

DIN EN ISO 18640-2



ICS 13.340.10

Einsprüche bis 2016-09-15

Entwurf

**Schutzkleidung für die Feuerwehr –
Physiologische Wärmebelastung –
Teil 2: Bestimmung der physiologischen Wärmebelastung ausgelöst durch
von Feuerwehrleuten getragene Schutzkleidung (ISO/DIS 18640-2:2016);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 18640-2:2016**

Protective clothing for fire-fighters –
Physiological impact –
Part 2: Determination of physiological heat load caused by protective clothing worn by
firefighters (ISO/DIS 18640-2:2016);
German and English version prEN ISO 18640-2:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-07-15 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-
Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de,
sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nps@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im
Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-
Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Persönliche Schutzausrüstung (NPS), 10772 Berlin,
Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 65 Seiten

DIN-Normenausschuss Persönliche Schutzausrüstung (NPS)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 18640-2:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 94 „Personal safety — Protective clothing and equipment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 162 „Schutzbekleidung einschließlich Hand- und Armschutz und Rettungswesten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 075-05-02 AA „Schutzbekleidung gegen Hitze und Feuer“ im DIN-Normenausschuss Persönliche Schutzausrüstung (NPS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 18640-2 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Im Gegensatz zu der Referenzfassung wurden die Anhänge in die richtige Reihenfolge gebracht (Annex G wurde zu Anhang F, Annex F zu „Literaturhinweise“ und der Anhang ZA wurde vor die Literaturhinweise verschoben).

Für die in Abschnitt 2 normativ zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 139	siehe DIN EN ISO 139:2011-10
ISO 6330	siehe DIN EN ISO 6330:2013-02
ISO 7933	siehe DIN EN ISO 7933:2004-12
ISO 11092	siehe DIN EN ISO 11092:2014-12
ISO 11612	siehe DIN EN ISO 11612:2015-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 139:2011-10, *Textilien — Normalklimate für die Probenvorbereitung und Prüfung (ISO 139:2005 + Amd.1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 139:2005 + A1:2011*

DIN EN ISO 6330:2013-02, *Textilien — Nichtgewerbliche Wasch- und Trocknungsverfahren zur Prüfung von Textilien (ISO 6330:2012); Deutsche Fassung EN ISO 6330:2012*

DIN EN ISO 7933:2004-12, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung (ISO 7933:2004); Deutsche Fassung EN ISO 7933:2004*

DIN EN ISO 11092:2014-12, *Textilien — Physiologische Wirkungen — Messung des Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstands unter stationären Bedingungen (sweating guarded-hotplate test) (ISO 11092:2014); Deutsche Fassung EN ISO 11092:2014*

DIN EN ISO 11612:2015-11, *Schutzbekleidung — Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen — Mindestleistungsanforderungen (ISO 11612:2015); Deutsche Fassung EN ISO 11612:2015*

**Schutzkleidung für die Feuerwehr — Physiologische Wärmebelastung —
Teil 2: Bestimmung der physiologischen Wärmebelastung ausgelöst durch
von Feuerwehrleuten getragene Schutzkleidung (ISO/DIS 18640-2:2016)**

*Protective clothing for fire-fighters — Physiological impact — Part 2: Determination of physiological heat load
caused by protective clothing worn by firefighters (ISO/DIS 18640-2:2016)*

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Symbole (und Abkürzungen)	10
5 Bewertungsmethode	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Brandbekämpfungsszenarien.....	11
5.2.1 Brandbekämpfungsszenarien für das statistische Modell	11
5.3 Physiologische Parameter, die für die Bewertung von thermischen Belastungen relevant sind.....	11
5.3.1 Physiologische Parameter für das statistische Modell	12
5.4 Regressionsanalyse und Berechnung von MAWD	12
5.4.1 Statistisches Modell zur physiologischen Regression.....	13
5.5 THS-Messung.....	13
5.5.1 Prüfeinrichtung und Software	13
5.5.2 Allgemeiner Messaufbau.....	13
5.5.3 Zweite Haut (Hautschicht)	14
5.5.4 Hautdiffusion (Esk).....	14
5.5.5 Datenaustausch mit physiologischem Modell.....	15
5.5.6 Messsteuerung.....	15
6 Messung.....	16
6.1 Anwendung eines statistischen Modells (basierend auf Messungen nach Teil 1).....	16
6.1.1 Standard-Torsomessung.....	16
6.1.2 Ergebnisse aus Standard-Torsomessung.....	16
6.1.3 Anwendung eines Regressionsmodells zur Vorhersage von MAWD.....	16
6.2 THS-Messung.....	17
6.2.1 Vorbereitung der Prüfung.....	17
6.2.2 Probenahme und Proben.....	18
6.2.3 Messverfahren	18
6.2.4 Datenauswertung	18
7 Prüfbericht.....	19
7.1 Allgemeines	19
7.1.1 Identifikation der Probe	19
7.1.2 Messbedingungen (Standard-Torsoprüfung oder THS)	19
7.1.3 Ergebnisse von Standard-Torsomessungen (nach ISO 18640-1)	19
7.1.4 Ergebnisse von THS-Messungen.....	19
7.2 Prognostizierte physiologische Parameter	19
7.3 Inhalt des Prüfberichts.....	19
Anhang A (informativ) Statistisches Modell: Entwicklung und Validierung	20
A.1 Modellentwicklung	20

A.2	Modellvalidierung.....	22
Anhang B (normativ) Einzelsektor-THS (en: Thermophysiological Human Simulator).....		24
B.1	Systemkomponenten	24
B.2	Verknüpfungsmethode.....	24
B.3	Validierung der THS.....	25
B.4	Normierung der thermophysiologicalen Modelle.....	27
B.5	Open-Source-Modelle.....	27
B.6	Anforderungen an physiologische Modelle, die für THS-Messungen nach dieser Norm geeignet sind	28
Anhang C (informativ) Beispiel der Datenauswertung.....		29
Anhang D (informativ) Checkliste zur Probe		30
Anhang E (informativ) Aktivitätsszenarien für Feuerwehrleute		31
E.1	Brandbekämpfung an Gebäuden und auf Industriegeländen.....	31
E.2	Brandbekämpfung im Freien.....	32
E.3	Brandbekämpfung im freien Gelände.....	32
E.4	Technische Rettungsmaßnahmen.....	32
Anhang F (informativ) Erörterung der Einflussparameter		33
F.1	Luftschichten.....	33
F.2	Kleidungskombinationen.....	33
F.2.1	Unterbekleidung.....	33
F.3	Simuliertes Szenario (Umgebungsbedingungen, Arbeitslast und Grenzwerte)	33
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 89/686/EWG		34
Literaturhinweise.....		35

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 18640-2:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 94 „Personal safety - Protective clothing and equipment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 162 „Schutzbekleidung einschließlich Hand- und Armschutz und Rettungswesten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 18640-2:2016 wurde vom CEN als prEN ISO 18640-2:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 94, *Personal safety — Protective clothing and equipment*, Unterkomitee SC 14, *Fire-fighters' personal equipment*.

ISO 18640 besteht unter dem allgemeinen Titel *Protective clothing for fire-fighters — Physiological impact*, aus den folgenden Teilen:

Part 1: Measurement of coupled heat and mass transfer with the sweating TORSO

Part 2: Determination of physiological heat load caused by protective clothing worn by fire-fighters.

Einleitung

Schutzkleidung für die Brandbekämpfung (an Gebäuden) kann ernste physiologische Auswirkungen¹⁾²⁾ auf die tragende Person und ernste Folgen für den akuten Gesundheitszustand der tragenden Person während der Ausführung von Aktivitäten mit erhöhter metabolischer Wärmeproduktion haben [1, 2]. Schutzkleidung behindert den Wärmeaustausch durch Schweißverdampfung und daher ist die Erhaltung einer konstanten Körperkerntemperatur nicht länger möglich. Diese Tatsache erhöht das Risiko, eine thermische Belastung zu erleiden und reduziert die Arbeitsdauer von Feuerwehrleuten. Wird dies im Rahmen einer Risikobewertung bestimmt, dann ist es wichtig, (thermische) physiologische Parameter zu erhalten, welche die Eignung der Schutzkleidung für die erwarteten Nutzungsbedingungen sicherstellen. Die Bewertung der thermophysiologischen Auswirkungen durch die Schutzkleidung führt zum Erhalt wichtiger Informationen hinsichtlich der Anwendbarkeit verschiedener Arten von Aktivitäten unter diversen Bedingungen. Im Teil 1 dieser Norm werden relevante physikalische Parameter von Schutzkleidungen mit einem Schwitztorso gemessen. Standard-Schwitztorsomessungen liefern physikalische Parameter zum kombinierten Wärme- und Stofftransport (Teil 1 dieser Norm). Basierend auf diesen Parametern werden die thermophysiologischen Auswirkungen von Schutzkleidung geschätzt und die maximale Verweilzeit unter definierten Umgebungsbedingungen und in Übereinstimmung mit einem definierten Aktivitätsprotokoll werden entweder durch ein statistisches Modell oder durch THS-Messungen vorhergesagt. Die Ergebnisse dieser Standard-Schwitztorsomessungen werden auf ein validiertes statistisches Modell angewandt, um die physiologischen Auswirkungen aufgrund des Einsatzes dieser Schutzkleidung zu prognostizieren. Bei THS-Messungen wird der Schwitztorso mit einem physiologischen Modell verbunden, welches die direkte Ermittlung physiologischer Daten in Relation zu einem definierten Expositionsszenario ermöglicht.

Der Zweck dieser Norm, ist die Prüfung auf Aspekte der Leistungsfähigkeit von Schutzkleidung, die nicht über die in anderen Normen beschriebenen Prüfungen bestimmt werden können. Das Ziel dieser Norm ist die Quantifizierung physiologischer Auswirkungen von Schutzkleidungsstücken (ohne zusätzliche Kleidungsschichten) auf Feuerwehrleute für die Brandbekämpfung (an Gebäuden) im Rahmen eines relevanten und normierten, simulierten Szenarios durch Vorhersage der physiologischen Belastung. Diese Norm bestimmt ein Mindestmaß an Leistungsanforderungen während eines definierten Brandbekämpfungsszenarios unter definierten Umgebungsbedingungen mittels der bewerteten Schutzkleidung von Feuerwehrleuten durch Berechnung der maximal erlaubten Arbeitsdauer bevor eine unangemessen hohe Kerntemperatur erreicht wird.

ANMERKUNG Abhängig von der getragenen Schutzkleidung kann das Tragen von Unterbekleidung, z. B. Strukturbekleidung von Feuerwehrleuten, erforderlich sein. Der Zweck der Prüfung ohne Unterbekleidung ist die Sicherstellung der Wiederholbarkeit.

1) Nunneley berichtete von einer ausgeprägten physiologischen Last auf die tragende Person aufgrund der Schutzkleidung, sowohl in Form einer erhöhten Stoffwechselrate, als auch reduzierter Wärmeableitung [1].

2) Taylor zeigte, dass der relative Einfluss der Kleidung auf den Sauerstoffbedarf mindestens dem Dreifachen des Atemschutzgerätes entsprach [2].

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm bestimmt allgemeine Grundsätze eines Prüfverfahrens zur Bewertung der physiologischen Auswirkungen von vollständiger Bekleidung oder eines Bekleidungsensembles im Rahmen einer simulierten Aktivität von Feuerwehrleuten unter bestimmten Bedingungen.

Überdies dient diese Internationale Norm der Beschreibung der thermophysiological Auswirkungen von Schutzkleidung, aber **nicht** des Risikos der thermischen Belastung unter tatsächlichen Brandbedingungen. Die Ergebnisse dieser Prüfung können als Bestandteile einer Risikobewertung hinsichtlich thermischer Belastungen oder Herz-Kreislauf-Belastungen herangezogen werden.

ANMERKUNG Die momentan verwendeten Bewertungsmethoden sind nur für Kleidungsstücke von Feuerwehrleuten zur Bekämpfung von Gebäudebränden validiert

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 6330, *Textiles — Domestic washing and drying procedures for textile testing* [3]

ISO 11092, *Textiles — Physiological effects — Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)* [4]

ISO 139, *Textiles — Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 7243:1989, *Hot environments — Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*

ISO 7933:2004, *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*

EN 469:2014 *Schutzkleidung für die Feuerwehr — Leistungsanforderungen für Schutzkleidung für die Brandbekämpfung*

ISO 11612, *Protective clothing for firefighters — Laboratory test methods and performance requirements for wildland firefighting clothing*

EN 15614, *Schutzkleidung für die Feuerwehr — Laborprüfverfahren und Leistungsanforderungen für die Brandbekämpfung im freien Gelände*

ISO 16073, *Wildland firefighting personal protective equipment — Requirements and test methods*

ISO 15384, *Protective clothing for firefighters — Laboratory test methods and performance requirements for wildland firefighting clothing*

prEN 16689, *Schutzkleidung für Feuerwehrleute, die bei technischen Rettungseinsätzen getragen werden*

ISO/DIS 11999, *PPE for firefighters — Test methods and requirements for PPE used by firefighters who are at risk of exposure to high levels of heat and/or flame while fighting fires occurring in structures — Part 1: General*

ISO/DIS 13506-2, *Protective clothing against heat and flame — Part 2: Skin burn injury prediction — Calculation requirements and test cases*

ISO/CD 18640-1, *Protective clothing for fire-fighters — physiological impact — Part 1: Measurement of coupled heat and mass transfer with the sweating TORSO*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 18640-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

Kühlungszeit

CD

(en: cooling delay)

Zeitverzögerung (und Temperaturanstieg) bis der Effekt der Verdampfungskühlung in einer Messphase mit simulierter Aktivität (erhöhte Heizleistung) und Schweißabsonderung erkannt wird

3.2

maximal erlaubte Arbeitsdauer

MAWD

(en: maximum allowable work duration)

Wert in Minuten, der nach einem statistischen Modell berechnet wurde (siehe auch Anhang A), der die Zeit bis zum Erreichen der thermischen Belastung basierend auf den Definitionen in dieser Norm voraussagt

3.3

kondensiertes Schweißwasser

Kondensation

im Kleidungssystem gespeicherte Feuchtigkeit

Anteil des in der aktiven Phase mit Schweißabsonderung zugeführten Schweißwassers, welcher im Kleidungssystem verbleibt und über den Gewichtsunterschied des Torsos bestimmt wird (und möglicherweise abgetropftes Wasser berücksichtigt)

3.4

Körperkerntemperatur

T_{co}

die Temperatur tieferer Strukturen des (menschlichen) Körpers, so wie zum Beispiel der Leber, im Vergleich zum peripheren Gewebe, häufig im Verdauungstrakt gemessen

3.5

verdampftes Schweißwasser

Teil des zugeführten Schweißwassers, welcher in der aktiven Phase mit Schweißabsonderung verdampft ist. Differenz zwischen zugeführtem Schweißwasser und dem Gewichtsunterschied des Torsos (kondensiertes/ gespeichertes Schweißwasser)

3.6

experimentelle Phasen

Phasenprofil

eine Prüfung per Definition in Teil 1 dieser Norm ist in mehrere Phasen aufgeteilt. Jede Phase der Prüfung simuliert eine bestimmte Situation mit definierten Temperaturen und Einstellungen der Heizleistung und Schweißabsonderungsrate

3.7

Brandbekämpfungsszenario

eine Reihe von Umgebungsbedingungen, eine definierte Arbeitslast und eine definierte Verweilzeit, die für die Aufgaben von Feuerwehrleuten relevant sind

3.8

Herzfrequenz

die Anzahl der Herzschläge pro Zeiteinheit, üblicherweise pro Minute

3.9

Wärmespeicherung

Wärmeentwicklung im Körper, die von der produzierten metabolischen Wärme, der externen Wärmebelastung und der vom Körper abgeleiteten Wärme beeinflusst wird

3.10

anfängliche Kühlung

IC

(en: initial cooling)

Zeitpunkt (und Temperatur) zu welchem die anfängliche Kühlung in einer Messphase bei der Simulation einer Aktivität mit Schweißabsonderung endet

3.11

mittlere Hauttemperatur

mT_{sk}

(en: mean skin temperature)

die mittlere Temperatur der äußeren Oberfläche des (menschlichen) Körpers, gemessen an mehreren Punkten der Haut

3.12

Feuchtigkeitsaufnahme

die im Kleidungssystem gespeicherte Feuchtigkeit, abgeleitet vom Gewichtsverlauf des Torsos während der Messung

3.13

anhaltende Kühlung

SC

(en: sustained cooling)

anhaltender Kühlungszustand in einer Messphase bei der Simulation einer Aktivität mit Schweißabsonderung

3.14

Abstandhalter

Simulation von Luftschichten. Luftschichten beeinflussen den gesamten Wärmedurchgangswiderstand und den Feuchtigkeitstransport. Ein Abstandhalter kann zur Simulation einer definierten Luftschicht verwendet werden

3.15

Schwitztorso

aufrecht stehende, zylindrische Prüfeinrichtung, die einen menschlichen Körperstamm simuliert und über thermische Schutzeinrichtungen am oberen und unteren Ende verfügt (siehe Bild 1 dieser Norm). Die Prüfeinrichtung verfügt über Heizfolien, Schweißdüsen und eine mehrschichtige Hülle (Simulation der Hautschichten)

3.16

Schweißabsonderungsrate

Zufuhr von reinem Wasser zur Simulation der Schweißabsonderung. Es befinden sich 54 Düsen an der Oberfläche des Torsos, welche das Wasser an der Oberfläche des Messzylinders verteilen. Die Menge des freigesetzten Wassers wird über einen definierten Höhenunterschied zwischen Vorratsbehälter und Torso, durch Gewichtsmessung und die kalibrierte Öffnungszeit und das Öffnungsintervall der Ventile gesteuert

3.17

Wärmedurchgangswiderstand

R_{ct}

Maß für den Wärmedurchgangswiderstand in $m^2.K/W$. R_{ct} wird im stabilen Zustand aus der Differenz zwischen der Oberfläche des Torsos und der Umgebungstemperatur, der Fläche des Geräts und der notwendigen Heizleistung zum Erhalt der Temperaturdifferenz berechnet.

3.18

THS-Messung

(en: Thermal Human Simulator)

Messungen am Schwitztorso, wobei das Gerät mit einem validierten physiologischen Modell verknüpft wird. Die Steuersoftware für den Torso tauscht Daten mit dem physiologischen Modell innerhalb eines iterativen Regelkreises aus, um realistische menschliche Reaktionen während einer definierten Aktivität beginnend unter thermisch neutralen Bedingungen zu simulieren.

3.19

Oberflächentemperatur des Torsos

Durchschnittliche Temperatur an der Oberfläche des Messbereichs ($0,43 m^2$) des Torso-Geräts. Die Temperatur wird über eine dünne Nickellitze, die an der Oberfläche angebracht ist, oder über eine ähnliche Methode, welche die Messung der durchschnittlichen Oberflächentemperatur ermöglicht, gemessen. Zwei Kabel werden an der Oberfläche des Torsos angebracht, welche eine Differenzierung zwischen der Vorder- und Rückseite des Gerätes ermöglichen (wichtig für Messungen mit Wind)

4 Symbole (und Abkürzungen)

R_{ct}	Wärmedurchgangswiderstand in $m^2.K/W$, gemessen unter stabilen Bedingungen (Phase 1 der Messung)
T_{co}	Körperkerntemperatur
mT_{sk}	Mittlere Hauttemperatur
CD	Kühlungszeit (Zeit in min bis der Kühleffekt der Verdampfung erkennbar wird)
IC	Anfängliche Kühlung (anfängliche Rate der Temperaturabnahme in $^{\circ}C/h$, die direkt nach Erreichen von CD zu beobachten ist)
SC	Anhaltende Kühlung (Änderungsrate der Oberflächentemperatur in $^{\circ}C/h$ (oder min?) infolge des kühlenden Effekts der Verdampfung und der nassen Isolierung des Stoffes)
PC	Nachkühlung (bewertet durch Bestimmung der Zeit (h) zur Abnahme der Oberflächentemperatur ($^{\circ}C/h$) nach Beendigung der physischen Aktivität, eingeleitet zum Zeitpunkt wenn die kondensierte Feuchtigkeit, die im Kleidungssystem verblieb, ausgetrocknet ist)
MAWD	Maximal erlaubte Arbeitsdauer (in Minuten) basierend auf einem statistischen Modell oder THS-Messungen
THS	Thermal Human Simulator: Messung am Torso in Verknüpfung mit einem thermophysiologischen Modell.

5 Bewertungsmethode

5.1 Allgemeines

Die physikalischen Parameter zu thermischen Eigenschaften von Schutzkleidungen, die aus Standard-Torsomessungen folgen, enthalten keine Informationen hinsichtlich der thermophysiological Reaktionen der tragenden Person unter verschiedenen Brandbekämpfungsszenarien. Physiologische Daten können entweder durch Verknüpfung des Torso-Systems mit einem physiologischen Modell oder durch Anwendung eines statistischen Modells basierend auf physikalischen Daten aus Standard-Torsomessungen abgeleitet werden.

Ein statistisches Modell wurde zur Berechnung eines Wertes für die maximale erlaubte Arbeitsdauer (MAWD) in Übereinstimmung mit den thermischen Eigenschaften der Kleidung entwickelt. Dieses Modell wurde durch Humanversuche und Torsomessungen (siehe auch Anhang B) validiert.

5.2 Brandbekämpfungsszenarien

Feuerwehrleute sehen sich mit einer Vielzahl von Aufgaben und Herausforderungen konfrontiert. Daher gibt es viele verschiedene Szenarien, die berücksichtigt werden müssten. Um ein maximales Vergleichsniveau sicherzustellen, wird eine begrenzte Anzahl an Brandbekämpfungsszenarien im Anhang E beschrieben.

5.2.1 Brandbekämpfungsszenarien für das statistische Modell

Zum Zwecke dieser Norm wurde ein Szenario ausgewählt, welches einer moderaten Aktivität von Feuerwehrleuten (siehe auch Anhang E) entspricht und welches ebenfalls als Basis für das statistische Modell herangezogen wurde.

Das angewandte Arbeitslastszenario für Feuerwehrleute wird wie folgt definiert:

- Umgebungsbedingungen bei 28 °C Lufttemperatur und 65 % relativer Luftfeuchte.
- Keine Strahlung liegt vor und eine unidirektionale Windgeschwindigkeit von 1 m/s wird aufgebracht.
- Die physische Aktivität wird auf 6 Met eingestellt (350 W/m² Stoffwechselrate, 285 W/m² metabolische Wärmeproduktion)
- Der anfängliche Zustand des menschlichen Körpers wird als thermisch neutral angenommen ($T_{co} = 36,8\text{ °C}$; $mT_{sk} = 34,2\text{ °C}$).
- Die Einwirkzeit wird auf 90 min festgelegt.
- Das Einsetzen einer thermischen Belastung wird bei Erreichen einer Körperkerntemperatur von 38,5 °C definiert.

5.3 Physiologische Parameter, die für die Bewertung von thermischen Belastungen relevant sind

Das Risiko für thermische Belastungen wird durch viele interne und externe Parameter beeinflusst. Externe Parameter werden hauptsächlich durch die Randbedingungen definiert, die im anwendbaren Brandbekämpfungsszenario beschrieben sind, zum Beispiel:

- die Umgebungsbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte, Wind, Strahlung)
- Arbeitsaufgabe und Arbeitslast (beschrieben als metabolisches Äquivalent [Met])

Relevante interne Parameter sind:

- die Körperkerntemperatur
- die Hauttemperatur
- die Wärmespeicherung
- die Schweißabsonderungsrate

5.3.1 Physiologische Parameter für das statistische Modell

Eine grundlegende Komponentenanalyse wurde auf die Ergebnisse der Standard-Torsoprüfung und THS-Messergebnisse angewandt, woraus gefolgert wird, dass die folgenden physiologischen Parameter als Prädiktoren für MAWD angesehen werden können:

- die Kerntemperatur
- die Hauttemperatur
- die Wärmespeicherung im Körper
- die Schweißabsonderungsrate

Grenzen der physiologischen Parameter:

- T_{rect} (°C) physiologischer Grenzwert von 38,5 °C
- T_{skin} (°C) physiologischer Grenzwert von 42 °C
- Wärmespeicherung $(0,8 \times T_{rect} + 0,2 \times T_{skin}) \times 3,48$ ³⁾ physiologischer Grenzwert 8 J/g Körpermasse (Vallerand et al. 1992)
- Schweißabsonderungsrate ($\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$) physiologische Grenze 1000 g/h (Schweißverlust, Schweißansammlung, Schweißverdampfung) Herzfrequenz (bpm) 90 % der maximalen, erwarteten Herzfrequenz $(208 - [0,7 \times \text{Alter}])[5]$

5.4 Regressionsanalyse und Berechnung von MAWD

MAWD wird nach der T_{co} -Entwicklung berechnet und basiert auf den Ergebnissen der THS-Messung oder einer statistischen Regressionsanalyse basierend auf der Standard-Torsomessung.

3) 3,48 spezifische Wärme von menschlichem Gewebe $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

5.4.1 Statistisches Modell zur physiologischen Regression

MAWD wird nach der T_{co} -Entwicklung berechnet und basiert auf einer statistischen Regressionsanalyse. Die simulierte Zunahme über eine 90-minütige Einwirkzeit wird linear interpoliert/extrapoliert, bis der physiologische Grenzwert ($T_{co} = 38,5\text{ °C}$; siehe Abschnitt 5.2.1) erreicht ist.

Statistisches Modell:

$$\text{MAWD}, T_{co} \text{ (min)} = -0,067 \cdot R_{CT} \cdot 0,683 \cdot IC + 119,389$$

$$R^2 = 0,52; \text{Standard-Vorhersagefehler} = 3,2 \text{ min}; P < 0,001$$

Die absolute Ausgabe für MAWD ist nur für ähnliche Aussetzungsbedingungen, wie die oben beschriebenen, anwendbar. Jedoch trägt das Modell zu einer physiologischen Einstufung der Schutzbekleidungssysteme bei. Die Grenzwerte für MAWD müssen bei verschiedenen Brandbekämpfungsszenarien unterschiedlich definiert werden.

ANMERKUNG Weitere Grenzwerte sind noch nicht verfügbar und müssen im Rahmen weiterer Studien entwickelt werden. Im Moment haben Messungen von T_{co} die geringste Ungewissheit.

5.5 THS-Messung

THS-Messungen (en: Thermal Human Simulator) basieren auf der Verknüpfung von einem Torso nach ISO 18640-1 und einem validierten physiologischen Modell (siehe Anhang B) in einer Klimakammer, die eine definierte Aktivität in Übereinstimmung mit einem Brandbekämpfungsszenario simuliert. Um einen gemeinsamen Anfangspunkt für die Messungen zu erhalten, entsprechen die anfänglichen Bedingungen des Torsoes einem thermisch neutralen Zustand.

5.5.1 Prüfeinrichtung und Software

THS-Messungen werden mit derselben Hard- und Software wie bei Standard-Torsoexperimenten nach Teil 1 dieser Norm gesteuert, wobei hier ein physiologisches Modell hinzukommt (Verknüpfung mit kontinuierlichem Datenaustausch).

5.5.2 Allgemeiner Messaufbau

Für THS-Messungen muss der Torso mit zusätzlichen Temperatursensoren im inneren Aluminiumteil des Geräts versehen werden (Bild 1). Diese Temperatursensoren werden zur Berechnung des durchschnittlichen Wärmestroms an der Oberfläche basierend auf dem Wärmedurchgangswiderstand der Außenschichten des Torsoes nach der unteren Gleichung (1) berechnet.

$$q_{Torso} = (T_{NF} - T_{Ni}) \times \frac{1}{R_{Torso}} \quad (1)$$

Dabei ist

T_{NF} :	die durchschnittliche Temperatur der zusätzlichen Sensoren
T_{Ni} :	die durchschnittliche Temperatur der Nickeldraht-Sensoren (Oberflächentemperatur)
R_{Torso} :	Wärmedurchgangswiderstand der Aluminium-/Polyethylen-Schichten zwischen zusätzlichen Sensoren und Nickeldrähten
q_{Torso} :	durchschnittlicher Oberflächenwärmestrom des Zylinders

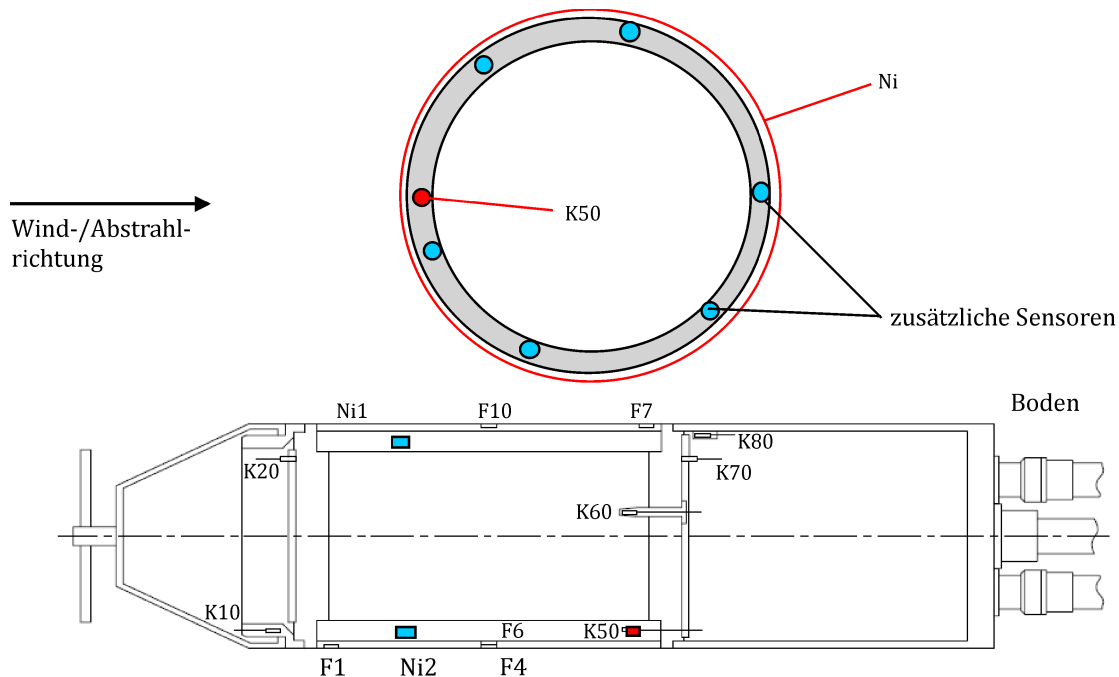


Bild 1 — Konfiguration der Temperatursensoren zur Bewertung des Wärmestroms

5.5.3 Zweite Haut (Hautschicht)

Der Einsatz einer Hautschicht ist unerlässlich bei der einheitlichen Verteilung der Feuchtigkeit aus den Schweißöffnungen auf der gesamten Oberfläche des Hauptzylinders. Dieses Gewebe muss einen Wärmedurchgangswiderstand von weniger als $0,015 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, sowie eine schnelle und symmetrische Dochtwirkung aufweisen. Dies muss, auch bei der Prüfung von Kombinationen mit wasserabweisenden Innenflächen, zu einer ausreichend gleichmäßigen Schweißwasserverteilung führen.

ANMERKUNG Die menschliche Haut verfügt über 50 – 250 Schweißdrüsen pro cm^2 je nach Körperbereich (Thomson 1954) während der Torso nur über 0,01 Schweißdrüsen pro cm^2 verfügt. Der Einsatz einer Hautschicht mit guter Dochtwirkung und einer unwesentlichen thermischen Isolierung stellt eine gleichmäßige Verteilung der Feuchtigkeit sicher.

Die Hautkorrektur kompensiert die Erhöhung des Wärmedurchgangswiderstands durch den Einsatz einer textilen Hautschicht am Hauptzylinder des Torsos. Die Hautkorrektur wird als Verhältnis zwischen Wärmedurchgangswiderstand des Torsos mit der „Hautschicht“ und dem Wärmedurchgangswiderstand des nackten Torsos (Gleichung 2) berechnet. Die Wärmedurchgangswiderstände werden bei einer Oberflächentemperatur des Torsos von 35°C , einer Luftgeschwindigkeit von $< 0,25 \text{ m/s}$ bei 20°C Umgebungstemperatur, ohne Strahlung und einer Einwirkzeit von mindestens 60 Minuten berechnet.

$$\text{skin correction} = \frac{R_{CT, \text{skin layer}}}{R_{CT, \text{nude}}} \quad (2)$$

5.5.4 Hautdiffusion (Esk)

Die Hautdiffusion (*Esk*) ist der Wärmeverlust der Verdampfung aufgrund von unmerklicher Schweißbildung an der Haut und muss bei THS-Messungen vorgesehen werden. *Esk* muss mittels der geschätzten Hauttemperatur (anfängliche Hauttemperatur; T_{sk}) und des Gesamtwerts R_{ET} für das angewandte Kleidungssystem (Gleichung 3) berechnet werden.

$$Esk = -0,0014 \times R_{ET} \times T_{sk} + 0,8022 \times T_{sk} + 0,0211 \times R_{ET} - 15,151 \quad (3)$$

Wenn der Wert R_{ET} des Kleidungssystems unbekannt ist, dann kann dieser basierend auf R_{CT} und dem geschätzten Permeabilitätsindex (PI) nach ISO 9920 (Anhang C; S. 78ff) berechnet werden.

$$R_{ET} = \frac{60 * R_{CT}}{PI} \quad (4)$$

5.5.5 Datenaustausch mit physiologischem Modell

Die Torso-Software und das physiologische Modell müssen im Rahmen eines iterativen Regelkreises Daten austauschen.

5.5.6 Messsteuerung

Die Messung basiert auf Standard-Torsohardware, Torsosoftware und einem validierten, physiologischen Modell mit einer Schnittstelle für den Datenaustausch. Das physiologische Modell muss in der Lage sein, Simulationen mit Daten aus einer externen Quelle umzusetzen und die resultierenden Daten über eine Schnittstelle bereitzustellen. Der Datenaustausch muss so verlaufen, dass die Torsosoftware die Daten zum Wärmestrom an der Oberfläche bereitstellt und das physiologische Modell, nach Berechnung der thermophysiologischen Reaktionen basierend auf dem Wärmestrom an der Oberfläche die resultierende Oberflächentemperatur (durchschnittliche Hauttemperatur) und die Schweißabsonderungsrate liefert. Der Datenaustausch wird in einminütigen Intervallen aktualisiert.

Parameter für die THS-Messung:

- Simuliertes Aktivitätsniveau (Met)⁴⁾
- Zustand der Luft (zur Atmung)
 - Temperatur und
 - relative Luftfeuchte in der Klimakammer
- Anfängliche Bedingungen
 - Einwirkzeit (min)
 - Umgebungstemperatur (°C)
 - Strahlungstemperatur (°C)
 - Luftgeschwindigkeit (m/s)
 - Relative Luftfeuchte (%)
 - Aktivitätsniveau (Met)
 - Kleidungsart

Drei weitere Parameter müssen zur Torso-Standardsoftware bei Ausführung der THS-Messungen hinzugefügt werden:

- der Oberflächenwiderstand R_{Torso} (statisch, geräteabhängig, siehe auch 5.5.2),
- die Hautkorrektur (statisch basierend auf dem verwendeten Textil, siehe 5.5.3) und
- die Hautdiffusion (dynamisch, siehe 5.5.4).

4) MET: Metabolisches Äquivalent der Aufgabe (1 MET = 1 kcal/(kg·h) = 4,184 kJ/(kg·h))

6 Messung

Die Berechnung der MAWD basiert entweder auf THS-Messungen oder Standard-Torsomessungen.

6.1 Anwendung eines statistischen Modells (basierend auf Messungen nach Teil 1)

Es wird angenommen, dass eine Standard-Torsomessung nach Teil 1 dieser Norm mit der Kleidungskombination für Feuerwehrleute (nur Kleidungssystem; weitere Ausrüstung kann nicht geprüft werden) an der Prüfeinrichtung ausgeführt wurde (siehe Abschnitt 8 der ISO/CD 18640-1).

6.1.1 Standard-Torsomessung

Für Standard-Torsomessungen wurde die Klimakammer auf 20 °C und 50 % relative Luftfeuchte eingestellt (Abschnitt 8.1 der ISO/CD 18640-1). Zusätzlich wurde der Wind am Torso auf 1 m/s eingestellt.

Das Phasenprofil einer Standardmessung ist wie folgt definiert (8.4.3 der ISO/CD 18640-1):

Phase 1 mit konstanter Temperatur von 35 °C für 60 Minuten

Phase 2 mit konstanter Heizleistung von 125 W und Schweißabsonderungsrate von 100 g/h für 60 Minuten

Phase 3 mit konstanter Heizleistung von 25 W ohne Schweißabsonderung für 60 Minuten

6.1.2 Ergebnisse aus Standard-Torsomessung

Zur Berechnung der physiologischen Auswirkungen werden die folgenden Ergebnisse aus einer Standard-Torsomessung benötigt:

- Wärmedurchgangswiderstand (R_{ct})
- Kühlungszeit (CD, en: cooling delay)
- Anfängliche Kühlung (IC, en: initial cooling)
- Anhaltende Kühlung (SC, en: sustained cooling)
- Nachkühlung (PC, en: post cooling)
- Verdampfte Feuchtigkeit (m_{evap})

6.1.3 Anwendung eines Regressionsmodells zur Vorhersage von MAWD

6.1.3.1 Anwendung eines physiologischen Regressionsmodells auf die Ergebnisse

Verwenden Sie die Vorlage für das Prüfprotokoll, das im Anhang D vorgeschlagen wird, oder ein ähnliches Formular, um sicherzustellen, dass alle Schritte der Messung korrekt befolgt werden. Das physiologische Verhältnis ist nur für Messungen geeignet, die per Spezifikation in 6.1 erfolgt sind. Eine Vorlage für ein Prüfprotokoll, so wie jenes in Anhang D enthaltene, hat sich als nützlich zur Bestätigung der korrekten Messbedingungen erwiesen.

6.1.3.2 Prognostizierte physiologische Parameter (statistisches Modell)

Nach der Bewertung werden die Ergebnisse gespeichert und ein Bericht ausgedrückt. Die berechnete Prognose der physiologischen Parameter wird in einer Datei gespeichert und ein Protokoll ausgedrückt. Die Speicherung der folgenden Informationen wird empfohlen:

- Messbedingungen
 - Umgebungsbedingungen
 - Phasenprofil
- Messdaten:
 - Wärmedurchgangswiderstand (R_{ct})
 - Anfängliche Kühlung (IC, en: initial cooling)
 - Anhaltende Kühlung (SC, en: sustained cooling)
 - Nachkühlung (PC, en: post cooling)
- Prognostizierte Ergebnisse:
 - MAWD (min) basierend auf statistischem Modell, wie in 5.4 beschrieben
- Optionale Ergebnisse
 - Kerntemperatur
 - Hauttemperatur
 - Wärmespeicherung
 - Schweißabsonderungsrate
 - Pulsfrequenz

Die geprüfte Probe wird nach der Prüfung gewogen und das Ergebnis mit dem Wert vor der Prüfung verglichen (akklimatisierte Proben).

6.2 THS-Messung

Ausführung der folgenden Schritte zur Durchführung einer THS-Messung und Vorbereitung eines Prüfberichts. Vor Ankleiden des Torsos sicherstellen, dass die Oberflächentemperatur des Geräts der Standardtemperatur von 34 °C ($\pm 0,1$ °C) entspricht und die Klimakammer auf den gewünschten Umgebungsbedingungen in Übereinstimmung mit dem gewählten Szenario stabilisiert ist.

Messungen werden in Übereinstimmung mit dem Ablaufdiagramm im Bild B.1 durchgeführt.

6.2.1 Vorbereitung der Prüfung

Verwenden Sie die Vorlage für das Prüfprotokoll, das im Anhang D vorgeschlagen wird, oder ein ähnliches Formular, um sicherzustellen, dass alle Schritte der Messung korrekt befolgt werden.

Der Abschnitt 8.1 von Teil 1 dieser Norm ist zu befolgen (Vorbereitung der Klimakammer, Windgeschwindigkeit, Ankleiden des Torsos).

Die Umgebungsbedingungen für die Prüfung sind in Übereinstimmung mit dem ausgewählten Szenario einzustellen. Ebenso muss sichergestellt werden, dass der Torso aktiviert ist und die Oberflächentemperatur auf die vorbestimmten Werte eingestellt ist (standardmäßig 34 °C).

Softwareeinstellungen

Ein einphasiges Profil mit den entsprechenden Anfangsbedingungen ist in Übereinstimmung mit dem ausgewählten Profil auszuwählen. THS ist als Steuermodus für die Messung auszuwählen (Datenaustausch mit einminütigen Intervallen; Exportieren des Wärmestroms an der Oberfläche; Importieren (Sollwerte) der berechneten Oberflächentemperatur und Schweißabsonderungsrate).

6.2.2 Probenahme und Proben

Proben müssen nach Abschnitt 6 ausgewählt und nach Abschnitt 7 des Teils 1 dieser Norm vorbereitet werden. Die Konditionierung muss den ausgewählten Anfangsbedingungen für die THS-Prüfung angepasst werden.

6.2.3 Messverfahren

Die Software für das physiologische Modell ist zu starten und die gewünschte Simulation (nach ausgewählten Profil) ist durch Eingabe der Prüfungsbedingungen im Konfigurationsmenü einzustellen. Die Datenaustauschfunktion mit der Torsosoftware wird dann vorbereitet und kann mittels der „Snoop-Funktion“ nachverfolgt werden. Das physiologische Modell muss das ausgewählte Profil simulieren und warten, bis der Torso die nötigen Daten liefert (Eingabedaten: Oberflächenwärmestrom in W). Das Austauschintervall ist auf 1 min einzustellen. Die Ausgabedaten des physiologischen Modells sind die Oberflächentemperatur (in °C) in Schweißabsonderungsrate (in g/h). Der Regelkreis fährt während der gesamten Prüfung mit dem Datenaustausch fort.

6.2.3.1 Datenerfassung

Die Datenerfassung der Torsosoftware beginnt automatisch zu Anfang der Messungen. Alle relevanten in Abschnitt 8.2.4.1 des Teil 1 dieser Norm bezeichneten Daten werden einmal pro Minute aufgezeichnet. Die Definition der Datenerfassung der physiologischen Modelldaten umfasst die relevanten physiologischen Parameter, die in Übereinstimmung mit dem ausgewählten Szenario berechnet werden. Daneben wird der Steuerparameter (Wärmestrom) von der Torsosoftware mit derselben Frequenz wie die Torsodaten (einmal pro Minute) aufgenommen. Die Datenerfassung und die Wechselwirkungen können leicht mittels der „Snoop-Funktion“ überwacht werden.

6.2.3.2 Ende der Messung

Die THS-Messung ist zu beenden, wenn die simulierten physiologischen Werte die eingestellten Grenzwerte überschreiten oder die eingestellte Höchstzeit erreicht wurde.

6.2.4 Datenauswertung

Die MAWD ist basierend auf der registrierten Körperkerntemperatur aus dem physiologischen Modell zum dem Zeitpunkt zu berechnen, an welchem der physiologische Grenzwert der Kerntemperatur erstmalig erreicht wird.

Optional können auch andere Kriterien zur Berechnung der MAWD basierend auf Körperkerntemperatur berücksichtigt und entsprechend im Bericht angezeigt werden. Wenn die Kerntemperatur immer noch unterhalb des für das ausgewählte Szenario eingestellten Grenzwerts liegt, ist die Kerntemperatur unter Annahme eines linearen Anstiegs zum letzten aufgezeichneten Datenpunkt am Ende der Messperiode zu extrapolieren.