

DIN EN ISO 13506-2



ICS 13.340.10

Einsprüche bis 2023-04-03

Entwurf**Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen –
Teil 2: Vorhersage von Verbrennungsverletzungen der Haut –
Berechnungsanforderungen und Prüffälle (ISO/DIS 13506-2:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 13506-2:2023**

Protective clothing against heat and flame –
Part 2: Skin burn injury prediction –
Calculation requirements and test cases (ISO/DIS 13506-2:2023);
German and English version prEN ISO 13506-2:2023

Vêtements de protection contre la chaleur et les flammes –
Partie 2: Prédiction de blessure par brûlure de la peau –
Exigences de calculs et cas d'essai (ISO/DIS 13506-2:2023);
Version allemande et anglaise prEN ISO 13506-2:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-02-03 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 von 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 oder Am DIN-Platz, 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 50 Seiten

DIN-Normenausschuss Persönliche Schutzausrüstung (NPS)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 13506-2:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 94 „Personal safety — Personal protective equipment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 162 „Schutzkleidung einschließlich Hand- und Armschutz und Rettungswesten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

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

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

DIN EN ISO 13506 besteht unter dem allgemeinen Titel *Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Prüfverfahren für vollständige Bekleidung — Messung der Wärmeübertragung unter Verwendung einer sensorbestückten Prüfpuppe
- Teil 2: Vorhersage von Verbrennungsverletzungen der Haut — Berechnungsanforderungen und Prüffälle

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 5725 (all parts)	siehe	DIN ISO 5725 (alle Teile)
ISO 11612:2015	siehe	DIN EN ISO 11612:2015-11
ISO/DIS 13506-1:—	siehe	DIN EN ISO 13506-1:—*
ISO/TR 11610	siehe	DIN EN ISO 11610*

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

* Zur Zeit im Entwurf.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 11610, *Schutzkleidung — Begriffe*

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

DIN EN ISO 13506-1:—, *Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen — Teil 1: Prüfverfahren für vollständige Bekleidung — Messung der Wärmeübertragung unter Verwendung einer sensorbestückten Prüfpuppe (ISO/DIS 13506-1:2022); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 13506-1:2022*

DIN ISO 5725 (alle Teile), *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Meßverfahren und Meßergebnissen*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO 13506-2:2023-03

– Leerseite –

**Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen – Teil 2: Vorhersage von
Verbrennungsverletzungen der Haut – Berechnungsanforderungen und Prüffälle
(ISO/DIS 13506-2:2023)**

Protective clothing against heat and flame – Part 2: Skin burn injury prediction – Calculation requirements and test cases (ISO/DIS 13506-2:2023)

Vêtements de protection contre la chaleur et les flammes – Partie 2: Prédiction de blessure par brûlure de la peau – Exigences de calculs et cas d'essai (ISO/DIS 13506-2:2023)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Allgemeines	9
5 Prüfgerät, Vorbereitung der Prüfstücke und Prüfverfahren	9
6 Berechnung der vorhergesagten Hautverbrennung	10
6.1 Hautmodell	10
6.1.1 Allgemeines	10
6.1.2 Wärmestromwerte der Prüfpuppe in Abhängigkeit von der Zeit	10
6.1.3 Bestimmung des vorhergesagten Temperaturfeldes in der Haut und der Subkutis (Unterhautfettgewebe)	10
6.1.4 Anfangs- und Grenzbedingungen	13
6.1.5 Bestimmung des Wertes Ω zur Vorhersage von Hautverbrennungen	13
6.1.6 Zeit bis zum Einsetzen des Schmerzes	14
7 Prüffälle für die Berechnung von Hautverbrennungen und <i>in-situ</i> -Kalibrierung	15
7.1 Prüffälle und <i>in-situ</i> -Validierung	15
7.2 Prüffälle zur Vorhersage der Temperatur der Hautschichten	15
7.2.1 Allgemeines	15
7.2.2 Fall eins	15
7.2.3 Fall zwei	15
7.2.4 Anforderung an die Genauigkeit	15
7.3 Prüffälle für die Berechnung von Hautverbrennungen	16
7.4 <i>In-situ</i> -Validierung der Vorhersage von Verbrennungen	17
8 Prüfbericht	18
8.1 Allgemeines	18
8.2 Hautmodell	18
8.3 Berechnete Ergebnisse	19
8.3.1 Allgemeines	19
8.3.2 Vorhergesagte verletzte Fläche (%) der Prüfpuppe, ausgehend von der Gesamtfläche der Prüfpuppe, die Wärmesensoren enthält	19
8.3.3 Vorhergesagte verletzte Fläche (%) Prüfpuppe, lediglich von der Fläche der Prüfpuppe, die von dem Prüfstück bedeckt ist, ausgehend	19
8.3.4 Weitere Informationen	19
Anhang A (normativ) Hautmodell mit temperaturabhängiger Wärmeleitfähigkeit, $k(x,T)$	20
Anhang B (informativ) Ringversuch-Prüfdaten zur Vorhersage von Verbrennungen (Überarbeitung nach Ringversuch)	22
Literaturhinweise	24

Tabellen

Tabelle 1 — Hautmodell — Dicke der Schichten und Tiefe des Übergangs zwischen den Schichten	11
Tabelle 2 — Physikalische Eigenschaften des Hautmodells mit temperaturabhängiger Wärmeleitfähigkeit, k	11
Tabelle 3 — Physikalische Eigenschaften des Hautmodells mit temperaturunabhängiger Wärmeleitfähigkeit, k	12
Tabelle 4 — Konstanten für die Berechnung des Wertes Omega mit Gleichung (3)	14

Tabelle 5 — Fall eins	16
Tabelle 6 — Fall zwei	16
Tabelle 7 — Datensatz zur Validierung des Hautmodells	16
Tabelle 8 — Prüfpuppensensor — Vorhersage von Verbrennungen — <i>in-situ</i> -Kalibrierungsparamter	17
Tabelle B.1 — Geprüfte Materialien	22
Tabelle B.2 — Zusammenfassung der Präzision der Vorhersage des Verbrennungsrisikos (Verbrennungen zweiten und dritten Grades)	23

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 13506-2:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 94 „Safety — Protective clothing and equipment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 162 „Schutzkleidung einschließlich Hand- und Armschutz und Rettungswesten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 13506-2:2022 wurde von CEN als prEN ISO 13506-2:2023 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO 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 staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) 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. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten 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 erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welt handelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 94, *Personal safety — Protective clothing and equipment*, Unterkomitee SC 13, *Protective clothing*, erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe der ISO 13506-2 ersetzt die erste Ausgabe ISO 13506-2:2017, die technisch überarbeitet wurde.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 13506 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Der Zweck von hitze- und flammbeständiger Schutzkleidung ist es, den Träger gegen Gefährdungen zu schützen, die Brandverletzungen verursachen können. Die Bekleidung kann aus einem Material oder mehreren Materialien bestehen, die zu einem Kleidungsstück oder einem Schutzkleidungsensemble verarbeitet werden können, um mit einem zu beflammenden Prüfpuppensystem geprüft werden.

Dieses Dokument ist ein Begleitdokument zu ISO 13506-1. Die durch Prüfungen nach ISO 13506-1 gesammelten Daten werden als Eingabe für diese Berechnung verwendet.

In der Norm zu dem Prüfverfahren, ISO 13506-1, wird eine unbewegliche, aufrecht stehende lebensgroße Prüfpuppe in eine Bekleidung oder ein Schutzkleidungsensemble gekleidet und der Laborsimulation eines Feuers, dessen Wärmestrom, Dauer und Flammenverteilung gesteuert sind, ausgesetzt. Der auf die Außenseite des Kleidungsstückes durchschnittlich einwirkende Wärmestrom beträgt 84 kW/m^2 . An der Oberfläche der Prüfpuppe sind Wärmeenergiesensoren angebracht. Die Ausgabe der Sensoren wird zur Berechnung der zeit- und ortsabhängigen Schwankungen des Wärmestromes an der Prüfpuppe und zur Bestimmung der während der Datenerfassungsdauer absorbierten Gesamtwärme verwendet. Der Zeitraum der Datenerfassung wurde so ausgewählt, dass sichergestellt ist, dass die gesamte übertragene Wärme nicht weiter zunimmt. Die durch Berechnung der Vorhersage von Hautverbrennungen (siehe Anhang B) erhaltenen Informationen können zur Unterstützung der Bewertung der Leistungsfähigkeit des Kleidungsstückes oder des Schutzkleidungsensembles unter den Prüfbedingungen verwendet werden. Sie können auch als modellbasiertes Hilfsmittel zur Abschätzung des Ausmaßes und der Art der durch die Exposition des zu prüfenden Kleidungsstückes verursachten möglichen Hautverletzungen verwendet werden.

Der Sitz des Kleidungsstückes oder des Schutzkleidungsensembles an der Prüfpuppe ist von Bedeutung. Deshalb können Variationen in der Ausführung des Kleidungsstückes oder des Schutzkleidungsensembles und der Art, wie die Prüfpuppe von dem Prüfer angekleidet wird, die Prüfergebnisse und die Vorhersage von Hautverbrennungen beeinflussen. Die Erfahrung zeigt, dass die Prüfung eines Kleidungsstückes mit der nächstgrößeren Kleidungsgröße gegenüber der Normgröße den Prozentsatz der vorhergesagten Verbrennungen des Körpers um bis zu 5 % vermindern kann.

ISO 13506-1 verwendet die berechneten Informationen zu Hautverletzungen zur Berechnung des Hitzeschutzfaktors des Schutzes der Prüfpuppe.

Die Komitees ISO/TC 94/SC 13 und SC 14 und das Europäische Komitee für Normung, CEN/TC 162, legen das in diesem Dokument beschriebene Verfahren als optionalen Teil der Normen ISO 11999-3 und EN 469 für Feuerwehreinsatzkräfte und als optionalen Teil der ISO 11612 für Industrieschutzkleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen fest.

Die Norm NFPA 2112 [5] der Nationalen Brandschutzbehörde der USA legt ASTM F1930-18 [6] fest – ein Prüfverfahren, das dem in ISO 13506-1 beschriebenen ähnelt und Berechnungen zur Vorhersage von Hautverbrennungen enthält, die der in diesem Dokument beschriebenen ähneln.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält technische Einzelheiten zur Berechnung der Vorhersage von Verletzungen durch Hautverbrennung, wenn ihre Oberfläche einem veränderlichen Wärmestrom ausgesetzt ist, die bei einer Einwirkung von Flammen aufgrund von Wärme, die durch ein Kleidungsstück oder Schutzkleidungsensemble hindurch und von ihnen, eintreten könnten. Es wird eine Reihe von Prüffällen angegeben, mit denen das Berechnungsverfahren für die Vorhersage von Verbrennungen verifiziert wird. Es enthält auch Anforderungen für die *in-situ*-Kalibrierung des Wärmesensorsystems zur Vorhersage von Hautverletzungen für den Bereich der Wärmeströme, die unter Kleidungsstücken auftreten.

Die Berechnungsverfahren für Hautverbrennungen, die im Zusammenhang mit diesem Prüfverfahren dargelegt werden, umfassen keine Terme für kurzzeitige Strahlung, die in die Haut eindringen könnten. Dazu zählen Lichtbögen, einige Arten der Feuerexposition mit flüssigen oder festen Brennstoffen sowie nukleare Quellen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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/TR 11610, *Protective clothing — Vocabulary*

ISO/DIS 13506-1:—, *Protective clothing against heat and flame — Part 1: Test method for complete garments — Measurement of transferred energy using an instrumented manikin*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 13506-1 und ISO/TR 11610 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

Verbrennung

Verletzung, die aufgrund von hohen Temperaturen durch Wärmeübergang auf die Oberfläche in unterschiedlichen Tiefen des menschlichen Gewebes auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Verbrennungen von menschlichem Gewebe treten auf, wenn das Gewebe erhitzt wird und über eine wesentliche Zeitdauer der erhöhten Temperatur (> 44 °C) ausgesetzt bleibt. In diesem Dokument wird angenommen, dass die Haut aus drei Schichten besteht: aus der Epidermis, der festen äußeren Schicht, der Dermis, der Schicht unter der Epidermis, und der Subkutis (Unterhautfettgewebe), der Fettgewebeschicht unter der Dermis. Ferner wird in diesem Dokument angenommen, dass die Dicke der Schichten an jeder Stelle des menschlichen Körpers gleich ist. Abweichungen der Dicke, die auf das Alter, die Körperstelle und das Geschlecht zurückzuführen sind, werden nicht berücksichtigt. Die Schwere der Verletzung, die als vorhergesagte Verbrennung ersten, zweiten oder dritten Grades bezeichnet werden, hängt von der Höhe der erhöhten Temperatur über 44 °C und der Zeit, während der sie 44 °C oder mehr beträgt, ab.

3.1.1

Verbrennung ersten Grades

Verbrennung, bei der nur der oberflächliche Teil der Epidermis verletzt wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Haut färbt sich rot, es kommt jedoch nicht zur Blasenbildung oder zu einem Durchbrennen. Verbrennungen ersten Grades sind reversibel. In diesem Dokument wird die Zeit für eine vorhergesagte Verbrennung ersten Grades angegeben, wenn $\Omega = 0,53$ [siehe Gleichung (3)] bei einer Hauttiefe von (75×10^{-6}) m ($75 \mu\text{m}$), d. h. am Übergang Epidermis/Dermis.

3.1.1.1

Fläche der Verbrennung ersten Grades

Summe der von den Wärmestromsensoren repräsentierten Flächen, für die lediglich eine berechnete Verbrennung ersten Grades vorhergesagt wird

3.1.2

Verbrennung zweiten Grades

Verbrennung, bei der die Epidermis und ein variierender Bereich der Dermis verbrannt sind, die gesamte Dicke der Dermis jedoch üblicherweise nicht zerstört ist und die Subkutis unverletzt bleibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Verbrennungen zweiten Grades sind schwerwiegender als Verbrennungen ersten Grades und führen zu Nekrose (Absterben lebender Zellen) der Epidermis und gehen üblicherweise mit Blasenbildung einher, sind jedoch reversibel, insbesondere dann, wenn die betroffene Fläche klein ist. In diesem Dokument wird die Zeit für eine vorhergesagte Verbrennung zweiten Grades angegeben, wenn $\Omega = 1,0$ [siehe Gleichung (3)] bei einer Hauttiefe von (75×10^{-6}) m ($75 \mu\text{m}$), d. h. am Übergang Epidermis/Dermis.

3.1.2.1

Fläche der Verbrennung zweiten Grades

Summe der von den Wärmestromsensoren repräsentierten Flächen, für die eine berechnete Verbrennung zweiten Grades als schwerste Verletzung vorhergesagt wird

3.1.3

Verbrennung dritten Grades

Verbrennung, die sich über die Dermis hinaus bis in die Subkutis hinein oder darüber hinaus erstreckt

Anmerkung 1 zum Begriff: Verbrennungen dritten Grades sind irreversibel. In diesem Dokument wird die Zeit für eine vorhergesagte Verbrennung dritten Grades angegeben, wenn $\Omega = 1,0$ [siehe Gleichung (3)] bei einer Hauttiefe von $(1\,200 \times 10^{-6})$ m ($1\,200 \mu\text{m}$), d. h. am Übergang Dermis/Subkutis.

3.1.3.1

Fläche der Verbrennung dritten Grades

Summe der von den Wärmestromsensoren repräsentierten Flächen, für die eine berechnete Verbrennung dritten Grades vorhergesagt wird

3.1.4

Gesamtfläche der Verbrennung

Summe der von den Wärmestromsensoren repräsentierten Flächen, für die mindestens eine Verbrennung zweiten Grades vorhergesagt wird

3.2

Omega-Wert

Ω

Parameter für Hautverletzungen, Wert des Verletzungsintegrals [siehe Gleichung (3)], der die vorhergesagte Verbrennung (3.1) für bestimmte Hauttiefen und Temperaturregimes angibt

3.3

Schmerzbereich

Summe der von den Wärmestromsensoren repräsentierten Flächen, für die das Auftreten von Schmerzen vorhergesagt wird

3.4

Zeit bis zum Einsetzen des Schmerzes

Zeit, die verstreicht, bis die Schmerzrezeptoren die Temperatur von 43,2 °C erreichen

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Dokument wird davon ausgegangen, dass sich die Schmerzrezeptoren (195×10^{-6}) m (195 µm) unterhalb der Hautoberfläche befinden.

4 Allgemeines

Die Berechnung der vorhergesagten Verbrennung ist ein wünschenswertes Ergebnis, wenn sie für den Vergleich der jeweiligen Leistungsfähigkeit der Schutzkleidung mithilfe von Prüfverfahren, die die auf die Oberfläche der Prüfpuppe einwirkende Wärme bei einer festgelegten Exposition mit Wärmeenergie messen, genutzt wird. Dieses Dokument beschreibt das Berechnungsverfahren, das bei der Durchführung der in ISO 13506-1 beschriebenen Prüfungen zu diesem Zweck angewendet werden muss. ISO 13506-1 legt das Verfahren zur Messung der Wärmeübertragung fest, die als Grundlage für die Bewertung der jeweiligen Hitzeschutzleistung des Prüfstücks herangezogen werden kann. Die Leistungsfähigkeit hängt sowohl von den Materialien als auch der Gestaltung sowie von der Passform des Kleidungsstück an der Prüfpuppe ab. Der durchschnittliche Wärmestrom der Exposition beträgt bei einer Dauer von 3 s bis 20 s 84 kW/m².

Für die mit diesem Prüfverfahren bestimmte vorhergesagte Verbrennung wird ein vereinfachtes mathematisches Modell angewendet, das sich nicht direkt auf tatsächliche Verbrennungen der menschlichen Haut bei beliebigen Expositionsprüfbedingungen übertragen lässt. Das Modell beruht auf Messungen am menschlichen volaren Unterarm (Stoll and Greene [8]).

Das Prüfstück wird bei Umgebungsbedingungen einer lebensgroßen Prüfpuppe (siehe ISO 13506-1, 5.1) angezogen und der Laborsimulation eines Feuers ausgesetzt, deren Wärmestrom, Dauer und Flammenverteilung gesteuert sind. Das Prüfverfahren, die Datenerfassung, die Berechnungen der Ergebnisse und die Erarbeitung des Prüfberichts erfolgen unter Verwendung von Computer-Hardware und von Softwareprogrammen.

Die während und nach der Exposition durch das Prüfstück und von dem Prüfstück auf die Oberfläche der Prüfpuppe übertragene Wärmeenergie wird von in der Oberfläche der Prüfpuppe angebrachten Wärmestromsensoren gemessen. Die Wärmemenge schwankt im Laufe der Zeit. Das in diesem Dokument festgelegte Verfahren wendet die Wärmestrommessungen nach ISO 13506-1 an, um die vorhergesagte Zeit bis zum Einsetzen des Schmerzes für jeden Wärmeenergiesensor, die Fläche der Verbrennungen ersten, zweiten und dritten Grades, sowie die Gesamtfläche der Verbrennungen aufgrund der Exposition zu berechnen. Die Identifikation des Prüfstücks, die Prüfbedingungen, Erläuterungen und Anmerkungen zu dem Ziel der Prüfung und die Reaktion des Prüfstücks auf die Exposition werden aufgezeichnet und in den Prüfbericht aufgenommen. Die gesamte Wärmeübertragung und/oder die vorhergesagte Fläche der Hautverbrennung sowie die Art und Weise, wie das Prüfstück auf die Flammenexposition reagiert, sind Indikatoren für die Leistungsfähigkeit des Prüfstücks bei diesem Prüfverfahren. Das Verfahren zur Vorhersage der Hautverbrennungen kann zusammen mit anderen Prüfverfahren angewendet werden, bei denen ähnliche Expositionen erzeugt werden.

Abschnitt 6 enthält die Einzelheiten der erforderlichen Berechnung der vorhergesagten Hautverletzung und Abschnitt 7 führt eine Reihe von Prüffällen auf, anhand derer das Berechnungsverfahren geprüft werden muss, um die Übereinstimmung mit der festgelegten Genauigkeit nachzuweisen.

5 Prüfgerät, Vorbereitung der Prüfstücke und Prüfverfahren

Die Einzelheiten zu dem Prüfgerät, die Vorbereitung des Prüfstücks, das Ankleiden und das Prüfverfahren sind in ISO 13506-1:20XX, Abschnitt 5 bis Abschnitt 8, angegeben. Ergänzend zu den in ISO 13506-1:2017, Anhang C, angegebenen Kalibrierverfahren müssen die Labore die im nachstehenden Abschnitt 7 beschriebene Validierung durchführen.

6 Berechnung der vorhergesagten Hautverbrennung

6.1 Hautmodell

6.1.1 Allgemeines

Dieses Dokument enthält die technischen Daten zweier Hautmodelle.

- Die Werte der Hauteigenschaften des Hautmodells mit temperaturabhängiger Wärmeleitfähigkeit (Hautmodell A) sind in Tabelle 1, Tabelle 2 und Anhang A angegeben.
- Die Werte der Hauteigenschaften des Hautmodells mit temperaturunabhängiger Wärmeleitfähigkeit (Hautmodell B) sind in Tabelle 1 und Tabelle 3 angegeben.

ANMERKUNG 1 Die in Tabelle 1 bis Tabelle 3 und in Anhang A aufgeführten Werte der Hauteigenschaften und die in Abschnitt 7 angegebenen Prüffälle für die Berechnung wurden von einer Arbeitsgruppe des ASTM (American Society for Testing and Materials), die an ASTM F1930 [6] arbeitete, bestimmt und ein Prüfverfahren wurde in Übereinstimmung mit der Normenreihe ISO 13506 erarbeitet. Die Arbeitsgruppe reproduzierte die Experimente nach Stoll and Greene [7], so dass sie bei allen Prüffällen mit teilweiser Blasenbildung nach Stoll der Bedingung $\Omega = 1,0$ [Gleichung (3)] mit einer Genauigkeit von 10 % entsprachen. Die Werte der Dicke der drei Schichten (*in vivo*) in den Unterarmen erwachsener Männer sowie der Anfangstemperaturgradient durch die Schichten in den Unterarmen hindurch (1 °C) waren in der Literatur zu finden. Unter Anwendung dieser Informationen, der in 6.1.3 und 6.1.5 angegebenen Gleichungen und der nachstehenden von Weaver and Stoll [8] bestimmten Werte für P und ΔE wurden Versuch-und-Irrtum-Verfahren und Optimierungstechniken angewendet, um die Werte der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärme und der Dichte der einzelnen Schichten zu ermitteln, sodass mit einem Satz von Werten alle experimentellen Messungen der Hautverletzung nach Stoll and Greene [7] mit den von Weaver and Stoll [8] berechneten Erweiterungen mit $\Omega = 1 \pm 0,1$ vorhergesagt werden konnten. Die bestimmten Werte sind repräsentativ für lebendes Gewebe (*in vivo*). Deshalb sind der Blutfluss und dessen möglicher Einfluss auf die Ergebnisse/Vorhersagen bei Anwendung der nachstehenden Gleichungen und Parameter in der Lösung enthalten.

ANMERKUNG 2 ASTM F1930 enthält detaillierte historische Informationen zu der Entwicklung der Vorhersage von Hautverletzungen aufgrund von Wärmeeinwirkung durch heiße Flüssigkeiten und reine strahlende Quellen.

6.1.2 Wärmestromwerte der Prüfpuppe in Abhängigkeit von der Zeit

Die Werte des absorbierten Wärmestroms, $\dot{q}_i(t)$, in kW/m², für jeden Prüfpuppensensor, i , in jedem Zeitschritt, t , wie in ISO 13506-1 angegeben, müssen als Dateneingabe zur Berechnung der Vorhersage von Hautverbrennungen verwendet werden.

6.1.3 Bestimmung des vorhergesagten Temperaturfeldes in der Haut und der Subkutis (Unterhautfettgewebe)

6.1.3.1 Allgemeines

Die Exposition mit Wärme muss als transientes eindimensionales Wärmediffusionsproblem dargestellt werden, bei dem die Temperatur in der Epidermis, Dermis und Subkutis (Unterhautfettgewebe) sowohl mit der Lage (Tiefe) als auch mit der Zeit schwankt, und sie wird mit der parabolischen Differentialgleichung (Fourier-Feldgleichungen) beschrieben.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

Dabei ist

ρC_p die volumenspezifische Wärmekapazität, in J/m³·K;

t die Zeit, in s;

x die Tiefe von der Hautoberfläche, in m;

$T(x,t)$ die Temperatur bei Tiefe x und Zeit t , in K;

$k(x,T)$ die Wärmeleitfähigkeit bei Tiefe x und Temperatur T , in W/m·K.

Die für Hautmodell A (d. h. in Tabelle 1, Tabelle 2 und Anhang A) oder Hautmodell B festgelegten Parameter (d. h. in Tabelle 1 und Tabelle 3) müssen zum Lösen von Gleichung (1) angewendet werden.

Tabelle 1 — Hautmodell — Dicke der Schichten und Tiefe des Übergangs zwischen den Schichten

Parameter	Haut- oberfläche	Epidermis	Übergang Epidermis/ Dermis	Dermis	Übergang Dermis/ Subkutis	Subkutis
Tiefe von der Hautoberfläche (μm)	0		75		1 200	
Dicke der Schicht (μm)		75		1 125		3 885

6.1.3.2 Physikalische Eigenschaften des Hautmodells mit temperaturabhängiger Wärmeleitfähigkeit, k (Hautmodell A)

Die Wärmeleitfähigkeit jeder Hautschicht schwankt aufgrund der generalisierten thermophysikalischen Eigenschaften der Bestandteile der Schichten (vereinfachte Zusammensetzung: Wasser, Proteine und Fett) bekanntermaßen mit der Temperatur. Cooper and Trezek [9] und Knox et. al. [10] haben Beziehungen entwickelt, um die thermophysikalischen Eigenschaften der Hautschichten und der Subkutis (Unterhautfettgewebe) auf der Grundlage des prozentualen Anteils an Wasser, Proteinen und Fett in jeder Schicht zu bewerten. Anhang A legt Werte für die Zusammensetzung der Schichten, die volumenspezifische Wärmekapazität, $\rho C_p(x)$, und die temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit, $k(x,T)$, in Abhängigkeit von den generalisierten Bestandteilen der Hautschichten (Wasser, Protein und Fett) fest, die den Anforderungen von Abschnitt 7 entsprechen und zum Lösen der Gleichung (1) angewendet werden können. Bezugswerte für die Wärmeleitfähigkeit (für eine Temperatur von 32,5 °C), die volumenspezifische Wärmekapazität und die Zusammensetzungen der Schichten sind in Tabelle 2 angegeben. Zur Berechnung der Werte der Wärmeleitfähigkeit, k , bei anderen Temperaturen als 32,5 °C siehe Anhang A.

Tabelle 2 — Physikalische Eigenschaften des Hautmodells mit temperaturabhängiger Wärmeleitfähigkeit, k

Parameter	Epidermis	Dermis	Subkutis
Wärmeleitfähigkeit, k (W/m·K) bei $T(0,0) = 32,5$ °C	0,615 5	0,597 6	0,365 9
Volumenspezifische Wärmekapazität, ρC_p (J/m ³ ·K)	$4,158 \times 10^6$	$4,017 \times 10^6$	$2,285 \times 10^6$
Wasseranteil (Massenanteil in %)	80	70	20
Fettanteil (Massenanteil in %)	6	12	72
Proteinanteil (Massenanteil in %)	14	18	8