



Doctoral Thesis

## **Steam burns Moisture management in firefighter protective clothing**

**Author(s):**

Keiser, Corinne

**Publication Date:**

2007

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005465697> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 17406

## **STEAM BURNS**

# **MOISTURE MANAGEMENT IN FIREFIGHTER PROTECTIVE CLOTHING**

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

CORINNE KEISER  
Dipl. Masch.-Ing. ETH  
born January 26<sup>th</sup>, 1978  
citizen of Hergiswil NW

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Ph. Rudolf von Rohr, examiner  
Prof. Dr. L. Schlapbach, co-examiner  
Dr. R. Rossi, co-examiner

St. Gallen, 2007

## **ABSTRACT**

While working on a fire ground, firefighters are exposed to a hot and very moist environment. During an assignment they start to sweat heavily. A large amount of this sweat remains in the clothing layers and strongly affects the thermal insulation properties of the garment. Furthermore, new fire extinguishing techniques use small water droplets to smother the fire, producing a high water vapour partial pressure atmosphere. The protective clothing has to be able to absorb this moisture while keeping its heat protection. Additionally, when the garment is exposed to thermal hazard, moisture trapped in the clothing layers might evaporate and move towards the skin where it condenses. During the phase change of the moisture, high energy transfer to the skin takes place and second degree burns may occur. These injuries are generally referred to as steam burns which seem to emerge especially at low level radiant heat fluxes.

Aim of this thesis was to analyse the absorption and the transfer of moisture within the clothing layers and its effects on the heat transfer. The main emphasis was put on conditions for the formation of steam burns.

In a first step, the distribution of moisture in the layers of a firefighter protective clothing system (usually three layers of firefighter protective clothing plus the underwear and a work wear) was studied. The location and amount of moisture in the protective clothing affects the ability of hot steam to arise and also to move through the clothing layers towards the body. The moisture content of a single layer was found to be not only dependent on the material properties of that particular layer but mainly on properties of the neighbouring layers or even of the whole combination. Effects of the moisture absorption ability of the underwear and

wicking properties of the neighbouring layer were superimposed. Especially the second layer of the combination proved to be of high importance for the moisture distribution.

The aim of the subsequent study was to determine the speed of evaporation and vapour diffusion through protective clothing layers. As humidity sensors were too slow to measure fast changes of humidity inside the clothing layers, temperature changes were used to analyse the evaporation of moisture. The temperature courses of the measurements could be regarded as consisting of two superimposed curves. First, the curve of the textile including a moist layer from which the moisture is evaporating. Second, the curve of heating up the dry textiles after all moisture has evaporated out of the clothing layers. The end of the evaporation was clearly visible as the point at which the temperatures quickly changed after a phase with constant temperatures. Temperatures within the clothing layers containing a wet layer never rose higher than the temperatures within dry clothing. As soon as all moisture had evaporated, the temperature increase followed exactly the curves of the measurements of dry samples.

Steam burns are assumed to appear during fire fighters assignments especially at low level radiant heat fluxes. Heat fluxes measured in wet combinations were not higher than in dry combinations. Therefore, it may be assumed that steam burns might not occur due to a higher heat transfer in wet conditions but more likely due to the condensation of moisture on the skin.

In further study the moisture transfer within protective clothing layers at low level thermal radiation was analysed by using X-ray radiography. Moisture accumulation was found in the underwear and the inner layer of the firefighter jacket when one of the outer layers was initially wet. As the layers between the inner layer of the jacket and the initially wet layer stayed dry throughout the measurement, moisture transfer must have taken place by evaporation in the wet and condensation in the inner layers.

## ZUSAMMENFASSUNG

Feuerwehrleute sind während ihrer Arbeit einer heissen und sehr feuchten Umgebung ausgesetzt. Dadurch schwitzen sie meist sehr stark. Ein grosser Teil des Schweisses sammelt sich in ihrer Schutzbekleidung an und beeinflusst dadurch die Wärmetransfereigenschaften der Bekleidung. Ausserdem werden in der Brandbekämpfung neue Techniken eingesetzt, bei denen das Feuer durch zerstäuben des Wasserstrahls bekämpft wird. Dadurch entsteht ein hoher Wasserdampfpartialdruck in der Atmosphäre. Die Schutzbekleidung muss in der Lage sein, diese grossen Feuchtigkeitsmengen aufzunehmen und trotzdem ihre Schutzfunktion nicht zu verlieren. Wenn die durchnässte Kleidung einem plötzlichen Hitzeinfluss ausgesetzt ist, kann es geschehen, dass die Feuchtigkeit in der Kleidung verdampft. Der entstandene Dampf bewegt sich innerhalb der Kleidung Richtung Haut, wo er kondensiert. Während der Phasenumwandlung wird Energie abgegeben, welche auf der Haut Verbrennungen bis zu zweiten Grades verursachen kann. Solche Verbrennungen werden als Dampfverbrennungen bezeichnet. Sie scheinen besonders bei relativ tiefen Hitzestrahlungsintensitäten aufzutreten.

Ziel dieser Arbeit war es, die Absorption und den Transfer von Feuchtigkeit innerhalb von Feuerwehrschtutzbekleidungen und ihren Einfluss auf den Wärmetransfer zu untersuchen. Hauptaugenmerk wurde auf Bedingungen die zur Entstehung von Dampfverbrennungen führen gelegt.

In einem ersten Schritt wurde die Absorption und Verteilung von Feuchtigkeit innerhalb der Feuerwehrschtutzbekleidung (üblicherweise eine dreischichtige Feuerwehrschtutzbekleidung in Kombination mit Unterwäsche und Arbeitskombi) untersucht. Die Lokalisation und die Menge der Feuchtigkeit in der Schutzbekleidung beeinflusst die Entstehung von Dampf und

den Transfer des Dampfes durch die Bekleidung in Richtung Haut. Es hat sich herausgestellt, dass die Feuchtigkeitsmenge, die sich in einer Schicht ansammelt, nicht nur von den Eigenschaften dieser einen Schicht abhängt, sondern besonders auch von den Eigenschaften der benachbarten Schichten oder sogar von der gesamten Bekleidungskombination. Das Feuchteabsorptionsvermögen der Unterwäsche und die Feuchteleitfähigkeit der darauf folgenden Schicht hängen stark zusammen. Es stellte sich heraus, dass besonders die zweite Schicht des Bekleidungssystems einen grossen Einfluss auf die Feuchtigkeitsverteilung in der gesamten Kombination hat.

Das Ziel der nächsten Studie war, herauszufinden, wie schnell die Feuchtigkeit in den Bekleidungsschichten verdampfen kann und wohin der entstandene Dampf diffundiert. Da sich bei Vorversuchen herausstellte, dass Feuchtigkeitssensoren zu langsam sind um schnelle Feuchtigkeitsveränderungen zu messen, wurde die Verdampfung anhand von Temperaturmessungen bestimmt. Die gemessenen Temperaturkurven bestanden aus zwei überlagerten Kurven. Einerseits waren dies die Kurven während der Verdampfungsphase und andererseits die Kurven in denen die Temperaturen stark ansteigen, nachdem alle Feuchtigkeit verdampft ist. Das Ende der Verdampfungsphase ist klar ersichtlich, da zu diesem Zeitpunkt die Temperaturen innerhalb der Schichten plötzlich stark ansteigen. Solange Feuchtigkeit in den Bekleidungsschichten vorhanden war, stieg die Temperatur nie höher als die Temperaturen die in gleichen trockenen Mustern gemessen wurden. Erst nachdem alle Feuchtigkeit verdampft ist, näherten sich die Temperaturen den Werten der trockenen Vergleichsmessungen an.

Man nimmt an, dass Dampfverbrennungen bei Feuerwehreinsätzen vor allem bei niederen Strahlungsintensitäten entstehen. Da jedoch während der Verdampfung keine höheren Hitze Flüsse gemessen wurden als bei den trockenen Vergleichsmessungen, liegt der Schluss nahe, dass die Dampfverbrennungen durch die zusätzliche Energieübertragung durch Kondensation des Dampfes auf der Haut entstehen. In einer weiteren Studie wurde daher der Feuchtigkeitstransfer innerhalb der Bekleidungsschichten mit Röntgenradiographie untersucht. Feuchtigkeit hat sich in den inneren Schichten der Bekleidung (Unterwäsche und Futter der Feuerwehrjacke) angesammelt. Da die dazwischen liegenden Schichten während der Messung mehrheitlich trocken blieben, lässt sich schliessen, dass ein Feuchtigkeitstransfer durch Verdampfung und Kondensation zu den inneren Schichten stattgefunden hat.