

Umrechnung von UV-Strahlungsgrößen

Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV

1 Allgemein

Zur Quantifizierung von UV-Strahlungsexpositionen wird die physikalische Größe „Bestrahlung“ mit der Abkürzung H verwendet. Es gibt allerdings verschiedene von der Größe „Bestrahlung H “ abgeleitete Varianten, die je nach Anwendung genutzt werden. Diese Größen quantifizieren UV-Strahlenexpositionen im Hinblick auf bestimmte biologische Wirkungen:

H_{eff} : Effektive Bestrahlung

Die effektive Bestrahlung H_{eff} wird in der Prävention verwendet und berücksichtigt sowohl die spektrale Empfindlichkeit der Augen als auch der Haut. Die zur Prävention gegenüber Gefährdungen von Augen und Haut durch UV-Strahlung an Arbeitsplätzen festgelegten Expositionsgrenzwerte werden in dieser Größe angegeben. Sie sind daher auch vielfach in Messberichten und in Veröffentlichungen zur UV-Strahlenexposition an Arbeitsplätzen zu finden. Die zur Berechnung verwendete spektrale Wichtungsfunktion wird zum Teil unterschiedlich bezeichnet: einmal als $S(\lambda)$, einmal als $s(\lambda)$ und einmal als $s_{\text{eff}}(\lambda)$. Sie ist aber in jedem Fall die gleiche. Rechtsverbindliche Werte für diese Wichtungsfunktion sind in der EU-Richtlinie 2006/25/EG [1] festgelegt.

H_s : Wirksame Bestrahlung für die Gefährdung durch Ultraviolettstrahlung

Die Größe H_s ist identisch mit der Größe effektive Bestrahlung H_{eff} . Die Namensgebung und die Abkürzung sind in unterschiedlichen Normen verschieden, gemeint ist aber das gleiche. H_s und H_{eff} können daher synonym verwendet werden.

H_{er} : Erythemwirksame Bestrahlung

Die erythemwirksame Bestrahlung H_{er} dient im medizinischen Bereich häufig dazu, die UV-Strahlungsexposition zu quantifizieren, die zu einem Hauterythem (Rötung, Sonnenbrand) führen kann. Sie verwendet die spektrale Wirkungsfunktion $s_{\text{er}}(\lambda)$ für das Erythem, die in der Norm CIE S007/ISO 17166 [2] definiert ist. Sie kann allerdings nur eingesetzt werden für Expositionen durch die Sonne oder durch künstliche Strahlenquellen, die nur bei Wellenlängen über 250 nm emittieren. Auch entspricht die verwendete Wichtungsfunktion $s_{\text{er}}(\lambda)$ nicht exakt dem spektralen Verlauf der erythemalen Wirkungsfunktion, sondern ist eine Einhüllende, die eine Obergrenze für die erythemale Wirkung darstellt. Noch schlechter wird die spektrale Wirkungsfunktion von Hautkrebs durch H_{er} repräsentiert. Die erythemwirksame Bestrahlung H_{er} sollte daher nicht verwendet werden, um UV-Strahlenexpositionen im Hinblick auf die Verursachung von Hautkrebs (Plattenepithelkarzinom, Basaliom) zu quantifizieren.

H_{nmisc} : nmisc-gewichtete Bestrahlung

Die nmisc-gewichtete Bestrahlung H_{nmisc} wird verwendet, um UV-Strahlenexpositionen im Hinblick auf die Verursachung eines nichtmelanomen Hautkrebses (eines Plattenepithelkarzinoms oder eines Basalioms) zu quantifizieren. Die dabei verwendete Wichtungsfunktion $s_{\text{nmisc}}(\lambda)$ gibt die spektrale

Wirkungsfunktion für diese Hautkrebsarten am besten wieder. Sie ist in der Norm CIE S019/ISO 28077 [CIES019/ISO28077] definiert.

2 Umrechnung von UV-Bestrahlungsgrößen

Häufig liegen Angaben zu UV-Strahlenexpositionen nicht in der Größe vor, die zur Bewertung der Exposition in der Prävention (z. B. zum Vergleich von Messwerten und Expositionsgrenzwerten) oder in Berufskrankheits(BK)-Fällen (z. B. zum Vergleich beruflicher und privater UV-Expositionen) gebraucht wird. Die Werte in der vorliegenden Größe müssen dann in Werte in der Größe umgerechnet werden, die zur Auswertung benötigt wird. Das ist möglich, wenn das Strahlungsspektrum der UV-Strahlenquelle am Expositionsort bekannt ist. Ist das Strahlungsspektrum nicht bekannt, dann ist keine Umrechnung möglich. Sowohl zur Prävention als auch in BK-Ermittlungsfällen sollte daher in jedem Fall neben der Höhe der UV-Strahlenexposition auch das Strahlenspektrum bestimmt werden.

Umrechnung von H_{eff} in H_{nmisc}

Die Umrechnung besteht aus folgenden Schritten:

- 1) Messung des Strahlungsspektrums als Funktion der spektralen Bestrahlungsstärke $E_{\lambda}(\lambda)$ von der Wellenlänge λ .
- 2) Das Strahlungsspektrum wird bei jeder Wellenlänge mit der Wichtungsfunktion $s_{\text{eff}}(\lambda)$ für die effektive Bestrahlungsstärke multipliziert. Daraus ergibt sich ein effektiv-gewichtetes Spektrum (gewichtete spektrale Bestrahlungsstärken).
- 3) Dann werden die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken für alle Wellenlängen aufsummiert. Man erhält eine aus dem Spektrum bestimmte effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} . (Sie ist nur eine Hilfsgröße und darf nicht zur Ermittlung der Exposition von Personen verwendet werden, da die Messung des Spektrums möglicherweise nicht in dem Abstand erfolgte, in dem Personen exponiert waren.)
- 4) Das Strahlungsspektrum wird dann bei jeder Wellenlänge mit der Wichtungsfunktion $s_{\text{nmisc}}(\lambda)$ für die nmisc-gewichtete Bestrahlungsstärke multipliziert. Daraus ergibt sich ein nmisc-gewichtetes Spektrum (gewichtete spektrale Bestrahlungsstärken).
- 5) Danach werden die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken für alle Wellenlängen aufsummiert. Man erhält eine aus dem Spektrum bestimmte nmisc-gewichtete Bestrahlungsstärke E_{nmisc} . (Sie ist nur eine Hilfsgröße und darf nicht zur Ermittlung der Exposition von Personen verwendet werden, da die Messung des Spektrums möglicherweise nicht in dem Abstand erfolgte, in dem Personen exponiert waren.)
- 6) Anschließend werden die beiden berechneten Bestrahlungsstärkewerte E_{nmisc} und E_{eff} dividiert und daraus ein Umrechnungsfaktor bestimmt:

$$f_{\text{eff-nmisc}} = \frac{E_{\text{nmisc}}}{E_{\text{eff}}}$$

- 7) Schließlich wird die vorliegende effektive Bestrahlung H_{eff} mit dem Umrechnungsfaktor $f_{\text{eff-nmisc}}$ multipliziert und man erhält die nmisc-gewichtete Bestrahlung H_{nmisc} :

$$H_{\text{nmisc}} = f_{\text{eff-nmisc}} \cdot H_{\text{eff}}$$

Umrechnung von H_{er} in H_{nmisc}

Die Umrechnung besteht aus folgenden Schritten:

- 1) Messung des Strahlenspektrums als Funktion der spektralen Bestrahlungsstärke $E_{\lambda}(\lambda)$ von der Wellenlänge λ .
- 2) Das Strahlungsspektrum wird bei jeder Wellenlänge mit der Wichtungsfunktion $s_{er}(\lambda)$ für die erythemgewichtete Bestrahlungsstärke multipliziert. Daraus ergibt sich ein erythem-gewichtetes Spektrum (gewichtete spektrale Bestrahlungsstärken).
- 3) Dann werden die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken für alle Wellenlängen aufsummiert. Man erhält eine aus dem Spektrum bestimmte erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{er} . (Sie ist nur eine Hilfsgröße und darf nicht zur Ermittlung der Exposition von Personen verwendet werden, da die Messung des Spektrums möglicherweise nicht in dem Abstand erfolgte, in dem Personen exponiert waren.)
- 4) Das Strahlungsspektrum wird dann bei jeder Wellenlänge mit der Wichtungsfunktion $s_{nmisc}(\lambda)$ für die nmisc-gewichtete Bestrahlungsstärke multipliziert. Daraus ergibt sich ein nmisc-gewichtetes Spektrum (gewichtete spektrale Bestrahlungsstärken).
- 5) Danach werden die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken für alle Wellenlängen aufsummiert. Man erhält eine aus dem Spektrum bestimmte nmisc-gewichtete Bestrahlungsstärke E_{nmisc} . (Sie ist nur eine Hilfsgröße und darf nicht zur Ermittlung der Exposition von Personen verwendet werden, da die Messung des Spektrums möglicherweise nicht in dem Abstand erfolgte, in dem Personen exponiert waren.)
- 6) Anschließend werden die beiden berechneten Bestrahlungsstärkewerte E_{nmisc} und E_{er} dividiert und daraus ein Umrechnungsfaktor bestimmt:

$$f_{er-nmisc} = \frac{E_{nmisc}}{E_{er}}$$

- 7) Schließlich wird die vorliegende erythemwirksame Bestrahlung H_{er} mit dem Umrechnungsfaktor $f_{er-nmisc}$ multipliziert und man erhält die nmisc-gewichtete Bestrahlung H_{nmisc} :

$$H_{nmisc} = f_{er-nmisc} \cdot H_{er}$$

Umrechnung von H_{eff} in H_{er}

Die Umrechnung besteht aus folgenden Schritten:

- 1) Messung des Strahlenspektrums als Funktion der spektralen Bestrahlungsstärke $E_{\lambda}(\lambda)$ von der Wellenlänge λ .
- 2) Das Strahlungsspektrum wird bei jeder Wellenlänge mit der Wichtungsfunktion $s_{eff}(\lambda)$ für die effektive Bestrahlungsstärke multipliziert. Daraus ergibt sich ein effektiv-gewichtetes Spektrum (gewichtete spektrale Bestrahlungsstärken).
- 3) Dann werden die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken für alle Wellenlängen aufsummiert. Man erhält eine aus dem Spektrum bestimmte effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} . (Sie ist nur eine Hilfsgröße und darf nicht zur Ermittlung der Exposition von Personen verwendet werden.)

den, da die Messung des Spektrums möglicherweise nicht in dem Abstand erfolgte, in dem Personen exponiert waren.)

- 4) Das Strahlungsspektrum wird dann bei jeder Wellenlänge mit der Wichtungsfunktion $s_{er}(\lambda)$ für die erythemgewichtete Bestrahlungsstärke multipliziert. Daraus ergibt sich ein erythemgewichtetes Spektrum (gewichtete spektrale Bestrahlungsstärken).
- 5) Danach werden die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken für alle Wellenlängen aufsummiert. Man erhält eine aus dem Spektrum bestimmte erythemgewichtete Bestrahlungsstärke E_{er} . (Sie ist nur eine Hilfsgröße und darf nicht zur Ermittlung der Exposition von Personen verwendet werden, da die Messung des Spektrums möglicherweise nicht in dem Abstand erfolgte, in dem Personen exponiert waren.)
- 6) Anschließend werden die beiden berechneten Bestrahlungsstärkewerte E_{er} und E_{eff} dividiert und daraus ein Umrechnungsfaktor bestimmt:

$$f_{eff-er} = \frac{E_{er}}{E_{eff}}$$

- 7) Schließlich wird die vorliegende effektive Bestrahlung H_{eff} mit dem Umrechnungsfaktor f_{eff-er} multipliziert und man erhält die erythemgewichtete Bestrahlung H_{er} :

$$H_{er} = f_{eff-er} \cdot H_{eff}$$

3 Beispiele

Im Folgenden wird das Rechenverfahren an zwei Beispielen für ein Sonnenlichtspektrum und für einen Flux-Arbeitsplatz mit künstlicher UV-Strahlungsquelle gezeigt.

Beispiel 1: Natürliche Strahlung

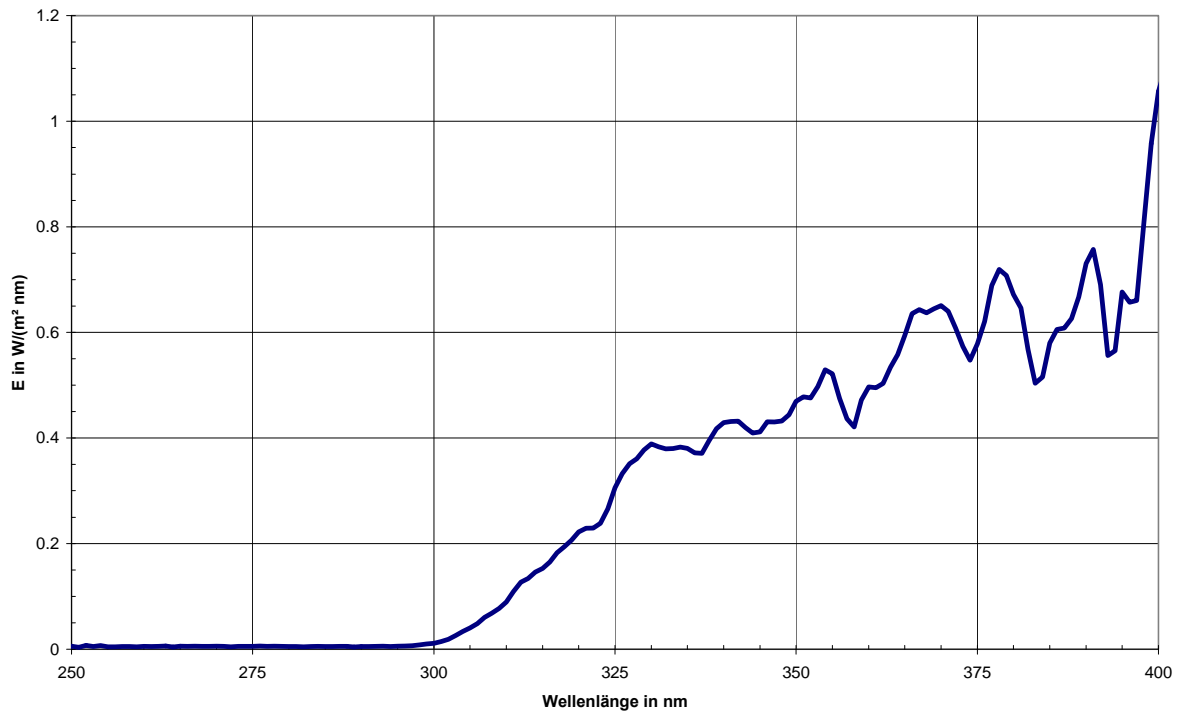


Bild 1: Gemessenes UV-Strahlenspektrum der Sonne

Das gemessene Sonnenlichtspektrum (Bild 1) wird mit den Wichtungsfunktionen (Bild 2) multipliziert.

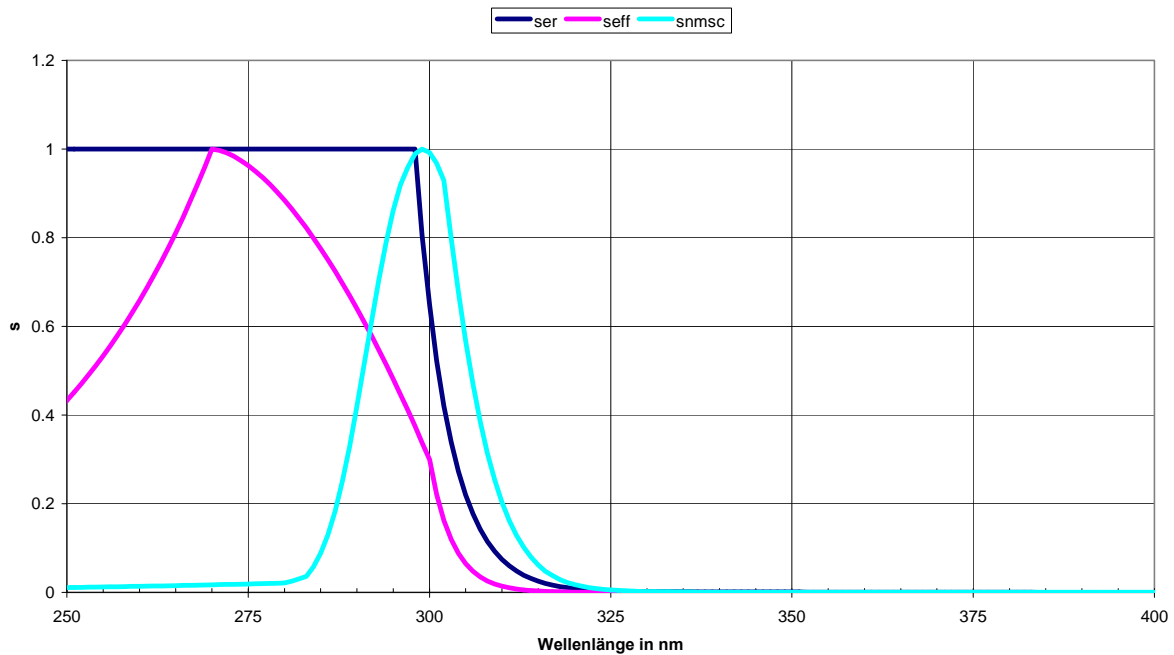


Bild 2: Wichtungsfunktionen $s_{\text{eff}}(\lambda)$, $s_{\text{er}}(\lambda)$ und $s_{\text{nmssc}}(\lambda)$

Damit erhält man die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken (Bild 3).

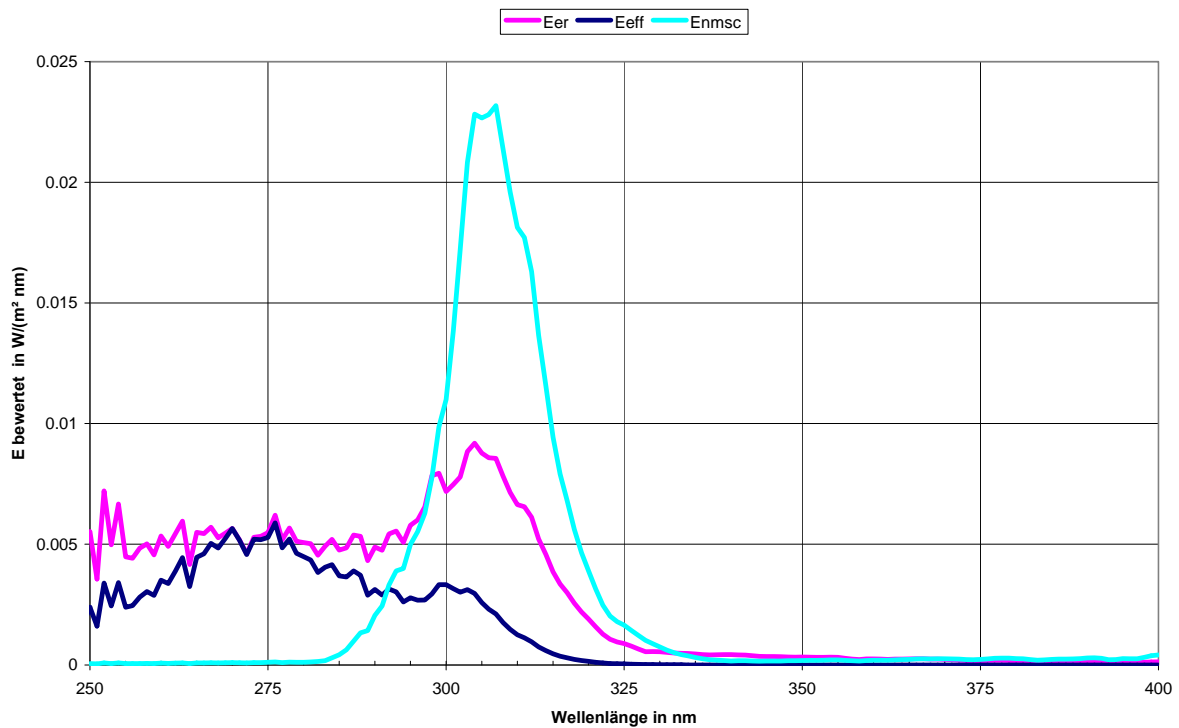


Bild 3: Gewichte spektrale Bestrahlungsstärken (gewichtete Spektren)

Summiert man die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken für alle Wellenlängen von 250 bis 400 nm auf, so ergeben sich die folgenden Bestrahlungsstärken:

E_{eff}	0,2218 W/m ²
E_{er}	0,4212 W/m ²
E_{nmsc}	0,4026 W/m ²

Setzt man die Bestrahlungsstärken ins Verhältnis, so erhält man Umrechnungsfaktoren f , mit denen verschiedene Bestrahlungsstärken bei gleichem Spektrum ineinander umgerechnet werden können:

$$f_{eff-nmsc} = \frac{E_{nmsc}}{E_{eff}} \quad f_{er-nmsc} = \frac{E_{nmsc}}{E_{er}} \quad f_{eff-er} = \frac{E_{er}}{E_{eff}}$$

Für das Beispiel gelten:

$f_{eff-nmsc}$	1,8151
$f_{er-nmsc}$	0,9558
f_{eff-er}	1,8990

Eine effektive Bestrahlung H_{eff} ergibt dann eine nmsc-gewichtete Bestrahlung von

$$H_{nmsc} = 1,8151 \cdot H_{eff}$$

Eine erythemgewichtete Bestrahlung H_{er} ergibt eine nmsc-gewichtete Bestrahlung von

$$H_{nmsc} = 0,9558 \cdot H_{er}$$

Und eine effektive Bestrahlung H_{eff} ergibt eine erythemgewichtete Bestrahlung von

$$H_{er} = 1,8990 \cdot H_{eff}$$

Beispiel 2: Künstliche Strahlungsquelle (Fluxarbeitsplatz)

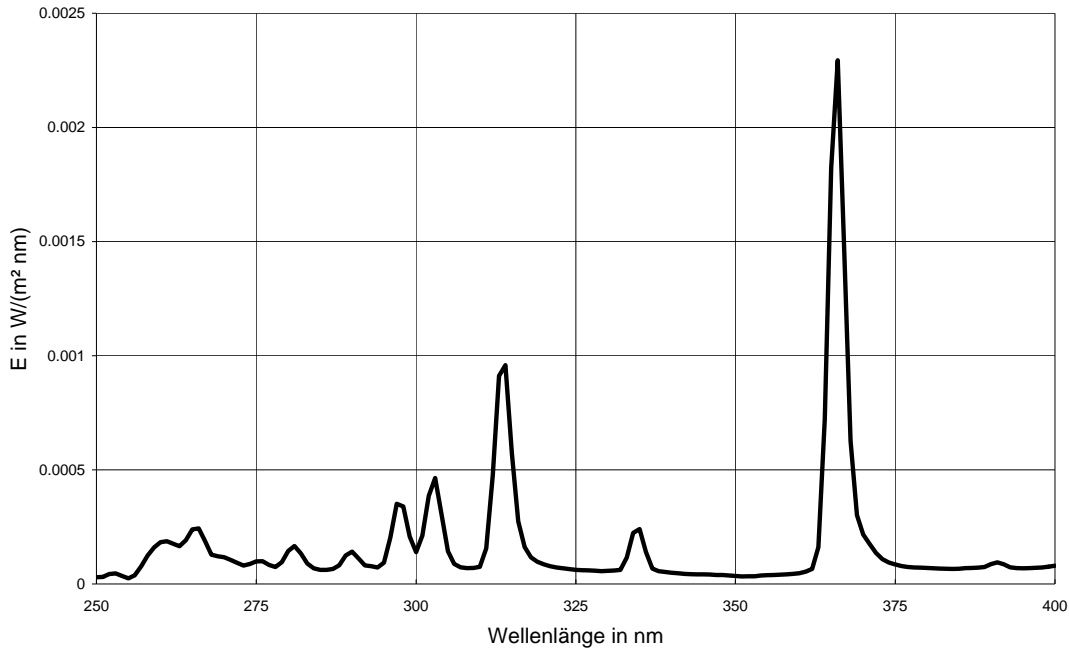


Bild 4: Gemessenes Spektrum an einem Fluxarbeitsplatz

Das gemessene Spektrum (Bild 4) wird mit den folgenden Wichtungsfunktionen multipliziert (Bild 5).

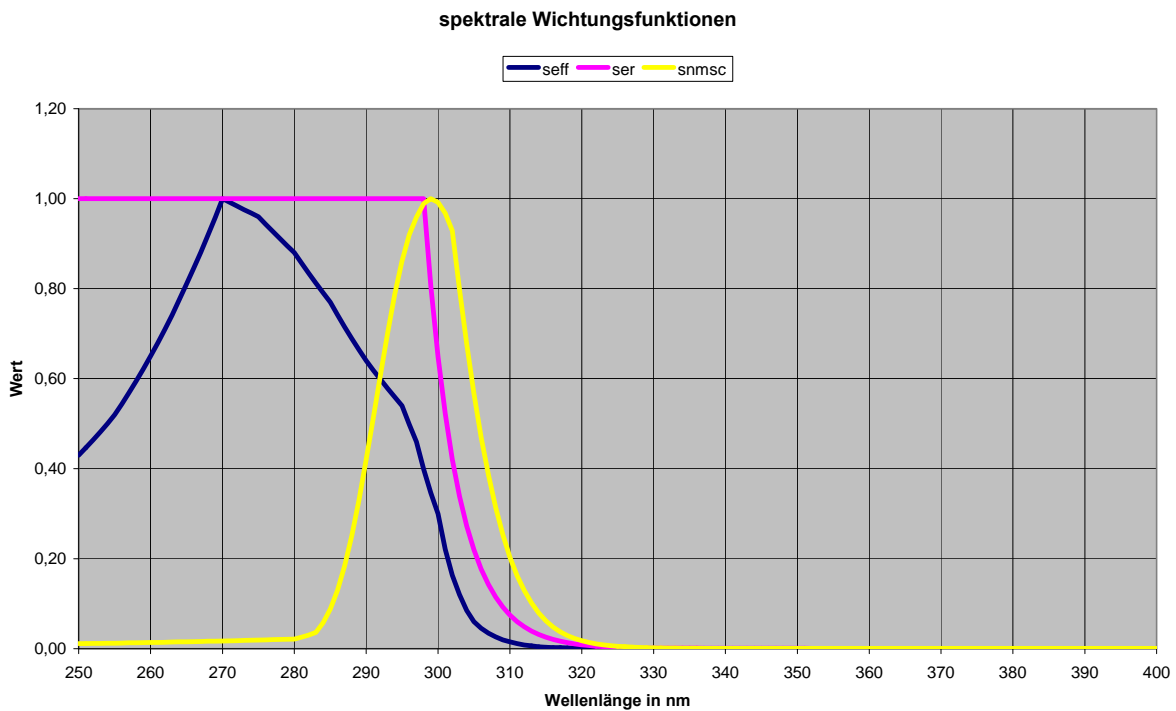


Bild 5: Wichtungsfunktionen $s_{eff}(\lambda)$, $s_{er}(\lambda)$ und $s_{nmsc}(\lambda)$

Damit erhält man die gewichtete spektrale Bestrahlungsstärke (Bild 6).

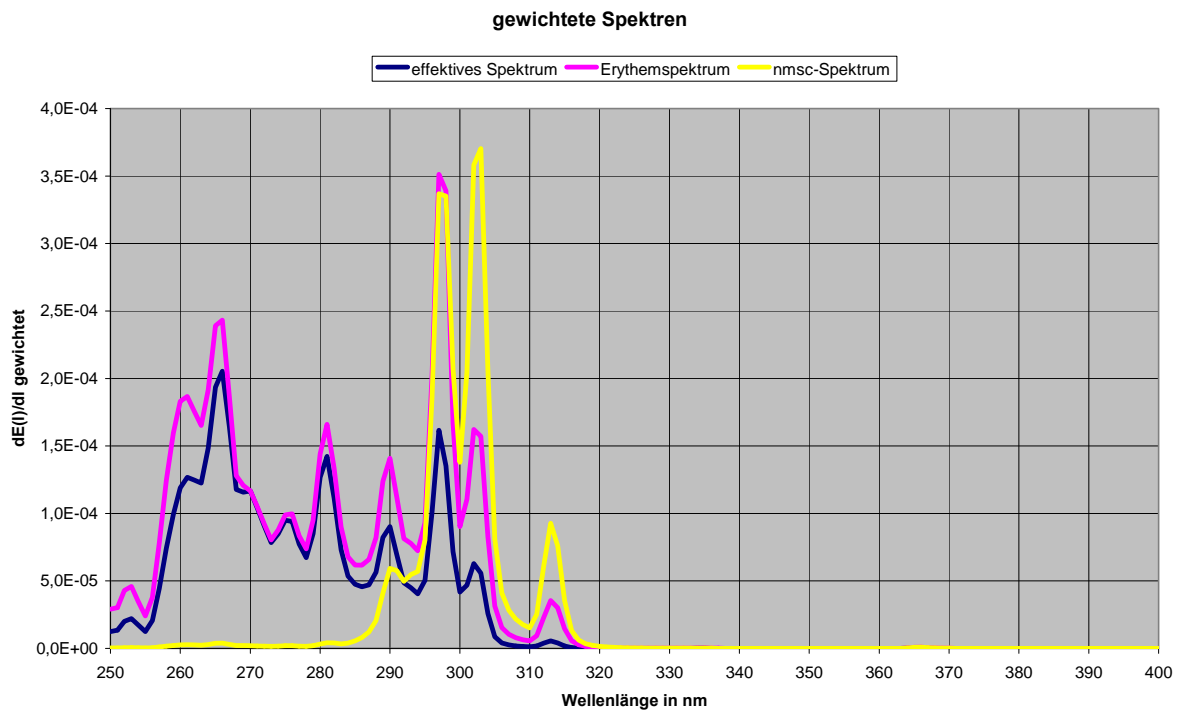


Bild 6: Gewichte spektrale Bestrahlungsstärken (gewichtete Spektren)

Summiert man die gewichteten spektralen Bestrahlungsstärken für alle Wellenlängen von 250 bis 400 nm auf, so ergeben sich die folgenden gewichteten Bestrahlungsstärken:

E_{eff}	0,004539 W/m ²
E_{er}	0,006803 W/m ²
E_{nmsc}	0,003389 W/m ²

Setzt man die gewichteten Bestrahlungsstärken ins Verhältnis, so erhält man Umrechnungsfaktoren F , mit denen verschiedene Bestrahlungsstärken bei gleichem Spektrum ineinander umgerechnet werden können.

$$f_{eff-nmsc} = \frac{E_{nmsc}}{E_{eff}} \quad f_{er-nmsc} = \frac{E_{nmsc}}{E_{er}} \quad f_{eff-er} = \frac{E_{er}}{E_{eff}}$$

Für das Beispiel gelten:

$f_{eff-nmsc}$	0,7467
$f_{er-nmsc}$	0,4981
f_{eff-er}	1,4990

Eine effektive Bestrahlung H_{eff} ergibt dann eine nmsc-gewichtete Bestrahlung von

$$H_{nmsc} = 0,7467 \cdot H_{eff}$$

Eine erythemgewichtete Bestrahlung H_{er} ergibt dann eine nm-sc-gewichtete Bestrahlung von

$$H_{nm-sc} = 0,4981 \cdot H_{er}.$$

Und eine effektive Bestrahlung H_{eff} ergibt dann eine erythemgewichtete Bestrahlung von

$$H_{er} = 1,4990 \cdot H_{eff}.$$

4 Umrechnung mithilfe einer Excel-Tabelle

Die spektrale Wichtung eines Strahlenspektrums lässt sich einfach durchführen, wenn das Strahlenspektrum in eine entsprechend vorbereitete Excel-Tabelle eingelesen wird. In der ersten Spalte der Tabelle stehen die Wellenlängen λ in 1-nm-Abständen. In die zweite Spalte werden die Werte der spektralen Bestrahlungsstärke des Strahlungsspektrums bei den entsprechenden Wellenlängen eingelesen. Die Wichtungsfunktionen $s_{eff}(\lambda)$, $s_{er}(\lambda)$ und $s_{nm-sc}(\lambda)$ sind bereits in den Spalten C bis E der Tabelle eingetragen. Die spektrale Wichtung (Schritte 2 und 4 der Umrechnung), die Aufsummierung (Schritt 5) und die Berechnung der Umrechnungsfaktoren (Schritt 6) werden in der Excel-Tabelle automatisch durchgeführt. Gibt man noch die Größe für die Bestrahlung H ein, die umgerechnet werden soll, wird auch diese Umrechnung automatisch ausgeführt. Eine Excel-Tabelle als Vorlage zur Umrechnung kann von den Internetseiten des IFA heruntergeladen werden unter: www.dguv.de/ifa, Webcode [d95334](#).

5 Weitere Umrechnungen

Mit dem angegebenen Verfahren und mithilfe der genannten Excel-Tabelle lassen sich auch weitere Umrechnungen leicht durchführen:

Umrechnung von H_{nm-sc} in H_{eff}

Hierzu wird H_{nm-sc} durch $f_{eff-nm-sc}$ geteilt:

$$H_{eff} = H_{nm-sc} / f_{eff-nm-sc}$$

Umrechnung von H_{nm-sc} in H_{er}

Hierzu wird H_{nm-sc} durch $f_{er-nm-sc}$ geteilt:

$$H_{er} = H_{nm-sc} / f_{er-nm-sc}$$

Umrechnung von H_{er} in H_{eff}

Hierzu wird H_{er} durch f_{eff-er} geteilt:

$$H_{eff} = H_{er} / f_{eff-er}$$

Eine Umrechnung zwischen Strahlungsgrößen, die unterschiedliche biologische Wirkungsspektren haben, ist nicht nur für die Bestrahlung H sondern auch für die Bestrahlungsstärke E möglich. So lassen sich auch die Größen E_{eff} , E_{er} und E_{nm-sc} nach dem angegebenen Verfahren leicht ineinander umrechnen.

6 Quellenverzeichnis

- [1] Richtlinie 2006/25/EG des europäischen Parlaments und des Rats vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABI. EU L 114 vom 27.4.2006, S. 38-59
- [2] CIE S 007 / ISO 17166: Erythemale Referenzwirkungsfunktion und standardisierte Erythemdosis. CIE, 1998
- [3] CIE S 019 / ISO 28077: Aktionsspektrum für Photokarzinogenese (epitheliale Hautkrebe). CIE, 2006

Autoren:

M. Schmitz, Dr. H. Siekmann
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Sankt Augustin