

## NIR 2004 Tagungsbericht

# Potentielle Gefährdung der Augen und der Haut durch Infrarotwärmekabinen

Karl Schulmeister und Marko Weber

Bitte melden Sie sich für unseren **Laser, LED & Lampen-Sicherheit NEWSLETTER** (ca. 4 mal pro Jahr) an, um Infos über neue Downloads zu erhalten:  
<http://laser-led-lamp-safety.seibersdorf-laboratories.at/newsletter>

Diese Veröffentlichung wird als PDF-Datei von der Seibersdorf Labor GmbH mit der Erlaubnis der TÜV Media GmbH zur Verfügung gestellt.

Die Weitergabe an Dritte ist nicht gestattet.

Die PDF-Datei kann von <http://laser-led-lamp-safety.seibersdorf-laboratories.at> heruntergeladen werden.

### Quelleninformation

Titel: *Potentielle Gefährdung der Augen und der Haut durch Infrarotwärmekabinen*

Autoren: *Schulmeister K, Weber M*

Tagungsbericht NIR 2004, Herausgeber: Hans-Dieter Reidenbach, Klaus Dollinger, Joachim Hofmann  
TÜV-Verlag GmbH, Köln, 2004  
Seiten 763-774

# POTENTIELLE GEFÄHRDUNG DER AUGEN UND DER HAUT DURCH INFRAROTWÄRMEKABINEN

## POTENTIAL OCULAR AND SKIN HAZARDS FROM INFRARED WARMING CABINS

K. Schulmeister and M. Weber

ARC Seibersdorf research, Österreich

**Zusammenfassung** — In Infrarotwärmekabinen werden verschiedenste Strahler eingesetzt, von großflächigen Paneelen mit relativ niedriger Temperatur bis hin zu Hochtemperaturstrahlern, die im nahen Infrarot emittieren. Zur Beurteilung der Augen- und Hautsicherheit werden üblicherweise die Grenzwerte der ICNIRP herangezogen, deren Anwendung besprochen wird. Dabei wird berücksichtigt, dass sich die Grenzwerte der Haut nur auf Verbrennungen beziehen, die bei kurzzeitiger Bestrahlung (wenige Sekunden) auftreten würden. Für die Evaluierung des Verbrennungsrisikos bei längeren Bestrahlungsdauern und der Entstehung von Erythema ab Igne (Hitzemelanose) stehen zur Zeit keine eigentlichen Grenzwerte zur Verfügung, das Risiko kann jedoch bei normaler Verwendung als relativ gering abgeschätzt werden. Da eine erhöhte Hauttemperatur die zelleigene Reparatur von UV-induzierten DNA Schäden behindern kann, sollte keine Sitzung nach einem Sonnenbad oder Solariumsbesuch erfolgen.

**Summary** – Infrared warming cabins use a number of different radiators, including large area panels with low surface temperature and high temperature radiators that emit in the near infrared. For a hazard analysis of skin and eye exposure, the ICNIRP exposure limits are usually used. It should be noted that these exposure limits only apply to skin burns that would be induced within a few seconds of exposure. For the evaluation of the burn risk for longer exposure durations or of the induction of erythema ab igne, currently, no specific exposure limits exist. Also it should be noted that an elevated skin temperature may hamper the cell's repair of DNA damages following exposure to UV radiation. Therefore, warming cabins should not be used following sun bathing or using sun-beds.

**Schlüsselwörter** — Infrarot Wärmekabine, Sicherheit, Grenzwerte, Auge, Haut

**Keywords** — Infrared warming cabin, safety, exposure limits, eye, skin

### 1. Einleitung

In den letzten Jahren wurden Infrarot-Wärmekabinen als alternative zu traditionellen Saunas und als Therapiegeräte vermehrt beworben. Es handelt sich dabei um Kabinen aus Holz, in denen eine Anzahl von Infrarot-Strahlern in die Wände eingelassen oder an den Wänden angebracht sind. Die Strahler selbst haben verschiedene Bauarten, und emittieren je nach Oberflächentemperatur des Strahlers in verschiedenen Wellenlängenbereichen.

Im Rahmen dieser Diskussion soll die bei einer Anzahl von kommerzieller Wärmekabinen festgestellte Infrarotstrahlung in Hinblick auf eine mögliche nachteilige Wirkung auf Augen oder Haut beurteilt wird. Zur Beurteilung der Schädigung des Auges sowie der Verbrennung der Haut innerhalb kurzer Bestrahlungsdauern werden die bestehende ICNIRP Grenzwerte für

Breitbandstrahlung herangezogen. Mögliche nachteilige Wirkungen, die sich im Extremfall bei Bestrahlungen unterhalb der ICNIRP Grenzwerte ergeben können, werden diskutiert und das Risiko qualitativ beurteilt. Eine Beurteilung der möglichen positiven Wirkung der IR-Wärmekabinen erfolgt in dieser Diskussion nicht.

## 2. Physikalische Beschreibung der Strahlung

### 2.1 Das elektromagnetische Spektrum

Jeder warme Körper gibt Infrarotstrahlung ab und diese Strahlung wirkt auf die Körper in der Umgebung. Infrarotstrahlung ist Teil des elektromagnetischen Spektrums, wo es zwischen dem sichtbaren Licht und den Mikrowellen (Radar) liegt (siehe Abb. 1).

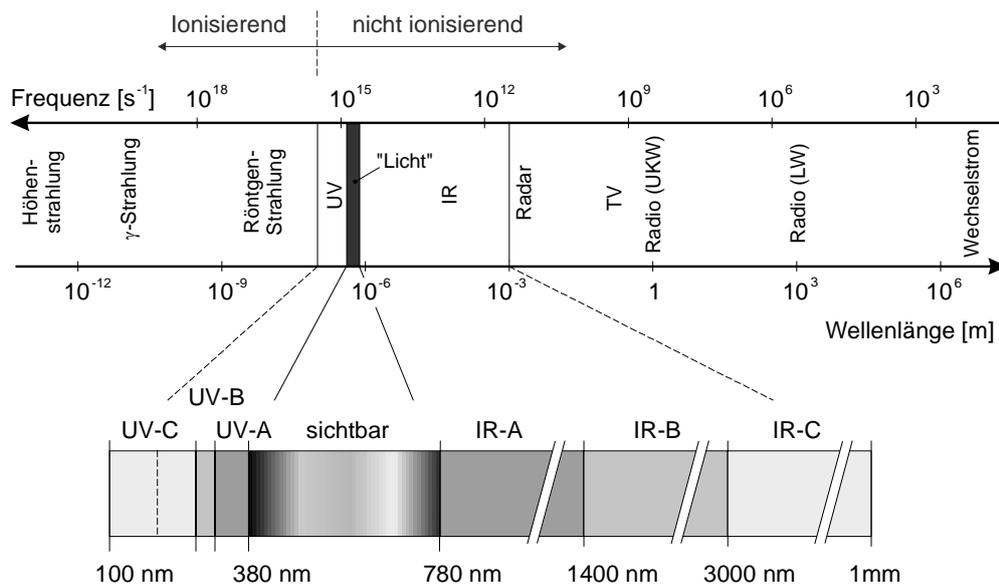


Abb. 1. Das Elektromagnetische Spektrum

Der Teil des elektromagnetischen Spektrums, welcher als optische Strahlung bezeichnet wird (100 nm bis 1 mm Wellenlänge), wird je nach biologischer Wirkung in verschiedene Spektralbereiche unterteilt, die durch CIE definiert wurden [1]:

UV-C	100 nm – 280 nm
UV-B	280 nm – 315 nm
UV-A	315 nm – 400 nm
Sichtbares	380 nm – 780 nm
IR-A	780 nm – 1400 nm
IR-B	1400 nm – 3000 nm (1,4 μm - 3 μm)
IR-C	3000 nm – 1 mm (3 μm – 1 mm)

Die Grenzen zwischen den Bereichen sind jedoch nicht als scharf zu betrachten. Zum Beispiel nimmt die Empfindlichkeit des Auges bei Bestrahlung mit langwelligem sichtbarem Licht immer weiter ab, und man benötigt für das gleiche Helligkeitsempfinden eine entsprechend stärkere Quelle. Die Grenze zwischen „sichtbar“ und „nicht-sichtbar“ hängt daher eigentlich nicht nur von der Wellenlänge der Strahlung sondern auch von der Lichtmenge, die auf Netzhaut trifft, ab. Im Infrarotbereich ist die Basis für die Unterscheidung in IR-A, IR-B, und

IR-C die unterschiedliche Eindringtiefe ins Gewebe, welche hauptsächlich durch die Absorption im Wasser bestimmt wird.

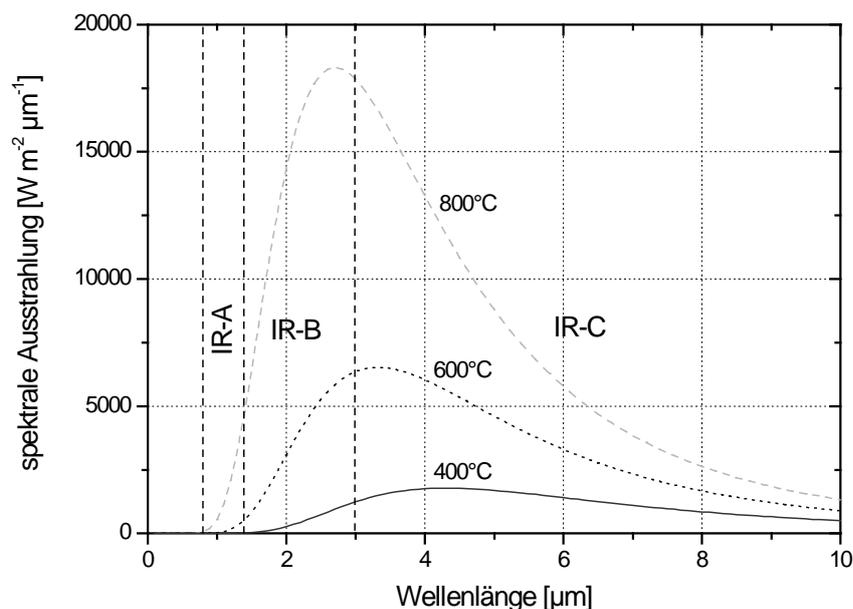
IR-A: Die Eindringtiefe in die Haut, aber auch im Auge, ist im IR-A Bereich am größten. Auch sind im IR-A Bereich die vorderen Augenmedien und der Glaskörper soweit durchlässig, dass die Strahlung die Netzhaut erreichen, und die Netzhaut schädigen kann, wenn die entsprechenden Grenzwerte überschritten werden. Mit zunehmender Wellenlänge wird mehr und mehr Leistung bereits in der Linse absorbiert, was zum grauen Star (Katarakt) führen kann. Bei 1400 nm erreicht nur noch sehr wenig Strahlung die Netzhaut.

IR-B: Infolge der erhöhten Wasserabsorption im Gewebe nimmt die Eindringtiefe dieser Strahlung mit zunehmender Wellenlänge drastisch ab, und erreicht bei einer Wellenlänge von 3000 nm ein Minimum von ca.  $5 \mu\text{m}$  ( $1/e$  Niveau). Bei Bestrahlung des Auges wird die Netzhaut nicht mehr erreicht. IR-B Strahlung führt bei genügend großen Leistungsdichten sowohl bei der Hornhaut des Auges als auch bei der Haut zu Verbrennungen (Koagulation von Eiweiß). Beim Auge kann eine chronische Temperaturerhöhung zur verfrühten Bildung von grauem Star führen.

IR-C: Die Eindringtiefe bleibt über das gesamte Gebiet aufgrund der sehr starken Wasserabsorption wesentlich unter 1 mm. Die oftmals verwendete Bezeichnung „Tiefenwärme“ bei Infrarot-C Strahlern kann daher vom biophysikalischen Standpunkt her nicht nachvollzogen werden. Tiefer liegende Hautschichten erwärmen sich nur durch Wärmeleitung, nicht durch Absorption der Strahlung.

## 2.2 Schwarze Strahler

Die maximale Abstrahlung eines Festkörpers mit einer bestimmten absoluten Temperatur  $T$  wird durch einen schwarzen Strahler erreicht. Die theoretische Beschreibung von schwarzen Strahlern wurde durch Planck gefunden und bezieht sich auf die spektrale Emission als Funktion der Wellenlänge eines Körpers mit einer bestimmten Temperatur. Die Planck'sche Strahlungsformel beschreibt die vom schwarzen Strahler (oder „planckscher Strahler“) in den Halbraum abgegebene Leistung pro Flächeneinheit der Oberfläche pro  $\mu\text{m}$  Wellenlänge, die man auch als spektrale Ausstrahlung bezeichnet (siehe Abb. 2.).



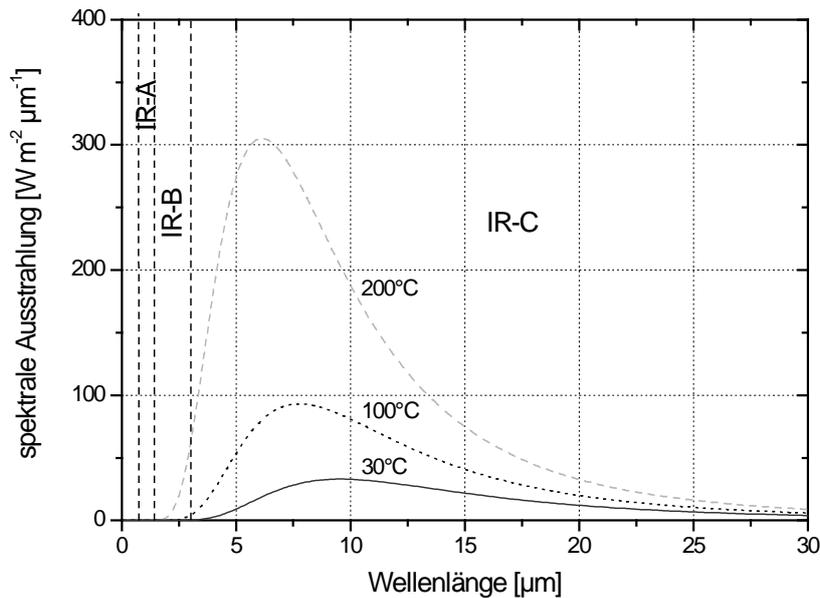


Abb. 2a+ b Spektren von schwarzen Strahlern mit verschiedenen Oberflächentemperaturen bis zu 800 °C als Funktion der Wellenlänge in  $\mu\text{m}$  bei linearer Darstellung der spektralen Ausstrahlung (beachte die geänderten Bereiche der Abszisse und er Ordinate der beiden Abbildungen)

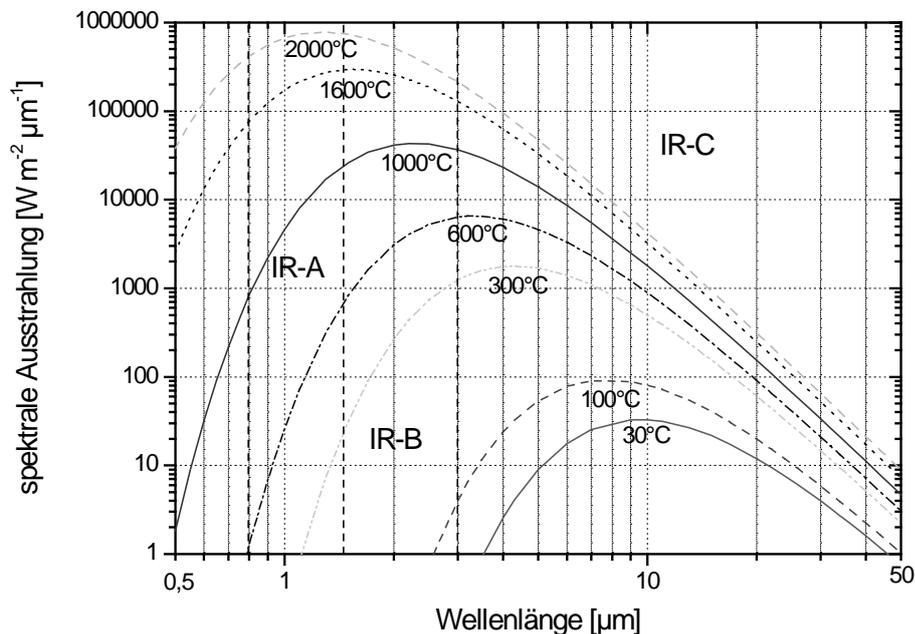


Abb 2c. Logarithmische Darstellung der Spektren von schwarzen Stahlern mit verschiedenen Temperaturen. Die Verschiebung des Maximums der Spektren mit steigender Temperatur ist gut zu erkennen.

Das Gesetz von Wien beschreibt, wie sich das Maximum des Spektrums mit steigenden Temperaturen zu kürzeren Wellenlängen hin verschiebt:

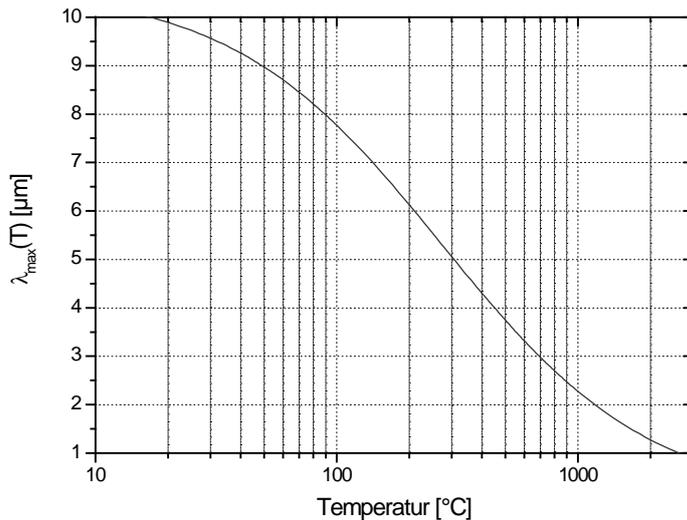


Abb. 3. Verschiebung des Maximums des Spektrums (in  $\mu\text{m}$ ) von schwarzen Körpern mit der Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$ .

Bei „Körpertemperatur“, d.h.  $36^{\circ}\text{C}$  liegt das Maximum der Abstrahlung ungefähr bei einer Wellenlänge von  $10\ \mu\text{m}$ , im IR-C Bereich. Je heißer ein Körper wird, desto mehr verschiebt sich die spektrale Verteilung in Richtung sichtbares Licht. Ein rotglühender Körper hat schon Anteile im roten Teil des sichtbaren Lichts, ein weißglühender Körper hat noch höhere Temperaturen sodass das Maximum im sichtbaren Bereich liegt – durch die Mischung der Farben des sichtbaren Bereichs ergibt sich der Eindruck eines weißen Lichtes, wie bei der Sonne mit einer Temperatur von ca. 6000 Kelvin.

Reelle Oberflächen und Körper stellen keinen idealen schwarzen Strahler dar, sondern weichen in der emittierten Strahlung mehr oder weniger vom idealen schwarzen Strahler ab. Die Abweichung wird durch einen Multiplikationsfaktor beschrieben, der Emissivität  $\epsilon$ , genannt wird. Die meisten natürlichen Materialien haben eine hohe Emissivität zwischen 0,90 und 0,95, d.h. sie sind einem schwarzem Strahler relativ ähnlich. Hochreflektierende Metalle wie Aluminium haben eine geringere Emissivität von ungefähr 0,30. Eine Emissivität von 0,30 bedeutet, dass nur 30 % der Strahlung eines schwarzen Strahlers gleicher Temperatur abgegeben wird. Bei nicht-durchlässigen Materialien wie Keramik oder Metallen ist die Emissivität gleich der 1 minus der Reflektivität  $\rho$ . Eine hohe Reflektivität bedeutet also eine geringe Emissivität.

### 3. Beschreibung der Strahler

Infrarotwärmekabinen sind üblicherweise Holzkabinen mit einer Sitz- bzw. Liegebank und einer Verteilung von Strahlern in der Kabine. Die Arten der Strahler können grob nach der Oberflächentemperatur und sich daraus ergebendem Spektrum eingeteilt werden (in erster Näherung kann die spektrale Verteilung als schwarzer bzw. grauer Strahler (d.h. Emissivität nicht von Wellenlänge abhängig) angenommen werden:

1) Großflächige IR-C Strahler (Paneele), d.h. es wird praktisch die ganze Wand warm, wobei die Oberflächentemperaturen meist nur ca.  $50^{\circ}\text{C}$  beträgt (bis maximal ca.  $60^{\circ}\text{C}$ ). Die abgegebene Strahlung liegt daher im fernen Infrarot Bereich, die notwendige Bestrahlungsstärke am Körper kommt durch die Größe der Paneele zustande. Die Bestrahlungsstärke, vor allem beim Rücken, ist trotzdem geringer als bei kleineren IR-C

Strahlern die mit Temperaturen um 300 °C operieren. Das Bestrahlungsfeld ist deutlich homogener als bei kleineren Strahlern, Hot-Spots sind ausgeschlossen.

2) IR-C Strahler mit Oberflächentemperaturen von ca. 300 °C. Durch die Breite des Spektrums ergibt sich bei einer Temperatur von 300 °C, dass es nicht um absolut reine IR-C Strahlung handelt, jedoch liegen bei 300 °C nur ca. 3 % der abgegebenen Strahlung im IR-B Bereich. Die Strahler sind meist in Stabform ausgeführt, aber auch manchmal plattenförmig in der Größe von ca. 5 cm mal 20 cm. Hinter den eigentlichen Strahlern sind häufig Reflektoren angebracht, wodurch sich eine eher nach vorne gerichtete Strahlung ergibt.

3) Kurzwellige Strahler: IR-B Strahler mit Glühwendeln mittlerer Temperatur, und IR-A Strahler mit Glühwendeltemperaturen um die 2000 °C (eine Standard 100 Watt Quarzhalogenlampe für Beleuchtung wird meist bei ca. 2500 °C betrieben). Bei IR-A und IR-B Strahlern handelt es sich im Prinzip um glühende Wolfram-Wendeln nach dem Prinzip von Halogenlampen, häufig mit einem optischen Filter zur Unterdrückung des sichtbaren Anteiles, d.h. eigentlich eine Weiterentwicklung von Rotlicht-Glühbirnen, wie sie schon lange im Haushaltsbereich als Wärmelampe besonders zur Gesichtsbestrahlung eingesetzt werden und im allgemeinen Elektrofachhandel erhältlich sind. Bei einem vom Wärmekabinen-Vertreiber als IR-Kurzwellenstrahler bezeichneten Strahler bei dem Infrarot Halogen Strahler von Philips verwendet werden, liegt das Maximum bei ca. 1400 nm, und somit ca.  $\frac{3}{4}$  des Spektrums über 3  $\mu\text{m}$ , und  $\frac{1}{4}$  im IR-A Bereich, die Strahlung ist auch noch gut als rötlich wahrnehmbar. Bei kommerziellen „IR-A Wärmekabinen“ liegt das Maximum der abgegebenen Strahlung noch etwas mehr in Richtung sichtbares Licht bei ca. 1200 nm und daher grob die Hälfte der Emission unter 1400 nm, wobei auch noch ein Anteil im sichtbaren Bereich liegt, sodass die Strahlung als hell rötlich (je nach eingesetztem Filter) wahrgenommen wird.

Ob es sich um Halogenlampen im näheren (kurzwelligen) Infrarotbereich (IR-A und IR-B) oder um IR-C Lampen handelt, lässt sich leicht optisch feststellen, da erstere generell so hohe Temperaturen haben müssen, dass der Strahler glüht, und deshalb auch einen sichtbaren Anteil liefern, letztere jedoch kein sichtbares Licht emittieren, also „dunkel“ sind. Dies kann auch als Hilfestellung für die schnelle Identifizierung dienen, da manche Hersteller leider firmeneigene Bezeichnungen verwenden, die irreführend sein können, wo z.B. Strahler mit ca. 300 °C Oberflächentemperatur als „A, B und C Strahler“ bezeichnet werden, je nachdem, wo sie in der Kabine angebracht sind.

#### **4. Fotobiologische Wirkung und Grenzwerte**

Bezüglich einer möglichen schädigenden Wirkung der Infrarotstrahlung ist nur die thermische Wirkung relevant, d.h. die auftreffende und absorbierte Strahlungsenergie wird in Wärme umgewandelt, wodurch sich lokal eine Temperaturerhöhung ergibt. Liegt diese Temperatur über einem gewissen Niveau, können schädliche Wirkungen auftreten, wobei auch die Dauer der Temperaturerhöhung (Temperatur-Zeit Verlauf) eine Rolle spielt.

##### **4.1 Auge - Netzhaut**

Je nach Wellenlänge können verschiedene Teile des Auges gefährdet sein. Strahlung mit Wellenlängen bis ca. 1400 nm dringt bis an die Netzhaut vor und kann bei entsprechender Temperaturerhöhung eine permanente Schädigungen der Netzhaut hervorrufen. Das Schädigungspotential ist von der Wellenlänge und von der Größe der Quelle der Strahlung (was die Größe der Abbildung auf der Netzhaut bestimmt) abhängig. IR-A Strahler, wie sie in IR-A Wärmekabinen eingesetzt werden, liegen von der Bestrahlung her weit unter dem

ICNIRP Grenzwert [2], eine thermische Schädigung der Netzhaut ist daher auch bei langem Starren in die Quelle nicht möglich. Die für eine thermische Netzhautschädigung notwendige Intensität der Strahlung kann nur von Hochleistungs-Blitzlampen, Xenonlampen, Atomblitzen und Lasern erzeugt werden. In Konkurrenzsituationen getätigte Aussagen von Herstellern und Vertreibern von IR-C Wärmekabinen wie „durch IR-A Strahler kann es zu Netzhautablösungen kommen“, sind daher falsch, wurden leider aber auch von Konsumentenschutzzeitschriften, offensichtlich ohne kritisches Hinterfragen und fachlich korrekte Recherche, übernommen [3].

#### 4.2 Auge – Hornhaut und Linse

Bei entsprechender Temperaturerhöhung kann es zur Eintrübung der Linse (grauer Star, Katarakt) oder der Hornhaut kommen. Es ist bezüglich der Hornhaut jedoch anzumerken, dass es zu einer Eintrübung nur akut bei extrem hohen Bestrahlungsstärken in kurzen Bestrahlungsdauern im Sekundenbereich kommen kann, die durch Breitband-Infrarotstrahler nicht erzeugt werden können, sondern nur mit Lasern. Bei längeren Bestrahlungsdauern ist man durch den Tränenfilm und die Schmerzreaktion geschützt. Der ICNIRP Grenzwert bezieht sich daher hauptsächlich auf die Entstehung von grauem Star, vor allem durch chronische (immer wiederkehrende) Bestrahlung. Dieser Effekt ist in der Arbeitsmedizin in der Stahlindustrie und in Glasbläserbetrieben, vor allem zu Beginn des 20. Jahrhunderts bekannt, und wird daher auch Glasbläserstar genannt. Die Entstehung des grauen Stars ist eigentlich eine normale Alterserscheinung (d.h. wenn man alt genug wird, bekommt jeder einen grauen Star), das Auftreten kann jedoch durch Umwelteinflüsse wie UV Strahlung oder Infrarotstrahlung beschleunigt werden, d.h. es kommt zu einem verfrühten Auftreten des grauen Stars. Je stärker die Belastung (je mehr man über dem Grenzwert liegt), desto früher tritt der graue Star auf, wobei bei geringfügigen Grenzwertüberschreitung auch das zusätzliche Risiko gering bis vernachlässigbar gegenüber anderen Faktoren ist, da der Grenzwert eher konservativ niedrig angesetzt ist.

Der entsprechende Grenzwert nach ICNIRP ist:

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 18000 \cdot t^{-0.75} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t \leq 1000 \text{ s}) \quad (1)$$

Für Bestrahlungsdauer von über 1000 Sekunden bleibt der Grenzwert konstant,

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t > 1000 \text{ s}) \quad (2)$$

wobei die Summe angibt, dass man die spektrale Bestrahlungsstärke (z.B. in Einheiten von  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ ) am Ort des Auges,  $E_{\lambda}$ , über die Wellenlänge aufaddiert, und zwar im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm. Für die Handhabung bezüglich der Wellenlängeneinschränkung siehe Abschnitt 3.4 unten. Die Bestrahlungsdauer ist mit  $t$  (in Sekunden) bezeichnet, d.h. für kürzere Bestrahlungen ist die erlaubte Bestrahlungsstärke entsprechend höher. Für Bestrahlungsdauern über 1000 s (etwa 17 Minuten) ist ein konstanter Grenzwert definiert, d.h. wenn man  $100 \text{ W m}^{-2}$  nicht überschreitet, kann man beliebig lange der Strahlung ausgesetzt sein.  $100 \text{ W m}^{-2}$  sind ein relativ niedriger Wert, den man zwar als Temperaturerhöhung der Haut spürt, der aber relativ weit weg von Niveaus ist, die als unangenehm bezeichnet werden würden (der Infrarotanteil von Sonnenbestrahlung zu Mittag in südlichen Breiten ist ca.  $500 \text{ W m}^{-2}$ ).

Für eine Grenzwertanalyse bei Infrarotkabinen sollte man die Zeitabhängigkeit des Grenzwertes berücksichtigen, da in Sitzpositionen, in denen man bequem sitzen oder liegen kann, der Grenzwert von  $100 \text{ W m}^{-2}$  für Langzeitbestrahlung üblicherweise nicht überschritten wird. Dies betrifft z.B. die Sitzposition wo man gegenüber einem Strahler sitzt, der neben der Türe angebracht ist. Der Langzeitgrenzwert von  $100 \text{ W m}^{-2}$  kann überschritten werden, wenn man sich näher zum Strahler begibt, z.B. um etwas vom Boden aufzuheben, wobei aber berücksichtigt werden kann, dass man sich so nahe am Strahler nur für vergleichsweise kürzere Zeiten aufhält und in den Strahler blickt. Der Grenzwert für eine 1-minütige Bestrahlung beträgt  $835 \text{ W m}^{-2}$  und für 5 Minuten  $250 \text{ W m}^{-2}$ . Für IR-C Kabinen ist daher in den meisten Fällen der Grenzwert für die Augen für eine normale Benützung der Wärmekabine nicht überschritten (auch wenn man über den gesamten Wellenlängenbereich integriert, d.h. das IR-C mit einbezieht, siehe Abschnitt 3.4). Bei IR-B und IR-A Strahlern kann der Grenzwert auch in normalen Sitzpositionen überschritten werden, und es wäre daher Augenschutz zu empfehlen. Hierbei sind relativ kostengünstige Schweißerschutzbrillen ausreichend. Um das Risiko nicht überzubewerten soll angemerkt werden, dass die Exposition und daher die Grenzwertüberschreitung bei üblichen IR-A und IR-B Wärmekabinen nicht höher ist als beim Holzkohलगrillen bei einer starken Glut (wobei die Autoren auch beim Grillen eine Schweißerschutzbrille empfehlen).

#### 4.3 Hautverbrennung

Der ICNIRP Grenzwert für den Schutz der Haut vor Verbrennung ist nur für eine Bestrahlungsdauer von bis zu 10 s definiert, und lautet:

$$E_H \cdot t = \sum_{380}^{3000} E_\lambda \cdot t \cdot \Delta\lambda \leq 20000 \cdot t^{0.25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t \leq 10 \text{ s}) \quad (3)$$

Bezüglich der Einschränkung der Summe auf 3000 nm siehe Absatz 3.4. Dieser Grenzwert ist als „Dosis“ gegeben, d.h. in Einheiten von Joule, kann aber in  $\text{W m}^{-2}$  durch Division mit  $t$ , zum Vergleich mit einer gegebenen Bestrahlungsstärke (links steht dann nur mehr  $E_H$ ), umgerechnet werden. Dadurch ergibt sich die Zeitabhängigkeit des  $\text{W m}^{-2}$  Grenzwertes als  $t^{-0.75}$ , die gleiche Abhängigkeit wie beim Grenzwert zum Schutz der Hornhaut und der Linse des Auges (und die Grenzwerte selbst sind auch ähnlich). Aus der Zeitabhängigkeit ergibt sich, dass der Grenzwert für 10 s  $3550 \text{ W m}^{-2}$  beträgt. Der ICNIRP Grenzwert ist nicht für längere Bestrahlungsdauern als 10 s definiert, da sich vor einer Verbrennung normalerweise ein starker Schmerz einstellt, dem entsprechende Abwendungsreaktionen folgen. Nur wenn die Bestrahlung so hoch ist, dass man nicht genügend Reaktionszeit hat, sich aus dem Strahlungsfeld zu entfernen, kann eine Verbrennung eintreten. Bei Bestrahlungsdauern über 10 s ist man normalerweise durch die Schmerzempfindung vor Verbrennungen geschützt. Dieser Grenzwert für Bestrahlungsdauern bis zu 10 Sekunden wird in handelsüblichen Wärmekabinen normalerweise nicht überschritten. Es können jedoch bei etwas längeren Bestrahlungsdauern bei manchen Infrarotkabinen, z.B. im Kniebereich bei den Strahlern neben der Türe, oder im Rücken bei Rückenstrahlern - bei entsprechend kurzen Abständen zu den Strahlern und entsprechend intensiven Strahlertypen - Bestrahlungswerte auftreten, die man als unangenehm empfindet, d.h. wo nach einer gewissen Zeit bereits eine leichte Schmerzempfindung einsetzt, sodass man das Knie vom Strahler wegbewegt oder sich etwas vom Rückenstrahler wegsetzt. Man kann daraus schließen, dass es dann im Fall des Fehlens von Schmerzempfindungen, z.B. bei Alkoholisierung, Einfluss von Drogen oder manchen Medikamenten, zu Verbrennungen kommen kann, besonders wenn man in der Kabine einschläft. Es sei noch erwähnt, dass die ICNIRP Grenzwerte Verbrennung der Haut durch Kontakt, also Berührung, nicht abdecken. Für das Schmerzempfinden bei Langzeitbestrahlung

finden sich Grenzwerte in der Norm DIN 33403-3 [4], wobei hier leider keine Quellenangaben für diese Daten zu finden sind und auch nicht angegeben wird, ob diese Werte für alle Wellenlängenbereiche gelten, oder nur für IR-A Strahler.

Es wird auch anekdotisch von Einzelfällen berichtet, bei denen durch starkes Abreiben der Haut zur Durchblutungsförderung kurz vor der Wärmekabinebenutzung die Haut gegenüber einer Verbrennung viel stärker anfällig war als es dies normalerweise der Fall ist. Vor dieser Praxis und auch vor der Verwendung von hautdurchblutungsfördernden Mittel sollte daher abgeraten bzw. gewarnt werden.

#### 4.4 Beschränkung der ICNIRP Grenzwerte auf 3000 nm

Bei der zur Zeit gültigen Empfehlung der ICNIRP Grenzwerte für Breitbandstrahlung wird angegeben, dass der Anteil der Strahlung, der wellenlängenmäßig über 3000 nm (3  $\mu$ m) liegt, bei der Definition der Grenzwerte für die Augen und der Haut berücksichtigt wurde, wobei hier eher Strahler, die den Großteil der Strahlung bei Wellenlängen unter 3000 nm abstrahlen, angenommen wurden. Die Messung der Bestrahlungsstärke selbst ist dann nur bis zu 3000 nm notwendig, was vorteilhaft ist, wenn man spektral misst oder wenn es sich um ein integrierendes Messgerät (integrierend über einen größeren Spektralbereich, also üblicherweise ein thermisches Messverfahren) mit einem Glasfenster handelt. Es ist jedoch im ICNIRP Dokument im Abschnitt über Messparameter angeführt, dass der IR-C Anteil mit gemessen werden kann, wenn er sicherheitstechnisch als bedeutend eingeschätzt wird. Dies bedeutet, dass die Summen in den Formeln 1-3 auch den IR-C Bereich einschließen, und über das gesamte Spektrum integrierend gemessen wird. Dies ist bei IR-C Strahlern, die einen Großteil der Strahlung im Wellenlängebereich über 3000 nm emittieren, zu empfehlen, da der IR-C Anteil ansonsten praktisch vom Grenzwert her unbeschränkt ist.

#### 4.5 Erythema ab Igne

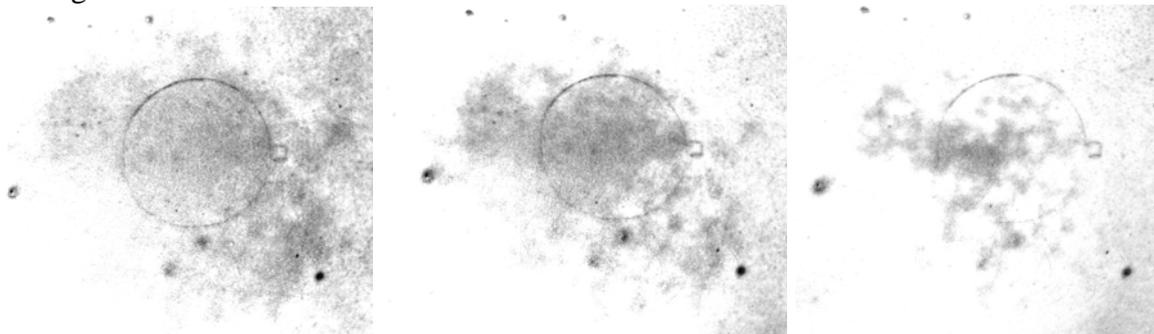
Bei regelmäßiger Benutzung von Infrarotwärmekabine, die hohe Bestrahlungswerte, z.B. in Hotspots im Rückenbereich, aufweisen, kann die Entstehung von Erythema ab Igne (EAI) nicht ausgeschlossen werden. Der ICNIRP Grenzwert für eine Hautverbrennung innerhalb von 10 s ist dafür nicht anwendbar, d.h. auch bei Bestrahlungswerten unter dem ICNIRP Grenzwert für Hautverbrennung kann die Entstehung von EAI nicht ausgeschlossen werden.

Mit Erythema ab Igne, im Deutschen auch Hitzemelanose, wird eine durch chronische erhöhte Hauttemperatur hervorgerufene Hautveränderung bezeichnet. Die Veränderung erscheint als rot-bräunliche netzartige Pigmentveränderung und wurde früher häufig an den Schienbeinen von Frauen, die sich vor einem Feuer wärmten [5], oder bei Hitzeberufen wie Schmiede und Bäcker an den Armen gefunden. Heute findet man EAI eher selten, am häufigsten bei regelmäßiger Verwendung von Wärmeflaschen oder Heizkissen mit relativ hoher Temperatur direkt auf der Haut.

Es ist wichtig, zu berücksichtigen, dass EAI auch bei Bestrahlungsniveaus auftreten kann, die unter dem Niveau liegen, die eine Verbrennung im Sinne einer Nekrose hervorrufen, ja sogar (knapp) unter Bestrahlungsniveaus, die Schmerzreaktionen hervorrufen. Die Hautveränderung ist im Anfangsstadium auch reversibel, d.h. bildet sich zurück, wenn die Bestrahlung nicht weiter fortgeführt wird. Eine gewisse Hautrötung bei Anwendung einer Wärmekabine kann als normal bezeichnet werden, sollte aber in der ersten ½ Stunde bis maximal Stunde nach der Beendigung der Bestrahlung vergehen. Eine Hautrötung

(Erythem), besonders eine netzartige, welche nach der Bestrahlung für länger als 1 Stunde weiter besteht, ist ein erstes Anzeichen für das Potential der Entstehung von Erythema ab Igne, wenn man diese Art der Bestrahlung regelmäßig (also z.B. täglich) weiterführen würde.

Aktuelle Pilotuntersuchungen an der Charité Universitätsklinik<sup>1</sup> haben gezeigt, dass mit einem Strahler, der Infrarot-C emittiert, bei Bestrahlungen für 15 Minuten und  $1000 \text{ W m}^{-2}$  Bestrahlungsstärke, Hautveränderungen hervorgerufen werden können, die die Vorstufe von EAI darstellen. Die Bestrahlungsstärke lag im Bereich, wie sie bei stärkeren Bestrahlungen in der Nähe von heißen Strahlern auftreten kann. Am Ende der Bestrahlung war die Rötung relativ homogen, nach 1 ½ Stunden der Bestrahlung bestand aber immer noch eine fleckig-netzartige Rötung, mit relativ scharf definierten Rändern (Abb. 4), die dann nach mehreren Stunden verschwand. Es wurde von der Versuchsperson berichtet, dass es zu keiner ausgesprochenen Schmerzreaktion kam, d.h. die Bestrahlungsstärke lag unter jener, die für die Auslösung einer Schmerzreaktion und daher auch für eine Verbrennung notwendig ist. Die Versuchsperson verspürte jedoch natürlich die starke Erhitzung der Haut, die bei Situationen außerhalb einer Wärmekabine wahrscheinlich als unangenehm empfunden wird. In einer Wärmekabine kann es aber durchaus sein, dass der Anwender diesen Effekt als „zur Anwendung der Kabine gehörend“ nicht unbedingt als Anlass nimmt, sich aus dem Strahlungsfeld zu entfernen.



Am Ende der Bestrahlung      30 min nach Ende d. Bestr.      1 ½ Std nach Ende d. Bestr.

*Bild 4. Entwicklung der Hautrötung folgend 15-minütiger IR-C Bestrahlung mit einem handelsüblichen IR-C Strahler ohne Auslösung von Hitzeschmerz. Mit freundlicher Genehmigung von Prof. H. Meffert, Charité Berlin (Hautfarbe zur Kontrasterhöhung durch Bildverarbeitung aufgehellt).*

EAI an sich ist keine ernsthafte Schädigung der Haut, sie ist eher eine kosmetische Veränderung, die jedoch sicherlich auch verhindert werden sollte. Im Extremfall kann die Haut bei Auftreten einer starken Hitzemelanose anfälliger für die Entstehung von Hautkrebs sein, welcher z.B. durch die UV Strahlung der Sonne oder durch Verbrennungsprodukte des Torffeuers (deshalb auch z.B. die Bezeichnung „Turf Fire Cancer“) ausgelöst wird [6,7].

Es gibt leider keine quantitativen Untersuchungen zur Entstehung von EAI und es gibt dementsprechend auch keine Grenzwerte, mit denen man Bestrahlungswerte vergleichen könnte. Oben besprochene Vorstudien deuten darauf hin, dass eine Entstehung von EAI in

---

<sup>1</sup> H. Meffert and H. Piazena, Hautklinik der Charité der Humboldt-Universität zu Berlin, Vorstudie, nicht veröffentlicht

Infrarotwärmekabinen, besonders bei Hotspots, möglich ist. Die Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Hitzemelanose kann jedoch nach Meinung der Autoren bei normaler Verwendung der Wärmekabine als relativ gering eingestuft werden, es ist bisher auch noch kein Fall bekannt, bei dem Hitzemelanose durch eine Infrarotwärmekabine entstanden ist.

Es kann jedoch generell empfohlen werden, dass nur Sitzpositionen eingenommen werden, die als angenehm empfunden werden. Wenn Sitzpositionen eingenommen werden, die zu einer starken lokalen Erhitzung der Haut führen, empfiehlt sich eine gewisse selbst- oder gegenseitige Beobachtung der Haut: ist eine eventuelle Rötung spätestens nach einer Stunde vergangen, ist dies eine normale Reaktion der Haut, bleibt die Rötung über eine Stunde bestehen und bildet sich ein netzartiges Muster, sollte die weitere Verwendung der Kabine unterbrochen werden, bis sich die Rötung zurückgebildet hat bzw. bei weiterem Bestehen sollte ein Arzt aufgesucht werden. Eine nicht zu häufige Verwendung der Wärmekabine (z.B. nicht jeden Tag sondern eher nur jeden zweiten Tag) ist in diesem Sinne auch präventiv zweckdienlich. Wird die Bestrahlung trotz Ausbildung von netzartigen Hautrötungen regelmäßig weiter betrieben, kann sich die Hautstruktur im Sinne der Ausbildung einer Hitzemelanose permanent verändern.

#### 4.6 Erhöhte Temperatur als Ko-Karzinogen

Eine direkte DNA Schädigung durch Infrarotstrahlung ist nicht möglich, da die Photonenenergie zu niedrig ist. Auch das Risiko für eine DNA Schädigung (die bei unvollständiger Reparatur zu Hautkrebs führen könnte) durch erhöhte Zelltemperatur, kann bei gesunden Zellen (d.h. die keine Mutation aufweisen) als vernachlässigbar bezeichnet werden. Jedoch gibt es Anzeichen dafür, dass eine erhöhte Hauttemperatur die Hautzellen bei der Reparatur von anderweitig induzierten DNA Schäden (z.B. durch UV Strahlung) beeinträchtigen kann [8], wobei sogenannte Heat Shock Proteine die Zellteilung und Kontrolle der DNA vor der Zellteilung beeinflussen können. Sollte die Zelle also schon durch andere Einwirkungen, z.B. UV Strahlung, DNA Schäden erlitten haben, kann eine zusätzliche Hauttemperaturerhöhung in der Reparaturphase das Hautkrebsrisiko im Vergleich zur Situation bei normaler Hauttemperatur erhöhen, was als ko-karzinogene Wirkung bezeichnet werden kann. Wie stark sich das Risiko erhöht, lässt sich nicht abschätzen, aber es wird bereits spekuliert, dass die globale Erwärmung auch ein (künftiger) Faktor für die Erhöhung der Hautkrebsrate sein kann [9]. Es sei hier betont, dass dies nicht spezifisch nur für Infrarotstrahlung gilt, sondern generell erhöhte Hauttemperatur betrifft, wie sie auch bei konventionellen Saunas auftritt oder bei heißen Bädern. Die Warnung sollte also generell eine Hauterwärmung nach Sonnenbädern und nach Solarien betreffen.

#### 4.7 Erhöhung der Körperkerntemperatur

Eine Bestrahlung des Körpers mit Infrarotstrahlung, besonders bei erhöhter Raumtemperatur, kann zur Erhöhung der Körperkerntemperatur und damit zum Hitzestress, oder im Extremfall bis zum Kreislaufkollaps führen. Die Infrarotstrahlung ist dabei nur eine Komponente, die gemeinsam mit der Raumtemperatur und Luftbewegung evaluiert werden muss, wofür es eigene Verfahren und Grenzwerte zur Arbeitsplatzevaluierungen gibt, die im Rahmen dieses Aufsatzes nicht weiter diskutiert werden können [10]. Es sei auch angemerkt, dass in Wärmekabinen und in konventionellen Saunas ein gewisser Hitzestress erwünscht ist. Auch ist noch nicht geklärt, ob durch IR-A Strahlung mehr Wärmeenergie eingebracht werden kann als bei IR-C Strahlung, wo eventuell die oberflächliche Absorption und der früher eintretende Hitzeschmerz einen limitierenden Faktor darstellt.

## 5. Schlussfolgerungen

- Die Anwendung der ICNIRP Grenzwerte für die Schädigung der Augen und der Verbrennung der Haut auf Infrarot Wärmekabinen sollte berücksichtigen, dass bei Strahlern die hauptsächlich im IR-C Bereich emittieren, auch der IR-C Bereich in die Bestimmung der Bestrahlungsstärke zum Vergleich mit dem Grenzwert herangezogen wird, und nicht nur der Anteil, der im Wellenlängenbereich unter 3 µm liegt.
- Der ICNIRP Grenzwert für die Haut ist nur für Verbrennungen, die innerhalb von 10 s eintreten würden, anzuwenden, bei längeren Bestrahlungsdauern schützt normalerweise der Hitzeschmerz, der auftritt, bevor es zur Verbrennung kommt. Vor einer Verwendung von Wärmekabinen, besonders jene mit höheren Intensitäten und eventuellen Hot Spots, soll bei Drogen, Alkohol oder machen Medikamenten daher abgesehen werden.
- Die Entstehung von Hitzemelanose (Erytheme ab Igne) kann besonders bei Strahlern mit Hotspots nach dem heutigen Wissenstand nicht ausgeschlossen werden, obwohl das Risiko als gering bezeichnet werden kann.
- Wegen der möglichen Beeinträchtigung der DNA Reparatur sollte keine Hauttemperaturerhöhung in den Stunden nach einem Sonnenbad oder einem Solariumsbesuch erfolgen.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] CIE International Lighting Vocabulary, Vienna, CIE, 1987
- [2] ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure for Broad-band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 µm), *Health Phys*, 73(3):539-597, 1997
- [3] Konsument, Infrarotkabinen – Heiße Luft, Verein für Konsumenteninformation, Wien, Heft 12/2002
- [4] DIN 33403-3, April 2001, Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße
- [5] Shahrads P and Marks R, The wages of warmth: changes in erythema ab igne, *Brit J Derm*, Vol 97, p 179, 1977
- [6] Peterkin GA, Malignant Change in Erythema ab igne, *British Medical Journal*, p1599-1602, Dec 31 1955
- [7] Cross F., On a Turf (Peat) Fire Cancer: Malignant Change Superimposed on Erythema ab Igne, *Proc R Soc Med* Vol 60, p 1307, 1967
- [8] Goss P, Parsons PG, Temperature-sensitive DNA repair of ultraviolet damage in human cells. *Int. J. Cancer*, Vol 17, p296-303, 1976
- [9] Leun J.C. van der, Gruijl F.R. de, Climate change and skin cancer, *Photochem. Photobiol. Sci.* 1, p324-326, 2002
- [10] ACGIH Documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents in the workroom environment, 4th ed. Cincinnati, OH; American Conference of Government Industrial Hygienists