

**Abschlussbericht**  
**„Wärmebelastung beim Durchführen von Saunaaufgüssen“**  
**10.12.2018**

**Autoren:**

Dr.med. Dr. Ing. Bernhard Drüen, Herr Dr. Andreas Albrecht (DGUV SG Bäder), Herr Dirk Fendler (BGETEM), Herr Bernhard Scheibner (BGW), Herr Wolfgang Wegscheider (BGW), Herr Reinhold Zirbs (DGUV SG Bäder)

# Wärmebelastung beim Durchführen von Saunaaufgüssen

## Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung
2. Begriffe
3. Arbeitshypothese
4. Physikalische Betrachtungen
  - 4.1. Thermodynamische Abläufe im Saunaraum
  - 4.2. Thermische Wirkung auf das Saunapersonal
  - 4.3. Physiologische Wirkungen
5. Methodik
  - 5.1. Saunaraum
  - 5.2. Aufgusszeremonie
  - 5.3. Messstrategie
    - 5.3.1. Raumklimatische Messungen
    - 5.3.2. Messungen an Versuchspersonen mit und ohne Bekleidung
    - 5.3.3. Messungen des Mikroklimas mit und ohne Bekleidung
  - 5.4. Messtechnik
    - 5.4.1. Messung der Luftwechselrate im Aufgussraum
    - 5.4.2. Berechnung der Luftfeuchte durch Aufgüsse
    - 5.4.3. Wärmestrahlung im Saunaraum beim Aufguss
    - 5.4.4. Thermographie an Versuchspersonen und Flächen beim Aufguss
    - 5.4.5. Temperatur- und Luftfeuchtemessung im Saunaraum und an Versuchspersonen
    - 5.4.6. Gewichtsverlustmessung der Versuchspersonen
    - 5.4.7. Physiologische Aufzeichnungen der Versuchspersonen
6. Messergebnisse
  - 6.1. Raumklimatische Messergebnisse
    - 6.1.1. Messung der Luftwechselrate
    - 6.1.2. Berechnung des Feuchtegehaltes der Luft durch Aufgüsse
    - 6.1.3. Wärmestrahlung
    - 6.1.4. Saunaraumklima
  - 6.2. Personenbezogene Messergebnisse
    - 6.2.1. Temperatur der Haut mit und ohne Bekleidung
    - 6.2.2. Thermographie
    - 6.2.3. Gewichtsmessung der Versuchspersonen
    - 6.2.4. Kreislaufwerte der Versuchspersonen
  - 6.3. Mikroklima der Haut mit und ohne Bekleidung
7. Diskussion
  - 7.1. Grundlegende Erkenntnisse

7.2. Hitzearbeit und Saunaaufguss

8. Empfehlungen zur Reduzierung von Hitzebelastungen
9. Literaturverzeichnis
10. Anhang

## 1 Aufgabenstellung

Gegenstand des Projekts ist die Erfassung der Wärmebelastung des Saunapersonals beim Durchführen von Saunaaufgüssen. Ein Teilaspekt ist dabei die Frage, ob die Tätigkeit als Hitzearbeitsplatz anzusehen ist.

Die zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten sind zu betrachten und an Versuchspersonen messtechnisch zu untersuchen. Dazu werden Temperatur, Luftfeuchte und Strahlungsenergie gemessen, um zu klären, welche thermischen Belastungen vorliegen und welche thermodynamischen Vorgänge eine Rolle spielen: Mit abzuklären ist, ob durch Bekleidung einer thermischen Belastung entgegengewirkt werden kann. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sind soweit möglich Handlungsempfehlungen abzuleiten, wie auch der Frage nach Vorliegen eines Hitzearbeitsplatzes nachgegangen werden soll.

Es war nicht Ziel der Untersuchung, physiologische Kreislaufwerte zu erfassen, da es hierzu bereits ausführliche Arbeiten gibt [1, 2, 3]. Dass es beim Saunabesuch und durch Aufgüsse zu Kreislaufbelastungen mit Blutdruckanstieg und Pulsfrequenzerhöhung kommt, ist belegt. Weniger bekannt sind die dafür verantwortlichen physikalischen Grundlagen. Zur Diskussion steht, ob Aufgüsse durch Anstieg von Temperatur oder Luftfeuchte oder beides zusammen zusätzlich zum Saunaklima mit 70<sup>0</sup> bis 90<sup>0</sup>C als thermische Belastung anzusehen ist.

Schließlich sei noch darauf verwiesen, dass die Aufgabenstellung gerade wegen Untersuchung physikalischer Gesetzmäßigkeiten nicht auf geschlechterspezifische Aspekte abstellt. Physik ist geschlechtsneutral. Die Auswirkung physikalischer Vorgänge kann sich dagegen aber durchaus geschlechtsspezifisch auswirken, was jedoch nicht Aufgabe dieser Arbeit war.

Das Projekt wird im Sachgebiet Bäder des Fachbereichs WoGes der DGUV ausgeführt und durch den Messtechnischen Dienst der Berufsgenossenschaft ETEM sowie den Bereich Gefahrstoffe der BGW unterstützt. Der Deutsche Saunabund war bei der Auswahl der Sauna und der Rekrutierung der Probanden beteiligt.

## 2 Begriffe

Saunaraum	Schwitzraum, in dem Aufgüsse nach Standard der DGfDB ausgeführt werden [4]
Saunagang	Besuch im Saunaraum mit Aufgüssen ab Betreten bis zum Verlassen
Aufguss	Aufgießen von Wasser (hier ohne Zusatz von Aufgussmitteln) auf Saunaofen; bei einem Saunagang werden üblich 3 Aufgüsse durchgeführt, so auch in vorliegender Arbeit
Aufgusszeremonie	Gesamtes Prozedere des Aufgießens von Wasser während eines Saunaganges [4]
Versuchspersonen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gast</li> <li>• Profi</li> </ul>	Personen, die nachfolgend für Messungen zur Verfügung standen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Person ohne Sauna- oder Bäderbeschäftigung</li> <li>• Arbeitnehmer in einem Badebetrieb mit Sauna</li> </ul>
Luftwechselrate	Stündlicher Luftaustausch durch Zwangsbelüftung und freies Lüften (z.B. Tür öffnen)
Strahlungswärme	von Oberflächen (Wände, Saunaofen, Einrichtung) auf Personen abgestrahlte Wärmeenergie
Thermographie	Bestimmung der Oberflächentemperaturen mittels Wärmebildkamera
rH	relative Luftfeuchte

### 3 Arbeitshypothese

In vorliegender Arbeit wird die Hypothese vertreten, dass durch Bekleidung unbedeckter Hautflächen, speziell des Oberkörpers, die thermische Belastung beim Aufguss reduziert werden kann. Physikalische Grundlagen für diese Hypothese werden im Kapitel 4 dargelegt.

## 4 Physikalische Betrachtungen

### **4.1 Thermodynamische Abläufe im Saunaraum**

Durch Aufgießen von Wasser auf heiße Steine entsteht Dampf, der sich im Saunaraum verteilt und auf Personen einwirkt. Beispielhaft stellt sich dies so dar:

Geht man von einem Liter Wasser zum Aufgießen aus, der über den Steinen des Saunaofens vollständig zu Dampf wird und nicht nach unten durchläuft, ergeben sich für den benutzten Saunaraum mit 33 m<sup>3</sup> Rauminhalt folgende Änderungen von Temperatur und Luftfeuchte:

- Temperaturänderung:
  - 1 Liter Wasser wird zu 1,7 m<sup>3</sup> Dampf (bei 100<sup>0</sup> C)
  - Dampfvolumen von 1 Liter Wasser entspricht somit ca. 5% des Rauminhaltes der Sauna.
  - Da die Luft im Saunaraum bereits 90<sup>0</sup> C heiß ist, können 1,7 m<sup>3</sup> Dampf (5% Volumen des Raumes) mit 100<sup>0</sup> C die Temperatur der Luft im Saunaraum kaum erhöhen.
  - Fazit: Aufgüsse erhöhen die Saunatemperatur nur marginal, sind also für eine zusätzliche thermische Belastung nicht verantwortlich zu machen.
- Luftfeuchte
  - Luft mit 90<sup>0</sup> C und 10% relativer Luftfeuchte hat einen Wassergehalt von 42,6 g/m<sup>3</sup>.
  - Für 33 m<sup>3</sup> Luft beträgt der Wassergehalt des Raumes damit 1406 g.
  - Die eingebrachten 1000 g Wasser, die aufgegossen zu Dampf werden, tragen damit deutlich zur Steigerung der Luftfeuchte bei.
  - Fazit: Der thermische Effekt des Aufgusses wird durch Erhöhung der Luftfeuchte bewirkt, deren Wirkung noch zu betrachten ist.

Eine Berechnung der Luftfeuchte in Abhängigkeit von Raumtemperatur und eingebrachten Wasserdampf durch Aufgüsse wird in Kapitel 6.1.2 gegeben.

#### Welche Wirkung hat der Dampf auf das Saunapersonal?

Luft ist in der Lage, Wasser gasförmig als Dampf bis zum Sättigungsdampfdruck aufzunehmen (Abb.1). Je höher die Lufttemperatur ist, umso mehr Wasser kann Luft als Dampf aufnehmen (Abb.2). Steigt in einem abgeschlossenen Raum (Saunaraum) die Temperatur ohne eingebrachte Luftfeuchte (Aufgüsse), sinkt die relative Luftfeuchte, da mehr Wasser aufgenommen werden kann. Der Anstieg ist dabei exponentiell (Abb.1). Der Dampfdruck liegt

- bei 40<sup>0</sup>C bei ca. 100 hPa,
- bei 90<sup>0</sup>C bei ca. 900 hPa.

Die relative Feuchte sinkt mit steigender Temperatur. Hat die in die Sauna gelangte Außenluft mit 25°C noch 60% relative Feuchte, sinkt diese in der Sauna bei bereits 60°C auf etwa 10%. Dabei bleibt die Wasserdampfkonzentration gleich (g Wasserdampf/kg Luft), da kein Wasserdampf durch Lufterhitzung verloren geht. Es wird nur die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf aufzunehmen, durch Temperaturerhöhung größer.

Das hat Auswirkungen auf die Fähigkeit der Haut, durch Verdunstung Abkühlung zu erreichen. Bei Verdunstung von Wasser auf der Haut wird dem Körper Energie entzogen, was sich als Kühleffekt auf der Haut auswirkt. Bei von außen einwirkender Wärmebelastung versucht die Haut, durch Schweißbildung und Verdunstung den Körper abzukühlen.

Die Fähigkeit, Schweiß zu verdunsten, hängt aber von der Möglichkeit ab, Dampf an die umgebende Luft abzugeben. Es sind zwei Phasen zu betrachten:

- einerseits Schweiß auf der Haut und
- andererseits die darüber liegende Luft, in der sich bereits Wasserdampf befindet.

Drei Möglichkeiten sind dabei zu unterscheiden (Abb.3):

1. Ist der Dampfdruck von Schweiß auf der Haut höher als der von Luft, verdunstet Schweiß und kühlt die Haut ab.  
Diese Bedingung ist bei sommerlichen Temperaturen gegeben, nicht aber in der Sauna.
2. Ist der Dampfdruck in der Luft und im Schweiß auf der Haut gleich, kommt es zum Stillstand der Verdunstung von Schweiß, da sich Verdunstung und Kondensation die Waage halten.
3. Ist der Dampfdruck im Schweiß auf der Haut kleiner als in der Luft, kann die Haut Schweiß nicht als Dampf an die Luft abgeben und sich damit nicht kühlen. Im Gegenteil überwiegt nun beim Aufguss die Kondensation des in der Luft befindlichen Wasserdampfes auf der Haut und überträgt damit Wärme auf die Haut.

Tatsächlich ist durch die kühlere Hauttemperatur der Dampfdruck des Schweißes auf der Haut deutlich geringer als der Dampfdruck der 90°C umgebenden Luft. Es findet auf der Haut keine Schweißverdunstung zur Kühlung statt. Die Haut schwitzt ohne den Körper zu kühlen, was zum Wärmestau und damit bedingt zur Kreislaufbelastung führt, im Grenzfall Kreislaufkollaps auslösen kann.

Beim Aufguss kommt ein zusätzlicher Effekt hinzu. Durch den Aufguss wird Wasserdampf in erheblicher Menge in den Saunaraum eingetragen. 1 Liter Wasser erzeugt 1,7 m<sup>3</sup> Wasserdampf, was die relative Luftfeuchte deutlich erhöht. Eine nennenswerte Temperaturerhöhung findet wie ausgeführt nicht statt, dafür aber ein deutlicher Anstieg der Luftfeuchte. Die zusätzlich eingebrachte Dampfmenge kondensiert damit teilweise auf der kühleren Haut. Dabei wird die im Dampf gespeicherte Energie von 538 Kalorien/g Wasser frei (Abb.4).

#### **4.2 Thermische Wirkung auf das Saunapersonal [5]**

Neben der aufgezeigten thermischen Belastung durch auf der Haut kondensierenden Dampfes gibt es weitere thermische Belastungen durch:

- Strahlungsenergie des Saunaofens, vor dem der Aufgießer steht, und von Wänden und anderen Einrichtungsgegenständen des Saunaraumes
- körperliche Arbeit beim Aufgießen und Wedeln.

Diese Einflüsse wurden in vorliegender Arbeit bezüglich gemessener Strahlungsenergie mit erfasst. Die Bewertung der durch Arbeit frei werdenden Wärme wird vorliegend nicht betrachtet, da nicht bekannt ist, wie hoch die Arbeitsenergie durch Aufgießen und Wedeln ist. Es wird keine energetische Gesamtbilanz erstellt. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich primär mit der Frage physikalischer Vorgänge des Aufgusses durch Erfassung physikalischer Parameter Temperatur und Luftfeuchte.

### 4.3 Physiologische Wirkungen

Es war nicht Ziel der Versuche, physiologische Kreislaufwerte zu erfassen und zu bewerten. Dass das Klima in finnischen Saunen mit Aufgüssen den Kreislauf belastet, zu Blutdruckanstieg und Pulsfrequenzerhöhung führt bis hin zur Gefahr von Kreislaufzusammenbruch, ist mehrfach untersucht worden und in der Literatur belegt [1, 2, 3]. Umstritten ist, ob Aufgüsse primär durch Erhöhung der Luftfeuchte oder durch die hohe Temperatur belastend wirken.

Wenn vorliegend bei Versuchspersonen Herzfrequenz und Blutdruck mit gemessen wurden, sollte dies die Verbindung zu bereits durchgeführten physiologischen Studien des Saunabetriebes herstellen, ohne daraus eigene Aussagen ableiten zu wollen. Zudem diente die Kreislaufüberwachung der Vorsorge der Versuchspersonen.

## 5 Methodik

### 5.1 Saunaraum

Der für die Messungen benutzte Saunaraum hat ein Volumen zu ca. 33 m<sup>3</sup>. Die Abb.5 und Abb.6 zeigen die räumliche Situation.

### 5.2 Aufgusseremonie

Die Aufgüsse wurden in zwei Serien durchgeführt:

- A. Standardaufguss gemäß Saunarichtlinie [4] mit 30 ml Wasser/m<sup>3</sup> Luftraum über 10 Minuten, was für 33 m<sup>3</sup> eine Wassermenge von ca. 1 Liter ergab.
- B. Da in der Praxis aufgrund von Kundenwünschen häufig mit höheren Wassermengen gearbeitet wird, wurde eine zweite Messreihe mit dreifacher Wassermenge durchgeführt, also 3 Liter Wasser je Saunagang, um einen praxisnahen Schwitzeffekt nachzuvollziehen.

Aufgegossen wurde mit einer Kelle mit ca.100 ml Inhalt, womit sich je Saunadurchgang über 10 Minuten bei den beiden Serien A und B folgende Konstellation ergab:

- Serie A: je Aufguss 3 Kellen mit ca. 100 ml, somit bei 3 Aufgüssen je Saunagang ca. 1 Liter,
- Serie B: je Aufguss 9 Kellen mit ca. 100 ml, somit bei 3 Aufgüssen je Saunagang ca. 3 Liter,

Beide Serien A und B beinhalteten 2 Saunagänge mit Betrachtung von 2 Versuchspersonen:

- ein Aufgießprofi einer Therme (weiter als **Profi** bezeichnet) und
- ein Amateur, der zwar regelmäßig, aber nicht täglich Saunaaufgüsse erlebt (weiter als **Gast** bezeichnet).

Die Versuchspersonen waren jeweils bei Durchlauf zu A und B einmal mit einem T-Shirt bekleidet, zum anderen gingen sie mit nacktem Oberkörper in den Schwitzraum. Gefragt war, welche Unterschiede sich durch Bekleidung gemäß Hypothese ergeben.

Es wurden somit 4 Saunagänge gefahren, damit jede Versuchsperson einmal mit bekleidetem und unbekleidetem Oberkörper den Schwitzraum betritt. Somit wurde die in Tabelle 1 aufgezeigte Versuchskonstellation realisiert.

Tabelle 1: Aufgussplan mit und ohne Bekleidung des Oberkörpers der Versuchspersonen

Versuch (Saunagang)	Aufgüsse	Versuchsperson Profi	Versuchsperson Gast
1	1 1	ohne Bekleidung	mit Bekleidung
2	1 1	mit Bekleidung	ohne Bekleidung
3	3 1	ohne Bekleidung	mit Bekleidung
4	3 1	mit Bekleidung	ohne Bekleidung

### 5.3 Messstrategie

Es galt sowohl einerseits die raumklimatischen Bedingungen des Aufgussraumes zu erfassen, andererseits die Auswirkungen auf das im Raum befindliche Personal mit und ohne Bekleidung zu ermitteln. Dazu wurde die nachfolgend beschriebene Messstrategie aufgebaut.

#### 5.3.1 Raumklimatische Messungen

Im Saunaraum wurden folgende physikalische Werte erfasst:

- Luftwechselrate
- Wärmestrahlungsstärke
- Temperaturen im Saunaraum in Deckenhöhe und auf zweiter Bankstufe (80 cm über Fußboden)
- relative Luftfeuchte im Saunaraum auf zweiter Bankstufe.

#### 5.3.2 Messungen an Versuchspersonen mit und ohne Bekleidung

In einer ersten Versuchsserie wurde untersucht, wie sich das Schwitzverhalten und die Temperatur der Haut mit und ohne Bekleidung verhalten. Gemessen wurden dazu folgende physikalische Parameter an den Probanden *Profi* und *Gast* jeweils mit und ohne Bekleidung:

- Temperatur unmittelbar auf der Haut,
- Temperatur 5 mm über der Haut,
- Gewichtsverlust nach jedem Saunagang,
- Thermographie der Versuchspersonen.

#### 5.3.3 Messungen des Mikroklimas mit und ohne Bekleidung

Da die Messwerte durch Bewegungen im Raum mit Wedeln und Gehen erhebliche Schwankungen aufwiesen, wurde eine zweite Messreihe bei ruhender Luft ohne Bewegungsartefakte der

Versuchspersonen mit und ohne Bekleidung vorgenommen. Dabei wurden neben den physikalischen Raumwerten für Temperatur und Luftfeuchte folgende physikalische Werte auf der Haut erfasst:

- Temperatur unmittelbar auf der Haut,
- Temperatur 5 mm über der Haut,
- Luftfeuchte 5 mm über der Haut.

Hierfür wurde ein spezielles Messgerät mit sekundlichem Messtakt eingesetzt (Abb. 13). Zu erfassen war, wie sich das Mikroklima auf der Haut mit und ohne Aufguss jeweils mit und ohne Bekleidung verhält.

## 5.4 Messtechnik

Eine Zusammenstellung der benutzten Messgeräte findet sich in Tabelle 2. Im Einzelnen wurden nachfolgend beschriebene Messgeräte und Techniken benutzt.

**Tabelle 2:** Liste eingesetzter Messgeräte mit technischen Daten

Messgerät	Messwert	Messbereich	Messtakt	Genauigkeit	Bemerkungen	Abb.
EBI 10	T	0 <sup>0</sup> – +150 <sup>0</sup> C	0,25 sek	0,2 <sup>0</sup> C	Temperatur auf und über Haut	10
EBI 11	T	-30 <sup>0</sup> – +150 <sup>0</sup> C	0,25 sek	0,1 <sup>0</sup> C	Temperaturen in der Sauna	12
EBI 310	T+ %rH	-30 <sup>0</sup> – +75 <sup>0</sup> C	1 sek	0,2 <sup>0</sup> C	Klimamessung über der Haut	13
EBI 20	T+%rH	-30 <sup>0</sup> – +60 <sup>0</sup> C	1 min	0,8 <sup>0</sup> C	Raumklimamessung	15
Waage	kg	60 – 150 kg	-----	20/50 g	Körpergewichtsbestimmung	9
EKG-Gerät	-----	-----	200 HZ	-----	EKG für Herzfrequenzmessung	ohne
Blutdruck	mm HG	30 – 200 mm HG	-----	±10 mm HG	Blutdruckmessung	ohne

### 5.4.1 Messung der Luftwechselrate im Aufgussraum

Im Saunaraum wurden ortsspezifische Luftwechsel an zwei Messstellen (Aufgießer und Bank) bestimmt. Die Luftwechsellmessung erfolgte mit der Abkling-Methode. Das Spurengas Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) wurde von einer Druckgasflasche mit Druckminderer in den geschlossenen Saunaraum (Betriebstemperatur 90°C) ca. 5 Minuten eingeleitet, mit einem Ventilator gleichmäßig im Raum verteilt und somit eine Ausgangskonzentration eingestellt.

Die abnehmende SF<sub>6</sub>-Konzentration (Abklingkurve) wurde an den Messstellen Atembereich Aufgießer und Sitzbank mit photoakustischem Infrarotanalysator (Innova B&K 1302) gemessen. Während der Messungen waren keine Personen im Saunaraum. Das Messgerät befand sich außerhalb des Saunaraums. Die Messgerätepumpe im Analysator saugte die Probenluft über einen 3,6 m langen Teflonschlauch diskontinuierlich aus dem Saunaraum in die Messzelle. Die Messdaten wurden im Datenspeicher des Analysators abgespeichert und gleichzeitig mit einem Computer aufgezeichnet.

Die Spurengaskonzentration reduziert sich in der Regel nach folgender Formel zur exponentiellen Konzentrationsabnahme:

[9]

$$C_t = C_0 * e^{-(N * \Delta t)}$$

$C_t$ : Konzentration zum Zeitpunkt  $t$   
 $C_0$ : Anfangskonzentration  
 $N^*$ : Luftwechsel  
 $\Delta t$ : Zeitintervall

Die Excel-Funktionen „Trendlinie“ und „Exponentialfunktion“ legten eine Ausgleichskurve durch die Messpunkte und errechneten eine Exponentialgleichung und ein Bestimmtheitsmaß. Der Exponent  $N$  der Kurvengleichung gibt für das Zeitintervall der Messung den Luftwechsel in der gewählten Einheit an. Für die Berechnung der Luftwechselzahl wurde das mittlere Messintervall für die Probenahme und Analyse von 0,63 Minuten verwendet. Multipliziert mit dem Faktor 60 ergibt sich der Luftwechsel in Stunden. Das Bestimmtheitsmaß wird über das Quadrat der Abweichungen der Messpunkte von der idealen Kurve berechnet und sollte möglichst nahe an 1 liegen.

#### 5.4.2 Berechnung der Luftfeuchte durch Aufgüsse

Ausgehend von der Bestimmung der Luftwechselrate wurde die durch Aufgüsse im Raum erzeugte Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Luftwechselrate berechnet. Dabei wurden folgende Rahmenbedingungen vorgegeben:

- Raum: Berechnungsgrundlage unter Berücksichtigung der Einbauten 30 m<sup>3</sup>;
- Raumtemperatur: 90°C;
- Luftwechselrate 6/h (gemessen: auf der mittleren Saunabank und am Arbeitsplatz des Aufgießers),
- Ausgangskonzentration (=Umgebungsluftfeuchte): rH=60% bei 23°C, entsprechend 12 g Wasser/m<sup>3</sup>
- Aufgusseremonie bestehend aus drei Einzelaufgüssen mit Wasser, das vollständig verdampft,
- Pro Einzelaufguss jeweils 1 Minute aufgießen, 2 Minuten Aufgusspause und Verwedeln = Verteilen des Wasserdampfs im Raum
- Bezüglich der Aufgussmenge wurden die beiden eingangs dargestellten Szenarien (Serie A und Serie B) berechnet:
- Serie A: Aufgussmenge 300 ml Wasser pro Einzelaufguss, entsprechend ca. 1 Liter Wasser pro Aufgusseremonie
- Serie B Aufgussmenge 900 ml Wasser pro Einzelaufguss, entsprechend ca. 3 Liter Wasser pro Aufgusseremonie

Zu Beginn wurde für die Berechnung 15 Minuten Einlaufzeit ohne Aktion gewählt, um einen gut erkennbaren Startpunkt zu erhalten. Danach wurde ausgehend von der Umgebungsluftfeuchte berechnet, wie sich die Konzentration aufbaut, wenn eine Minute lang 300 ml Wasser ausgebracht werden und danach eine Phase von zwei Minuten keine Emission erfolgt. Die beiden folgenden Einzelaufgüsse wurden identisch berechnet.

#### 5.4.3 Wärmestrahlung im Saunaraum beim Aufguss

Die Ermittlung der Wärmestrahlung erfolgte mittels omnidirektionalem Wärmestrahlungsmessgerät (MDRM) der Fa. Hund Umweltmesstechnik GmbH (Abb.7). Das Messgerät erfasst in einem Messbereich von -100 bis + 2500 W/m<sup>2</sup> mit seinen sechs, auf der Oberfläche eines Würfels angeordneten Sensoren, die auf 32°C (mittlere Hauttemperatur des

Menschen) bezogene „effektive Bestrahlungsstärke“. Die gemessene mittlere Bestrahlungsstärke wird über einen Datenlogger am analogen Ausgang des Messsystems erfasst und kontinuierlich aufgezeichnet. Dabei wurden die Saunaaufgüsse zeitlich mit erfasst und bezüglich Änderung der Wärmestrahlung bewertet.

#### **5.4.4 Thermographie an Versuchspersonen und Flächen beim Aufguss**

Die Thermographie, ist ein bildgebendes Verfahren zur Anzeige der Oberflächentemperatur von Objekten. Bei den Versuchen in der Sauna kam die Wärmebildkamera Testo 880 der Firma Testo GmbH unter Verwendung des Standardobjektives (32°, 10 mm f/1.0) zum Einsatz. Der Messbereich der Kamera wurde auf die Darstellung -20 bis 100°C eingestellt.

Eine Wärmebildkamera kann keine Temperaturen „erkennen“. Sie zeichnet lediglich die Intensität der Strahlung im Infrarotbereich auf. Diese Strahlung ist für das menschliche Auge unsichtbar, wird aber mittels Wärmebildkamera in ein sichtbares Bild umgewandelt. Die unterschiedlichen Strahlungsintensitäten werden mit spezieller Software als verschiedene Farbpaletten innerhalb eines Wärmebildes dargestellt. Über diese Software erfolgt zudem die Berechnung und Darstellung der Oberflächentemperaturen. Für eine korrekte Berechnung der Oberflächentemperaturen muss für jedes Oberflächenmaterial der s.g. Emissionsgrad ( $\epsilon$ ) angegeben werden. Der Emissionsgrad beschreibt die Fähigkeit einer Oberfläche, elektromagnetische Strahlung auszusenden. Diese ist materialspezifisch und muss für korrekte Messergebnisse in der Software der Kamera angepasst werden.

Bei jedem der durchgeführten Saunagänge wurden Wärmebilder vom gleichen Wandbereich vor, während und nach den Aufgüssen erstellt. Als Emissionsgrad wurde ein Wert von 0,94 für Holzoberflächen aus der Literatur angenommen. Darüber hinaus wurden zu den gleichen Zeitpunkten Wärmebilder der beiden Probanden erstellt. Für das Baumwoll-T-Shirt wurde ein Emissionsgrad von 0,77 für Baumwolle aus der Literatur angenommen. Wegen der inhomogenen Oberfläche des unbedeckten Oberkörpers, bedingt durch Körperbehaarung und Schweißbildung auf der Haut, erfolgte aus diesem Grunde die Ermittlung des Emissionsgrades über den Abgleich mit einem auf der Haut angebrachten Berührungsthermometers. Dazu wurde mittels Berührungsthermometer im Brustbereich des Probanden die Hauttemperatur ermittelt und anschließend der Emissionsgrad innerhalb der Software solange angepasst, bis die im Wärmebild dargestellte Hauttemperatur der des Berührungsthermometers entsprach. Die so korrigierten Bildbereiche wurden entsprechend gekennzeichnet.

#### **5.4.5 Temperatur- und Luftfeuchtemessung im Saunaraum und an Versuchspersonen**

Die Messtechnik muss den Bedingungen des Saunaklimas entsprechen, d.h. speziell der hohen Temperatur von fast 100°C. Sie hat zudem schnell genug zu sein, um die durch Aufgüsse bedingten Änderungen von Temperatur und relativer Feuchte zu genügen. Um diese Bedingungen einhalten zu können, wurden Datenlogger aus der Medizintechnik zur Validierung von Sterilisatoren eingesetzt, die bis 150°C stabil sind und bezüglich Hauttemperatur im Sekundentakt Messwerte aufnehmen.

Es wurden nachfolgende Messwerte erfasst:

- Temperaturen im Saunaraum (unter der Saunadecke und auf 2. Sitzbank) jede Minute,
- Temperatur auf der Haut der Versuchspersonen sowie 5 mm darüber jede Sekunde,
- Messgerät zur Erfassung der relativen Luftfeuchte 5 mm über der Haut jede Sekunde,

- Messgerät zur Erfassung der relativen Luftfeuchte im und vor der Sauna jede Minute,
- Waage für Körpergewichtsbestimmung zur Erfassung des Schweißverlustes,
- EKG zur Pulsfrequenzmessung,
- Blutdruckmessung vor und nach dem Aufguss zur Erfassung des körperlichen Zustandes der Versuchspersonen.

Im Einzelnen wurden nachfolgende Messgeräte der Firma EBRO GmbH Ingolstadt eingesetzt, deren technische Daten in Tabelle 2 zusammengestellt sind:

1. Messgerät EBI 10 (Abb.10) mit 3 Thermosonden zur Messung der Temperatur auf und über der Haut sowie der Umgebung um den Oberkörper des Probanden, Die Anordnung der Messfühler auf der Haut ist in Abb.11 zu sehen.
2. Zwei Messgeräte EBI 11 (Abb.12) zur Messung der Temperatur in der Saunaluft unter der Decke und auf zweiter Sitzbank,
3. Messinstrument EBI 310 zur Messung von Temperatur und relativer Luftfeuchte auf und 5 mm über der Haut (Abb.13 und Abb.14),
4. Messinstrument EBI 20 zur Messung von Temperatur und relativer Luftfeuchte im Saunaraum und in der Umgebungsluft vor der Sauna (Abb.15).

#### **5.4.6 Gewichtsverlustmessung der Versuchspersonen**

Zur Erfassung des Schweißverlustes beim Saunagang unter verschiedenen Messbedingungen (mit und ohne Bekleidung) wurden die Probanden gewogen. Dabei kam es nicht auf die absoluten Gewichte an, sondern auf den Gewichtsverlust durch Saunabesuch.

Problematisch war dabei, trotz hoher Gesamtlast (bis 100 kg) ausreichende Auflösung zu bekommen. Bei einer Ablesbarkeit von 10 g und einer Genauigkeit von 50 g (bei 150 kg) genügte die Waage (Abb. 9) zur Erfassung der durch Schwitzen verlorenen Flüssigkeit der Probanden.

#### **5.4.7 Physiologische Aufzeichnungen der Versuchspersonen**

Vor und nach dem Aufguss wurden Blutdruck und Pulsfrequenz der Probanden gemessen, um die physiologische Wirkung der thermischen Belastung zu ermitteln und eine Vergleichbarkeit zu anderen Studien zu bekommen. Gleichzeitig wurde bei Proband Profi während der Aufgüsse kontinuierlich ein EKG (Brustwandableitungen) aufgezeichnet. Neben der Herzfrequenzmessung sollten damit ggf. Unregelmäßigkeiten des Herzrhythmus erkannt werden.

## 6 Messergebnisse

Die Messergebnisse werden getrennt nach raumklimatischen und personenbezogenen Faktoren dargestellt.

### 6.1 Raumklimatische Faktoren

#### 6.1.1 Messung der Luftwechselrate

Der mittlere gemessene Luftwechsel der Sauna lag

- an der Messstelle des Aufgießers bei 8/h und
- an der Messstelle der mittleren Saunabank bei 5/h.

Der theoretische Luftwechsel liegt bei ca. 6/h, wenn man von einem Brutto-Raumvolumen von 33 m<sup>3</sup> ausgeht, ca. 10% Volumen für Einbauten (Ofen, Bänke) abzieht und den Nennvolumenstrom der Lüftungsanlage von 180 m<sup>3</sup>/h berücksichtigt. Damit entspricht der mittlere gemessene Luftwechsel dem theoretischen Luftwechsel in einer guten Näherung.

#### 6.1.2 Berechnung des Feuchtegehaltes der Luft durch Aufgüsse

Der Wassergehalt erhöht sich naturgemäß durch die eingebrachte Wassermenge und reduziert sich durch den Luftwechsel. Die für die weiteren Berechnungen zugrunde gelegten Werte liegen zwischen

- 12 g/m<sup>3</sup> der Außenluft (rel. Luftfeuchte 60% bei 23°C)
- 19 g/m<sup>3</sup> wenn ein Liter Wasser in 10 Minuten ausgebracht wird
- 34 g/m<sup>3</sup> wenn drei Liter Wasser in 10 Minuten ausgebracht werden und vollständig verdampfen, nicht teilweise durch den Ofen durchlaufen.

Die relative Luftfeuchte wurde für drei Temperaturen und die jeweiligen oben genannten Werte der absoluten Luftfeuchte berechnet (Tab.3). Es wurden Raumtemperaturen von 70°C bis 90°C berücksichtigt, da höhere Temperaturen im Saunaraum unmittelbar unter Decke für Saunamitarbeiter wie auch Saunagäste keine Rolle spielen. Auf der zweiten Sitzbank hat man z.B. etwa 70°C. Der zackenförmige Verlauf der berechneten Luftfeuchte (Abb. 17) gibt den Konzentrationsverlauf über der Aufgussdauer wieder. Nach knapp einer Stunde ab Beginn des ersten Aufgusses ist die Ausgangskonzentration wieder erreicht.

Tabelle 3: Relative Luftfeuchte [% rH] in Abhängigkeit von der Raumtemperatur

absolute Feuchte	R a u m t e m p e r a t u r		
	70 [°C]	80 [°C]	90 [°C]
12 [g/m <sup>3</sup> ]	6 [% rH]	4 [% rH]	3 [% rH]
19 [g/m <sup>3</sup> ]	10 [% rH]	7 [% rH]	5 [% rH]
34 [g/m <sup>3</sup> ]	17 [% rH]	12 [% rH]	8 [% rH]

### 6.1.3 Wärmestrahlung

Neben der hohen Raumtemperatur sowie der Dampfbildung durch die Aufgüsse trägt zusätzlich Wärmestrahlung, die vom Saunaofen abgegeben und von den Wänden reflektiert wird, zur thermischen Belastung des Saunapersonals bei. Die Verläufe der Bestrahlungsstärke in der Sauna (gesamte Strahlungsenergie) während der Saunagänge sind in den Abb.18.1 bis 18.4 für die vier Saunagänge dargestellt. Sie weisen trotz Aufgüsse nur sehr geringe Schwankungen auf. Die mittlere Bestrahlungsstärke lag

zwischen 370 und 393 W/m<sup>2</sup> an der Messstelle des Aufgießers.

Das entspricht bei einer Körperoberfläche von 1,8 m<sup>2</sup> einer Gesamteinstrahlungsenergie

zwischen 666 und 707 W die auf die Person des Aufgießers einwirkt.

Der Aufguss erzeugte erwartungsgemäß keine erkennbare Veränderung der Bestrahlungsstärke.

### 6.1.4 Saunaklima

#### Temperaturen im Saunaraum beim Aufguss

Bereits im Kapitel 4.1 *thermodynamische Abläufe im Saunaraum* wurde physikalisch berechnet, dass es durch Aufgüsse kaum zu Erhöhung der Temperatur in der Sauna kommt. Dies belegen auch alle durchgeführten Messungen (Abb.19.1 und 19.2 mit Darstellung der Temperaturverläufe aller 4 Saunagänge). Es stellt sich keine mit durchgeführten Aufgüssen nachweisbare Temperaturerhöhung im Saunaraum ein, weder unter der Decke, noch im unteren Bereich (mittlere Sitzbank 80cm Höhe über dem Boden).

#### Luftfeuchte im Saunaraum

Dass Aufgüsse die Luftfeuchte im Saunaraum erhöht, wurde im Kapitel 4.1 berechnet. Eine Tendenz der Erhöhung der Luftfeuchte durch Aufgüsse ist messtechnisch auch in Abb.19.1 zu sehen (gemessen auf mittlerer Sitzbank). Jedoch ist die Schwankungsbreite der Luftfeuchte durch Türöffnen und Personen in der Sauna recht hoch, so dass eine erhöhte Luftfeuchte der Aufgüsse besser bei Mittelwertbildung der Messwerte erkennbar wird (Abb.19.2). Bei geänderter Messtechnik mit schnellerer Messfolge als minütlichem Messtakt könnte der Aufguss mit höherer zeitlicher Auflösung besser dargestellt werden.

Es wird aber regelmäßig nach einem Saunagang mit 3 Aufgüssen ein sich daraus summierender und rechnerisch gemittelter Anstieg der Luftfeuchte beobachtet, der auch in der Höhe der Menge aufgegossenen Wassers entspricht (Anstieg von 10-15% relativer Raumfeuchte vor dem Aufguss auf 20-25% danach).

## 6.2 Personenbezogene Messergebnisse

Der Einfluss von Luftfeuchte, Temperatur und Wärmestrahlung auf Personen während des Aufgusses wurde mittels Feuchtemessgerät, Thermosonden sowie Thermographie bestimmt. Außerdem wurde der Flüssigkeitsverlust durch Schweißbildung mittels Wägung der Versuchspersonen ermittelt. Physiologische Daten dienten der Überwachung des Kreislaufes der Versuchspersonen.

### 6.2.1 Temperatur der Haut mit und ohne Bekleidung

Unter verschiedenen Bedingungen, wie in Kapitel 5.2 (Tab.1) beschrieben, wurde an zwei Probanden beim Aufguss mit und ohne Bekleidung der Temperaturverlauf unmittelbar auf und 5mm über der Haut gemessen. In der Literatur [1, 3] wird zwar beschrieben, dass 80 bis 90°C heiße Luft nicht unmittelbar auf die Haut einwirkt, was zu Hautreizungen bis zu Verbrennungen führen würde. Hautmessungen liegen dazu aber nicht vor.

Die in dieser Versuchsserie ermittelten Hauttemperaturen (siehe Abb.20.1 bis 20.8 rote Temperaturkurven mit Ziffer 1 gekennzeichnet) blieben mit 38°C bis knapp über 40°C deutlich unter der Lufttemperatur mit 70 bis 80°C (Kurven mit den Ziffern 3 bis 5). Dies gilt grundsätzlich für alle Bedingungen, also gleich ob mit oder ohne Oberkörperbekleidung, mit und ohne Aufguss.

Einen entscheidenden Unterschied zwischen mit und ohne Bekleidung sieht man bei der Temperaturmessung 5 mm über der Haut. Hier ist bei Bekleidung die Temperatur fast gleich mit der auf der Haut (siehe grüne Kurven mit der Ziffer 2 in den Abb.20.2 / 20.3 / 20.6 / 20.7).

Ohne Bekleidung hat sich die Temperatur 5 mm über der Haut bereits um 5 bis 10°C erhöht (siehe Kurven mit der Ziffer 2 in den Abb.20.1 / 20.4 / 20.5 / 20.8). Die warme Umgebungsluft gelangt also ohne Bekleidung dichter an den Körper und führt so zu höherer thermischer Belastung. Die hautschützende Luft-Wasserdampfschicht wird ohne Bekleidung dünner.

Korrelierend zur Hauttemperaturmessung sind die gleichzeitigen Thermoaufnahmen von Interesse. Es wurden Temperaturen während der Saunagänge auf

unbekleidetem Oberkörper um 38<sup>0</sup> bis 40<sup>0</sup> C und bei

bekleidetem Oberkörper (auf dem T-Shirt) zwischen 38<sup>0</sup> bis über 60<sup>0</sup> C gemessen.

Wesentliches Ergebnis der reinen Temperaturmessung auf und über der Haut ist die Erkenntnis, dass Bekleidung thermische Belastung durch Dampfkondensation aus Aufgüssen vom Personal zumindest über einem begrenzten Zeitraum abschirmt, solange das T-Shirt noch nicht schweißdurchnässt ist. Offen bleibt die Frage, ob durch die etwa 15<sup>0</sup> C höhere Temperatur der Außenseite der Bekleidung bessere Schweißverdunstung mit sich daraus ergebendem Kühleffekt ergibt.

### 6.2.2 Thermographie

Beim Einsatz der Kamera/Objektiv zur Bestimmung der Oberflächentemperaturen von Personen zeigten sich sehr schnell die Grenzen der Technik. Zum einen lässt sich mit der verwendeten Wärmebildkamera, die notwendige Darstellung auch kleinerer Temperaturdifferenzen, wie sie bei der Darstellung von menschlichen Körpertemperaturen notwendig wären, nicht realisieren. Zum anderen ergeben sich durch bekleidete und unbekleidete Haut mit unterschiedlicher Durchfeuchtung unterschiedliche Emissionsgrade, die ebenfalls zu einer Verfälschung der dargestellten Oberflächentemperaturen führt.

Darüber hinaus haben Reflexionseffekte z.B. durch das weiße T-Shirt der Versuchsperson, einen erheblichen Einfluss auf die im Wärmebild dargestellten Temperaturen, was in der Versuchsanordnung nicht weiter untersucht wurde.

Da die mit der Thermographie ermittelten Hauttemperaturen der unbekleideten Personen mittels ausreichend empfindlicher Berührungsthermometer abgeglichen wurden, können in diesem Fall die absoluten Temperaturen zur Betrachtung herangezogen werden. Bei unbekleideter Haut steigt

die gemessene Hauttemperatur von 36°C vor dem Aufguss auf 38°C (einmalig auch 40°C) nach einem Aufguss. Tabelle 4 fasst die Ergebnisse zusammen.

**Tabelle 4:** Thermographisch ermittelte Temperaturen auf der Haut des unbedeckten Probanden und auf dem T-Shirt des bedeckten Probanden

Sauna-gang	Zeitpunkt	Emissions-grad Haut	1. Proband unbedeckt	2. Proband bedeckt	Bemerkungen
A 1	vor Aufguss	0,87	36°C	44°C	nach Saunazutritt Temperatur niedrig
A 1	während Aufguss	0,87	38°C	65°C	schnelles Aufheizen des T-Shirt
A 1	nach Aufguss (in Sauna)	0,75	38°C	59°C	leichte Abkühlung nach 3. Aufguss
A 2	vor Aufguss	0,89	37°C	38°C	
A 2	während Aufguss	0,86	38°C	56°C	
A 2	nach Aufguss (in Sauna)	0,83	40°C	54°C	
B 3	vor Aufguss	0,94	35°C	38°C	
B 3	während Aufguss	0,88	39°C	56°C	
B 3	nach Aufguss (in Sauna)	0,77	38°C	54°C	
B 4	vor Aufguss	0,83	31°C	36°C	Proband hat zuvor kalt geduscht
B 4	während Aufguss	0,79	34°C	46°C	
B 4	nach Aufguss (in Sauna)	0,78	39°C	42°C	

Die Haut-Emissionsgrade wurden aus den mit Thermofühlern auf der Haut gemessenen Temperaturen errechnet. Der Emissionsgrad von Stoff ist bekannt und wurde in die Auswertung übernommen.

Die bei der bedeckten Person ermittelten Oberflächentemperaturen auf dem T-Shirt, wurden nicht mit einem Berührungsthermometer abgeglichen. Bedingt durch den unterschiedlichen Durchfeuchtungsgrad des T-Shirts sowie Reflexionseffekten, wird auf eine Betrachtung der absoluten Temperaturen verzichtet. In jedem Fall lassen die Wärmebilder jedoch erkennen, dass die vom T-Shirt der bedeckten Person ausgehende Wärmestrahlung höher ist, als die der unbedeckten Haut. Dies lässt den Schluss zu, dass durch die Bekleidung ein Teil der vom Saunaofen ausgehenden Wärmestrahlung von der Kleidung reflektiert wird und somit nicht direkt auf die Haut des Probanden einwirkt.

### 6.2.3 Gewichtsmessung der Versuchspersonen

Gemäß aufgestellter Hypothese wird ein Zusammenhang der Schweißbildung bei Saunabesuch mit und ohne Bekleidung vermutet, weshalb die Probanden vor Saunazutritt und nach Verlassen der Sauna gewogen wurden.

Tabelle 5: Gewichtsmessung der Versuchspersonen (Proband 1 = Profi; Proband 2 = Gast)

Saunagänge	Proband (Bekleidung mit / ohne)	vor Aufguss		Gewicht der Bekleidung [g]	nach Aufguss Proband nass		Proband abgetrocknet	
		ohne Bekleidung	mit Bekleidung		ohne Bekleidung	mit Bekleidung	ohne Bekleidung	Gewichtsverlust nass/trocken [g]
1	Profi ohne	Gewicht 101,20 RR 160/95 Puls 84	-----	-----	Gewicht 101,08 RR Puls	-----	Gewicht 101,04 RR Puls	120 / 160
	Gast mit	Gewicht 99,48 RR 145/100 Puls 95	Gewicht 99,84 RR Puls	360	-----	Gewicht 99,78 RR Puls	Gewicht 99,32 RR Puls	60 / 160
2	Profi mit	Gewicht 100,90 RR Puls	Gewicht 101,24 RR Puls	340	-----	Gewicht 101,02 RR Puls	Gewicht 100,50 RR Puls	220 / 400
	Gast ohne	Gewicht 99,26 RR Puls	-----	-----	Gewicht 99,12 RR Puls	-----	Gewicht 99,06 RR Puls	140 / 200
3	Profi ohne	Gewicht 100,46 RR 150/90 Puls 87	-----	-----	Gewicht 100,29 RR Puls	-----	Gewicht 100,18 RR 130/90 Puls 109	170 / 280
	Gast mit	Gewicht 98,94 RR 140/95 Puls 95	Gewicht 99,30 RR Puls	360	-----	Gewicht 99,26 RR Puls	Gewicht 98,76 RR 125/90 Puls 108	40 / 180
4	Profi mit	Gewicht 100,00 RR Puls	Gewicht 100,46 RR Puls	460 schweißnass	-----	Gewicht 100,28 RR Puls	Gewicht 99,56 RR 128/90 Puls 112	180 / 440
	Gast ohne	Gewicht 98,80 RR Puls	-----	-----	Gewicht 98,72 RR Puls	-----	Gewicht 98,64 RR 140/95 Puls 102	80 / 160

Gewicht in [kg]; Blutdruck (RR) in [mmHg]; Puls in [1/min]

Nass: nach Verlassen der Sauna mit nasser Haut und mit T-Shirt (soweit bekleidet)

Trocken: nach dem Abtrocknen ohne T-Shirt.

Proband	Gewichtsverlust vor Abtrocknen [g]		Gewichtsverlust nach Abtrocknen [g]		Gewichtsverluste nach Saunagängen [g]				
	ohne Bekleidung	mit Bekleidung	ohne Bekleidung	mit Bekleidung	nach 1.	nach 2.	nach 3.	nach 4.	gesamt
Profi	290 (120 + 170) (Saunagang 1+3)	400 (220 + 180) (Saunagang 2+4)	440 (160+280) (Saunagang 1+3)	840 (400+440) (Saunagang 2+4)	160 ohne Bekleidung	400 mit Bekleidung	280 ohne Bekleidung	440 mit Bekleidung	1280
Gast	220 (140 + 80) (Saunagang 2+4)	100 (60 + 40) (Saunagang 1+3)	360 (200+160) (Saunagang 2+4)	340 (160+180) (Saunagang 1+3)	160 mit Bekleidung	200 ohne Bekleidung	180 mit Bekleidung	160 ohne Bekleidung	700

Dabei wurde der Flüssigkeitsverlust durch Schweißbildung mittels Wiegen erfasst, wozu die Versuchspersonen zu folgenden Zeiten gewogen wurden:

- vor Saunazutritt,
- nach Verlassen der Sauna mit nasser Haut und mit T-Shirt (soweit bekleidet),
- nach dem Abtrocknen ohne T-Shirt.

Die Gewichtsverluste wurden tabellarisch erfasst (siehe Tabelle 5). Es zeigten sich unterschiedliche Gewichtsabnahmen nach den Aufgüssen, mit denen die aufgestellte Hypothese nicht gestützt werden kann. Zusammengefasst ergab sich bezüglich Flüssigkeitsverlust durch Schwitzen über alle 4 Saunagänge folgendes Bild:

- Versuchsperson Profi  
ohne Bekleidung 440 g  
mit Bekleidung 840 g  
Profi schwitzte also mit Bekleidung mehr als ohne.
- Versuchsperson Gast  
ohne Bekleidung 360 g  
mit Bekleidung 340 g  
Gast schwitzte also mit und ohne Bekleidung etwa gleich.

Über die Gründe wird in Kapitel 7 Diskussion ausgeführt.

#### 6.2.4 Kreislaufwerte der Versuchspersonen

Die Werte wurden in Tabelle 6 übernommen. Es zeigten sich bereits zu Beginn der Saunagänge erhöhte Werte, weshalb Blutdruck, aber auch Herzfrequenz nicht typisch die Belastung der Aufgüsse wiedergeben, was möglicherweise durch die Hektik der ganzen Messtechnik vor einem Saunagang verursacht war. Während eines Saunagangs stieg jedoch bei Proband Profi, dem ein EKG angelegt wurde, die Herzfrequenz deutlich an.

**Tabelle 6:** Herzfrequenzmessung (Schläge/min) des Probanden Profi, ermittelt aus dem angelegten EKG; (Aufgüsse bei Saunagängen A mit 1 L Wasser, bei B mit 3 L Wasser)

Saunagang	Bekleidung	vor Saunazutritt	in Sauna (maximal)	nach Saunabesuch
1 (1 L Wasser)	ohne	84	131	96
2 (1 L Wasser)	mit	82	142	102
3 (3 L Wasser)	ohne	87	146	109
4 (3 L Wasser)	mit	88	150	112

#### 6.3 Mikroklima der Haut mit und ohne Bekleidung

In Fortsetzung der Messungen an Versuchspersonen mit und ohne Bekleidung wurde mit einem schnell messenden Feuchtemessgerät (Messung im Sekundentakt mit Datenlogger EBI 310, Abb.13 und.14) das Mikroklima auf und 5mm über der Haut sowie die Raumtemperatur der Sauna mit Messgerät EBI 11 (Abb.12) erfasst. Der Messfühler EBI 310 hat an der Spitze einer Platine Sensoren für Temperatur und relativer Luftfeuchte (Abb. 13, roter Pfeil). Ein über die Platine geschraubter Korb verhindert Aufliegen der Sensoren auf der Haut.

Das Mikroklima wurde auf einem Hautareal des Oberschenkels aufgenommen. In Analogie zu oben aufgeführten Messungen der Hauttemperatur wurde bei der Untersuchung des Mikroklimas der

Oberschenkel großflächig mit einem trockenen Tuch abgedeckt, was der Bekleidung des Oberkörpers entspricht. Die Unterschiede mit und ohne Bekleidung werden dargestellt.

### ohne Bekleidung

Das Ergebnis dieser Messreihe (Abb.21.1) zeigt den bereits aus Kapitel 6.2.1 bekannten Temperaturverlauf 5 mm über der Haut mit Temperaturen bis etwa 45<sup>0</sup> C. Nach Austritt aus der Sauna fällt die Temperatur durch die nun ermögliche Verdunstung stark ab. Gleichzeitig steigt die Luftfeuchte 5 mm über der Haut steil an.

Interessant ist die Abkühlungsphase nach Verlassen der Sauna. Durch die außerhalb der Sauna gegenüber der Haut kühlere Luft kann nunmehr bei freier Haut Schweiß verdunsten und die Haut abkühlen. Die Temperatur 5 mm über der Haut sinkt zum einen durch die kühlere Außenluft, zum anderen aber durch Verdunstungskälte.

### mit Bekleidung

Wird die Haut abgedeckt (Abb.21.2), ergibt sich über der Haut ein vom Saunaraum unabhängiges Klima mit relativer Luftfeuchte 100% und Temperaturen unter 40<sup>0</sup>C, das von Aufgüssen nicht tangiert wird. Entsprechend sinken nach Austritt aus der Sauna bei fortführend abgedeckter Haut sowohl Temperatur als auch Luftfeuchte unter der Bekleidung nur langsam, bleiben zunächst auf hohem Niveau bestehen.

Bekleidung schützt somit einerseits im Saunaraum vor thermischer Belastung, hemmt aber andererseits die Entwärmung nach Verlassen der Sauna. Es ist somit entscheidend, baldigst nach dem Aufguss die Bekleidung abzulegen.

## **7 Diskussion**

### **7.1 Grundlegende Erkenntnisse**

Es können folgende Ergebnisse bezüglich des Klimas in der Sauna festgehalten werden:

1. Aufgüsse nach den Richtlinien des Deutschen Saunabundes führen zu keiner messbaren Temperaturveränderung der Saunaluft. Die ohnehin bereits hohe Lufttemperatur von 90°C kann durch den ca. 100°C heißen Dampf nicht messbar gesteigert werden, da das Dampfvolument gegenüber dem Luftvolumen der Sauna mit nur 5% zu gering ist.
2. Aufgüsse erhöhen die Luftfeuchte. Der Wassergehalt in Form von Dampf wird durch die beim Aufguss eingebrachte Wassermenge deutlich erhöht. Dies führt zu Kondensation von Wasserdampf auf der relativ kühlen Haut sowie zu einem geringeren Unterschied des Wasserdampfpartialdruckes zwischen feuchter Hautoberfläche und Raumluft. Dies ist der wesentliche Effekt beim Aufguss.
3. Die durch einen Aufguss erhöhte Luftfeuchte sinkt wieder aufgrund des Luftwechsels durch Türöffnen und Zwangsentlüftung der Sauna (etwa sechsfacher Luftwechsel/Stunde). Dadurch verringern sich die oben genannten Effekte.
4. Aufgüsse verändern nicht die Stärke der Wärmestrahlung im Saunaraum.

Bezüglich der an Personen gemessenen Werte für Temperatur und Luftfeuchte zeigte sich:

1. Über der Haut entsteht ein eigenes Mikroklima ähnlich dem auf einer Herdplatte tanzenden Wassertropfen. Mit zunehmender Entfernung von der Hautoberfläche steigt die Temperatur an, parallel dazu wird die Luft über der Haut trockener, die relative Feuchte sinkt.
2. Die Hauttemperatur steigt mit oder ohne Bekleidung auf weniger als 40°C.

3. Der über der Haut sich bildende Schutzschirm aus Feuchte und Luft vergrößert sich bei Bekleidung, schützt also besser vor thermischen Belastungen des Aufgusses.
4. Die Luftfeuchte liegt bei einem Abstand 5 mm über der Haut
  - ohne Bekleidung immer noch bei ca. 70%,
  - mit Bekleidung bei fast 100%.
 Sie bleibt auch nach dem Verlassen der Sauna unter der Bekleidung hoch. Wird die Bekleidung nach dem Verlassen der Sauna nicht ausgezogen, kann die Haut nicht durch Schweißverdunstung Wärme an die Umgebung abgeben. Entkleidung nach dem Aufguss ist also zur Entwärmung unbedingt erforderlich.
5. Ohne Bekleidung steigt die Luftfeuchte über der Haut nach dem Verlassen der Sauna deutlich an, da nunmehr die warme Haut gegenüber der kälteren Umgebungsluft Schweiß verdunsten kann. Entsprechend kommt es ohne Bekleidung auf der Haut zu einer Temperaturreduzierung, was eine wesentliche Voraussetzung für die Entwärmungsphase des Personals nach dem Aufguss ist.
6. Bekleidung im Saunaraum schützt die Haut vor Wärmestrahlung und Dampfniederschlag (Kondensation), so dass die Temperatur auf der Haut mit Bekleidung niedriger als ohne ist. Der isolierende Effekt ist abhängig von dem Feuchtegrad der Bekleidung. Durch Schweißbildung steigt der Feuchtegrad der Bekleidung.  
Nach dem 4. Saunagang waren die T-Shirts zwar noch nicht tropfnass, aber doch schon weitgehend durchfeuchtet.

#### Diskussion der Gewichtsmessung von Personen

Die Hypothese, dass abgedeckte Hautflächen die thermische Belastung beim Aufguss verringert, wurde mit vorliegenden physikalischen Betrachtungen und Messergebnissen gestützt, konnte aber bezüglich Schweißbildung bei bekleideten gegenüber unbekleideten Personen nicht dargestellt werden. Gründe dafür sind z.B.:

- Individuelle und interindividuelle Schwankungen sind größer als der messtechnisch fassbare schützende Einfluss von Bekleidung.
- Individuelle Schwankungen ergeben sich
  - durch die Zeitfolge der Aufgüsse; beim ersten Aufguss schwitzt man weniger als bei den folgenden
  - durch die Tagesform der Probanden: physische und psychische Faktoren beeinflussen die Schweißbildung. So stand die Versuchsperson Profi zeitlich unter Druck, da er wegen Krankheit von Kollegen wieder an seine Arbeitsstelle zurück musste.
- Interindividuelle Schwankungen sind abhängig vom:
  - Training durch Häufigkeit der Saunabesuche
  - körperlichen Zustand (dünn, dick, klein, groß)
  - Gesundheitszustand.

All diese Faktoren konnten mit vorliegender Messreihe nicht berücksichtigt werden. Die Hypothese wird damit nicht negiert, da sie physikalisch wie auch messtechnisch bestätigt wurde. Die von der Hypothese abweichenden Gewichtsmessungen zeigen aber auch, dass es erforderlich ist, auf individuelle Faktoren der Belastung durch Aufgüsse Rücksicht zu nehmen.

## 7.2 Hitzearbeit und Saunaaufguss

Die Frage, ob die Durchführung von Saunaaufgüssen Hitzearbeit ist, wurde in der Literatur bislang nicht abschließend beantwortet und wird auch vorliegend nicht beantwortet, da die Definition *Hitzearbeit* wie nachfolgend beschrieben nicht auf Tätigkeiten im Saunabetrieb anwendbar ist. Temperaturen um 90°C sind keine zumutbaren Arbeitsbedingungen im Sinne der Arbeitsstättenverordnung. Arbeit bei 90°C ist ein Ausnahmezustand und keine längerzeitig zumutbare Arbeitsbedingung. Es bedarf somit besonderer zeitlicher, räumlicher wie auch personeller Maßnahmen.

Es kann festgehalten werden:

In der Sauna liegt eindeutig Hitzebelastung vor, die keine längerfristige Tätigkeit zulässt. Letzteres ist eine Grundforderung für die Beurteilung von Hitzearbeit. Nach Vorgaben der Sauna-Richtlinien[4] tritt die Hitzebelastung in einer Stunde nur kurzfristig über maximal ca. 12 Minuten auf. Eine unter Hitze auszuübende Tätigkeit, das heißt zu leistende Arbeit, muss eine wie auch immer mögliche Akklimatisierung während der auszuübenden Tätigkeit beinhalten, die bei Aufgusstätigkeiten nicht gegeben ist.

Die Aussagen aus verschiedenen Schriften von Berufsgenossenschaften und Behörden zur Frage thermischer Belastung sind für Saunabetriebe, wenn überhaupt, nur bedingt anwendbar. Anzuführen sind folgende Standardwerke:

### Arbeitsmedizinischer Grundsatz G30 Hitzearbeit [6]

Gemäß Punkt 3.1.1 (Vorkommen, Gefahrenquellen) entsteht Hitzebelastung bei *einem Missverhältnis aus **Wärmebildung** und **Entwärmungsmöglichkeit** mit der Folge einer Störung des Wohlbefindens.*

Die Wärmebilanz ist unausgeglichen, was zu einer Erhöhung der Körpertemperatur bis zu gesundheitsgefährlichen Grenzen führt. Deshalb wird empfohlen:

*Bei kurzzeitiger oder gelegentlicher Arbeit unter Hitzebelastung kann auf arbeitsmedizinische Vorsorgemaßnahmen **nicht** verzichtet werden.*

*Eine kurzzeitige Wärmebelastung liegt bei jeder Tätigkeit vor, wenn bei den an Hitzearbeitsplätzen beschäftigten Personen eine Akklimatisierung nicht zu erwarten ist.*

Gemäß Grundsatz G30 wären Saunaaufgüsse (*kurzzeitig und gelegentlich ohne Akklimatisierung*) hitzebelastet, da es keine Möglichkeit der Akklimatisierung gibt. Da der Grundsatz G30 wohl die Notwendigkeit einer arbeitsmedizinischen Maßnahme belegt, wird damit keinesfalls auch eine Definition für Hitzearbeit gegeben. Zudem spricht der Grundsatz 30 von Hitzearbeitsplätzen, hält sich also von der Definition „Hitzearbeit“ zurück.

### Beurteilung von Hitzearbeit [7]

Die DGUV Information 213-022 gibt als Anleitung für den betrieblichen Alltag eine Checkliste zur Beurteilung von Hitzearbeit mit 5 Fragekomplexen vor:

Tabelle 7: Auszug aus DGUV-I 213-022 (*Beurteilung von Hitzearbeit*)

<b>A</b>		<b>Lufttemperatur und normale Luftfeuchte</b>	
	1	überwiegend bis 37°C	
	2	überwiegend über 37°C bis 45°C	
	3	über 45°C (Aufenthalt > 15 Minute)	Ja wegen mehreren Aufgüssen je Tag
<b>B</b>		<b>Lufttemperatur und gleichzeitig hohe Luftfeuchte</b>	
	1	überwiegend bis 26°C mit hoher Luftfeuchte	
	2	überwiegend über 26°C bis 30 °C mit hoher Luftfeuchte	
	3	überwiegend über 30°C mit hoher Luftfeuchte	
<b>C</b>		<b>Flüssigkeitsaufnahme</b>	
	1	bis 2 L/ Schicht	
	2	2 bis 4 L/ Schicht	Ja
	3	über 4 L/ Schicht	
<b>D</b>		<b>Wärmestrahlung</b>	
	1	keine Wärmestrahlung fühlbar	
	2	warmes Gesicht nach 2 bis 3 Minuten	
	3	im Gesicht unerträglich	Ja
<b>E</b>		<b>Subjektives Befinden in Verbindung mit Wärmebelastung</b>	
	1	Keine Beschwerden	
	2	Beschwerden wie Schwächegefühl, Unwohlsein	
	3	Erhöhtes Durstgefühl, Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindelgefühl	Ja

Wird auch nur in einem Bereich eine Frage positiv beantwortet, liegt aus Sicht der DGUV Hitzearbeit vor. Vorliegend ergeben sich für Saunabetrieb mehrere JA-Antworten. Gemäß DGUV Information 213-022 liegt damit Hitzearbeit vor.

### Hitzearbeit erkennen-beurteilen-schützen [8]

Die DGUV Information 213-002 bewertet Hitzearbeit primär physikalisch durch Erfassung von Temperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Wärmestrahlung.

Diese Werte werden dann in Nomogrammen, insbesondere der Normal-Effektivtemperatur (NET nach Yaglou, DIN 33403-3) ausgewertet. Für eine Sauna sind diese Nomogramme nicht anwendbar, da Temperaturen über 50°C nicht berücksichtigt werden. Diese Norm kann somit nicht angewandt werden.

In Tabelle 4 der DGUV Information 213-002 werden Richtwerte für die effektive Bestrahlungswärme in W/m<sup>2</sup> vorgegeben. Für kurzzeitige Tätigkeiten bis 15 Minuten hält man 1.000W/m<sup>2</sup> für tolerabel. Nach vorliegenden Messungen (Wärmestrahlung Kapitel 6.1.3) liegen die Werte zwischen 350 und unter 450 W/m<sup>2</sup>. Somit wären übliche Aufgüsse bis zu 12 Minuten Dauer keine Hitzearbeit.

### Aus der Literatur sind folgende Informationen zu erhalten:

Es gibt einige Publikationen, die sich mit der Frage von Hitzearbeit beim Saunaaufguss beschäftigen:

- *Eine ergonomische und arbeitsmedizinische Beurteilung der Belastung von Beschäftigten in öffentlichen Bädern* [2]

Es wird zwar nur am Rande erwähnt, dass Beschäftigte in öffentlichen Bädern auch im Saunabetrieb eingesetzt werden, Aussagen dazu gibt es aber nicht. Interessant ist die Arbeit bezüglich des zu leistenden Arbeitsumsatzes, der mit 700 bis 1.100 kcal/Schicht angegeben wird und damit eine körperliche leichte Tätigkeit sei.

- *Hitze Arbeitsplatz Sauna?* [1]

Mit Fragebogen wurden Mitarbeiter in Bädern nach ihrer Befindlichkeit befragt. Selbstkritisch wurde festgestellt, dass es kein Vergleichskollektiv gab, das keine Aufgüsse durchführte. Von 361 Rückläufen waren nur 10 nicht mit Aufgüssen beschäftigt. Eine zweite ähnliche Umfrage (Sauna & Badepraxis 1/2008) hatte ebenfalls kein Vergleichskollektiv.

Dass sich als Ergebnis eine Belastung mit körperlichen Beschwerden beim Personal mit Aufgüssen ergab, war zu erwarten. Die Frage, ob diese Beschwerden typisch für die Tätigkeit mit Aufgüssen waren, wurde nicht beantwortet. Diese Studie hilft somit nicht weiter in der Frage nach Vorliegen eines Hitze Arbeitsplatzes.

- Belastungen und Reaktionen des Menschen unter Hitzeeinwirkung [9]

In dieser sehr frühen Arbeit beschäftigten sich die Autoren bereits 2002 mit der Frage der Hitzebelastung beim Saunabetrieb. Neben den bekannten physiologischen Beobachtungen der Kreislaufbelastung durch Hitze wird noch davon ausgegangen, dass es wohl eine Schweißverdunstung gibt, diese aber nur unvollständig stattfindet. Die Kühlung durch Schweißverdunstung reicht somit nicht aus. Außerdem wird durch Kondensation von Wasserdampf aus dem Aufguss Kondensationswärme auf der Haut freigesetzt. Ob Kondensation die angenommene Verdunstung kompensiert oder gar übersteigt, bleibt in dieser Arbeit offen.

## 8. Empfehlungen zur Reduzierung von Hitzebelastungen

Die Frage, ob die Tätigkeit des Saunapersonals beim Aufguss Hitze Arbeit ist, kann weder mit vorliegender Untersuchung noch aus der Literatur eindeutig mit JA oder NEIN beantwortet werden.

Dennoch können folgende Hinweise gegeben werden, wie thermische Belastung reduziert werden kann und sich Arbeitnehmer vor Hitze Arbeit, d.h. vor thermischer Belastung bei der Arbeit, schützen können:

1. Saunaaufgüsse sind nur kurzzeitig durchzuführen. Den Richtlinien des Deutschen Saunabundes sollte bezüglich Zeit und Aufgussmenge gefolgt werden [4]. Zu vermeiden sind:
  - zwei und mehr unmittelbar aufeinanderfolgende Aufgüsse
  - mehr als ein Aufguss je Stunde
  - Aufgüsse länger als 12 Minuten.
2. Die thermische Belastung kann gesenkt werden, indem sich die Person, die den Aufguss durchführt, mit nicht durchfeuchteter Bekleidung schützt.
3. Zusätzlich sollte dem Personal ausreichend Entwärmungszeit und Getränke zur Verfügung stehen.
4. Da Saunaaufgüsse Herz- und Kreislauf belasten, wird auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung ggf. eine arbeitsmedizinische Angebotsvorsorge empfohlen.

## 9 Literaturverzeichnis

1. Kampmann B, Kalkowsky B.  
*Hitze Arbeitsplatz Sauna?*  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaften e.V. 55. Kongress 2009
2. Müller-Limmroth W.  
*Eine ergonomische und arbeitsmedizinische Beurteilung der Belastung von Beschäftigten in öffentlichen Bädern*  
Archiv des Bäderwesens 1/1985
3. Manz A.  
*Die Arbeitsbedingungen der Schwimmmeister aus arbeitsmedizinischer Sicht*  
Archiv des Bäderwesens 1/1982
4. *Richtlinien zur Durchführung von Saunaaufgüssen in öffentlichen Saunaanlagen*  
Deutscher Sauna-Bund e.V. DGfDB Richtlinie R26.30.04, 2017
5. *Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße*  
Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 3 DIN 33403-3:2011-07
6. Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen  
*Grundsatz G 30 Hitzearbeiten*  
Gentner Verlag 4. Auflage 2007 ISBN 978-3-87247-705-7
7. DGUV Information 213-022  
*Beurteilung von Hitzearbeit*  
Juni 2011
8. DGUV Information 213-002  
*Hitzearbeit erkennen – beurteilen - schützen*
9. Kampmann und Kalkowsky  
*Belastungen und Reaktionen des Menschen unter Hitzeeinwirkung*  
Saunabetrieb & Bäderpraxis 4/2002

## 10 Anhang

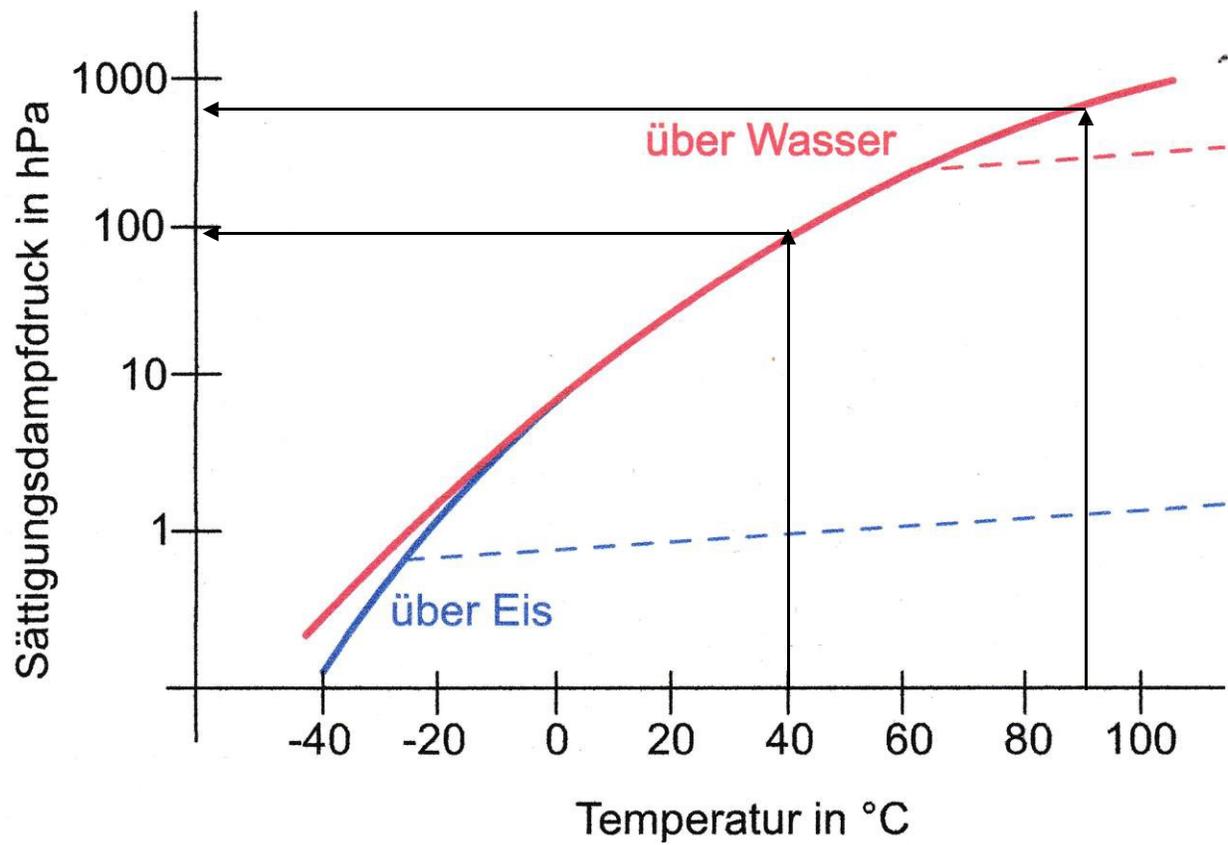


Abb. 1: Der Sättigungsdampfdruck  $e_s$  ist abhängig von der Temperatur. Er steigt mit dieser exponentiell. Luft mit 90°C hat somit ein deutlich größeres Vermögen Wasserdampf abzugeben als Luft mit 40°C

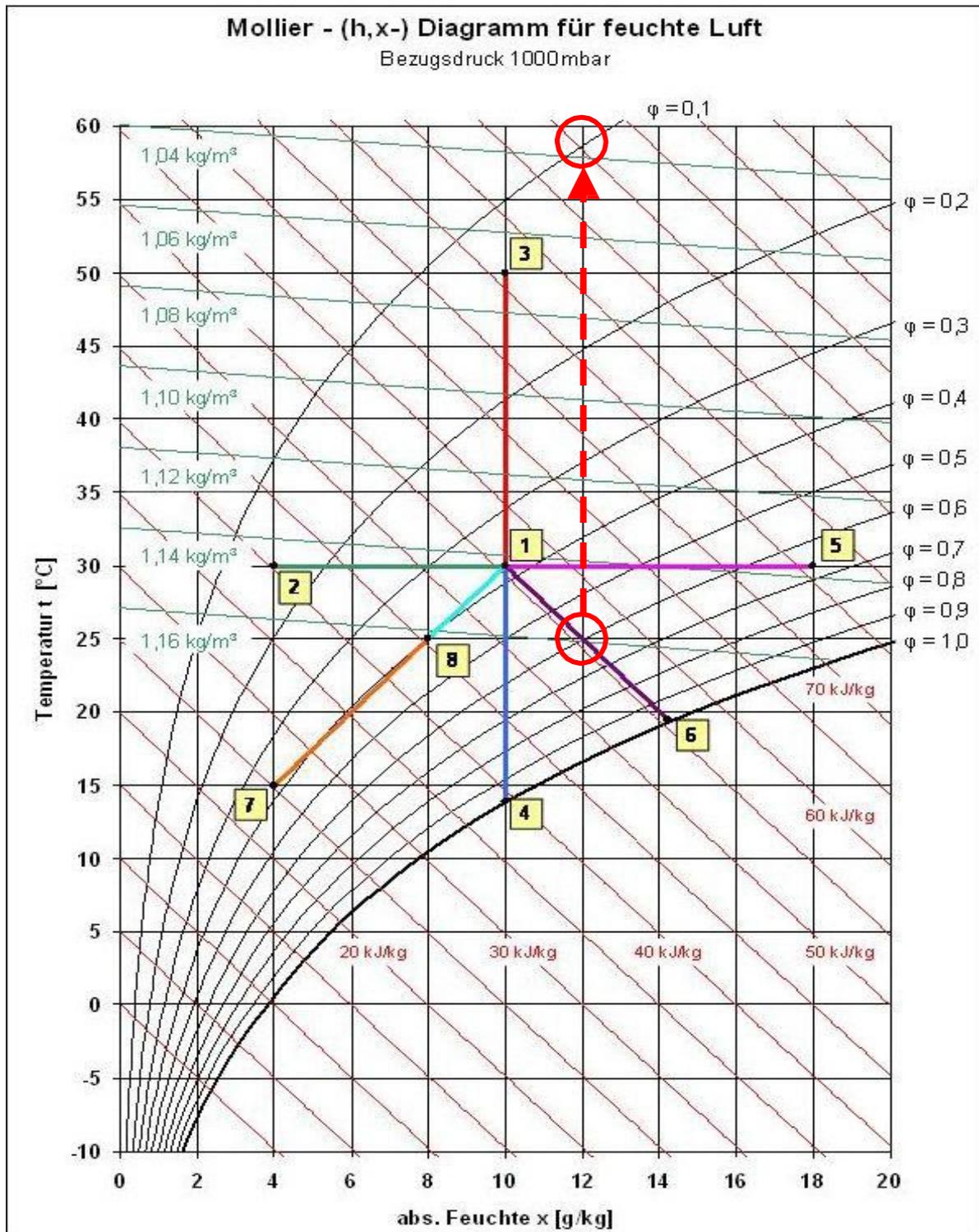


Abb. 2: Abhängigkeit der absoluten Feuchte von Temperatur  $T$  und relativer Feuchte  $\varphi$  ( $0,1 = 10\%$  relativer Feuchte; die Luft ist also nur zu  $10\%$  mit Wasserdampf gesättigt)  
Beispiel: Außenluft mit  $60\%$  rel. Feuchte und  $25^\circ\text{C}$  wird auf  $60^\circ\text{C}$  erwärmt. Dadurch sinkt die rel. Feuchte auf ca.  $10\%$ , d.h. die nun wärmere Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen.

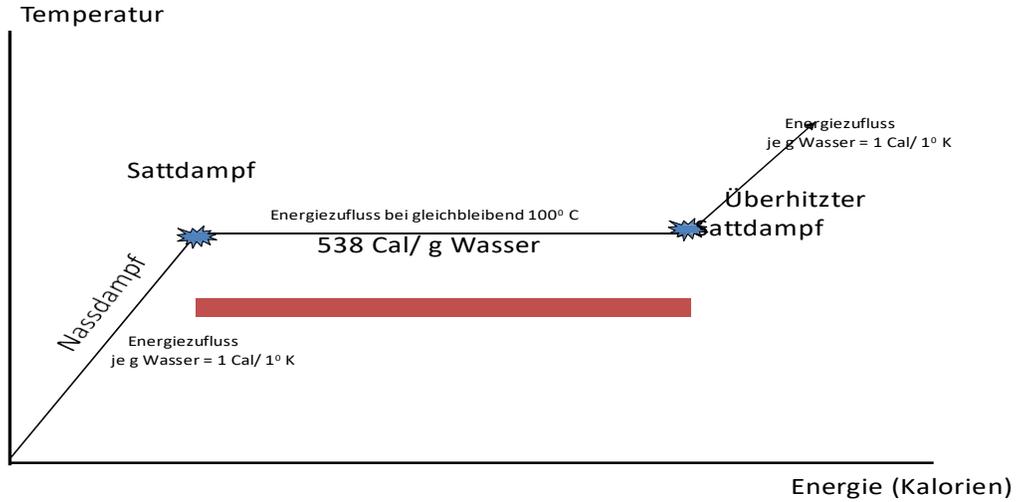
Luft Temperatur kühler als Haut Luftfeuchte niedrig, Dampfdruck gering		Hautkühlung durch Verdunstung? <b>JA</b>	<u>sommerliches Wetter</u> gewünschte Bedingung für Schweißverdunstung Kühlung möglich
warme schweißnasse Haut mit hohem Dampfdruck			

Lufttemperatur mit ca. 40°C etwas über der der Haut, rel. Feuchte 100% Dampfdruck der Luft hoch		Hautkühlung durch Verdunstung? <b>NEIN</b>	<u>Dampfsauna</u> praktisch keine Schweißverdunstung, keine Kühlung durch Verdunstung
Schweißfilm mit 10% rel. Feuchte über der Haut Dampfdruck über Haut hoch			

Luft 90°C rel. Feuchte 10% Dampfdruck ist hoch		Hautkühlung durch Verdunstung? <b>NEIN</b>	<u>Finnische Sauna</u> keine Schweißverdunstung bei Aufguss kondensiert Dampf auf Haut
Schweißfilm ist kühler als Luft Dampfdruck ist niedrig			

Abb. 3: drei Situationen der Beziehung zwischen den Phasen Luft und Wasser (Schweiß); im Saunabetrieb ist thermodynamisch die untere gegeben, d.h. die Haut kann Schweiß nicht an die Luft abgeben und damit kühlen. Dagegen kondensiert sogar Dampf aus der Luft auf der Haut

# Dampf als Energieträger



2

Abb. 4: Beim Übergang vom Satt dampf zum überhitzten Dampf (Verdunstung) werden je Gramm Wasser 538 Kalorien zugeführt, die bei Kondensation wieder frei werden. Demgegenüber steigt der Energieinhalt von Wasser, das von  $30^\circ \text{ C}$  auf  $100^\circ \text{ C}$  erwärmt wird, nur um 70 Kalorien



Abb. 5: räumliche Situation der Sauna mit Saunaofen links im Bild und Zugangstür



Abb. 6: Sicht auf Abluftöffnung an Saunawand gegenüber Aufgusssofen hinter unterster Sitzreihe



Abb. 7: Messinstrument MDRM zur Erfassung der Bestrahlungsstärke; Messgerät wurde in Raummitte aufgestellt



Abb. 8: Messstelle im Atembereich des Aufgießers mit Ventilator zur Verteilung des Messgases

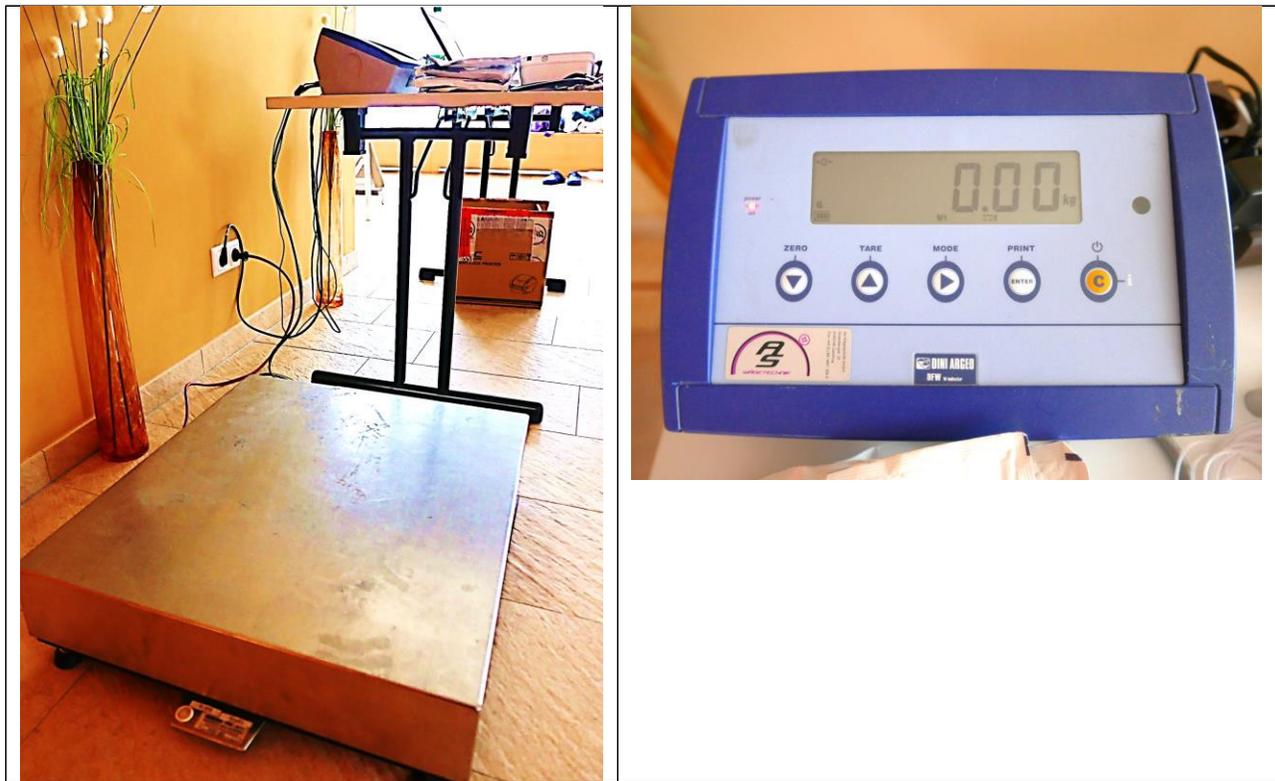


Abb. 9: Personenwaage mit Trittplattform und Bedienungsteil (Anzeige bis 10 g)

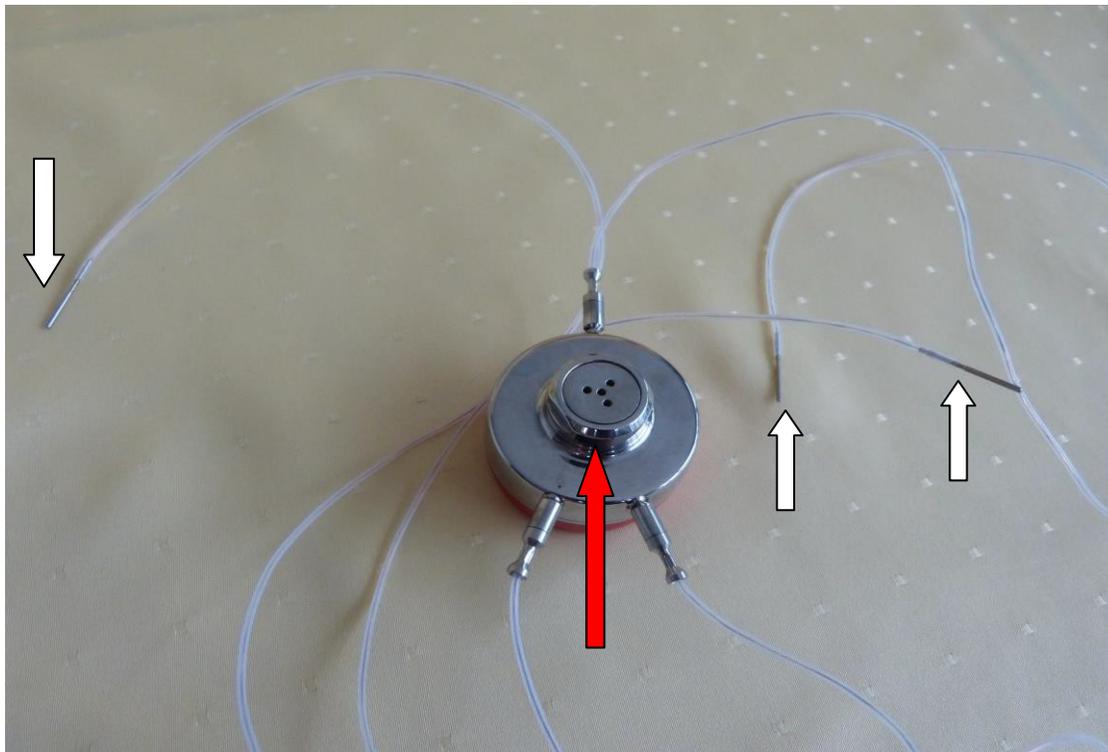


Abb. 10: Datenlogger EBI 10 mit 3 Thermofühlern (siehe Pfeile); die Druckmessung (roter Pfeil) wurde nicht benutzt

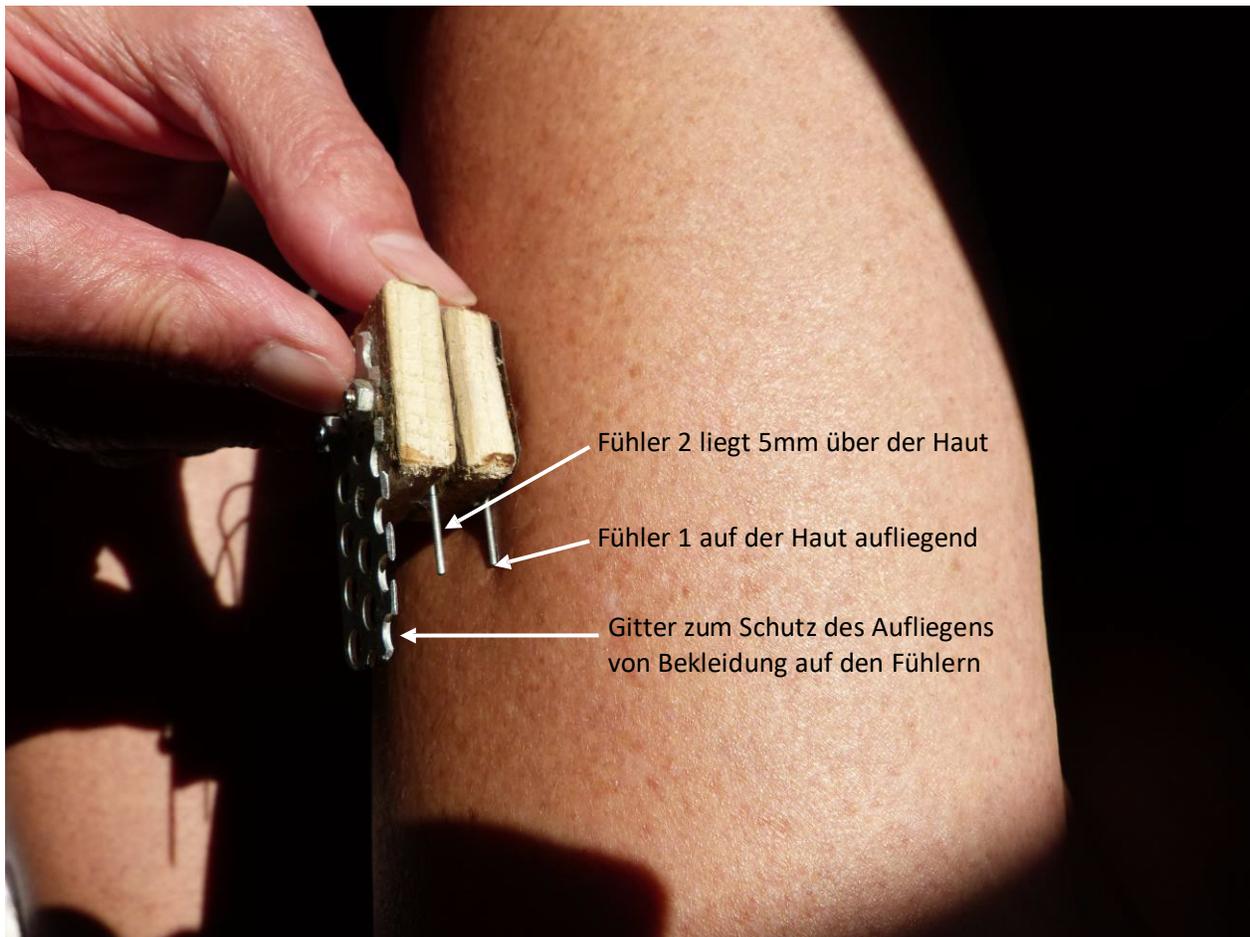


Abb. 11: Temperaturfühler des Datenloggers EBI 10; man erkennt den auf der Haut aufliegenden Fühler 1 und den 5 mm über der Haut schwebenden Fühler 2; Das Gitter soll bei Bekleidung eine Berührung des Stoffes mit den Temperaturfühlern vermeiden.

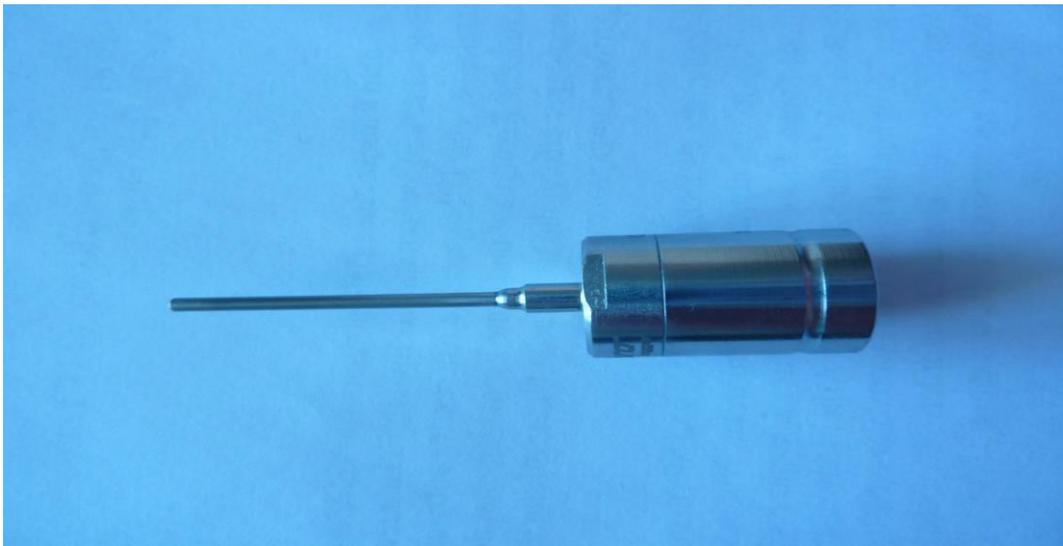


Abb. 12: Datenlogger EBI 11 zur Temperaturmessung im Saunaraum



Abb. 13: EBI 310 mit abgenommenem Schutzgitter; zu sehen ist die Platine mit Fühler (schwarzes Viereck beim roten Pfeil) für Temperatur und Luftfeuchte



Abb. 14: EBI 310 auf der Haut aufliegend mit Schutzgitter



Abb. 15: Messgerät EBI 20 zur Erfassung von Temperatur und Feuchte im Saunaraum (Messbereich nur bis 60°C, also nur im unteren Saunaraum einsetzbar)



Abb. 16: Wärmebildkamera

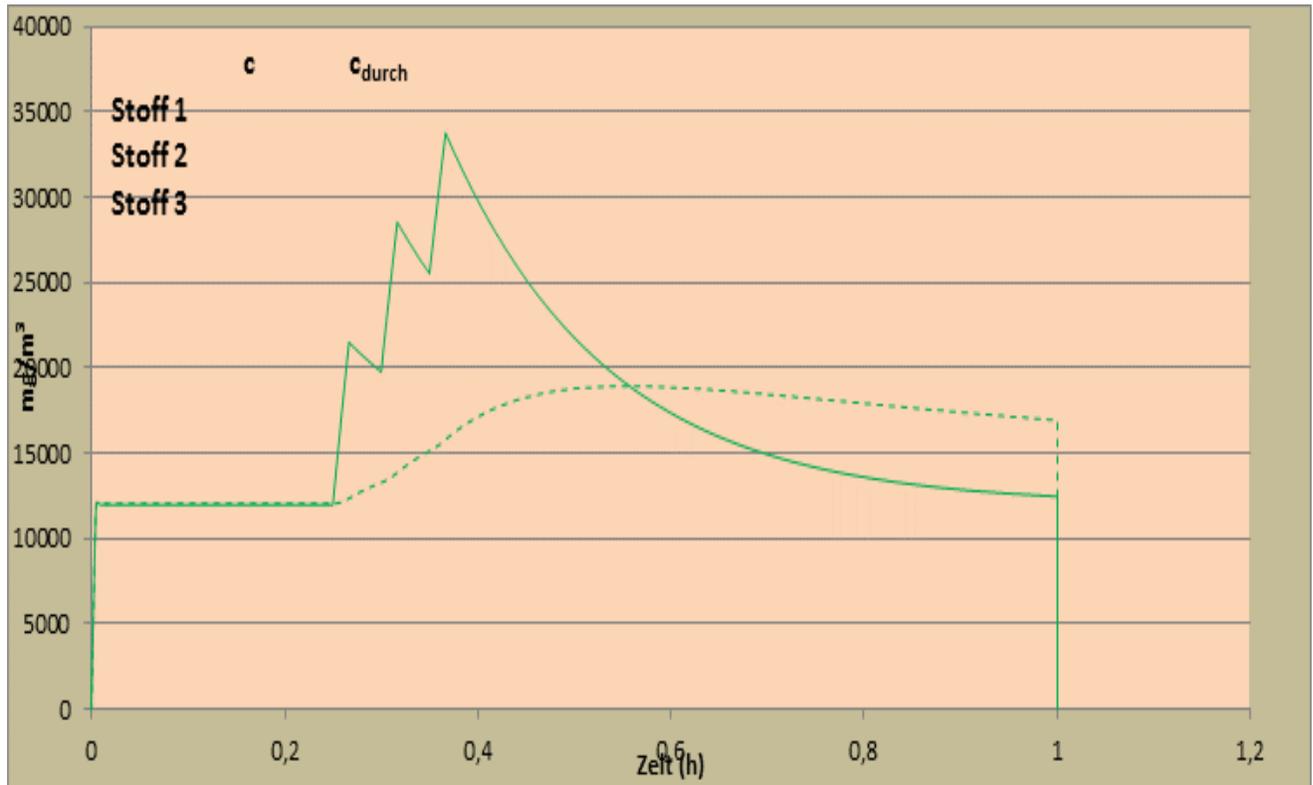


Abb. 17: Berechnung der Luftfeuchte im Saunaraum durch Aufgüsse bei gegebenem Luftwechsel (aus Anlage 2 Wegscheider, Eickmann);  
 Durch Aufgüsse steigt die Luftfeuchte an, nach knapp einer Stunde ist die durch Aufgüsse eingebrachte Feuchte wieder durch Luftwechsel beseitigt.

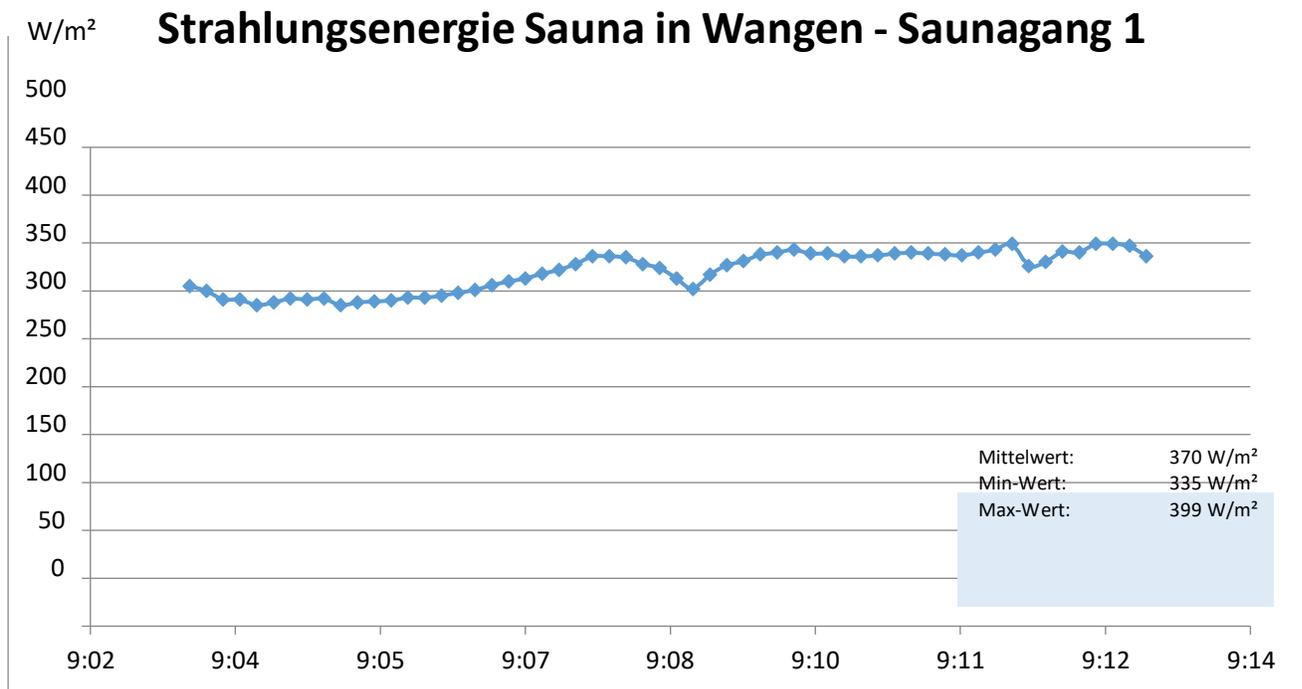


Abb. 18.1: Messung der Strahlungsenergie des Saunaraumes beim Saunagang 1

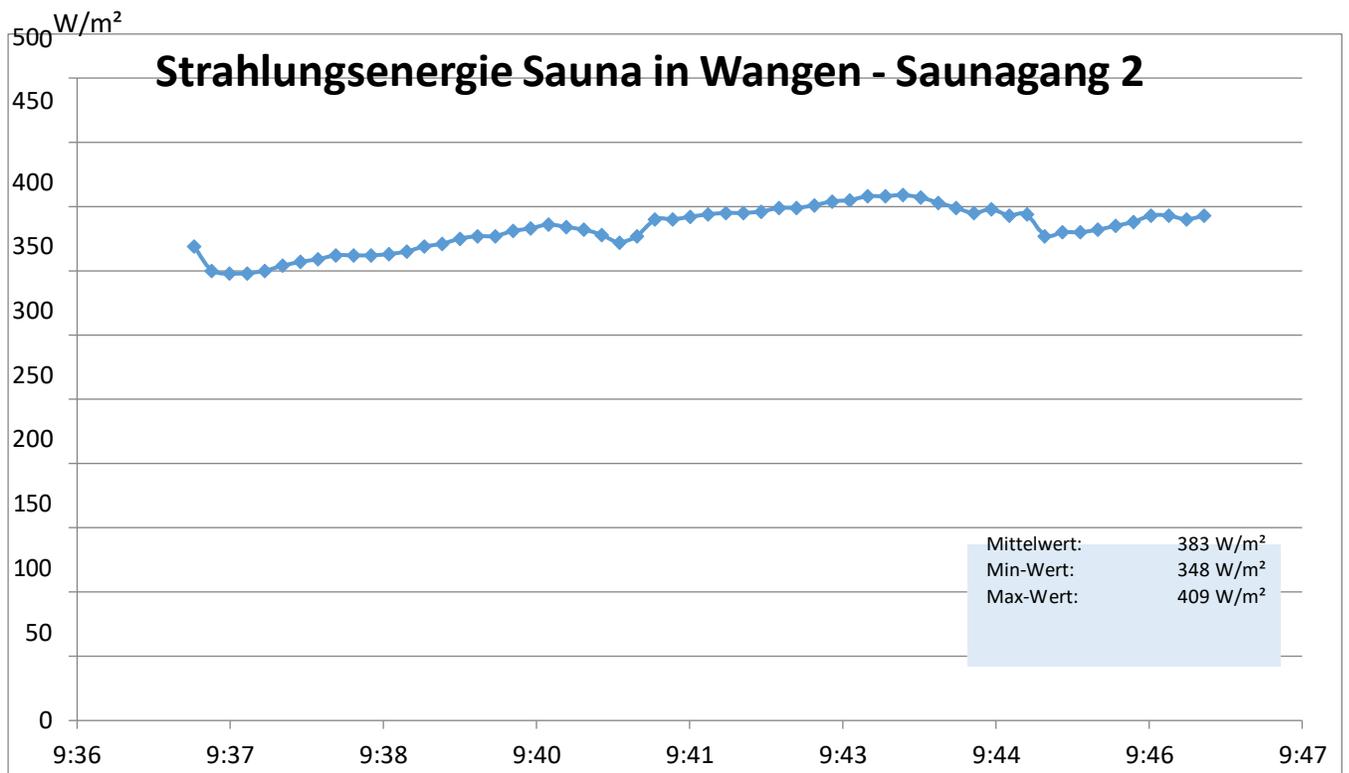


Abb. 18.2: Messung der Strahlungsenergie des Saunaraumes beim Saunagang 2

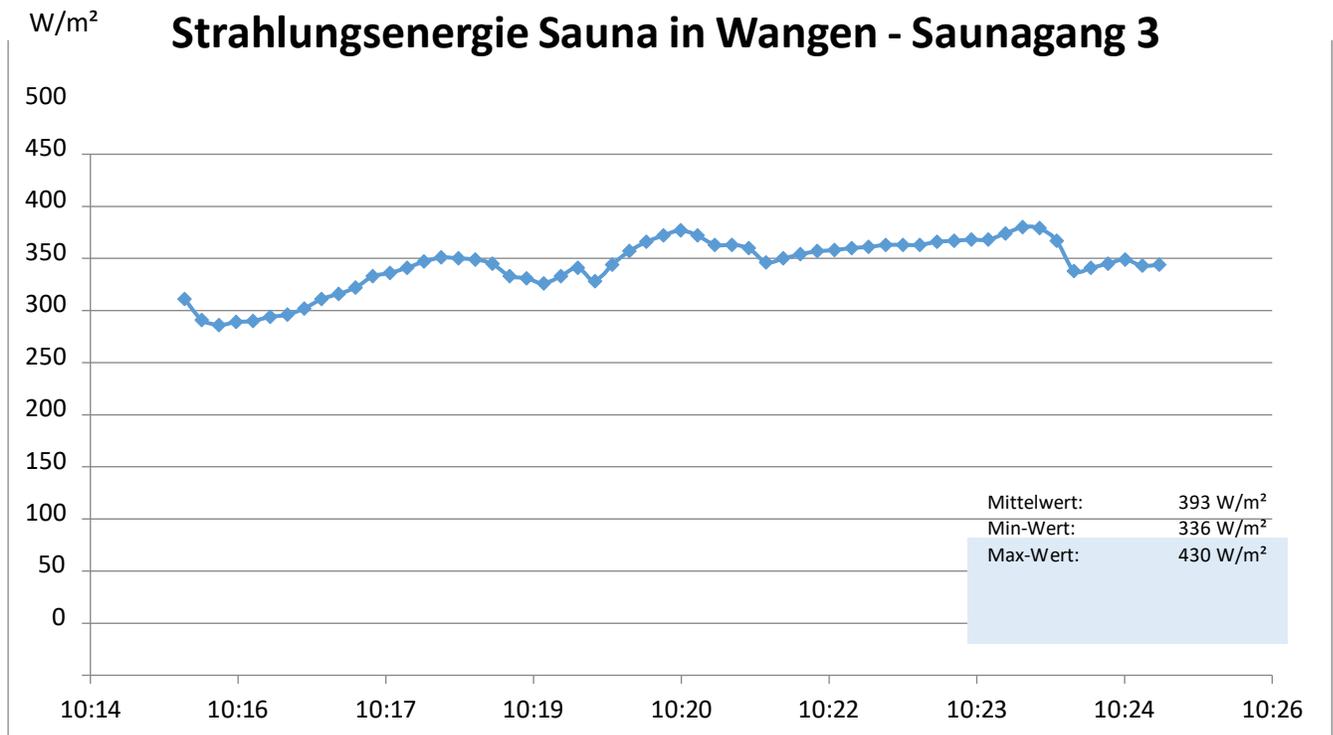


Abb. 18.3: Messung der Strahlungsenergie des Saunaraumes beim Saunagang 3

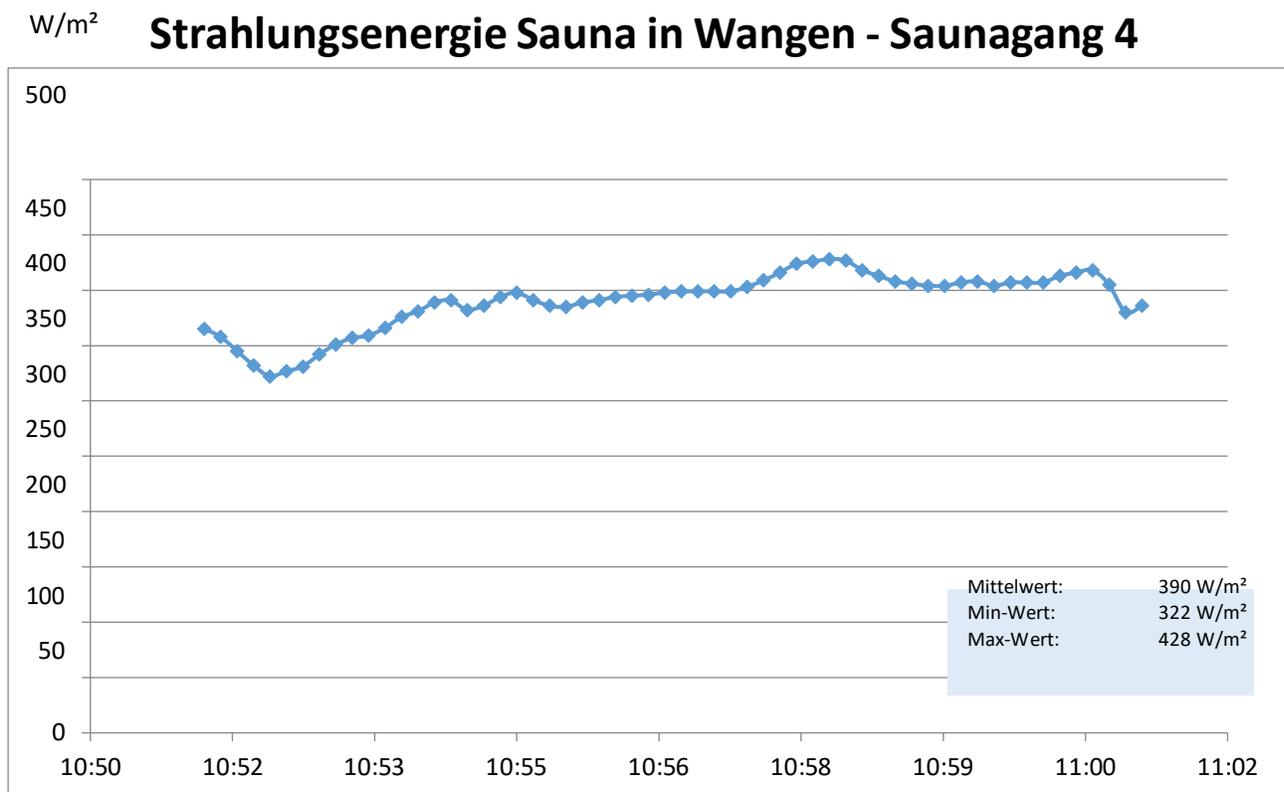


Abb. 18.4: Messung der Strahlungsenergie des Saunaraumes beim Saunagang 4

## Temperatur und Feuchte in und vor der Sauna

gemessen wurde in der Sauna auf der zweiten Sitzbank (90 cm über Boden) und außerhalb der Sauna in Tischhöhe mit Datenlogger EBI 20

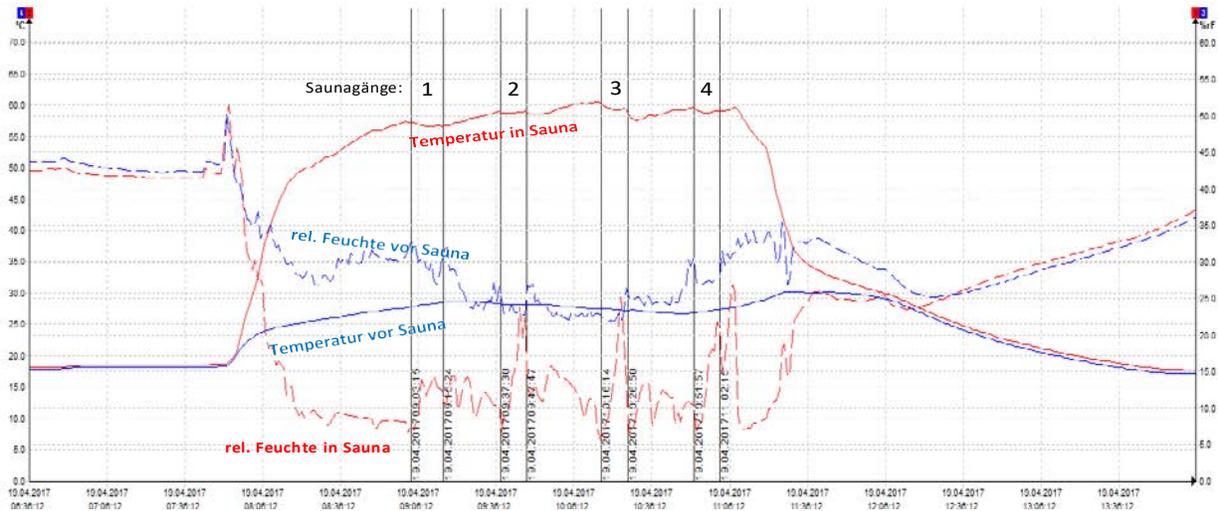
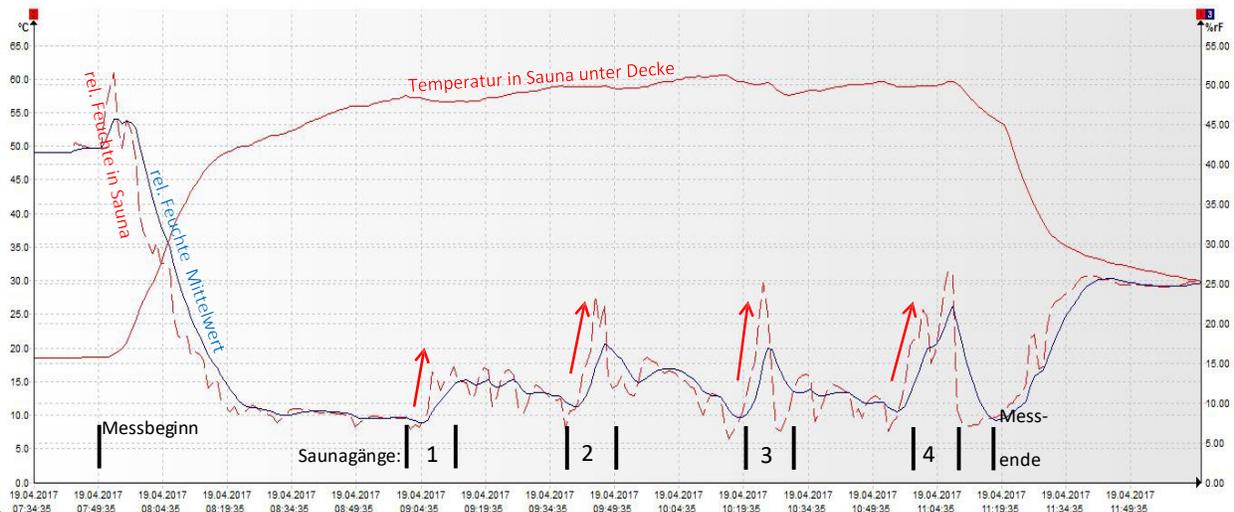


Abb. 19.1: Messung von Temperatur und Feuchte am 19.04.2017 vor und in der Sauna mit Datenlogger EBI 20; Darstellung von Temperaturen und rel. Feuchte aller 4 Saunadurchgänge im Saunaraum und vor der Sauna

### Saunaklima im Schwitzraum (Ausschnitt aus vorheriger Abbildung )

- Temperatur (braun) in 80cm Höhe über Boden
- relative Feuchte (grün) in 80cm Höhe über Boden
- Mittelwertbildung der Luftfeuchte (schwarz gestrichelt)



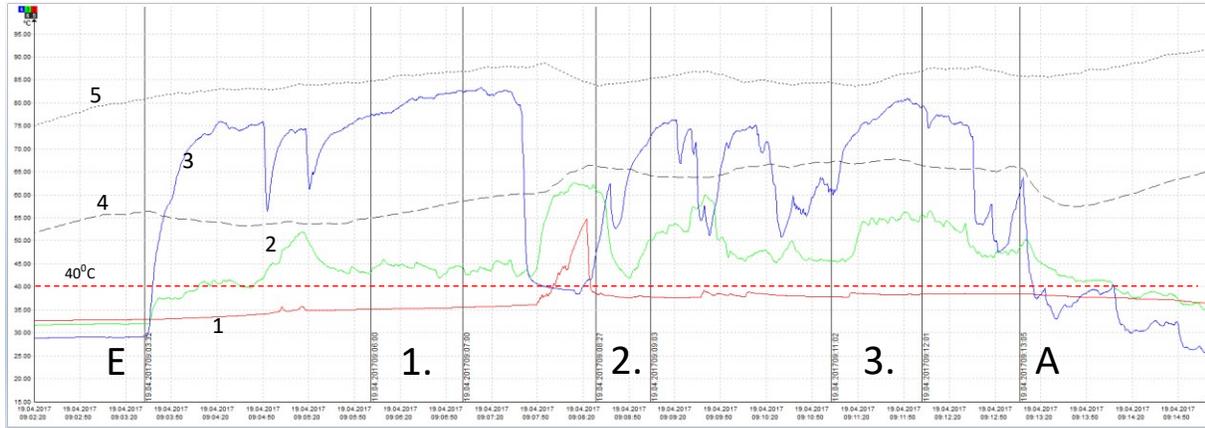
- Die relative Luftfeuchte steigt von einem Anfangswert um 10% nach dem Aufguss auf Werte um 15% bis 20%, um danach wieder abzusinken. Mit jedem Saunagang ist eine leichte Erhöhung der relativen Luftfeuchte zu sehen.
- Eine Temperaturänderung der Saunaluft ist nicht zu beobachten.
- Gemessen wurde auf der mittleren Sitzbank in 80 cm Höhe mit Messgerät EBI 20 (Messbereich  $T \leq 70^{\circ}\text{C}$  und Feuchte  $\%rF \leq 100\%$ ).

Abb. 19.2: Ausschnitt aus Abb. 19.1 mit Mittelwertbildung der relativen Luftfeuchte und besser sichtbarem Anstieg beim Aufguss; gemessen wurde mit Datenlogger EBI 20, der über alle Saunagänge am Messort blieb

Saunagang 1

Proband 1 (Profi)

Oberkörper unbekleidet



### Beschreibung:

Aufguss: gesamt ca. 1 Liter Wasser

E	Eintritt in Sauna
1.Aufguss	0,33 Liter Wasser
2.Aufguss	0,33 Liter Wasser
3.Aufguss	0,33 Liter Wasser
A	Austritt aus Sauna

### Temperaturmessung:

Fühler 1-3: Messfolge alle 250 ms;  
Fühler 4+5: Messfolge jede Sekunde

Temperatur 1 (rot)	Messfühler auf der Haut aufliegend
Temperatur 2 (grün)	Messfühler 5 mm über Haut angeordnet
Temperatur 3 (blau)	Umgebung vor Oberkörper des Probanden
Temperatur 4 (Striche)	Messfühler auf unterster Sitzbank (40 cm über Boden)
Temperatur 5 (Punkte)	Messfühler unter Decke (210 cm über Boden)

### Ergebnis:

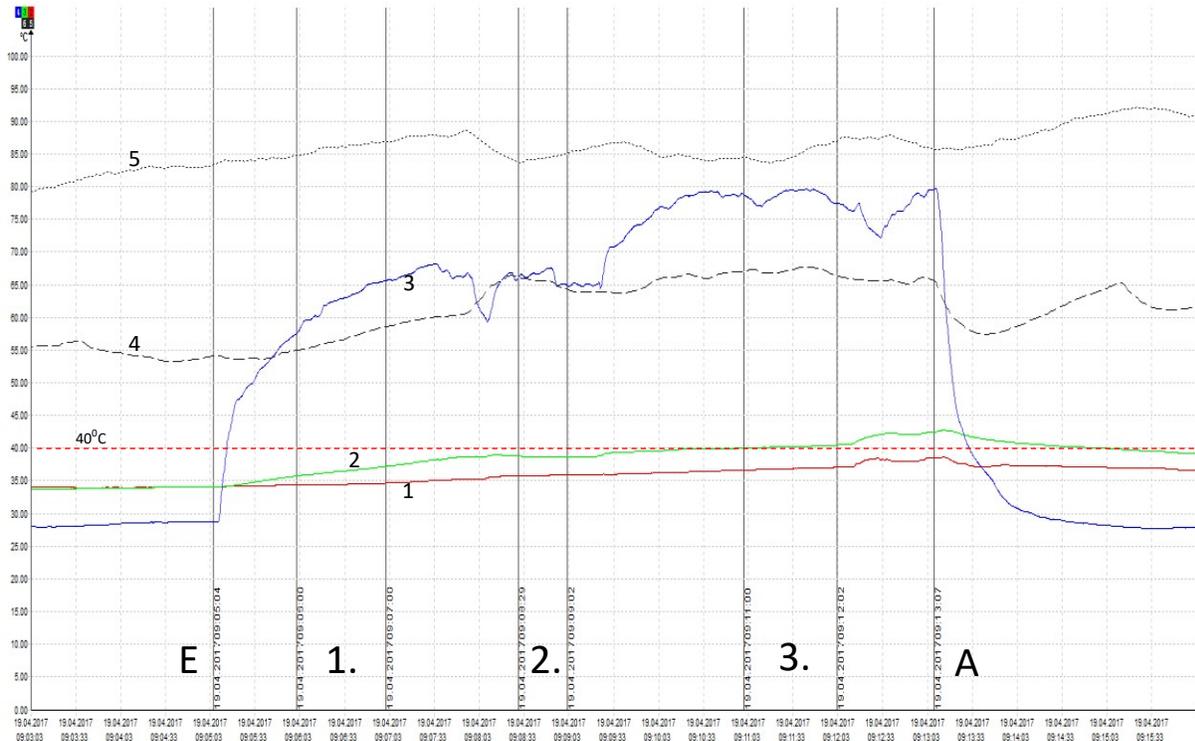
Die Temperatur 5 mm über der Haut liegt deutlich über der der Haut.

Abb. 20.1: Temperaturmessungen am Probanden wie in Kopfzeile beschrieben;

Saunagang 1

Proband 2 (Gast)

Oberkörper bekleidet



### Beschreibung:

<u>Aufguss:</u>	gesamt ca. 1 Liter Wasser
E	Eintritt in Sauna
1. Aufguss	0,33 Liter Wasser
2. Aufguss	0,33 Liter Wasser
3. Aufguss	0,33 Liter Wasser
A	Austritt aus Sauna

### Temperaturmessung:

Fühler 1-3:	Messfolge alle 250 ms;
Fühler 4+5:	Messfolge jede Sekunde
Temperatur 1 (rot)	Messfühler auf der Haut aufliegend
Temperatur 2 (grün)	Messfühler 5 mm über Haut angeordnet
Temperatur 3 (blau)	Umgebung vor Oberkörper des Probanden
Temperatur 4 (Striche)	Messfühler auf unterster Sitzbank (40 cm über Boden)
Temperatur 5 (Punkte)	Messfühler unter Decke (210 cm über Boden)

### Ergebnis:

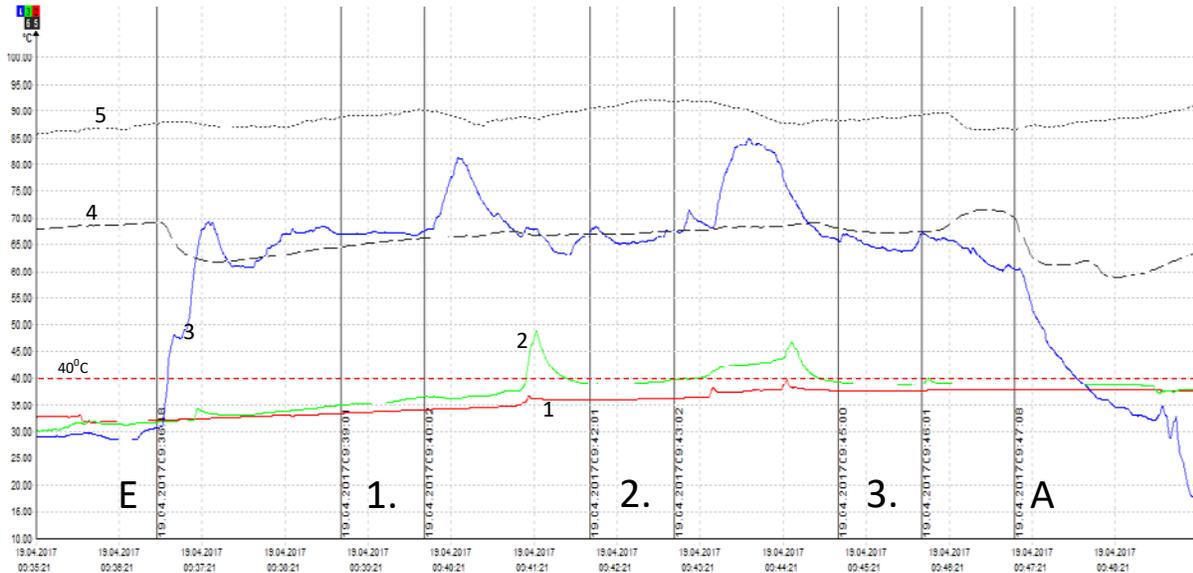
Die Temperatur auf der Haut und 5 mm über der Haut liegen dicht beieinander.

Abb. 20.2: Temperaturmessungen am Probanden wie in Kopfzeile beschrieben;

Saunagang 2

Proband 1 (Profi)

Oberkörper bekleidet



### Beschreibung:

<u>Aufguss:</u>	gesamt ca. 1 Liter Wasser
E	Eintritt in Sauna
1.Aufguss	0,33 Liter Wasser
2.Aufguss	0,33 Liter Wasser
3.Aufguss	0,33 Liter Wasser
A	Austritt aus Sauna

### Temperaturmessung:

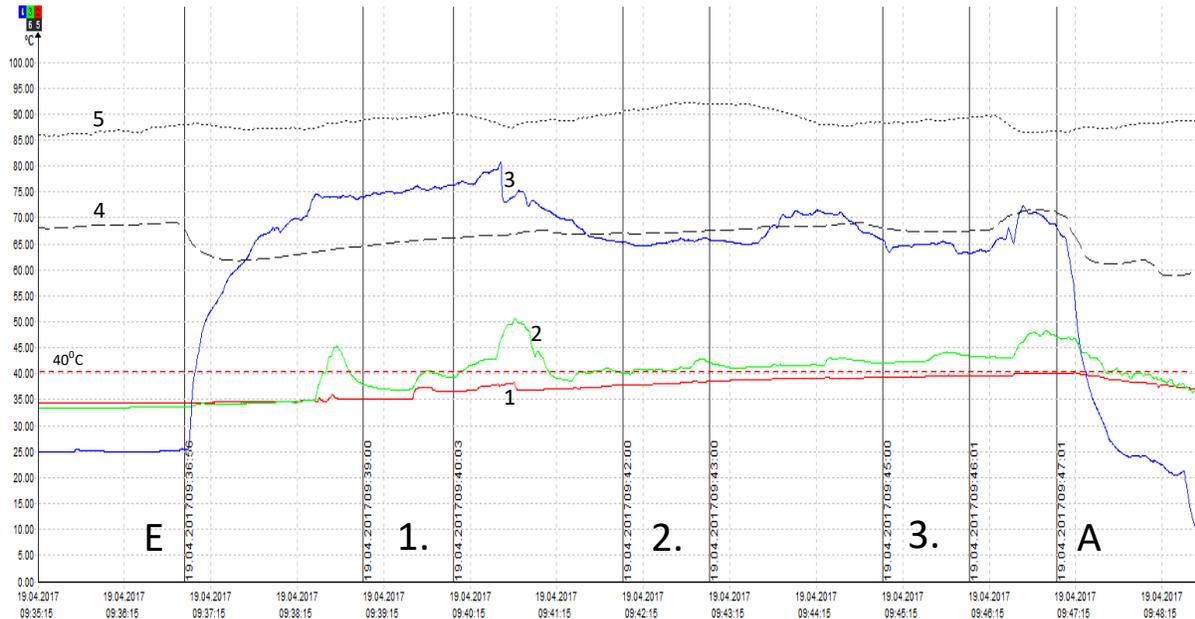
Fühler 1-3:	Messfolge alle 250 ms;
Fühler 4+5:	Messfolge jede Sekunde
Temperatur 1 (rot)	Messfühler auf der Haut aufliegend
Temperatur 2 (grün)	Messfühler 5 mm über Haut angeordnet
Temperatur 3 (blau)	Umgebung vor Oberkörper des Probanden
Temperatur 4 (Striche)	Messfühler auf unterster Sitzbank (40 cm über Boden)
Temperatur 5 (Punkte)	Messfühler unter Decke (210 cm über Boden)

### Ergebnis:

Die Temperatur auf der Haut und 5 mm über der Haut liegen dicht nebeneinander.  
Der Proband führt den Aufguss durch, steht also dicht vor dem Ofen und bewegt sich.

Abb. 20.3: Temperaturmessungen am Probanden wie in Kopfzeile beschrieben;

## Saunagang 2      Proband 2 (Gast)      Oberkörper unbekleidet



### Beschreibung:

<b>Aufguss:</b>	gesamt ca. 1 Liter Wasser
E	Eintritt in Sauna
1.Aufguss	0,33 Liter Wasser
2.Aufguss	0,33 Liter Wasser
3.Aufguss	0,33 Liter Wasser
A	Austritt aus Sauna

### Temperaturmessung:

Fühler 1-3:	Messfolge alle 250 ms;
Fühler 4+5:	Messfolge jede Sekunde
Temperatur 1 (rot)	Messfühler auf der Haut aufliegend
Temperatur 2 (grün)	Messfühler 5 mm über Haut angeordnet
Temperatur 3 (blau)	Umgebung vor Oberkörper des Probanden
Temperatur 4 (Striche)	Messfühler auf unterster Sitzbank (40 cm über Boden)
Temperatur 5 (Punkte)	Messfühler unter Decke (210 cm über Boden)

### Ergebnis:

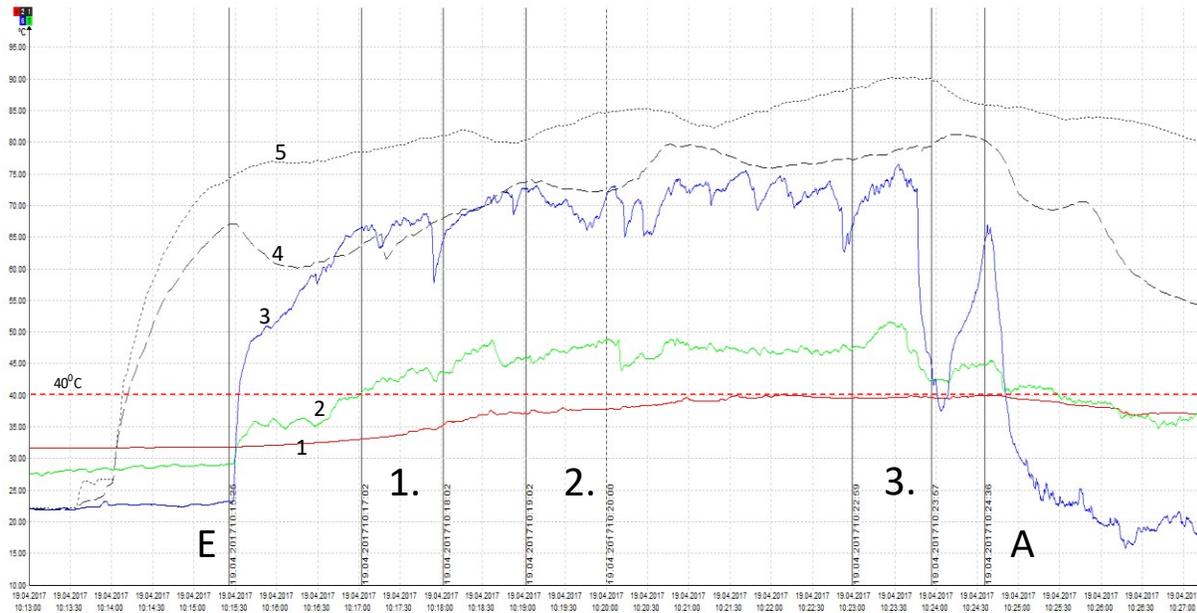
Die Temperatur 5 mm über der Haut liegt deutlich über der der Haut.

Abb. 20.4: Temperaturmessungen am Probanden wie in Kopfzeile beschrieben;

Saunagang 3

Proband 1 (Profi)

Oberkörper unbekleidet



### Beschreibung:

<u>Aufguss:</u>	gesamt ca. 3 Liter Wasser
E	Eintritt in Sauna
1.Aufguss	1 Liter Wasser
2.Aufguss	1 Liter Wasser
3.Aufguss	1 Liter Wasser
A	Austritt aus Sauna

### Temperaturmessung:

Fühler 1-3:	Messfolge alle 250 ms;
Fühler 4+5:	Messfolge jede Sekunde
Temperatur 1 (rot)	Messfühler auf der Haut aufliegend
Temperatur 2 (grün)	Messfühler 5 mm über Haut angeordnet
Temperatur 3 (blau)	Umgebung vor Oberkörper des Probanden
Temperatur 4 (Striche)	Messfühler auf unterster Sitzbank (40 cm über Boden)
Temperatur 5 (Punkte)	Messfühler unter Decke (210 cm über Boden)

### Ergebnis:

Die Temperatur auf der Haut ist deutlich niedriger als 5 mm über der Haut.

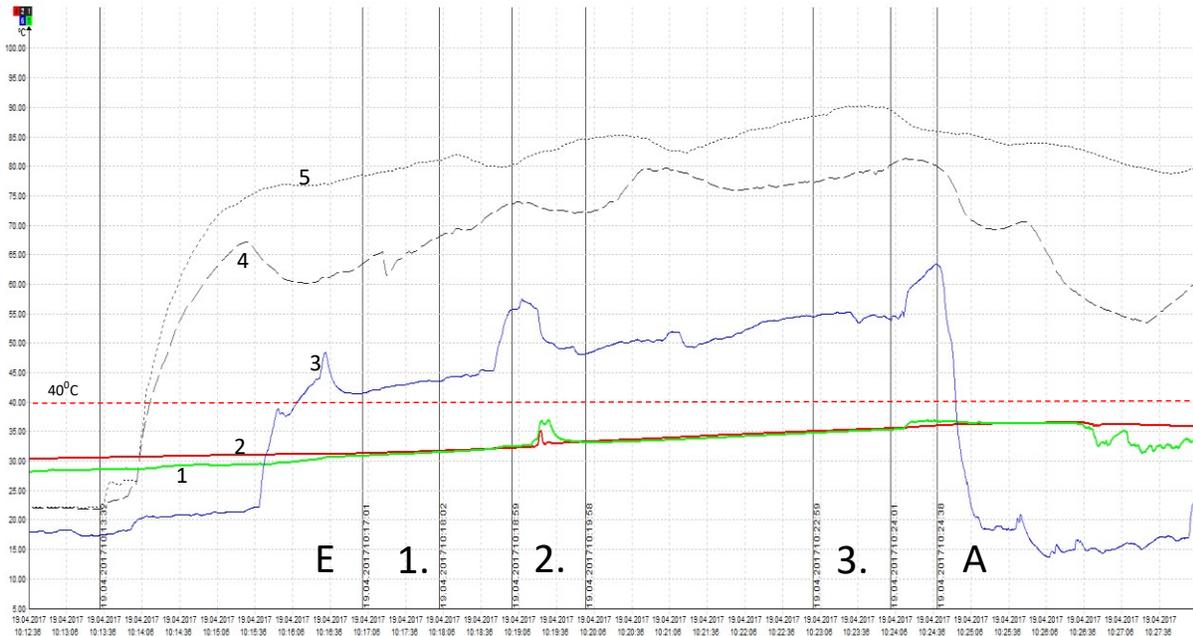
Die Temperatur vor dem Oberkörper liegt höher als bei Proband 2 unter gleichen Bedingungen (gleicher Saunagang), da Proband 1 vor dem Ofen aufgoss, Proband 2 auf 2. Sitzbank saß

Abb. 20.5: Temperaturmessungen am Probanden wie in Kopfzeile beschrieben

Saunagang 3

Proband 2 (Gast)

Oberkörper bekleidet

**Beschreibung:**

<b>Aufguss:</b>	gesamt ca. 3 Liter Wasser
E	Eintritt in Sauna
1. Aufguss	1 Liter Wasser
2. Aufguss	1 Liter Wasser
3. Aufguss	1 Liter Wasser
A	Austritt aus Sauna

**Temperaturmessung:**

Fühler 1-3:	Messfolge alle 250 ms;
Fühler 4+5:	Messfolge jede Sekunde
Temperatur 1 (rot)	Messfühler auf der Haut aufliegend
Temperatur 2 (grün)	Messfühler 5 mm über Haut angeordnet
Temperatur 3 (blau)	Umgebung vor Oberkörper des Probanden
Temperatur 4 (Striche)	Messfühler auf unterster Sitzbank (40 cm über Boden)
Temperatur 5 (Punkte)	Messfühler unter Decke (210 cm über Boden)

**Ergebnis:**

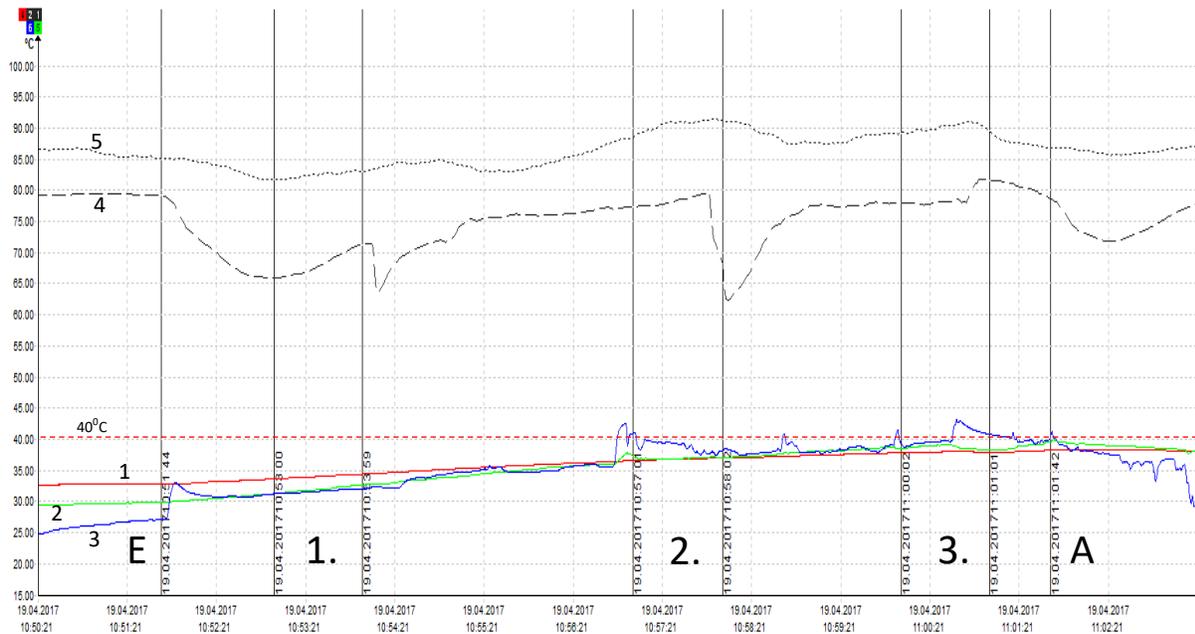
Die Temperatur auf der Haut und 5 mm über der Haut liegen dicht zusammen.

Abb. 20.6: Temperaturmessungen am Probanden wie in Kopfzeile beschrieben

Saunagang 4

Proband 1 (Profi)

Oberkörper bekleidet



### Beschreibung:

<u>Aufguss:</u>	gesamt ca. 3 Liter Wasser
E	Eintritt in Sauna
1.Aufguss	1 Liter Wasser
2.Aufguss	1 Liter Wasser
3.Aufguss	1 Liter Wasser
A	Austritt aus Sauna

### Temperaturmessung:

Fühler 1-3:	Messfolge alle 250 ms; Fühler
4+5:	Messfolge jede Sekunde
Temperatur 1 (rot)	Messfühler auf der Haut aufliegend
Temperatur 2 (grün)	Messfühler 5 mm über Haut angeordnet
Temperatur 3 (blau)	Umgebung vor Oberkörper des Probanden
Temperatur 4 (Striche)	Messfühler auf unterster Sitzbank (40 cm über Boden)
Temperatur 5 (Punkte)	Messfühler unter Decke (210 cm über Boden)

### Ergebnis:

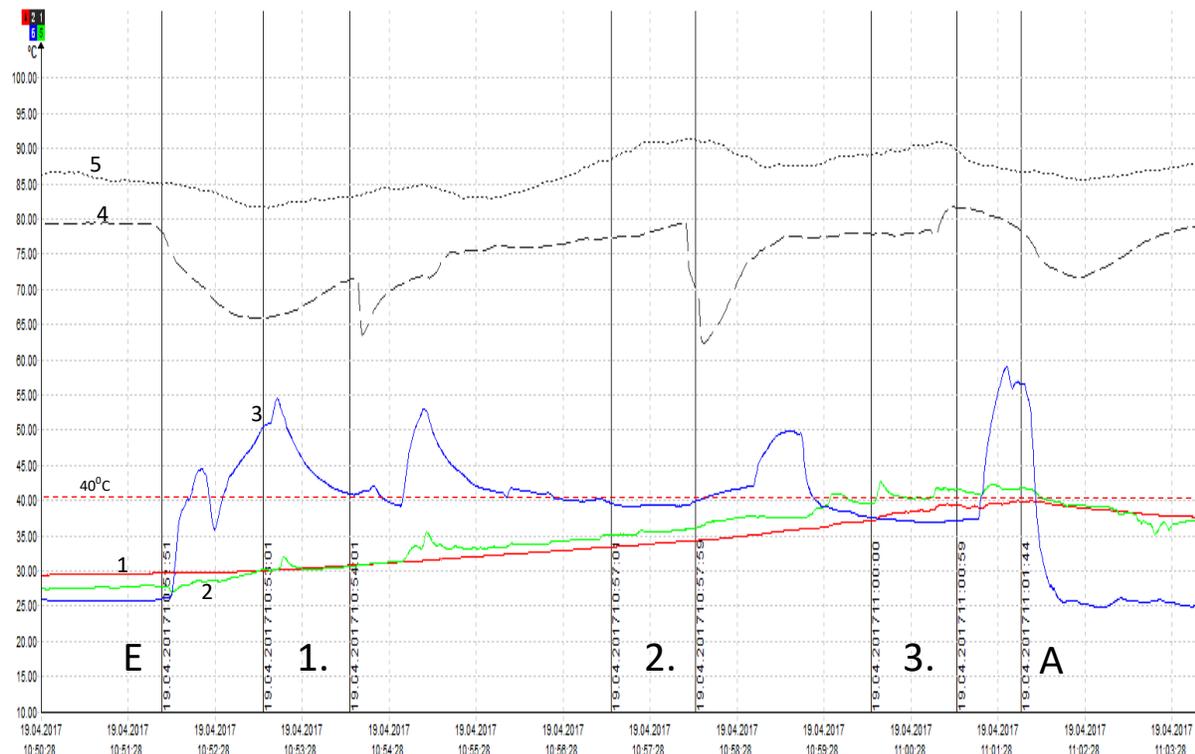
Die Temperatur auf der Haut und 5 mm über der Haut liegen dicht zusammen.

Abb. 20.7: Temperaturmessungen am Probanden wie in Kopfzeile beschrieben;

Saunagang 4

Proband 2 (Gast)

Oberkörper unbekleidet



## Beschreibung:

<u>Aufguss:</u>	gesamt ca. 3 Liter Wasser
E	Eintritt in Sauna
1.Aufguss	1 Liter Wasser
2.Aufguss	1 Liter Wasser
3.Aufguss	1 Liter Wasser
A	Austritt aus Sauna

## Temperaturmessung:

Fühler 1-3:	Messfolge alle 250 ms; Fühler
4+5:	Messfolge jede Sekunde
Temperatur 1 (rot)	Messfühler auf der Haut aufliegend
Temperatur 2 (grün)	Messfühler 5 mm über Haut angeordnet
Temperatur 3 (blau)	Umgebung vor Oberkörper des Probanden
Temperatur 4 (Striche)	Messfühler auf unterster Sitzbank (40 cm über Boden)
Temperatur 5 (Punkte)	Messfühler unter Decke (210 cm über Boden)

## Ergebnis:

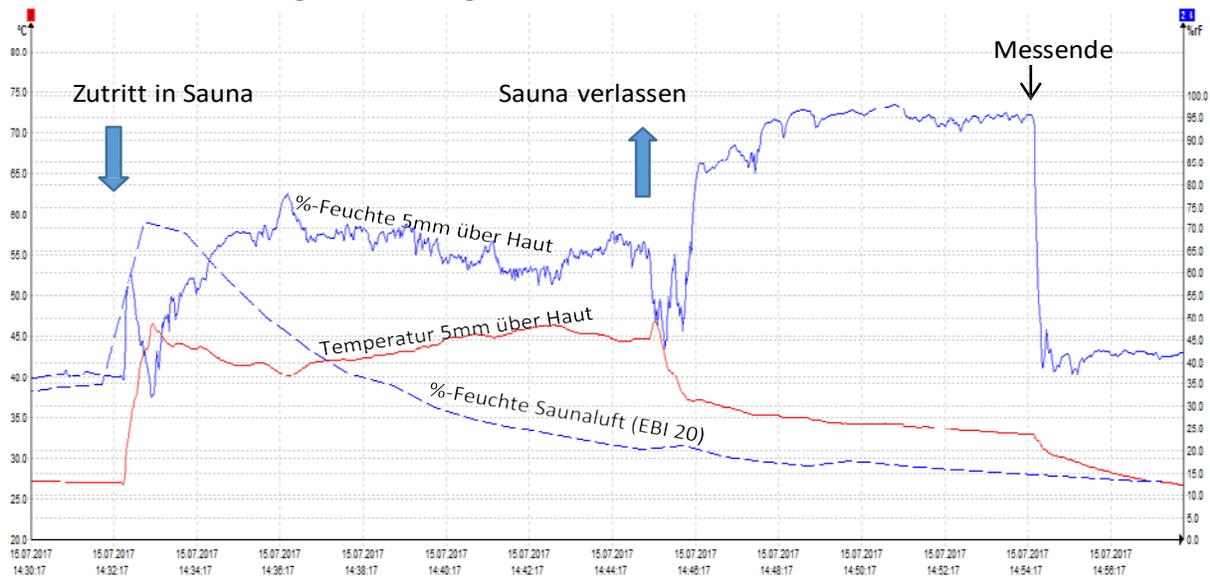
Die Temperatur 5 mm über der Haut liegt mit 3°C leicht über der Hauttemperatur.

Anmerkung: Die Temperatur auf der Haut liegt mit 30°C sehr tief. Proband hat ausgiebig nach 3. Saunagang geduscht, da die thermische Belastung mit 3 Litern Aufguss sehr hoch war.

Abb. 20.8: Temperaturmessungen am Probanden wie in Kopfzeile beschrieben;

## Messung T und Feuchte 5mm über der Haut

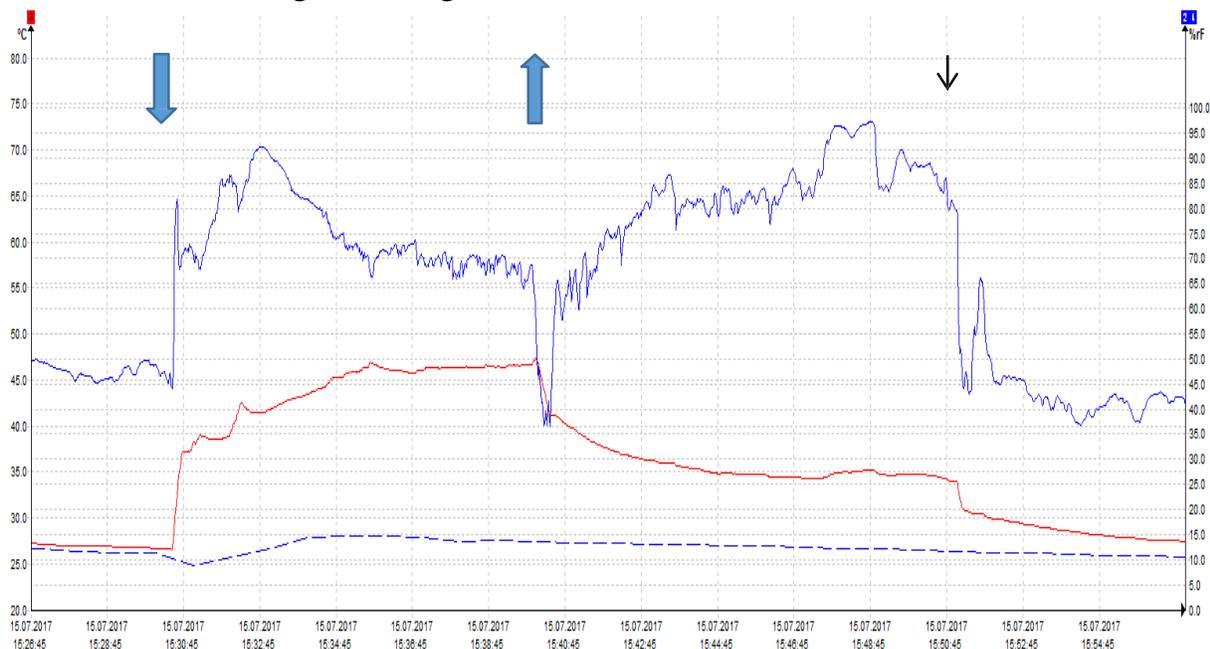
ohne Hautabdeckung ohne Aufguss



Temperatur und Feuchte steigen während des Saunaaufenthaltes leicht an. Nach Verlassen der Sauna steigt die Feuchte stark an, da die gegenüber der Außenluft warme und feuchte Haut gut verdunsten kann, wodurch die Hauttemperatur deutlich sinkt.

Anmerkung: der Datenlogger *EBI 20* misst mit einem Messzyklus von 1 min zu langsam, weshalb er etwa 13 Minuten Zeit bis zum Erreichen des Saunaklimas benötigt. Der Messfühler *EBI 310* zur Erfassung der Hautfeuchte ist mit einem Messzyklus von 1 sek deutlich schneller. Er verblieb nach erstem Einbringen für alle folgenden Messungen mit und ohne Hautabdeckung in der Sauna

ohne Hautabdeckung mit Aufguss

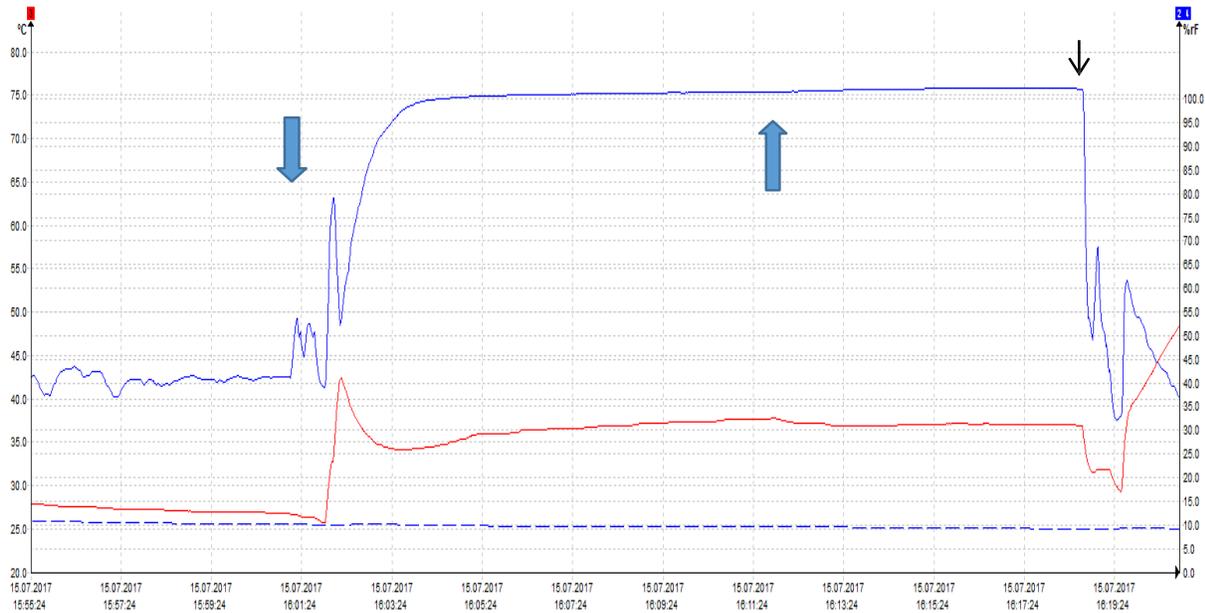


Temperatur und Feuchte 5mm über der Haut steigen mit Aufguss deutlich an. Nach Verlassen der Sauna bleibt die Feuchte hoch, die Temperatur sinkt durch Verdunstung.

Abb. 21.1: Messung des Klimas dicht über der Haut ohne Hautabdeckung

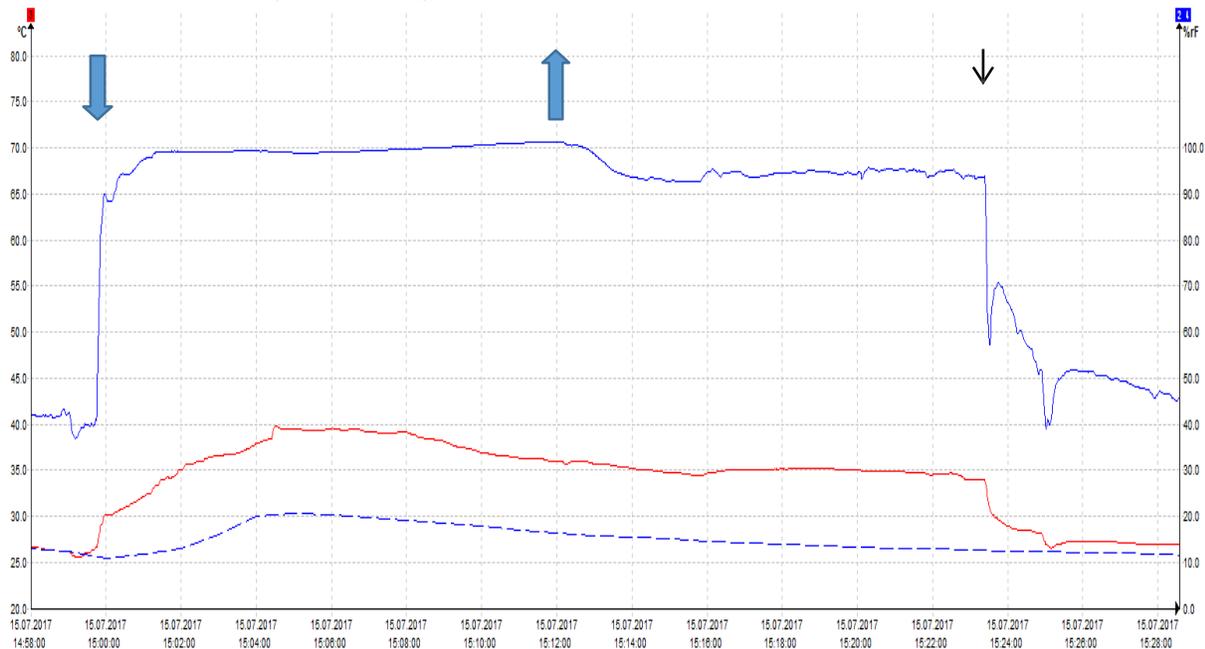
## Messung T und Feuchte 5mm über der Haut

mit Hautabdeckung ohne Aufguss



Die Verhältnisse entsprechen denen der Abdeckung mit Aufguss, nur dass sich nach Verlassen der Sauna nur geringe Abkühlungseffekte ergeben.

mit Hautabdeckung mit Aufguss



Temperatur und Feuchte 5mm über der Haut steigen mit Aufguss deutlich an. Nach Verlassen der Sauna bleibt die Feuchte hoch, die Temperatur sinkt.

Abb. 21.2: Messung des Klimas dicht über der Haut mit Hautabdeckung

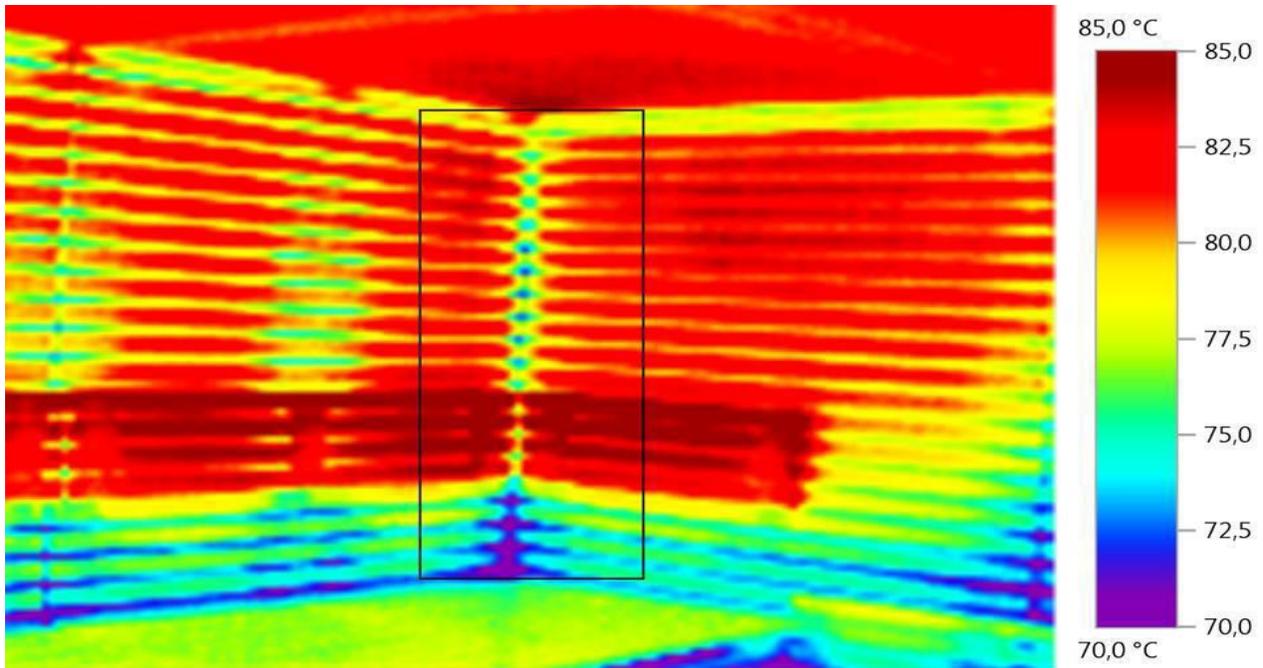


Abb. 22: Beispiel der Thermographiemessung der Wandtemperatur  
Messung erfolgte im schwarz markierten Viereck

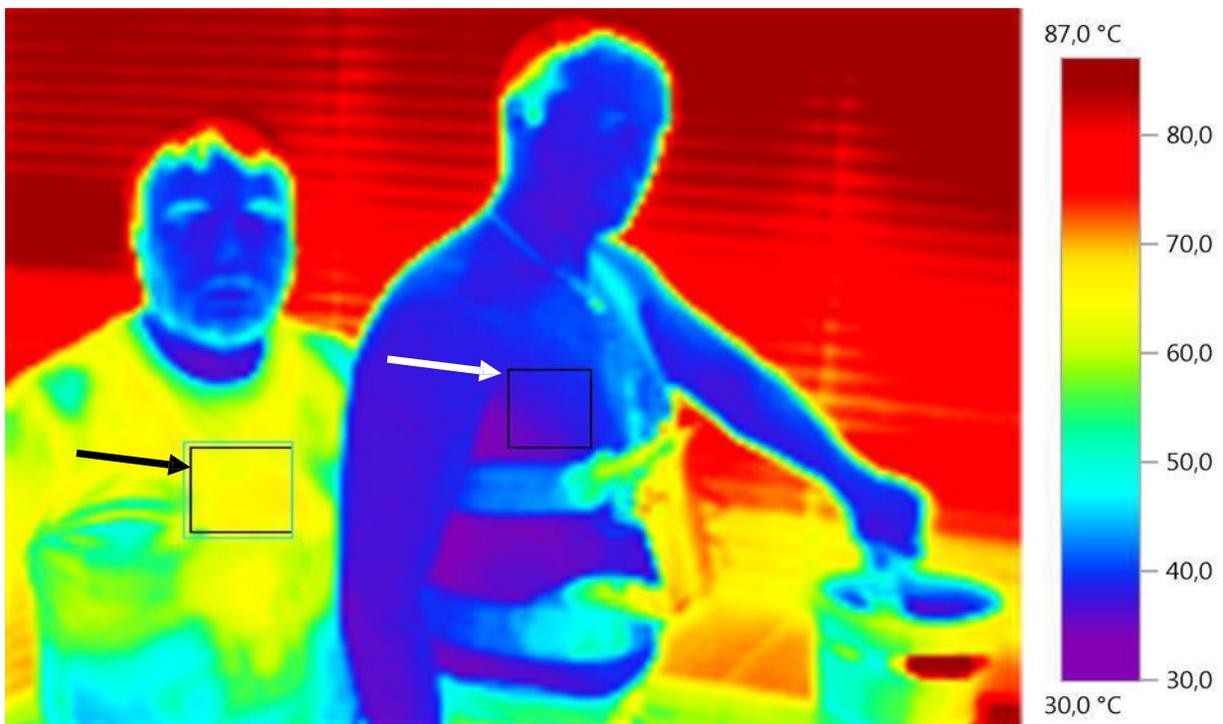


Abb. 23: Beispiel der Thermographiemessung an Versuchspersonen; gemessen wurde jeweils ein viereckiger Ausschnitt im Brustbereich der Versuchspersonen (bei Probanden siehe Pfeil); Proband links ist mit T-Shirt bekleidet, Proband rechts ohne Shirt vollzieht Aufguss; man erkennt bei ihm die Brustgurte, womit EKG-Elektroden und Thermofühler festgehalten werden