

GUTACHTEN NR. LE-G27/18

- Über:** Sicherheitsbeurteilung eines Keramikstrahlers für den Einsatz in Infrarot-Kabinen bezüglich optischer Strahlung
- Auftraggeber:** ATROPA Wellness GmbH
- Adresse:** Eßlinger Hauptstrasse 88
1220 Wien
Österreich
- Begutachteter
Gegenstand:** Keramikstrahler SOLIS C70350 (350 Watt, 230 Volt) mit Reflektor in Holzrahmen mit Abdeckgitter
- Befund:** Der Vergleich der gemessenen Bestrahlungswerte mit den ICNIRP-Grenzwerten lässt den Schluss zu, dass bei sachgemäßem Gebrauch und normalem, vorhersehbarem Verhalten des Benutzers eine Schädigung der Augen und der Haut durch die in der Infrarot-Kabine eingebauten Keramikstrahler nicht möglich ist. Aufgrund der mit Thermokamera gemessenen maximalen Oberflächentemperatur des Strahlers von 397°C und den zusätzlichen spektralen und integralen Messungen kann der prozentuelle Anteil der abgegebenen Strahlung je Spektralbereich wie folgt angegeben werden: Infrarot-A: 0 %, Infrarot-B: 7 %, Infrarot-C: 93 %

Dieses Gutachten umfasst die Seiten 1 bis 12.

Autorisierte Person:


Dr. Georg Veess

Gutachter:


DI Marko Weber

Datum: 13.12.2018
Auftragsnummer: L-1939

Hinweise:

**Das Gutachten bezieht sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand.
Ohne schriftliche Genehmigung der Prüfstelle darf das Gutachten nicht auszugsweise vervielfältigt werden.**

1. Umfang des Gutachtens

Zeitpunkt der Durchführung der Messungen

Am 13.11. und 14.11. 2018

Ort der Durchführung der Messungen

Prüfstelle für Laser, LED & Lampen-Sicherheit, Seibersdorf Labor GmbH, 2444 Seibersdorf, Österreich

Umfang des Gutachtens

Das vorliegende Gutachten umfasst die strahlenschutztechnische Beurteilung eines Keramikstrahlers in einer Infrarot-Wärmekabine der ATROPA Wellness GmbH. In diesem Sinne werden vor dem Strahler gemessene Bestrahlungsstärken mit internationalen Grenzwerten hinsichtlich einer möglichen Schädigung der Augen und der Haut verglichen. Andere potentiell mögliche (d.h. nicht auszuschließende) nachteilige Wirkungen auf den Organismus können nicht bewertet werden, da keine anwendbaren Grenzwerte existieren.

Des Weiteren umfasst das Gutachten die Bestimmung des prozentuellen Anteils je Spektralbereich am abgestrahlten Spektrum.

Die Wirkung der Infrarotstrahlung im medizinisch-physiologischen oder therapeutischen Sinn wird im Rahmen dieses Gutachtens nicht bewertet.

Begutachteter Gegenstand

Der begutachtete Keramikstrahler sowie dessen Kennzeichnung sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt. Das Strahlermodul besteht aus einem elektrisch beheizten Keramikstrahler (Spannung 230 Volt, elektrische Anschlussleistung 350 Watt), einem metallischen Reflektor und einem mit schwarzem Samt beflockten Abdeckgitter in einem Holzrahmen. Das Abdeckgitter verhindert den direkten Kontakt mit dem Keramikstrahler sodass bei normalem vorhersehbarem Verhalten des Benutzers kein Kontakt mit der heißen Strahleroberfläche möglich ist. Das Strahlermodul wurde direkt mit dem Stromnetz verbunden.

Bei Verwendung des Strahlermoduls als Rückenstrahler in einer Infrarot-Kabine sind zusätzlich Holzlehnen seitlich des Strahlermoduls angebracht (dienen als Rückenlehne in der Infrarot-Kabine).

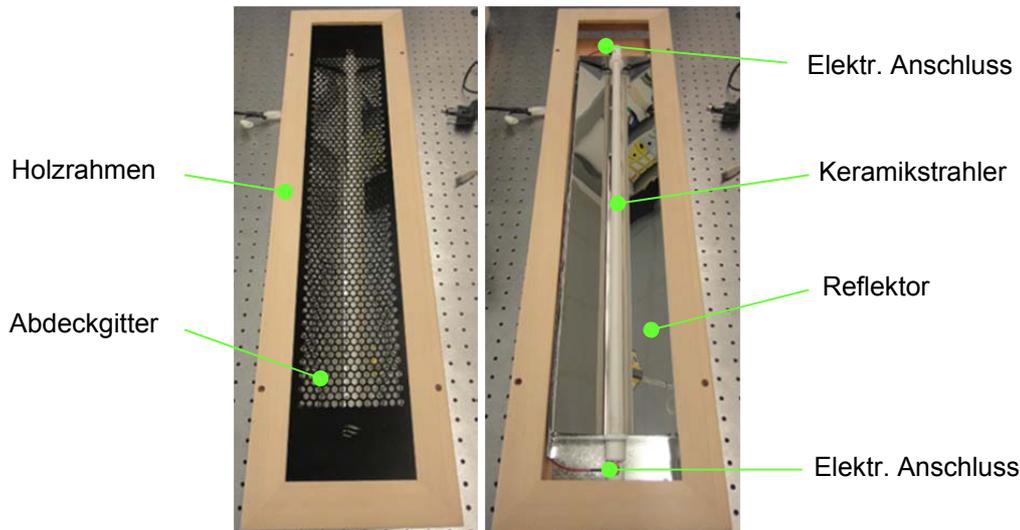


Abbildung 1: Begutachtetes Keramikstrahlermodul im Original (Abbildung links – mit Abdeckgitter) und mit entferntem Abdeckgitter (Abbildung rechts).



Abbildung 2: Kennzeichnung am Ende des Keramik-Strahlerstabes.

Messbedingungen

Sämtliche Messungen wurden nach einer Aufheizzeit von zumindest 30 Minuten, in einem thermisch stabilen Zustand des IR-Strahlers, durchgeführt. Der Strahler war direkt an das lokale Stromnetz angeschlossen. Externe Lichtquellen hatten keinen Einfluss auf die Messwerte. Alle Messungen wurden bei vertikaler Positionierung des Strahlers, wie in Abbildung 3 dargestellt, durchgeführt. Bei dieser Positionierung, die auch bei Verwendung des Strahlers in einer Infrarot-Kabine relevant ist, kann die aufsteigende heiße Luft durch einen Lüftungsschlitz im oberen Teil des Holzrahmens entweichen.

Alle Messungen wurden bei einer Raumtemperatur von 23 - 24°C durchgeführt.

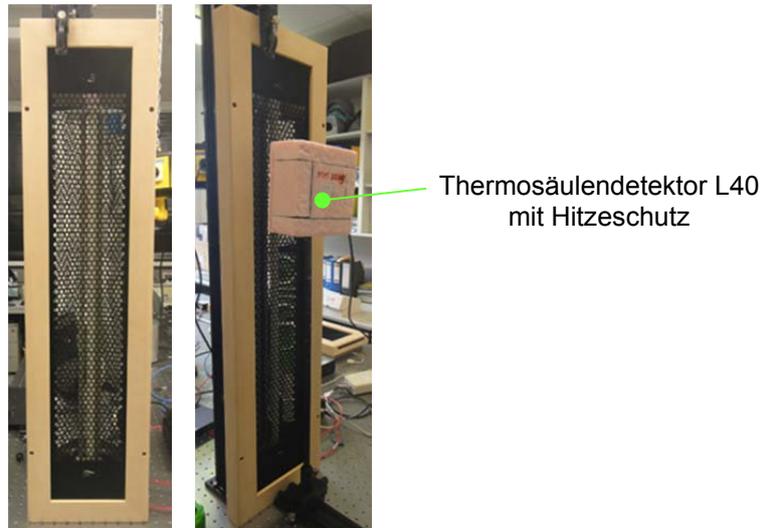


Abbildung 3: Vertikale Positionierung des Strahlermoduls bei allen Messungen.

Verwendete Messgeräte

- OPHIR Thermosäulendetektor L40 (MM-35/03) mit USB-Interface (MM-35/01)
- Thermokamera testo 885-2
- Thermometer testo 174H
- Rollmaßband (MM-LE0050)
- Ocean Optics Spektrometer NIRQuest 512 (MM-39/03)
- Control Development Spektrometer NIR256 (MM-39/01)

Verwendete Unterlagen

- ICNIRP „*ICNIRP Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation*“, Health Physics, Volume 105(1), p.74-96, 2013
- ICNIRP “*ICNIRP Statement on far infrared radiation exposure*“, Health Physics, 91(6), p.630-645, 2006
- IEC 62471:2006 “*Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen*”

2. Beschreibung der Problemstellung, Grenzwerte

2.1. Allgemein

Optische Strahlung im Wellenlängenbereich über 780 nm wird auch Wärmestrahlung genannt, da sie einerseits von warmen bzw. heißen Körpern abgegeben wird und andererseits beim Auftreffen auf einen Körper (der absorbierte Anteil) zu dessen Erwärmung bzw. Erhitzung führt¹. Der Grad der Erwärmung hängt dabei unter anderem von der Bestrahlungsdauer und der

¹ Je nach Temperatur des Strahlers verschieben sich die Wellenlängen der abgestrahlten Energie. Bei 100°C liegt das Maximum bei ca. 7,8 µm (IR-C), bei 800°C bei ca. 2,7 µm (IR-B). Bei 5700°C (Temperatur der Sonne) liegt das Maximum bei ca. 0,5 µm (sichtbarer Bereich).

Bestrahlungsstärke (auftreffende Strahlungsleistung pro Fläche) ab. Bei entsprechend starker Temperaturerhöhung kann es beim Menschen zu schädlichen Wirkungen kommen. Bei intensiver Bestrahlung der Haut kann es z.B. zu Verbrennungen kommen, bei Bestrahlung der Augen mit Wellenlängen über 1400 nm zu einer Trübung der Hornhaut, bei Bestrahlung mit sichtbarem Licht und IR-A Strahlung theoretisch auch zur Verbrennung der Netzhaut. Bei einer Langzeiteinwirkung auf die Linse (d.h. regelmäßige Bestrahlung über einen längeren Zeitraum hinweg) kann die Entstehung von grauem Star (Katarakt) beschleunigt werden.

Die internationale Strahlenschutzkommission ICNIRP hat dafür Grenzwerte veröffentlicht, die für die Haut und die Augen getrennt festgelegt sind. Diese Grenzwerte wurden von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission IEC in den technischen Report IEC TR 60825-9 übernommen. Ferner stellen sie in der Norm IEC 62471 die Basis für die Festlegung der Risikogruppen dar.

Bei einer Überschreitung der Grenzwerte kann eine nachteilige Wirkung auf Augen und Haut nicht ausgeschlossen werden. Ob es bei einer Grenzwertüberschreitung auch zu einer schädigenden Wirkung kommt, hängt vom Grad der Überschreitung ab, d.h. bei nur leichter Grenzwertüberschreitung ist das Risiko für eine nachteilige Wirkung auf Grund der in den Grenzwerten berücksichtigten Sicherheitsfaktoren gering. Ab welcher Bestrahlung es zu einer nachteiligen Wirkung kommt, kann im Rahmen dieses Gutachtens aufgrund von fehlenden Dosis-Wirkungskurven nicht analysiert werden. Es wird daher davon ausgegangen, dass man bei Grenzwertüberschreitung eine potentielle schädliche Wirkung auf Augen und Haut nicht ausschließen kann. Sollte der Grenzwert nicht erreicht werden, kann man jedoch davon ausgehen, dass es im Rahmen der Gültigkeit der Grenzwerte zu keiner schädlichen Wirkung auf Auge bzw. Haut kommt.

2.2. Haut

Für eine Bestrahlungsdauer von 10 Sekunden gilt bei Bestrahlung der Haut ein Grenzwert von 3550 W m^{-2} (Watt pro m^2). Gemäß ICNIRP Guidelines ist dieser Grenzwert mit jenem Anteil des Messwerts zu vergleichen, welcher zwischen 380 nm und 3000 nm ($\leq 3 \mu\text{m}$) liegt. Zusätzlich ist aber auch angeführt, dass für Sicherheitsanalysen der Spektralbereich über 3000 nm miteinbezogen werden kann. Im Rahmen dieses Gutachtens wird der gesamte Infrarotbereich mit dem Grenzwert verglichen. Damit wird ein gewisser Sicherheitsfaktor bezüglich des Risikos der Entstehung von Erythema ab igne und des Zeitpunktes der Wahrnehmung von Hitzeschmerzen eingeführt (siehe folgende Diskussion).

Für Bestrahlungsdauern über 10 Sekunden wurde von der ICNIRP kein Grenzwert für die Haut definiert, da in diesem Fall bei schädlichen Bestrahlungswerten die normalerweise auftretenden Schmerzen selbstschützende Abwendreaktionen auslösen, noch bevor es zu einer Verbrennung kommt. Für längere Bestrahlungszeiten ist ferner eine mögliche Überhitzung des Körperinneren zu bedenken (Hitzestress), deren Beurteilung aber nicht Teil dieses Gutachtens ist, weil dafür neben der Bestrahlung auch noch die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit zu berücksichtigen wären. Der ICNIRP/IEC Grenzwert ist auch nicht bei direktem Kontakt der Haut (Berührung) mit einer heißen Oberfläche anwendbar (Hinweis: Der ICNIRP-Grenzwert bezüglich Verbrennung der Haut gilt nicht bei direktem Kontakt). Der bestehende ICNIRP Grenzwert für die Haut bezieht sich auch nicht auf Effekte wie Erythema ab igne oder

beschleunigte Hautalterung. Diese Effekte können nach dem heutigen Stand der Wissenschaft und Technik nicht ausgeschlossen werden. Es bestehen dafür keine anerkannten Grenzwerte. Das Risiko kann jedoch als gering eingestuft werden. Das vorliegende Gutachten beschränkt sich daher auf jenen Hauteffekt, auf den sich der derzeitige ICNIRP Grenzwert bezieht: eine Verbrennung der Haut durch optische Strahlung innerhalb von 10 s Bestrahlungsdauer.

2.3. Vordere Augenmedien – Linse

Strahlung der Wellenlänge größer 1400 nm wird von der Hornhaut und der Linse des Auges absorbiert. Wellenlängen unter 1400 nm werden von der Iris absorbiert. Aufgrund der Wärmeleitung kann sich dadurch die Temperatur der Linse erhöhen. Des Weiteren gelangt Strahlung unter 1400 nm auch auf die Netzhaut des Auges, führt aber bei gängigen Infrarotstrahlern zu keiner Überschreitung des Grenzwerts. Im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm ist daher vor allem die potentielle nachteilige Wirkung auf die Linse relevant, wobei es bei chronischer Überschreitung des Grenzwerts zu einer verfrühten Entstehung von grauem Star (Katarakt) - also einer Eintrübung der Linse - kommen kann. Aus diesem Grund wird der Messwert im Rahmen dieses Gutachtens auf den Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm eingegrenzt, wobei die spektrale Bestrahlungsstärke im Bereich 780 nm – 1000 nm mit dem Faktor 0,3 gemäß ICNIRP gewichtet wird. Aufgrund der spektralen Messungen lässt sich jedoch ableiten, dass der begutachtete Keramikstrahler nur eine vernachlässigbar kleine Strahlung im Wellenlängenbereich ≤ 1000 nm emittiert (siehe Abbildung 5).

Für eine länger andauernde Bestrahlung der Augen (über 1000 Sekunden, ca. 16 Minuten) in einer Umgebung mit erhöhter Lufttemperatur gilt ein Grenzwert von 100 W m^{-2} . Für kürzere Bestrahlungsdauern sind höhere Grenzwerte erlaubt (z.B. $835 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ für 1 Minute, $3200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ für 10 Sekunden). Die Formel zur Berechnung des Grenzwertes für verschiedene Bestrahlungsdauern „t“ lautet: $18000 t^{-0,75} \text{ W m}^{-2}$ für $t < 1000$ s.

2.4. Auge - Netzhaut

Strahlung bis 1400 nm gelangt bis auf die Netzhaut des Auges und kann dort bei entsprechend hoher Bestrahlungsstärke zu einer thermischen Schädigung der Netzhaut führen. Um eine mögliche thermische Netzhautgefährdung beurteilen zu können, ist gemäß ICNIRP der Wellenlängenbereich von 380 nm - 1400 nm heranzuziehen. Der entsprechende Strahldichtegrenzwert beträgt $2,8\cdot 10^5 \text{ W m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ für eine Expositionsdauer von 10 s und einer Quellgröße α von 100 mrad bei Quellen, die einen merklichen visuellen Stimulus für das Auge erzeugen (Leuchtdichte $\geq 10 \text{ cd m}^{-2}$). Der begutachtete IR-Strahler emittiert jedoch keine Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichts und die Leuchtdichte liegt daher unter 10 cd m^{-2} . Deshalb wurde der restriktivere Grenzwert für die thermische Netzhautschädigung bei schwachem visuellem Reiz in diesem Gutachten herangezogen. Der entsprechende Strahldichtegrenzwert beträgt $6,0\cdot 10^4 \text{ W m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ für Expositionsdauern länger 10 s und einer Quellgröße α von 100 mrad.

Wird Strahlung im Wellenlängenbereich von 300 nm - 700 nm emittiert, dann kann bei entsprechend langer Bestrahlungsdauer die Netzhaut des Auges auch photochemisch geschädigt werden (Schädigungsmechanismus „Blaulicht“). Der entsprechende Strahldichtegrenzwert beträgt $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ für eine Expositionsdauer von 10000 s. Eine

photochemische Schädigung der Netzhaut ist durch den begutachteten IR-Strahler nicht möglich, da dieser keine Strahlung im relevanten Wellenlängenbereich emittiert.

3. Anteilige abgegebene Leistung je Spektralbereich

Für die Bestimmung der anteiligen abgegebenen Leistung je Spektralbereich wurde die Oberflächentemperatur des Strahlers nach einer Aufheizzeit von zumindest 30 min mittels Thermokamera vermessen (für diese Messungen wurde das Abdeckgitter entfernt). Ein Emissionsgrad von $\varepsilon = 0,95$ wurde in der Thermokamera bei der Messung der Oberflächentemperatur verwendet. Die mit der Thermokamera aufgenommene Temperaturverteilung auf der Oberfläche des Keramikstrahlers ist Abbildung 4 dargestellt. Mit der Thermokamera wurde eine maximale Oberflächentemperatur von 397°C gemessen (die durchschnittliche Oberflächentemperatur ist etwas geringer). Da das Heizelement (Keramikoberfläche) ein Temperaturstrahler ist, kann das abgestrahlte Spektrum mit Hilfe des Planck'schen Strahlungsgesetzes modelliert werden. Weil eine Zunahme der Temperatur einer Verschiebung des Spektrum zu kürzeren Wellenlängen gleichkommt und damit zu einer Erhöhung der effektiven Messwerte gemäß ICNIRP führt, wurde für die Modellierung die höchste gemessene Temperatur verwendet („worst-case“- Ansatz).

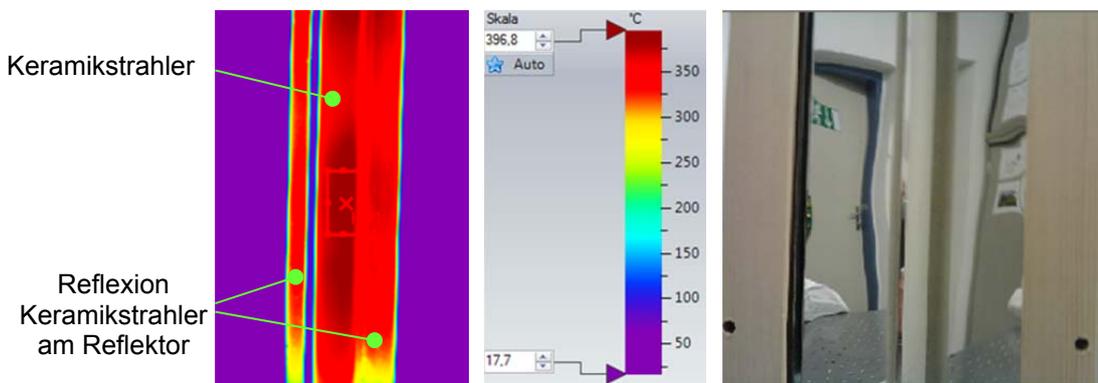


Abbildung 4: Verteilung der Oberflächentemperatur auf dem Keramikstrahler nach einer Aufheizzeit von zumindest 30 Minuten (linke Abbildung) sowie dazugehörige Temperaturskala (Abbildung Mitte). Der Punkt mit der höchsten Oberflächentemperatur ($396,8^{\circ}\text{C}$) ist mit einem roten Kreuz in der linken Abbildung gekennzeichnet. Das Foto rechts zeigt die Messposition am Strahler.

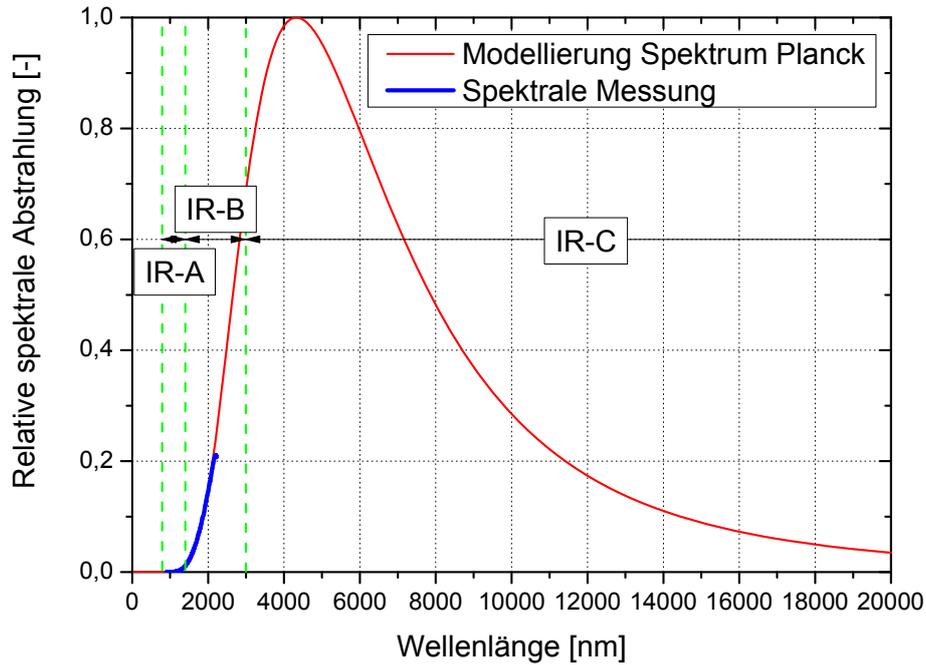


Abbildung 5: Abgestrahltes Spektrum bei einer Oberflächentemperatur von 397°C (= 670 Kelvin), modelliert mit dem Planck’schen Strahlungsgesetz (roter Graph). Auf Grund des Wassers in der Luft wird ein Teil der abgestrahlten Strahlung absorbiert, noch bevor sie den Körper erreicht. Im Sinne einer worst-case Abschätzung wird dieser Effekt im Rahmen des Gutachtens nicht berücksichtigt. Der blaue Graph zeigt das Messergebnis der Spektrometer im Wellenlängenbereich 900 nm – 2220 nm.

Zusätzlich wurde mittig im Abstand von 15 cm zur Oberfläche des Keramikstrahlers (bei entferntem Abdeckgitter) die spektrale Bestrahlungsstärke im Wellenlängenbereich 900 nm – 2220 nm mittels Spektrometer NIRQuest 512 und NIR 256 gemessen. Das gemessene und das mithilfe des Planck’schen Strahlungsgesetzes modellierte Spektrum des IR-Strahlers ist in Abbildung 5 dargestellt.

Anhand des in Abbildung 5 (roter Graph) dargestellten Spektrums wurde die prozentuelle Verteilung der emittierten Strahlungsleistung je Spektralbereich berechnet. Das Ergebnis ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Prozentuelle Verteilung der emittierten Strahlungsleistung je Spektralbereich.

IR-A ($0,78 \leq \lambda \leq 1,4 \mu\text{m}$)	IR-B ($1,4 \leq \lambda \leq 3 \mu\text{m}$)	IR-C ($\lambda > 3 \mu\text{m}$)
0 %	7 %	93 %

4. Vergleich mit den Grenzwerten

Die integrale Bestrahlungsstärke wurde mit Hilfe des Thermosäulendetektors L40 gemessen (Durchmesser der Apertur: 35 mm). Als Messpositionen wurden Positionen bzw. Abstände gewählt, die repräsentativ als „worst-case“-Positionen für die Bestrahlung der Haut bzw. der Augen in einer IR-Kabine sind. Bei diesen Messungen wurde, wenn nicht anders angegeben, das Abdeckgitter (wie bei normaler Verwendung des Strahlermoduls in Abbildung 3 dargestellt) im Strahler verwendet.

4.1. Gefahr “Haut thermisch”

In Tabelle 2 wird der Messwert für die Haut an unterschiedlichen Positionen vor dem Strahler dem entsprechenden ICNIRP-Grenzwert gegenüber gestellt. Selbst in den sehr nahen „worst-case“ - Abständen (4 cm vor dem Keramikstrahler) wird der ICNIRP-Grenzwert für die Haut nicht überschritten.

Ein absichtliches Aufliegen der Haut direkt am Heizelement wird im Rahmen dieses Gutachtens nicht beurteilt, da der ICNIRP-Grenzwert für den direkten Kontakt nicht anwendbar ist.

Tabelle 2: Vergleich der gemessenen Bestrahlungsstärke an unterschiedlichen Positionen vor dem Strahler mit dem ICNIRP-Grenzwert für die Haut (Zeitbasis 10 s)

Messposition	Messwert [W m^{-2}]	Grenzwert für $t = 10\text{s}$ [W m^{-2}]
4 cm vor Strahlerstab bei entferntem Abdeckgitter (sollte in einer IR-Kabine nicht vorkommen)	2910	3556
4 cm vor Strahlerstab bei Verwendung des Abdeckgitters (repräsentativ für die Haut des Rückens vor dem Rückenstrahler wenn Rücken auf Höhe des Holzrahmens)	1975	
10 cm vor Strahlerstab bei Verwendung des Abdeckgitters (repräsentativ für Haut des Rückens vor dem Rückenstrahler wenn in IR-Kabine an Rückenlehne angelehnt sitzend)	1226	

Für Bestrahlungsdauern länger 10 s wird von ICNIRP kein Grenzwert angegeben, da es generell zu intensiven Hitzeschmerzempfindungen kommt, bevor eine Schädigung eintritt. Wenn die Temperaturerhöhung so langsam erfolgt, dass sie sich über mehrere Sekunden hin hinstreckt, bis es zum Hitzeschmerz kommt, bleibt im Normalfall genügend Reaktionszeit, um sich von den heißen Quellen zu entfernen. Sollte jedoch das Temperaturempfindungs-, und somit das Schmerzempfindungsvermögen gestört sein, kann die Abwendreaktion ausbleiben, und es könnte dann in diesen Fällen zu Temperatur-Zeit Verläufen kommen, die bei einer Bestrahlungsdauer von länger als 10 s eine Verbrennung ergeben. Als Beispiele für entsprechende Zustände, bei denen es zu Verbrennungen in Positionen mit intensiver Bestrahlung kommen kann, seien genannt: ein gestörtes Schmerzempfindungsvermögen, zum Beispiel bei Einnahme von Medikamenten (z. B. schmerzstillende Medikamente), bei Alkohol-

oder Drogeneinfluss, bei Schlafzustand bzw. Bewusstlosigkeit oder bei manchen Krankheiten. Eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Verbrennung kann sich ebenso ergeben, wenn die Haut vor der Verwendung des Infrarot-Strahlers durchblutungsfördernd behandelt wurde, z. B. durch mechanisches Abreiben. Ein körperliches Unvermögen, sich aus dem Strahlungsfeld zu entfernen, obwohl ein Hitzeschmerz eintritt (z. B. Lähmung) oder ein absichtliches Verharren im Strahlungsfeld trotz Hitzeschmerz kann ebenfalls im Extremfall zu Verbrennungen der Haut führen.

4.2. Gefahr „Auge Infrarot“

In Tabelle 3 ist der Messwert für die vorderen Augenmedien an einer „worst-case“ Position für die Augen in einer Kabine dem entsprechenden ICNIRP-Grenzwert für Dauerbestrahlung der Linse des Auges gegenüber gestellt. Die mit dem Thermosäulendetektor gemessene Gesamtbestrahlungsstärke wurde mit dem Faktor 0,07 multipliziert (da max. 7 % des modellierten Spektrums im relevanten Wellenlängenbereich $< 3 \mu\text{m}$ liegt), um auf die effektive „worst-case“ Bestrahlungsstärke für das Auge zu kommen. Eine zusätzliche Gewichtung des Spektrums für Wellenlängen $< 1 \mu\text{m}$ mit dem Faktor 0,3 ist im Fall des begutachteten Strahlers nicht notwendig, da sowohl die spektralen Messungen als auch das modellierte Spektrum gezeigt haben, dass der Spektralbereichs $< 1 \mu\text{m}$ keinen Beitrag zur effektiven Bestrahlungsstärke „Auge, Infrarot“ liefert.

Tabelle 3: Vergleich der gemessenen Bestrahlungsstärke in einer „worst-case“ Position für die Augen mit den ICNIRP-Grenzwerten für die Linse des Auges (Zeitbasis 1000 s)

Messposition	Messwert [W m ⁻²]	Grenzwert für $t \geq 1000 \text{ s}$ [W m ⁻²]
10 cm vor Strahlerstab bei Verwendung des Abdeckgitters („worst-case“- Position für Auge)	86	100
30 cm vor Strahlerstab	23	
60 cm vor Strahlerstab	9	

Selbst im „worst-case“ – Abstand zum IR-Strahler, der nicht über einen längeren Zeitraum (z.B. aufgrund unbequemer Haltung) in einer Kabine eingenommen werden kann, wird selbst der Grenzwert für langandauernde IR-Bestrahlung des Auges nicht überschritten. In einer realen Sitzposition in einer IR-Kabine befinden sich die Augen des Benutzers ca. 70 cm vor dem Strahler (bei Verwendung des Keramikstrahlers als Frontstrahler) und befinden sich normalerweise oberhalb des Strahlers. Selbst bei einem direkten Blick in den Strahler ist die Bestrahlungsstärke in dieser bequemen Position, die in der Kabine auch für längere Zeit eingenommen wird, kleiner als die in Tabelle 3 angegebenen Messwerte (die Messungen erfolgten axial vor dem Strahler jeweils auf Höhe der oberen Strahlerhälfte – siehe Abbildung 3 rechts). Bei sachgemäßem Gebrauch des Keramikstrahlers in einer IR-Kabine und normalem, vorhersehbarem Verhalten des Benutzers in der IR-Kabine ist davon auszugehen, dass eine Schädigung der vorderen Augenmedien durch die abgegebene IR-Strahlung des Keramikstrahlers nicht möglich ist.

4.3. Gefahren “UVA”, “aktinisches UV” und “Blaulicht”

Aufgrund des gemessenen bzw. modellierten Spektrums kann eine photochemische Netzhautschädigung sowie eine Schädigung der Augen und der Haut durch UV-Strahlung durch den begutachteten Keramikstrahler ausgeschlossen werden, da keine Strahlung im jeweils relevanten Spektralbereich emittiert wird.

4.4. Gefahr “Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz”

Für die Gefährdungsabschätzung betreffend einer möglichen thermischen Netzhautschädigung des Auges wurde eine „worst-case“ Analyse durchgeführt, wobei die Quellgröße α mit 100 mrad angenommen wurde, die Expositionsdauer > 10 s beträgt und ein offener Messempfangswinkel² verwendet wurde. Für die Umrechnung der effektiven Bestrahlungsstärke (abgeleitet aus dem modellierten Spektrum) in die effektive Strahldichte wurde jedoch ein ebener Winkel von $\gamma = 11$ mrad verwendet. Der gewichtete Messwert ist dem Grenzwert in Tabelle 4 gegenüber gestellt. Selbst bei einer „worst-case“ Analyse wird der Grenzwert für eine thermische Schädigung der Netzhaut nicht überschritten. Eine Schädigung der Netzhaut des Auges ist durch den begutachteten Keramikstrahler nicht möglich.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der mit offenem Messempfangswinkel gemessenen Strahldichte mit dem ICNIRP-Grenzwert für die Netzhaut (Zeitbasis > 10 s, $\alpha = 0,1$ rad)

Messwert [W m ⁻² sr ⁻¹]	Grenzwert [W m ⁻² sr ⁻¹]
34	60000

5. Befund

Ein Vergleich der gemessenen Bestrahlungswerte mit den internationalen Grenzwerten lässt den Schluss zu, dass eine Verbrennung der Haut oder eine Schädigung der Augen durch die vom begutachteten Keramikstrahler abgegebene optische Strahlung bei der sachgemäßen Verwendung und normalem, vorhersehbarem Verhalten des Benutzers in der Infrarot-Wärmekabine nicht möglich ist.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Möglichkeit einer Überhitzung des Körperinneren (Hitzestress) nicht beurteilt wurde. Ob es im konkreten Fall zu Hitzestress kommen kann, hängt neben der konkreten Bestrahlungssituation in einer Infrarot-Wärmekabine auch von der Lufttemperatur und Luftfeuchte ab. Es wird ferner darauf hingewiesen, dass bei Unterdrückung oder Fehlen der Wärmeempfindung bzw. des Hitzeschmerzes (z.B. bei Drogen-, Alkohol- oder Medikamenteneinfluss) oder besonderen Maßnahmen zur Durchblutungssteigerung der Haut (z.B. starkes mechanisches Abreiben) eine Verbrennung der Haut für Bestrahlungsdauern $>$

² Die tatsächliche effektive Strahldichte ist deutlich kleiner, als der in Tabelle 4 angegebene Messwert, da für die Messung ein Messempfangswinkel von 11 mrad zu verwenden ist, anstatt eines offenen Messempfangswinkels, wie bei der „worst-case“ Analyse verwendet.

10 s nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Aufgrund der festgestellten Bestrahlungswerte wird dieses Risiko jedoch als sehr gering eingestuft.

- - -

Ende des Gutachtens