

**NIR 1999 Tagungsbericht**

# Charakterisierung integrierender Detektoren bezüglich ihrer Messgenauigkeit

M. Schwaiger, K. Schulmeister, M. Sendzik, H. Brusl, A. Cabaj, A. Schmalwieser und P. Kindl

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

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

Die Weitergabe an Dritte ist nicht gestattet.

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

## Quelleninformation

Titel: *Charakterisierung integrierender Detektoren bezüglich ihrer Messgenauigkeiten*

Autoren: *Schwaiger M, Schulmeister K, Sendzik M, Brusl H, Cabaj A, Schmalwieser A, Kindl P*

Tagungsbericht NIR 1999, Herausgeber: Norbert Krause, Markus Fischer, Hans-Peter Steimel  
TÜV-Verlag GmbH, Köln, 1999  
Seiten 281-295

# CHARAKTERISIERUNG INTEGRIERENDER DETEKTOREN BEZÜGLICH IHRER MESSGENAUIGKEIT

## CHARACTERISATION OF MEASUREMENT - UNCERTAINTIES OF INTEGRATING BIO-HAZARD METERS

M.Schwaiger<sup>1,2</sup>, K.Schulmeister<sup>1</sup>, M.Senzik<sup>1</sup>, H.Brusl<sup>3</sup>, A.Cabaj<sup>4</sup>, A. Schmalwieser<sup>4</sup>, P.Kindl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Austrian Research Centers Seibersdorf, Österreich; <sup>2</sup> Institut für Technische Physik, Technische Universität Graz, Österreich; <sup>3</sup> Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Österreich; <sup>4</sup> Institut für medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Österreich

### Zusammenfassung

Zur Untersuchung der Gefährdung des Menschen durch optische Strahlungsquellen kommen häufig Monochromatoren oder integrierende Detektoren zum Einsatz. Ein integrierender Detektor zeichnet sich durch eine spektrale Empfindlichkeit aus, die einer gewünschten theoretischen Bewertungskurve, zum Beispiel  $s_\lambda$  - oder erythemaler Wirkungsfunktion sehr ähnlich ist. Der Vorteil der integrierenden Detektoren liegt vor allem in der einfachen Handhabung, der kleinen kompakten Bauweise und im niedrigen Preis. Dem gegenüber steht jedoch eine hohe Messunsicherheit, die vorwiegend durch die spektrunabhängige Kalibrierung der integrierenden Detektoren entsteht. Zur Verringerung dieser Unsicherheit besteht die Möglichkeit, Korrekturfaktoren, die ebenfalls spektrunabhängig sind, einzuführen. Im Rahmen einer Untersuchung wurden etwa 100 Speziallampen mit unterschiedlichen integrierenden Detektoren vermessen und die jeweiligen Korrekturfaktoren durch eine Vergleichsmessung mit einem Doppelmonochromator ermittelt. Es zeigten sich große Unterschiede bezüglich der Abweichung des Messergebnisses (zwischen 10 % und 100 %) in Abhängigkeit vom Spektrum der vermessenen Lampe und somit die Wichtigkeit der Einführung lampenabhängiger Korrekturfaktoren. Um eine einfachere Handhabung der Korrekturfaktoren zu ermöglichen, wurden die untersuchten Lampen in Gruppen ähnlicher Verwendungszwecke und Spektren zusammengefasst. Dadurch können auch mit integrierenden Detektoren ermittelte Messwerte von Lampen, deren Spektrum nur unzulänglich bekannt ist, korrigiert und somit die Messgenauigkeit wesentlich erhöht werden. Weiters wird es möglich, die integrierenden Detektoren nach ihrer Eignung für Messungen bestimmter Lampenarten zu selektieren.

### Summary

Measurements of UV-radiation concerning photobiological hazards can be performed with spectral or integral methods. An integral detector has a relative spectral responsivity, which is spectrally matched to the action spectrum of the considered effect, for example to the  $s_\lambda$  or to the UV-erythema function. This equipment allows a quick measurement with simple handling at low cost. However, inaccurate readings may result from wavelength-dependent calibration. To increase the accuracy of the measurement it is possible to use a wavelength-dependent correction factor for the integral detectors. To determine the correction factors for different kinds of spectra, more than 100 lamps of various types were measured and compared with the measurement results of a double-monochromator. The results as determined with the integral method vary from 10 % to 100 % in comparison to the results of the spectral method. This demonstrates the importance of adopting wavelength-dependent

correction factors. For simplified handling, the correction factors were classified into different spectra, respectively lamp groups.

## 1. Einleitung

Aufgrund der Abhängigkeit der biologischen Schädigung von der Wellenlänge ist es zur Beurteilung einer möglichen schädigenden Wirkung von kurzweiliger optischer Strahlung auf ein menschliches Gewebe notwendig, das Spektrum der Quelle mit Wirkungsfunktionen, die die relative Empfindlichkeit von unterschiedlichen Geweben beschreiben, zu gewichten. Diese Wirkungsfunktionen sind in den internationalen Richtlinien der ACGIH [1], ICNIRP [2,3] und der CIE [4] veröffentlicht (siehe Abbildung 1, Tabelle 1).

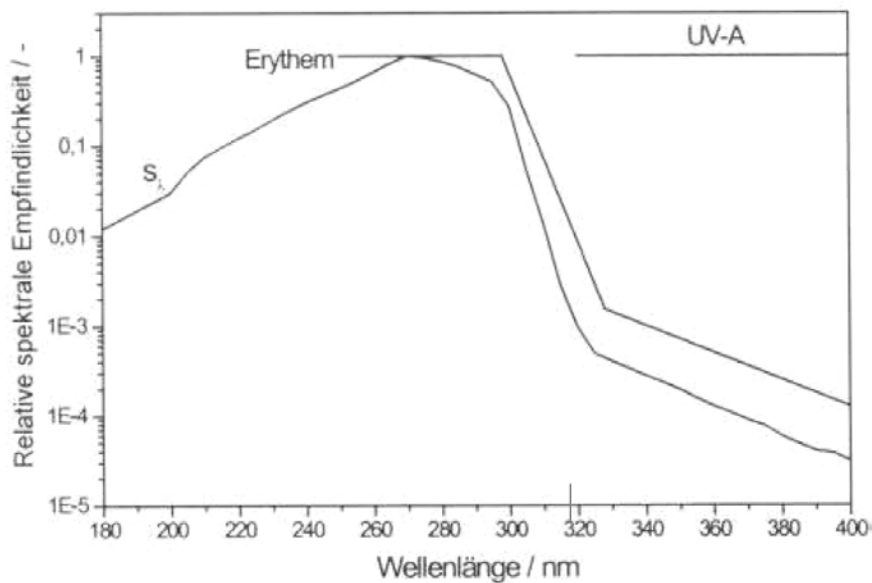


Abbildung 1: Biologische Wirkungsfunktionen zur Beurteilung der schädigenden Wirkung von UV-Quellen auf Gewebe

Tabelle 1: Biologische Wirkungsfunktionen

Wirkungsfunktion	Gewebe	Schädigung
$s_{\lambda}$	Haut, Hornhaut des Auges	Erythem, Keratitis
UV-A	Linse	Katarakt
erythemale	Haut	Erythem

Zur Überprüfung der schädigenden Wirkung von Strahlung auf ein Gewebe ist das biologisch - gewichtete Spektrum der UV-Quelle über den gesamten Wellenlängenbereich zu integrieren und mit der Expositionsdauer, das ist jene Zeitdauer, die das Gewebe der Strahlung ausgesetzt ist, zu multiplizieren. Allerdings unterliegt die Bestimmung der Expositionsdauer unterschiedlichen richtlinienspezifischen Regeln (siehe [1, 2, 3, 4]). Der ermittelte Wert der biologisch wirksamen Bestrahlung  $H_{eff}$ , auch als effektive Bestrahlung bezeichnet, ist mit dem jeweiligen Grenzwert der internationalen Richtlinien zu vergleichen.

$$H_{\text{eff}} = \tau \cdot \int_0^{\infty} E(\lambda) \cdot s_{\text{eff}}(\lambda) \cdot d\lambda$$

Gleichung 1:  $H_{\text{eff}}$ ...biologisch wirksame Bestrahlung [ $\text{J}/\text{m}^2$ ],  $E$ ...spektrale Bestrahlungsstärke der UV-Quelle [ $\text{W}/\text{m}^2\text{nm}$ ],  $s_{\text{eff}}$ ...biologische Wirkungsfunktion [-],  $\lambda$ ...Wellenlänge [nm],  $\tau$ ...Expositionsdauer [s]

## 2. Messtechnik

Zur Messung und Beurteilung von UV - Quellen bezüglich der schädigenden Wirkung stehen mehrere Messsysteme, wie integrierenden Detektoren, Dosimeter (z.8.: Polysulfonfilme) und spektrale Messgeräte zur Verfügung. In dieser Untersuchung wurden nur integrierende Detektoren und spektrale Messgeräte verwendet . Diese sind in Tabelle 2 kurz charakterisiert.

Tabelle 2: Vergleich der zur Verfügung stehenden Messsysteme

	<b>Integrierende Detektoren</b>	<b>Spektrales Messgerät</b>
<b>Messmethode</b>	Messung der biologisch wirksamen Bestrahlungsstärke über den Wellenlängenbereich der biologischen Wirkungsfunktion	Messung der spektralen Bestrahlungsstärke der UV-Quelle
<b>Bewertung</b>	Die Bewertung erfolgt durch die spektrale Empfindlichkeit (biologische Wirkungsfunktion) des Detektors automatisch	Die Bewertung erfolgt rechnerisch nach Gleichung 1.
<b>Vor- und Nachteile</b>	einfache Bedienung, kostengünstig, kompakt  spektrenabhängige hohe Messunsicherheiten (10% - 100%)	geringe Messunsicherheit (5% - 15%), spektrenunabhängig  komplexe Messapparatur, kostenintensiv

Die großen Abweichungen der Messergebnisse der integrierenden Detektoren von den Ergebnissen der spektralen Messgeräte (Bsp.: Doppelmonochromator) ergibt sich vorwiegend durch die Abweichung der tatsächlichen spektralen Empfindlichkeit von den normierten biologischen Wirkungsfunktionen und durch die spektrenabhängige Kalibrierung der integrierenden Detektoren.

## 3. Messungen und Messergebnisse

Zur Bestimmung der Abweichung der mit den integrierenden Detektoren gemessenen, biologisch - wirksamen Bestrahlungsstärke von der mit einem spektralen Messgerät (Doppelmonochromator *DM J 50* und *DTM 300*, hergestellt von der Fa. *Bemham*) gemessenen und anschließend rechnerisch bestimmten, biologisch - wirksamen Bestrahlungsstärke, wurde die spektrale Empfindlichkeit einiger integrierender Detektoren ermittelt. Es wurden etwa 100 Speziallampen mit unterschiedlichen Spektren mit den

integrierenden Detektoren und einem spektralen Messgerät vermessen, die Abweichung der Messergebnisse bestimmt und spektrabhängige Korrekturfaktoren eingeführt.

### 3.1 Spektrale Empfindlichkeit

Für eine spektrale biologische Bewertung der einfallenden Strahlung ist es notwendig, dass die spektrale Empfindlichkeit der integrierenden Detektoren möglichst gering von der jeweiligen biologischen Wirkungsfunktion abweicht. Zur Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit wurde die Strahlung einer Xenon 100 W Lampe durch einen Doppelmonochromator spektral zerlegt und die spektrale Bestrahlungsstärke der Xenon Lampe mit Hilfe eines kalibrierten Si-Detektors bestimmt. Nachfolgend wurde die spektrale Bestrahlungsstärke der Xenon Lampe mit den integrierenden Detektoren gemessen und mit jenen Messwerten des Si-Detektors verglichen. Dadurch konnte die relative und absolute spektrale Empfindlichkeit der integrierenden Detektoren ermittelt werden. Die Messung erfolgte mit einer Schrittweite und Bandbreite von 5 nm über einen Wellenlängenbereich, der  $\pm 50$  nm größer ist als der Wellenlängenbereich der jeweiligen biologischen Wirkungsfunktion. In Abbildung 2 sind die gemessenen relativen spektralen Empfindlichkeiten einiger ausgewählter Detektoren (UV-A und Erythem) sowie die dazugehörigen biologischen Wirkungsfunktionen, dargestellt.

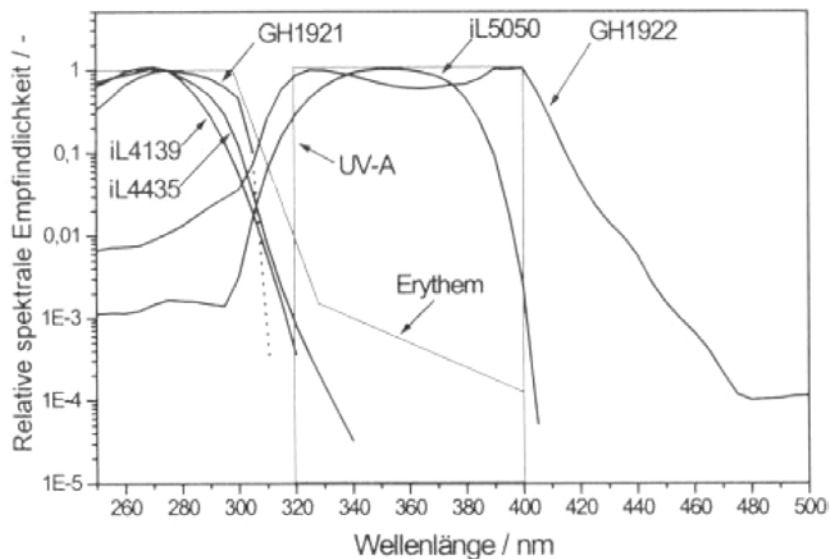


Abbildung 2: Spektrale Empfindlichkeit einiger integrierender Detektoren (Bezeichnungen siehe Anhang) und biologische Wirkungsfunktion nach den internationalen Richtlinien

Aufgrund der ähnlichen und stetigen Verläufe der  $s_{\lambda}$  - und erythemalen Wirkungsfunktion (siehe Abbildung 1) kann ein integrierender Detektor, der für eine der beiden Wirkungsfunktionen konzipiert ist, durch eine Korrektur des Kalibrierfaktors auch für eine Messung mit der anderen Wirkungsfunktion herangezogen werden. Da dieser Korrekturfaktor jedoch vom Spektrum der zu vermessenden Quelle abhängt, ist es notwendig, für jedes Spektrum einen eigenen Korrekturfaktor einzuführen. Die Wirkung von Fremdstrahlung, das ist eine Verfälschung des Messergebnisses durch Detektion von Strahlung deren Wellenlänge nicht im Wellenlängenbereich der Wirkungsfunktion liegt (z.B.: IR -Strahlung), wird in diesem Bericht nicht separat diskutiert. Dieser Einfluß kann durch Verwendung eines geeigneten Filters, der die zu messende UV-Strahlung im Wellenlängenbereich der Wirkungsfunktion filtert, gemessen werden (Null-messungen). Dadurch ist es möglich, bei den nachfolgenden

Messungen die Messwerte durch eine Subtraktion des Wertes der Nullmessung zu korrigieren. Weiters kann die spektrale Empfindlichkeit von integrierenden Detektoren kann auch durch die Verwendung von geeigneten Filtern auf den Wellenlängenbereich der biologischen Wirkungsfunktion beschränkt werden („Out of band rejection“). Die Angaben der Abweichungen (siehe Anhang) in diesem Bericht schließen die Abweichung durch Fremdstrahlung ein.

### 3.2 Spektrenabhängige Kalibrierung

Die Kalibrierung, d.h. die Bestimmung eines Kalibrierfaktors der integrierenden Detektoren, wird üblicherweise mit einer Quarz-Halogen Lampe durchgeführt. Aufgrund der Abweichung der spektralen Empfindlichkeit der Detektoren von den biologischen Wirkungsfunktionen kann es hierbei zu großen Abweichungen bei Messungen von Lampen, deren Spektrum sich deutlich vom Spektrum der Kalibrierlampe unterscheidet, kommen. Durch einen Vergleich der mit einem integrierenden Detektor gemessenen, effektiven Bestrahlungsstärke mit der mit einem Monochromator gemessenen und rechnerisch bewerteten, effektiven Bestrahlungsstärke kann ein spektrenabhängiger Korrekturfaktor für den vom Hersteller angegebenen Kalibrierfaktor oder ein spektren abhängiger Kalibrierfaktor ermittelt werden. Zur einfacheren Handhabung dieser Korrektur- bzw. Kalibrierfaktoren ist es möglich, Spektren mit einem ähnlichen Verlauf in Gruppen zusammenzufassen und für jede Gruppe nur einen gemeinsamen Korrekturfaktor, den Mittelwert der Korrekturfaktoren einer Gruppe, anzuführen. Im Anhang sind für einige Spektrengruppen diese Korrekturfaktoren, die Abweichungen zwischen den berechneten und den von den Herstellern angeführten Kalibrierfaktoren, sowie die prozentuelle Standardabweichung der errechneten Kalibrierfaktoren innerhalb der jeweiligen Spektrengruppe für einen Detektor angeführt.

## 4. Diskussion und Zusammenfassung

Aus den Vergleichsmessungen von etwa 100 Lampen mit integrierenden Detektoren und unterschiedlichen spektralen Messgeräten zeigte sich, dass es durch die Abweichung der spektralen Empfindlichkeit der integrierenden Detektoren von den biologischen Wirksamkeitsfunktionen und den spektrenabhängigen Kalibrierungen zu sehr großen Abweichungen in der effektiven Bestrahlungsstärke kommen kann. Da diese Abweichung auch von dem Spektrum der zu vermessenden Lampe abhängt, erscheint es nicht sinnvoll, integrierende Detektoren ohne vorangehende Prüfung auf ihre Eignung für Sicherheitsmessungen einzusetzen. Im folgenden werden einige mögliche Verfahren zur Prüfung bezüglich der Eignung beziehungsweise zur Abschätzung der zu erwartenden Abweichungen bei der Verwendung von integrierenden Detektoren kurz dargestellt und diskutiert.

### 4.1 Messung der spektralen Empfindlichkeit des integrierenden Detektors:

Ist die spektrale Empfindlichkeit eines Detektors bekannt, so ist aus einem Vergleich mit der dazugehörigen biologischen Wirkungsfunktion bereits ein Aussage über den Einfluß unterschiedlicher Wellenlängenbereiche auf die Abweichung der effektiven Bestrahlungsstärke möglich. Wellenlängenbereiche, bei denen die spektrale Empfindlichkeit stark von der biologischen Wirkungsfunktion abweichen, können sich bei der Messung von Lampen, deren Spektrum in diesem Wellenlängenbereich von der Kalibrierlampe abweicht, stark negativ auf die Gesamtabweichung beziehungsweise auf die Messunsicherheit

auswirken. Weiters ist es möglich, bei einem bekannten Lampenspektrum einen Korrekturfaktor für den integrierenden Detektor zu berechnen. Die Abweichung beziehungsweise die Gesamtunsicherheit wird dadurch stark verringert. Allerdings ist die Messung der spektralen Empfindlichkeit von integrierenden Detektoren komplex und aufwendig.

#### 4.2 Berechnung des Korrekturfaktors durch eine Vergleichsmessung

Durch die Bestimmung der effektiven Bestrahlungsstärke einer Lampe mit einem integrierenden Detektor und mit einem spektralen Messgerät kann ein Korrekturfaktor berechnet werden, mit dessen Hilfe die Abweichung der Ergebnisse der integrierenden Detektoren im Idealfall eliminiert werden. Dieser Faktor ist jedoch spektrenspezifisch und auch nur für den jeweiligen integrierenden Detektor gültig. Der Vorteil dieser Methode liegt in der geringen Gesamtunsicherheit. Da es hierfür jedoch notwendig ist, das Lampenspektrum zu kennen, muß zumindest eine spektrale Messung durchgeführt werden.

#### 4.3 Bestimmung von Korrekturfaktoren für Lampengruppen

Durch eine Zusammenfassung von Lampen in Gruppen gleicher Bauart und gleichen Einsatzbereiches ist es möglich, für jeden integrierenden Detektor einen gemeinsamen Korrekturfaktor der Spektren einer Lampengruppe (siehe Anhang) anzuführen. Dadurch vereinfacht sich die Handhabung der Korrekturfaktoren erheblich und es sind zur Berichtigung eines Messergebnisses keine spektralen Messungen erforderlich. Allerdings ist es notwendig, dass das Spektrum der zu vermessenden Lampe einer Lampen- bzw. Spektrengruppe zugeordnet werden kann. Dies ist aufgrund der typischen Bauformen und den charakteristischen Einsatzbereiche der Lampen der einzelnen Gruppen üblicherweise möglich. Zu beachten ist jedoch, dass in der Praxis die Lampen häufig mit Filter und Reflektoren eingesetzt werden und dadurch die spektrale Bestrahlungsstärke der Lampen verändert werden kann. Weiters zu berücksichtigen ist, dass die prozentuelle Standardabweichung der Korrekturfaktoren eines Detektors innerhalb einer Lampengruppe stark variieren kann (siehe Abbildungen 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16). Übersteigt die prozentuelle Standardabweichung  $\pm 30\%$ , so erscheint es nicht sinnvoll, einen Mittelwert für diese Lampengruppe und diesen integrierenden Detektor anzugeben. Liegt die prozentuelle Standardabweichung unter  $\pm 30\%$  so kann der Mittelwert der Korrekturfaktoren dieser Lampengruppe zur Korrektur des Messergebnisses herangezogen werden. Die prozentuelle Standardabweichung ist in der Abschätzung der Gesamtunsicherheit zu berücksichtigen. Ist die Lampenbezeichnung bekannt, kann der zugehörige Korrekturfaktor anstelle des Mittelwertes der Gruppe verwendet werden. Im Anhang sind die Korrekturfaktoren, die Abweichungen der korrigierten Kalibrierfaktoren von den Kalibrierfaktoren aus den Herstellerangaben und die Standardabweichung der Korrekturfaktoren innerhalb einer Lampengruppe, für die wesentlichsten Spektrengruppen und für häufig verwendete integrierende Detektoren angegeben.

## 5. Danksagung

Die hier beschriebenen Messungen und Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes "UV - Strahlungsbelastung am Arbeitsplatz" der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA, Österreich) durchgeführt.

## 6. Literaturangabe

- [1] ACGrH, Am. Conference of Governmental Industrial Hygienists: "Threshold limit values for chemical substances and physical agents; Biological Exposure Indices", Cincinnati, 1997
- [2] ICNIRP(IRPA), Int. Commission on Non-Ionizing Radiation Protection of the International Radiation Protection Association: "Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm", Health Physics 49: 331-340, 1985
- [3] ICNIRP(IRPA), Int. Commission on Non- Ionizing Radiation Protection of the International Radiation Protection Association: "Proposed change 10 the IRPA 1985 guidelines on limits of exposure 10 ultraviolet radiation ". Health Physics 56: 971-972, 1989
- [4] CIE, Commission International de l'Eclairage: "Erythemale Referenzwirkungsfunktion und standardisierte Erythemdosis", CIE SOO7/E-1998



## Anhang

Die Lampen wurden mit einem Doppelmonochromator DTM 300 der Firma *Bentham* (Wellenlängenbereich: 200 nm bis 800 nm, Schrittweite: 2 nm, Bandbreite: 2 nm, Gitter: 2400 L/mm) spektral vermessen, bewertet und integriert. Nach diesen Messungen wurden die Lampen mit den in der Tabelle 3 und 4 angeführten integrierenden Detektoren vermessen und die Ergebnisse mit jenen des Doppelmonochromators verglichen. Alle Messungen mit den integrierenden Detektoren erfolgten innerhalb eines Jahres der letzten Kalibrierung.

Tabelle 3 Detektoren der Firma *Gigahertz*: (\*\*...ältere Generation von Detektoren)

Hersteller	Bezeichnung des Herstellers	Wirkungsfunktion	Bezeichnung in den Abbildungen
Gigahertz	SN 9731921	Erythem	GH1921 **
Gigahertz	SN 9731922	UV – A	GH1922 **
Gigahertz	SN 1005	UV – A	GH1005
Gigahertz	SN 1015	Erythem	GH1015
Gigahertz	SN 1027	Blue light Hazard	GH1027

Tabelle 4 Detektoren der Firma *Internat Light* (Bez. des Detektors... SED033, SEL240, SED240, Bez. der Filter...Y-Photopic, UVA, TBLU, SPS300, T2ACT3, UVB, NS254, Winkelvorsatz...W)

Hersteller	Bezeichnung Hersteller	Wirkungsfunktion	Bezeichnung in den Abbildungen
International Light	Licht SED 033, SN 3956 Y Nr.14890, W Nr.7060	V( $\lambda$ )	iL3956
International Light	UV - A SED 033, SN 4287 UVA Nr.t5626. W Nr.7310	UV – A	iL4287
International Light	BlaTBLU Nr.17277, W Nr.7998ulicht SED 033, SN4968	Blue Light Hazard	iL4968
International Light	UV - A SED 033, SN 5050UVA Nr.17603, W Nr.8082	UV – A	iL5050
International Light	Solar SED 240, SN 3946SPS300 Nr 15690, W Nr.7331	Erythem (Bezeichnung: Eryth*)	iL3946
International Light	ACGIH SEL 240, SN 4139 T2ACT3 Nr 16176	ACGIH	iL4139
International Light	ACGIH SEL 240, SN 4435 ACT3 Nr 17376, W Nr. 7987	ACGIH	iL4435
International Light	UV - B SED 240, SN 4689 UVB-I Nr 17467, W Nr 8058	UV – B	iL4689
International Light	ACGIH SED 240, SN 4696 ACT3 Nr.17586, W Nr. 8055	ACGIH	iL4696
International Light	254 nm SED 240, SN 2865 NS254 Nr 10610, W Nr 5614	254 nm	iL2865
International Light	254 nm SEO 240, SN 3926 NS254 Nr15637. W Nr.7267	254 nm	iL3926

Der Detektor iL3946 (Solar) wurde als Erythemsensor (Bez.: Eryth\*) beurteilt, obwohl dies nicht der vom Hersteller angegebenen spektralen Empfindlichkeit entspricht.

## 6.1 Niedervolt - Halogenlampe

Abweichungen innerhalb dieser Spektrengruppe: unterschiedliche Anstiegsflanke zw. 200 nm und 300 nm, Hüllkolben mit od. ohne UV-Block, Lampe mit od. ohne Reflektor

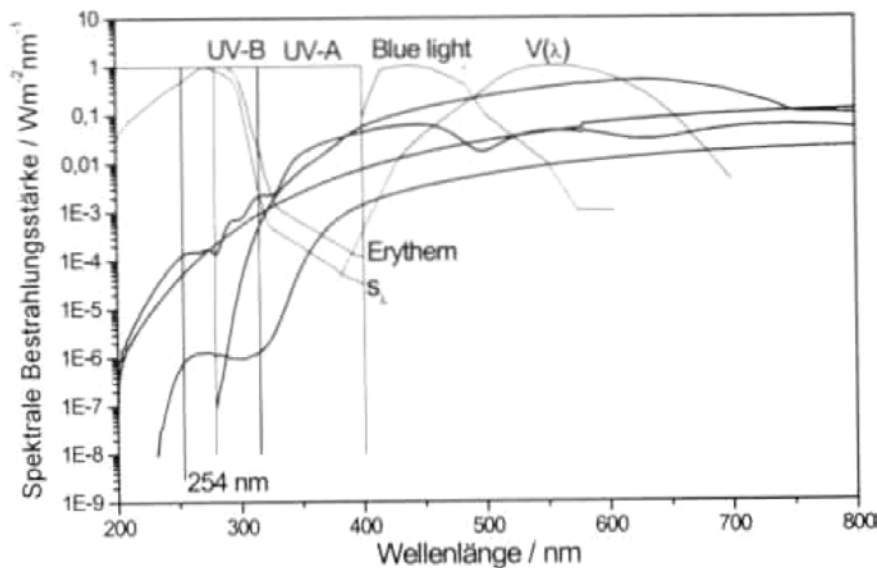


Abbildung 3 Typ. Spektren der Gruppe „Niedervolt- Halogen“ und div. Wirkungsfunktionen

Abbildung 4

Berechnete Abweichung des errech. Kalib.faktors vom Firmenkalib.faktor: iL...International Light, GH...Gigahertz Optik, y-Achse-links...Bezeich. des Detektors, y-Achse-rechts ... Einsatzbereich des Detektors

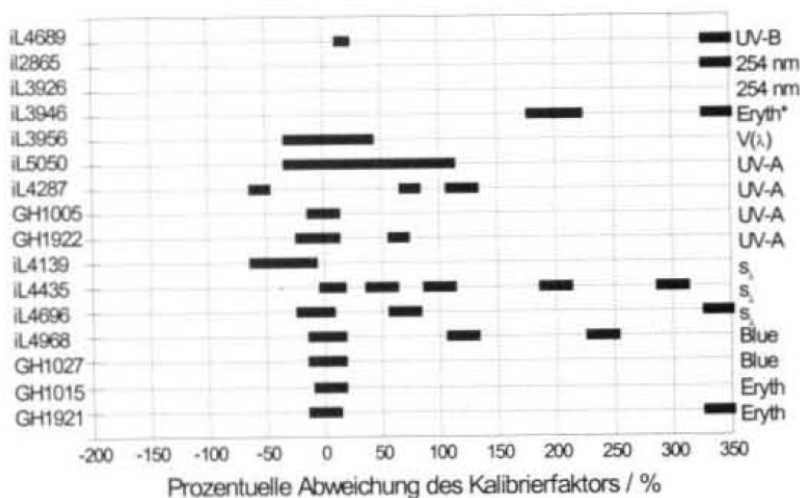


Tabelle 5 Angaben der Korrekturfaktoren der integrierenden Detektoren (Anz...Anzahl der gemessenen Lampen, \*...Firmenkalibrierung für solare Wirkungsfunktion)

Detektor	Einsatz-Bereich	Anz.	Abweichung Firmen Kal. – Korr Kal	Korrektur-Faktor	Standard-abweich.
iL4689	UV-B	3	+20 %	1,52	5 %
		6	> +300 %		
iL3946	Eryth.	2	(+180 bis +220) %	3,33	17 %
		1	> +300 %		
iL3956	V(λ)	14	+30 %	0,91	17 %
iL4287	UV-A	3	(+90 bis +130) %	2,04	11 %
		1	- 50 %		
GH1005	UV-A	5	(-14 bis +10) %	1,05	20 %
GH1922	UV-A	13	(-20 bis +10)%	0,88	12 %
		1	+65 %		
iL4139	ACGIH	2	(-20 bis 50) %	0,51	12 %
GH1027	Blue Light	5	(-5 bis +15) %	1,00	8 %
GH1015	Eryth.	3	(0 bis +15) %	1,11	8 %
GH1921	Eryth.	3	(0 bis +10) %	1,02	3 %
		4	> +300 %		

## 6.2 Hochdruck - Metallhalogenlampe und Xenon - Gasentladungslampe

Abweichungen innerhalb dieser Spektrengruppe: unterschiedliche Anstiegsflanke zw. 200 nm und 300 nm, mit od. ohne UV-Block, mit od. ohne Fluoreszenz, + Xenon Gasentladung

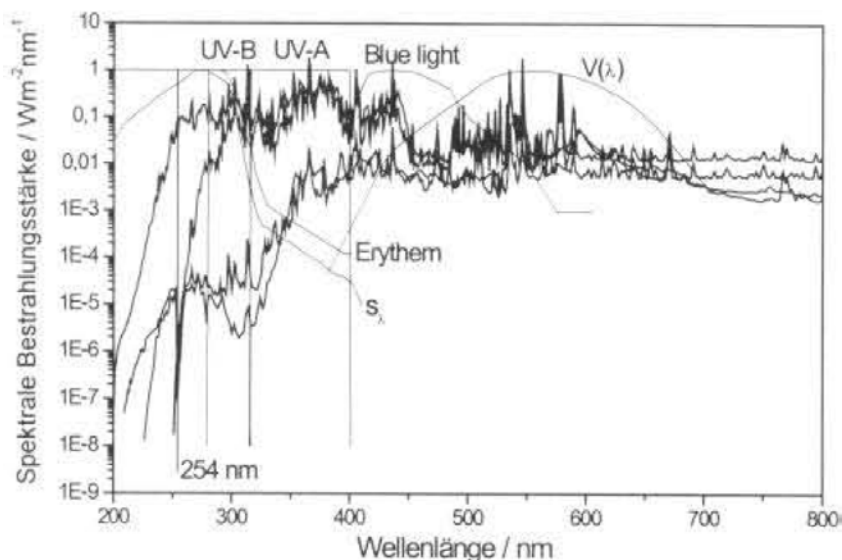


Abbildung 5 Typ. Spektren der Gruppe „Hochdruck – Metallhalogen“ und div. Wirkungsfunkt.

Abbildung 6

Berechnete Abweichung des errech. Kalib.faktors vom Firmenkalib.faktor: iL...International Light, GH...Gigahertz Optik, y-Achse-links...Bezeich. des Detektors, y-Achse-rechts ... Einsatzbereich des Detektors

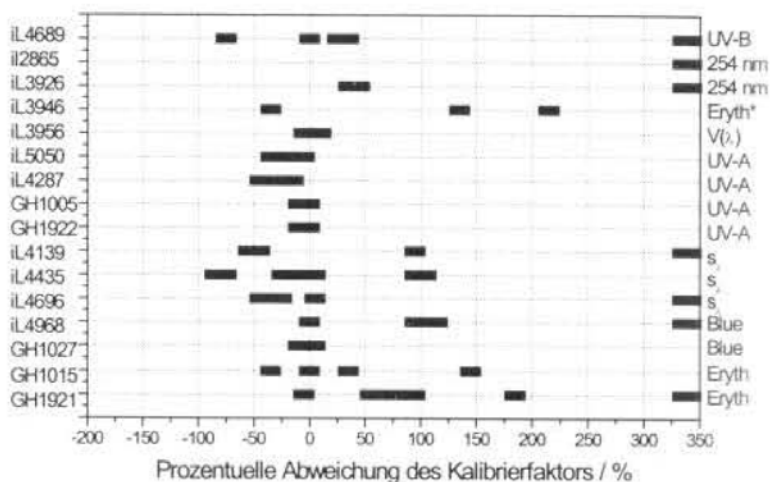


Tabelle 6 Angaben der Korrekturfaktoren der integrierenden Detektoren (Anz...Anzahl der gemessenen Lampen, \*... Firmenkalisierung für solare Wirkungsfunktion)

Detektor	Einsatz-Bereich	Anz.	Abweichung Firmen Kal. – Korr Kal	Korrektur-Faktor	Standard-abweich.
iL4689	UV-B	6	(0 bis +40) %	1,3	21 %
		2	-70 % > +300 %		
iL2865	254 nm	2	> +300 %		
iL3926	254 nm	3	(+35 bis +50) %	1,89	27 %
		1	> +300 %		
iL3956	V(λ)	14	(-10 bis +15) %	0,99	12 %
iL5050	UV-A	13	(-40 bis -20) %	0,60	26 %
iL4287	UV-A	7	(-50 bis -30) %	0,65	14 %
GH1005	UV-A	9	(-15 bis 0) %	0,93	6 %
GH1922	UV-A	15	(-15 bis 0) %	0,91	7 %
iL4696	ACGIH	12	(-50 bis +20) %	0,87	40 %
		2	> +300 %		
GH1027	Blue Light	11	(-15 bis +10) %	0,99	9 %

### 6.3 Quecksilber - Hochdrucklampe

Abweichungen innerhalb dieser Spektrengruppe: unterschiedliche Anstiegsflanke zw. 200 nm und 300 nm, mit od. ohne Yttrium-Vanadat, mit od. ohne Fluoreszenz

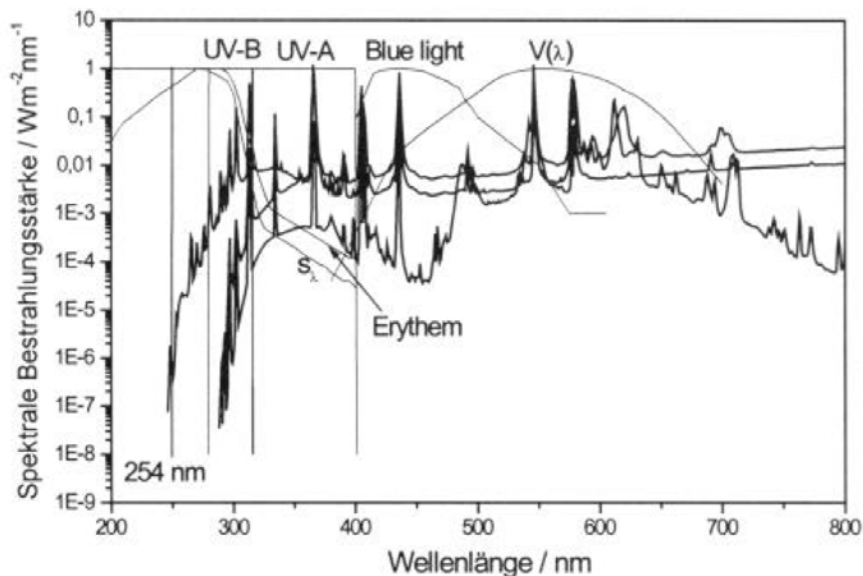


Abbildung 7 Typ. Spektren der Gruppe "Quecksilber - Hochdruck" und div. Wirkungsfunkt.

Abbildung 8

Berechnete Abweichung des errech. Kalib.faktors vom Firmenkalib.faktor: iL... International Light, GH... Gigahertz Optik, y-Achse-links.... Bezeich. des Detektors, y-Achse-rechts ...Einsatzbereich des Detektors

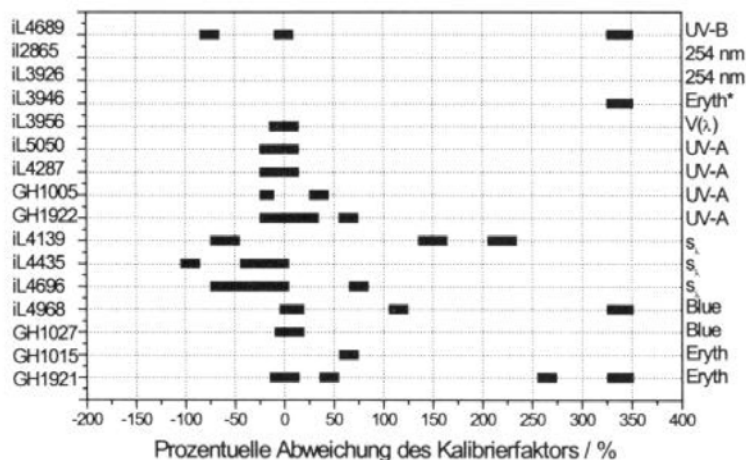


Tabelle 7 Angaben der Korrekturfaktoren der integrierenden Detektoren (Anz...Anzahl der gemessenen Lampen, \*...Firmenkalibrierung für solare Wirkungsfunktion)

Detektor	Einsatz-Bereich	Anz.	Abweichung Firmen Kal. – Korr Kal	Korrektur-Faktor	Standard-abweich.
iL4689	UV-B	4	(-70 bis 0) %	0,73	14 %
		1	> +300 %		
iL3956	V(λ)	7	(-10 bis +15) %	1,05	13 %
iL5050	UV-A	8	(-20 bis +15) %	0,93	17 %
iL4287	UV-A	5	(-15 bis +15)%	0,95	9 %
GH1005	UV-A	4	(-15 bis +50)%	1,04	24 %
GH1922	UV-A	8	(-25 bis +60) %	0,98	26 %
iL4435	ACGIH	8	(-100 bis 0) %	0,79	22 %
iL4968	Blue Light	6	(0 bis +125)%	1,31	15 %
GH1027	Blue Light	4	(0 bis +15)%	1,09	7 %
GH1015	Eryth.	4	+65 %	1,56	6 %
GH1921	Eryth.	5	(0 bis +50) %	1,23	14 %

## 6.4 Quecksilber - Hochdruck - Schwarzlichtlampe

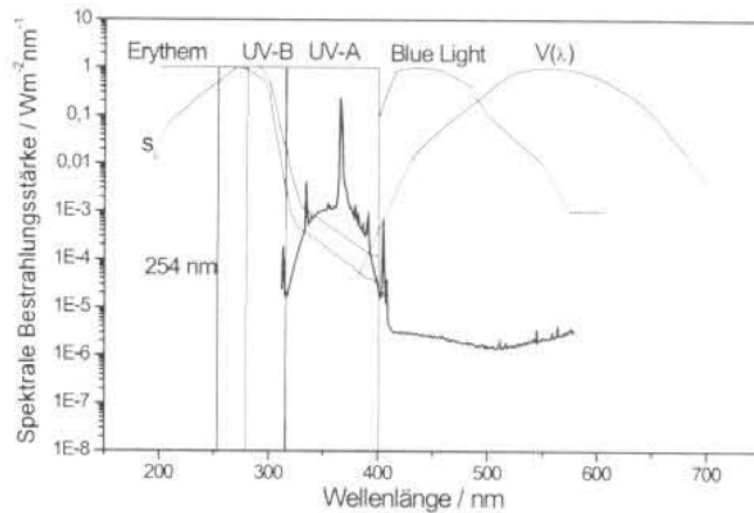


Abbildung 9 Typ. Spektrum der Gruppe „Quecksilber - Hochdruck-Schwarzlicht“ und div. Wirkungsfunktionen

Abbildung 10

Berechnete Abweichung des errech. Kalib.faktors vom Firmenkalib.faktor: iL...International Light, GH ... Gigahertz Optik, y-Achse-links ... Bezeich. des Detektors, y-Achse-rechts ... Einsatzbereich des Detektors

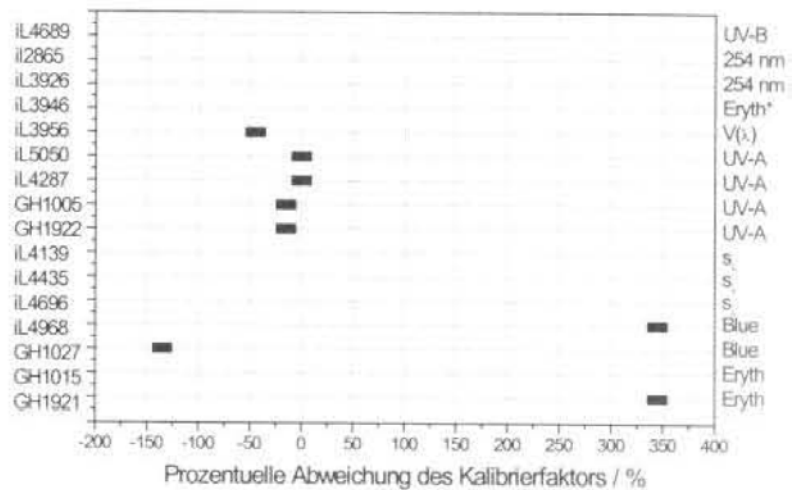


Tabelle 8 Angaben der Korrekturfaktoren der integrierenden Detektoren (Anz ... Anzahl der gemessenen Lampen, \*... Firmenkali-brierung für solare Wirkungsfunktion)

Detektor	Einsatz-Bereich	Anz.	Abweichung Firmen Kal. – Korr Kal	Korrektur-Faktor	Standard-abweich.
iL3956	V(λ)	1	- 50 %	0,49	---
iL5050	UV-A	1	0 %	1,02	---
iL4287	UV-A	1	0 %	1,00	---
GH1005	UV-A	1	-15 %	0,80	---
GH1922	UV-A	1	-15 %	0,86	---
GH1027	Blue Light	1	- 140 %	0,84	---

## 6.5 Quecksilber – Niederdrucklampe

Abweichungen innerhalb dieser Spektrengruppe: eine verstärkte Emission 350 nm und 500 nm, mit od. ohne Ozonbildung

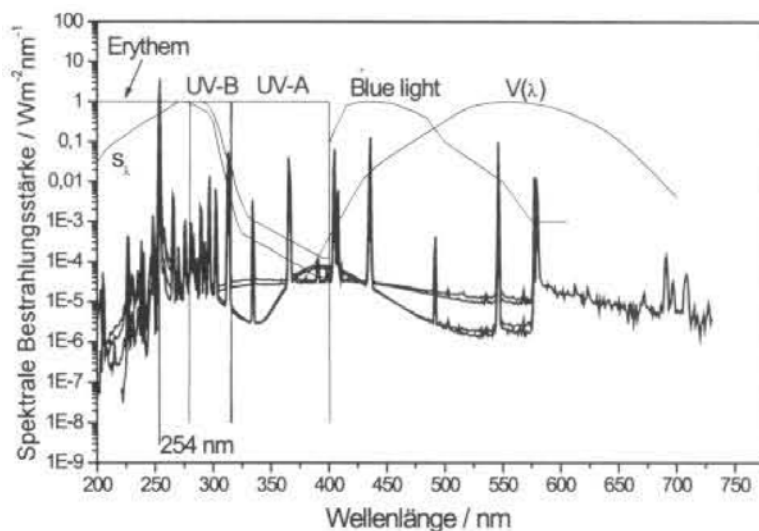


Abbildung 11 Typische Spektren der Gruppe "Quecksilber - Niederdruck" und div. Wirkungsfunktionen

Abbildung 12

Berechnete Abweichung des errech. Kalib.faktors vom Firmenkalib.faktor: iL...International Light, GH...Gigahertz Optik, y-Achse-links...Bezeich. des Detektors, y-Achse-rechts ...Einsatzbereich des Detektors

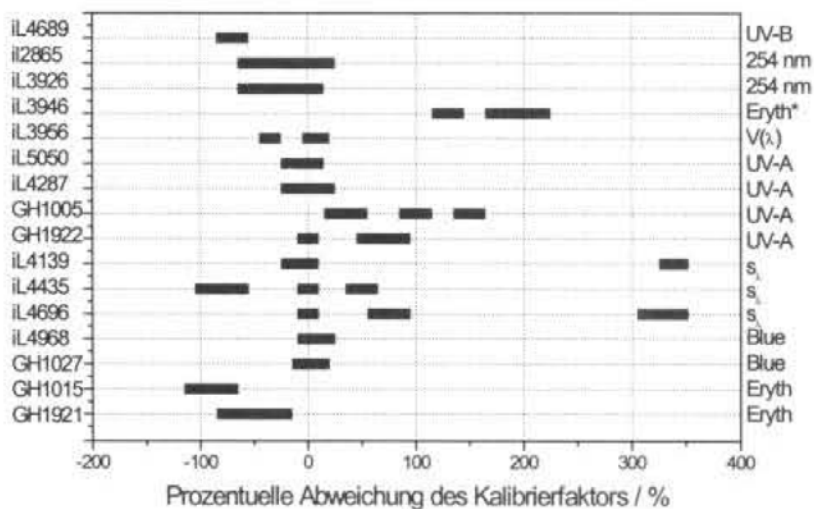


Tabelle 9 Angaben der Korrekturfaktoren der integrierenden Detektoren (Anz ... Anzahl der gemessenen Lampen, \*... Firmenkalibrierung für solare Wirkungsfunktion)

Detektor	Einsatz-Bereich	Anz.	Abweichung Firmen Kal. – Korr Kal	Korrektur-Faktor	Standard-abweich.
iL4689	UV-B	9	- 70 %	0,73	7 %
iL2865	254 nm	9	(-45 bis + 15) %	0,87	25 %
iL3926	254 nm	8	(-50 bis 0) %	0,77	26 %
iL3956	V(λ)	9	(-35 bis +10) %	0,98	19 %
iL5050	UV-A	10	(-20 bis +5) %	0,95	13 %
iL4287	UV-A	8	(-15 bis +15) %	0,94	5 %
GH1005	UV-A	9	(+45 bis +155) %	2,04	18 %
GH1922	UV-A	9	(+60 bis +75) %	1,56	10 %
iL4968	Blue Light	9	(0 bis +15) %	1,16	6 %
GH1027	Blue Light	9	(-10 bis +10) %	1,01	6 %
GH1015	Eryth.	9	(-100 bis -35) %	1,32	22 %
GH1921	Eryth.	9	(-70 bis -35) %	0,39	16 %

## 6.6 Leuchtstofflampe - Beleuchtung

Abweichungen innerhalb dieser Spektrengruppe: eine verstärkte im blauen und roten Bereich unterschiedliche Anstiegsflanke zwischen 250 nm und 300 nm

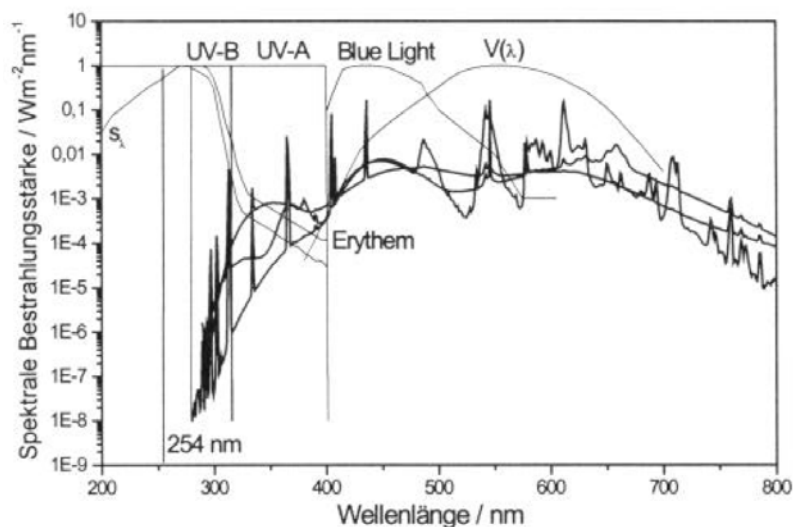


Abbildung 13 Typ. Spektren der Gruppe "Leuchtstoff" und div. Wirkungsfunktionen

Abbildung 14

Berechnete Abweichung des errech. Kalib.faktors vom Firmenkalib.faktor: iL...International Light, GH...Gigahertz Optik, y-Achse-links ... Bezeich. des Detektors, y-Achse-rechts ... Einsatzbereich des Detektors

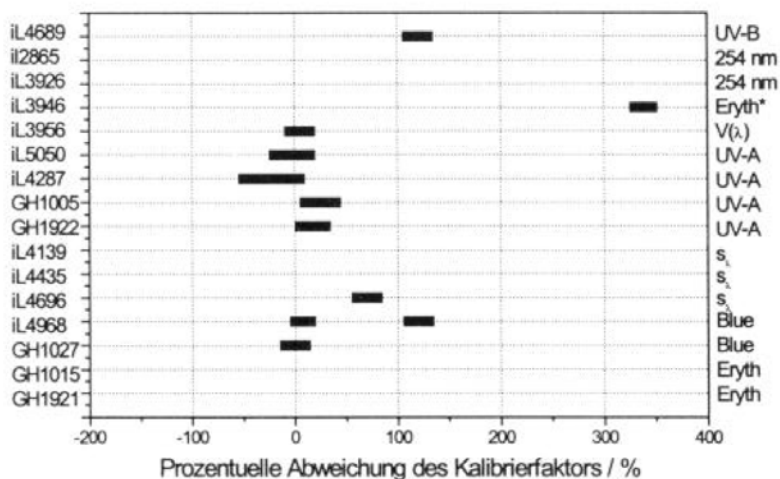


Tabelle 10 Angaben der Korrekturfaktoren der integrierenden Detektoren (Anz ... Anzahl der gemessenen Lampen, \*... Firmenkalisierung für solare Wirkungsfunktion)

Detektor	Einsatz-Bereich	Anz.	Abweichung Firmen Kal. – Korr Kal	Korrektur-Faktor	Standard-abweich.
iL3956	V(λ)	8	(0 bis +15) %	1,05	4 %
iL5050	UV-A	7	(-20 bis + 10) %	0,83	14 %
iL4287	UV-A	8	(-40 bis 0) %	0,78	13 %
GH1005	UV-A	7	(+5 bis +45) %	1,20	7 %
GH1922	UV-A	8	(+5 bis +25) %	1,18	7 %
iL4696	ACGIH	1	+80 %	2,33	---
iL4968	Blue light	7	(0 bis +15) %	1,28	7 %
		1	+ 125 %	1,43	---
GH1027	Blue Light	9	(-10 bis +10) %	1,03	4 %

## 6.7 Leuchtstofflampe - UV - A

Abweichungen innerhalb dieser Spektrengruppe: eine Verschiebung des Maximums zum kurz- bzw. längerwelligen Bereich, Blaulichtlampe, Schwarzlichtlampe, mit oder ohne Reflektor

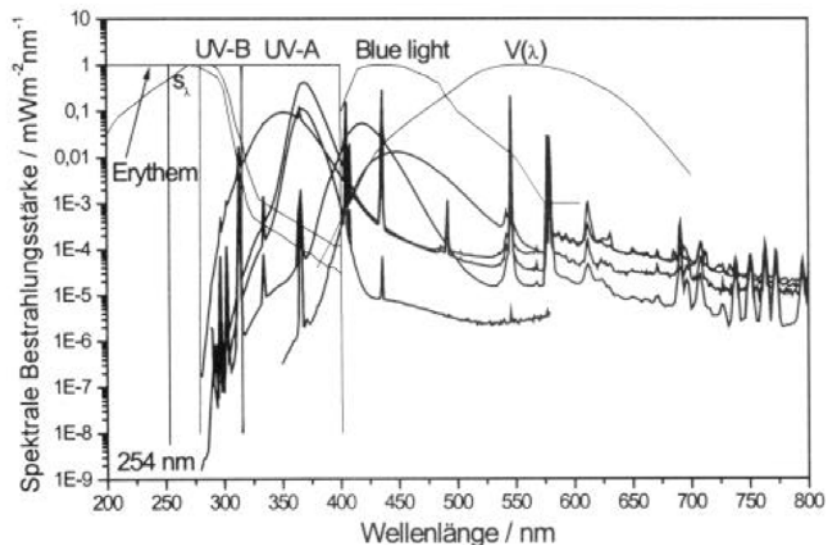


Abbildung 15 Typ. Spektren der Gruppe „Leuchtstoff - UV-A“ und div. Wirkungsfunktionen

Abbildung 16

Berechnete Abweichung des errech. Kalib.faktors vom Firmenkalib.faktor: iL...International Light, GH...Gigahenz Optik, y-Achse-links...Bezeich. des Detektors, y-Achse-rechts...Einsatzbereich des Detektors

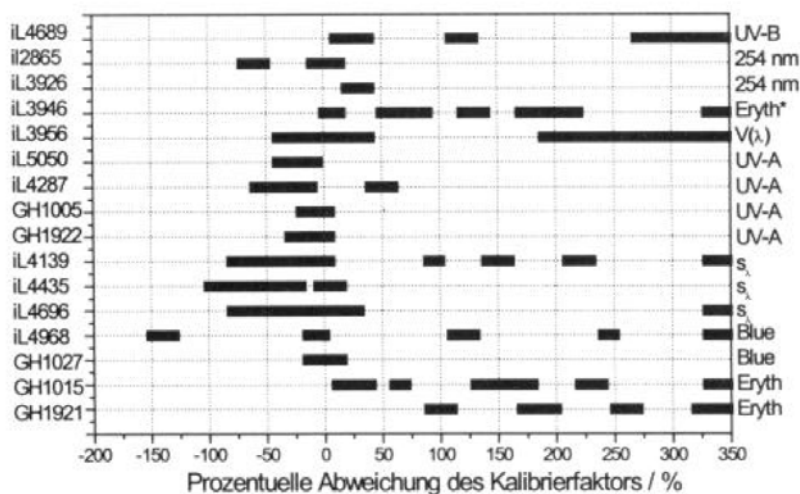


Tabelle 11 Angaben der Korrekturfaktoren der integrierenden Detektoren (Anz ... Anzahl der gemessenen Lampen, \*... Firmenkalisierung für solare Wirkungsfunktion)

Detektor	Einsatz-Bereich	Anz.	Abweichung Firmen Kal. – Korr Kal	Korrektur-Faktor	Standard-abweich.
iL3956	V(λ)	36	(-40 bis +40) %	1,02	20 %
		7	(+200 bis +300) %		
iL5050	UV-A	42	(-35 bis -10) %	0,83	22 %
iL4287	UV-A	41	(-50 bis 15) %	0,83	23 %
		1	+50 %		
GH1005	UV-A	42	(-20 bis 0) %	0,86	4 %
GH1922	UV-A	42	(-25 bis 0) %	0,70	5 %
iL4435	ACGIH	42	(-90 bis +10) %	0,35	75 %
iL4696	ACGIH	28	(-70 bis +20) %	0,60	40 %
		9	> +300 %		
GH1027	Blue Light	40	(-10 bis +0) %	1,01	5 %