

Leitlinie

Arbeit unter Einwirkung von Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) - Gefährdungen und Schädigungen von Augen und Haut

Klassifikation S2e
Registernummer 002 – 010

Leitlinientext

Anmeldedatum: 07.03.2017

Fertigstellung: 22.07.2019

Koordination:

Dr. med. Ursula Wild & Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Erren, MPH

Federführende Fachgesellschaft:

Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM)

Dr. med. Ursula Wild

Philip Lewis, PhD

Dr. med. Valérie Groß, M.P.H.

Dr. med. Christopher Dietrich

Dr. med. Andreas Pinger

Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Erren, M.P.H.

Fachärztin für Arbeitsmedizin

Fachärztin für Anästhesiologie

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Physiologie

Fachärztin für Arbeitsmedizin

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Medizin

Facharzt für Arbeitsmedizin

Facharzt für Allgemeinmedizin

Facharzt für Arbeitsmedizin

5 Schlüsselwörter (Deutsch) des Leitlinientextes für die Online-Suche:

Infrarot, Wärmestrahlung, Hauterkrankungen, Augenerkrankungen, Glasbläserstar

5 Keywords (English):

Infrared, heat radiation, skin disease, eye disease, glassblower's cataract

5 Schlüsselwörter des Titels:

Infrarotstrahlung, Wärmestrahlung, Auge, Haut, Arbeit

Vorbemerkungen

- Die in dieser Leitlinie beschriebenen diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen sind medizinisch begründet und entsprechen dem allgemein anerkannten Stand der Wissenschaft. Auch werden gesetzliche Vorgaben aus dem Bereich des Arbeitsschutzes berücksichtigt.
- Diese Leitlinie gilt für Arbeiten, bei denen eine Exposition gegenüber gefährdender Infrarot- bzw. Wärmestrahlung besteht.
- Beachten Sie bitte auch die für das arbeitsmedizinische Leitlinienprinzip [1] geltenden Besonderheiten sowie die sonstigen fachgebietsrelevanten Handlungsempfehlungen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Schlüsselfragen A und B | 4 |
| 2. Beantwortung der Schlüsselfrage A | 4 |
| 2.1 Charakterisierung der Einwirkungen von Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung)..... | 4 |
| 2.1.1 Laserstrahlung / Kohärente optische Strahlung..... | 5 |
| 2.2 Vorkommen von Infrarotstrahlung | 5 |
| 2.3 Infrarotstrahlung und die Haut..... | 6 |
| 2.3.1 Erythema ab igne (ICD-10 L59)..... | 7 |
| 2.3.1.1 Verlauf und Therapie des Erythema ab igne | 7 |
| 2.4 Infrarotstrahlung und das Auge..... | 8 |
| 2.4.1 Katarakt (ICD-10 H26)..... | 8 |
| 2.4.1.1 Therapie der Katarakt..... | 10 |
| 2.4.2 Durch Laserstrahlung bedingte Schädigungen der Netzhaut (ICD-10 H35) und weitere Schädigungen der Augen | 10 |
| 2.5 Infrarotstrahlung und andere Organe / Organsysteme..... | 12 |
| 3. Beantwortung der Schlüsselfrage B | 12 |
| 3.1 Forschungsbedarf..... | 13 |
| 3.2 Protektion..... | 13 |
| 3.2.1 Grenzwerte und gesetzliche Vorgaben..... | 13 |
| 3.2.2 Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz..... | 15 |
| 3.2.3 Organisation und Maßnahmen bei Unfällen | 17 |
| 3.2.4 Versicherungsrechtliche Aspekte..... | 17 |
| 3.3 Arbeitsmedizinische Vorsorge | 18 |
| 3.4 Vorgehen bei bestimmten Krankheitsbildern | 19 |
| 3.4.1 Erythema ab igne und unklare Hautveränderungen..... | 19 |
| 3.4.2 Infrarotassoziierte Sehstörungen; Katarakt..... | 19 |
| 3.4.3 IR-Laserstrahlung / Verbrennungen | 19 |
| 4. Abbildungen..... | 21 |
| 5. Literatur..... | 23 |

1. Schlüsselfragen A und B

Schlüsselfragen für die Leitlinie sind:

- A Welche Gesundheitsgefährdungen gehen – nach aktuellem Stand der Wissenschaft – von Arbeit mit Expositionen gegenüber Infrarotstrahlung aus?
- i. In Bezug auf die Organsysteme der Augen und der Haut?
 - ii. In Bezug auf weitere Organsysteme?
 - iii. In Bezug auf akute und chronische Exposition?
 - iv. Auf welche Symptome / Erkrankungszeichen sollte geachtet werden?
- B Welche Präventionsmaßnahmen (primär, sekundär und tertiär*) lassen sich daraus ableiten bzw. empfehlen?

*Gemäß Zielsetzung der Leitlinie in der federführenden und anmeldenden Fachgesellschaft DGAUM: Primärprävention bezeichnet insbesondere Technische, Organisatorische und Personenbezogene Schutzmaßnahmen, Sekundärprävention in erster Linie den Inhalt der arbeitsmedizinischen Vorsorge, mit der Früherkennung arbeitsbedingter Erkrankungen und ggf. Indikationen zur Frühintervention. Die Tertiärprävention beschäftigt sich mit Fragen der Rehabilitation und Wiedereingliederung nach Therapie bzw. Auftreten der Erkrankung.

2. Beantwortung der Schlüsselfrage A

2.1 Charakterisierung der Einwirkungen von Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung)

Als Infrarotstrahlung (IRR) bezeichnet man den Teil des elektromagnetischen Spektrums mit einer Wellenlänge zwischen etwa 780 nm und 1 mm, also zwischen sichtbarem Licht (bis etwa 700 nm) und Mikrowellen (ab 1 mm), siehe hierzu auch *Abbildung 1*. Es handelt sich dabei um eine oft auch als „Wärmestrahlung“ bezeichnete Form der nicht-ionisierenden Strahlung, die stärker als andere elektromagnetische Strahlung zur Vibration und Rotation von Molekülen und somit zu einer von der Wellenlänge abhängigen Erwärmung der Materie – z. B. der Haut – führen kann [2]. Die Photonenenergie elektromagnetischer Strahlung verhält sich dabei umgekehrt zur Wellenlänge, also je geringer die Wellenlänge, desto mehr Energie besitzen die Photonen [2]. Bei der Infrarotstrahlung gibt es die Besonderheit, dass sich auch die Eindringtiefe in Wasser, dem Hauptbestandteil des menschlichen Körpergewebes, umgekehrt zur Wellenlänge verhält, bei geringerer Wellenlänge also zunimmt [3].

Die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) hat zur Klassifizierung der Infrarotstrahlung die folgende Einteilung nach Wellenlängen vorgenommen:

- IR-A: Infrarot-A- (780 nm – 1,4 µm),
 - IR-B: Infrarot-B- (1,4 µm – 3,0 µm) und
 - IR-C: Infrarot-C-Strahlung (3,0 µm – 1,0 mm)
- [4]

Darüber hinaus wird IR-A als „Nah-“ und IR-B und IR-C als „Mittlere“ bzw. „Fern-Infrarot-Strahlung“ benannt.

Die wesentlichen Zielorgane für die potenziell schädlichen Einwirkungen der Infrarotstrahlung sind aufgrund der limitierten Eindringtiefe (IR-A bis max. 5 mm in der Haut) insbesondere die **Haut** und die **Augen**.

2.1.1 Laserstrahlung / Kohärente optische Strahlung

Laserstrahlung (LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) bezeichnet die künstlich erzeugte Emission von monochromatischem Licht. Es handelt sich um die einzige kohärente optische Strahlung. Das heißt, die Wellen befinden sich räumlich und zeitlich „in Phase“. Der Strahl wird stark gebündelt, somit ist der Durchmesser gering, die Intensität aber hoch [5]. Je nach eingesetzter Wellenlänge unterscheidet man verschiedene Arten von Lasern, z. B. Infrarot- oder UV-Laser. Eingesetzt werden Laser u.a. in der Industrie, in der Medizin und im militärischen Sektor.

Im Gegensatz dazu bezeichnet ‚inkohärente optische Strahlung‘ optische Strahlung aus Quellen, die im Unterschied zu Laserstrahlung *ohne* feste Phasenbeziehung der elektromagnetischen Wellen steht [6].

In dieser Leitlinie wird ausdrücklich nur zu Laserstrahlung im Infrarot-Bereich Bezug genommen.

Tabelle 1: Physikalische Größen [7]

| Physikalische Größe | Definition | Berechnung | SI-Einheit |
|-----------------------|--|-------------------|------------|
| Wellenlänge λ | Der Abstand benachbarter Schwingungszustände gleicher Phase in Ausbreitungsrichtung, z. B. zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen. Wellenlänge und Frequenz sind miteinander verknüpft. | $\lambda = c/f$ | Meter (m) |
| Frequenz ν | Die Frequenz beschreibt die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit. Frequenz und Wellenlänge sind miteinander verknüpft. | $\nu = c/\lambda$ | Hertz (Hz) |

2.2 Vorkommen von Infrarotstrahlung

Die wichtigste Quelle für natürliche Infrarotstrahlung auf der Erde ist die Sonne. Etwa 54% der Sonnenstrahlung liegt im Infrarotspektrum, dabei umfasst IR-A einen Anteil von ca. 30% des gesamten Spektrums der Sonnenstrahlung [2, 8].

Im beruflichen Kontext wird Infrarotstrahlung an vielen Arbeitsplätzen und in unterschiedlichsten Bereichen gezielt eingesetzt: Als „typische“ Berufe mit Exposition gegenüber Infrarotstrahlung galten früher insbesondere Glasbläser und -schmelzer, Schweißer, Schmiede, Arbeiter an Brennöfen, Gießereiarbeiter, Arbeiter in der Eisenproduktion, der Keramikindustrie sowie Kohle- und Stahlwerkerarbeiter [9-17]. Hierbei werden die höchsten Bestrahlungsstärken von $> 4000 \text{ W/m}^2$ am Hochofen und Schmelzofen in der Stahlindustrie und in Kupferhütten gemessen, niedrigere Bestrahlungsstärken (ca. $300\text{-}4000 \text{ W/m}^2$) finden sich z. B. in Kokereien (Batterieöfen) und am Walzwerk sowie in der Glasbläserei [18].

Im Zeitverlauf haben sich durch den Einsatz neuer Technologien auch die beruflich häufiger vorkommenden Expositionsquellen gegenüber Infrarot- und Wärmestrahlung verändert. So ist z. B. der Einsatz von Infrarottechnik in der Elektronik in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Auch der Laser-Technologie und den damit verbundenen Risiken kommt eine

besondere Bedeutung zu [19-22]. Ebenso kann es durch Einsatz von Infrarot-Heizungen, die Arbeit an einem Laptop mit dichtem Körperkontakt, dem Einsatz von beheizten Autositzen, sowie in vielen weiteren Bereichen zu IR-Expositionen kommen [23-32] [33, 34].

2.3 Infrarotstrahlung und die Haut

Während die IR-B- und IR-C-Strahlen überwiegend in der Epidermis absorbiert und dabei thermisch wirksam werden (ein geringer Anteil der IR-B-Strahlen kann die Dermis erreichen), dringt ein Teil der IR-A-Strahlung ohne vorherige Absorption bis in die Subcutis vor (s. Abbildung 2) – etwa 10% der IR-A-Strahlung erreicht die Subcutis –, wodurch sich die Erhöhung der Hauttemperatur vermindert [35, 36] [8, 37]. Daher führt die Bestrahlung der Haut mit langwelligerem Licht des Infrarotspektrums (IR-B bzw. IR-C) eher zu einer für den Organismus spürbaren, lokalen Erwärmung. Der Temperaturanstieg lässt sich am ehesten auf eine durch die Infrarotstrahlen bedingte Molekülbewegung mit konsekutiver Vasodilatation zurückführen [38, 39]. Die Induktion eines Erythems konnte experimentell ab einer Dosis von etwa 140.000 J/m² (bei einer Bestrahlungsstärke von 2500 W/m²) auf ungeschützter Haut unmittelbar nach der Bestrahlung beobachtet werden [40]. Aus einer Untersuchung zum Zusammenspiel der Wirkungen von Infrarot- und ultravioletter Strahlung ging außerdem hervor, dass IR-A und IR-B-Strahlen eine UV-A-induzierte Lichturtikaria verstärken können [41]. In anderen Studien werden hingegen auch protektive Wirkungen von IRR hinsichtlich schädigender Wirkungen von Strahlung anderer Wellenlänge, wie z. B. UV-Strahlung, postuliert [42]. Ein möglicher Grund hierfür ist der (intermittierende) Anstieg der Ferritin-Konzentration nach IR-A-Bestrahlung und somit ein gewisser Schutz vor oxidativem Stress [43].

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass eine Exposition gegenüber IRR zudem einen Einfluss auf die molekulare Integrität der Haut haben kann, z. B. kann es zur vermehrten Expression von Tropoelastin und zur verminderten Expression von Fibrillin -1 kommen [44].

Eine Bestrahlung mit Infrarot kann überdies zu einer Erhöhung der Mastzellkonzentration der Haut [45] und zu einer vermehrten Expression des tumor growth factor β (TGF- β) in der Haut [46, 47] führen.

Unter Einfluss von IR-A (Nah-IR) kommt es darüber hinaus zu einem Anstieg bestimmter Enzyme („Matrix-Metalloproteinasen“ = MMP und hierbei insbesondere MMP-1) und damit zu einer Abnahme der Kollagenproduktion, wohingegen die Produktion des MMP-1-Inhibitors (TIMP-1) nicht gleichermaßen ansteigt, sodass es in der Summe zu einer Reduktion des Typ I-Prokollagens, und somit auch des Kollagens kommt [47-49].

Auch kann eine Bestrahlung mit IR-A (welches v. a. intramitochondrial über das Enzym Cytochromoxidase A absorbiert wird) zu einer verstärkten Bildung von freien Sauerstoffradikalen (ROS) und des Transkriptionsfaktors NF-Kappa-B führen [50-53]. Dies hat eine erhöhte Durchlässigkeit der mitochondrialen Membran zur Folge, was zur Aktivierung der Zell-Apoptose [54] und außerdem zu einer Abnahme der antioxidativ wirksamen Substanzen Betacarotin sowie Lykopen führen kann [46, 55, 56].

Über eine Beeinflussung verschiedener Proteine kann IRR bspw. zur (ggf. „vorzeitigen“) Hautalterung beitragen, zudem kann es durch Infrarotbestrahlung zu einer vermehrten Hauttrockenheit kommen [57, 58] [59-65].

2.3.1 Erythema ab igne (ICD-10 L59)

Das Erythema ab igne (EAI), in der Literatur auch unter anderen Bezeichnungen zu finden [66] wie z. B. Hitzemelanose oder „Granny’s tartan“, ist die häufigste mit wiederholter oder länger andauernder Infrarotbestrahlung assoziierte Hauterscheinung, die per definitionem nicht als Verbrennung eingestuft wird [67]. Ein beschriebenes, geschlechterabhängiges, häufigeres Auftreten des EAI bei Frauen im Vergleich zu Männern ist umstritten [68].

Histopathologisch gleicht das EAI einer aktinischen Keratose [69]. Eine Abflachung der Epidermis und der Dermis, eine Hyper- oder Dyskeratose und weitere, unspezifische Veränderungen können ggf. ebenfalls beobachtet werden [70, 71].

Klinisch imponiert das EAI als rötlich oder bräunlich gefärbtes, netzartiges Muster auf der Haut. In der Regel wird das EAI als asymptomatisch beschrieben, gelegentlich wird über Brennen oder Juckreiz berichtet [72-74]. Beobachtet werden kann eine Schuppung, Krustenbildung sowie Veränderungen der Konsistenz der Haut, auch Teleangiektasien oder Blasen können auftreten. Im weiteren Verlauf der Erkrankung kann die Haut hyper- oder hypopigmentiert sein und es kann zu einer Atrophie kommen [75-77]. Differenzialdiagnostisch sollten insbesondere eine Vaskulitis, eine Livedo reticularis, ein Naevus flammeus, eine Akanthosis nigricans und eine Poikilodermie bedacht werden [78-80].

Historisch betrachtet wurde das EAI zunächst bei Menschen beschrieben, die über längere Zeit (unter Umständen über mehrere Jahre) wiederholt am offenem Feuer oder an einem Ofen gesessen hatten [71, 81]; in manchen Fällen reicht aber auch eine deutlich kürzere Expositionszeit aus, um ein EAI hervorzurufen [82]. Seit der Einführung der Zentralheizungen wird ein Rückgang der Inzidenz des EAI beschrieben [72], andererseits hat die Anzahl an Fallberichten zum EAI in den letzten Jahren zugenommen [23, 25].

Beruflich kann ein EAI bei allen Tätigkeiten, die mit entsprechenden Infrarotstrahlungsexpositionen einhergehen, beobachtet werden, z. B. bei Köchen, Bäckern, Juwelieren und Silberschmieden [78]. In zahllosen Fallberichten wird über das vielfältige Auftreten eines EAI in verschiedenen Arbeits- und Umweltbereichen berichtet, z. B. verursacht durch beheizte Autositze [23, 25, 83], lokale Wärmeapplikation zur Schmerztherapie oder Entspannung [84-87], wärmende Massagegeräte [88], Heizkissen [89-92], Fußbäder [93], heiße Bäder [94] oder Wärmflaschen [95], Elektroheizungen [28, 96] und direkten Hautkontakt mit sich erwärmenden Elementen eines Laptops [24, 27, 29, 30, 32, 72, 97].

Als ein Risikofaktor für die Entstehung eines EAI wird die Thermophilie beschrieben, z. B. bei Schilddrüsenerkrankungen, psychiatrischen Erkrankungen (insbesondere Essstörungen) oder kutanen Sensibilitätsstörungen [79, 81, 98-101].

Darüber hinaus kann ein EAI indirekt Hinweise auf andere, möglicherweise bis dahin noch nicht diagnostizierte Erkrankung liefern, da die für das EAI ursächliche Infrarotstrahlung bzw. Wärme oft primär zur Schmerzlinderung angewendet wird [102-107].

2.3.1.1 Verlauf und Therapie des Erythema ab igne

Eine Leitlinie, speziell zur Diagnostik und Behandlung des Erythema ab igne existiert bisher nicht.

Wird die Hautveränderung rechtzeitig erkannt und die zugrundeliegende Ursache (Exposition) beendet, ist die Prognose eines EAI gut. Beschrieben ist, dass es bei fortbestehender Exposition und daraus resultierenden Hautveränderungen zu einer (prä)malignen Transformation und der Entstehung einer aktinischen Keratose, eines Plattenepithel- (in der Literatur auch zu

finden als „Kangri cancer“, „Kang cancer“, „Turf cancer“ oder „Peat fire cancer“) oder eines Merkelzellkarzinoms sowie von Mischformen der beiden Tumoren gekommen sein kann [68, 108-111] [67, 71, 112, 113]. Beschrieben wird auch das Auftreten eines kutanen Marginalzonen-Lymphoms auf dem Boden eines EAI [114]. Hinweise auf die Entwicklung eines Karzinoms auf dem Boden eines EAI finden sich in Fallserien bzw. Fallberichten sowie einem Review [67, 68, 71, 108-114]. Epidemiologische Studien zu Risikohöhen oder Risikodeterminanten bzw. Informationen zur Häufigkeit von malignen Erkrankungen, die mit Wärmestrahlung assoziiert sind, hat unsere Systematische Literaturrecherche nicht identifiziert.

Zumindest vorsorglich sollte ein EAI aber grundsätzlich systematisch beobachtet werden. Wenn keine sichtbare Abheilung der Hautveränderungen stattfindet, v. a. wenn die Exposition beendet wurde, sollte ggf. eine histopathologische Untersuchung erfolgen, um etwaige Malignitätszeichen auszuschließen. Insbesondere zur (Früh)erkennung und Diagnostik von Hautkrebserkrankungen wird auf die AWMF-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ [115] verwiesen.

Zur Behandlung eines Erythema ab igne werden die erfolgreiche Anwendung einer Laser-Therapie (1064 nm Q-switched Nd Yag-Laser) [26] sowie die Anwendung von topischen Glukokortikoiden [92] beschrieben. Bei tumorösen Hautveränderungen ist in erster Regel die lokale Exzision die Therapie der Wahl; detaillierte Informationen zur Therapie des Plattenepithelkarzinoms finden sich in der AWMF-Leitlinie „Plattenepithelkarzinom der Haut“ [116] (wird derzeit überarbeitet, angemeldet ist ein Leitlinienvorhaben „Aktinische Keratose und Plattenepithelkarzinom der Haut“ [S3]), zur Therapie des Merkelzellkarzinoms in der AWMF-Leitlinie „Merkelzellkarzinom (MCC, kutanes neuroendokrines Karzinom)“ [117]. Bei einem Carcinoma in situ mit Epitheldysplasie wurden in Einzelfallberichten 5-Fluoruracil oder Imiquimod erfolgreich eingesetzt [79, 113]. Ebenfalls beschrieben wird in einem solchen Fall eine wirksame Anwendung einer photodynamischen Therapie mit Methylaminooxopentanoat und Rotlicht [118].

2.4 Infrarotstrahlung und das Auge

Eine Schädigung des Auges durch Einfluss von Infrarotstrahlung ist in der Literatur lange beschrieben (s. BK 2401; bereits die erste Berufskrankheitenliste aus dem Jahr 1925 enthielt den „Grauen Star bei Glasmachern“). Während langwelligere Infrarotstrahlen (IR-B und IR-C) bereits eine Absorption durch oberflächlich gelegene Wassermoleküle erfahren und somit in der Regel die Cornea nicht überwinden [119], wird der Großteil der IR-A-Strahlung erst von der Linse absorbiert und dringt teilweise sogar bis zur Retina vor.

In der Netzhaut kann es bei hohen Strahlungsintensitäten zu einer Koagulation des Gewebes und zur Zerstörung von Zellen im Pigmentepithel der Retina kommen [120].

Zu unterscheiden ist die akute (v. a. durch Laserstrahlung) von der chronischen Schädigung (z. B. der Entwicklung einer Katarakt).

2.4.1 Katarakt (ICD-10 H26)

Als charakteristisches Bild der Augenschädigung in Folge chronischer bzw. wiederholter Infrarot-Expositionen wird häufig der sog. Feuer- oder Wärmestar („glassblower’s cataract“, „bottle-makers’ cataract“) beschrieben, auch als „Infrarot-Katarakt“ bezeichnet. Allerdings sollten Bezeichnungen wie „glassblower’s cataract“ nicht darüber hinwegtäuschen, dass diese Katarakt-

Form auch bei anderen Berufen mit anhaltender oder wiederholter Exposition gegenüber Wärmestrahlung vorkommen kann, z. B. bei Metallarbeitern oder beim Schweißen [15, 121-123].

Verschiedene Untersuchungen haben sich mit dem zugrundeliegenden Schädigungsmechanismus für die Entstehung einer Katarakt beschäftigt. Aktuell muss der Schädigungsmechanismus bei beruflicher IR-Exposition als multifaktoriell angenommen werden, ein eindeutig nur photochemischer oder rein thermischer Mechanismus lässt sich nicht belegen [18, 124].

Da wiederholte Expositionen gegenüber IRR (z. B. in epidemiologischen Studien) zudem auch mit Expositionen gegenüber Strahlung anderer Wellenlängen assoziiert sind, ist meist unklar, ob die Induktion oder Progression einer Katarakt tatsächlich (allein) der IR-Strahlung zuzuschreiben ist. In epidemiologischen Studien ist grundsätzlich von Mischexpositionen gegenüber optischer Strahlung und ggf. anderen Risikofaktoren auszugehen. So lässt sich beispielsweise der Einfluss der Sonnenstrahlung als Expositionsmix gegenüber Effekten von IRR-Strahlung in Studien kaum abgrenzen. Insbesondere mit zunehmendem Alter wird zudem die sichere Unterscheidung einer IR-bedingten Katarakt gegenüber einem sog. „Altersstar“ (Cataracta senilis) schwieriger [125, 126]. Möglicherweise beeinflusst sich deren Auftreten auch gegenseitig. Mit zunehmendem Wissen über die potentielle Gefährdung der Augen durch IRR (aber auch durch andere Strahlungen) und durch Maßnahmen zur Prävention einer solchen Erkrankung, ist diese seltener geworden [127, 128]. In Deutschland wurden in den Jahren 1987 bis 2017 jeweils (bei durchschnittlich 14 angezeigten Fällen) ein bis zwei Fälle/Jahr einer BK 2401 („Grauer Star durch Wärmestrahlung“) anerkannt [129], siehe hierzu auch Tabelle 2.

Tabelle 2: BK 2401 – Verdachtsanzeigen und anerkannte Fälle

| Berichtsjahr | Verdachtsanzeigen | Anerkannte Fälle |
|--------------|-------------------|------------------|
| 1987 | 16 | 3 |
| 1988 | 15 | 3 |
| 1989 | 15 | 3 |
| 1990 | 14 | 0 |
| 1991 | 14 | 3 |
| 1992 | 18 | 1 |
| 1993 | 22 | 1 |
| 1994 | 14 | 1 |
| 1995 | 17 | 2 |
| 1996 | 22 | 2 |
| 1997 | 12 | 2 |
| 1998 | 20 | 3 |
| 1999 | 20 | 2 |
| 2000 | 16 | 1 |
| 2001 | 14 | 1 |
| 2002 | 12 | 1 |
| 2003 | 19 | 2 |
| 2004 | 13 | 2 |
| 2005 | 8 | 2 |
| 2006 | 10 | 1 |
| 2007 | 12 | 1 |

| | | |
|------|----|---|
| 2008 | 14 | 3 |
| 2009 | 9 | 0 |
| 2010 | 14 | 0 |
| 2011 | 8 | 3 |
| 2012 | 9 | 0 |
| 2013 | 10 | 0 |
| 2014 | 14 | 3 |
| 2015 | 17 | 1 |
| 2016 | 15 | 1 |
| 2017 | 12 | 1 |

Quelle: Referat Statistik, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) 08.02.2019

Beim ‚typischen‘ Feuerstar kommt es zu einer scheibenförmigen Trübung der hinteren Rinde im axialen Linsenbezirk und im weiteren Verlauf zu einer lamellären Ablösung der vorderen Linsenkapsel im Pupillarbereich mit Einrollen der peripheren Kapselränder nach innen (sog. Feuerlamelle [Solutio laminae superficialis]). Die abgelöste Kapsellamelle kann in der Vorderkammer flottieren [130-132]. Die genannten Veränderungen treten in der Regel erst nach einer längeren Expositionsdauer von 10 Jahren oder mehr auf [131, 133]. Bei Glasbläsern wurde beobachtet, dass das Auge, welches arbeitsbedingt der IR-Quelle näher zugewandt und somit stärker exponiert war, häufiger Veränderungen der Linse zeigte als das eher abgewandte Auge [12].

Symptome der Katarakt können sein:

- Visusminderung, Sehen „durch einen Schleier“,
 - Blendungsempfindlichkeit,
 - Schwächere Wahrnehmung von Kontrasten und Farben,
 - Sehstörungen beim Lesen,
 - Diplopie (Sehen von Doppelbildern)
- [130, 132].

Mögliche Differentialdiagnosen der Strahlen-Katarakt können alle andere Formen der Katarakt (z. B. Cataracta senilis, Cataracta complicata, Cataracta radiationis etc.) sein [130].

2.4.1.1 Therapie der Katarakt

Die einzige belegte wirksame Therapieoption der Katarakt besteht in der operativen Behandlung, diese erfolgt bei entsprechenden Beeinträchtigungen (vor allem bei beidseitiger Sehminderung) [130, 132]. Weitere Informationen zur Therapie der Katarakt finden sich z. B. in der Leitlinie Nr. 19 der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und der Gesellschaft für Augenheilkunde [134].

2.4.2 Durch Laserstrahlung bedingte Schädigungen der Netzhaut (ICD-10 H35) und weitere Schädigungen der Augen

Oft erfolgen Expositionen gegenüber Laserstrahlung, bevor der Lidschlussreflex aktiv wird oder der Blick abgewendet werden kann [135]. Häufig wird eine Verletzung bei der Untersuchung oder

Justierung eines Lasergeräts ohne adäquaten Schutz der Augen beschrieben [20]. Das schädigende Potential ist dabei von multiplen Faktoren, wie u.a. der emittierten Wellenlänge, der Leistung, der Expositionsdauer, der Distanz zwischen Quelle und Auge sowie dem Einfallswinkel der Strahlung abhängig [21, 136]. Zudem kann eine Gefährdung nicht nur durch eine direkte Bestrahlung, sondern auch durch Spiegelung oder eine diffuse Reflektion erfolgen, wobei das Risiko einer Verletzung beim direkten Blick in den Laserstrahl am höchsten ist [19]. Auch gibt es Hinweise, dass sehgeminderte Augen ein erhöhtes Risiko für eine Schädigung aufweisen [137].

Während bei Wellenlängen zwischen 350 und 1200 nm primär Netzhautschädigungen beschrieben werden, sind es bei Wellenlängen ab 1300 nm eher Schädigungen im Bereich der Hornhaut und eine Linsentrübung [137].

Der Schädigungsmechanismus durch IR-Laser ist überwiegend thermisch (Verbrennungen). Hierbei kann ein Temperaturanstieg von 10°C ausreichen, um Proteine zu denaturieren, was den Zelltod zur Folge haben kann [138, 139]. Eine thermische Schädigung findet sich häufig bei Argon- und Krypton-Lasern. Weitere schädigende Effekte durch Laser-Strahlung können mechanischer oder photochemischer Natur sein. Eine mechanische Schädigung durch (IR-)Laserstrahlung (unabhängig von der Wellenlänge) kann bei hoher Energie über sehr kurze Zeit verursacht werden; es entsteht dabei eine Art „Druckwelle“ (über eine Verdrängung von Gewebe zentrifugal, ausgehend vom Punkt der maximalen Absorption), die zum Einreißen der Netzhaut führen kann [19, 119, 138]. Eine photochemische Schädigung durch Laserstrahlung kommt bei kürzeren Wellenlängen des sichtbaren Lichts und UV-Lasern vor, gehört also nicht zu den typischen Schädigungsmechanismen von Infrarot-Lasern.

Laser können hinsichtlich ihres Potentials, biologische Schäden zu verursachen, in die Klassen 1-4 unterteilt werden (American National Standards Institute = ANSI, Standard Z136.1), wobei Klasse 1 jene Laser umfasst, die keine Gefährdung für die Gesundheit darstellen und Klasse 4-Laser sowohl ein Risiko für Verbrennungen der Haut als auch der Entzündung von Feuer darstellen, z. B. bei in der Chirurgie eingesetzten Lasern [22, 140].

Hinsichtlich der klinischen Symptomatik einer Laser-Verletzung des Auges wird beschrieben, dass im ersten Moment ein sehr heller Punkt oder Blitz wahrgenommen wird, gelegentlich wird das Ereignis als plötzlicher, „peitschenartiger“ Schmerz beschrieben [21, 121], unmittelbar gefolgt von den eigentlichen Symptomen der Schädigung, z. B. einem Skotom, Schattensehen oder gar partiellem bis totalem Sehverlust. Weiterhin beschrieben wird eine in der Folge verminderte Tränensekretion, ein Fremdkörpergefühl im Auge, Schwierigkeiten die Lider zu öffnen oder eine Lichtscheu, aber auch eine zumindest über längere Zeit asymptomatische bzw. unbemerkte Schädigung ist möglich [20, 21, 123].

Bei der ophthalmologischen Untersuchung können sich Zeichen der Verbrennung an der Netzhaut, eine Hyperpigmentierung der Fovea, ein Netzhaut- oder Retina-Ödem, Makulaschädigungen, oder Hämorrhagien zeigen [119, 121, 136, 141].

Je näher der Laserstrahl im Bereich der Fovea centralis auf die Netzhaut auftrifft, desto schwerer ist die direkte funktionale Beeinträchtigung. Im Gegensatz dazu können Netzhaut-Verbrennungen weiter außerhalb der Fovea gänzlich asymptomatisch bleiben [141]. Manche Schädigungen, beispielsweise ein Ödem oder eine Inflammation, können bei einer Laser-Verletzung jedoch auch verzögert entstehen (Maximum evtl. erst nach mehreren Tagen).

Der Verlauf und die Prognose solcher Verletzungen ist unterschiedlich, nicht selten kommt es aber zu bleibenden Sehminderungen [142].

IR-bedingte Schädigungen der Retina und phototoxische Makulopathien werden aber nicht nur durch Laser-Expositionen, sondern auch durch andere Expositionen mit IR-Anteilen, wie z. B. beim (MIG-)Schweißen, durch Quartz-Infrarotlampen oder durch Infrarot-Lötgeräte beschrieben [33, 34, 121, 143].

2.5 Infrarotstrahlung und andere Organe / Organsysteme

Neben einer Auswirkung von Infrarotstrahlung auf die Haut und die Augen können auch weitere Organsysteme durch Strahlung dieser Wellenlängen beeinflusst werden, wobei die Literatur hierzu sehr begrenzt ist. Vereinzelt wird beschrieben, dass die Körpertemperatur und die Herzfrequenz nach Exposition gegenüber lokal applizierter IR-A (z. B. zur Therapie bei Muskelschmerzen) ansteigen [144], wohingegen z. B. kein Einfluss auf die Melatonin-Synthese gefunden werden konnte [145].

Ebenfalls wird eine immunmodulierende Eigenschaft von IR beschrieben, die z. B. zur Therapie (z. B. bestimmter Hautinfektionen) eingesetzt wird [42].

3. Beantwortung der Schlüsselfrage B

Im Rahmen dieser Leitlinien-Entwicklung wurde eine formale „Evidenz“-Recherche („S2e“) durchgeführt. Systematisch recherchiertes Literaturmaterial zu Schlüsselfrage A wurde in Kapitel 2 zusammengefasst. Bezüglich der Schlüsselfrage B hat unsere Literaturrecherche und –synthese ergeben, dass hinreichend belastbare Evidenz in der hier erfassten Literatur fehlt [„documented evidence of lack of substantial evidence“], um diesbezüglich angemessene EBM-gestützte Empfehlungen abzuleiten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass z. B. in die Regelwerke staatlicher Institutionen und der Träger der Gesetzlichen Unfallversicherungen vielfache Erkenntnisse zur Prävention und Rehabilitation etwa von Berufskrankheiten sowie arbeitsbedingten Erkrankungen eingehen, die nicht notwendigerweise über unsere systematische Literaturrecherche der genannten Datenbanken identifizierbar sind.

In der Gesamtschau führen unsere systematischen Feststellungen zu vier Kernergebnissen bezüglich der Schlüsselfrage B:

1. Die Schlüsselfrage B sollte weitergehend wissenschaftlich belastbar bearbeitet werden – siehe 3.1 Forschungsbedarf;
2. Im Sinne der Prävention gibt es umfangreiche gesetzliche Vorgaben – siehe 3.2 Protektion;
3. Inhalte für die arbeitsmedizinische Vorsorge und Schnittstellen zwischen der Arbeitsmedizin und Betriebsmedizin und der Dermatologie und der Ophthalmologie wurden durch die Leitlinien-Gruppe zusammengestellt und gemeinsam mit Einzelexperten der Dermatologie und Ophthalmologie informell abgestimmt – siehe 3.3 Arbeitsmedizinische Vorsorge;
4. Empfehlungen für die Prävention wurden durch die Leitlinien-Gruppe zusammengestellt und gemeinsam mit Einzelexperten der Dermatologie* und Ophthalmologie** informell abgestimmt [s. „Anmerkungen“] – siehe 3.4 Vorgehen bei bestimmten Krankheitsbildern.

3.1 Forschungsbedarf

Die in den letzten Jahren geringe Anzahl an gemeldeten Verdachtsfällen bezüglich der Berufskrankheit „Feuerstar“ oder „Infrarot-Katarakt“ (BK 2401) - laut Information der DGUV erfolgten zwischen 1987 und 2017 durchschnittlich 14 BK-Verdachtsanzeigen mit 1-2 Anerkennungen pro Jahr [129], siehe auch Tabelle 2 - ist unter anderem mit insgesamt effektiven Präventionsmaßnahmen an Arbeitsplätzen vereinbar. Ein vergleichsweise kleines Mengengerüst an Gefährdeten ist gegenüber hohen Intensitäten von Infrarotstrahlung exponiert. Vor diesem empirischen Hintergrund zu Belastungen und Beanspruchungen bleiben Überwachungen des Erkrankungsgeschehens durch Betriebsärzte und BGen angezeigt und angemessen. Fallberichte bzw. Fallserien – z. B. in Verbindung mit alten und neuen Quellen der Wärmestrahlung – können eine wichtige „Wächterfunktion“ haben und sollten gegebenenfalls zu gezielten Studien bei neu begründetem spezifischem Forschungsbedarf führen.

Auch bezüglich einer denkbaren Dunkelziffer von Beanspruchten bzw. beruflich Erkrankten aufgrund von möglichem Detection Bias/Informations Bias sowie möglicher Anerkennungen gemäß § 9 Abs. 2 SGB VII könnten Studien zielführende Forschungsdaten liefern. Beispiele: Zur Anzeigepraxis des begründeten Verdachts auf eine BK 2401 [s. Tabelle 2] sowie weitere mögliche Berufskrankheiten (siehe auch 3.3.3 „Versicherungsrechtliche Aspekte“) und zu Arbeitsunfällen mit Wärmestrahlungsquellen sowie zur Diagnosepraxis und Ursachenfeststellung durch Durchgangs-Ärzte [D-Ärzte] und Ophthalmologen ist die Studienfrage „wie systematisch wird nach Wärmestrahlungsquellen - alt und neu – als BK- bzw. als Unfall-Ursache gefragt?“ von Interesse.

3.2 Protektion

Das „Leitlinienprinzip der Arbeitsmedizin“ der DGAUM [1] expliziert, dass für die Leitlinienentwicklung der Arbeitsmedizin historisch gewachsene Gefüge unterschiedlicher Kategorien von Hinweisen und Handlungsempfehlungen zu beachten sind. Insofern gibt es für die präventiven Belange der Arbeitsmedizin umfangreiche Vorschriften, „deren Verbindlichkeitsgrad im Einzelfall über eine bloße „Empfehlungen“ hinausgeht“ [1]. Um Gefährdungen in der Arbeitswelt zu minimieren, sind durch Unternehmer sowie Versicherungsträger und weitere überwachende Institutionen eine Reihe von internationalen und nationalen Rechtsnormen und Grenzwerten zu berücksichtigen.

Die im Abschnitt 3.2. dargestellten Inhalte stellen v. a. Maßnahmen der Primärprävention dar. Darüber hinaus umfassen Grenzwerte (3.2.1) und Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz (3.2.2) aber auch Aspekte der Sekundär- und Tertiärprävention.

3.2.1 Grenzwerte und gesetzliche Vorgaben

Verbindliche Grenzwerte und weitere Schutzmaßnahmen (s.u.) im Hinblick auf Gefährdungen der Augen und der Haut sind in der EU-Richtlinie 2006/25/EG (künstliche optische Strahlung [146]) im Sinne von Mindestvorschriften zum Schutz vor gesundheitsgefährdender künstlicher optischer Strahlung (inkohärent und kohärent) im Spektralbereich von 100 nm bis 1 mm festgelegt.

Eine zentrale Grundlage dieser EU-Richtlinie sind die Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on non-ionizing radiation protection; ICNIRP), (s.a. Guidelines on limits of exposure to broad-band

incoherent optical radiation (0.38 to 3 μm) (1997); ICNRP Statement on far infrared radiation exposure (2006) [147, 148].

Die nationale Umsetzung der EU-Richtlinie 2006/25/EG in deutsches Recht erfolgte 2010 in Form der „Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung“ (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - OStrV) [149].

Die Emissionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung und Laserstrahlung entsprechen den in den Anhängen der EU-Richtlinie aufgeführten Grenzwerten.

2013 wurden die aktualisierten Empfehlungen der ICNIRP, Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation, publiziert [4].

Von der Europäischen Kommission werden in einem (unverbindlichen) Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung Praktiken zur Umsetzung der EU-Richtlinie und hilfreiche Informationen zu Schutzmaßnahmen sowie für die Gefährdungseinschätzung dargestellt [150]. Unter anderem werden Beispiele für verbreitete Quellen, Anwendungen und Arbeitsbereiche dargestellt, in denen in der Regel nicht mit einer Gefährdung zu rechnen ist (sogenannte triviale Quellen), z. B. in Geschäften und Büros. Als Beratungs-/Aufsichtsbehörde in Deutschland werden die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA) sowie die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse aufgeführt [150].

Bezüglich der umfangreichen – nach Wellenlängen und Expositionszeiten differenziert aufgeführten – Grenzwertangaben wird auf die EU-Richtlinie und die ICNIRP-Empfehlungen in den genannten Literaturhinweisen verwiesen.

In einer Stellungnahme des Arbeitskreises Nicht-ionisierende Strahlung – AKNIR - des Fachverbands für Strahlenschutz zu der ICNIRP-Leitlinie aus 2013 [4] von 2016 werden im Anhang die „Exposure Limit Values“ (ELV) aus der ICNIRP-Arbeit mit den in der EU-Richtlinie genannten Grenzwerten verglichen [151].

Daneben wird vom Fachverband für Strahlenschutz e.V. im Leitfaden „Inkohärente sichtbare und infrarote Strahlung von künstlichen Quellen“ eine aktuelle Übersicht zu den Grenzwerten sowie den Normen zur Anwendung der Richtlinie 2006/25/EG und der Verordnung OStrV dargestellt [152].

Zahlreiche Hinweise zu den Grenzwerten (und weiteren Schutzmaßnahmen) werden in den Regelwerken und Schriften der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e.V. (DGUV) sowie der einzelnen Träger der gesetzlichen Unfallversicherung genannt.

Auf der Rechtsebene ergeben sich folgende rechtlich verbindlichen Vorgaben hinsichtlich protektiver Maßnahmen:

- Die in rechtsverbindlichen Richtlinien (EU-Richtlinie 2006/25/EG [146]) bzw. nationalen Gesetzestexten und Verordnungen (insbesondere: Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV[149]) benannten Grenzwerte müssen eingehalten werden.
- Gefährdungen durch IRR müssen systematisch erfasst und dokumentiert werden (gesetzliche Grundlage: OStrV, Arbeitsschutzgesetz [153]).
- Gesundheitsgefährdende Expositionen gegenüber IRR müssen soweit wie möglich gemindert und in Vorschriften der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung genannte

Schutzmaßnahmen müssen eingehalten werden (Vorgehen nach dem STOP-Prinzip; (Gesetzliche Grundlage: [154])).

- Anhand der Arbeitsmedizinischen Vorsorgeverordnung muss durch den Arbeitgeber überprüft werden, wo eine Pflicht- oder Angebotsvorsorge zu veranlassen ist (Gesetzliche Grundlage: [155]).

3.2.2 Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz

Neben den Vorgaben zur Einhaltung von Grenzwerten am Arbeitsplatz werden in der Umsetzung der EU-Richtlinie in der OStrV umfangreiche weitere Schutzmaßnahmen gesetzlich verbindlich geregelt: insbesondere die Gefährdungsbeurteilung mit der entsprechenden Dokumentationspflicht, die Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung der Gefährdungen von Beschäftigten (Vorrang von technischen Maßnahmen vor organisatorischen und individuellen Maßnahmen) sowie die Pflicht zur Unterweisung der Beschäftigten.

Die EU-Richtlinie 2006/25/EG gibt Arbeitgebern vor, im Falle der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber künstlichen Quellen optischer Strahlung eine Bewertung und erforderlichenfalls eine Messung und/oder Berechnung des Ausmaßes der optischen Strahlung vorzunehmen, der die Arbeitnehmer voraussichtlich ausgesetzt sind, so dass die erforderlichen Maßnahmen zur Beschränkung der Exposition auf die geltenden Grenzwerte ermittelt und angewendet werden können. Ergänzend und konkretisierend geben das Arbeitsschutzgesetz in §5 und die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) in § 3 vor, dass eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen durchzuführen ist.

Hinweise, wie diese Gefährdungsbeurteilung konkret für die potentiellen Gefahren durch Infrarot- und Wärmestrahlung durchzuführen ist, finden sich in der OstrV [149] und in der Technischen Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS-IOS für inkohärente optische Strahlung [6] bzw. TROS-Laserstrahlung [156]).

Es sollte – entsprechend des Prinzips der Rangfolge der Schutzmaßnahmen in der Arbeitsmedizin (STOP-Prinzip = Substitution → Technische Schutzmaßnahmen → Organisatorische Schutzmaßnahmen → Persönliche Schutzausrüstung) – gemäß Betriebssicherheitsverordnung §4 zunächst geprüft werden, ob eine Substitution der Expositionsquelle möglich ist, dann sollten technische und organisatorische Schutzmaßnahmen folgen; die persönlichen Schutzmaßnahmen (persönliche Schutzausrüstung) sollten erst eingesetzt werden, wenn sich die Gefährdung durch die anderen Maßnahmen nicht ausreichend beseitigen lässt. Die Verwendung persönlicher Schutzausrüstung ist hierbei für jeden Beschäftigten auf das erforderliche Minimum zu beschränken [154].

Experimentell konnte gezeigt werden, dass bei Expositionen gegenüber Wärmestrahlung (ca. 5 kW/m²) der die Haut erreichende Wärmefluss bereits durch „gewöhnliche“ Straßenkleidung über Minuten vermindert werden kann (etwa um den Faktor 2). Zudem können Objekte, die sich zwischen der Wärmequelle und einer Person befinden, den Wärmefluss, der auf die Person übergeht, vermindern [157]. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass eine Sonnenschutzverglasung den Temperaturanstieg der Haut bei Exposition gegenüber Infrarot-Strahlung reduzieren kann [158].

Im „Leitfaden sichtbare und infrarote Strahlung“ des Fachverbands für Strahlenschutz [152] wird der Hinweis gegeben, dass Schutzscheiben, die beim Schweißen zum Schutz gegen IR-Strahlung eingesetzt werden, nicht immer geeignet sind und die Schutzstufe abhängig von der

Strahlertemperatur ist. Des Weiteren werden reflektierende Hitzeschutzanzüge und –handschuhe empfohlen.

Aktuell gibt es in Lichtschutzcremes weder chemisch noch physikalisch wirksame Filter, die speziell gegen IR wirksam gerichtet wären [161, 162] und die meisten existierenden Sonnenschutzmittel wurden vor Inverkehrbringen (und auch danach) nicht auf ihre Wirkung hinsichtlich IR-A getestet [163].

Es wird beschrieben, dass die topische Anwendung bestimmter Antioxidantien (u. a. Vitamine und Polyphenole) die IR-A-induzierte MMP-1-Bildung verhindern kann, somit scheinen diese Antioxidantien einen gewissen Schutz gegenüber IR-A zu bieten [49, 63, 164]. Weitere Studien zum Nutzen, zur Anwendbarkeit, zur Schutzwirkung und -dauer und weitere Informationen sind jedoch erforderlich, bevor – z. B. zum Schutz vor IR-Strahlung am Arbeitsplatz – die Anwendung spezifischer Produkte empfohlen werden kann.

Der Schutz der Augen – nicht nur (wie eher praktiziert) vor sichtbarem und UV-Licht, sondern auch vor Infrarotstrahlung – wird ebenfalls empfohlen [159].

Zur Protektion der Augen bei Schweißern werden z. B. Gesichtsmasken aus Polycarbonat oder Eisenoxid-beschichtete Glasfilter angewendet, wobei in einer Studie Vorteile der Polycarbonat-Filter (u. a. wegen des leichteren Gewichts) gegenüber den anderen Filtern gezeigt werden konnten [120]. In einer anderen Studie wurde beschrieben, dass sog. Interferenzfilter den metallischen Reflexionsfiltern in ihrer Schutzwirkung in Bezug auf IR-Strahlung überlegen sind [160].

Eines der Hauptprobleme hinsichtlich des Augen- und Gesichtsschutzes kann darin liegen, dass die entsprechenden Schutzbrillen oder Filter nicht konsequent getragen werden [20, 21, 141, 161]. Aus diesem Grund ist nicht nur die Schutzwirkung, sondern auch der Tragekomfort der verwendeten Schutzausrüstung ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl.

Informationen zu Laser-Schutzbrillen finden sich in der DGUV-Information 203-042 („Auswahl und Benutzung von Laser-Schutz- und Justierbrillen“) [162]. Zudem gibt es mehrere DIN-Normen, die Regelungen bezüglich Laserstrahlung und zum Schutz vor selbiger beinhalten, z. B.:

- DIN EN 60825-1: Lasereinrichtungen
- DIN EN 60825-4: Laserschutzwände
- DIN EN 12254: Abschirmung von Laserarbeitsplätzen
- DIN EN 207: Laserschutzbrillen

Weitere Hinweise: siehe auch [152].

Zusammenfassend lassen sich aus der Literatur folgende Maßnahmen zum Schutz vor IR-Strahlung am Arbeitsplatz ableiten, die gemäß der betriebsindividuellen Gefährdungsbeurteilung bei den entsprechenden Expositionen vorzusehen sind:

Substitution:

- Anwendung alternativer Arbeitsverfahren soweit möglich, z. B. Kleben statt Schweißen, Anpassung der Wellenlänge auf den für den Prozess notwendigen Bereich
- Auswahl und Einsatz von Arbeitsmitteln und –verfahren mit geringen optischen Strahlungsemissionen.

Technische Schutzmaßnahmen:

- Vergrößerung des Abstandes von der strahlenden Materie
- Einsatz / Anwendung von Abschirmung, Abdeckungen, Blenden und optischen Filtern
- Geeignete Positionierung der Strahlungsquelle(n)
- Einsatz von Schutzvorhängen und –wänden
- Einhausungen, ggf. mit Verriegelung
- Abschränkungen
- Vorrichtungen zur automatischen Abschaltung
- Begrenzung der Strahlausbreitung
- Automatische Prozessführung bei besonders strahlintensiven Arbeiten

Organisatorische Schutzmaßnahmen:

- Zeitliche Begrenzung der Expositionsdauer
- Abköhlpausen/Entwärmungsphasen
- Beachtung von (ggf. zeitabhängigen) Sicherheitsabständen
- Wechsel von Tätigkeiten zwischen höher und niedriger exponierten Bereichen

Persönliche Schutzausrüstung:

- Augen- bzw. Gesichtsschutz (z. B. Schutzbrillen)
- Arbeits-, Berufs- oder Dienstkleidung
- Spezielle Schutzmaßnahmen für Arbeiten mit Laser-Strahlung

Weitere Hinweise und Spezifikationen zu Schutzmaßnahmen siehe [6, 156].

In der TROS-IOS und TROS-Laserstrahlung finden sich überdies weitere wichtige Hinweise für den Arbeitgeber über Schutzmaßnahmen, z. B. über die Voraussetzung der Beschäftigung von Personen mit Exposition gegenüber inkohärenter optischer Strahlung etc. [6, 156].

Die DGUV-Regel 112-192 [163] enthält Informationen zur „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“, die DGUV-Information 7002 [164] und die BG-Information 579 der BG Holz und Metall [165] beschäftigen sich mit der „Hitzarbeit“.

Im Leitfaden „Laserstrahlung“ des Fachverbands für Strahlenschutz e.V. [166] finden sich weitere Hinweise zu Schutzmaßnahmen.

3.2.3 Organisation und Maßnahmen bei Unfällen

- Ein Organisations- und Ablaufplan muss erstellt werden, wie im Falle eines Unfalls vorzugehen ist [167]

3.2.4 Versicherungsrechtliche Aspekte

Grauer Star durch Wärmestrahlung ist unter Nr. 2401 der Anlage 1 zur Berufskrankheitenverordnung (Liste der Berufskrankheiten) aufgeführt.

Infrarotbedingte Schädigungen der Augen und der Haut, z. B. Verbrennungen können im Sinne einer akuten Erkrankung bei beruflicher Exposition als Arbeitsunfälle zu entschädigen sein. Als mögliche langfristige Folge von Verbrennungen ist die Entwicklung von Narbenkarzinomen

[168] zu berücksichtigen, die nach den Empfehlungen des Bamberger Merkblattes Teil 2 [169] ggf. wie eine Berufskrankheit nach § 9 Abs. 2 SGB VII anerkannt werden können [170]. Gegebenenfalls können auch weitere Erkrankungen, die auf berufliche Expositionen mit Infrarot- bzw. Wärmestrahlung zurückzuführen sind, entsprechend diesem Paragraphen als sog. „Quasi-Berufskrankheit“ anerkannt werden, sofern eine entsprechende BK nicht in der gültigen Berufskrankheitenverordnung verzeichnet ist, jedoch zum Zeitpunkt der Entscheidung mit neuen Erkenntnissen der medizinischen Wissenschaft die Voraussetzungen nach § 9 Abs. 1 SGB VII erfüllt sind.

3.3 Arbeitsmedizinische Vorsorge

In der „Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vom 18. Dezember 2008, die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 1 vom 15. November 2016 geändert worden ist“ [155], ist hinterlegt, bei welchen Gefährdungen den Arbeitnehmern eine Arbeitsmedizinische Vorsorge anzubieten oder wann diese verpflichtend durchzuführen ist. Bezüglich inkohärenter Strahlung ist eine Pflichtvorsorge verbindlich vorgesehen bei „Tätigkeiten mit Exposition durch inkohärente künstliche optische Strahlung, wenn am Arbeitsplatz die Expositionsgrenzwerte nach §6 Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung vom 19. Juli 2010 in der jeweils geltenden Fassung überschritten werden.“ Eine Angebotsvorsorge ist verbindlich vorgesehen anzubieten, wenn die genannten Expositionsgrenzwerte überschritten werden können.

Im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge ist bei Anamneseerhebungen, Beratungen und Untersuchungen zu Expositionen gegenüber Wärmestrahlung zu berücksichtigen, dass grundsätzlich von Mischexpositionen beruflicher und privater Einwirkungen aller Arten optischer Strahlung auszugehen ist. Dies gilt insbesondere auch für das UV-Licht, dem Strahlungsspektrum mit dem – auf der Bevölkerungsebene – größten Schädigungspotenzial.

Auch wenn sich die Schädigungsmechanismen bei den unterschiedlichen Strahlungsspektren unterscheiden, ist unter anderem von einer Kombination der Effekte auszugehen. Für die Beratung bedeutet dies, dass Schutzmaßnahmen gegenüber allen Arten optischer Strahlung angesprochen werden sollten und für die Untersuchung, dass alle Schädigungen an Augen und Haut erfasst werden sollten.

Eine Empfehlung für arbeitsmedizinische Untersuchungen von Beschäftigten bei Expositionen gegenüber künstlicher optischer Strahlung liegt mit dem DGUV-Grundsatz für arbeitsmedizinische Untersuchungen G 17 („Künstliche optische Strahlung“) vor. Hinsichtlich des Strahlungsspektrums umfasst der G 17 neben Infrarotstrahlung auch sichtbares Licht und UV-Licht. Ziel der DGUV-Grundsätze ist es, „Empfehlungen nach dem allgemein anerkannten Stand der Arbeitsmedizin darzustellen“ [171].

Der DGUV Grundsatz G 17 enthält Einzelheiten der Inhalte von Anamneseerhebung, Beratung und Untersuchung. Bezüglich der Untersuchung wird eine Bestimmung des Hauttyps nach Fitzpatrick, eine Erhebung des Hautstatus und eine Augenuntersuchung mit Inspektion, Visusbestimmung und Amsler-Test empfohlen. Bei unklaren und behandlungsbedürftigen Befunden wird eine konsiliarische fachärztliche Untersuchung des Auges bzw. der Haut empfohlen [171].

Im Abschnitt „Berufskrankheiten“ des G 17 wird allein die BK Nr. 2401 der Anlage zur BKV „Grauer Star durch Wärmestrahlung“ genannt. Diesbezüglich siehe Abschnitt 3.2.4 („Versicherungsrechtliche Aspekte“).

3.4 Vorgehen bei bestimmten Krankheitsbildern

Unter den Abschnitten 3.2 („Protektion“) und 3.3 („Arbeitsmedizinische Vorsorge“) sind Maßnahmen zur Primärprävention (= Technische, Organisatorische und Personenbezogene Schutzmaßnahmen) und Sekundärprävention (= Inhalt der arbeitsmedizinischen Vorsorge insbesondere der Früherkennung arbeitsbedingter Erkrankungen und ggf. Indikation zur Frühintervention) zusammengestellt.

Darüber hinaus haben wir die nachfolgenden konkreten Empfehlungsableitungen zur Prävention informell mit erfahrenen Vertretern der Dermatologie* und Augenheilkunde** (Einzelexperten) abgestimmt [s. „Anmerkungen“].

3.4.1 Erythema ab igne und unklare Hautveränderungen

- Gesundheitsgefährdende Expositionen sollten (bei geringer Gefährdung; Konsens der Leitlinien-Gruppe: Empfehlungsgrad B) und sollen (bei höherer Gefährdung; Konsens der Leitlinien-Gruppe: Empfehlungsgrad A) bzw. müssen (bei hoher Gefährdung) vermieden bzw. beendet werden.
- Bei unzureichender Abheilung des Erythema ab igne bzw. unklaren Hautveränderungen soll eine weitere Abklärung (ggf. inklusive einer Biopsie) empfohlen werden (Konsens der Leitlinien-Gruppe); [Empfehlungsgrad A].

3.4.2 Infrarotassoziierte Sehstörungen; Katarakt

- Sehstörungen, die möglicherweise durch Infrarotstrahlung (mit-)verursacht sind (siehe auch 2.4), sollen wie auch weitere thermische Verletzungen mit Beteiligung der Augen augenärztlich abgeklärt werden (Konsens der Leitlinien-Gruppe); [Empfehlungsgrad A].
- Eine Leitlinien-gerechte Therapie soll durchgeführt werden (Konsens der Leitlinien-Gruppe); [Empfehlungsgrad A].

3.4.3 IR-Laserstrahlung / Verbrennungen

- Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Inkohärente Optische Strahlung [6]) sowie Regeln, Informationen und Grundsätze der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung bei Anwendung von IRR und Laserstrahlung (z. B. TROS Laserstrahlung [156]) sollen beachtet werden (Grundsätze des Arbeitsschutzes; Konsens der Leitlinien-Gruppe); [Empfehlungsgrad A].
- Bei einer unbeabsichtigten Exposition der Augen gegenüber Laserstrahlung sollte eine zeitnahe augenfachärztliche Vorstellung erfolgen (Konsens der Leitlinien-Gruppe); [Empfehlungsgrad B].
- Bei Verbrennungen und möglichen weiteren Schädigungen durch intensive IR-Quellen sollen betriebliche Sofortmaßnahmen sowie die weiterführende Versorgung entsprechend der jeweiligen Fach-Leitlinien erfolgen (Konsens der Leitlinien-Gruppe); [Empfehlungsgrad A].

Anmerkungen

*Konkrete Empfehlungsableitungen bzgl. der Prävention wurden mit Professor Jean Krutmann als erfahrenem Vertreter der Dermatologie informell abgestimmt:

Univ.-Professor Dr. med. Jean Krutmann
IUF
Leibniz-Institut für umweltmedizinische Forschung
Aufm Hennekamp 50
40225 Düsseldorf

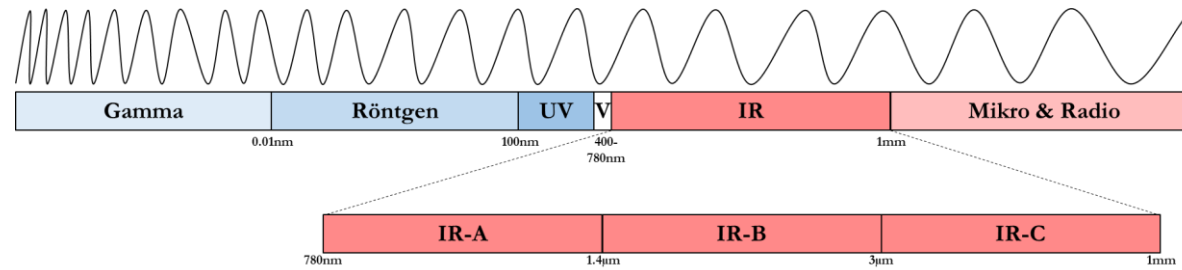
**Konkrete Empfehlungsableitungen bzgl. der Prävention wurden mit Dr. Annelie Burk und Professor Reinhard Burk als erfahrenen Vertretern der Ophthalmologie informell abgestimmt:

Dr. med. Annelie Burk
Max-Cahnbley-Str. 22
33604 Bielefeld

Professor Dr. med. Reinhard Burk
Chefarzt der Augenklinik
Klinikum Bielefeld Rosenhöhe
An der Rosenhöhe 27
D-33647 Bielefeld

4. Abbildungen

Abbildung 1 Elektromagnetisches Spektrum



Gamma = Gammastrahlung

Röntgen = Röntgenstrahlung

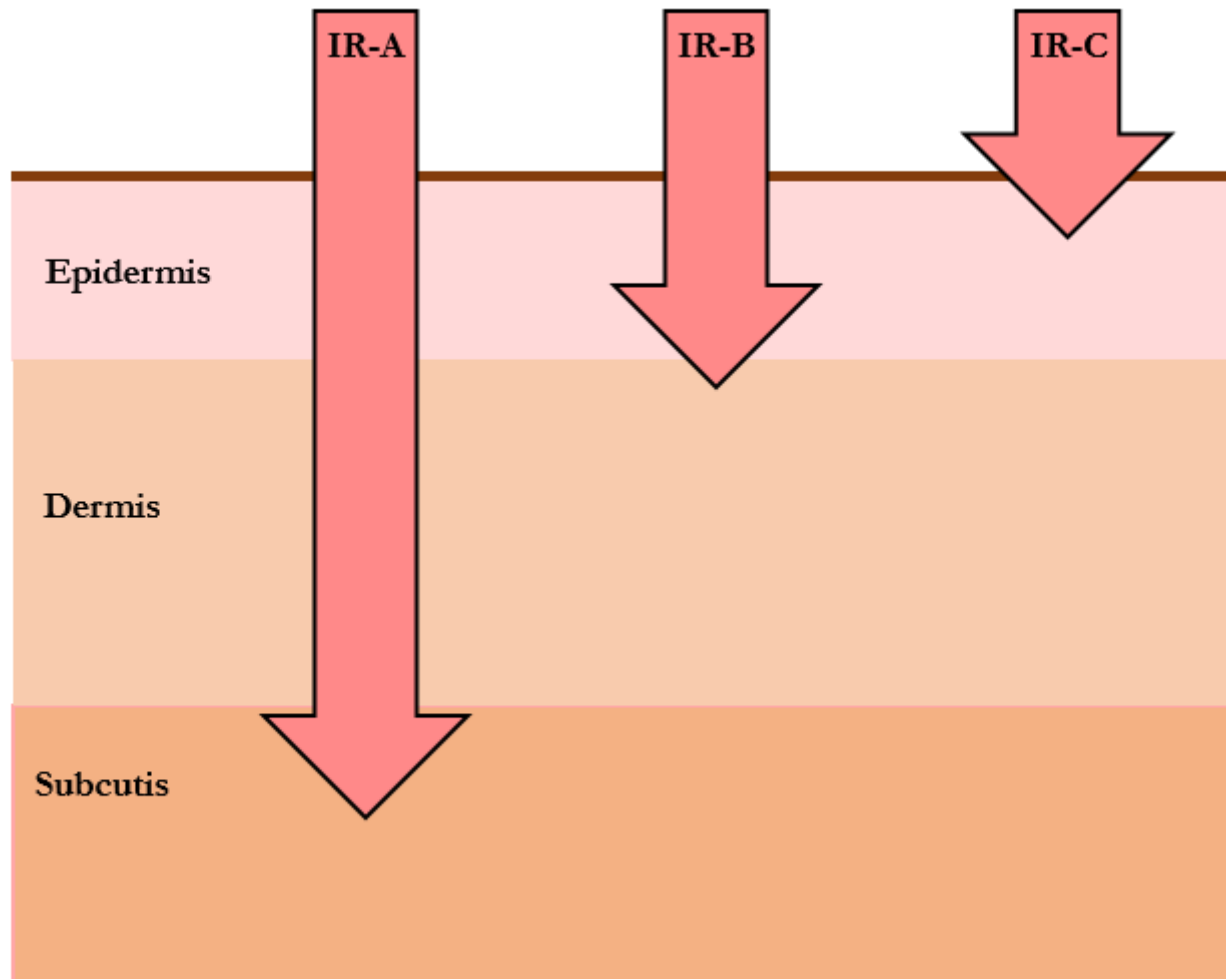
UV = UV-Strahlung

V = sichtbares Licht

IR = Infrarotstrahlung

Mikro und Radio = Mikro-und Radiowellen

Abbildung 2 Eindringtiefe von Infrarotstrahlung in die Haut



5. Literatur

1. (DGAUM), D.G.f.A.u.U., *Das Leitlinienprinzip der Arbeitsmedizin*. 11/2018; Erstveröffentlichung 1998: AWMF online.
2. Schieke, S.M., P. Schroeder, and J. Krutmann, *Cutaneous effects of infrared radiation: from clinical observations to molecular response mechanisms*. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2003. **19**(5): p. 228-34.
3. Soderberg, P.G., *Optical radiation and the eyes with special emphasis on children*. *Prog Biophys Mol Biol*, 2011. **107**(3): p. 389-92.
4. International_Commission_on_Non-Ionizing_Radiation_Protection, *ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation*. *Health Phys*, 2013. **105**(1): p. 74-96.
5. Strahlenschutz, B.f. *Laser und laserähnliche optische Strahlenquellen*. 2018; Available from: http://www.bfs.de/DE/themen/opt/laser/laser_node.html.
6. Bundesanstalt_für_Arbeitsschutz_und_Arbeitsmedizin_e._V., *Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - Allgemeines sowie Teil 1 bis Teil 3; Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch inkohärente optische Strahlung; Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung; Teil 3: Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch inkohärente optische Strahlung*. November 2013, Korrektur vom 12.5.2014.
7. (BfS), B.f.S. *Glossar des Bundesamts für Strahlenschutz*. Available from: http://www.bfs.de/DE/service/glossar/glossar_node.html.
8. Kohl, E., et al., *Skin ageing*. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 2011. **25**(8): p. 873-84.
9. Borneff, J., [*Studies on heat radiation in an iron works*]. *Arch Hyg Bakteriol*, 1959. **143**(1): p. 1-20.
10. Dorevitch, S. and A. Babin, *Health hazards of ceramic artists*. *Occup Med*, 2001. **16**(4): p. 563-75, iii.
11. Lydahl, E., A. Glansholm, and M. Levin, *Ocular exposure to infrared radiation in the Swedish iron and steel industry*. *Health Phys*, 1984. **46**(3): p. 529-36.
12. Lydahl, E. and A. Glansholm, *Infrared radiation and cataract. III. Differences between the two eyes of glass workers*. *Acta Ophthalmol (Copenh)*, 1985. **63**(1): p. 39-44.
13. Moss, C.E., et al., *Nonionizing radiation protection. Infrared radiation*. WHO Reg Publ Eur Ser, 1988. **25**: p. 85-115.
14. Peng, C.Y., et al., *Exposure assessment of aluminum arc welding radiation*. *Health Phys*, 2007. **93**(4): p. 298-306.
15. Sichel, A.W., *So-Called Glass-Workers' Cataract Occurring in Other Occupations, with a Report of Two Cases*. *Br J Ophthalmol*, 1923. **7**(4): p. 161-7.
16. Sisto, R., et al., *Infrared radiation exposure in traditional glass factories*. *AIHAJ*, 2000. **61**(1): p. 5-10.
17. Tenkate, T.D., *Optical radiation hazards of welding arcs*. *Rev Environ Health*, 1998. **13**(3): p. 131-46.
18. Hanke, C. and H. Karsten, [*Cataract in welders. Contribution of occupational exposure, references for recognition as an occupational disease and presentation of preventive measures*]. *Z Gesamte Hyg*, 1990. **36**(2): p. 110-3.
19. Barbanel, C.S., et al., *Laser hazards in research laboratories*. *J Occup Med*, 1993. **35**(4): p. 369-74.
20. Boldrey, E.E., et al., *Retinal injury due to industrial laser burns*. *Ophthalmology*, 1981. **88**(2): p. 101-7.
21. Liu, H.F., et al., *Ocular injuries from accidental laser exposure*. *Health Phys*, 1989. **56**(5): p. 711-6.
22. Sliney, D.H., *Risks of occupational exposure to optical radiation*. *Med Lav*, 2006. **97**(2): p. 215-20.
23. Adams, B.B., *Heated car seat-induced erythema ab igne*. *Arch Dermatol*, 2012. **148**(2): p. 265-6.

24. Bilic, M. and B.B. Adams, *Erythema ab igne induced by a laptop computer*. J Am Acad Dermatol, 2004. **50**(6): p. 973-4.
25. Brodell, D. and E.N. Mostow, *Automobile seat heater-induced erythema ab igne*. Arch Dermatol, 2012. **148**(2): p. 264-5.
26. Cho, S., J.Y. Jung, and J.H. Lee, *Erythema ab igne successfully treated using 1,064-nm Q-switched neodymium-doped yttrium aluminum garnet laser with low fluence*. Dermatol Surg, 2011. **37**(4): p. 551-3.
27. Kucuktas, M., et al., *Laptop-induced erythema ab igne*. Clin Exp Dermatol, 2010. **35**(4): p. 449-50.
28. Miller, K., et al., *Erythema ab igne*. Dermatol Online J, 2011. **17**(10): p. 28.
29. Mohr, M.R., et al., *Laptop computer-induced erythema ab igne: a case report*. Cutis, 2007. **79**(1): p. 59-60.
30. Nayak, S.U., S.D. Sheno, and S. Prabhu, *Laptop induced erythema ab igne*. Indian J Dermatol, 2012. **57**(2): p. 131-2.
31. Petras, D. and e. al., *Effect of Thermal Comfort/Discomfort due to Infrared Heaters Installed at Workplaces in Industrial Buildings*. Indoor and Built Environment, 2000. **9**(3-4): p. 148-156.
32. Riahi, R.R. and P.R. Cohen, *Laptop-induced erythema ab igne: Report and review of literature*. Dermatol Online J, 2012. **18**(6): p. 5.
33. Sensintaffar, E.L., D.H. Sliney, and W.H. Parr, *An analysis of a reported occupational exposure to infrared radiation*. Am Ind Hyg Assoc J, 1978. **39**(1): p. 63-9.
34. Zheng, X., et al., *Phototoxic maculopathy induced by quartz infrared heat lamp: A clinical case report*. Medicine (Baltimore), 2017. **96**(3): p. e5830.
35. Dupont, E., J. Gomez, and D. Bilodeau, *Beyond UV radiation: a skin under challenge*. Int J Cosmet Sci, 2013. **35**(3): p. 224-32.
36. Lentner, A., A. Lintzen, and V. Wienert, *Quantification of erythema following infrared- and water-filtered infrared-A irradiation of the human skin*. Physikalische Medizin Rehabilitationsmedizin Kurortmedizin, 1996. **6**(6): p. 223-228.
37. Piazena, H. and D.K. Kelleher, *Effects of infrared-A irradiation on skin: discrepancies in published data highlight the need for an exact consideration of physical and photobiological laws and appropriate experimental settings*. Photochem Photobiol, 2010. **86**(3): p. 687-705.
38. Ise, N., et al., *Effect of far-infrared radiation on forearm skin blood flow*. Ann Physiol Anthropol, 1987. **6**(1): p. 31-2.
39. Wiecek, B. and e. al., *Influence of Infrared Radiation on the Human Skin Temperature - Experimental Data and Modeling*. Journal of Mechanics in Medicine and Biology, 2012. **13**(3): p. 1-10.
40. Pujol, J.A. and M. Lecha, *Photoprotection in the infrared radiation range*. Photodermatol Photoimmunol Photomed, 1992. **9**(6): p. 275-8.
41. de Galvez, M.V., et al., *Infrared radiation increases skin damage induced by other wavelengths in solar urticaria*. Photodermatol Photoimmunol Photomed, 2016. **32**(5-6): p. 284-290.
42. Maglio, D.H.G., M.L. Paz, and J. Leoni, *Sunlight Effects on Immune System: Is There Something Else in addition to UV-Induced Immunosuppression?* Biomed Research International, 2016. **2016**: p. 1934518.
43. Applegate, L.A., et al., *Induction of the putative protective protein ferritin by infrared radiation: implications in skin repair*. Int J Mol Med, 2000. **5**(3): p. 247-51.
44. Chen, Z., et al., *Modulation of tropoelastin and fibrillin-1 by infrared radiation in human skin in vivo*. Photodermatology Photoimmunology & Photomedicine, 2009. **25**(6): p. 310-316.
45. Kim, M.S., et al., *Acute exposure of human skin to ultraviolet or infrared radiation or heat stimuli increases mast cell numbers and tryptase expression in human skin in vivo*. Br J Dermatol, 2009. **160**(2): p. 393-402.
46. Akhalaya, M.Y., et al., *Molecular action mechanisms of solar infrared radiation and heat on human skin*. Ageing Res Rev, 2014. **16**: p. 1-11.

47. Kim, M.S., et al., *Regulation of type I procollagen and MMP-1 expression after single or repeated exposure to infrared radiation in human skin*. Mech Ageing Dev, 2006. **127**(12): p. 875-82.
48. Lopes, M.B., et al., *In vivo Confocal Raman Spectroscopic Analysis of the Effects of Infrared Radiation in the Human Skin Dermis*. Photochem Photobiol, 2017. **93**(2): p. 613-618.
49. Schroeder, P., et al., *Infrared radiation-induced matrix metalloproteinase in human skin: Implications for protection*. Journal of Investigative Dermatology, 2008. **128**(10): p. 2491-2497.
50. Grether-Beck, S., et al., *Photoprotection of human skin beyond ultraviolet radiation*. Photodermatol Photoimmunol Photomed, 2014. **30**(2-3): p. 167-74.
51. Karu, T.I., *Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation*. IUBMB Life, 2010. **62**(8): p. 607-10.
52. Lohan, S.B., et al., *Free radicals induced by sunlight in different spectral regions - in vivo versus ex vivo study*. Exp Dermatol, 2016. **25**(5): p. 380-5.
53. Tsai, S.R. and M.R. Hamblin, *Biological effects and medical applications of infrared radiation*. J Photochem Photobiol B, 2017. **170**: p. 197-207.
54. McDaniel, D.H., et al., *Total Defense + Repair: A Novel Concept in Solar Protection and Skin Rejuvenation*. J Drugs Dermatol, 2015. **14**(7): p. s3-11.
55. Darvin, M.E., *In vivo Raman spectroscopic analysis of the influence of IR radiation on the carotenoid antioxidant substances beta-carotene and lycopene in the human skin. Formation of free radicals*. Laser Phys Lett, 2007. **4**: p. 318-321.
56. Fluhr, J.W., et al., *Kinetics of carotenoid distribution in human skin in vivo after exogenous stress: disinfectant and wIRA-induced carotenoid depletion recovers from outside to inside*. J Biomed Opt, 2011. **16**(3): p. 035002.
57. Barolet, D., F. Christiaens, and M.R. Hamblin, *Infrared and skin: Friend or foe*. J Photochem Photobiol B, 2016. **155**: p. 78-85.
58. Chen, Z., et al., *Modulation of tropoelastin and fibrillin-1 by infrared radiation in human skin in vivo*. Photodermatol Photoimmunol Photomed, 2009. **25**(6): p. 310-6.
59. Chen, Z., et al., *Heat modulation of tropoelastin, fibrillin-1, and matrix metalloproteinase-12 in human skin in vivo*. J Invest Dermatol, 2005. **124**(1): p. 70-8.
60. Cho, S., et al., *Effects of infrared radiation and heat on human skin aging in vivo*. J Investig Dermatol Symp Proc, 2009. **14**(1): p. 15-9.
61. Kibbi, A.G. and Z. Tannous, *Skin diseases caused by heat and cold*. Clin Dermatol, 1998. **16**(1): p. 91-8.
62. Krutmann, J., et al., *The skin aging exposome*. J Dermatol Sci, 2017. **85**(3): p. 152-161.
63. Lee, J.H., M.R. Roh, and K.H. Lee, *Effects of infrared radiation on skin photo-aging and pigmentation*. Yonsei Med J, 2006. **47**(4): p. 485-90.
64. Schroeder, P., et al., *Infrared radiation-induced matrix metalloproteinase in human skin: implications for protection*. J Invest Dermatol, 2008. **128**(10): p. 2491-7.
65. Voros, E., C. Robert, and A.M. Robert, *Comparative study of rheological and surface pattern parameters of human skin as a function of age, work conditions and sun exposure*. Arch Gerontol Geriatr, 1993. **17**(2): p. 131-42.
66. Patel, D.P., *The Evolving Nomenclature of Erythema Ab Igne-Redness From Fire*. JAMA Dermatol, 2017. **153**(7): p. 685.
67. Wani, I., *Kangri cancer*. Surgery, 2010. **147**(4): p. 586-8.
68. Peterkin, G.A., *Malignant change in erythema ab igne*. Br Med J, 1955. **2**(4956): p. 1599-602.
69. Tan, S. and V. Bertucci, *Erythema ab igne: an old condition new again*. CMAJ, 2000. **162**(1): p. 77-8.
70. Shahrads, P. and R. Marks, *The wages of warmth: changes in erythema ab igne*. Br J Dermatol, 1977. **97**(2): p. 179-86.
71. Sigmon, J.R., et al., *Poorly differentiated carcinoma arising in the setting of erythema ab igne*. Am J Dermatopathol, 2013. **35**(6): p. 676-8.

72. Arnold, A.W. and P.H. Itin, *Laptop computer-induced erythema ab igne in a child and review of the literature*. Pediatrics, 2010. **126**(5): p. e1227-30.
73. Galvin, S.A. and M.R. Buchness, *Rectangular reticulate patches on the pretibial areas. Erythema ab igne*. Arch Dermatol, 1990. **126**(3): p. 386-7, 389.
74. Hurwitz, R.M. and M.E. Tisserand, *Erythema ab igne*. Arch Dermatol, 1987. **123**(1): p. 21-3.
75. Flanagan, N., et al., *Bullous erythema ab igne*. Br J Dermatol, 1996. **134**(6): p. 1159-60.
76. Kokturk, A., et al., *Bullous erythema ab igne*. Dermatol Online J, 2003. **9**(3): p. 18.
77. Salgado, F., M.Z. Handler, and R.A. Schwartz, *Erythema ab igne: new technology rebounding upon its users?* Int J Dermatol, 2018. **57**(4): p. 393-396.
78. Basavaraj, K.H., et al., *Erythema ab igne in a rural Indian woman*. Indian J Dermatol Venereol Leprol, 2011. **77**(6): p. 731.
79. Beneke, J., M. Koerner, and M. de Zwaan, [*Erythema ab igne in a patient with bulimia nervosa*]. Psychother Psychosom Med Psychol, 2014. **64**(5): p. 197-9.
80. Zuber, M., [*Erythema ab igne*]. Dtsch Med Wochenschr, 2008. **133**(4): p. 133-4.
81. Turan, E., et al., *A case of bullous erythema ab igne accompanied by anemia and subclinical hypothyroidism*. Dermatol Online J, 2014. **20**(4): p. 22336.
82. Dellavalle, R.P. and P. Gillum, *Erythema ab igne following heating/ cooling blanket use in the intensive care unit*. Cutis, 2000. **66**(2): p. 136-8.
83. Helm, T.N., G.T. Spigel, and K.F. Helm, *Erythema ab igne caused by a car heater*. Cutis, 1997. **59**(2): p. 81-2.
84. Chakraborty, P.P. and U. Mahapatra, *Erythema ab igne*. J Assoc Physicians India, 2014. **62**(5): p. 415.
85. Donohue, K.G., et al., *Hot pop brown spot: erythema Ab igne induced by heated popcorn*. J Dermatol, 2002. **29**(3): p. 172-3.
86. Dvoretzky, I. and N.R. Silverman, *Reticular erythema of the lower back. Erythema ab igne*. Arch Dermatol, 1991. **127**(3): p. 405-6, 408-9.
87. Meffert, J.J. and B.M. Davis, *Furniture-induced erythema ab igne*. J Am Acad Dermatol, 1996. **34**(3): p. 516-7.
88. Bassi, A., et al., *Erythema ab igne*. QJM, 2014. **107**(10): p. 849.
89. Chan, C.C. and H.C. Chiu, *Images in clinical medicine. Erythema ab igne*. N Engl J Med, 2007. **356**(9): p. e8.
90. South, A.M., et al., *A Hyperpigmented Reticular Rash in a Patient on Peritoneal Dialysis*. Perit Dial Int, 2016. **36**(6): p. 699-700.
91. Steadmon, M.J. and K.N. Riley, *Erythema ab igne: a comeback story*. J Pediatr, 2013. **163**(6): p. 1789.
92. Turan, E., et al., *Thermal pillow: an unusual causative agent of erythema ab igne*. Turk J Pediatr, 2013. **55**(6): p. 648-50.
93. Chen, J.F., et al., *Erythema Ab igne after footbath with Chinese herbal remedies*. J Chin Med Assoc, 2011. **74**(1): p. 51-3.
94. Lin, S.J., C.J. Hsu, and H.C. Chiu, *Erythema ab igne caused by frequent hot bathing*. Acta Derm Venereol, 2002. **82**(6): p. 478-9.
95. Mandal, A.K., *Erythema ab igne*. J Assoc Physicians India, 2014. **62**(7): p. 603-4.
96. Baumgart, S., et al., *Infrared eye injury not due to radiant warmer use in premature neonates*. Am J Dis Child, 1993. **147**(5): p. 565-9.
97. Manoharan, D., *Erythema ab igne: Usual site, unusual cause*. J Pharm Bioallied Sci, 2015. **7**(Suppl 1): p. S74-5.
98. Fischer, J., *Erythema ab igne (Livedo reticularis et calore) bei drei Patientinnen mit Essstörung*. Neuropsychiatrie, 2010. **24**(2): p. 141-143.
99. Madura, T., et al., *Thermal injury to replanted finger caused by infrared rays*. Ann Plast Surg, 2002. **48**(4): p. 448-9.

100. Pavitrnan, K., *Erythema Ab Igne, Schizophrenia and Thermophilia*. Indian J Dermatol Venerol Leprol, 1987. **53**(3): p. 181-182.
101. Raza, N., S.N. Qadir, and A. Ejaz, *Epidemiology of erythema ab igne at a moderately cold weather station*. J Pak Med Assoc, 2007. **57**(3): p. 146-8.
102. Ashby, M., *Erythema ab igne in cancer patients*. J R Soc Med, 1985. **78**(11): p. 925-7.
103. Butler, M.L., *Erythema ab igne, a sign of pancreatic disease*. Am J Gastroenterol, 1977. **67**(1): p. 77-9.
104. Halliday, C.E., A.K. Goka, and M.J. Farthing, *Erythema ab igne: a sign of organic disease*. J R Soc Med, 1986. **79**(4): p. 249-50.
105. MacHale, J., F. Chambers, and O.C. PR, *Erythema ab igne: an unusual manifestation of cancer-related pain*. Pain, 2000. **87**(1): p. 107-8.
106. Mok, D.W. and L.H. Blumgart, *Erythema ab igne in chronic pancreatic pain: a diagnostic sign*. J R Soc Med, 1984. **77**(4): p. 299-301.
107. Molina, A.R., N. Behar, and R. Bhardwaj, *Rectal cancer presenting with erythema ab igne*. JRSM Short Rep, 2010. **1**(6): p. 48.
108. Arrington, J.H., 3rd and D.S. Lockman, *Thermal keratoses and squamous cell carcinoma in situ associated with erythema ab igne*. Arch Dermatol, 1979. **115**(10): p. 1226-8.
109. Ayala, F., et al., *The role of optical radiations in skin cancer*. ISRN Dermatol, 2013. **2013**: p. 842359.
110. Hewitt, J.B., et al., *Merkel cell and squamous cell carcinomas arising in erythema ab igne*. Br J Dermatol, 1993. **128**(5): p. 591-2.
111. Jones, C.S., et al., *Development of neuroendocrine (Merkel cell) carcinoma mixed with squamous cell carcinoma in erythema ab igne*. Arch Dermatol, 1988. **124**(1): p. 110-3.
112. Rudolph, C.M., et al., [*Squamous epithelial carcinoma in erythema ab igne*]. Hautarzt, 2000. **51**(4): p. 260-3.
113. Wharton, J.B., D.J. Sheehan, and J.L. Leshner, Jr., *Squamous cell carcinoma in situ arising in the setting of erythema ab igne*. J Drugs Dermatol, 2008. **7**(5): p. 488-9.
114. Wharton, J., et al., *Cutaneous marginal zone lymphoma arising in the setting of erythema ab igne*. J Am Acad Dermatol, 2010. **62**(6): p. 1080-1.
115. Breitbart, E.W., et al., *AWMF-Leitlinie Prävention von Hautkrebs (S3), AWMF-Reg-Nr. 032/052OL*. 2014.
116. Breuninger, H., et al. *AWMF-Leitlinie "Plattenepithelkarzinom der Haut" (032-022) S2k*. 2013; Available from: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/032-022.html>.
117. Becker, J.C., et al., *AWMF-Leitlinie Merkelzellkarzinom (MZK, MCC, neuroendokrines Karzinom der Haut) - Update 2018 S2k (AWMF-Reg. Nr. 032/023)*. 2018.
118. Kochs, C., et al., [*Treatment of carcinoma in situ of erythema ab igne with photodynamic therapy*]. Hautarzt, 2008. **59**(10): p. 777-9.
119. Glickman, R.D., *Phototoxicity to the retina: mechanisms of damage*. Int J Toxicol, 2002. **21**(6): p. 473-90.
120. Pabley, A.S. and A.H. Keeney, *Welding processes and ocular hazards and protection*. Am J Ophthalmol, 1981. **92**(1): p. 77-84.
121. Brittain, G.P., *Retinal burns caused by exposure to MIG-welding arcs: report of two cases*. Br J Ophthalmol, 1988. **72**(8): p. 570-5.
122. Wallace, J., et al., *An epidemiological study of lens opacities among steel workers*. Br J Ind Med, 1971. **28**(3): p. 265-71.
123. Zlateva, V., R. Toncheva, and A. Andreev, *Epidemiological studies on occupational eye pathology*. Eur J Ophthalmol, 1996. **6**(4): p. 440-5.
124. Soderberg, P.G., et al., *Does infrared or ultraviolet light damage the lens?* Eye (Lond), 2016. **30**(2): p. 241-6.

125. Keatinge, G.F., et al., *Radiation cataract in industry; review of the literature, discussion of the pathogenesis, and description of environmental conditions in an iron rolling mill*. AMA Arch Ind Health, 1955. **11**(4): p. 305-14.
126. Merte, H.J., [*Occupational radiation damage to the eye*]. Munch Med Wochenschr, 1967. **109**(10): p. 501-4.
127. Spector, J. and W.G. Fernandez, *Chemical, thermal, and biological ocular exposures*. Emerg Med Clin North Am, 2008. **26**(1): p. 125-36, vii.
128. Vos, J.J. and D. van Norren, *Thermal cataract, from furnaces to lasers*. Clin Exp Optom, 2004. **87**(6): p. 372-6.
129. DGUV, *DGUV - Zahlen und Fakten - BK-Geschehen*.
130. Grehn, F., *Augenheilkunde*. 31. ed. 2012.
131. Kluxen, G., [*Imaging of infrared cataract and infrared lamella with Scheimpflug photography*]. Fortschr Ophthalmol, 1988. **85**(4): p. 390-3.
132. Lang, G.K., *Augenheilkunde*. 5. ed. 2014.
133. Pockley, E.V., *Heat cataract*. Trans Aust Coll Ophthalmol, 1971. **3**: p. 84-6.
134. DGO, B.u. *Leitlinie Nr. 19 Katarakt (Grauer Star) im Erwachsenenalter*. 2012 [cited 2012; Available from: <https://www.dog.org/wp-content/uploads/2009/09/Leitlinie-Nr.-19-Katarakt-Grauer-Star-im-Erwachsenenalter.pdf>].
135. Kourkoumelis, N. and M. Tzaphlidou, *Eye safety related to near infrared radiation exposure to biometric devices*. ScientificWorldJournal, 2011. **11**: p. 520-8.
136. Khedr, Y.A. and A.H. Khedr, *Photoblepharokeratoconjunctivitis caused by invisible infrared radiation emitted from a green laser pointer*. BMJ Case Rep, 2014. **2014**.
137. Sliney, D., et al., *Adjustment of guidelines for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments: statement from a task group of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*. Appl Opt, 2005. **44**(11): p. 2162-76.
138. Höh, A.E. and et al., *Lichtexposition bei vitreoretinaler Chirurgie. I. Grundlage*. Ophthalmologie 2008. **105**(10): p. 898-900.
139. Marshall, J., *Structural aspects of laser-induced damage and their functional implications*. Health Phys, 1989. **56**(5): p. 617-24.
140. Andersen, K., *Safe use of lasers in the operating room-what perioperative nurses should know*. AORN J, 2004. **79**(1): p. 171-88.
141. Barkana, Y. and M. Belkin, *Laser eye injuries*. Surv Ophthalmol, 2000. **44**(6): p. 459-78.
142. Hanson, J.V., et al., *Maculopathy following exposure to visible and infrared radiation from a laser pointer: a clinical case study*. Doc Ophthalmol, 2016. **132**(2): p. 147-55.
143. Fich, M., et al., *Maculopathy caused by welding arcs. A report of 3 cases*. Acta Ophthalmol (Copenh), 1993. **71**(3): p. 402-4.
144. Stofft, C.A., O. Thews, and P. Vaupel, *Impact of different physical therapies on cardiovascular and respiratory parameters*. Physikalische Medizin Rehabilitationsmedizin Kurortmedizin, 2001. **11**(1): p. 9-15.
145. Griefahn, B., et al., *Effects of electromagnetic radiation (bright light, extremely low-frequency magnetic fields, infrared radiation) on the circadian rhythm of melatonin synthesis, rectal temperature, and heart rate*. Ind Health, 2002. **40**(4): p. 320-7.
146. *RICHTLINIE 2006/25/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)*. Amtsblatt der Europäischen Union, 2006.
147. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, *ICNIRP Statement on far infrared radiation exposure*. Health Phys, 2006. **91**(6): p. 630-645.

148. *Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 microM)*. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Phys, 1997. **73**(3): p. 539-54.
149. *Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - OStrV); Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 30. November 2016 (BGBl. I S. 2681) geändert worden ist*. 2010; Available from: <https://www.gesetze-im-internet.de/ostrv/BJNR096010010.html>.
150. Union, E.K.L.A.f.V.d.E., *Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung*. 2011.
151. Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung (AKNIR) des Fachverbands für Strahlenschutz; H.-P. Berlien, M.B., J. Franek, M.-J. Graf, W. Halbritter, W. Janßen, G. Ott, H.-D. Reidenbach, and B.S. E. Romanus, H. Siekmann, L. Udovičić, D. Weiskopf, *Statement on ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent optical radiation*. baa: FOCUS, 2016.
152. Reidenbach, H.-D.e.a., Fachverband für Strahlenschutz e.V. - Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA) für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz. *Leitfaden „Inkohärente sichtbare und infrarote Strahlung von künstlichen Quellen“*. 2018; Available from: https://fs-ev.org/fileadmin/user_upload/04_Arbeitsgruppen/08_Nichtionisierende_Strahlung/02_Dokumente/Leitfaden-SB-IR-AKNIR_2018.pdf.
153. *Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 427 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist*. 1996.
154. *Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV)*. Februar 2015, zuletzt geändert Oktober 2017.
155. Soziales), B.B.f.A.u. *Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 1 der Verordnung vom 15. November 2016 (BGBl. I S. 2549) geändert worden ist*. 2016; Available from: http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/a453-arbeitsmedizinischenvorsorge.pdf?__blob=publicationFile.
156. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin e.V., *Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung; TROS Laserstrahlung - Allgemeines und Teil 1 bis Teil 3; Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung; Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung; Teil 3: Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung*. April 2015.
157. Raj, P.K., *Field tests on human tolerance to (LNG) fire radiant heat exposure, and attenuation effects of clothing and other objects*. J Hazard Mater, 2008. **157**(2-3): p. 247-59.
158. Shibata, I. and et_al., *Effect of solar control glazings on human skin temperature*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1997. **45**(4): p. 323-329.
159. Roh, S. and J.J. Weiter, *Light damage to the eye*. J Fla Med Assoc, 1994. **81**(4): p. 248-51.
160. Gralewicz, G., G. Owczarek, and J. Kubrak, *Analysis of the selected mechanical parameters of coating of filters protecting against hazardous infrared radiation*. Int J Occup Saf Ergon, 2017. **23**(1): p. 105-109.
161. Oriowo, O.M., B.R. Chou, and A.P. Cullen, *Eye exposure to optical radiation in the glassblowing industry: an investigation in southern Ontario*. Can J Public Health, 2000. **91**(6): p. 471-4.
162. DGUV_Sachgebiet_Nichtionisierende_Strahlen_des_Fachbereichs_Energie_Textil_Elektro_Medienerzeugnisse, Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen, Laser-Justierbrillen und Laser-Abschirmungen. DGUV-Information, 2018. 203-042 (Mai 2018).
163. DGUV_Sachgebiet_Augenschutz_Fachbereich_"Persönliche_Schutzausrüstungen", *Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz*, in DGUV-Regel. 2001.
164. DGUV_Sachgebiet_Hitze_Fachausschuss_"Einwirkungen_und_arbeitsbedingte_Gesundheitsgefahren", *Beurteilung von HITZearbeit - Tipps für Wirtschaft, Verwaltung, Dienstleistung*, in DGUV-Information. 2011, DGUV.

165. Berufsgenossenschaft_Holz_und_Metall, *Hitzearbeit, Erkennen - beurteilen - schützen*, in *BG-Information*. 2013.
166. Hans-Dieter Reidenbach et al., F.f.S.e.V., *Leitfaden "Laserstrahlung"*. 2011.
167. DGUV, *DGUV Vorschrift 1; Unfallverhütungsvorschrift - Grundsätze der Prävention*. 1.10.2014.
168. Bauer, A., [*Skin cancer as occupational disease*]. *Hautarzt*, 2016. **67**(11): p. 884-890.
169. Diepgen TL, B.-K.C., Blome O, Brandenburg S, Dienstbach D, Drexler H, Elsner P, Fartasch M, Frank KH, John SM, Kleesz P, Köllner A, Letzel S, Otten H, Pappai W, Römer W, Rogosky E, Sacher J, Skudlik C, Sary A, Zagrodnik F. , *Bamberger Merkblatt: Begutachtungsempfehlungen für die Begutachtung von Haut- und Hautkrebskrankungen Teil II: Hautkrebskrankungen*. *Dermatologie in Beruf und Umwelt* 2009. **57**: p. 3-17.
170. Schönberger A., M.G., Valentin H., *Arbeitsunfall und Berufskrankheit - Rechtliche und medizinische Grundlagen für Gutachter, Sozialverwaltung, Berater und Gerichte*. 8 ed. 2010: ESV, Erich-Schmidt-Verlag Berlin.
171. DGUV, *DGUV-Grundsätze für arbeitsmedizinische Untersuchungen*, DGUV, Editor. 2014, Gentner Verlag: Stuttgart.

Erstveröffentlichung: 05/1998

Überarbeitung von: 07/2019

Nächste Überprüfung geplant: 07/2024

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit des Inhalts keine Verantwortung übernehmen. **Insbesondere bei Dosierungsangaben sind stets die Angaben der Hersteller zu beachten!**

Autorisiert für elektronische Publikation: AWMF online