



Informationen der
Strahlenschutzkommission (SSK)
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Nummer 6 (2001)

Schutz des Menschen vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien

Empfehlung der Strahlenschutzkommission
und Wissenschaftliche Begründung

Herausgegeben von der
Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission

Herausgegeben im Auftrag des

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

von der

Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission

Postfach 12 06 29

53048 Bonn

Redaktion: Horst Heller

Bonn, September 2001

© Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit · 2001

Satz: Mikko Gumprecht, Berlin

Druck: Köllen Druck + Verlag GmbH, Bonn

Informationen der Strahlenschutzkommission (SSK)
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Nummer 6 (2001)

Schutz des Menschen vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien

Empfehlung der Strahlenschutzkommission
und Wissenschaftliche Begründung

**Schutz des Menschen
vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien 1**
Empfehlung der Strahlenschutzkommission

**Schutz des Menschen
vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien 23**
Wissenschaftliche Begründung
zur gleichnamigen Empfehlung der Strahlenschutzkommission

**Schutz des Menschen vor den Gefahren
der UV-Strahlung in Solarien**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 172. Sitzung am 8. Juni 2001

Einleitung

In der Freizeit, im Urlaub, bei der Arbeit und im normalen Alltag ist die Bevölkerung der natürlichen UV-Strahlung durch die Sonne ausgesetzt. Es reichen schon geringe Expositionen aus, um den einzigen im Detail beschriebenen UV-abhängigen biopositiven Effekt, die Vitamin D₃-Synthese, zu vermitteln. Allerdings haben Verhaltensänderungen in den letzten Jahrzehnten dazu geführt, dass sich immer größere Bevölkerungsgruppen "überexponieren", um einen braunen Teint zu erlangen, welcher den gesunden, attraktiven und aktiven Menschen charakterisieren soll. Dabei werden schädigende Einflüsse der UV-Strahlung, wie Sonnenbrände, das Risiko der frühzeitigen Hautalterung und letztlich auch das Risiko der UV-induzierten Hautkrebsentstehung nicht genügend berücksichtigt. Dies gilt um so mehr, wenn neben der natürlichen UV-Exposition noch eine zusätzliche Exposition durch künstliche UV-Strahlung vorliegt.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) beobachtet in den letzten Jahren eine zunehmende Nutzung künstlicher UV-Strahlung zu kosmetischen Zwecken (wie z.B. Bräunung) und im Wellness-Bereich. Sie befürchtet, dass infolge der damit verbundenen Zunahme der UV-Exposition der Bevölkerung auch die UV-bedingten Gesundheitsschäden ansteigen. Es wird geschätzt, dass sich im Mittel jeder Bundesbürger ca. 2-3 mal pro Jahr einer Bestrahlung im Solarium aussetzt, manche Bundesbürger setzen sich sogar regelmäßig einer täglichen Bestrahlung aus.

Bei der Nutzung von künstlich erzeugter UV-Strahlung in kommerziell oder privat betriebenen UV-Bestrahlungsgeräten (Solarien oder Heimsonnen) können akute und chronische Strahlenwirkungen auftreten, wie sie auch von der natürlichen Sonnenbestrahlung her bekannt sind. Die vielfach propagierte Einschränkung des Wellenlängenbereichs der künstlichen UV-Strahlung auf bestimmte Spektralbereiche ergibt keine Verminderung des Risikos.

Die SSK weist ausdrücklich darauf hin, dass sich die vorliegende Empfehlung ausschließlich auf die Nutzung künstlicher UV-Strahlung im Kosmetik- und Wellness-Bereich bezieht. Die Empfehlung betrifft insbesondere nicht eine medizinisch indizierte UV-Bestrahlung zum Nutzen von Patienten im

Rahmen von Therapie-Maßnahmen; hier unterliegt die Risiko-Nutzen-Abwägung im Einzelfall dem ärztlichen Sachverstand.

Der Empfehlungstext richtet sich in erster Linie an die Nutzer von Solarien, aber auch an Solarienbetreiber und Solarienhersteller sowie an den Gesetzgeber, um einer möglichen Erhöhung des Risikos der Gesundheitsgefährdung durch künstliche UV-Strahlung auf allen notwendigen Ebenen entgegenzuwirken.

Den Normungsgremien wird empfohlen, bei ihren Beratungen die nachfolgenden Empfehlungen zu berücksichtigen.

Empfehlungen

I. Generelle Empfehlungen

In Übereinstimmung mit internationalen Empfehlungen (ICNIRP, EURO-SKIN, WHO) empfiehlt die Strahlenschutzkommission, künstliche UV-Strahlung zu kosmetischen Zwecken, zur Steigerung des allgemeinen Wohlbefindens oder zur nicht medizinischen Gesundheitsprophylaxe wegen der damit verbundenen Risiken **nicht** zu nutzen. Insbesondere sollten Personen mit empfindlicher Haut, die immer einen Sonnenbrand bekommen und eine Bräunung kaum erreichen (Hauttyp I), sowie Kinder und Jugendliche bis zum 18. Lebensjahr **nicht** der Strahlung von Solarien und UV-Heimsonnen ausgesetzt werden.

Diese Empfehlungen werden durch den allgemeinen Wissensstand über die möglichen schädigenden Wirkungen künstlicher und natürlicher UV-Strahlung begründet (s. wissenschaftliche Begründung).

Die Strahlenschutzkommission empfiehlt darüber hinaus, dass solche Personen kein Solarium nutzen sollten, die

- eine große Zahl (mehr als 40-50) von Pigmentmalen (Naevi) aufweisen
- atypische Pigmentmale aufweisen
- angeborene (congenitale) große Pigmentmale aufweisen
- zu Sommersprossen/Sonnenbrandflecken (Lentigines) neigen
- viele Sonnenbrände in der Kindheit erlitten haben
- Vorstufen von Hautkrebs zeigen
- an Hautkrebs erkrankt sind oder waren
- eine genetische Prädisposition für Hautkrebs besitzen
- sich Organtransplantationen unterzogen haben und
- bei denen ein familiäres malignes Melanom vorliegt.

Die Anzahl erworbener Pigmentmale (Naevi) am gesamten Körper stellt einen relativ hohen Risikofaktor für das Auftreten des malignen Melanoms der Haut (sog. schwarzer Hautkrebs) dar. Für Personen, die mehr als 50 Naevi aufweisen, wird eine Erhöhung des relativen Risikos um einen Faktor 5-15 beschrieben [6]. Viele Befunde weisen weiterhin darauf hin, dass UV-Strahlung der entscheidende Faktor für die Pigmentmal-Genese ist [1-5, 7-11, 15]. Insbesondere eine intermittierende UV-Exposition, verbunden mit Sonnenbränden, erhöht die Anzahl erworbener Naevi und damit das Melanomrisiko [12, 13, 14].

Sommersprossen/Sonnenbrandflecken (Lentiginos) sind kleinflächige Pigmentierungen der Haut, deren Entstehung wahrscheinlich genetisch bedingt ist und die als Indikator für die UV-Empfindlichkeit der Haut sowie eine zurückliegende übermäßige UV-Exposition angesehen werden können. Es besteht eine starke Assoziation des Auftretens des malignen Melanoms für Personen mit starker Sommersprossen-/Sonnenbrandflecken (Lentiginos)-Bildung im Vergleich zu solchen, die nur wenige solcher Flecken zeigen (relatives Risiko $RR = 3,0$) [16]. Sie treten besonders häufig bei Personen mit roten oder blonden Haaren und heller Haut auf (Hauttyp I) [17-19]. Diesem Personenkreis wird die Nutzung von Solarien grundsätzlich nicht empfohlen.

Sonnenbrände, die in der Kindheit erlitten wurden, sind nachgewiesenermaßen mit der Erhöhung der Anzahl erworbener Naevi (Pigmentmale) korreliert [12-15]. Letztere stellt einen hohen Risikofaktor für das maligne Melanom (schwarzer Hautkrebs) dar. Personen, die viele Sonnenbrände in der Kindheit erlitten haben, sollten daher eine zusätzliche Exposition gegenüber künstlicher UV-Strahlung meiden.

Personen, deren Haut Vorstufen eines Hautkrebses aufweist (z.B. aktinische Keratosen als Vorstufe des Plattenepithel-Karzinoms) oder die an Hautkrebs erkrankt sind oder waren, sollten zusätzliche Expositionen durch künstliche UV-Strahlung meiden. Das Vorliegen von Vorstufen des Hautkrebses oder einer Hautkrebserkrankung weist sie Risikogruppen zu, die schon empfindlich auf zurückliegende UV-Expositionen reagiert haben. Sie gehören daher zu einem Personenkreis mit

hoher UV-Sensitivität oder möglicher genetischer Prädisposition und sollten sich dem Risiko zusätzlicher UV-Exposition nicht aussetzen.

Organtransplantationspatienten sind häufig künstlich immunsupprimiert, um Organabstoßung vorzubeugen. Sie sollten sich der nachgewiesenen Immunsuppression durch UV-Strahlung nicht zusätzlich aussetzen.

Gängige und ständig weiterentwickelte wissenschaftliche Modelle zur Hautkrebsentstehung unterstützen diese Einschätzung [20-34].

Die Strahlenschutzkommission betont ausdrücklich, dass eine fachgerechte Therapie bestimmter Erkrankungen durch künstliche UV-Quellen nur von fachkundigen Ärzten in klinischen Einrichtungen oder entsprechend ausgestatteten Fachpraxen erfolgen darf.

Eine fachgerechte Therapie bestimmter Hauterkrankungen (wie z.B. der Psoriasis) kann nur in klinischen Einrichtungen oder Fachpraxen unter Einsatz geeigneter therapeutischer Bestrahlungseinheiten und nach kompetenter Einschätzung des Nutzen/Risiko-Faktors durch den fachkundigen Arzt erfolgen. Solarien sollten daher nicht zu therapeutischen Zwecken eingesetzt werden, um die Gefahr einer möglichen "Eigendiagnose" und nachfolgender "Eigentherapie" durch den photobiologisch und ärztlich nicht vorgebildeten Nutzer und die damit verbundenen Risiken für die Gesundheit auszuschließen.

II. Verhaltensempfehlungen für den Nutzer

Erfolgt trotz der generellen Empfehlung, künstliche UV-Strahlung zu kosmetischen Zwecken nicht zu nutzen, eine Nutzung von Solarien, so sollten zur Begrenzung der Risiken zumindest die folgenden Empfehlungen berücksichtigt werden:

1. Solarien, die die Anforderungen dieser Empfehlungen an Solarienbetreiber gemäß Abschnitt III und an Geräte gemäß Abschnitt IV nicht erfüllen (z.B. Sicherheitshinweise, geschultes Personal), sollten nicht genutzt werden.

2. Der Hauttyp des Nutzers sollte vor der Exposition durch einen Arzt oder mit Hilfe aushängender Hinweise selbst bestimmt oder in Absprache mit geschultem Personal ermittelt werden.
3. Die am UV-Bestrahlungsgerät angegebenen Werte für Anfangs- und Höchstexposition sind einzuhalten. Die Zahl der Solarienbesuche sollte begrenzt werden. Insgesamt sollte die Zahl der Sonnenbäder (im Solarium und in der natürlichen Sonne) etwa 50 pro Jahr nicht überschreiten. Dabei ist ein Sonnenbrand stets zu vermeiden.
4. Der Nutzer sollte darauf achten, dass die von ihm genutzten Geräte entsprechend IEC 60335-2-27, DIN EN 60335-2-27 bzw. DIN 5050, Teil 1 und 2, als Gerätetyp 0 bis 3 deklariert sind **und** im gesamten UV-Bereich (UV-A und UV-B) eine erythemgewichtete Bestrahlungsstärke von $\leq 0,3 \text{ W/m}^2$ aufweisen; dies entspricht der von der Strahlenschutzkommission vorgenommenen Klassifizierung in „Typ 0“ bis „Typ III“ – vgl. Abschnitt IV.
5. Wegen der Gefahr der Überdosierung und der zu häufigen Nutzung sollten Solarien, die nicht durch Fachpersonal betreut werden, z.B. Solarien-Münzautomaten, grundsätzlich nicht genutzt werden.

Eine Vielzahl von Solarien wird nicht von geschultem Personal betreut; dies kann den Nutzer veranlassen, eine "Dosierung" ohne Kenntnis möglicher gesundheitlicher Risiken und ohne Kontrolle einer notwendigen Dosisbegrenzung vorzunehmen. Eine daher zu befürchtende Überexposition ist aus strahlenhygienischen Gründen nicht akzeptabel.

6. Von einer Vorbräunung in Solarien, z.B. vor einem Urlaub in sonnigen Gebieten oder vor längeren Freizeit- oder beruflichen Expositionen gegenüber natürlicher Sonnenbestrahlung, ist aus strahlenhygienischen Gründen abzuraten, da sie die kumulative Gesamtdosis erhöht.
7. Beim Vorliegen von Hautkrankheiten, bei der Einnahme von Medikamenten oder bei krankhaften Hautreaktionen sollte vor einer UV-Bestrahlung der Arzt befragt werden.

Hautkrankheiten stellen Irritationen des gesunden Zustandes der Haut dar. Eine nicht mit dem Arzt abgesprochene zusätzliche UV-Exposition vorgeschädigter Haut kann evtl. zur weiteren Verschlechterung des Krankheitsbildes beitragen. Darüber hinaus können Medikamente, auch solche, die nicht zur Thera-

pie von Hautkrankheiten eingesetzt werden, bei UV-Exposition phototoxische und photoallergische Reaktionen auslösen (s. wissenschaftliche Begründung, Anlage). Auch aus diesem Grund sollte vor UV-Bestrahlung der Arzt konsultiert werden.

8. Einige Stunden vor der Bestrahlung sollten keine Duftstoffe verwendet und Kosmetika entfernt werden.

Duftstoffe und Kosmetika können aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung bei UV-Exposition phototoxisch und photoallergisch wirken. Sie müssen daher mehrere Stunden vor UV-Exposition von der Haut entfernt werden (s. wissenschaftliche Begründung).

9. Sonnenschutzmittel sollten in Solarien nicht verwendet werden. Sie sollten zum Schutz der Haut vor unvermeidbarer Exposition durch die Sonne genutzt werden.
10. Während der Bestrahlung im Solarium ist eine Schutzbrille zu tragen. Personen, die an der Augenlinse wegen des grauen Stars operiert sind, müssen hierauf besonders achten, um die Gefährdung der Augen auszuschließen. Zur Vermeidung von Augenschäden sind Schutzbrillen aus UV-Strahlen-undurchlässigem Material oder Schutzbrillen nach DIN EN 170 Schutzstufe 3-3 oder 3-4 geeignet, die vom Betreiber bereitgestellt werden müssen.

III. Anforderungen an die Solarienbetreiber

Die SSK empfiehlt eine Zertifizierung von Solarien.

Die nachfolgenden Anforderungen bilden die Grundlage für eine Zertifizierung:

1. An den UV-Bestrahlungsgeräten müssen deutlich sichtbare und lesbare Aufschriften mit folgenden Informationen angebracht werden:
 - a) "Vorsicht ! UV-Strahlung kann Schäden an Augen und Haut verursachen. Schutzhinweise beachten!"
 - b) Klassifizierung des Gerätetyps in 0 bis 3 entsprechend IEC 60335-2-27, DIN EN 60335-2-27 bzw. DIN 5050, Teil 1 und 2, **und** Hinweis, dass die im gesamten UV-Bereich (UV-A und

UV-B) eingesetzte erythemgewichtete Bestrahlungsstärke $\leq 0,3 \text{ W/m}^2$ beträgt (dies entspricht der von der Strahlenschutzkommission vorgenommenen Klassifizierung in „Typ 0“ bis „Typ III“ – vgl. Abschnitt IV).

- c) Maximale Anfangsbestrahlungsdauer in Minuten (siehe 2 b) und Höchstbestrahlungsdauer in Minuten (siehe 2 c)
 - d) Angaben über den Zeitpunkt und die Art der Zertifizierung.
2. Im Bestrahlungsraum müssen deutlich sichtbare und lesbare Aufschriften mit folgenden Informationen angebracht werden:
- a) Allgemein verständliche Beschreibungen der Hauttypen I-IV (vgl. Kap. 3.2 der wissenschaftlichen Begründung)
 - b) Die maximale Expositionsdauer nicht vorgebräunter Haut darf für die unterschiedlichen Hauttypen nicht zu einer Überschreitung von 0,4 MED (standardisierte minimale Erythemdosis, MED) führen. Sollte es nach dieser Zeit schon zu Hautirritationen kommen, wird von weiteren Solarienbesuchen abgeraten.
 - c) Die maximal zulässige Dauer einer Einzelbestrahlung darf für die unterschiedlichen Hauttypen nicht zu einer Überschreitung der standardisierten minimalen Erythemdosis von

1,0	MED	(Hauttyp II)
1,4	MED	(Hauttyp III)
1,8	MED	(Hauttyp IV)
- führen.

Die minimale Erythemdosis (MED) ist die geringste Dosis, die eine gerade sichtbare, scharf gegen die unbestrahlte Haut abgegrenzte Rötung hervorruft. Da die Empfindlichkeit menschlicher Haut individuell stark variiert (vgl. Hauttyp I-IV), sollte (in Übereinstimmung mit DIN 5050) die maximale Expositionsdauer nicht vorgebräunter Haut – unabhängig vom Hauttyp – auf Zeiten bis zum Erreichen eines Betrages von 0,4 MED begrenzt werden, um eine adäquate Anpassung des Nutzers an die UV-Belastung zu gewährleisten. Der Betrag 1 MED entspricht nach DIN 5050-1 einer erythemgewichteten Bestrahlung von 250 J/m^2 .

Hierbei handelt es sich um einen mittleren Wert, der aus Gründen der Standardisierung eingeführt wurde. Es muss fest-

gehalten werden, dass es sich hierbei um eine individuelle Größe handelt, die auch für Personen des gleichen Hauttyps um einen Faktor 3 – 4 variieren kann. Legt man den Wert von 1 MED = 250 J/m² zugrunde, so akkumuliert z.B. eine Person mit Hauttyp II (vgl. Tabelle 1) in Norddeutschland (52° N) an einem Sonnentag (Juni/Juli) um 12 Uhr mittags bei einer typischen mittleren solaren UV-Bestrahlung von 80 mJ/m²s eine MED in ca. 50 Minuten.

Die in Tabelle 1 angegebenen minimalen Erythemdosen ergeben sich entsprechend DIN 5050-1 aus den Erythemschwellendosen $H_{s,er}$ für nicht UV-vorbestrahlte Personen des Hauttyps II - IV:

Tab.1: Erythemwirksame Schwellendosis für die verschiedenen Hauttypen

Hauttyp	Erythemwirksame Schwellendosis $H_{s,er}$	
	[J/m ²]	MED
II	250	1,0
III	350	1,4
IV	450	1,8

3. Der Solarienbetreiber und das im Kundenkontakt stehende Personal sollen fachliche, zertifizierte Schulung nachweisen.

Weitere Aussagen zur Schulung von Betreiber und Personal sind dem Anhang: "Kriterien zur Zertifizierung von Solarien" zu entnehmen.

4. Der Solarienbesucher soll vor der Bestrahlung durch den Solarienbetreiber oder das Fachpersonal beraten werden. Hierbei ist dem Solarienbesucher ausreichendes Informationsmaterial über mögliche gesundheitliche Risiken anzubieten und auf Wunsch auszuhändigen.
5. Der Solarienbetreiber hat geeignete Schutzbrillen (nach DIN EN 170 Schutzstufe 3-3 oder 3-4) vorzuhalten. Der Solarienbetreiber bzw. das Fachpersonal haben dafür Sorge zu tragen, dass während der Bestrahlung solche Schutzbrillen getragen werden.

6. Der Solarienbetreiber hat dafür zu sorgen, dass Reparaturen an sämtlichen Komponenten des Bestrahlungsgerätes immer fachgerecht durchgeführt werden und nicht zu Änderungen des zertifizierten Gerätetyps führen. Veränderungen der Geräte sind unzulässig.
7. Der Solarienbetreiber bzw. das Fachpersonal haben sicherzustellen, dass die verwendeten Bestrahlungsgeräte in hygienisch einwandfreiem Zustand sind.
8. Die Zertifizierung eines Solarien-Betriebes sollte spätestens nach Ablauf von 2 Jahren wiederholt werden.

Weitere Kriterien, die für die Zertifizierung eines Solariums notwendig erscheinen, sind dem Anhang dieser Empfehlung zu entnehmen.

IV. Anforderungen an Geräte

1. Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, dass für Solarien nur solche Geräte zum Vertrieb und zum Einsatz kommen, die den in Tabelle 2 beschriebenen Gerätetypen „Typ 0“ bis „Typ III“ (in Anlehnung an die Klassifikation nach IEC 60335-2-27, DIN EN 60335-2-27 bzw. DIN 5050, Teil 1 und 2) entsprechen. Die Geräte dürfen kein UV-C emittieren. Ein Einsatz von Gerätetypen „Typ IV“ und „Typ V“ wird **nicht** empfohlen.

Tab. 2: Bestrahlungsstärke in den Bereichen UV-B und UV-A für die UV-Gerätetypen „Typ 0“ bis „Typ V“ in Anlehnung an die Klassifikation nach IEC 60335-2-27, DIN EN 60335-2-27 bzw. DIN 5050, Teil 1 und 2, und unter Berücksichtigung der Beschränkung der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke im Gesamtbereich (UV-A + UV-B) auf maximal $0,30 \text{ W/m}^2$ (bzw. $SEF \leq 1$) im Maximum des Strahlungsfeldes auf der Körperoberfläche des Nutzers.

UV-Gerätetyp	Erythemwirksame Bestrahlungsstärke [W/m^2] im Bereich		
	UV-B (280 – 320 nm)	UV-A (320 – 400 nm)	UV-A + UV-B (280 – 400 nm)
Typ 0	< 0,0005	$\leq 0,15$	< 0,1505
Typ I	< 0,0005	0,15 – 0,2995	$\leq 0,30$
Typ II	0,0005 – 0,15	0,15 – 0,2995	$\leq 0,30$
Typ III	0,0005 – 0,15	$\leq 0,15$	$\leq 0,30$
Typ IV	> 0,15	$\leq 0,15$	$\geq 0,30$
Typ V	$\geq 0,15$	$\geq 0,15$	$\geq 0,30$

Damit ergibt sich eine Begrenzung der max. erythemwirksamen Bestrahlungsstärke auf $4,3 \text{ MED/h}$ ($= 0,3 \text{ W/m}^2$) bzw. auf einen Sonnenerthemfaktor (SEF)

$$SEF = \frac{E_{er,Gerät} (\leq 0,3 \text{ W/m}^2)}{E_{er,Referenzsonne/\text{Äquator}} (= 0,3 \text{ W/m}^2)} \leq 1$$

(mit E = Bestrahlungsstärke).

Die Begrenzung auf einen Wert der maximalen erythemwirksamen Bestrahlungsstärke von $4,3 \text{ MED/h}$ ($= 0,2986 \text{ W/m}^2$) und eines Sonnenerythempfaktors (SEF) auf ≤ 1 ergibt sich durch den Bezug auf die "Referenzsonne" (RS). Sie ist definiert als Bestrahlungsstärke auf der (horizontalen) Erdoberfläche in Meeresspiegelhöhe, bei einer Sonnenhöhe von 90° , bei wolkenlosem Himmel, bei einer atmosphärischen Ozonkonzentration von 320 DU (Dobson-Units) und bei einem atmosphärischen Trübungsfaktor von $0,06$. Für die erythemwirksame Bestrahlungsstärke ergibt sich unter diesen Bedingungen auf der Bezugsfläche ein Wert von

$$E_{er,RS} = 0,254 \text{ W/m}^2$$

bzw. eine äquivalente Bestrahlungsdauer zum Erreichen der MED von $T_{er} = 984 \text{ s} = 16,4 \text{ min}$. Der Wert $E_{er,RS}$ ergibt sich aus der Wichtung des für die Referenzsonne in der DIN 67501 definierten Spektrums mit dem Aktionsspektrum des Hauterythems nach CIE und anschließender Integration über alle Wellenlängen. Durch diesen Wert für eine solare (natürliche) Bestrahlungsstärke können nun Grenzwerte definiert werden, die darauf basieren, dass das Verhältnis einer von einem UV-Bestrahlungsgerät erzeugten erythemwirksamen Bestrahlungsstärke $E_{er,Gerät}$ zur erythemwirksamen Bestrahlungsstärke der Referenzsonne $E_{er,RS}$ nicht größer als 1 ist. Damit ergibt sich als einzuhaltende Bedingung für die Bestrahlungsstärke verwendeter Bestrahlungsgeräte, dass der Sonnenerythempfaktor

$$SEF = E_{er,Gerät} / E_{er,RS} \leq 1$$

ist, um sicherzustellen, dass bei künstlicher UV-Exposition zumindest nicht die Bestrahlungsstärken der natürlichen UV-Strahlung überschritten werden.

In der vorhergehenden Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Schutz des Menschen bei Sonnenbestrahlung und bei Anwendung von UV-Bestrahlungsgeräten“ vom 27. April 1990 wird jedoch ein abgerundeter Wert von $E_{er,RS} = 0,3 \text{ W/m}^2$ verwendet, der auch für die jetzt vorliegenden Empfehlungen genutzt wird. Dies verringert die Bestrahlungsdauer zum Erreichen der MED unter Bedingungen der Referenzsonne auf $T_{er} = 13,9 \text{ min}$ und ergibt einen max. zulässigen Wert für die Bestrahlungsstärke von Geräten von

$$E_{er,Gerät} = 4,3 \text{ MED/h.}$$

2. Nur solche Geräte sollen zum Einsatz kommen, bei denen eine Dosierung in Schritten von 0,2 MED nicht überschritten wird. Alle Angaben müssen sich auf den Punkt höchster Bestrahlungsstärke auf der relevanten Nutzfläche beziehen.
3. Die maximale Exposition durch ein Solarium soll mittels automatischer Zwangsabschaltung auf 2 MED begrenzt werden.
4. Die Bestrahlungsstärke auf der Nutzfläche (Körperoberfläche des Nutzers) soll hinreichend gleichmäßig sein, d.h. das Maximum der Bestrahlungsstärke darf im Bereich der Nutzfläche das 1,7 fache des Minimums nicht überschreiten.
5. Am Bestrahlungsgerät soll eine durch den Nutzer unmittelbar zu betätigende Notabschaltung vorhanden sein.

V. Verwendung von Heimsonnen

1. Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, die in den Abschnitten I und II angegebenen Verhaltensempfehlungen für den Nutzer, die dazugehörigen Erläuterungen sowie Informationen über Hauttypen in die Gebrauchsanweisung von Heimsonnen zu übernehmen.
2. Für Heimsonnen, die in nicht kommerziellen, privaten Bereichen genutzt werden, sollte zudem aus strahlenhygienischen Gründen die erythemwirksame Bestrahlungsstärke auf 2 MED/h beschränkt werden und eine automatische Abschaltung bei 1 MED erfolgen.

Heimsonnen können keiner ständigen Überprüfung (vor allem in ihrer Anwendung) oder Zertifizierung unterliegen. Damit erhöht sich das Risiko des Fehlgebrauchs und der Fehldosie-

rung durch künstliche UV-Strahlung. Aus strahlenhygienischen Gründen erscheint es daher angebracht, die Werte für die maximale Bestrahlungsstärke und den automatischen Abschalt-punkt, die unter Abschnitt IV. 1. und 3. für die kommerzielle Nutzung von Solarien angegeben wurden, für den privaten Bereich zu halbieren.

VI. Empfehlung an den Gesetzgeber

Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, für eine effektive Umsetzung der gegebenen Empfehlungen gesetzliche Grundlagen zu schaffen oder schon vorhandene gesetzliche Möglichkeiten zu nutzen. Dies bezieht sich insbesondere auf die verwendeten Gerätetypen, das Mindestalter für Solariennutzer und die Zertifizierung der Solarienbetriebe.

So wäre in diesem Sinne zu prüfen, ob

- erforderliche Vorgaben an die Hersteller und Prüfung von UV-Bestrahlungsgeräten (Solarien und Heimsonnen) bei der Verwendung im öffentlichen/gewerblichen Bereich sowie im privaten Bereich durch entsprechende Regelungen, z.B. im Gesetz über technische Arbeitsmittel (Gerätesicherheitsgesetz), umgesetzt werden können,
- der besondere Schutz von Minderjährigen durch Aufnahme einer gesetzlichen Regelung, z.B. in das Gesetz zum Schutz der Jugend in der Öffentlichkeit, gewährleistet werden kann,
- fachliche Anforderungen an die Güte eines Betriebes und seines Personals im öffentlichen/gewerblichen Bereich (z.B. Sonnenstudios, Fitnesscenter etc.) durch Aufnahme in gesetzliche Regelungen, z.B. in die Gewerbeordnung, eingeführt werden können.

Literatur

- [1] Irwin, C., Barnes, A., Veres, D., Kaidbey, K.: An UV radiation action spectrum for immediate pigment darkening. *Photochem. Photobiol.*, **57**, 504-507 (1993)
- [2] Eller, S.M., Ostrom, K., Gilchrest, B.A.: DNA damage enhances melanogenesis. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, **93**, 1087-1092 (1996)

- [3] Gilchrest, B.A., Park, H.Y., Eller, M.S., Yaar, M.: Mechanisms of ultraviolet light induced pigmentation. *Photochem. Photobiol.*, **63**, 1-10 (1996)
- [4] Young, A.R., Potten, C.S., Chadwick, C.A., Murphy, G.M., Hawk, J.L.M., Cohen, A.J.: Photoprotection and 5-MOP photochemoprotection from UVR induced DNA damage in humans: the role of skin type. *J. Invest. Dermatol.*, **97**, 942-948 (1991)
- [5] Potten, C.S., Chadwick, C.A., Cohen, A.J., Nikaido, O., Matsunaga, T., Schipper, N.W., Young, A.R.: DNA damage in UV-irradiated human skin in vivo: automated direct measurements by image analysis (thymine dimers) compared with indirect measurement (unscheduled DNA synthesis) and protection by 5-methoxypsoralen. *Int. J. Radiat. Res.*, **63**, 313-324 (1993)
- [6] Strahlenschutzkommission: Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, *Bundesanzeiger* **98**, 3.06.1997
- [7] Grob, J., Gouvernet, J., Aymor, D., Mostaque, A., Romao, N.H., Collet, A.M., Noe, M.E., Diconstanzo, N.P., Bonerandi, J.J.: Count of benign melanocytic nevi as a major indicator of risk for nonfamilial nodular and superficial spreading melanoma. *Cancer*, **66**, 387-395 (1990)
- [8] Nicholls, E.M.: Development and elimination of pigmented moles, and the anatomically distribution of primary malignant melanoma. *Cancer*, **32**, 191-195 (1973)
- [9] Cooke, K.R., Armstrong, B.K.: Migration and death from malignant melanoma. *Int. J. Cancer*, **36**, 175-178 (1984)
- [10] Fritschi, L., McHenry, P., Green, A., MacKie, R.M., Green, L., Siskind, V.: Naevi in schoolchildren in Scotland and Australia. *Br. J. Dermatol.*, **130**, 599-603 (1994)
- [11] Kelly, J.W., Rivers, J.K., MacLennan, R., Harrison, S., Lewis, A.E., Tate, B.J.: Sunlight: A major factor associated with the development of melanocytic naevi in Australian schoolchildren. *J. Am. Acad. Dermatol.*, **30**, 40-48 (1994)
- [12] Augustsson, A., Stierner, U., Rosdahl, I., Suurkühla, M.: Regional distribution of melanocytic naevi in relation to sun exposure and site specific counts predicting total number of naevi. *Acta Derm. Veereol. (Stockh)*, **72**, 123-127 (1992)
- [13] Gallagher, R.P., McLean, D.I., Yang, C.D., Coldman, A.J., Silver, H.K.D., Spinelli, J.J., Beagrie, M.: Anatomic distribution of acquired melanocytic nevi in white children. A comparison with melanoma: The Vancouver mole study. *Arch. Dermatol.*, **126**, 466-471 (1990)
- [14] Dulon, M., Weichenthal, M., Breitbart, M., Hetzer, M., Greinert, R., Volkmer, B., Baumgart-Elms, N., Blettner, M. and Breitbart, E.W.: Sunexposure and number of nevi in 5-6 year-old European children. *Am. J. Epidemiol.*, submitted (2001)
- [15] Augustsson, A. : Nevi and initiation by sun. In: *Skin Cancer and UV Radiation* (Altmeyer, P., Hoffmann, K., Stücker, M., Eds.), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 589-594 (1997)

- [16] Osterlind, A. : Defining individual risk factors for skin melanoma. *In: Skin Cancer and UV Radiation (Altmeyer, P., Hoffmann, K., Stücker, M., Eds.), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 561-570 (1997)*
- [17] Elwood, J.M., Gallagher, R.P., Spinelli, J.J., Pearson, J.C.G., Threlfall, W.: Pigmentation and skin reaction to sun as risk factors for cutaneous melanoma: Western Canada Melanoma Study. *BMJ*, **288**, 99-102 (1984)
- [18] Elwood, J.M., Stapleton, P.J.: Malignant melanoma in relation to moles, pigmentation and exposure to fluorescent and other lightning sources. *Br. J. Cancer*, **53**, 65-74 (1986)
- [19] Elwood, J.M., Whitehead, S.M., Davison, J., Stewart, M., Galt, M.: Malignant melanoma in England: risk associated with naevi, freckles, social class, hair color, and sunburn. *Int. J. Epidemiol.*, **19**, 801-810 (1990)
- [20] Brash, D.E., Rudolph, J.A., Simon, J.A., Lin, A., McKenna, G.J., Baden, H.P., Halperin, A.J., Pouten, J.: A role of sunlight in skin cancer: UV-induced mutations in squamous cell carcinoma. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **88**, 10124-10128 (1991)
- [21] Brash, D.E.: Sunlight and the onset of skin cancer. *Trends Gen.*, **13**, 410-414 (1997)
- [22] Black, H.S., deGruijl, F.R., Forbes, P.D., Cleaver, J.E., Ananthaswamy, H.N., de Fabo, E.C., Ulrich, S.E., Tyrell, R.M.: Photocarcinogenesis: an overview. *J. Photochem. Photobiol., B*, **40**, 29-47 (1997)
- [23] Grosman D., Leffell, D.J.: The molecular basis of nonmelanoma skin cancer: new understandings. *Arch. Dermatol.*, **133**, 1263-1270 (1997)
- [24] Langey, R.G., Sober, A.J.: A clinical review of the evidence for the role of ultraviolet radiation in the etiology of cutaneous melanoma. *Cancer Invest.*, **15**, 561-567 (1997)
- [25] Healy, E., Sikkink, S., Rees, J.L.: Infrequent mutation of p16/INK4 in sporadic melanoma. *J. Invest. Dermatol.*, **107**, 318-321 (1995)
- [26] Pollock, P.M., Yu, F., Qiu, L.: Evidence for UV induction of CDKN2 mutations in melanoma cell lines. *Oncogene*, **11**, 663-668 (1995)
- [27] Ziegler, A.M., Leffell, D.J., Kunala, S., Sharma, H.W., Gailanui, M., Simon, J.A., Halparin, A.J., Baden, H.P., Shapiro, P.E., Bale, A.E., Brash, D.E.: Mutation hotspots due to sunlight in the p53 gene of nonmelanoma skin cancers. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, **90**, 4216-4220 (1993)
- [28] Gailani, M.R., Stahle-Bäckdahl, M., Leffell, D.J., Glynn, M., Zaphirpoulos, P.G., Pressman, C., Uden, A.B., Dean, M., Brash, D.E., Bale, A.E., Toftgard, R.: Role of the human homologue of *Drosophila* patched in sporadic cell carcinomas. *Nat. Genet.*, **14** (1996)

- [29] Ponten, F., Berg, C., Ponten, J. : Multiple p53 mutations in common basal cell carcinoma. In: *Skin Cancer and UV Radiation* (Altmeyer, P., Hoffmann, K., Stücker, M., Eds.), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 709-714 (1997)
- [30] Aszterbaum, M., Beech, J., Epstein, E.H.: Ultraviolet radiation mutagenesis of hedgehog pathway genes in basal cell carcinoma. *J. Investig. Dermatol. Symp. Proc.*, **4**, 41-45 (1999)
- [31] Ouhtit, A., Nakazawa, H., Armstrong, B.K., Kricker, A., Tan, E., Yamasaki, H., English, D.R.: UV-radiation-specific p53 mutation frequency in normal skin as a predictor of risk of basal cell carcinoma. *J. Natl. Cancer Inst.*, **90**, 523-531 (1998)
- [32] Moan, J., Dahlback, A., Setlow, R.B.: Epidemiological support for a hypothesis for melanoma induction indicating a role of UVA. *Photochem. Photobiol.*, **70**, 243-247 (1999)
- [33] Pavey, S., Conroy, S., Russell, T., Gabrielli, B.: Ultraviolet radiation induces p16CDNK2A expression in human skin. *Cancer Res.*, **59** (17), 4185-4189 (1999)
- [34] Singh, R.K., Gutman, M., Reich, R., Bar-Eli, M.: Ultraviolet B irradiation promotes tumorigenic and metastatic properties in primary cutaneous melanoma via induction of interleukin 8. *Cancer Res.*, **55**, 3669-3674 (1995)

Anhang

Kriterien zur Zertifizierung von Solarien

Zertifiziert werden Solarienbetriebe, die folgenden Anforderungen genügen:

(1) Gerätestandards

- technische Unversehrtheit der Geräte (insbesondere Filter, Reflektoren, Lampen, Kühleinrichtungen), elektrische Sicherheit
- ausschließliche Verwendung optischer Bauteile (Filter, Reflektoren, Lampen) in der Originalbauart oder von behördlich zugelassenen Austauschteilen mit äquivalenten Eigenschaften
- Vorhandensein einer durch den Nutzer unmittelbar zugänglichen Notabschaltung am Gerät
- Vorhandensein der geforderten technischen Voraussetzungen zur Dosierung in Schritten von maximal 0,2 MED und zur Zwangsabschaltung nach maximal 2,0 MED
- Einhaltung des geforderten Gleichmäßigkeitsfaktors der Bestrahlungsstärke auf der bestrahlten Körperoberfläche des Nutzers von $g \geq 0,6$ sowie technische Realisierung eines definierten Bestrahlungsabstandes
- Begrenzung der Bestrahlungsstärke entsprechend der UV-Typen 0 - 3 in der Klassifikation nach IEC 60335-2-27, DIN EN 60335-2-27 bzw. DIN 5050, Teil 1 und 2, **und** unter Berücksichtigung
 - der Beschränkung der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke im Gesamtbereich (UV-A + UV-B) auf maximal $0,30 \text{ W/m}^2$ (bzw. $\text{SEF} \leq 1$) im Maximum des Strahlungsfeldes auf der Körperoberfläche des Nutzers
 - vernachlässigbarer Emission im Bereich UV-C
- Vorhandensein von geeignetem Augenschutz, z.B. Schutzbrillen gemäß DIN EN 170

- Einhaltung der tolerierten Umgebungstemperaturen
 - Führung eines Betriebs- und Prüfbuches mit folgenden Eintragungen
 - Betriebsstunden monatlich, kumulativ
 - Wechsel optischer Bauteile (Filter, Reflektoren, Lampen), Reparaturen (Datum und Art des Wechsels)
 - Wartungen (Datum und Maßnahmen)
 - Kontrollmessungen (Datum und Ergebnis)
- (2) Hygienestandards
- allgemeine Hygiene und Sauberkeit im Sonnenstudio
 - ausreichende Desinfektion aller im Hautkontakt stehenden Flächen eines Bestrahlungsgerätes nach jeder Benutzung
- (3) Fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter
- anerkannter Qualifikationsnachweis (mit erfolgreichem Abschluss-testat)
 - Nachweis über Fortbildungs- bzw. Auffrischkurse (im Abstand von jeweils fünf Jahren nach der Erstqualifikation)
- (4) Information und Beratung der Nutzer
- Vorhandensein der gemäß DIN EN 60335-2-27 und SSK geforderten, deutlich lesbaren und dauerhaft angebrachten Geräteaufschriften und Schutzhinweise (s. Empfehlungen, Abschnitt III. 1.)
 - Vorhandensein verfügbarer Kundeninformationen zu
 - Grundlagen biologischer Wirkungen von UV-Strahlung auf den Menschen
 - Einflüssen von Hauttyp und Vorbestrahlung auf die UV-Empfindlichkeit der Haut
 - Dosierungskonzepten und -prinzipien
 - Gesundheitsrisiken durch UV-Hautbestrahlungen

- UV-Schutzempfehlungen der Strahlenschutzkommission, der Gesundheits- und Aufsichtsbehörden
- Vorhandensein eines Bestrahlungsplans gemäß Strahlenschutzkommission
- Beratung der Kunden hinsichtlich
 - Bedürfnisanalyse, Hauttypenbestimmung und Anamnese zur Feststellung eines zu erwartenden erhöhten Risikos
 - des Verhaltens im Bestrahlungsgerät, Einweisung in Notabschaltung
 - der Einflüsse von Hauttyp und Vorbestrahlung auf die UV-Empfindlichkeit der Haut
 - Dosierungskonzepten
 - Gesundheitsrisiken durch UV-Hautbestrahlungen entsprechend den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission

**Schutz des Menschen vor den Gefahren
der UV-Strahlung in Solarien**

Wissenschaftliche Begründung
zur gleichnamigen Empfehlung der Strahlenschutzkommission

	Seite
1	Einleitung..... 27
2	Molekulare und zelluläre Wirkung der UV-Strahlung 27
2.1	DNA-Schäden 28
2.2	Protein-Schäden 28
2.3	Zelltod 28
2.4	Erythem..... 29
2.5	Pigmentierung..... 29
3	Wirkung von UV-Strahlung auf den Menschen..... 30
3.1	Positive Wirkungen..... 30
3.2	Akute Wirkungen auf die Haut 30
3.3	Chronische Wirkungen auf die Haut 32
3.4	Wirkungen auf das Auge 32
3.5	Wirkungen auf das Immunsystem 32
3.6	Hautkrebserkrankungen 33
3.7	Spektrale Charakterisierung..... 35
3.8	Spektrale Abhängigkeit biologischer UV-Effekte..... 36
4	UV-Bestrahlungsgeräte 40
4.1	Bestrahlungsgeometrie..... 42
4.2	Zeitliche Stabilität..... 42
4.3	Dosierung..... 43
5	Individuelle Dosierung von UV-Expositionen 43
6	Definitionen von Bestrahlungsgrößen 44
Anhang	
	Liste phototoxischer und photoallergischer Medikamente und Duftstoffe 47

1 Einleitung

Die dramatische Zunahme an Hautkrebs Erkrankungen ist zum Teil durch eine erhöhte UV-Exposition aufgrund eines geänderten Freizeit- und Sozialverhaltens großer Teile der Bevölkerung erklärbar. So reist ein hoher Prozentsatz der deutschen Bevölkerung in Länder mit hoher Sonneneinstrahlung. Mit steigender Tendenz finden Reisen zusätzlich in den Wintermonaten statt, wobei die wenig pigmentierte Haut gegenüber UV-Strahlung besonders empfindlich reagiert. Auch die Einflüsse der Exposition durch künstliche UV-Strahlung (z. B. in Solarien) auf eine erhöhte Hautkrebsinzidenz können nicht ausgeschlossen werden, da hierdurch die kumulative Gesamtexposition (künstlich und natürlich) erhöht wird, die Zahl möglicher Sonnenbrände (Erytheme) ansteigen kann und immunsupprimierende Faktoren stimuliert werden können. In ihrer Gesamtheit können diese Faktoren das Risiko möglicher Hautschädigungen erhöhen und unter bestimmten Umständen zum Hautkrebs führen. Das Verständnis der grundlegenden molekularen und zellulären Wirkmechanismen nach erfolgter UV-Exposition der menschlichen Haut ist daher eine notwendige Voraussetzung, um Risiken zu bewerten und auf ihre Vermeidung in geeigneten Aufklärungs-Kampagnen hinzuwirken.

2 Molekulare und zelluläre Wirkung der UV-Strahlung

Wenn UV-Strahlung auf die Haut trifft, dringt diese in die Haut ein und wird durch die Wechselwirkung mit Bestandteilen der Haut (DNA, Proteine, Melanin, andere photosensible Moleküle) abgeschwächt. Die Abschwächung erfolgt hauptsächlich durch Absorption der UV-Strahlung, die zu einer Veränderung der physikochemischen und biologischen Eigenschaften der UV-absorbierenden Moleküle führt. Die spezifischen Interaktionen sind in der Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung“ bzw. deren wissenschaftlicher Begründung detailliert beschrieben, so dass in der vorliegenden Empfehlung, wegen der grundsätzlich gleichen biologischen Wirkungsmechanismen künstlicher und solarer UV-Strahlung, auf die vorausgegangene Empfehlung verwiesen und nur eine verkürzte Darstellung wiedergegeben wird.

2.1 DNA-Schäden

UV-Strahlung künstlicher Strahlungsquellen kann von der die Erbinformation tragenden Desoxyribonukleinsäure (DNA) der Hautzellen einerseits direkt absorbiert werden oder indirekt einen schädigenden Einfluss durch Induktion von reaktiven Sauerstoffverbindungen ausüben, welche dann ihrerseits mit dem DNA-Molekül interagieren. Die hierbei hervorgerufenen molekularen Veränderungen an den Basen der DNA (Ausbildung von unspezifischen chemischen Bindungen) oder der Morphologie des DNA-Moleküls (DNA-Strangbrüche) stellen die Grundlage für Schäden an der Erbinformation (DNA) der Zelle dar. Diese DNA-Schäden finden in der Haut bei jeder UV-Exposition statt, werden allerdings durch DNA-Reparatursysteme in den meisten Fällen korrigiert. Bei Überforderung oder Defekt der DNA-Reparatursysteme wird die Entstehung von Karzinomen der Haut begünstigt.

2.2 Protein-Schäden

Die Absorption von UV-Strahlung durch Proteine kann von erheblicher Bedeutung für die Regulation zellulärer Prozesse in den Zellen der Haut sein. Hierbei spielen vor allen Dingen Proteine eine Rolle, welche in der Zellmembran verankert sind und von denen angenommen wird, dass ihre (teilweise noch unbekannt) UV-induzierte Modifizierung zu einer schnellen Veränderungen der Protein-vermittelten Signaltransduktion in die Zelle führt. Die Bedeutung von UV-Einstrahlung bei der Initiierung der Signaltransduktions-Ketten und die Suche nach geeigneten Chromophoren in Proteinen, welche Strahlung dieser Wellenlängen absorbieren können, wird im Augenblick intensiv erforscht. Im Fall der UV-Wechselwirkung mit Bindegewebszellen (Fibroblasten) kommt es zu einem vermehrten Abbau des Proteins Kollagen, so dass die Bindegewebsfasern (Kollagenfasern) der Haut schneller abgebaut werden. Dies führt zu der bekannten schnelleren Hautalterung mit Hautverdünnung und Faltenbildung.

2.3 Zelltod

Unter bestimmten Umständen, wie z. B. der Akkumulation UV-geschädigter Zellen, kann es dann für den Organismus von Vorteil sein, diese Zellen aus

dem Gewebe durch Zellabtötung zu entfernen. Dieser programmierte Zelltod (Apoptose) kann durch UV-Strahlung in einer komplizierten Abfolge Gen-abhängiger Aktivierungsprozesse und über Zellmembran-abhängige Signaltransduktionen ausgelöst werden. Dabei spielen als initiiierende Ereignisse UV-induzierte DNA-Schäden (z.B. DNA-Strangbrüche) und Proteinveränderungen eine besondere Rolle. Höhere UV-Strahlungsdosen führen auch in den Keratinozyten der Haut zum Auftreten apoptotischer Zellen, den sog. „sunburn cells“.

2.4 Erythem

Erstes Warnzeichen einer zu hohen UV-Strahlenexposition ist der Sonnenbrand der Haut, welcher mit einer Rötung der Haut einhergeht. Diese Rötung ist auf eine gefäßweitstellende, die Durchblutung fördernde Wirkung der UV-Strahlung zurückzuführen. Der Sonnenbrand tritt vor allem dann auf, wenn die Haut an die UV-Belastung nicht gewöhnt ist und eine schützende Pigmentierung der Haut nicht besteht.

2.5 Pigmentierung

Nach UV-Exposition (vorwiegend durch langwellige UV-Strahlung, z.B. UV-A) wird innerhalb von wenigen Stunden vorhandenes Pigment (Melanin), das normalerweise in der untersten Zellschicht der Epidermis durch Melanozyten gebildet wird, in die Zellen der oberen Schichten der Epidermis (Keratinozyten) verlagert. Daraus resultiert die insbesondere bei leicht bräunenden Menschen erkennbare Sofortpigmentierung, die aber nur von kurzer Dauer ist. Bei wiederholter UV-Exposition kommt es vorwiegend durch kurzwellige UV-Strahlung, z.B. UV-B, verstärkt zu einer Neubildung von Pigmenten, die zu einer lang anhaltenden Pigmentierung der Haut führt (Spätpigmentierung). Die Spätpigmentierung ist eine Reaktion der Haut auf eine erhöhte UV-Exposition, sie stellt einen gewissen Schutz der Haut vor weiterer UV-bedingter Hautschädigung dar (vergleichbar einem Sonnenschutzfaktor von etwa 3). Das Ausmaß der Pigmentierung ist sehr vom Hauttyp abhängig, so dass gering bräunende Menschen kaum einen natürlichen Schutz vor UV-Strahlung entwickeln können.

3 Wirkung von UV-Strahlung auf den Menschen

Sowohl künstliche als auch natürliche UV-Strahlung gleichen Spektrums rufen beim Menschen die gleichen Effekte hervor.

3.1 Positive Wirkungen

Zu den positiven Wirkungen von Sonnenbädern und Solariumbesuchen auf den Menschen sind sicherlich die psychischen Einflüsse zu zählen. Hierbei steht das Wohlbefinden im Mittelpunkt. Dieses wird jedoch nach gegenwärtigem Kenntnisstand durch Entspannung, Wärme und Helligkeit hervorgerufen, UV-Strahlung hat hierauf keinen nachgewiesenen Einfluss.

UV-Strahlung löst in der Haut die Produktion des Pro-Vitamins D_3 aus, einer Vorstufe des Vitamins D_3 , das eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes spielt. Allerdings bedarf es zur Aufrechterhaltung des notwendigen Vitamin D_3 -Spiegels beim gesunden Menschen nur geringer UV-Expositionen. Schon eine nur 15-minütige, tägliche Exposition der Hände und des Gesichts sind ausreichend. Ein klinisch bedeutsamer Mangel an Vitamin D_3 ist in Mitteleuropa eine sehr seltene Erkrankung, die gegebenenfalls medizinischer Versorgung bedarf.

Daher kann eine positive Wirkung der UV-Strahlung, die zu kosmetischen Zwecken eingesetzt wird, nicht gesehen werden.

3.2 Akute Wirkungen auf die Haut

Die augenfälligste Reaktion der Haut auf UV-Bestrahlung ist die Pigmentierung. Diese Bräunung der Haut kann als Schutzmechanismus aufgefasst werden. Ein weiterer Nutzen der Hautbräunung ist nicht bekannt.

Überschreitet die Bestrahlung einen gewissen Grenzwert (die sogenannte Erythemschwelle), der individuell unterschiedlich hoch ist, so treten akute Schäden auf. Es kommt nach einer Latenzzeit von mehreren Stunden zur Rötung und Erythembildung der bestrahlten Haut. Wird die Erythemschwelle weiter überschritten, so entstehen Blasen und schließlich oberflächliche Hautnekrosen, d. h. das Gewebe stirbt ab.

Die Empfindlichkeit der menschlichen Haut bezüglich der UV-Strahlung ist individuell verschieden. Entsprechend der Reaktion auf natürliche Sonnenbestrahlung wird folgende Einteilung getroffen^{*)}.

- *Hauttyp I:* immer Sonnenbrand, kaum Bräunung auch nach wiederholten Bestrahlungen
- *Hauttyp II:* fast immer Sonnenbrand, mäßige Bräunung nach wiederholter Bestrahlung
- *Hauttyp III:* mäßig oft Sonnenbrand, fortschreitende Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen
- *Hauttyp IV:* selten Sonnenbrand, schnell einsetzende Bräunung
- *Hauttyp Kind:* Hauttyp mit besonders hoher Empfindlichkeit

Weitere akute direkte Folgen einer künstlichen UV-Bestrahlung können phototoxische oder photoallergische Hauterkrankungen sein. Bei der phototoxischen Dermatitis werden Substanzen im Körper oder an der Hautoberfläche unter Einwirkung von UV-Strahlung zu entzündungsauslösenden Substanzen. Bei photoallergischen Reaktionen wird eine Substanz durch UV-Strahlung chemisch aktiviert, bindet an ein Makromolekül und kann so eine Sensibilisierung hervorrufen. Hat eine Sensibilisierung stattgefunden, können bei weiterer Exposition allergische Hauterkrankungen entstehen. In beiden Fällen zeigen sich Hautveränderungen (Rötung, Schwellung, Nässen, Blasenbildung) in den belichteten Arealen. Eine Liste phototoxischer und photoallergischer Substanzen ist in der Anlage zu finden.

Eine weitere direkte Folge von UV-Bestrahlung ist die polymorphe Lichtdermatose, die unter Laien als Sonnenallergie bezeichnet wird. Hierbei kommt es nach UV-Exposition im bestrahlten Areal zu verschiedenen Hautveränderungen (Rötung, Quaddeln, Papeln, Ekzeme, kleine, punktförmige Einblutungen unter der Haut etc.), die nach Tagen bis Wochen allmählich wieder abklingen.

^{*)} „Achtung Sonne. Eine Packungsbeilage für die ganze Familie.“ Broschüre der Kommission zur Früherkennung und Prävention von Hautkrebs / Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention, 1995

3.3 Chronische Wirkungen auf die Haut

Nach Einwirkung von UV-Strahlung, z. B. bei einer übermäßigen UV-Exposition in Solarien, kann es zu dauerhaften, irreversiblen Veränderungen und Spätfolgen an der Haut kommen. Die als chronische Lichtschäden oder auch vorzeitige Alterung der Haut bezeichneten Veränderungen erscheinen als vermehrte Faltenbildung, Porenerweiterung (Follikelvergrößerung), Mitesser (Komedonen), Gefäßerweiterung (Teleangiektasie) und Bindegewebsschädigung (Atrophie, solare Elastose). Zusätzlich können sonnenbedingte Verhornungsstörungen (solare Keratosen) auftreten, die als eine Vorstufe für Plattenepithelkarzinome gewertet werden. Die Entstehung von Hautkrebs ist die weitaus schwerwiegendste Spätfolge der UV-Bestrahlung und wird daher gesondert dargestellt.

3.4 Wirkungen auf das Auge

Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und epidemiologischen Studien zeigen, dass UV-Strahlung an der Trübung der Augenlinse (Katarakt) beteiligt ist, die beim Menschen zu eingeschränktem Sehvermögen führt. Auf molekularer und zellulärer Ebene durchgeführte Untersuchungen (z.B. an Epithelzellen der menschlichen Augenlinse) zeigen, dass UV-induzierte Läsionen an der DNA oder den Membranen der Zellen für das Auftreten von Katarakten verantwortlich gemacht werden können. Durch UV-Strahlung und den Blaulichtanteil sichtbaren Lichts kann eine akute solare, nichtentzündliche Netzhauterkrankung (Retinopathia) ausgelöst werden. Sie ist das Ergebnis einer photochemischen Zerstörung des Pigmentepithels und der Photorezeptoren.

Der negative Einfluss von UV-Strahlung auf Funktion und zellulären Aufbau des Auges kann durch die fachgerechte Nutzung eines geeigneten Augenschutzes (z.B. in Solarien) stark reduziert bzw. vermieden werden.

3.5 Wirkungen auf das Immunsystem

Die immunsuppressive Wirkung von UV-Strahlung ist ein seit langem bekanntes Phänomen. Minimale Expositionen gegenüber künstlichen UV-Strahlen in der Größenordnung von 1 MED (minimale Erythemdosis; ge-

ringste Dosis, die eine gerade sichtbare, scharf gegen die unbestrahlte Haut abgegrenzte Rötung hervorruft) können das Immunsystem nachweisbar beeinflussen. Die Daten über UV-induzierte Immunsuppression sind vorläufig.

Eine Beeinflussung des Immunsystems kann generell weitreichende Folgen haben. So kann der Verlauf von Infektionserkrankungen oder von erworbener Immunschwäche (AIDS) verschlechtert werden. Eine Schwächung des Immunsystems kann aber auch Auswirkungen auf die Karzinogenese haben, wenn Krebszellen nicht als entartet erkannt und deshalb von Immunzellen nicht eliminiert werden.

3.6 Hautkrebserkrankungen

Hautkrebserkrankungen fanden in den letzten Jahren eine zunehmende medizinische wie auch öffentliche Beachtung, was angesichts der auffallend starken Zunahme der Häufigkeit dieser Erkrankung verständlich ist. Neben dem malignen Melanom der Haut (schwarzer Hautkrebs), das vor allem wegen seiner Bösartigkeit bedeutsam ist, sind hier in erster Linie das Basalzellkarzinom und das Plattenepithelkarzinom zu nennen, die insgesamt zu den häufigsten malignen Tumoren des Menschen zählen. Vor dem Hintergrund der immer häufiger werdenden Nutzung künstlicher UV-Bestrahlungsquellen für den kosmetischen Einsatz darf daher der Einfluss künstlicher UV-Strahlung für die Entstehung des Hautkrebses nicht unterschätzt werden.

Obwohl kein Zweifel darüber besteht, dass UV-Bestrahlung eine Hauptursache für die Entstehung des malignen Melanoms darstellt, ist der Entstehungsmechanismus noch unklar. Es werden jedoch UV-induzierte Mutationen in bestimmten Genen, die für die Zellregulation von Bedeutung sind, sowie chromosomale Instabilitäten für die Entstehung des malignen Melanoms verantwortlich gemacht. Das maligne Melanom tritt im Gegensatz zu den anderen Hautkrebsarten auch häufig an bedeckten Körperstellen auf, so dass ein eindeutiger Zusammenhang mit der kumulativen UV-Dosis nicht gegeben ist. Am malignen Melanom erkrankt man vergleichsweise früh, im 3. und 4. Lebensjahrzehnt, gelegentlich auch früher. Zur Zeit werden in Deutschland ca. 8 - 10 Neuerkrankungen pro 100.000 Einwohner pro Jahr registriert; die Melanominzidenz ist steigend. Die Letalität liegt bei 20%, die Rezidivrate oder Metastasenbildung bei 20-30%. Der unterschiedlich schnell

wachsende, teils fleckförmige, teils knotige, in der Regel pigmentierte Tumor ist bei Frühbehandlung überwiegend heilbar. Bei verzögerter Therapie liegt häufig bereits eine Metastasierung vor, und die Erkrankung verläuft tödlich.

Unter den Risikofaktoren für das maligne Melanom werden Dispositions- und Expositions-faktoren unterschieden. Individuen mit hellem Hauttyp (insbesondere Typ I und Typ II), mit rötlichen bzw. blonden Haaren, mit Neigung zu Sommersprossen, mit Sonnenbrandflecken (Lentigines) und/oder multiplen Pigmentmalen (d. h. mehr als 40 - 50 „Leberflecke“ beim Erwachsenen) bzw. einer positiven Familienanamnese bezüglich des malignen Melanoms haben je nach Kombination der Risikofaktoren ein bis zu mehr als 100fach erhöhtes Risiko, im Verlauf ihres Lebens ein malignes Melanom zu entwickeln.

Fall-Kontroll-Studien haben gezeigt, dass das relative Risiko, ein Melanom zu entwickeln, 2-3fach höher ist, wenn in der Kindheit Sonnenbrände aufgetreten sind, welche mit einer Erhöhung der Zahl der in der Kindheit erworbenen Pigmentmale korreliert sind. Da die multiplen Pigmentmale den wichtigsten Melanomrisikofaktor darstellen, sollten Kinder und Jugendliche (bis zum Erreichen des 18. Lebensjahres) keiner künstlichen UV-Strahlung in Solarien ausgesetzt werden, um Sonnenbrände und Überexpositionen zu vermeiden.

Zusammengefasst ergeben sich die in Tabelle 1 aufgeführten Risikofaktoren für das maligne Melanom.

Tab. 1: Risikofaktoren für die Entwicklung eines malignen Melanoms

multiple Pigmentmale (> 40-50)	Risiko 5-15fach erhöht
atypische Pigmentmale	Risiko 5-15fach erhöht
angeborene (congenitale), große Pigmentmale	kumulatives Lebenszeitrisiko 5-6%
familiäres malignes Melanom	Risiko 2-3fach erhöht
lichtempfindliche Haut	Risiko 3-4fach erhöht
Sonnenbrände in Kindheit und Jugend	Risiko 2-3fach erhöht
Lentigines (Sonnenbrandflecken)	Risiko 2fach erhöht

Der überwiegende Teil an Plattenepithelkarzinomen und Basalzellkarzinomen tritt im Bereich chronisch lichtgeschädigter Haut auf. Daher bestehen kaum Zweifel daran, dass diese Tumoren hauptsächlich durch den UV-Anteil des Sonnenspektrums verursacht werden, wobei das Risiko mit der lebenslang erhaltenen UV-Gesamtdosis steigt. Diese Dosisabhängigkeit macht aber auch die zusätzliche Belastung durch künstliche UV-Strahlung als Risikofaktor deutlich.

Obwohl der Altersgipfel für das Basalzellkarzinom im 6. bis 7. Lebensjahrzehnt liegt, können auch jüngere Menschen davon betroffen werden. In Deutschland werden zur Zeit ca. 60 bzw. ca. 90 Neuerkrankungen pro 100.000 Einwohner (Frauen bzw. Männer) pro Jahr registriert. Die Inzidenz für Basalzellkarzinome ist steigend. Es handelt sich um einen langsam wachsenden, lokal destruierenden Tumor, der keine Metastasen bildet und eine äußerst niedrige Letalitätsrate aufweist. Der Tumor tritt vorwiegend in belichteten Hautpartien (vor allem Gesicht, Ohren, Kopfhaut) auf. Für das Basalzellkarzinom besteht eine eindeutige Dosis-Wirkungs-Beziehung bezüglich der UV-Exposition.

Wie beim Basalzellkarzinom liegt der Altersgipfel für das Plattenepithelkarzinom im 6. bis 7. Lebensjahrzehnt, aber auch jüngere Menschen können davon betroffen werden. Zur Zeit werden in Deutschland zwischen 10 und 30 Neuerkrankungen pro 100.000 Einwohner (Frauen bzw. Männer) pro Jahr registriert. Die Inzidenz der Plattenepithelkarzinome ist steigend. Es handelt sich um einen invasiv wachsenden, lokal destruierenden Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch metastasieren und in seltenen Fällen zum Tode führen kann. Das Plattenepithelkarzinom tritt vorwiegend in belichteten Hautpartien (vor allem Gesicht, Ohren, Kopfhaut, Handrücken, Unterarme) auf. Für das Auftreten des Tumors besteht, wie beim Basalzellkarzinom, eine Dosis-Wirkungs-Beziehung bezüglich der UV-Exposition.

3.7 Spektrale Charakterisierung

Zur Charakterisierung der spektralen Abhängigkeit photobiologischer Wirkungen wird die UV-Strahlung in die Bereiche UV-A, UV-B und UV-C unterteilt.

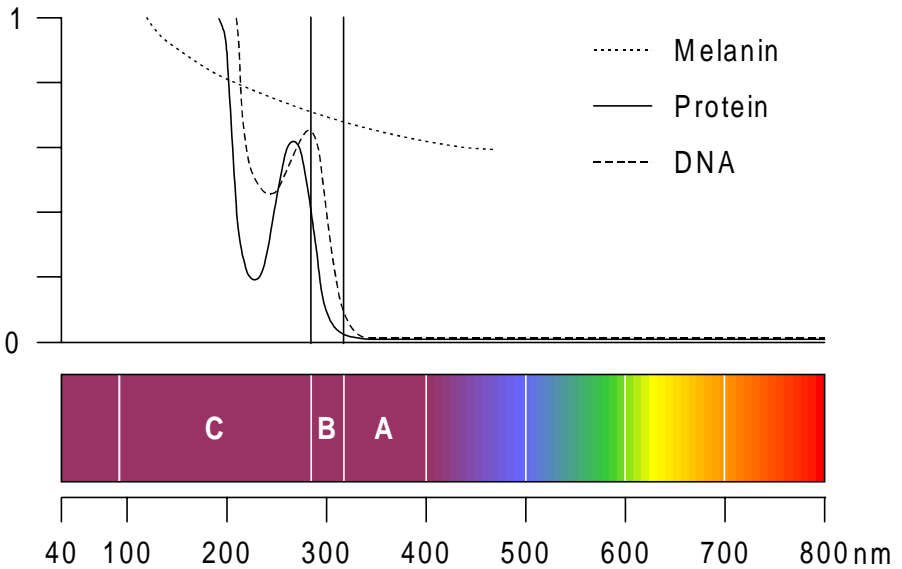


Abb.1: Spektrale Einteilung der UV-Strahlung in die Bereiche UV-A, UV-B und UV-C und Absorptionsspektren biologisch wichtiger Moleküle (DNA, Proteine, Melanin) der menschlichen Haut.

Die grobe Unterteilung in die Bereiche UV-A bis UV-C ist nur bedingt zur quantitativen Beschreibung der biologischen Effektivität von UV-Strahlung geeignet, da innerhalb dieser Bereiche beträchtliche Unterschiede in der biologischen Effektivität zu beobachten sind.

3.8 Spektrale Abhängigkeit biologischer UV-Effekte

Die Wirksamkeit ultravioletter Strahlung ist stark wellenlängenabhängig und kann für verschiedene biologische Effekte durch spektrale Wirksamkeiten (Aktionsspektren) beschrieben werden. Relativ gut untersucht sind die Aktionsspektren für das Erythem und für die Pro-Vitamin D₃-Synthese. Der Nachweis der Bedeutung von UV-Strahlung für die Ätiologie des Hautkrebses ist durch eine Vielzahl von Studien erbracht, die spektralen Abhängigkeiten für die Entstehung der nicht-melanozytären Hautkrebses und des malignen Melanoms (schwarzer Hautkrebs) unterliegen intensiver wissenschaftlicher Untersuchung. Molekulare und zelluläre Erkenntnisse über die

Wirksamkeit bestimmter spektraler Bereiche der UV-Strahlung werden vermehrt zur Verfügung gestellt. Abbildung 2 zeigt einige, den heutigen Erkenntnisstand repräsentierende spektrale Wirksamkeiten der UV-Strahlung:

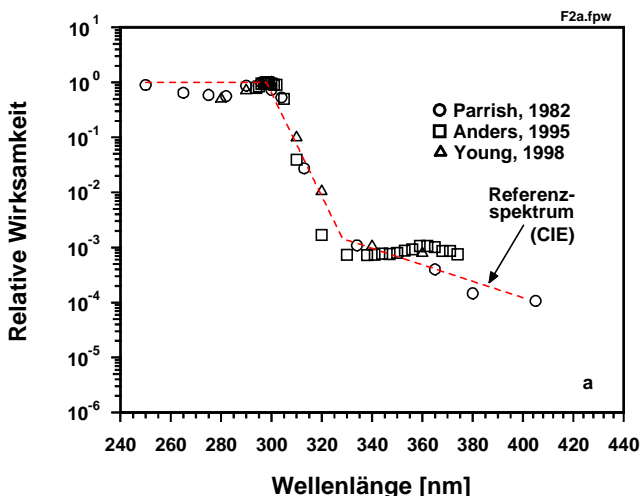


Abb. 2a: Die relative spektrale Wirksamkeit ultravioletter Strahlung für die Bildung des Hauterythems nach [Parrish (1982), Anders u.a. (1995), Young u.a. (1998)] sowie in der Definition der CIE (Referenzspektrum, vgl. DIN 5031/10).

Das Erythem der Haut ist eine sich bereits im Verlauf weniger Stunden manifestierende Reaktion auf eine akute UV-Überdosierung. Die spektrale Wirksamkeit ist gut untersucht (Abb. 2a) und wird mit hinreichender Genauigkeit durch die für meßtechnische Belange vereinfachte CIE-Erythemkurve wiedergegeben. Die individuelle, vom Hauttyp und Adaptationsgrad wesentlich bestimmte Erythemschwelldosis ist daher eine geeignete Größe zur Dosierung von UV-Hautexpositionen.

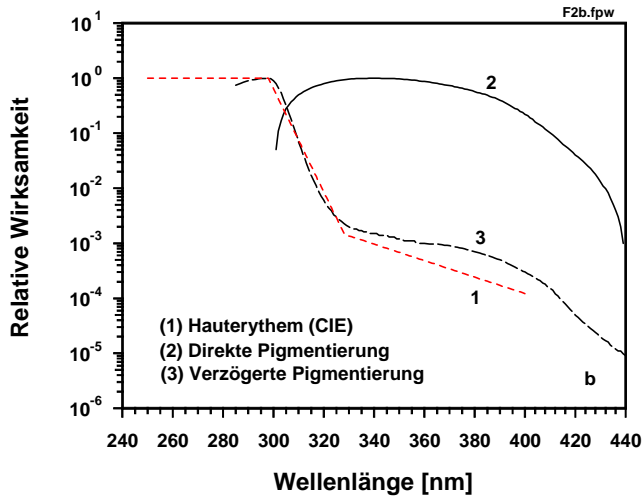


Abb. 2b: Die relative spektrale Wirksamkeit ultravioletter Strahlung für die direkte Pigmentierung (Kurve 2, DIN 5031/10) und für die indirekte Pigmentierung der Haut (Kurve 3, DIN 5031/10) im Vergleich zum CIE-Referenzspektrum der Hauterythembildung (Kurve 1).

Jedoch ist das Hauterythem nicht mit allen weiteren UV-Wirkungen korreliert. So zeigen die in den Abbildungen 2b und 2c enthaltenen Daten Unterschiede im spektralen Verlauf der Aktionsspektren. Als biologische Wirkungen, die noch in sehr guter Übereinstimmung mit der CIE-Erythemkurve liegen, können die Bildung von Thymidin-Dimeren und die Karzinom-Induktion an der Mauhaut angesehen werden (Abb. 2c). Deutlich abweichend von allen anderen Aktionsspektren ist das für die Melanomentstehung in der Fischhaut (Xiphophorus, vgl. Abb. 2c). Das Aktionsspektrum deutet auf eine starke Beteiligung der UV-A-Strahlung für die Entstehung des malignen Melanoms im Fischmodell hin. Da es sich hierbei nicht um ein Säugetiermodell handelt, ist dessen Relevanz für die Entstehung des malignen Melanoms noch genauer zu überprüfen.

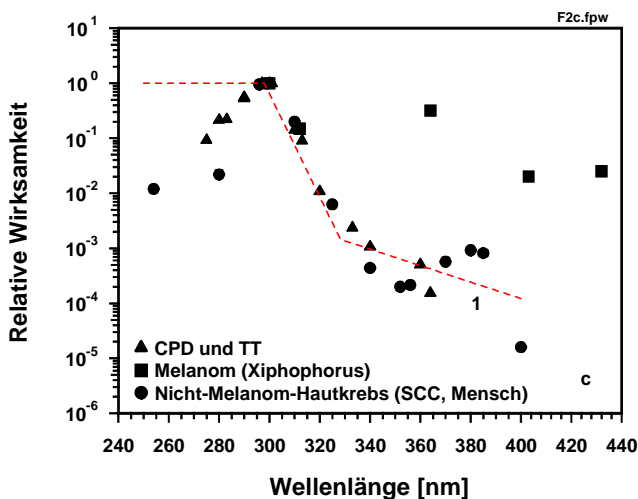


Abb. 2c: Die relative spektrale Wirksamkeit ultravioletter Strahlung für die Bildung von Zyklobutan-Pyrimidin-Dimeren (CPD) und Thymindimeren (TT) in der Epidermis (Dreiecke, [Freeman u.a. 1989, Young u.a. 1998]), für die Stimulation des Melanoms in der Haut des Fisches *Xiphophorus* (Quadrate, [Setlow u.a. 1993]) sowie der Auslösung des Plattenepithelkarzinoms in menschlicher Haut nach Messungen an Albinomäusen (Kreise, [DeGruil u.a. 1994]) im Vergleich zum CIE-Referenzspektrum der Hauterythembildung (Kurve 1).

Parrish, J.A., Jaenicke, K.F., Anderson, R.R.: Erythema and melanogenesis action spectra of normal human skin. *Photochem. Photobiol.*, **36** (2), 187-191 (1982)

Anders, A., Altheide, H.J., Knalman, M., Tronnier, H.: Action spectrum for erythema in humans investigated with dye lasers. *Photochem. Photobiol.*, **61** (2), 200-205 (1995)

Young, A.R., Chadwick, C.A., Harrison, G.I., Nikaido, O., Ramsden, I.: The similarity of action spectra for the thymine dimers in human epidermis and erythema suggests that DNA is the chromophore for erythema. *J. Invest. Dermatol.*, **111** (6), 982-988 (1998)

Freeman, S.E., Hacham, H., Gange, R.W., Maytum, D.J., Sutherland, J.C., Sutherland, B.M.: Wavelength dependence of pyrimidine dimer formation in DNA of human skin irradiated in situ with ultraviolet light. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **86** (14), 5605-5609 (1989)

Setlow, R.B., Grist, E., Thompson, K., Woodhead, A.D.: Wavelength effective in induction of malignant melanoma. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **90** (14), 6666-6670 (1993)

DeGruil, F.R., von der Leun, J.C.: Estimate of the wavelength dependency of ultraviolet carcinogenesis in humans and its relevance to the risk assessment of a stratospheric ozone depletion. *Health Phys.*, **67**(4), 319-325 (1994)

4 UV-Bestrahlungsgeräte

UV-Bestrahlungsgeräte werden für kosmetische und therapeutische Zwecke verwendet. Sie geben eine UV-Strahlung ab, deren Spektrum in der Regel erheblich vom Solarspektrum an der Erdoberfläche abweicht. Als Strahlungsquellen werden vor allem Gasentladungsstrahler (Hochdruck- und Niederdruckstrahler) genutzt, die in Bestrahlungsgeräten in Kombination mit Leuchtstoffen, Filtern, Blenden und Reflektoren eingesetzt werden.

Für die biologische Wirkung der UV-Strahlung wichtige Größen sind

- die Dosis, abhängig von Bestrahlungsstärke und Bestrahlungszeit,
- das Spektrum (die Wellenlängenabhängigkeit der Bestrahlungsstärke),
- die individuelle Empfindlichkeit der Exponierten,
- und die Häufigkeit der Expositionen.

Gegenwärtig stehen Solarien sowohl zur individuellen Ganz- oder Teilkörperexposition als auch zur Bestrahlung auf sogenannten Sonnenwiesen (Großraum-Bestrahlungsanlagen) zur Verfügung. Im allgemeinen unterscheiden sich die verfügbaren UV-Bestrahlungsgeräte durch Strahlertyp und Bauart. Innerhalb gleicher Baureihen wird die abgegebene UV-Strahlung durch Herstellungstoleranzen oder Alterung der optischen Elemente beeinflusst. Diese Unterschiede bedingen verschiedene photobiologische Wirksamkeiten. Daher sollten UV-Bestrahlungsgeräte folgende Eigenschaften besitzen:

- Möglichkeit zur individuellen Dosierung und zum Schutz vor Überdosierungen,
- Stabilität von spektraler Bestrahlungsstärke und Spektrum während der Expositionen,
- Stabilität von spektraler Bestrahlungsstärke und Spektrum während der Gerätenutzdauer,
- Gleichmäßigkeit der spektralen Bestrahlungsstärke auf der Nutzfläche.

Die Abbildung 3a-d zeigt Spektren der spektralen Bestrahlungsstärke verschiedener Bestrahlungsgeräte für UV-A- und UV-A/B-Hautexposi-

tionen. Die Unterschiede in den Spektren dieser Geräte sind meist auf die Art der verwendeten Strahlungsquelle zurückzuführen. Zur Beurteilung ihrer biologischen Wirksamkeit ist daher eine photobiologische Charakterisierung erforderlich (vgl. Kapitel 3.8).

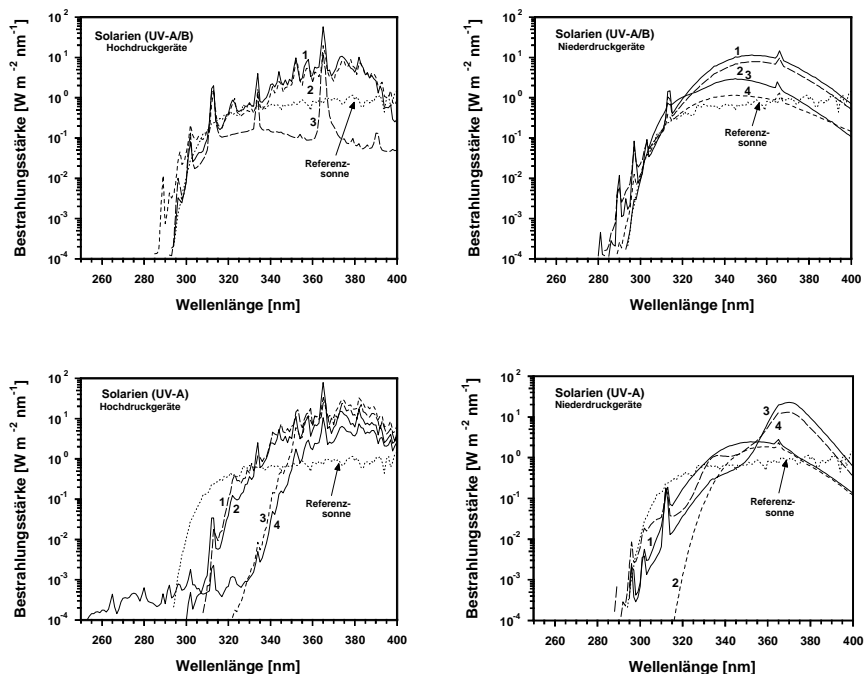


Abb. 3: Spektren der spektralen Bestrahlungsstärke verschiedener, mit Hochdruck- oder Niederdruckgasentladungslampen ausgestatteter Bestrahlungsgeräte für UV-A/B- und UV-A-Expositionen im Vergleich zur Strahlung der Referenzsonne^{*)}: UV-A/B-Geräte ausgerüstet mit Hochdruckstrahlern (a) und mit Niederdruckstrahlern (b) sowie UV-A-Geräte unter Verwendung von Hochdruckstrahlern (c) und von Niederdruckstrahlern (d).

^{*)} Als Referenzsonne wird die Solarstrahlung bezeichnet, die bei senkrechter Einstrahlung und hoher atmosphärischer Transparenz (wolkenloser Himmel, Ozonkonzentration = 320 Dobson-Units, Trübungsfaktor = 0,06) auf eine horizontale, in Meeresspiegelhöhe gelegene Einheitsfläche auftrifft (DIN 67501).

4.1 Bestrahlungsgeometrie

Bedingt durch die spezielle Anordnung der optischen Bauteile im Bestrahlungsgerät hängen sowohl die spektrale Bestrahlungsstärke als auch die geometrische Verteilung der Strahlung vom Abstand ab.

Die zur quantitativen Charakterisierung der photobiologischen Wirksamkeit des Gerätes sowie als Dosierungsgrundlage herangezogene spektrale Bestrahlungsstärke bezieht sich auf einen festen Nutzabstand.

Die spektrale Bestrahlungsstärke ist bauartbedingt auf der Nutzfläche ungleichmäßig. Um erhebliche lokale Überdosierungen zu vermeiden, sind die Ungleichmäßigkeiten der Bestrahlungsgeräte in der Wirkungsebene zu begrenzen; als Mindestforderung darf das Maximum der erythemwirksamen spektralen Bestrahlungsstärke im Bereich der Nutzfläche das 1,7-fache des Minimums nicht überschreiten.

4.2 Zeitliche Stabilität

Die spektrale Bestrahlungsstärke eines UV-Bestrahlungsgerätes hängt wesentlich von den die Emission bestimmenden Betriebsparametern, von der Brenntemperatur und von Alterungseffekten der UV-Strahler selbst sowie der optischen Bauteile (Filter und Reflektoren) ab.

Zur Gewährleistung der konstanten photobiologischen Eigenschaften der Bestrahlungsgeräte darf die erythemwirksame spektrale Bestrahlungsstärke um nicht mehr als 20% vom Sollwert abweichen. Dies erfordert:

1. Aufgrund der bei neuen Strahlern auftretenden anfänglich starken spektralen Änderungen die ausschließliche Verwendung eingebrennter Strahler (Einbrennen vorzugsweise durch den Hersteller; z.B. Einbrenndauer bei Hochdruckstrahlern: 50 h),
2. eine gleichbleibende Betriebstemperatur der Strahlungsquellen während der Exposition,
3. die Einhaltung der spektralen Eigenschaften der Bestrahlungsgeräte. Hierzu sind notwendig

- a) regelmäßige Messungen der erythemwirksamen spektralen Bestrahlungsstärke auf der Nutzfläche und deren Dokumentation,
 - b) kontinuierliche Registrierung der Betriebszeit der Strahler und Registrierung der spektralen Bestrahlungsstärke an einem Referenzpunkt in einem charakteristischen Bereich des Spektrums,
4. den Ersatz der betroffenen optischen Bauteile durch identische oder als vergleichbar deklarierte Elemente bei Änderung der spektralen Charakteristik oder der erythemwirksamen spektralen Bestrahlungsstärke um mehr als 20% (DIN 5050-2).

4.3 Dosierung

Aufgrund von Unterschieden in der spektralen Emission der UV-Strahlungsquellen, bei den Betriebsbedingungen oder bei optischen Bauteilen sind UV-Bestrahlungsgeräte verschiedener Bauart im allgemeinen in ihrer photobiologischen Wirksamkeit nur bedingt oder überhaupt nicht untereinander vergleichbar. Die Erfassung der Bestrahlung in ungewichteten Größen (üblicherweise z.B. J/m^2 oder mJ/cm^2) kann daher sowohl beim Wechsel der Bestrahlungsgeräte als auch bei der Erfassung kumulativer Langzeitdosen zu erheblichen Fehleinschätzungen der biologischen Strahlungswirkungen führen.

Es wird daher empfohlen, nicht nur die spektrale biologische Wirksamkeit eines UV-Bestrahlungsgerätes, sondern auch die applizierte Dosis auf die Erythemwirksamkeit zu beziehen. Anstelle der heute noch vielfach üblichen Dosierung im biologisch ungewichteten Maßsystem kann die applizierte Dosis in der erythemgewichteten Dosierung, z. B. als Vielfaches der standardisierten MED von 250 J/m^2 , angegeben werden.

5 Individuelle Dosierung von UV-Expositionen

Zur Angabe der applizierten Dosis in der erythemgewichteten Dosierung, z. B. als Vielfaches der standardisierten MED, kann die in der Gerätezeichnung anzugebende Bestrahlungsdauer zum Erreichen der MED (T_{er})

herangezogen werden. Das während der gewählten Bestrahlungsdauer t_B (t_B in s) applizierte Vielfache der erythemwirksamen Dosis ergibt sich zu

$$H_{er} = MED \cdot t_B / T_{er}.$$

Aufgrund individueller Unterschiede der Menschen hinsichtlich der UV-Empfindlichkeit (Hauttyp, UV-Adaptationsgrad, Gesundheitszustand, Medikamenteneinnahme^{*)}, Alter, Schwangerschaft u.v.a.m.) muss die Dosierung von UV-Expositionen individuell erfolgen und die jeweilige UV-Empfindlichkeit des Nutzers berücksichtigt werden. Für nicht vorbestrahlte Personen der Hauttypen II - IV ergeben sich die in Tab. 1 der Empfehlung angegebenen Erythemschwellendosen, die zweckmäßig auf die standardisierte MED bezogen werden.

6 Definitionen von Bestraungsgrößen

Begriffe und Definitionen (in Anlehnung an DIN 5050, Teil 1, Mai 1992)

1. Erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{er}

Die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{er} ist die entsprechend der relativen spektralen biologischen Empfindlichkeit $s(\lambda)_{er, rel}$ der betrachteten Erythemwirkungsreaktion bewertete Bestrahlungsstärke.

$$E_{er} = \int_0^{\infty} E_{\lambda}(\lambda) \cdot s(\lambda)_{er, rel} \cdot d\lambda \quad \text{Einheit: Wm}^{-2}$$

Hierin bedeuten:

E_{er} erythemwirksame Bestrahlungsstärke

$E_{\lambda}(\lambda)$ spektrale Bestrahlungsstärke

$s(\lambda)_{er, rel}$ relative spektrale Empfindlichkeit für die UV-Erythemreaktion

^{*)} Eine Auflistung solcher Stoffe und Arzneimittel, die die Lichtempfindlichkeit der Haut erhöhen und phototoxische/photoallergische Reaktionen auslösen können, ist als Anlage beigefügt.

2. Erythemwirksame Bestrahlung (Dosis) H_{er}

Die erythemwirksame Bestrahlung H_{er} ist das Integral der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke E_{er} über die Zeit t (t_1 : Dauer des Bestrahlungsvorganges).

$$H_{er} = \int_0^{t_1} E_{er}(t) dt \quad \text{Einheit: Jm}^{-2}$$

3. Erythemwirksame Schwellenbestrahlung $H_{s,er}$

Diejenige erythemwirksame Bestrahlung H_{er} , die eine gerade merkliche Schwellenreaktion (eine gerade sichtbare, scharf gegen die unbestrahlte Haut abgegrenzte Rötung) erzeugt, wird als erythemwirksame Schwellenbestrahlung $H_{s,er}$ bezeichnet.

Als Wert der erythemwirksamen Schwellenbestrahlung $H_{s,er}$ für den menschlichen Körper (hellhäutiger Europäer: Hauttyp II) wird festgelegt:

$$H_{s,er} = 250 \text{ Jm}^{-2}$$

Dieser Wert entspricht demjenigen der minimalen erythemwirksamen Dosis (MED).

4. Schwellenbestrahlungsdauer für die Erythembildung $t_{s,er}$

Die Schwellenbestrahlungsdauer für die Erythembildung $t_{s,er}$ ist diejenige Bestrahlungsdauer, nach der bei gegebener erythemwirksamer Bestrahlungsstärke E_{er} die Schwellenbestrahlung $H_{s,er}$ erreicht wird:

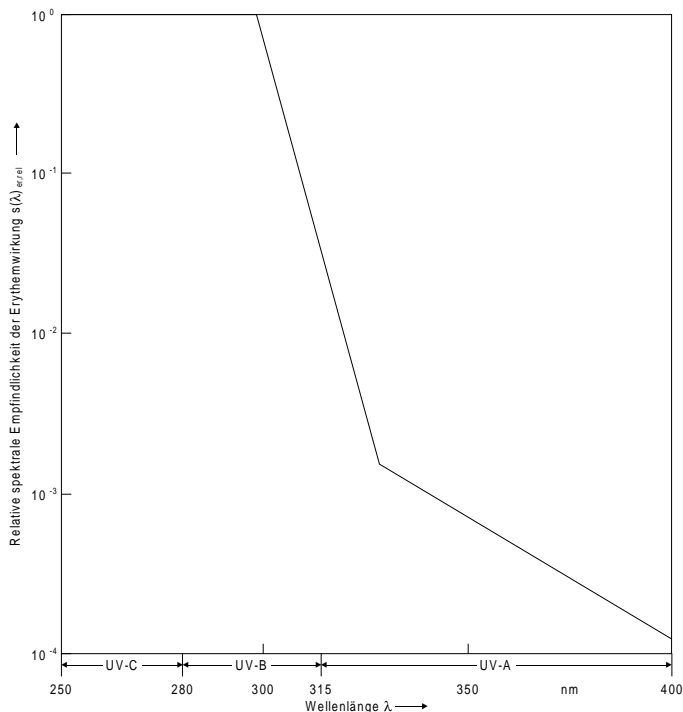
$$t_{s,er} = H_{s,er} / E_{er}$$

5. Sonnenerythempfaktor SEF

Der Sonnenerythempfaktor SEF ist das Verhältnis der durch das Bestrahlungsgerät erzeugten erythemwirksamen Bestrahlungsstärke $E_{er, \text{Gerät}}$ zur erythemwirksamen Bestrahlungsstärke der Referenzsonne $E_{er, RS}$ (Referenz-Sonnentag bei der Sonnenhöhe $\gamma = 90^\circ$, bei wolkenlosem Himmel, bei einer atmosphärischen Ozonkonzentration von 320 DU und einem atmosphärischen Trübungsfaktor von 0,06):

$$SEF = \frac{E_{er, \text{Gerät}}}{E_{er, RS}}$$

Wirkungsfunktion des UV-Erythems $s(\lambda)_{er, rel}$ nach CIE^{*)}



Die abgebildete Kurve entspricht der relativen spektralen Empfindlichkeit $s(\lambda)_{er, rel}$ nach IEC 60335-2-27 von 1995 und nach DIN 5050, Teil 1, und DIN EN 60 335-2-27. Sie ist in folgender Form festgelegt:

$$\begin{aligned}
 s(\lambda)_{er, rel} &= 1 && \text{für } \lambda \leq 298 \text{ nm} \\
 s(\lambda)_{er, rel} &= 10^{0,094(298-\lambda/\text{nm})} && \text{für } 298 \text{ nm} < \lambda \leq 328 \text{ nm} \\
 s(\lambda)_{er, rel} &= 10^{0,015(139-\lambda/\text{nm})} && \text{für } 328 \text{ nm} < \lambda \leq 400 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

^{*)} „Reference UV-Erythema Action Spectrum“; Research Note in the CIE-Journal 6/1 (1987)

Anlage: Liste phototoxischer und photoallergischer Medikamente und Duftstoffe

(a) allergisch, (t) toxisch

Pharmakologische Stoffgruppe	Kurzbezeichnung / Stoffklasse	Handelsname
Innerliche Anwendung		
Antibiotika/ Chemotherapeutika	Ciprofloxacin Co-trimoxazol Dapsone Damaclocyclin Doxycyclin Flucytosin Griseofulvin Lincomycin Minocyclin Nalidixinsäure Norfloxacin Ofloxacin Oxytetracyclin Pyrazinamid Sulfonamide Tetracyclin Trimethoprim	ciprobay Bactrim u.a. Dapsone-Fatol Ledermycin (t) Vibramycin N u.a. (t) Ancotil Fulcin S u.a. (a) Albiotic (a) Klinomycin u.a. (t) Nogram (a,t) Barazan u.a. Tarivid Tetra Tablinen u.a. (t) Pyrafat u.a. (a) z.B. Longum (a, t) Hostacyclin u.a. (t) Trimanyl u.a.
Antidiabetika	Glibenclamid Glipizid Tolbutamid	Euflycon N u.a. (a) Glibenese (a) Rastinon u.a. (a)
Antihistaminika	Cypropheptadin Diphenhydramin	Peritol (a) Benadryl N u.a. (a)
Antirheumatika	Azapropazon Diflunisal Goldsalze Ibuprofen Indometazin Ketoprofen Nabumeton Naproxen Phenylbutazon Piroxicam Tiaprofensäure	Tolyprin Fluniget z.B. Aureotan (a) Brufen u.a. Amuno u.a. (a) Alrheumun u.a. Arthaxan Proxen u.a. (t) Butazolidin u.a. (a) Felden u.a. (a,t) Surgam (t)

Pharmakologische Stoffgruppe	Kurzbezeichnung / Stoffklasse	Handelsname
Bluthochdruckmittel	Captopril Diltiazem Methyldopa Minoxidil Nifedipin	Lopirin u.a. (t) Dilzem u.a. Presinol u.a. Lonolox Adalat u.a.
Diuretica	Amilorid Acetazolamid Chlortalidon Furosemid Metolazon Thiaziddiuretika (a) wie Bendroflumethiazid Hydrochlorothiazid Polythiazid Trichlormethiazid Triamteren	in Moduretik u.a. Diamox u.s. Hygroton u.a. (a) Lasix u.a. (t) Zaroxolyn in Docidrazin u.a. (a) Esidrix u.a. (a) Polypress (a) Esmalorid (a) Jatropur
Krebsmittel	Dacarbazin Fluorouracil Flutamid Methotrexat Vinblastin	D.T.I.C. (t) Fluroblastin u.a. (t) Fugerel Methotrexat Lederle u.a. Velbe u.a. (t)
Malariamittel	Chinin Chloroquin Mefloquin	Chininum Sulf. u.a. (a) Resochin u.a. (a) Lariam (a)
Psychopharmaka	Alprazolam Barbiturate Chlordiazepoxid Haloperidol	Tafil u.a. z.B. Luminal (a) Librium u.a. (a) Haldol u.a.
	Phenothiazin- Neuroleptika wie Chlorpromazin Fluphenazin Levomepromazin Perphenazin Promethazin Thioridazin Trifluoperazin Triflupromazin	Propaphenin (a,t) Dapotum u.a. (a) Neurocil u.a. (t) Decentan (a) Atosil u.a. (a) Melleril (a,t) Jatroneural (t) Psyquil (a,t)

Pharmakologische Stoffgruppe	Kurzbezeichnung / Stoffklasse	Handelsname
	trizyklische Antidepressiva (a) wie Amitriptylin Clomipramin Desipramin Doxepin Imipramin Maprotilin Nortriptylin Trazodon Trimipramin	Saroten u.a. (a) Anafranil u.a. (a) Pertofran u.a. (a) Aponal u.a. (a) Tofranil u.a. (a) Ludiomil u.a. (a) Nortrilen (a) Thombran (a) Stangyl u.a. (a)
Sonstige Wirkstoffe	Azathioprin Benzylamin Carbamezepin Chinidin Disopyramid Fibrat-Lipidsenker wie Clofibrat Fenofibrat Kontrazeptiva, orale (a) Phenprocoumon und andere Kumarine (t) Procain Pyritinol Retinoide wie Acitretin Isotretinoin	Imurek u.a. (a) Tantum (a,t) Tegretal u.a. (a) Optochinidin u.a. (a) Rythmodul u.a. Regelan N u.a. Lipanthyl u.a. Marcumar u.a. (t) Novocain u.a. (a) Encephabol u.a. (a,t) Neotigason Roaccutan

Pharmakologische Stoffgruppe	Kurzbezeichnung / Stoffklasse	Handelsname
Äußerliche Anwendung		
	ätherische Öle wie Bergamott-, Lavendel-, Limonen-, Sandelholz-, Zedern-, Zitronenöl Amantadin Benzocain Benzoylperoxid Desoximetason Hexachlorophen Methoxy psoralen Moschus Tretinoin Steinkohlenteer	in Parfums und Kosmetika Symmetrel u.a. (a) Anaesthesin u.a. (a) PanOxyl u.a. Topisolon in Aknefug Simplex Creme u.a. Meladinine (t) in Parfums Epi-Aberel u.a. Berniuter u.a.

Hinweis auf eine weitere Publikation zum Thema UV-Strahlung aus der Reihe Informationen der Strahlenschutzkommission:

Nummer 4 Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung

Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission

Redaktion: Detlef Gumprecht und Horst Heller, Bonn
1998, 120 Seiten

Diese Information ist kostenlos über die Geschäftsstelle der SSK erhältlich oder kann aus dem Internetangebot der SSK abgerufen werden (<http://www.ssk.de>).

Die Strahlenschutzkommission (SSK) beobachtet mit Sorge die durch ultraviolette Strahlung, kurz UV-Strahlung, verursachte Zunahme akuter und chronischer Hautschäden, insbesondere die Zunahme von Hautkrebskrankungen. Ein Teil der in den letzten Jahrzehnten zu beobachtenden dramatischen Zunahme der Hautkrebskrankungen ist durch die erhöhte UV-Exposition erklärbar, die auf ein geändertes Freizeit- und Sozialverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen ist. Hierbei kommt der weit verbreiteten Auffassung, daß „braun“ mit „schön und gesund“ gleichzusetzten sei, eine besondere Rolle zu. Dieses derzeitige Schönheitsideal führt zu gezieltem, ausgiebigem Sonnenbaden nicht nur in der Freizeit, sondern in noch stärkerem Maße während der Urlaubszeit.

Die positive Wirkung der Sonne auf den Körper (Vitamin D₃-Bildung) und auf die Seele des Menschen soll nicht vergessen werden. Für einen sinnvollen Umgang mit der Sonne, der es der Bevölkerung ermöglicht, diese positiven Eigenschaften zu nutzen, ohne sich einem erhöhten Hautkrebsrisiko auszusetzen, will die SSK mit den jetzt vorgelegten Empfehlungen Hinweise geben. Diese Empfehlungen stellen eine vervollständigte und überarbeitete Fassung der bereits in den Jahren 1990 und 1993 von der SSK herausgegebenen ausführlichen Informationen dar.

Die SSK gibt in ihren Schutzempfehlungen Ratschläge zur

- Gewöhnung der Haut an die Sonnenbestrahlung
- Art des Sonnenschutzes und dessen Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung (UV-Index)
- maximalen Zahl der jährlichen Sonnenbäder.

Sie stellt insbesondere fest, daß ein Sonnenbrand stets vermieden werden sollte, dies gilt vor allem für Kinder und Jugendliche.

Die SSK hat zu diesen Empfehlungen einen Dokumentationsteil erarbeitet, der die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Wirkung der UV-Strahlung auf die Haut einschließlich der Risiken und Ursachen der Hautkrebsentstehung zusammenfaßt und damit die Schutzempfehlungen begründet.



Die Strahlenschutzkommission im Internet:
www.ssk.de
