

### Zusammenfassung

Wärme ist eines der ältesten Heilmittel. Die auf die Erdoberfläche auftreffende Sonnenstrahlung besteht zu etwa 43% aus Infrarot- (IR-)Strahlung. Im Laufe der Geschichte legte sich der Mensch eigene thermische Strahler zu: Feuer, erhitzte Steine, Ofen, Sauna, später IR-Therapiegeräte und neuerdings Millionen von kostengünstigen IR-Bestrahlungskabinen für Wellness und Fitness zu Hause. Die Wirkungen der IR-Strahlung auf den Menschen und seine Haut hängen wesentlich von der Wellenlänge, der Menge und der Häufigkeit der Anwendungen ab. Fast die gesamte langwellige IR-Strahlung (IRC) wird in der oberen Epidermis absorbiert, während große Mengen des nahen Infrarot (IRA) die kleinen, oberflächlichen Blutgefäße erreichen und von dort aus mit dem fließenden Blut den Körper von innen erwärmen. Das kann unterschiedliche günstige oder auch schädliche Wirkungen zur Folge haben. Geschichte, Technologie, Kinetik, Anwendungen, Physiologie, Pathologie, Vorzüge, Gefahren, die Notwendigkeit von Empfehlungen und Reglementierung und mögliche zukünftige Entwicklungen bei der Anwendung künstlich erzeugter IR-Strahlung werden diskutiert. In der Frühzeit der Gewerbedermatologie waren *erythema ab igne* (Hitzemelanose), Hitzeschmerz und -krebs bei Angehörigen von Hitzeberufen wie Schmied, Schweißer, Heizer, Bäcker oder Schauspieler gut bekannt. Andererseits sollten die günstigen Wirkungen aller Arten von IR-Strahlung sorgfältig erforscht werden.

### Abstract

Warmth is one of mankind's oldest remedies. Approximately 43% of solar radiation reaching the earth is infrared radiation (IR). In the course of history man got himself his own thermal radiators, namely fire, hot stones, stoves, sauna, later on therapeutic IR equipment and more recently millions of low-cost IR cabins mainly for wellness and fitness purposes at home. Effects of infrared radiation on human beings and their skin mainly depend on wavelength, amount and frequency of application. Nearly all of far IR radiation (IRC) becomes absorbed inside upper epidermis whereas substantial amounts of near IR (IRA) reach small superficial blood vessels, being transported by flowing blood and warming up the body from inside. This may result in different beneficial effects or damages. History, technology, kinetics, applications, physiology, pathology, advantages, hazards, the need for recommendations and regulations, and possible future developments in use of artificial IR are discussed. In the old days of occupational dermatology *erythema ab igne* (Hitzemelanose), heat smart and heat cancer of professionals like blacksmith, welder, stoker, baker or actor had been well-known. On the other hand beneficial effects of all the kinds of artificial IR should be investigated carefully.

### Institutsangaben

Klinik für Dermatologie, Venerologie und Allergologie (Direktor: Prof. Dr. med. W. Sterry) der Medizinischen Fakultät (Charité) der Humboldt-Universität zu Berlin

### Widmung

Herrn Prof. Dr. E. G. Jung zum 70. Geburtstag gewidmet.  
Auszugsweise vorgetragen vor der Strahlenschutzkommission am 21. November 2001 in Bonn.

### Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. H. Meffert · Universitätsklinik (Charité) · Schumannstr. 20/21 · 10178 Berlin

### Bibliografie

Akt Dermatol 2002; 28: 187–192 © Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York · ISSN 0340-2541

## Einleitung

Als Infrarot- (IR-) oder Wärmestrahlen werden elektromagnetische Felder und Wellen bezeichnet, deren Photonenenergie weniger als 1,59 eV beträgt und deren Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm liegen. Die ursprüngliche und noch immer wichtigste IR-Strahlenquelle ist die Sonne. Im Laufe seiner Geschichte legte sich der Mensch eigene thermische Strahler zu Feuer, erhitzte Steine, Ofen, Sauna, später IR-Therapiegeräte und neuerdings preisgünstige IR-Bestrahlungskabinen für den Hausgebrauch. Die Erhöhung der Haut- bzw. Körpertemperatur ist ein sehr altes therapeutisches Prinzip. Dieses erfreut sich wieder wachsender Beliebtheit und wurde auch auf zeitgemäße Aktivitäten wie Fitness und Wellness übertragen. Jede Neuerung hat ihren Preis. Nach IR-Bestrahlung verzögert auftretende Hautschäden, vom *Erythema ab igne* (Hitzemelanose) bis zum spinzellulären Karzinom, wurden zu Beginn des Industriezeitalters bekannt. Dank des technologischen Fortschritts und effektiver Arbeitsschutzmaßnahmen gerieten diese Kenntnisse nahezu in Vergessenheit. Angesichts der zunehmenden Verwendung von künstlich erzeugter IR-Strahlung in Medizin und Freizeit soll hier über deren erwünschte und unerwünschte Auswirkungen auf den Menschen und seine Haut berichtet werden.

Durch die Wellenlänge der Strahlen sind die Weichen für die Absorptionorte im Körper gestellt. Langwellige Wärmestrahlen (IRC – Wellenlängen von 3000 bis 1000000 nm) werden in den oberen Schichten der Epidermis in Wärme umgewandelt. Mittelwellige Wärmestrahlen (IRB – Wellenlängen von 1400 bis 3000 nm) gelangen zum Teil bis in die papilläre Dermis. Das tiefer eindringende, kurzwellige IRA (Wellenlängen zwischen 780 und 1400 nm) vermag den Inhalt der hautnahen Blutgefäße und damit auch rasch den Körperkern zu überwärmen. Je nach Art und Menge der IR-Strahlung können unterschiedliche Vorgänge ausgelöst werden, deren Spektrum vom thermischen Hautschaden bis zum Training der Blutdruckregulation reicht.

## Historie

Entdeckt wurde die IR-Strahlung im Jahre 1801 durch den Militärmusiker, Physiker und Astronomen Friedrich Wilhelm Herschel [1]. Dieser hatte in einem ansonsten abgedunkelten Raum einen Sonnenstrahl mittels Prisma zerlegt, so dass das Regenspektrum auf die Tischplatte fiel, und deren Erwärmung mit Thermometern gemessen. Unmittelbar hinter (*infra* oder *ultra*) dem Rot war die Temperaturerhöhung wesentlich stärker als im Bereich zwischen Rot und Violett.

Die Erwärmung oder Überwärmung des Menschen ist eine der ältesten Heilmethoden. „Ich heile alle Krankheiten, wenn ich nur Fieber erzeugen könnte“, soll der griechische Arzt Parmenides im vierten vorchristlichen Jahrhundert ausgerufen haben [2]. Immer wieder tauchten und tauchen Berichte über die Heilung als unheilbar geltender Krankheiten nach hochfieberigen Erkrankungen auf. Es lag nahe, die Körpertemperatur für Heilzwecke durch Infizierung mit fieberrregenden Mikroorganismen zu erhöhen. Nach 30-jährigem Zögern infizierte der Wiener Psychiater Wagner von Jauregg zwei an progressiver Paralyse dahinsiechende Männer mit Malaria-Erregern. Die prompte und an-

haltende Besserung war Anlass für die Verleihung des Nobelpreises für Medizin im Jahre 1927 [2].

In kälteren Regionen ist die klassische Sauna seit Jahrhunderten bekannt. In Deutschland wurde die erste Sauna im Jahre 1936 für die finnische Olympiamannschaft gebaut. Jetzt existieren hier mehr als 15000 Saunen [3]. Noch größer dürfte die Zahl der mit thermischen Strahlern betriebenen IR-Kabinen sein, die vor wenigen Jahren von Japan aus ihren Siegeszug antraten.

## Wärmetransport in der Sauna und in Infrarot-Bestrahlungsgeräten

Die Penetration des IR ist von der Wellenlänge abhängig und wird durch die Remissions- und Absorptionseigenschaften der Haut bestimmt. Das in das Stratum papillare und bis in die Subkutis eindringende IRA vermag oberflächlicher gelegene Hautschichten nur indirekt, d. h. über Wärmeleitprozesse zu erwärmen. IRB wird größtenteils, IRC komplett in der Epidermis absorbiert. Beide Strahlenqualitäten können tiefere Schichten nur über sekundäre Wärmeleitprozesse oder reflektorisch erwärmen. Die Wärmebilanz der Haut wird bestimmt durch

- Strahlungswärme (IRA, IRB und IRC),
- fühlbare Wärme (erwärmte Luft oder Kontaktflächen),
- Verdunstungsenergie bzw. Kondensationswärme,
- im Körper produzierte metabolische Wärme.

## Sauna

Fortschritte der IR-Messtechnik ermöglichten es unlängst, das IR-Strahlungsklima in der Sauna spektral und in hoher Auflösung zu vermessen [4]. In Abb. 1 ist die typische spektrale Verteilung der IR-Strahlung in einer Finnischen Sauna und in einer Dampfsauna dargestellt.

In klassischen Saunatypen (Finnische und Russische Sauna, Türkisches Bad, Arabisches Rasulbad) werden fühlbare Wärme, latente Wärme und Strahlungswärme in vergleichbaren Anteilen genutzt. Die Erwärmung der Haut erfolgt durch das von den er-

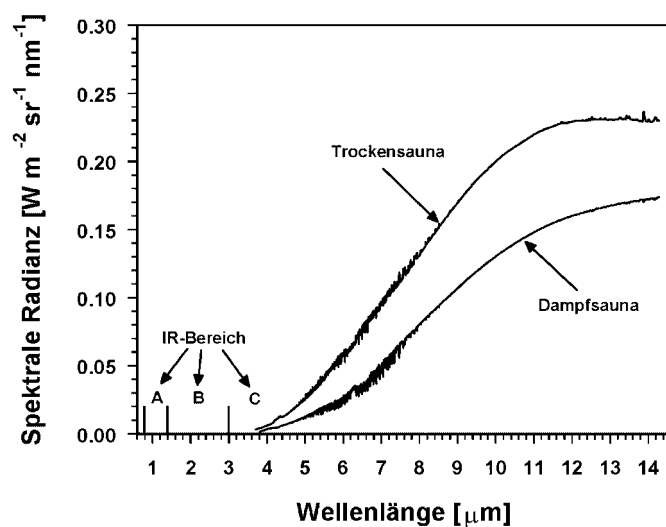


Abb. 1 Spektrale Verteilung der Infrarotstrahlung in einer Finnischen Sauna und in einer Dampfsauna. Es wurde ausschließlich IRC gemessen.

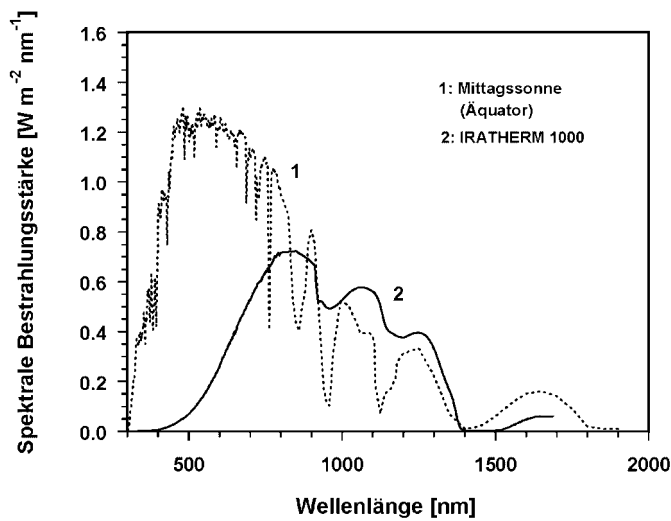


Abb. 2 Vergleich der Mittagssonne am Äquator mit der Emission eines IRA-Therapiegerätes Iratherm 1000 in der Nutzerebene gemessen.

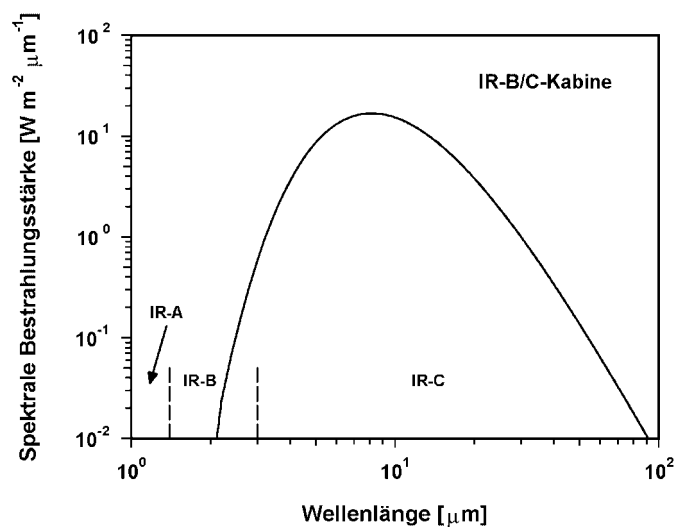


Abb. 3 Spektrale Verteilung der Infrarotstrahlung in einer Bestrahlungskabine mit maximaler Emission im IRC und IRB.

hitzten Steinen und Holzwänden abgegebene IRC, durch Wärmeleitung aus der Luft und von der Auflagefläche des Körpers.

### Infrarot-A-Geräte

Ein zur milden IRA-Hyperthermie therapeutisch genutztes Gerät wurde vor sieben Jahren in dieser Zeitschrift vorgestellt [5]. Die Erwärmung des Körpers erfolgt weitaus überwiegend durch das tief eindringende IRA. Wegen der nur geringen Absorption und als Folge der Thermoregulation wird die Haut an vielen Stellen geringer erwärmt als das Körperinnere [6].

### Infrarot-Kabinen

Abhängig von der Temperatur des Strahlers kann die Emission von Bestrahlungsgeräten variiert werden. Bevorzugt werden Kabinen mit Emission im IRB und IRC angeboten (Abb. 3). Die Erwärmung der Haut erfolgt ausschließlich durch Strahlung.

### Wirkungen der Infrarotstrahlung

IR-Strahlung, Licht und Ultraviolett (UV) können mit optischen Mitteln wie Spiegeln, Linsen, Gittern oder Blenden manipuliert werden. Deshalb werden sie als „optische Strahlung“ zusammengefasst. Etwa 43% der die Erdoberfläche erreichenden Solarstrahlung sind dem IR zuzurechnen. In den folgenden Abschnitten wird besprochen, auf welche Art und Weise IR den Menschen erwärmt. Aber auch Licht und UV können uns nach Absorption und Energieumwandlung erwärmen. Von aller optischer Strahlung – das sei hier wiederholt – dringt IRA am tiefsten ein.

### Infrarotstrahlenwirkungen an Molekülen, Zellen und Geweben

Dem Grothus-Draperschen Gesetz zufolge kann nur absorbierte Strahlung wirken. Das gilt natürlich auch für den Menschen. Ausgangspunkt aller photobiologischen Effekte sind Wechselwirkungen von Strahlen und Molekülen. Zielstrukturen der IR-Strahlung sind im IR absorbierende Verbindungen (sog. Chromophore), vor allem Wasser (1000–1700 nm, Maxima bei 940, 1180 und 1380 nm) und eine Vielzahl organisch-chemischer Verbindungen. Wegen der geringen Quantenenergie kann IR-Strahlung

nur erwärmen, nicht aber chemisch modifizieren. Das gilt selbst für die sehr großen Energiedichten, wie sie mittels Laser realisiert werden können. Für IRA ist Wasser das wesentliche Chromophor. Im Falle hoch dosierter Laser-Anwendung kann das Gewebswasser schlagartig überhitzt werden, so dass es das getroffene Gewebe koaguliert und schneidet. Auch bei moderater therapeutischer IRA-Anwendung werden die biologischen Effekte von der Absorption des Wassers und dem Eindringvermögen der Strahlung bestimmt. Anders als IRB oder IRC wird IRA in den oberen Hautschichten nur partiell absorbiert. Ein wesentlicher Anteil des IRA wird erst in Höhe der hautnahen Blutgefäße aus Strahlung in Wärme umgewandelt. Diese wird mit dem strömenden Blut im Körper verteilt. Anders formuliert: Wie auf Katzenpfötchen schleicht IRA durch die Epidermis, wird in und nahe kleiner Blutgefäße in Wärme verwandelt, die mit dem strömenden Blut rasch im Körper verteilt wird, d. h., der Körper wird nach dem Prinzip der Warmwasserheizung von innen erwärmt. Dagegen werden IRB und IRC bereits in den oberen Schichten der Epidermis nahezu quantitativ absorbiert und erwärmen nur diese direkt. Abhängig von Bestrahlungsstärke und -häufigkeit können der Erwärmung Hitzeerythem, -schmerz, -entzündung, -pigmentierung und letztendlich -krebs folgen.

### Kinetiken biologischer Strahlenwirkungen

Frühe (physikalische) Strahlenwirkungen stellen sich innerhalb von Sekundenbruchteilen ein. Späte (biologische) Strahlenwirkungen benötigen Minuten bis Jahrzehnte. Die Absorption der auftreffenden IR-Strahlung und der intramolekulare Energietransport (die physikalischen Primäreignisse) laufen sehr schnell ab, oft innerhalb von Nano- bis Mikrosekunden. Auch die sich anschließenden chemischen Vorgänge, wie die Bildung freier Radikale oder angeregter Sauerstoffspezies (die chemischen Sekundäreignisse), erfolgen rasch. Die Quantenenergie des IR reicht nicht aus, um freie Radikale durch homolytische Spaltung kovalenter Bindungen zu erzeugen. Jedoch können freie Radikale in lebenden Strukturen durch IRA initiiert werden, beispielsweise in weißen Blutkörperchen [7].

Biologische Reaktionen wie Entzündung, Pigmentierung oder auch therapeutische Effekte benötigen Stunden bis Tage. Patho-

logische Frühwirkungen, wie durch IR ausgelöste oder aggravierete Erkrankungen, stellen sich innerhalb von Tagen bis Monaten ein. Pathologische Spätwirkungen, wie *Erythema ab igne* oder Hautkrebs, sind erst nach Jahren bis Jahrzehnten erkennbar. Die Zeitkonstante eines Primäreignisses (Nanosekunden) und die einer Spätwirkung (Jahrzehnte) kann sich um den Faktor  $10^{17}$  unterscheiden. Bei solcherart großen Unterschieden in der Kinetik biologischer Strahlenwirkungen ist es gut verständlich, dass es schwer fallen kann, Ursache und Ergebnis im Zusammenhang zu sehen.

### Infrarot und Wärme für Therapie, Prophylaxe, Fitness, Wellness

Einfache Wärmeanwendungen gehören seit jeher zum therapeutischen Arsenal. Im Laufe der Geschichte wurde der technische Aufwand größer. Einen vorläufigen Abschluss erfuhr diese Entwicklung mit Vorrichtungen vom Typ der Sauna. Diese werden seit Jahrhunderten genutzt und gelten deshalb als im Großen und Ganzen sicher. Das kann für die neueren Systeme, die mittels elektrisch erzeugter IR-Strahlung erwärmen, nicht ohne weiteres vorausgesetzt werden.

Im Zeitalter der beweispflichtigen Therapie (*Evidence Based Medicine*) haben es nicht medikamentöse Verfahren schwer. Doppelblinde Studien sind oft nicht möglich. Nicht immer kann per Placebo kontrolliert werden. Als am besten untersucht gelten Saunawirkungen. Aber selbst den diesbezüglichen Studien mangelt es in der Regel an

- Randomisierung,
- aussagefähigen Kontrollen und – bei Sauna zweifellos wichtig
- Berücksichtigung der sozialen Komponente.

Von einigen Herstellern und Anwendern von IR-Bestrahlungsgeräten werden Effekte wie „Ausschwemmen von Schadstoffen“, „Stärkung des Immunsystems“, „Verminderung der Zellulitisbildung“ oder „Gewichtsabnahme“ behauptet, oft ohne dass hierfür irgendwelche, geschweige denn valide Untersuchungsergebnisse vorgelegt werden könnten.

### Sauna

Die massive Erwärmung der Hautoberfläche wirkt als ein Reiz, der verschiedenartige Wirkungen auslösen kann: verbesserte Beweglichkeit von Gelenken und Schmerzlinderung bei rheumatischen Erkrankungen, Blutdrucksenkung bei arterieller Hypertonie [8], beschleunigte Wundheilung, zunächst vermehrte, denn verminderte Infektanfälligkeit u. a. [2,9]. Das von engagierten Saunagängern geschilderte Glücksgefühl soll durch die Ausschüttung von  $\beta$ -Endorphinen zustande kommen [10]. Die seit Jahrhunderten immer wieder beschriebenen Erfolge von Saunaanwendungen werden oft als Folge langfristiger Adaptation erklärt. Das betrifft besonders Veränderungen im Tonus der vegetativen Regulation des Herzens, des Blutdrucks und der peripheren Durchblutung. In der Regel werden serielle Anwendungen und Auffrischungen für erforderlich angesehen.

### Infrarot-A-Geräte

Erwärmung wird meist als angenehm empfunden. Überwärmung – wie sie in IRA-Geräten möglich ist – kann lästig werden und schaden, wenn sie größere Ausmaße annimmt. Ein effektives Regelsystem sorgt für Temperaturkonstanz im Körperkern [11]. Um überschüssige Wärme in die Umgebung abgeben zu

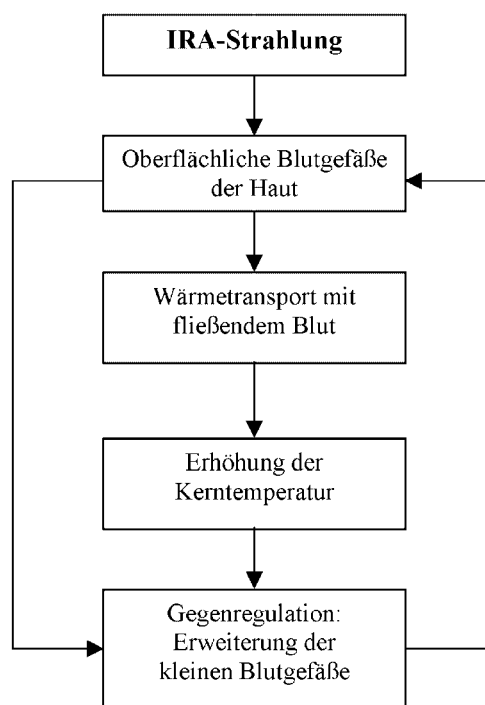


Abb. 4 Hypothetischer Mechanismus der Blutdrucksenkung durch serielle IRA-Anwendungen (nach [5]).

können, muss diese zunächst an die Körperoberfläche transportiert werden. Hierfür müssen die kleinen hautnahen Blutgefäße weitergestellt werden. Das lässt den Blutdruck fallen. So bewirkt IRA-Bestrahlung eine Senkung des peripheren Blutdrucks. Mit zunehmender Erweiterung der kleinen hautnahen Blutgefäße werden immer größere Blutvolumina von IRA getroffen. Damit wird dem Körper zunehmend mehr Wärme zugeführt.

Das in Abb. 4 dargestellte Regelsystem wird bei impulsiver Steigerung der Körperkerntemperatur trainiert, z. B. infolge körperlicher Belastung oder durch IRA-Bestrahlung. Bei inaktiver Lebensweise verringern sich Regelbreite und -güte. Dieser Hypothese zufolge lässt sich die Zivilisationskrankheit Bluthochdruck teilweise als Folge eines Mangels an schweißtreibenden Betätigungen erklären. Um seinen Kreislauf zu trainieren, sollte man oft genug – vielleicht jeden Tag einmal – kräftig schwitzen. Wer seine Körperkerntemperatur nicht regelmäßig durch anstrengenden Sport oder andere körperliche Belastung zu steigern vermag, dem können IRA-Expositionen empfohlen werden [5].

Zur milden IRA-Therapie wird die Bestrahlungsstärke so eingerichtet, dass die Körperkerntemperatur während der 30-minütigen Bestrahlung maximal um  $1^\circ\text{C}$  ansteigt. Dieses Verfahren hat sich besonders bei Erkrankungen mit Raynaud-Symptomatik bewährt. Nach seriellen Anwendungen der milden IRA-Hyperthermie (acht Expositionen innerhalb von vier Wochen) war bei systemischer Sklerodermie die Raynaud-Symptomatik noch 18 Wochen nach der Bestrahlungsserie deutlich vermindert [11]. Zur Behandlung der arteriellen Hypertonie in den Stadien I und II der WHO-Definition werden auch nicht medikamentöse Maßnahmen wie regelmäßiges, ausgiebiges Training durch Laufen, Schwimmen, Gewichtheben, Überwärmungs- oder Saunabäder empfohlen. Bei 35 von 40 Kranken mit arterieller Hypertonie verbesserten sich die Blutdruckwerte nach einer IRA-Bestrahlung

lungsserie deutlich [5]. Die IRA-Behandlung der peripheren arteriellen Hypertonie befindet sich noch im Erprobungsstadium. Von Seiten der Inneren Medizin werden gegenwärtig die Eignung und die Einordnung des Verfahrens in das Gesamtkonzept der antihypertensiven Therapie überprüft. Schädwirkungen durch IRA-Bestrahlung (s. unten) drohen insbesondere bei massivem Wärmeeintrag, der die Körperkerntemperatur bis in kritische Bereiche steigern kann. Dem sollte durch eine Klassifizierung der IRA-Geräte, verbunden mit den gegebenenfalls erforderlichen Begrenzungen und Überwachungsmaßnahmen, Rechnung getragen werden.

**Infrarot-Kabinen**

Die Nutzung von IR-Kabinen ermöglicht die ausschließliche Erwärmung durch Strahlenabsorption unter Verzicht auf Beiträge konvektiver Wärme. Auch ist der zum ersten Schweißausbruch erforderliche Energieaufwand eher gering. Die Geräte erreichen ihre Betriebsbedingungen innerhalb von Minuten. Das alles spart Kosten. In den erst seit wenigen Jahren verfügbaren Kabinen wird weitaus überwiegend IRB oder IRC erzeugt. Jedoch wäre es technisch auch möglich, IRA- oder IRA-betonte Kabinen herzustellen. Da die spektrale Verteilung in weiten Grenzen variiert werden kann, eröffnen sich entsprechende Perspektiven für unterschiedliche Anwendungen. Leider mangelt es an Studien, die heutigen Anforderungen genügen. Deshalb sind gegenwärtig keine präzisen Aussagen über die Risiken der IR-Kabinen möglich. Erforderlich sind Kenntnisse und Angaben zu den erwünschten wie unerwünschten Wirkungen und deren Abhängigkeit von spektraler Verteilung, Dosis, Bestrahlungshäufigkeit, Hauttyp, Kombination mit anderen Strahlenqualitäten u.a. Es besteht erheblicher Forschungs- und Erprobungsbedarf.

**Gefahren und Schäden**

Schilderungen von Hautschäden durch künstlich erzeugte Wärmestrahlen oder durch den Hautkontakt mit erhitzten Materialien finden sich bereits in Publikationen aus der Frühzeit der Gewerbedermatologie. Hitzeberufe wie Schmied, Schlosser, Schweißer, Glasmacher, Glasbläser, Lokomotivheizer, Bäcker und auch im Rampenlicht agierende Schauspieler brachten es mit sich, dass an Stellen oft wiederholter, aber nicht zu starker Wärmeeinwirkung – oft im Gesicht und an den Unterarmen – eine netzartige, rotbraune Zeichnung auftrat. Diese wurde im Jahre 1911 von A. Buschke als *Erythema ab igne* oder Hitzemelanose bezeichnet. Summationseffekte sind für die Entstehung der Hitzemelanose wesentlich. Die dabei wirksame örtliche Temperaturerhöhung ist nicht groß genug, um eine Nekrose auszulö-

sen. Heute sieht man die Hitzemelanose gelegentlich über den Schulterblättern von Personen, die sich gewohnheitsmäßig mit dem Rücken an einen Kachelofen schmiegen oder an der Bauchhaut nach häufigem Gebrauch von Wärmflaschen oder Heizkissen. Auf dem Boden der Hitzemelanose können sich Plattenepithelkarzinome entwickeln. Dieses wurden unter eher exotischen Umständen bekannt, als „schottischer Kaminkrebs“, als *Turf Fire Cancer* irischer Bäuerinnen oder als asiatischer „Kangri-Krebs“ nach häufiger Hitzeexposition durch unter dem Mantel getragene Öfchen. Aber auch im aktuellen Schrifttum finden sich Berichte über die Entstehung von Plattenepithelkarzinomen im Bereich eines *Erythema ab igne*. Dabei wird die kanzerogene Wirkung der IR-Strahlung diskutiert, „... wobei möglicherweise ähnliche Mechanismen wie bei der UV-Licht induzierten Kanzerogenese eine Rolle spielen“ [12].

Den Hitzeschmerz lösen Temperaturrezeptoren aus, die auf fühlbare Wärme reagieren und in der Epidermis gelegen sind. Nach Einwirkung zu großer IRB- oder IRC-Bestrahlungsstärke veranlasst der Hitzeschmerz den Betroffenen, sich der lästigen Einwirkung zu entziehen. Dagegen passiert IRA-Strahlung die Rezeptoren, ohne in fühlbare Wärme umgewandelt worden zu sein. Das geschieht erst in tieferen Schichten. Eine Besonderheit von IRA-Geräten besteht darin, dass die erreichbaren Bestrahlungsstärken den Betrag der Solarstrahlung mehrfach übertreffen können (siehe Abb. 2). Es können in kurzer Zeit große Wärmemengen in den Körper eingetragen werden, ohne dass das Warnsymptom Hitzeschmerz ausgelöst wird. So ist es möglich, die Körperkerntemperatur auf Werte von über 42 °C zu erhöhen, wonach ein Kreislaufkollaps oder die seltene maligne Hyperthermie drohen. Gefährlich kann jede Art forciert Wärmebehandlung für Kranke mit schweren Herz- oder Anfallsleiden werden. Bei Todesfällen in der Sauna war meist Alkohol im Spiel [8]. Zusammengefasst können akute Gefährdungen durch künstlich erzeugte IR-Strahlung vor allem zustande kommen, weil

- große Mengen von IRA die epidermalen Thermorezeptoren passieren können, ohne erheblichen Hitzeschmerz auszulösen, während
- große Mengen von IRB und IRC wohl einen Hitzeschmerz auslösen, der aber vom Betroffenen bewusst übergangen werden kann.

**Arbeitsschutzempfehlungen**

Weil Wärmeempfinden und Hitzeschmerz zur Begrenzung der Wärmezufuhr durch IR-Geräte unzureichend sind, wurden von Seiten des Arbeitsschutzes Grenzwerte zur Vermeidung ther-

Tab. 1 Arbeitsschutzempfehlungen zulässiger Obergrenzen der Bestrahlungsstärke bei der Infrarotbestrahlung der Haut und der Augen für Bestrahlungszeiten oberhalb 1000 Sekunden [13–19]

Empfehlung	Obergrenze der Bestrahlungsstärke [W m <sup>-2</sup> ]				
	IESNA – RP 27 [14]	ACGIH T.L.V. [13]	TNO 12 F 1993, R88/445 [15, 16]	DIN 33 403-3 [18] DIN 5031/10 [19]	Gezondheidsraad 1993 [17]
Augen	100	100 (IRA und IRB)	1000	–	1000
Haut (Teilkörper)	300–500	–	–	–	–
Haut (Ganzkörper)	100	–	–	1000 (Schmerzgrenze) [18]	1000
Komfortbereich	–	–	300–400	–	–
Therapie	–	–	–	1200 W m <sup>-2</sup> [19]	–



misch bedingter Schäden an Haut und Augen festgelegt. Diese definieren im Arbeitsprozess zulässige Bestrahlungsstärken unter Berücksichtigung der Expositionsdauer (Tab. 1).

Arbeitsschutzempfehlungen gelten in ihrem Bestimmungsbereich, d. h. nicht für Therapie oder Freizeitgestaltung. Der Schutzgedanke versucht, jegliches Risiko zu vermeiden. Deswegen tendieren Arbeitsschutzempfehlungen zu möglichst niedrigen Grenzwerten. Die zitierten Arbeitsschutzempfehlungen sollten nicht für Therapie oder Freizeitgestaltung übernommen werden. Doch könnten sie Anhaltspunkte für zu erarbeitende Empfehlungen und Klassifizierungen abgeben. Für die therapeutische Anwendung von IR ist ein einziger Grenzwert bekannt geworden. In DIN 5031-10 wird angegeben, dass bei therapeutischer Anwendung von IR-Strahlung des Spektralbereiches 600–1400 nm die Bestrahlungsstärke  $1200 \text{ W m}^{-2}$  nicht überstiegen werden sollte [19]. Einige therapeutische Anwendungen erfordern größere Bestrahlungsstärken, die nach den vorliegenden Erfahrungen mit wassergefilterter IRA-Strahlung gut vertragen werden.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Wirkungen der IR-Strahlung auf den Menschen sind weder gut noch schlecht. Schließlich gehört der Sonnenschein zu unserer natürlichen Umwelt. Die Sonne hat ein Janusgesicht, wie der altrömische Gott, der die Himmelspforte bewacht [20]. Bei der Anwendung von IR-Strahlung am Menschen entscheiden Dosis und Wellenlänge, aber auch Häufigkeit und zeitliche Abfolge der Bestrahlungen über die Wirkung als Gift oder Heilmittel. Wärmeanwendungen gehören zu den ältesten therapeutischen Mitteln des Menschen. In neuerer Zeit führten technischer Fortschritt, Erkenntnisse der Grundlagenforschung und kritische Empirie zu neuen Indikationen der Wärmetherapie. Hier seien die günstigen Wirkungen auf Raynaud-Symptomatik und Blutdruckregulation genannt. Neuere Ergebnisse der Grundlagenforschung versprechen Schutz- und Reparaturwirkungen des IRA hinsichtlich UV-Karzinogenese, -Alterung und akutem oxidativem Stress [21,22].

*In puncto* Wirkung künstlich erzeugter IR-Strahlung auf den gesunden und den kranken Menschen besteht erheblicher Forschungsbedarf. Es ist erforderlich, die spektrale Abhängigkeit wesentlicher IR-Effekte wie Erythembildung, Immun- und Resistenzmodulation, Hautalterung und Karzinogenese und Kombinationseffekte mit sichtbarer und ultravioletter Strahlung zu untersuchen. Eine Klassifizierung der IR-Bestrahlungsgeräte in Anlehnung an das für Solarien übliche Verfahren erscheint erforderlich.

### Literatur

- 1 Herschel FW. Investigations of the power of the colours to heat and illuminate objects, with remarks that prove the different refrangibility of radiant heat. Gilbert's Ann 1801; 7: 137–157
- 2 Heckel M. Ganzkörper-Hyperthermie und Fiebertherapie. Grundlagen und Praxis. Stuttgart: Hippokrates-Verlag, 1990
- 3 Pieper RA. Öffentliche Saunabäder in Deutschland. Saunabetrieb & Bäderpraxis 3/2000
- 4 Piazena H, Meffert H. Therapie mit Infrarotstrahlen – Physikalische Grundlagen und Anwendung in der Sauna und in Infrarotkabinen. In: Bühring M und Kemper FH (Hrsg). Naturheilverfahren. Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2001
- 5 Meffert H, Scherf H-P, Meffert B. Milde Infrarot-A-Hyperthermie. Grundlagen, Bestrahlungstechnik, biologische Effekte und therapeutische Anwendungen. Akt Dermatol 1994; 20: 25
- 6 Meffert H, Hecht H-C, Günther H et al. Biophysikalische Ergebnisse des klinischen Tests der IRA-Therm-Hyperthermiertechnik der 2. Generation. ThermoMed 1990; 6: 71–78
- 7 Meffert H, Müller GM, Scherf H-P. Milde Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung von Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises. Anhaltende Verminderung der Aktivität polymorphkerniger Granulozyten. Intern Sauna-Arch 1993; 10: 125–129
- 8 Hannuksela NL, Ellahham S. Benefits and risks of sauna bathing. Am J Med 2001; 110: 118–126
- 9 Conradi E, Brenke R, Philipp S. Häufigkeit akuter respiratorischer Erkrankungen und sekretorisches Immunglobulin A im Speichel unter dem Einfluß regelmäßigen Saunabadens von Kindern. Phys Med Rehabil Kurortmedizin 1992; 2: 19–21
- 10 Vescovi PP, Coiro V. Hyperthermia and endorphins. Biomed Pharmacother 1993; 74: 301–304
- 11 Vaupel P, Krüger W. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Stuttgart: Hippokrates-Verlag, 1992
- 12 Rudolph CM, Soyer HP, Wolf P, Kerl H. Plattenepithelkarzinome bei Erythema ab igne. Hautarzt 2000; 52: 260–263
- 13 ACGIH. American conference of governmental industrial hygienics – Threshold limit values 1994–1995
- 14 IESNA-RP 27. Illuminating engineering society of North America – Report BSR IESNA RP 27
- 15 TNO 12 F 1993. Nederlandse organisatie voor toegepast wetenschappelijk onderzoek. Report # 12 F 1993-AB. Calculations on threshold limit values for cataract
- 16 TNO R88/445. Nederlandse organisatie voor toegepast wetenschappelijk onderzoek. Report R88/445. Behaaglijkheidscriteria bij de toepassing van IRK stralers
- 17 Gezondheidsraad: Optical radiation – Health based exposure limits for electromagnetic radiation in the wavelength range from 100 nanometers to 1 millimetre. – Report from the Committee on Optical Radiation of the Health Council of the Netherlands. Report 19932/09E, The Hague, June 28, 1993
- 18 DIN 33 403, Teil 3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummen. Berlin: Beuth Verlag, 2001
- 19 DIN 5031, Teil 10: Strahlungsphysik im optischen Bereich (Ultraviolett, Licht, Infrarot) – Größen, Formel- und Kurzzeichen für photobiologisch wirksame Strahlung. Berlin: Beuth Verlag, 1999
- 20 Giese AC. Living with our sun's ultraviolet rays. New York: Plenum Press, 1976
- 21 Meneces S, Coulomb B, Lebreton C, Dubertret L. Noncoherent near infrared radiation protects normal human dermal fibroblasts from solar ultraviolet toxicity. J Invest Dermatol 1998; 111: 629–633
- 22 Applegate LA, Scaletta C, Panizzon R et al. Induction of the putative protective protein ferritin by infrared radiation: Implications in skin repair. Internat J Molec Med 2000; 5: 247–251