

Kanzerogenes Potenzial von Sonnenstrahlung und künstlichen UV-Strahlenquellen

1 Einleitung

Die Einwirkung ultravioletter Strahlung auf die Augen und auf die Haut kann zu akuten Schäden und zu Langzeitschäden führen. Treten UV-Strahlenexpositionen an Arbeitsplätzen auf, dann müssen deshalb geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen werden, um solche Schädigungen zu verhindern. Zu den möglichen Langzeitschäden gehört das Auftreten bestimmter Arten von Hautkrebs. Diskutiert wird zurzeit, ob eine Hautkrebserkrankung, die durch UV-Strahlenexpositionen am Arbeitsplatz hervorgerufen wird, wie eine Berufskrankheit anzuerkennen ist. Sowohl für die Prävention als auch für die Bearbeitung von Berufskrankheiten ist die Frage von Interesse, ob es hinsichtlich der Hautkrebs auslösenden Wirkung Unterschiede zwischen UV-Expositionen gibt, die durch die Sonne und die durch künstliche UV-Strahlenquellen hervorgerufen werden.

2 Erläuterungen zu optischer Strahlung

Optische Strahlung ist eine elektromagnetische Wellenstrahlung. Sie umfasst neben der ultravioletten Strahlung auch die sichtbare Strahlung, die wir als Licht wahrnehmen, und die infrarote Strahlung. Optische Strahlung wird durch ihre Wellenlänge λ charakterisiert. Die Wellenlänge wird in der Einheit Nanometer (nm) angegeben, wobei ein Nanometer einem Milliardstel Meter entspricht. Ultraviolette Strahlung liegt im Bereich von Wellenlängen zwischen 100 nm und 400 nm, sichtbare Strahlung im Bereich von 400 nm bis 800 nm und infrarote Strahlung im Bereich von 800 nm bis 1.000.000 nm. Ultraviolette Strahlung wird weiter unterteilt in UV-C-Strahlung (Wellenlängen zwischen 100 nm und 280 nm), UV-B-Strahlung (280 nm bis 315 nm) und UV-A-Strahlung (315 bis 400 nm).

Optische Strahlenquellen können Strahlung bei verschiedenen Wellenlängen emittieren. Ein Strahlenspektrum (auch spektrale Verteilung oder einfach Spektrum genannt) zeigt an, wie hoch die Strahlungsintensität bei welchen Wellenlängen ist. Die Bilder 1 und 2 (s. Seite 4) zeigen als Beispiele die spektrale Verteilung von Sonnenstrahlung (blau, rechte Seite) und eines Schweißlichtbogens (rot, im ganzen Wellenlängenbereich) im ultravioletten Bereich.

2.1 Sonnenstrahlung

Charakteristika von Sonnenstrahlungsspektren sind: Sie beginnen im ultravioletten Bereich bei etwa 290 nm, haben ihr Maximum im sichtbaren Bereich und gehen weit in den Infrarotbereich [1]. Ein Sonnenstrahlungsspektrum hat auf der Erdoberfläche jedoch keine Anteile mit Wellenlängen kleiner als 290 nm, da die Erdatmosphäre solche Strahlungsanteile absorbiert. Es gibt auch nicht nur ein Sonnenstrahlungsspektrum, sondern vielmehr verschiedene Spektren, die sich je nach dem Stand der Sonne über dem Horizont unterscheiden (Bild 3, s. Seite 5). Steht die Sonne sehr hoch über dem Horizont (in Deutschland bis maximal etwa 62°) dann enthält das Spektrum mehr ultraviolette und mehr blaue Anteile. Steht die Sonne morgens und abends nur knapp über dem Horizont, dann fehlen starke ultraviolette und blaue Anteile und das Spektrum zeigt mehr rote Anteile, d. h., es verschiebt sich zu größeren Wellenlängen. Auch ist die Gesamtintensität der Strahlung bei tief stehender Sonne viel geringer als bei hoch stehender Sonne. Das Sonnenspektrum wird außerdem beein-

flusst durch die Bewölkung des Himmels und durch Streuung der Sonnenstrahlung an Luftmolekülen, die zu einem blauen Himmelshintergrund mit einem hohen ultravioletten Anteil führt.

2.2 Künstliche Strahlenquellen

Künstliche Strahlenquellen können unterschiedliche Spektren emittieren. Sie zeigen entweder nur Strahlung bei einer einzigen Wellenlänge (z. B. HeNe-Laserpointer mit charakteristischer roter Farbe), eine breite Wellenlängenverteilung (weiß erscheinende Glühlampe) oder eine Überlagerung einzelner Strahlungslinien mit einem breiten Untergrund (Leuchtstofflampen). Es gibt eine Reihe von Strahlenquellen an Arbeitsplätzen, die im ultravioletten Bereich strahlen: Schweißlichtbögen, Gasbrenner zur Glasbearbeitung, UV-Lampen zur Prüfung auf Haarrisse, UV-Lampen zur Trocknung von Druckfarben und von Klebern, UV-Lampen zur Sterilisation, usw. Ihr Spektrum kann einen weiten Wellenlängenbereich umfassen (z. B. Lichtbögen beim Elektroschweißen, Gasbrenner) oder gezielt auf bestimmte Bereiche eingegrenzt sein (z. B. Rissprüfung mit UV-A-Strahlung, Sterilisation mit UV-C-Strahlung) (siehe Bild 4 bis Bild 9, Seiten 5 bis 8). Sie können in ihrer Strahlungsintensität stark variieren, von einer geringen Bestrahlungsstärke (z. B. bei UV-Lampen zur Geldscheinprüfung) bis hin zu einer extrem hohen Strahlungsintensität (z. B. beim UV-Rollendruck). Elektrische Schweißverfahren können sogar eine UV-Strahlungsintensität bis zum 1500fachen der stärksten UV-Strahlungsintensität der Sonne erreichen.

3 Wirkungen von UV-Strahlung auf die Haut

Welche Wirkungen optische Strahlung bei einem Menschen verursacht, der nicht gegen die Strahlung geschützt ist, hängt u. a. von der Höhe der Strahlungsintensität, der Dauer der Einwirkung und der spektralen Verteilung, d. h. vom Strahlungsspektrum, ab. Jede Wellenlänge kann hinsichtlich eines bestimmten Effektes unterschiedlich stark wirken. Man spricht hier von einer spektralen Wirkungsfunktion (englisch: action spectrum) für eine bestimmte Wirkung. Beispielsweise wird in der Dermatologie häufig die erythemale Wirkungsfunktion $s_{er}(\lambda)$ [2] verwendet, um die Wirkung einer Strahlung hinsichtlich der Erzeugung von Hauterythemen (Sonnenbränden) zu beschreiben. Für die Verursachung von Hautkrebs existiert eine andere Wirkungsfunktion: die sog. nmsc-Wirkungsfunktion $s_{nmsc}(\lambda)$. Die Abkürzung nmsc steht für non-melanoma skin cancer und umfasst als Wirkungen das Plattenepithelkarzinom und das Basaliom. Das Wirkungsspektrum $s_{nmsc}(\lambda)$ für nichtmelanomen Hautkrebs wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE im Dokument CIE S 019 [3] veröffentlicht. Diese Wirkungsfunktion beruht auf Ergebnissen von Tierversuchen, die auf die menschliche Haut umgerechnet wurden. Einen wesentlichen Beitrag lieferte eine Kooperation zwischen der Dermatologie in Utrecht und von Experten aus Philadelphia. Die gefundenen spektralen Wirkungsfunktionen sind daher auch als SCUP-m (Skin Cancer Utrecht Philadelphia), bezogen auf die Maus, und SCUP-h [4], bezogen auf den Menschen, bekannt. Von der SCUP-h-Wirkungsfunktion wurde die CIE-Wirkungsfunktion $s_{nmsc}(\lambda)$ abgeleitet, die heute international anerkannt ist. Die spektrale Wirkungsfunktion $s_{nmsc}(\lambda)$ ist in den Bildern 1 und 2 zu sehen (grüne Kurve in der Mitte). Sie hat Werte zwischen 0 und 1 und ihr Maximum liegt bei einer Wellenlänge von $\lambda = 299$ nm. Sie liegt damit hauptsächlich im UV-B-Bereich, zu einem kleinen Teil auch im UV-A-Bereich. Dies entspricht den heutigen Kenntnissen, wonach Hautkrebs hauptsächlich durch UV-B-Strahlung und zu einem kleinen Anteil durch UV-A-Strahlung hervorgerufen wird. Der exakte Verlauf einer spektralen Wirkungsfunktion für den menschlichen Hautkrebs ist bis heute nicht bekannt. Die standardisierte Wirkungsfunktion $s_{nmsc}(\lambda)$ nach CIE S 019 wird aber als gute Näherung dafür betrachtet.

Um die kanzerogene Wirkung einer Strahlung zu ermitteln, multipliziert man die Werte eines Strahlungsspektrums bei jeder Wellenlänge mit dem zugehörigen Wert der spektralen Wirkungsfunktion $s_{nmsc}(\lambda)$. Anschließend werden die Ergebnisse für alle Wellenlängen aufaddiert. Man erhält so die sog. nmsc-gewichtete Bestrahlungsstärke E_{nmsc} . Sie beschreibt das kanzerogene Potenzial einer

Strahlung. Multipliziert man die nm-sc-gewichtete Bestrahlungsstärke E_{nm-sc} mit der Dauer t_{exp} der Einwirkung der Strahlung auf die Haut, dann erhält man die nm-sc-gewichtete Bestrahlung H_{nm-sc} . Sie wird auch als UV-Strahlendosis oder einfach als UV-Dosis bezeichnet. Von der nm-sc-gewichteten Bestrahlung H_{nm-sc} sowie von weiteren Faktoren hängt die Wahrscheinlichkeit ab, dass nach Jahren einer UV-Strahleneinwirkung auf die Haut ein nichtmelanomer Hautkrebs entsteht.

4 Kanzerogene Wirkung von Sonnenstrahlung und von künstlichen UV-Quellen

Wie hoch ist das kanzerogene Potenzial künstlicher UV-Strahlenquellen an Arbeitsplätzen im Vergleich zur Sonnenstrahlung? Das hängt u. a. davon ab, wie hoch der Strahlungsanteil im Bereich der spektralen Wirkungsfunktion $s_{nm-sc}(\lambda)$ ist, d. h., wie viel Strahlungsintensität in den grün markierten Bereich in der Mitte von Bild 1 fällt. Das gilt gleichermaßen für Sonnenstrahlung wie für die Strahlung künstlicher Quellen. Um dies noch deutlicher zu machen, ist im Bild 2 das Sonnenspektrum 15fach überhöht dargestellt. Die UV-Strahlung einer hoch am Himmel stehenden Sonne bei wenig Bewölkung hat ein entsprechendes kanzerogenes Potenzial. Morgen- oder Abendsonne enthält viel weniger UV-Strahlungsanteile (Bild 3). Entsprechend hat sie ein geringeres bis gar kein kanzerogenes Potenzial. Lichtbögen beim Elektroschweißen weisen Strahlungsanteile im UV-C-, UV-B- und UV-A-Bereich auf, fallen in den grün markierten Bereich der spektralen Wirkungsfunktion $s_{nm-sc}(\lambda)$ in der Mitte im Bild 1 und haben daher ein kanzerogenes Potenzial. Bei anderen künstlichen Strahlungsquellen hängt es vom emittierten Spektrum ab, ob kanzerogene Anteile vorhanden sind oder nicht. Bei der Rissprüfung mit UV-A-Strahlung (Bild 5) und bei der Anwendung einer Handlampe zum Glaskleben (Bild 8) ist nur ein sehr geringes kanzerogenes Potenzial vorhanden. Dagegen haben die untersuchten UV-Trockner an einer Druckmaschine (Bild 4), die UV-Trocknung von Klebern (Bild 6), das MAG-Schweißen (Bild 7) und die Gasflamme zur Glasbearbeitung (Bild 9) ein hohes kanzerogenes Potenzial.

5 Fazit

Neben der Sonnenstrahlung kann auch die Strahlung künstlicher UV-Strahlenquellen an Arbeitsplätzen Hautkrebserkrankungen verursachen, sofern ein entsprechender Strahlungsanteil im Bereich der $s_{nm-sc}(\lambda)$ -Wirkungsfunktion vorhanden ist und eine Person nicht ausreichend gegenüber der Strahlung geschützt ist.

6 Quellenverzeichnis

- [1] Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung – Sonnenstrahlung“. FS-06-130/2-AKNIR. Hrsg.: Fachverband für Strahlenschutz, 2006
- [2] ISO 17166:1999/CIE S007-1998: Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose
- [3] ISO 28077:2006 (CIE S019/E:2006): Photocarcinogenesis action spectrum (non-melanoma skin cancers)
- [4] de Gruijl, F.R.; van der Leun, J.C.: Estimate of the wavelength dependency of ultra-violet carcinogenesis in humans and its relevance to the risk assessment of a stratospheric ozone depletion. Health Phys. Vol. 67 (1994), pp. 319-325

Autor: Dr. Harald Siekmann, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

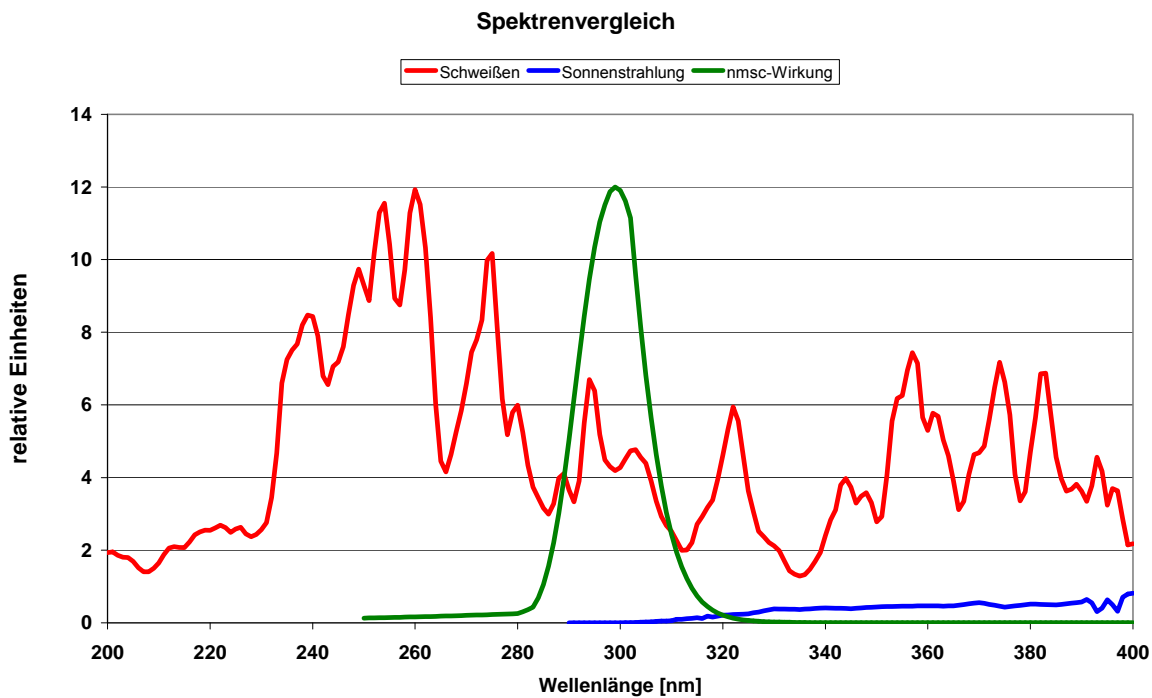


Bild 1: Strahlungsspektrum der Sonne zur Mittagszeit (blau, rechts unten) und eines Schweißlichtbogens (rot, im ganzen Bereich). Zur Bewertung ist die spektrale Wirkungsfunktion $s_{nmsc}(\lambda)$ (grün, Mitte) zur Verursachung eines nicht-melanomen Hautkrebses eingezeichnet. Dargestellter UV-Strahlungsbereich: 200 bis 400 nm.

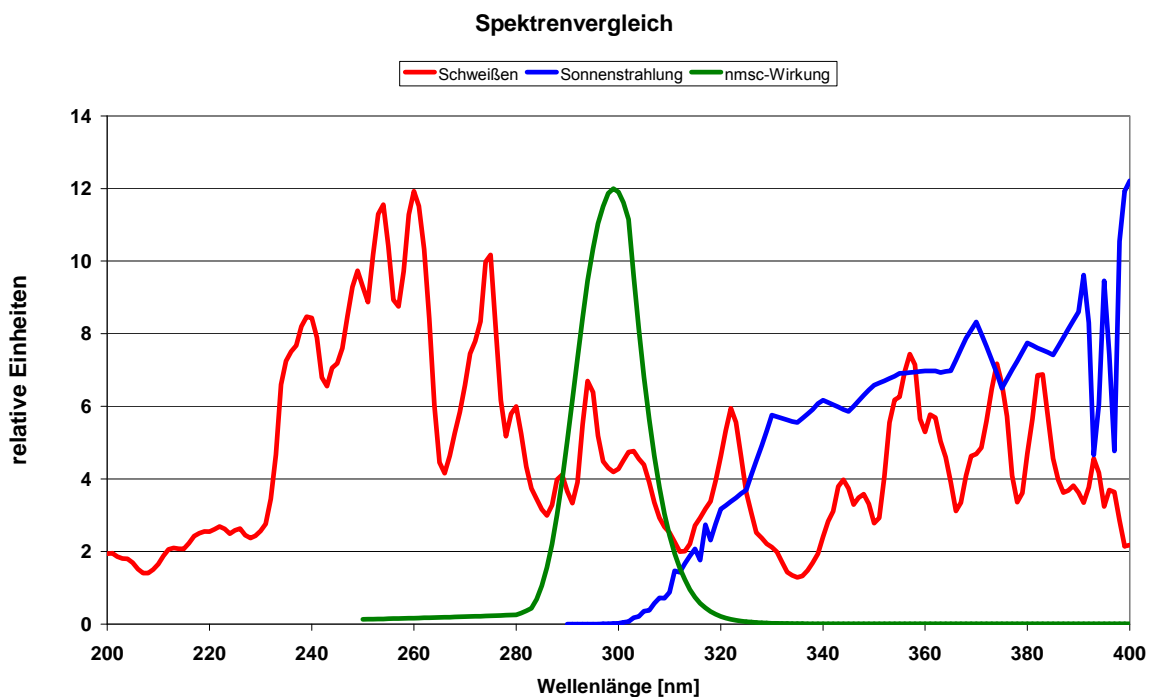


Bild 2: Die gleichen Spektren wie im Bild 1. Das Sonnenspektrum (blau, rechts) ist hier jedoch 15fach vergrößert dargestellt, um deutlicher erkennbar zu machen, welcher Anteil davon in den Bereich der Wirkungsfunktion $s_{nmsc}(\lambda)$ (grün, Mitte) fällt.

Sonnenspektren am 02.07.2008 in Sankt Augustin

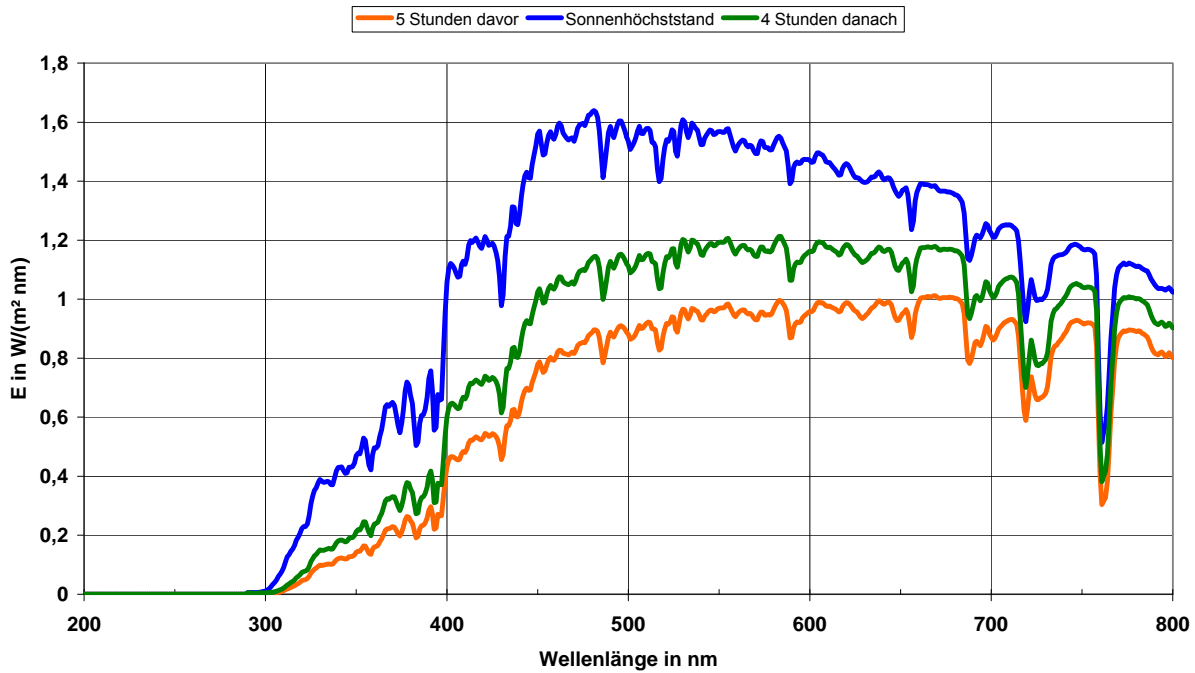


Bild 3: Sonnenspektren beim Sonnenhöchststand (blau, oben), 4 Stunden danach (grün, Mitte) und 5 Stunden davor (orange, unten). Dargestellt sind die Spektren im ultravioletten und sichtbaren Wellenlängenbereich von 200 bis 800 nm. Sonnenspektren enthalten je nach Sonnenstand unterschiedlich hohe Anteile im UV-Bereich.

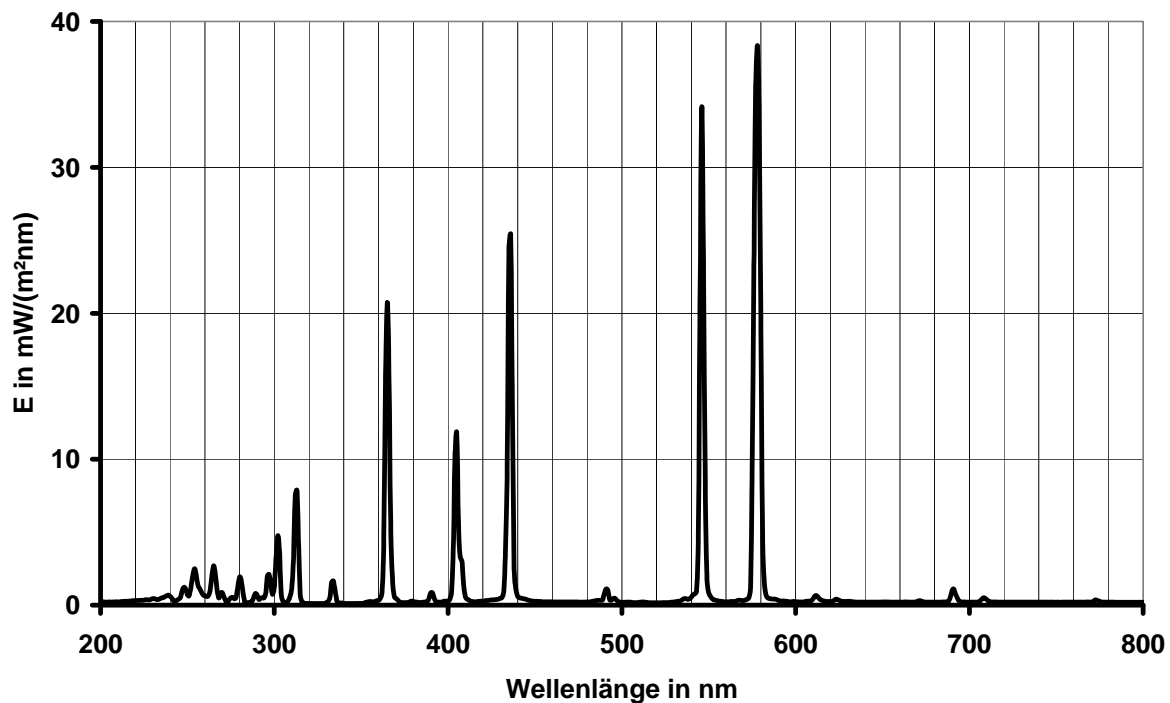


Bild 4: Strahlenspektrum eines UV-Trockners an einer Druckmaschine (Wellenlängenbereich 200 bis 800 nm)

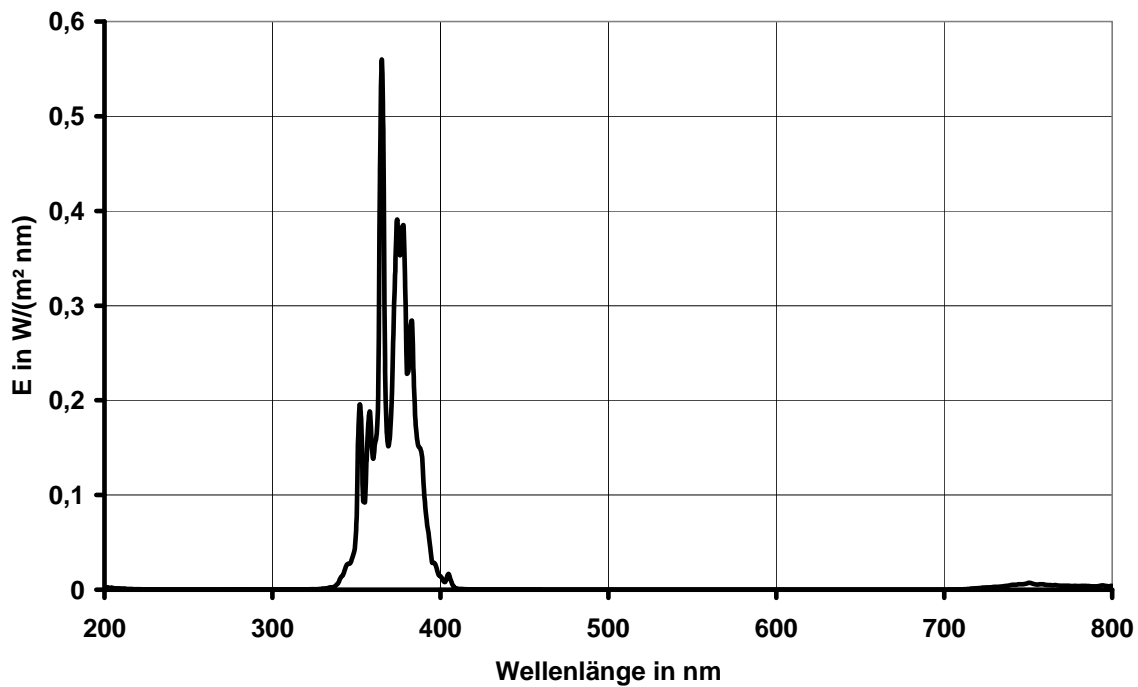


Bild 5: Strahlungsspektrum einer UV-Lampe zur Fluoreszenzprüfung von Werkstücken auf Haarrisse (Wellenlängenbereich 200 bis 800 nm)

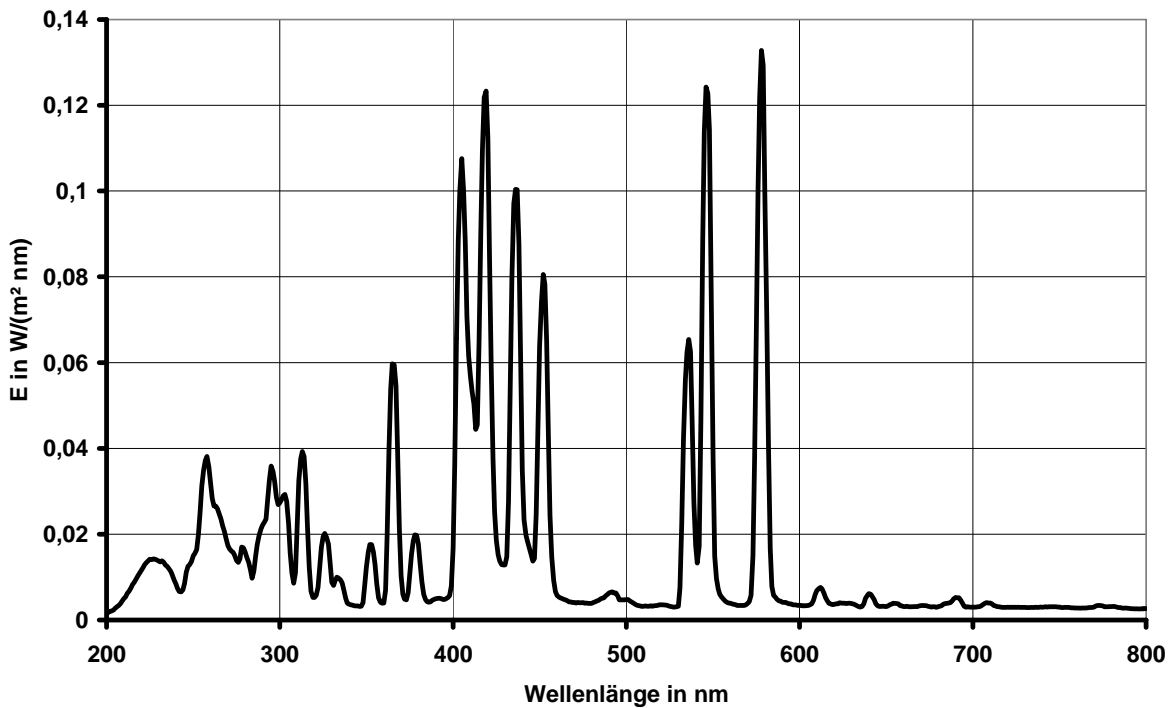


Bild 6: Spektrum einer Lampe zur Trocknung von Verklebungen mit UV-Strahlung (Wellenlängenbereich 200 bis 800 nm)

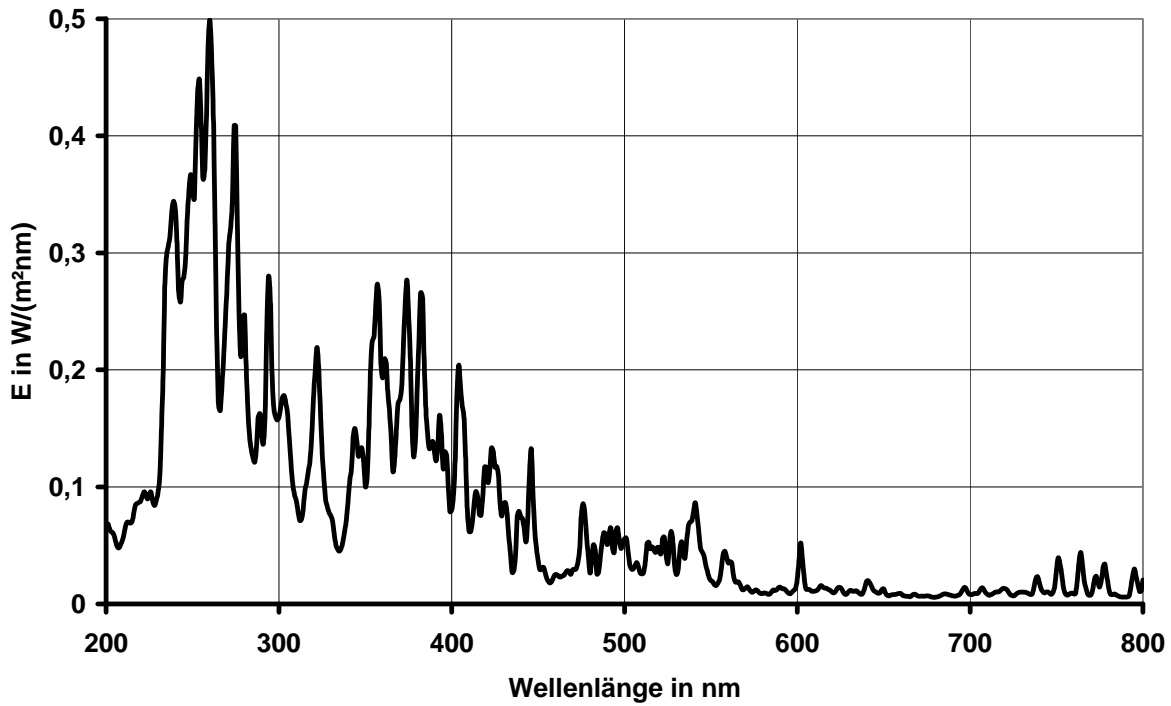


Bild 7: Spektrum eines Lichtbogens beim MAG-Schweißen (Wellenlängenbereich 200 bis 800 nm)

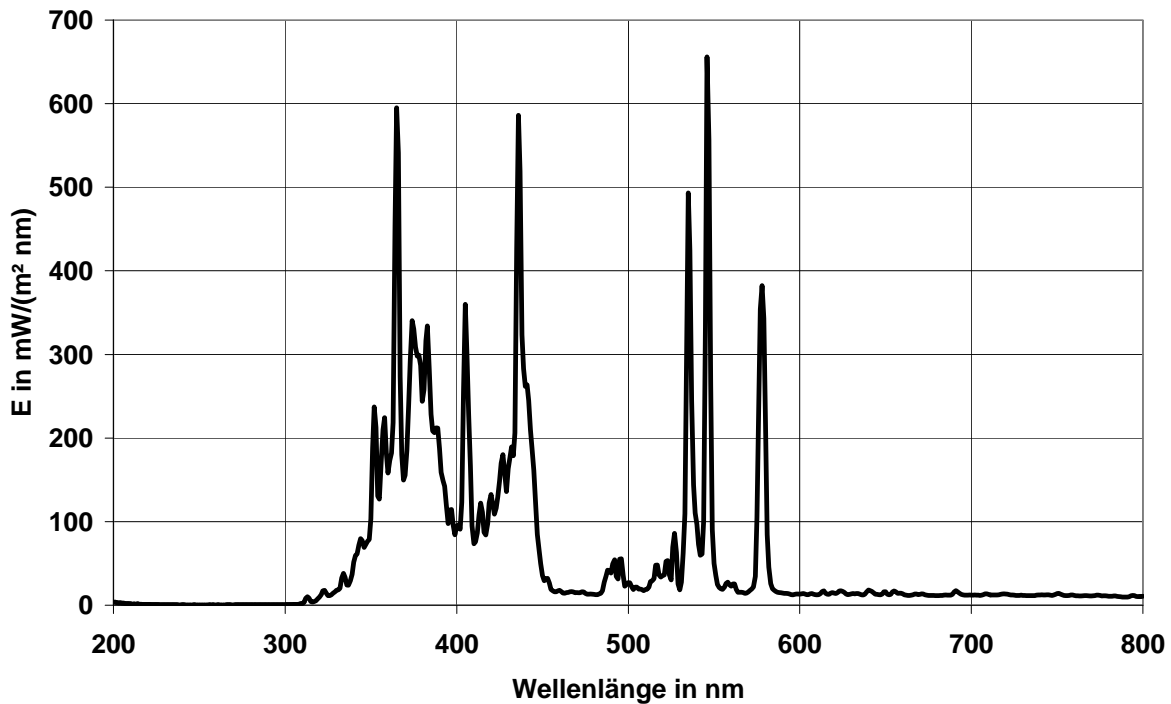


Bild 8: Spektrum einer Handlampe für das Aushärten von Glasverklebungen (Wellenlängenbereich 200 bis 800 nm)

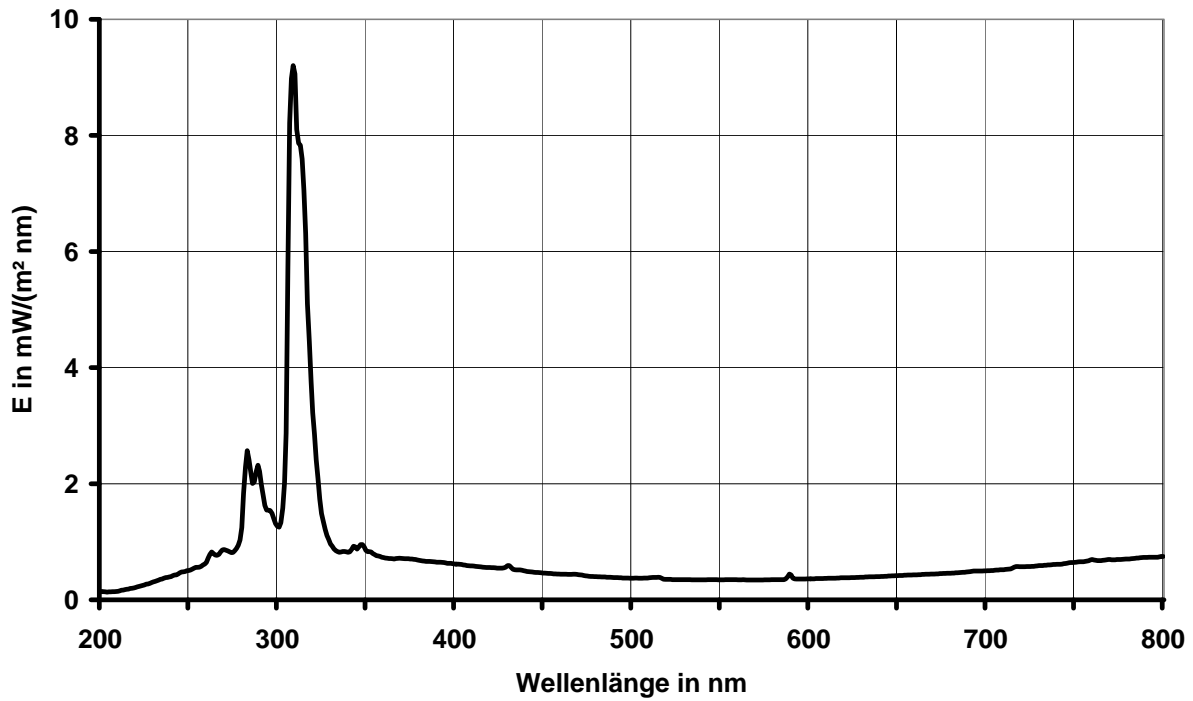


Bild 9: Spektrum der Flamme eines Gasbrenners zur Bearbeitung von Werkstücken aus Glas (Wellenlängenbereich 200 bis 800 nm)