

03.05.2005

**Vergleichende Bewertung
der durch eine Leuchtstofflampe (True-Light N7-1A-36 W)
erzeugten Strahlung und ihrer photobiologischen Wirkungen mit
der natürlichen Referenzstrahlung im UV**

Dr.-Ing. Mehmet Yeni / TU Berlin

1. Gesundheitliche Wirkungen der UV-Strahlung

Die Bestrahlung der menschlichen Haut mit solarer oder künstlicher UV-Strahlung kann sowohl gesundheitsfördernde als auch schädigende Effekte hervorrufen. Das Auftreten dieser erwünschten und unerwünschten Effekte hängt von der spektralen Zusammensetzung der Strahlung, der Dosis sowie der Häufigkeit der Anwendung ab. Für die Bewertung künstlicher Bestrahlungsquellen sind alle möglichen gesundheitlichen Effekte gegeneinander abzuwägen.

Das **UV-Erythem** als Symptom stellt sich als eine akute Entzündung der menschlichen Haut als Folge einer zu hohen UV-Bestrahlung ein. Diese klinisch auch als *erythema solaris* oder *dermatitis solaris* bekannte Wirkung ist die bekannteste physiologische, reversible Reaktion der Haut auf Strahlung im gesamten UV-Spektrum. In Abhängigkeit von der Erythemdosis kann die Reaktion der Haut dabei von einem leichten Sonnenbrand bis zu schwersten Verbrennungen reichen.

Die Bewertung der spektralen Bestrahlungsstärke mit dem Wirkungsspektrum des UV-Erythems nach DIN /1/ und die numerische Integration über die Wellenlänge ergibt die erythemwirksame Bestrahlungsstärke:

$$E_{er} = \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda \quad (\text{I})$$

Aus den Spektralwerten der Bestrahlungsstärke ergeben sich die jeweiligen Schwellenbestrahlungszeiten für das UV-Hauterythem ($t_{s,er}$) nach DIN /1/ für den Hauttypen II:

$$t_{s,er} = \frac{250 \text{ Jm}^{-2}}{E_{er}} \quad (\text{II})$$

Für die erythemwirksame Bestrahlung H_{er} gilt mit der Bestrahlungsdauer t und der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke E_{er} entsprechend (I):

$$H_{er} = \int_0^t E_{er}(t') dt' \quad (\text{III})$$

Der Wert der minimalen erythemwirksamen Dosis (MED) ist in DIN mit $1 \text{ MED} = 250 \text{ Jm}^{-2}$ festgelegt und entspricht der Schwellendosis für das UV-Erythem $H_{s,er} = 250 \text{ Jm}^{-2}$ für den hellhäutigen Europäer ohne Vorbestrahlung.

Bezüglich des Schutzes von arbeitenden Menschen in der Umgebung eines Bestrahlungsgerätes und UV emittierenden Strahlungsquellen sind Grenzwerte einzuhalten. Für den Augenschutz - auch der bestrahlten Person - ergeben sich die Grenzwerte der wirksamen Bestrahlungsstärke gemäß:

$$E_{\text{Auge}} = \int_{250\text{nm}}^{400\text{nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{\text{Auge}}(\lambda) d\lambda \quad (\text{IV})$$

Dabei ist das Wirkungsspektrum $s_{\text{Auge}}(\lambda)$ in den Vorschriften der BG und der ICNIRP /2/ festgelegt.

Durch die **Vitamin D₃-Photosynthese** in Folge UV-Exposition an der menschlichen Haut sind eine Reihe von gesundheitsfördernden Wirkungen verbunden. Vitamin D-Mangel gilt heute als eine der Hauptursachen für Rachitis bei Kindern, Osteomalazie, Osteoporose sowie Muskelschwäche. Der chronische Mangel des Vitamins D kann als ernste Konsequenzen einen erhöhten Bluthochdruck, Sklerose, Bildung von Dickdarm-, Prostata-, Brust- und Eierstockkarzinomen sowie Diabetes Typ 1 zur Folge haben. Zahlreiche abgesicherte Studien belegen, dass durch künstliche UV-Bestrahlungen im Wirkungsspektrum der Vitamin D₃-Photosynthese therapeutische Erfolge bei oben aufgezählten Symptomen beobachtet werden. Die Vitamin-D₃-wirksame Bestrahlungsstärke E_{vd} kann als ein Maß für die biopositiven Wirkungen der UV-Strahlung angesehen werden, wobei die Gefährdung durch UV-Strahlung mit zu berücksichtigen ist.

$$E_{\text{vd}} = \int_{250\text{nm}}^{400\text{nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{\text{vd}}(\lambda) d\lambda \quad (\text{V})$$

2. Vergleichsspektrum im UV

Für definierte Zustände des Himmels und konkrete Sonnenhöhenwinkel sind durch CIE /3/ und DIN /4/ spektrale Bestrahlungsstärken der Referenzsonne $E(\lambda)_{\text{ref}}$ definiert worden, die als Bewertungsgrundlage von künstlichen UV-Quellen dienen. Die hier angenommene Referenzspektralverteilung im UV gilt für den senkrechten Strahlungsgang durch die Atmosphäre (Mittagssonne am Äquator) bei sehr klaren Himmelszuständen mit geringer Trübung und großen Sichtweiten. Zum Vergleich der Erythemwirksamkeit von künstlichen Strahlungsquellen mit der natürlichen Strahlung wird der Sonnenerythempfaktor f_{SE} herangezogen. Dabei wird für die maximale erythemwirksame Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung ein Wert von 300 mWm^{-2} angesetzt:

$$f_{SE} = \frac{E_{er,Strahler}}{E_{er,Ref}} = \frac{E_{er,Strahler}}{0,3 \text{ Wm}^{-2}} \quad (\text{VI})$$

3. Die Lampe True-Light N7-1A-36W (2370 lm)

Den relativen spektralen Verlauf der Bestrahlungsstärke im UV und VIS einer Leuchtstofflampe (True-Light N7-1A-36W/ 2370 lm) verdeutlicht Abbildung 1.

Vergleichend sind auf Abbildung 2. die spektralen Bestrahlungsstärkewerte der Lampe bei einem geometrischen Abstand der Anwendungsebene von der Lampe von $d = 1,25 \text{ m}$ und der Referenzsonnenstrahlung im UV im logarithmischen Maßstab aufgetragen*. Die spektralen erythemwirksamen Bestrahlungswerte einer Leuchtstofflampe (True-Light N7-1A-36 W/ 2370 lm) und der natürlichen Referenzgröße verdeutlicht Abbildung 3.

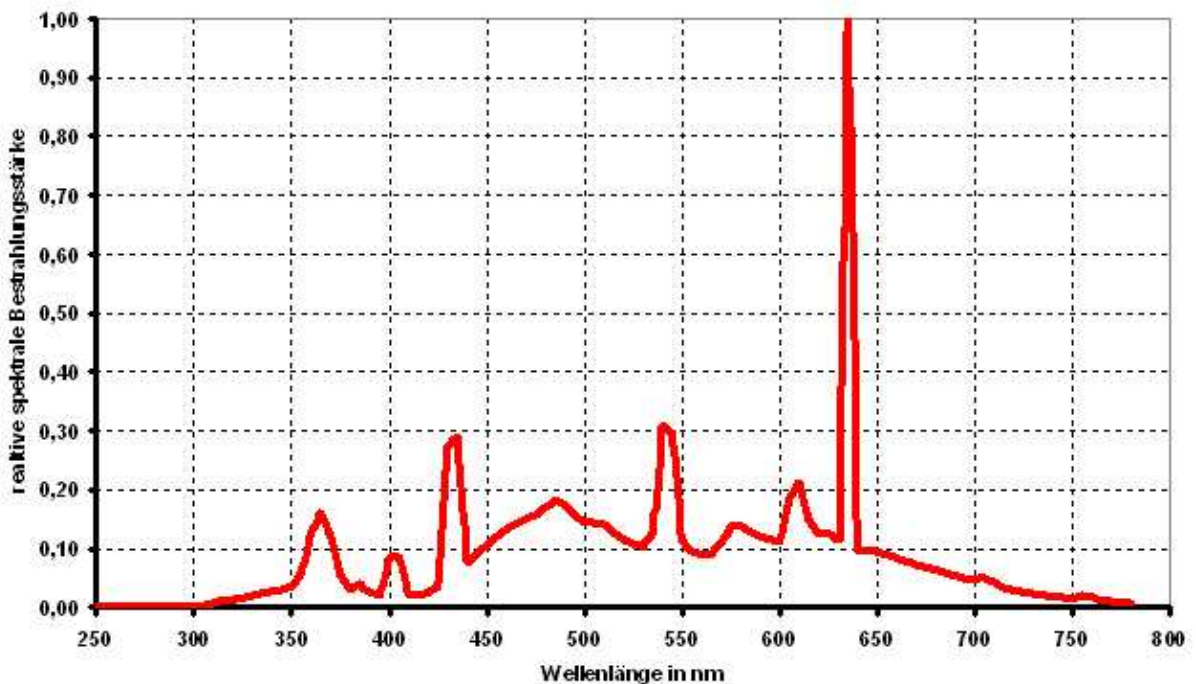


Abbildung 1: Relative spektrale Bestrahlungsstärke im UV und VIS in der Anwendungsebene $d = 1,25 \text{ m}$ (True-Light N7-1A-36W/ 2370 lm)

* : Die spektralen Bestrahlungsstärkewerte der Lampe nach Angaben des Herstellers

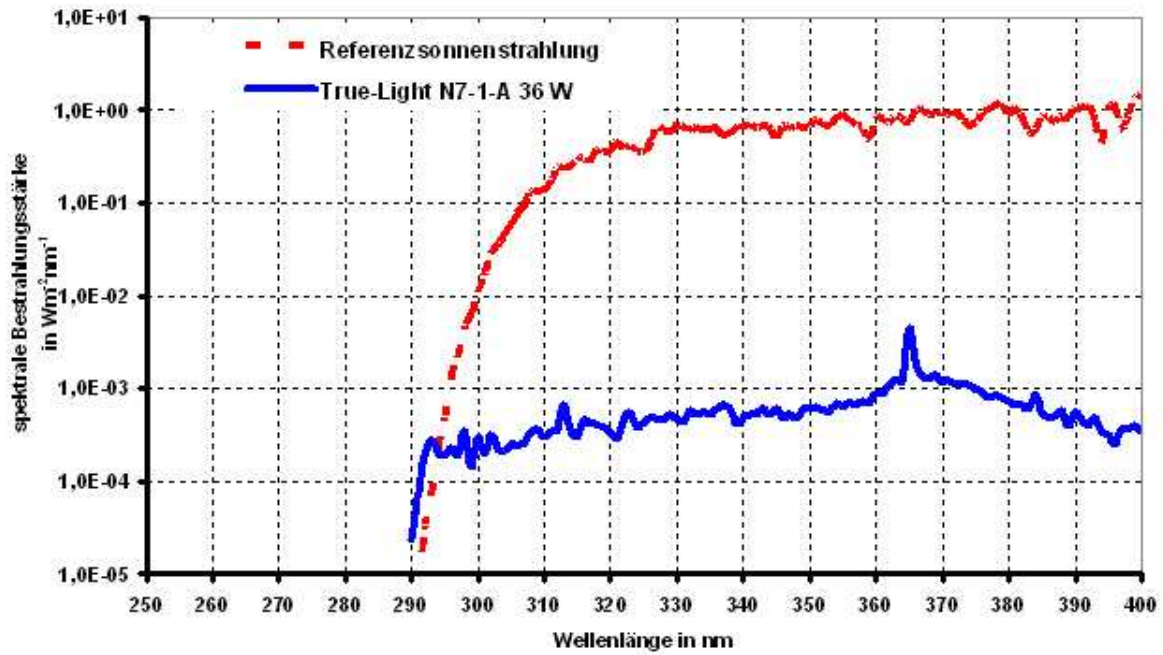


Abbildung 2: Spektrale Bestrahlungsstärke der True-Light N7-1A-36W in einer Anwendungsebene ($d = 1,25$ m) und der Referenzsonnenstrahlung im UV

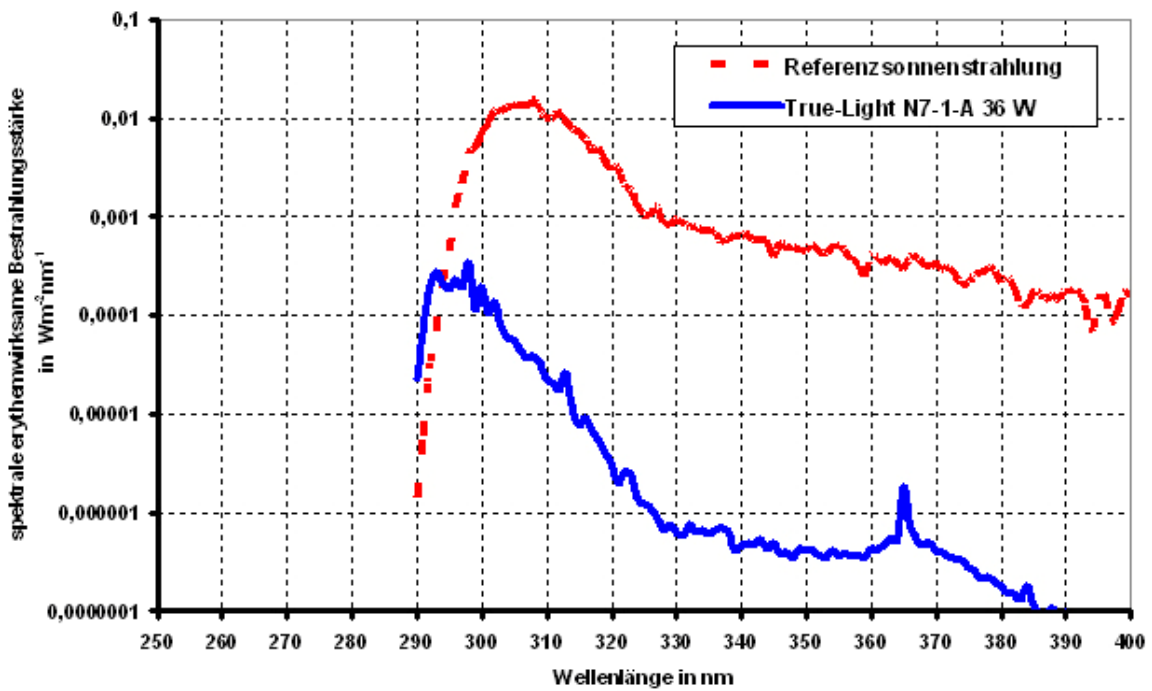


Abbildung 3: Spektrale erythemwirksame Bestrahlungsstärke der True-Light N7-1A-36W in einer Anwendungsebene ($d = 1,25$ m) und der Referenzsonnenstrahlung

Aus den spektralen Werten der Bestrahlungsstärke lassen sich wirksame Bestrahlungsstärken für definierte photobiologische Wirkungen wie das UV-Erythem, die Augengefährdung und die Vitamin-D₃-Photosynthese numerisch ermitteln (siehe Tabelle 1).

Die Lampe weist beim angegebenen geometrischen Abstand im UV-A eine Bestrahlungsstärke von $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ Wm}^{-2}$ auf. Durch die Lichtquelle im UV-B wird in derselben Anwendungsebene eine Bestrahlungsstärke von $6,9 \cdot 10^{-3} \text{ Wm}^{-2}$ erzeugt. In diesen Spektralbereichen sind die durch die Referenzsonne erzeugten Bestrahlungsstärken um den Faktor ca. 1000 (UV-A) bzw. ca. 280 (UV-B) höher als die der Lampe. Der relative spektrale Verlauf des Lampenspektrums ist wie bei der natürlichen Referenzgröße zu größeren Wellenlängen ansteigend. Im UV-C ($\lambda \leq 280 \text{ nm}$) wird durch die Lampe keine Strahlung emittiert. Bei der genannten Anwendungsebene ($d = 1,25 \text{ m}$) wird durch die Lampe die Beleuchtungsstärke $E_v = 61 \text{ lx}$ erzeugt. Bei einer erythemwirksamen Bestrahlungsstärke E_{er} der Lampe von $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ Wm}^{-2}$ und einem Sonnenerythempfaktor von $9,3 \cdot 10^{-3}$ wird die Schwellendosis für das UV-Erythem nach ca. 1500 h Exposition erreicht (Referenzsonne: 17 min). Die Vitamin-D₃-wirksame Bestrahlungsstärke der betrachteten Lichtquelle beträgt bei einem Abstand von 1,25 m zwischen der Lampe und der Anwendungsebene $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Wm}^{-2}$ (Referenzsonnenstrahlung: $0,8 \text{ Wm}^{-2}$). Bei direkter Bestrahlung der Augen durch die Lampe im Abstand von 1,25 m beträgt die Schwellenzeit für Augenschädigung $t_{s,Auge} = 336 \text{ min}$.

Zur Erzeugung von einer Beleuchtungsstärke von $E_v = 1000 \text{ lx}$ auf einer Anwendungsebene (z. B. auf einem Büroschreibtisch) werden theoretisch 16,4 Lampen der untersuchten Bauart benötigt. Für diesen theoretischen Fall lässt sich auf dieser Fläche eine erythemwirksame Bestrahlungsstärke von $E_{er} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ Wm}^{-2}$ und eine Schwellenbestrahlungszeit zum Erreichen einer Hautrötung in Folge eines UV-Erythems von $t_{s,er} = 93 \text{ min}$ angeben. Die Vitamin-D₃-wirksame Bestrahlungsstärke beträgt dabei $5,8 \cdot 10^{-2} \text{ Wm}^{-2}$.

Schlussfolgerung:

Aufgrund der UV-A- und UV-B-Emission durch die Lampe True-Light N7-1A-36W wird durch die bewertete Lampe bei der angegebenen Anwendungsebene eine als im Allgemeinen gesundheitsfördernd anzusehende Vitamin-D₃-wirksame Bestrahlungsstärke von $E_{vd} = 3,6 \text{ mWm}^{-2}$ in der angegebenen Anwendungsebene erzeugt. Dieser Wert liegt höher als die durch die Lampe erzeugte erythemwirksame Bestrahlungsstärke $E_{er} = 2,8 \text{ mWm}^{-2}$. Zur

Verhinderung von gesundheitsschädigenden Effekten sind die Schwellenbestrahlungszeiten insbesondere für die Augenschädigung und das UV-Erythem einzuhalten.

Tabelle 1: Photobiologische Bewertungsgrößen der True-Light-Lampe und der Referenzsonnenstrahlung im UV

Größe	Truelight d = 1,25 m	True-Light bei $E_v = 1000 \text{ lx}$	Referenzsonnenstrahlung
$E_{\text{UV-A}}$ (315 nm-400 nm) in W/m^2	$6,0 \cdot 10^{-2}$	0,95	62,8
$E_{\text{UV-B}}$ (280 nm-315 nm) in W/m^2	$6,9 \cdot 10^{-3}$	0,11	1,95
$E_{\text{UV-C}}$ (250 nm - 280 nm) in W/m^2	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	0,0
E_{UVges} (250 nm - 400 nm) in W/m^2	0,07	1,06	64,4
E_{Erythem} (250 nm - 320 nm) in W/m^2	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	0,21
E_{Erythem} (320 nm - 400 nm) in W/m^2	$< 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-2}$
E_{Erythem} (250 nm - 400 nm) in W/m^2	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	0,25
t_{erythem} in min	1492	93	17
E_{Auge} (250 nm - 400 nm) in W/m^2	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	0,25
t_{Auge} in min	336	21	2
$E_{\text{Vit-D3}}$ (250 nm - 400 nm) in W/m^2	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	0,43
Sonnenerthemfaktor f_{SE}	$9,3 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,8

Literatur:

/1/ : DIN 5050: Solarien und Heimsonnen, Teil 1: Meßverfahren, Typeneinteilung, Kennzeichnung

/2/ Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 1000 μm . ICNIRP Guidelines. Health Physics, November 1996, Vol. 71, No. 5

/3/: CIE-Publication Nr. 85, Solar Spectral Irradiance, 1989

/4/: DIN 67501, Experimentelle Bewertung des Erythemschutzes von externen Sonnenschutzmitteln für die menschliche Haut, 09.1999