälteexpositionsphase. Bei Proband 3 ist hier jedoch die Temperatur am Knie die Geringste. Die Höhe des Temperaturverlustes von ca. 2 °C ist übereinstimmend unter den Probanden.

Innerhalb der Kälteexpositionsphase werden keine Auffälligkeiten der physiologischen Daten verzeichnet.

Phase 2: Erwärmungsphase

Ebenfalls ist hier keine Veränderung der Körperkerntemperatur festzustellen.

Die am Ohr gemessenen Temperaturen steigen nach dem Einschalten des 3M[®] Bair Hugger[®] nicht an. Bei Proband 3 ist lediglich erneut ein kurzer Anstieg dieser Temperaturen festzustellen, was vermutlich auf einen entweichenden Luftstrom der Wärmedecke in Richtung des Sensors zurückzuführen ist.

Die warme Luft, welche über die aufgelegte Decke auf dem Körper verteilt wird, erwärmt lediglich die Bereiche, die sich im Bereich der Decke befinden. Vorrangig werden so wieder Hände, Oberarme und Brust erwärmt. Trotz einer Aufwärmphase von ungefähr zwei Minuten des Temperaturmanagementgeräts, wird ein sofortiger Anstieg der Temperaturen aufgezeichnet.



Abbildung 53: Proband 1 in der Erwärmungsphase mit dem 3M[®] Bair Hugger[®] System. Der Luftstrom erfolgt aufwärts der Oberschenkel. Je nach Decke und räumlichen Verhältnissen kann unter Umständen auch eine Erwärmung der Beine erreicht werden

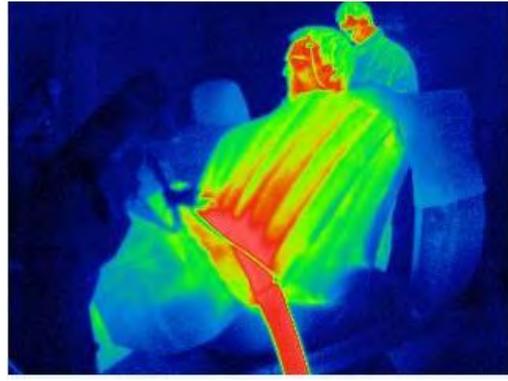


Abbildung 54: Infrarotbild: Proband 1 in der Erwärmungsphase mit dem 3M[®] Bair Hugger[®] System
 T_{\max} : Stirn = 28,4 °C

In der Erwärmungsphase sind auch bei dieser Messung keine Besonderheiten festzustellen. Proband 1 zeigt nur Schwankungen in der Sauerstoffsättigung, was wiederum auf die Störanfälligkeit der Pulsoxymetrie schließen lässt.

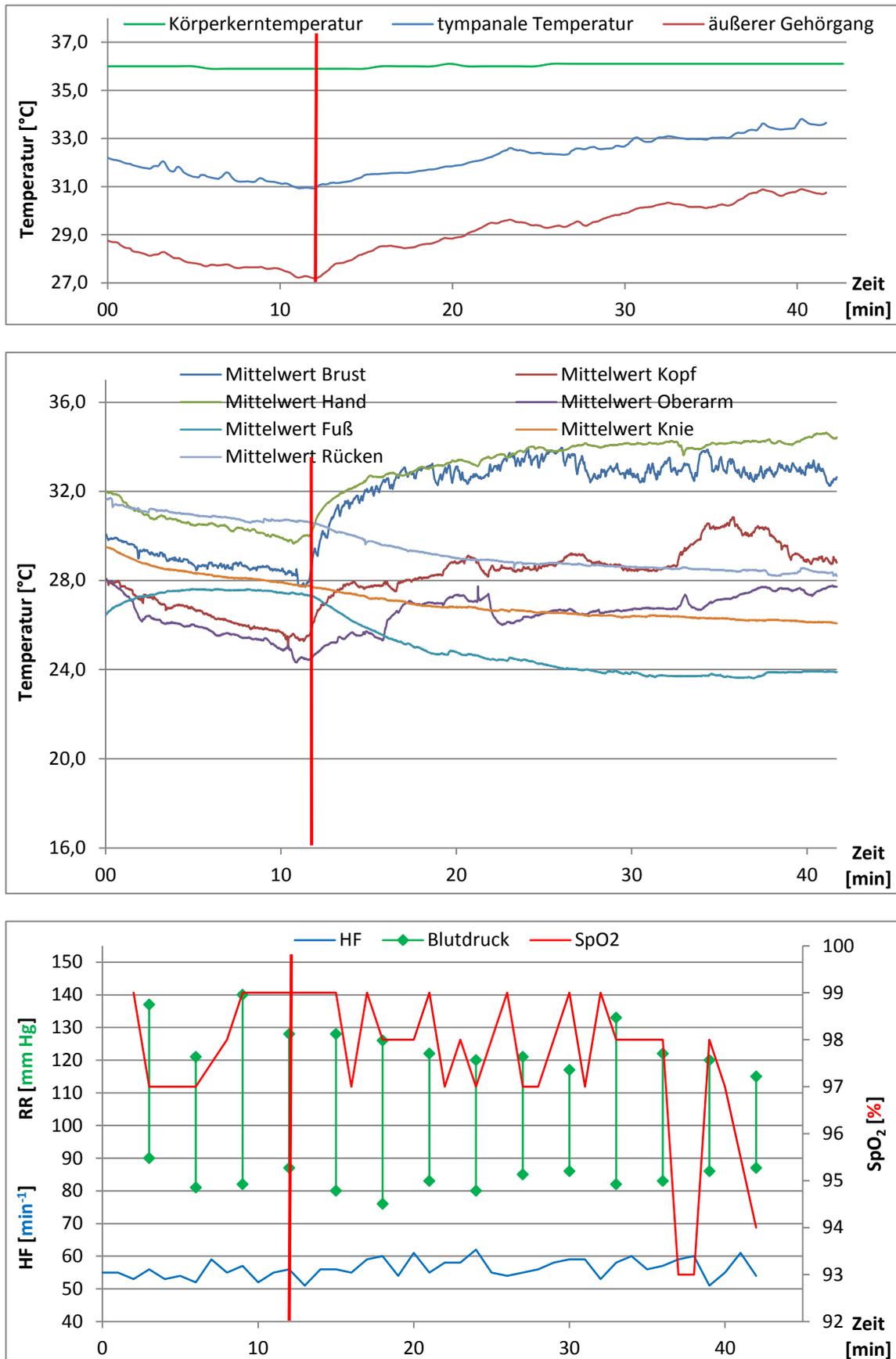


Abbildung 55: Proband 1, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler
 Diagramm 1: Körperkerntemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

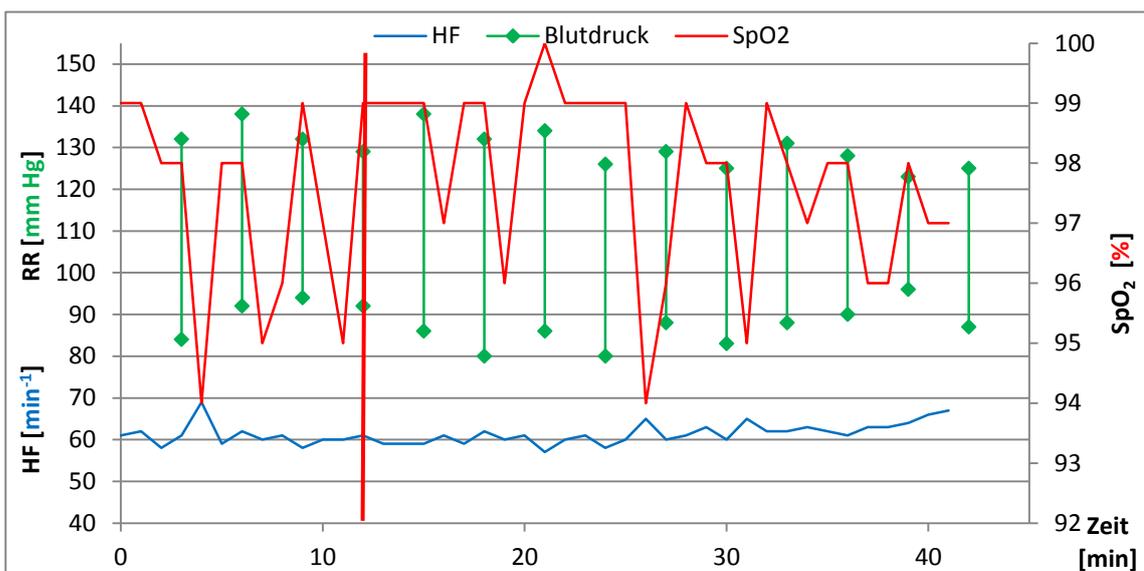
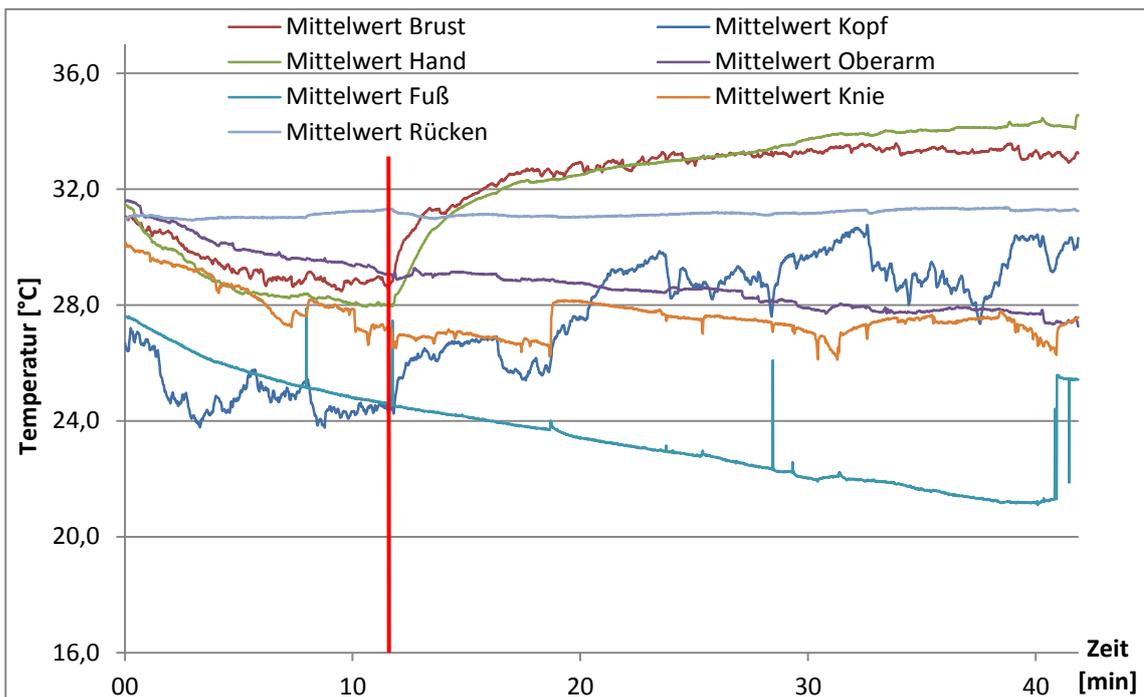
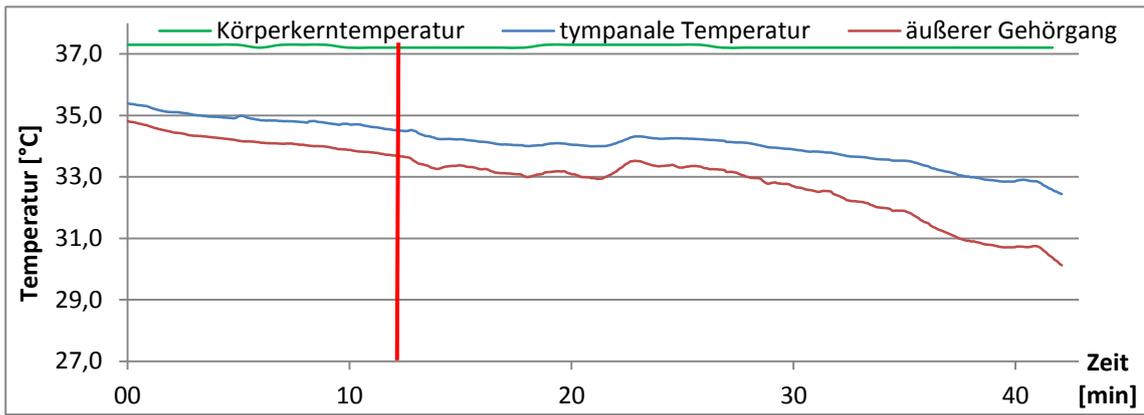


Abbildung 56: Proband 2, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

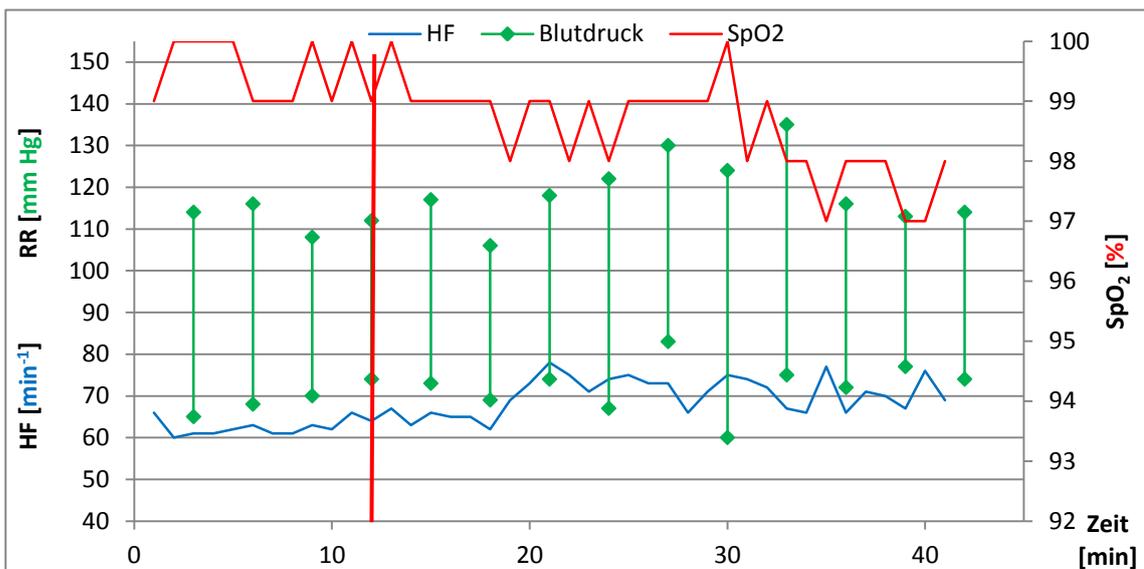
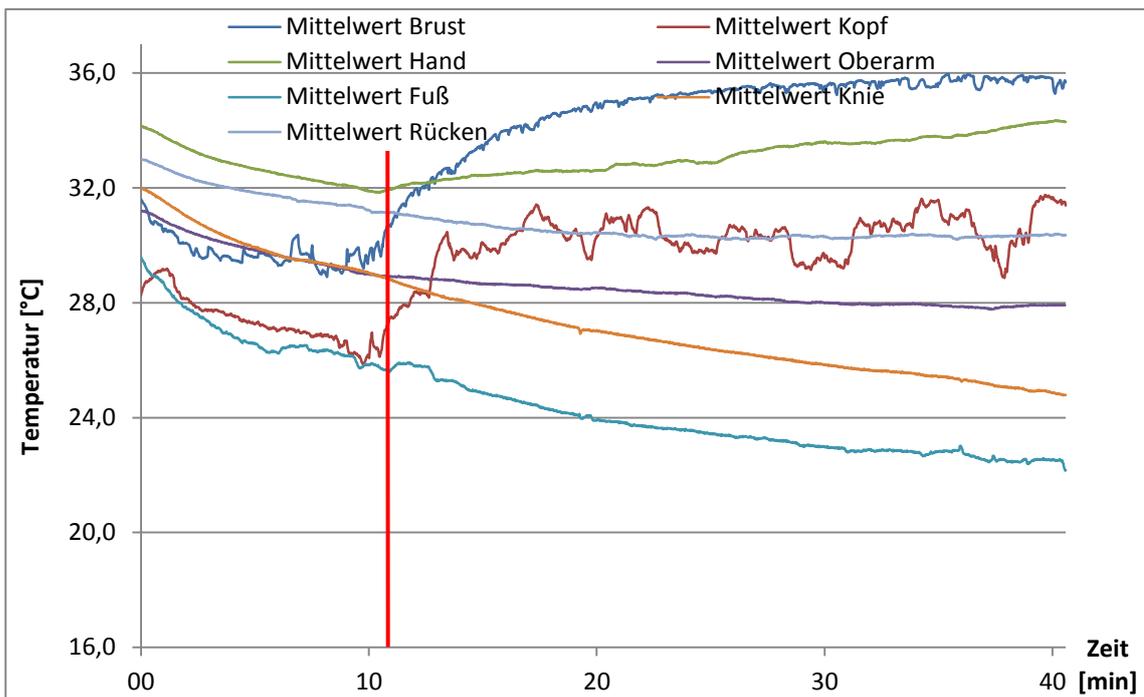
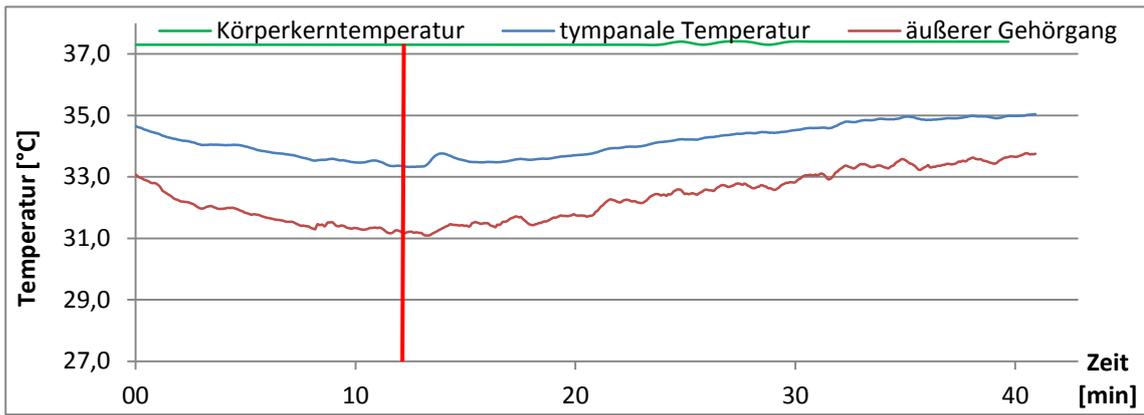


Abbildung 57: Proband 3, 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler
 Diagramm 1: Körpertemperatur, tympanale Temperatur, Temp. äußerer Gehörgang
 Diagramm 2: Temperaturfühler Körperoberfläche
 Diagramm 3: Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung

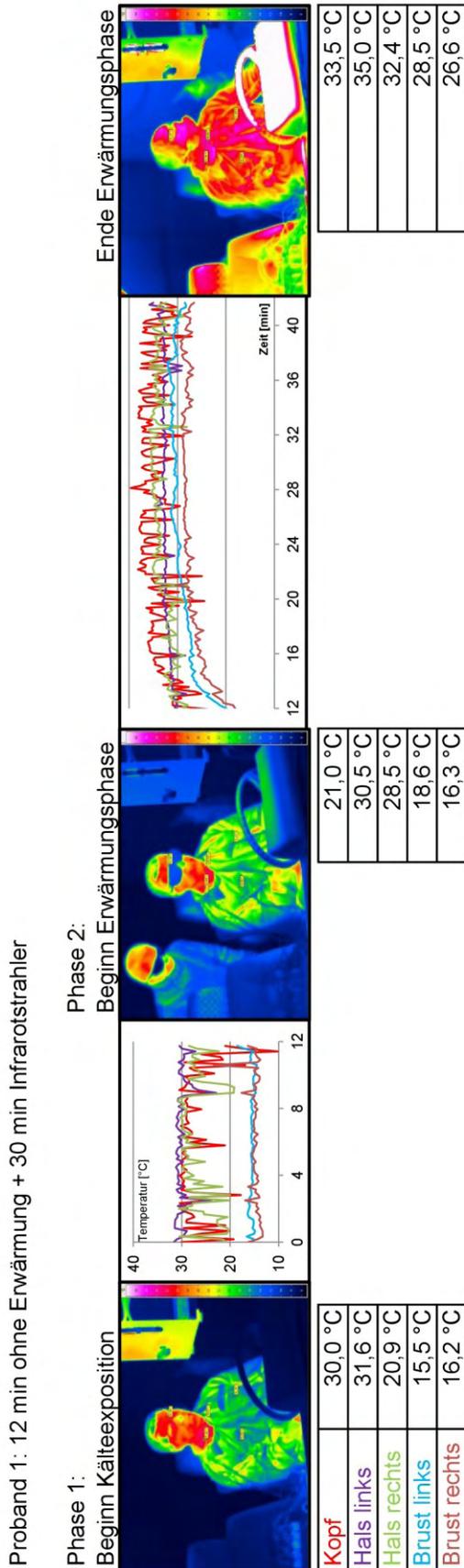


Abbildung 58: Infrarotbilder der Messung 4 von Proband 1 mit entsprechendem Temperaturverlauf der Messpunkte. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM[®] hr inspect 400)

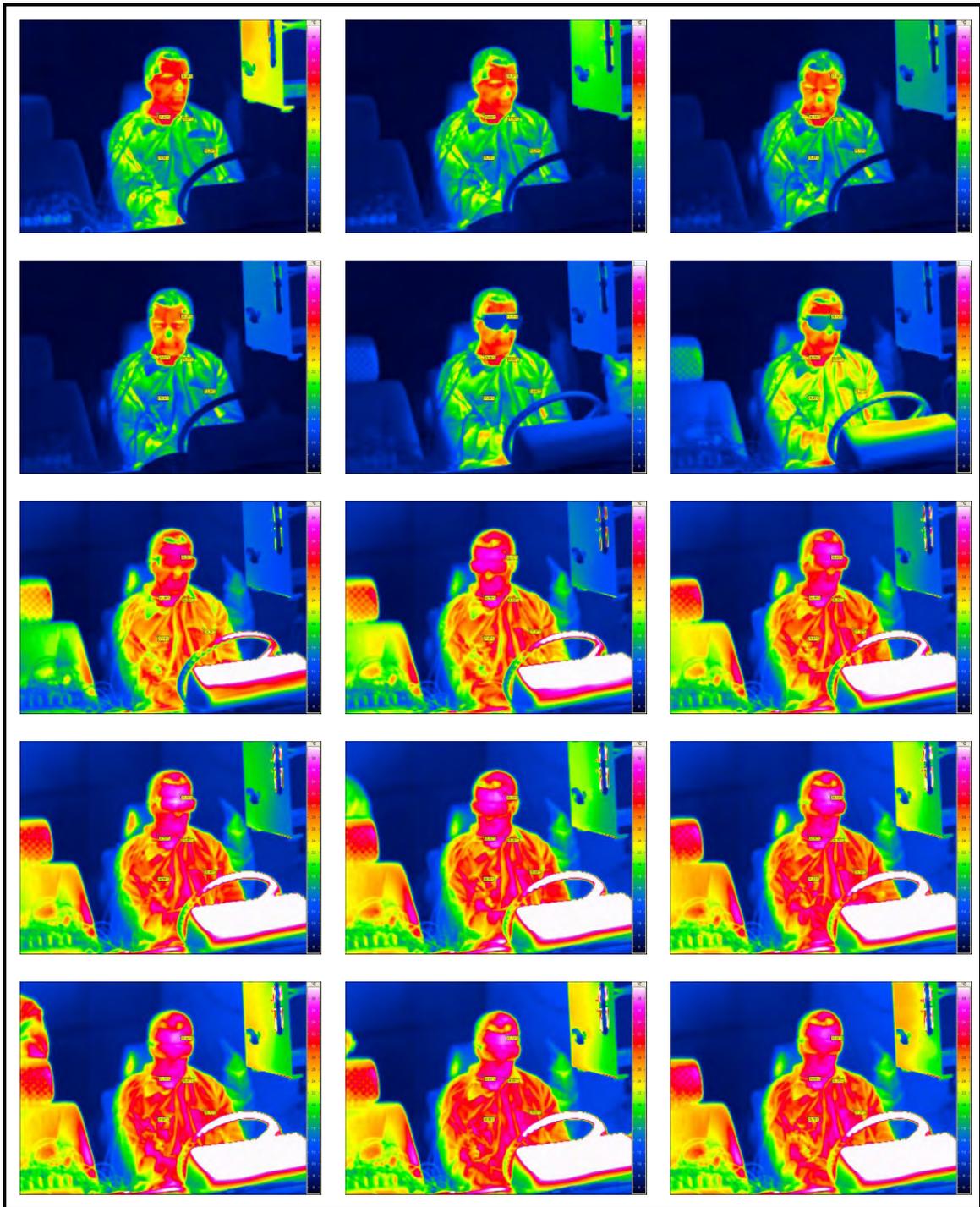


Abbildung 59: Zeitlicher Verlauf der Infrarotbilder der Messung 4 von Proband 1. Die Aufnahmen sind als Video auf der DVD im Anhang vorhanden. (Aufnahme: InfraTec VarioCAM® hr inspect 400)

4.3.4 Messung 4: 12 min ohne Erwärmung + 30 min Infrarotstrahler

Phase 1: Kälteexpositionsphase

Die Körperkerntemperatur weist keine Abweichungen in der Kälteexposition auf.

Die Temperaturen, die über den $\cos\text{inuss}^\circ$ -Sensor gemessen wurden, fallen hier vergleichbar zu den vorhergehenden Messungen ab. Bei Proband 1 zeigt sich hier erneut der größte Temperaturabfall.

Die Messsensoren der Hautoberfläche stellen hier vergleichbare Werte zu den vorherigen Messungen dar. Alle Temperaturen sinken kontinuierlich bis zur Erwärmungsphase.

Die physiologischen Parameter befinden sich innerhalb dieser Phase im Normbereich.

Phase 2: Erwärmungsphase

Während der Erwärmungsphase ist weiterhin keine Änderung der Körperkerntemperatur festzustellen.

Die Erwärmung mit dem Infrarotstrahler zeigt bei Proband 1 und Proband 3 einen raschen Anstieg beider Temperaturen, welche auch über die Anfangstemperaturen steigen.

Ein Anstieg der Hautoberflächentemperaturen erfolgt direkt zu Beginn der Erwärmungsphase. Ähnlich der Messung 1, bei der eine kürzere Erwärmung mit dem Infrarotstrahler stattgefunden hat, steigen auch hier primär die Temperaturen der Körperbereiche, die im direkten Bestrahlungsfeld des Infrarotstrahlers liegen. Die schnellste Erwärmung findet somit wieder im Bereich des Kopfes, der Brust und der Hände statt.



Abbildung 60: Proband 2 in der Erwärmungsphase mit dem Infrarotstrahler
Abstand: 1,0 m



Abbildung 61: Infrarotbild: Proband 2 in der Erwärmungsphase mit dem Infrarotstrahler
 T_{\max} : Stirn = 35,33 °C

Die physiologischen Parameter weisen auch innerhalb der zweiten Phase keine nennenswerten Veränderungen auf. Erneut ist jedoch auf die Störanfälligkeit der Pulsoxymetrie hinzuweisen.

4.3.4.1 Diskussion Messung 2–4

Die Messungen 2 bis 4 zeigten, wie sich die Temperaturverläufe der drei Probanden nach einer zwölfminütigen Kälteexpositionsphase mit den jeweiligen Erwärmungssystemen verändern. Nach der ersten Phase, die über alle Probanden weitgehend gleiche Temperaturverläufe lieferte, war eine kongruente Ausgangssituation aller Systeme gegeben. In der Erwärmungsphase lassen sich dann jedoch erhebliche Unterschiede ermitteln.

Die Zeit von 30 Minuten zur vollständigen Aktivierung der Mölnlycke Barrier[®] EasyWarm[®] ist deutlich nachweisbar. Der Effekt, der sich auch in den Diagrammen darstellt, ist vorrangig auf die isolierende Wirkung der Decke zurückzuführen, ähnlich einer weiteren Bekleidungsschicht. Nach Beendigung der zweiten Phase haben die Wärmepads eine Temperatur von gut 20 °C erreicht. Dadurch werden explizit auch nur die Stellen erwärmt, die sich im Bereich der Wärmepads befinden. Dies zeigt sich in den Diagrammen, in denen nach kurzer Zeit zwar steigende Hautoberflächentemperaturen zu beobachten

sind, diese jedoch im Bereich der Wärmepads liegen. Positiv zeigt sich eine langsamere Abkühlung der übrigen Körperregionen, sodass zumindest ein zeitlicher Faktor gewonnen wird.

Der Infrarotstrahler und der 3M[®] Bair Hugger[®] zeigten beide schnelle Anstiege der gemessenen Temperaturen des cosinuss[°]-Sensors und der Hautoberfläche.

Die Bair Hugger[®] Therapie bietet aufgrund der Warmluftdecke sowohl Schutz, als auch eine ideale Wärmeverteilung auf dem Körper. Obwohl das Temperaturmanagementgerät eine Aufwärmzeit von wenigen Minuten benötigt, was je nach Umgebungstemperatur schwanken kann, ist eine rasche Zunahme der Hautoberflächentemperaturen zu beobachten. Je nach räumlicher Gegebenheit und Ausführung der Decke, sowie derer Befestigung, lassen sich wiederum nur die Körperregionen erwärmen, die unterhalb der Decke liegen. In der Klimakammer war diese Problematik nicht gegeben, sodass alle Probanden ein gutes Wärmegefühl mit dem 3M[®] Bair Hugger[®] verspürten.

Der Infrarotstrahler lieferte beträchtliche Anstiege aller Temperaturen. Auch hier ist hauptsächlich eine Erhöhung der Temperatur in den Bereichen zu beobachten, in denen die Infrarotstrahlung direkt wirken kann.

Auf eine geeignete Positionierung des Infrarotstrahlers sollte somit im Einsatzfall geachtet werden, damit eine möglichst homogene Bestrahlung erfolgen kann. In der Klimakammer bestand ein weitgehend idealer Aufbau des Infrarotstrahlers mit einem festen Abstand von 1,0 m und einem steilen Inzidenzwinkel der Infrarotstrahlung.

5 Fazit

Die statistische Analyse der Leitstellen-Datenbank im ländlich strukturierten Kreis Gütersloh zeigt, dass eine Indikation für eine Hypothermie-Prävention nach Verkehrsunfällen gegeben ist. Von den 45 ermittelten Verkehrsunfällen innerhalb der kalten Jahreszeit, lag bei 34 Verkehrsunfällen die Umgebungstemperatur unterhalb 10 °C. Zusätzlich wurde bei 24 Einsätzen eine Klinikeinlieferungszeit von über 60 Minuten festgestellt, die oftmals auch auf eine lange Rettungsphase innerhalb des Einsatzes hinweist. Die Problematik der steigenden Rettungszeiten wird von der ADAC-Unfallforschung belegt.⁷² Aufgrund immer steiferer Karossen und widerstandsfähigerer Werkstoffe, stoßen die hydraulischen Rettungsgeräte zunehmend an ihre Grenzen. Innerhalb dieser Phase sollte der Verunfallte jedoch vor einer protrahierten Hypothermie geschützt werden. Neben der Umgebungstemperatur, wird diese durch Witterungseinflüsse, wie Wind oder Niederschlag, aggraviert. Die Hypothermie wird als ein wesentlicher Faktor in der Entwicklung posttraumatischer Komplikationen diskutiert, da hierdurch eine Begünstigung einer Azidose und einer Koagulopathie induziert wird.

Neben der primären Bemühung, eine zeitoptimierte Rettung des Patienten durchzuführen, wurde in dem durchgeführten Szenario eine Einbindung der Wärmungsmethoden in den standardgemäßen Rettungsablauf erprobt. Vorrangig sollten die üblichen Aufgaben der technischen und medizinischen Rettung nicht beeinträchtigt werden und zeitgleich verschiedene Strategien der Hypothermie-Prävention erprobt werden. Die besten Eigenschaften konnte hierbei der entwickelte Infrarotstrahler aufweisen. Die Meinung der eingesetzten Rettungskräfte korreliert dahingehend, dass sowohl der unkomplizierte und schnelle Aufbau, als auch die äußerst geringe Beeinträchtigung der umliegenden Arbeiten zielführend in der präklinischen Phase ist. Um ausreichend Wärme zuzuführen ist es wichtig, einen entsprechend geeigneten Aufstellungs-ort des Strahlers zu finden. Die Aufstellung mit dem mitgeführten Stativ oder die

⁷² Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.

händische Positionierung bieten hier diverse Alternativen. Durch die Größe und das Gewicht des Strahlers wird eine hohe Flexibilität des Systems sichergestellt, um hier eine zügige Anpassung vorzunehmen.

Die Effizienzanalyse konnte eine Befürwortung des Infrarotstrahlers belegen. Die Temperaturverläufe zeigten bei allen Probanden unverzügliche Anstiege der bestrahlten Körperregionen und gaben, nach Aussage der Probanden, ein gutes Wärmegefühl. Ebenfalls zeigte der 3M[®] Bair Hugger[®] wirkungsvolle Temperaturverläufe in der Effizienzanalyse. Neben der primären Wärmung des Patienten, wird durch die Decke des Warmluftgebläses ein sekundärer Schutz gegenüber Wind und Nässe impliziert. Festgestellt wurde jedoch die äußerst schlechte Anpassung dieser Methode. Die Decke ist nur für eine horizontale Auflage geeignet und bietet keinerlei Fixierungspunkte. Zusätzliche Komplikationen können durch mehrere Patienten und den Aufstellradius des Temperaturmanagementgerätes, wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben, entstehen.

Nochmals soll hier erwähnt werden, dass eine aktive Erwärmung lediglich bei kreislaufstabilen und wachen Patienten erfolgen sollte. Kommt es aufgrund eines Volumenmangelschocks zu einer Vasokonstriktion der peripheren Gefäße, soll dadurch eine Umverteilung des Blutes in die lebenswichtigen Organe (Gehirn, Herz, Lunge) erfolgen. Man spricht dabei von einer Zentralisation. Wird nun eine aktive Patientenwärmung eingeleitet, kann es zu einer Vasodilatation kommen, sodass es möglicherweise zu einem Blutdruckabfall und einer erneuten Umverteilung des Blutes kommt, wodurch die Funktion der Organe nicht mehr gegeben ist.⁷³

⁷³ Schmidt et al. 2010: 619

6 Schlussfolgerung und Ausblick

6.1 Schlussfolgerung

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen zeigen die Relevanz der präklinischen Patientenwärmung, stellen hierfür verschiedene Techniken dar und ermöglichen eine entsprechende Bewertung dieser Technologien. Es kristallisierte sich hierbei der Infrarotstrahler - gefolgt von der Warmluftgebläsedecke - als signifikant vorteilhaft heraus. Aber auch der chemischen Wärmedecke, als supplementäre Maßnahme, wird eine wesentliche Bedeutung zugesprochen, die beispielsweise in Ergänzung zur Infrarotstrahlung eine Einsatzindikation aufweist. Die Datenanalyse konnte aber einen Optimierungsbedarf der Infrarot-Technik darstellen, der in weiteren Entwicklungsschritten umzusetzen wäre.

Durch die erstmalig realitätsnah durchgeführten Übungen konnten Elemente des Strahlers ausfindig gemacht werden (Handhabung, Einzelschaltung, Temperaturüberwachung), die den Einsatzverlauf sicherer, einfacher und effizienter gestalten könnten. Im Nachhinein dieser Übungen sind diese Änderungen in die weitere Entwicklung aufgenommen worden.

6.2 Ausblick

Als technische Erweiterung wird derzeit über eine berührungslose Temperaturmessung zur Überwachung des Patienten nachgedacht. Mit einem, in den Infrarotstrahler, integriertem Infrarotthermometer soll die Oberflächentemperatur des Probanden kontinuierlich gemessen werden. Derzeit wird geprüft, ob ein Gerät der Firma Optris zur Anwendung kommen könnte. An diesem zweiteiligen System – einem Messkopf und einer Elektronikbox –, lassen sich unterschiedliche Grenzwerte definieren, die dann eine Warneinrichtung oder Abschaltung des Infrarotstrahlers auslösen könnten.

Als einschränkendes Problem könnte sich hier darstellen, dass die Temperaturmessungen je nach Messareal (Haut, Bekleidungsfläche) durch unterschiedliche Emissionsgrade (ϵ) eine Beeinflussung erfahren. Der Emissionsgrad ist ein stoffspezifischer Wert, der je nach Material, Oberfläche, Farbe und Transparenz eines Gegenstandes variiert. Mithilfe dieses Faktors soll der Messwert extrapoliert werden, damit bei der Infrarotthermographie die „wahre“ Temperatur ermittelt werden kann.⁷⁴



Abbildung 62: Messkopf mit Elektronikbox der Firma Optris⁷⁵

Alternativ wäre auch der einfach applizierbare cosinuss°-Sensor für eine Rückkopplung zum Infrarotstrahler zu erwägen. Weiterer Optimierungsbedarf der Handhabung, wie z. B. der Anpassung von Haltemöglichkeiten, Aufstellmöglichkeiten und die seitlich sichtbare Verstellung der beiden Infrarotstrahler, sind ebenfalls in Planung. Des Weiteren wird voraussichtlich eine Einzelschaltung der Strahler realisiert, um eine unkomplizierte Leistungsdrosselung vorzunehmen.

⁷⁴ Baehr 2010: 635ff

⁷⁵ Optris GmbH

Neben den technischen Optimierungen wird die praktische Erprobung des Infrarotstrahlers angestrebt. Denkbar wäre dabei, mehrere Standorte im Kreis Gütersloh oder auch überregional, mit dem entwickelten Strahler auszurüsten und diesen bei Verkehrsunfällen – wenn einsatztaktisch sinnvoll – einzusetzen. Ein hierfür notwendiger Antrag über die Ethikkommission ist in Arbeit.

Weitere Einsatzfelder des Infrarotstrahlers zur Wärmung von Personen könnte der Massenanfall von Verletzten (MANV) oder der Katastrophenschutz sein. Ebenso besteht die Alternative über eine Aufhängung mit Ketten und Karabinern den Infrarotstrahler, in beispielsweise Einsatzzelten, als Heizung zu montieren. Eine Wärmung von Rettungskräften bei Einsätzen, wie z. B. Ausleuchten der Einsatzstelle oder Um-/Abpumpmaßnahmen, wäre außerdem vorstellbar.

Somit sind Feldversuche bei Übungen, wie z. B. MANV-Übungen oder Katastrophenschutzübungen angedacht.

Da sich das gesamte Gerät jedoch noch in der Entwicklung und ersten Erprobung befindet, sind für den weiteren Verlauf zusätzliche Fragestellungen zu berücksichtigen. Die Kosten für den Infrarotstrahler sind derzeit noch nicht abschließend kalkulierbar. Neben den Infrarotstrahlern, die jeweils ca. 300,00 € kosten, wird derzeit geprüft, ob die o. g. berührungslose Temperaturmessung zur Anwendung kommt. Die Kosten hierfür betragen ca. 450,00 €. Mit den weiteren Kosten für die Entwicklung, Montage und Vertrieb werden die Kosten für einen Infrarotstrahler – größenordnungsmäßig – auf 2000,00 € approximiert.

Literaturverzeichnis

- Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.: Die ADAC-Rettungskarte.
- Antretter, H.; Dapunt, O. E. (1997): Therapie der akzidentellen Hypothermie. In: *Dtsch med Wochenschr* 122 (12), S. 373–377.
- Baehr, Hans Dieter (2010): Wärme- und Stoffübertragung. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Cowley, R. A. (1976): The resuscitation and stabilization of major multiple trauma patients in a trauma centre environment. In: *Clinical Medicine* (83) S. 14
- DIN 5031-7, (1984: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Benennung der Wellenlängenbereiche.
- Dönitz, S. (2009): Untersuchung von Notfallpatienten: ABCDE – voll okay! In: *Rettungsdienst* (11).
- Donner; Fischer; Klein et al. (2001): Hinweise und Empfehlungen für die Anfertigung von Brandschutzbedarfsplänen für die Gemeinden des Landes Nordrhein-Westfalen. Landesfeuerwehrverband Nordrhein-Westfalen e. V., (28.12.2012).
- Dover; Philips; Kenneth (1989): Cutaneous effects and therapeutic uses of heat with emphasis on infrared radiation. In: *Journal of the American Academy of Dermatology* 20.
- Greene, L.; Hardy, D. (1962): Adaptation of thermal pain in the skin. In: *Journal of Applied Physiology* (17), S. 693–696.
- Gregory, James S.; Flancbaum, Louis; Townsend, Michael C. et al. (1991): Incidence and Timing of Hypothermia in Trauma Patients Undergoing Operations. In: *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care* 31 (6), S. 795–800.
- Günther: Wärme an Bord. In: *Feuerwehr-Magazin* 2005 (1), S. 46–47.
- Helm, M.; Lampl, L.; Hauke, J. et al. (1995): Akzidentielle Hypothermie bei Traumapatienten. In: *Der Anaesthetist*, S. 101–107.
- Hering, Ekbert; Stohrer, Martin; Martin, Rolf (2007): Physik für Ingenieure. 10. Aufl. Berlin: Springer.
- Herwig, Heinz; Moschallski, Andreas (2006): Wärmeübertragung. Physikalische Grundlagen, illustrierte Beispiele, Übungsaufgaben mit Musterlösungen. Wiesbaden: Vieweg.
- Hildebrand, Frank; Giannoudis, Peter V.; van Griensven, Martijn et al. (2004): Pathophysiologic changes and effects of hypothermia on outcome in elective surgery and trauma patients. In: *The American Journal of Surgery* 187 (3), S. 363–371.
- Jans, Judith; Schul, Wouter; Sert, Yurda-Gul et al. (2005): Powerful skin cancer protection by a CPD-photolyase transgene. In: *Current Biology* 15 (2), S. 105–115.

- Jones, B.F (1998): A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. In: *IEEE Trans. Med. Imaging* 17 (6), S. 1019–1027.
- Kühn, Dietmar; Aechter, Jürgen (2007): *Rettungsdienst heute*. 4. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer.
- Meffert, B.; Meffert, H. (2000): Optische Strahlung und ihre Wirkungen auf die Haut. In: *Biomedizinische Technik* 45 (4), S. 98–104.
- Menzel-Severing, J.; Hering, R.; Schroeder, S. (2003): Präklinisches Notfallmanagement der Unterkühlung. In: *Notfallmedizin* (29), S. 514–520.
- Polderman, Kees H. (2004): Application of therapeutic hypothermia in the intensive care unit. In: *Intensive Care Medicine* 30 (5), S. 757–769.
- Rais, M. (2008): Pharmazeutische Zeitung. PZ : Apotheker-Zeitung ; Zentralorgan für die Apotheker der Bundesrepublik Deutschland 27.
- Raulin, Christian (2003): *Laser- und IPL-Technologie in der Dermatologie und ästhetischen Medizin*. 2. Aufl. Stuttgart ;, New York: Schattauer.
- Schäffler, Arne; Amberg, Stephan C. (1999): *Mensch, Körper, Krankheit*. 3. Aufl. München: Urban & Fischer.
- Schmidt, Robert F.; Lang, Florian; Heckmann, Manfred (Hg.) (2010): *Physiologie des Menschen*. 31. Aufl. Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Scholz, Jens (Hg.) (2008): *Notfallmedizin*. 2. Aufl. Stuttgart ; New York, NY: Thieme.
- Seekamp, A.; Ziegler, M.; Biank, J. (1996): Der Unfallchirurg. Die Bedeutung der Hypothermie beim polytraumatisierten Patienten (99), S. 100–105.
- Sefrin, P.; Rosenberger, H. R. (2009): Hypothermie bei Traumapatienten. In: *Notfall + Rettungsmedizin* 12 (2), S. 109–116.
- Sefrin, P.; Specht, E.; Wüst, W. et al. (2012): Wärmeprotektion bei Notfallpatienten - Stellenwert der Rettungsdecke. In: *Notarzt* 28 (04), S. 162–164.
- Shackford, Steven R. (1995): *Horizons in trauma surgery*. Philadelphia: Saunders.
- Siekman, H. (2002): *Gefährdung der Augen durch optische Strahlung*.
- Thienel, K.-Ch (2008): *Werkstoffe des Bauwesens Glas*. München, (2008).
- Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (2010): *Technisch-medizinische Rettung nach Verkehrsunfällen*. In: *vfdb-Richtlinie* (06/01).
- Weast, R. C.; Astle, M. J. (1981): *CRC handbook of chemistry and physics*. 61. Aufl. Boca Raton.
- Wieliczka, D. M.; Weng, S.; Querry, M. R. (1989): Wedge shaped cell for highly absorbent liquids: infrared optical constants of water. In: *Applied optics* 28 (9), S. 1714–1719.
- Ziegelberger, G. (2006): ICNIRP Statement on far infrared radiation exposure. In: *Health Physics Society*.

Weblinks

3M®:

http://solutions.3mdeutschland.de/wps/portal/3M/de_DE/Healthcare-Europe/EU-Home/Products/InfectionPrevention/Patient_Warming/Bair_Hugger_Therapy/Warming_units, (20.12.2012).

Anton, H. (2003): Infrarot-Thermographie. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München:

http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/documents/bauphysik/infrarot_thermographie.pdf, (08.01.2013).

Boggasch, M.: Solavital-Sonnenlichtsaunen:

http://www.solavital.de/content/bilder/ir_bild.jpg, (30.12.2012).

Bräuer, A.: Verfahren der perioperativen Wärmeprotektion:

<http://www.hypothermie.de/perioperative%20waermeprotektion.htm>, (28.12.2012).

cosinuss° GmbH: <http://cosinuss.com/index.php?site=5>, (29.12.2012).

FIZ Chemie:

<http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/8/bc/enzymregulation/bilder/temp.gif>, (05.12.2012).

Freyer, T.: Spineboard:

<http://flexikon.doccheck.com/de/Spineboard>, (20.11.2012).

Horst Frank, Jailbird and Phrood (2008):

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/Electromagnetic_spectrum_c.svg, zuletzt aktualisiert am 17.03.2008, (30.12.2012).

Kreisverwaltung Gütersloh: Daten Kreis Gütersloh:

<http://www.kreis-guetersloh.de>, (03.01.2013).

imowell GmbH: www.infrarot-heizungen.net, (28.12.2012).

Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen

(2011): Volkswirtschaftliche Kosten von Verkehrsunfällen:

http://www.mik.nrw.de/fileadmin/user_upload/Redakteure/Dokumente/Themen_und_Aufgaben/Schutz_und_Sicherheit/VU_2011/VU_2011_Kosten.pdf, (09.01.2013).

Mölnlycke Health Care GmbH:

http://www.molnlycke.com/Old/Global/DE/Sortiments%C3%BCbersicht%202012_2013_130912%20%282%29.pdf, (29.12.2012).

Optris GmbH: <http://www.optris.de>, (04.01.2012).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt:

http://www.weltderphysik.de/uploads/tx_wdpmedia/20093027_herschel_versuch_PTB_rdax_640x297.jpg, (07.12.2012).

Solamagic GmbH: <http://www.solamagic.com>, (29.12.2012).

wissenmedia GmbH (2008):

<http://www.jameda.de/gesundheits-lexikon/bilder/big/506741.jpg>, (10.12.2012).

Anhang A: Abkürzungsverzeichnis

A.1 Abkürzungen

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
BG ETEM	Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNS	Desoxyribonukleinsäure
e. V.	eingetragener Verein
EKG	Elektrokardiogramm
EN	Europäische Norm
et al.	et alii (und andere)
HF	Herzfrequenz
ΔH_f°	Standardbildungsenthalpie
HLF	Hilfeleistungs-Löschgruppenfahrzeuge
HWS	Halswirbelsäule
IP	International Protection
IR	Infrarot
ISS	Injury Severity Score
KKW	Krankenkraftwagen
LKW	Lastkraftwagen
MANV	Massenanfall von Verletzten
MIR	Mittleres Infrarot
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
NIR	Nahes Infrarot
OP	Operationssaal

PKW	Personenkraftwagen
rel.	relativ
RR	Riva-Rocci
RTW	Rettungswagen
RW	Rüstwagen
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviolett
Vfdb e. V.	Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.
VIS	visible
XML	Extensible Markup Language

A.3 Einheiten

%	Prozent
°C	Grad Celsius
µm	Mikrometer
A	Ampere
cm	Zentimeter
g	Gramm
h	hour (Stunde)
K	Kelvin
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
km	Kilometer
km ²	Quadratkilometer
kW	Kilowatt
m	Meter
m ²	Quadratmeter
min	Minute
mm	Millimeter
mol	Stoffmenge
nm	Nanometer
V	Volt
W	Watt
Ω	Ohm

Anhang B: Tabellen, Fragebögen, Zeichnungen

Tabelle 7: Übersicht Probanden

	Geschlecht	Größe [m]	Gewicht [kg]	Alter [Jahre]
Proband 1	Männlich	1,82	86	45
Proband 2	Männlich	1,90	87	41
Proband 3	Weiblich	1,65	67	46

Tabelle 8: Technische Ausstattung

Gerät	Hersteller/Bezeichnung
Hydraulikaggregat	Weber-Hydraulik E 50-T+SAH20
Schneidgerät	Weber-Hydraulik RSX200-107
Spreizer	Weber-Hydraulik SP 49
Zylinder 1	Weber-Hydraulik RZT2-1500
Zylinder 2	Weber-Hydraulik RZT2-775
Patientenschutzschild	Weber-Hydraulik Splitterschutz Dreieck
Patientenschutzschild	Weber-Hydraulik Splitterschutz Rechteck
Kantenschutz	Weber-Hydraulik Schutzdeckenset
Unterbaumaterial	Weber-Hydraulik Stab-Pack
Schwelleraufsatz	Weber-Hydraulik Schwelleraufsatz
Druckplatte	Weber-Hydraulik Armatur-Druckplatte vorn
Druckplatte	Weber-Hydraulik Armatur-Druckplatte hinten
Glassäge	Weber-Hydraulik Glas-Ex
Körner	Weber-Hydraulik Federkörner
AIRBAG-Schutz	Weber-Hydraulik OCTOPUS
Kabeltrommel	Brennenstuhl Garant® S IP 44
Werkzeug	Feuerwehr-Werkzeugkasten nach DIN 14881
Brechwerkzeug	Weber-Hydraulik Halligan-Tool
Spineboard	Spencer B-BAK PIN

Tabelle 9: Erweiterte persönliche Schutzausrüstung

Gerät	Hersteller/Bezeichnung
Schutzbrille Rettungskräfte	3M [®] 2840
Schutzbrille Patient	3M [®] 2840
Schutzbrille Patient (Infrarot)	3M [®] 2805 IR 5
Staubschutzmaske	3M [®] 8822

Evaluationsbogen

Patient

Übung: Infrarotstrahler

1.	War in Ihren Augen der Aufbau des Infrarotstrahlers angemessen?	ja	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nein
2.	Fühlten Sie sich durch den Infrarotstrahler persönlich beeinträchtigt?	ja	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nein
3.	Hat Sie das Handling mit dem Infrarotstrahler der Rettungskräfte persönlich beeinträchtigt?	ja	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nein
4.	Welchen Eindruck hatten Sie von dem Handling der Rettungskräfte mit dem Infrarotstrahler?	einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer
5.	Fühlten Sie sich durch den Infrarot-Strahler gewärmt?	ja	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nein
6.	Fanden Sie die an Sie abgegebene Wärme des Infrarotstrahlers zu intensiv?	ja	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nein
7.	Fühlten Sie sich durch den Infrarotstrahler in irgendeiner Form verunsichert oder bedroht?	ja	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nein
8.	Fühlten Sie sich durch den Infrarotstrahler geblendet?	ja	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nein

10. Was fanden Sie an dem Infrarotstrahler negativ oder positiv?

Positiv	Negativ

Abbildung 63: Evaluationsbogen Patient für den Infrarotstrahler

Evaluationsbogen

Rettungskräfte

Übung: Infrarotstrahler

Funktion:

1. Wie war das Handling mit dem Infrarotstrahler? einfach schwer
2. Ist Ihnen der Aufbau/Einsatz des Infrarotstrahlers leicht gefallen? einfach schwer
3. Wie aufwendig war es in Ihren Augen den Infrarotstrahler einzusetzen? einfach schwer
4. Fühlten Sie sich persönlich durch den Infrarotstrahler beeinträchtigt? ja nein
5. Fühlten Sie sich bei ihrer Arbeit durch den Infrarotstrahler beeinträchtigt? ja nein
6. Fühlten Sie sich durch die abgegebene Wärme des Infrarotstrahlers beeinträchtigt? ja nein
7. War der Infrarotstrahler in Ihren Augen früh genug einsatzbereit? ja nein
8. War in Ihren Augen das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen des Infrarotstrahlers angemessen? ange- unan- gemessen
9. Ist es Ihrer Meinung nach möglich den Infrarotstrahler im realen Einsatz zu gebrauchen? ja nein

10. Was fanden Sie an dem Infrarotstrahler negativ oder positiv?

Positiv	Negativ

Abbildung 64: Evaluationsbogen Rettungskräfte für den Infrarotstrahler



Klimakammer 9+10 /Linke Seite

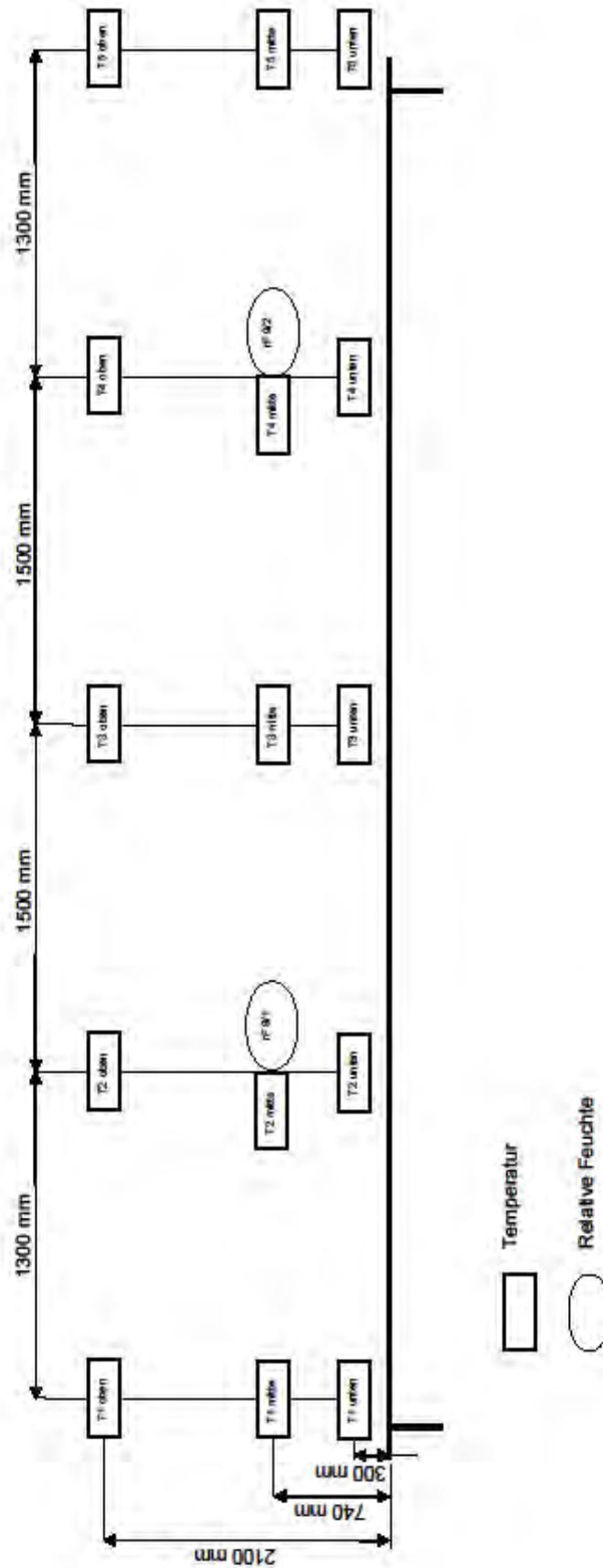


Abbildung 65: Anordnung der Temperatur- und Luftfeuchtefühler, linke Seite



Klimakammer 9+10 /Rechte Seite

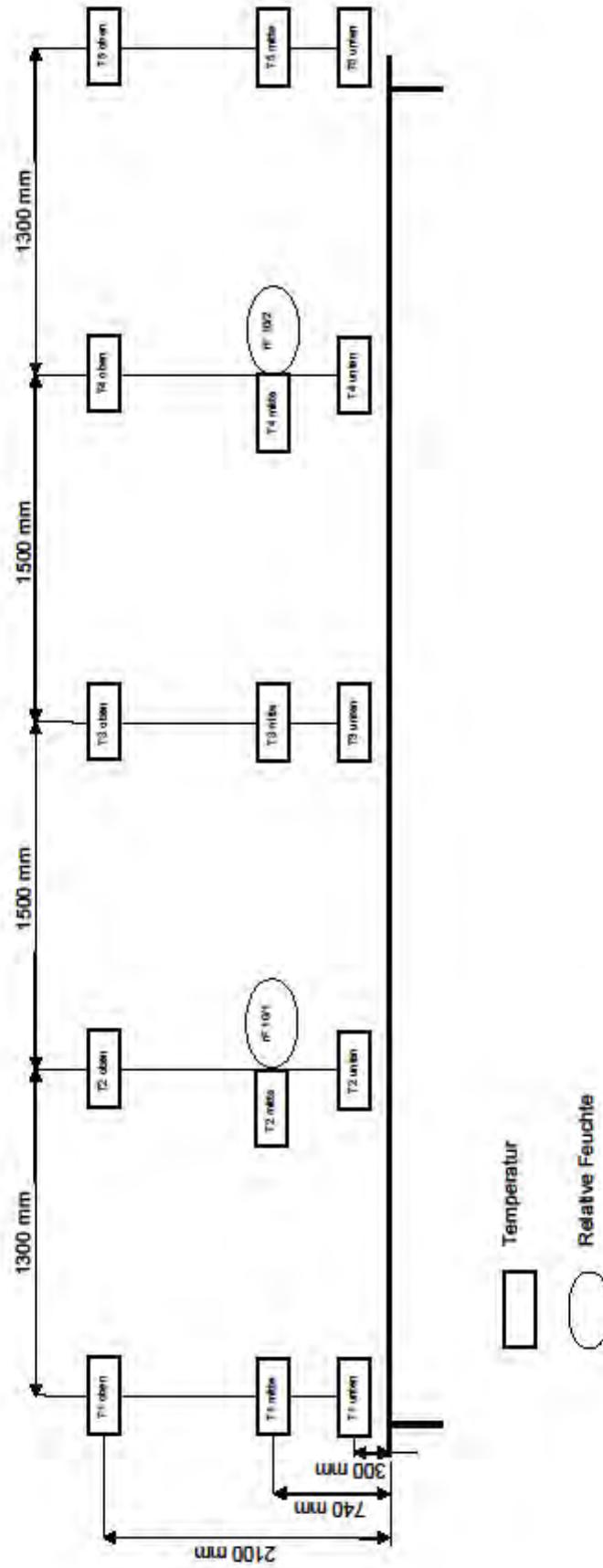


Abbildung 66: Anordnung der Temperatur- und Luftfeuchtefühler, rechte Seite

Anhang C: Curriculum Vitae

Name: Schöne
Vorname: Christian
Geburtsdatum: 23.01.1986
Geburtsort: Verl
Familienstand: ledig

Schulbildung:

1992–1996 Grundschule Isselhorst, Gütersloh
1996–2002 Geschwister-Scholl-Realschule,
Gütersloh,
Abschluss: Fachoberschulreife
2002–2003 Carl-Miele-Berufskolleg, Gütersloh
Berufsfachschuljahr für Informations-
und Telekommunikationstechnik
2004–2006 Carl-Miele-Berufskolleg, Gütersloh
Fachoberschule Technik Teilzeit
Abschluss: Fachhochschulreife

Berufsausbildung:

2003–2007 Carl-Miele-Berufskolleg, Gütersloh
Ausbildung zum Elektroinstallateur

Berufstätigkeit:

2007–2009 Elektroinstallateur Fa. Drewel,
Gütersloh

Studium:

2009–2013 HAW Hamburg, Bachelor of
Engineering Gefahrenabwehr/Hazard
Control

Praktika:

März 2012–Juli 2012 Werkfeuerwehr Infracor, Chemiepark
Marl

Sonstiges:

seit 2001 Mitglied der Freiwilligen Feuerwehr
Gütersloh, Isselhorst (Brandmeister)

seit 2012 Brandschutzbeauftragter (VdS)

Anhang D: Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, um mich bei allen zu bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, da diese ohne eine Vielzahl von Personen nicht möglich gewesen wäre.

Als erstes möchte ich dabei Dipl.-Biochem. Dr. med. Ralf Stroop, M.Sc. und Oberbrandmeister Markus Hahne danken, die initial den Gedanken zur Entwicklung des untersuchten Infrarotstrahlers hatten und somit diese interessante und praxisbezogene Abschlussarbeit ermöglichten.

Mein größter Dank gilt dabei Ralf Stroop, der mich maßgeblich und vielseitig durch sein Fachwissen bei der Erstellung unterstützte und zahlreiche Stunden in die Planung und Auswertung der Analysen einfließen ließ.

Ebenfalls möchte ich Markus Hahne für die Betreuung dieser Arbeit danken. Neben der Entwicklung des Infrarotstrahlers, unterstützte er außerordentlich die Auswertung der Daten der Kreisleitstelle und war für alle Belange der Berufsfeuerwehr Gütersloh Ansprechpartner.

Um jedoch alle durchgeführten Analysen qualitativ hochwertig durchführen zu können, war maßgeblich die Hilfe der Berufsfeuerwehr Gütersloh, der Firma Miele & Cie. KG, sowie dem Klinikum Gütersloh erforderlich.

Die Zusage der Unterstützung der Berufsfeuerwehr Gütersloh, durch den Leiter Dipl.-Ing. Hans-Joachim Koch, ermöglichte den reibungslosen und unkomplizierten Zugriff auf alle Ressourcen seitens der Feuerwehr und trug so zum wesentlichen Gelingen dieser Arbeit bei.

Die Bereitstellung und optimale Zusammenstellung der rettungsdienstlichen Materialien erfolgte dabei vom Sachgebietsleiter Rettungsdienst, Herrn Eberhard Vogeler, dem ich auf diesem Wege ebenfalls danken möchte.

Wesentliche Aspekte wurden durch PD Dr. med. Thomas Grau vom Klinikum Gütersloh erreicht. Sowohl die Bereitstellung des getesteten 3M[®] Bair Hugger[®], als auch die Ausrüstung zur Messung der medizinischen Daten wurden von ihm arrangiert. Besonderen Dank aber vor allem für die wertvolle medizinische Diskussion.

Zur Auswertung der Verkehrsunfälle des Kreises Gütersloh wurden die Daten von Herrn Harald Horstkötter, Leiter der Kreisleitstelle, zur Verfügung gestellt und mit Hilfe von Markus Hahne ausgewertet.

Die Praktikabilitätsanalyse, welche den größten organisatorischen Teil dieser Arbeit einnahm, war nur durch die Unterstützung meiner Kameraden des Löschzuges Isselhorst der Freiwilligen Feuerwehr Gütersloh möglich. Danken möchte ich Thorsten Froböse, Lars Hantel, Stefan Mußenbrock, Kim Nadine Ortmeier, Oliver Rethage, Bernd Sachse, Sven Schröder, Jannik Weege, Niklas Wichmann und Daniel Zöllner, die sich zur zeitintensiven Durchführung aller Übungen bereit erklärten. Zusätzlich stellten sich Michael Nicinski, David Schürmann und Christoph Vormann von der Berufsfeuerwehr als Rettungsassistenten, sowie Notärztin Dr. med. Katrin Strop zur Verfügung, ohne die eine realitätsnahe medizinische Übung nicht möglich gewesen wäre.

Weiterhin möchte ich David Janus und Christof Läer, sowie Markus Hahne, Alexandra Hollmann, Ralf Strop und Eberhard Vogeler erwähnen, die an diesem Tag die Beobachtung und Dokumentation übernahmen.

Mein besonderer Dank gilt hierbei außerdem Berufsfeuerwehrmann Andi Krüger, welcher mit außerordentlicher Motivation die Praktikabilitätsanalyse unterstützte und sich dabei um die technische Ausrüstung der Firma Weber Hydraulik bemühte und somit erst eine Übung mit neuestem Rettungsgerät ermöglichte.

Sicherlich wäre dieser Tag ohne die Verpflegung von Jennifer Amsel und Marleen Kottmann nicht so einwandfrei gelungen, denn „Ohne Mampf kein Kampf“.

Die konstanten Parameter zur Bestimmung der Effizienz der erprobten Systeme anhand einer Klimakammer, wurde vonseiten der Firma Miele erst ermöglicht und durch Dipl.-Ing. Benjamin Held und Dipl.-Ing. Michael Katter begleitet. Die unkomplizierte Koordinierung und Hilfe von der Werkfeuerwehr Miele, speziell dem Leiter Herrn Uwe Theismann, ist im Verlauf dieser Messungen ein besonderer Dank auszusprechen. Christof Läer stand auch hier wieder für die

fotografische Dokumentation zur Seite. Ein besonderer Dank ergeht auch an Dr. Katrin Stroop, Markus Hahne und Dr. Ralf Stroop, die sich freiwillig als Probanden in der Klimakammer der Kälte exponierten.

Zum Schluss möchte ich noch den Firmen 3M Deutschland GmbH, cosinuss^o GmbH, Solamagic GmbH und Weber-Hydraulik GmbH danken, die benötigtes Equipment bereitstellten.

Namentlich danke ich meinen Korrekturlesern, Marleen Kottmann, Christina Schöne und Doris Schöne, für die investierte Zeit.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Prof. Dr. med. Frank Hörmann, MBA für die Betreuung seitens der HAW Hamburg.

Abschließend möchte ich mich herzlich bei meinen Eltern bedanken, die mich während des gesamten Studiums unterstützten und zum erfolgreichen Absolvieren des Studiums entscheidend beigetragen haben.

Vielen Dank

Anhang E: Erklärung an Eides Statt

Ich, Christian Schöne, versichere an Eides Statt, dass ich die vorgelegte Arbeit:

**Infrarotstrahler zur Hypothermie-Prävention verkehrsunfallbedingt
eingeklemmter Personen**

selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und alle Stellen, die ich wörtlich oder dem Sinne nach aus Veröffentlichungen entnommen habe, als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere an Eides Statt, dass ich die vorgenannten Angaben nach bestem Wissen und Gewissen gemacht habe und dass die Angaben der Wahrheit entsprechen und ich nichts verschwiegen habe. Dieses ist die erstmalige Vorlage einer Bachelorarbeit in dem Studiengang "Gefahrenabwehr/Hazard Control" an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.

Die Strafbarkeit einer falschen eidesstattlichen Versicherung ist mir bekannt, namentlich die Strafandrohung gemäß § 156 StGB bis zu drei Jahren Freiheitsstrafe oder Geldstrafe bei vorsätzlicher Begehung der Tat bzw. gemäß § 163 Abs.1 StGB bis zu einem Jahr Freiheitsstrafe oder Geldstrafe bei fahrlässiger Begehung.

Anhang F: Digital Video Disc (DVD)

- Infrarotstrahler zur Hypothermie-Prävention verkehrsunfallbedingt eingeklemmter Personen (PDF)
- Videodokumentation: Übung Infrarotstrahler
- Infrarotbildfolge aller Messungen in der Klimakammer (mit Windows Media Player zu öffnen)