


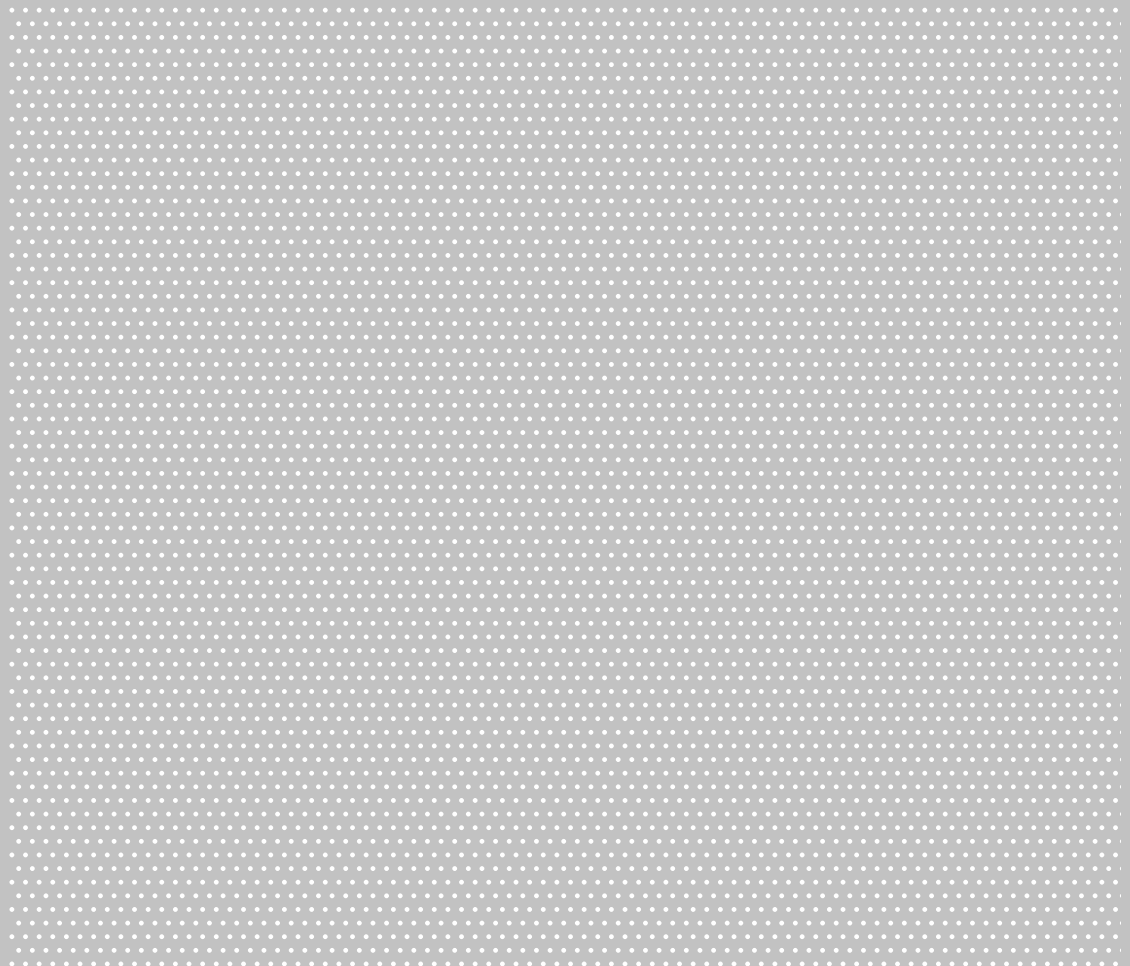
6/2016

IFA Report



**Emissionen optischer Strahlung
bei der Bearbeitung von Werkstücken
aus Glas mit Gasbrennern**

– IFA-Projekt 4144 –



Verfasser: Marc Wittlich, Martin Schmitz, Detlef Schwaß
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)
Glinkastr. 40
10117 Berlin
Telefon: 030 288763800
Fax: 030 288763808
Internet: www.dguv.de
E-Mail: info@dguv.de

– Juni 2016 –

Publikationsdatenbank: www.dguv.de/publikationen

ISBN: 978-3-86423-169-8

ISSN: 2190-7994

Kurzfassung

Emissionen optischer Strahlung bei der Bearbeitung von Werkstücken aus Glas mit Gasbrennern

Bei der Bearbeitung von Werkstücken aus Glas werden Gasbrenner verschiedener Bauart eingesetzt. Von der Gasflamme geht neben sichtbarer (VIS) und infraroter (IR) Strahlung auch ultraviolette (UV) Strahlung aus. Diese optische Strahlung kann eine Gefährdung darstellen. Zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch optische Strahlung wurde die EU-Richtlinie 2006/25/EG erlassen, die durch die Optische Strahlenverordnung (OStrV) in nationales Recht umgesetzt wurde. Damit sind rechtsverbindliche Expositionsgrenzwerte für nahezu alle Wellenlängenbereiche der optischen Strahlung festgelegt worden.

Im Labor wurden verschiedene handelsübliche und oft verwendete Gasbrenner systematisch untersucht. Dabei kam es bei allen Brennern zu Strahlungsemissionen, die insbesondere im UV-Bereich eine prägnante Gefährdung darstellen. Es konnte ermittelt werden, dass alle Bestrahlungsstärken mit dem Quadrat des Abstandes abnehmen, aber sowohl Hände und Unterarme als auch das Gesicht geschützt werden müssen. Interessanterweise ergab sich keine Korrelation der Bestrahlungsstärken mit den vom Hersteller angegebenen Brennerleistungen.

Während der Bearbeitung von Glaswerkstücken durch fachkundige Beschäftigte zeigte sich, dass durch Umstände der Tätigkeit die Bestrahlung im UV-Bereich leicht gesenkt wurde, jedoch nach Abschluss der Arbeit wieder zur Ausgangsstärke zurückkehrte. Durch die Erhitzung des Werkstücks kam es zu einer Zunahme der Infrarotbestrahlungsstärke.

Die Expositionsgrenzwerte für fotochemische bzw. thermische Schädigungen der Netzhaut durch sichtbare und infrarote Strahlung wurden weder bei den Labor- noch bei den Feldmessungen erreicht oder überschritten. Nach aktuellem Wissensstand kann davon ausgegangen werden, dass hier keine expositionsgrenzwertrelevante Gefährdung auftritt.

Insgesamt zeigte sich, dass die systematischen Labormessungen im Sinne einer „Worst-case“-Betrachtung einzuordnen sind. Damit lassen sich die Ergebnisse direkt in Präventionsbestrebungen einbinden.

Der Gefährdung – insbesondere durch UV-Strahlung – muss durch geeignete Schutzmaßnahmen nach dem (S)TOP-Prinzip begegnet werden. Ist eine Substitution nicht möglich, sollten technische Maßnahmen wie Schutzscheiben an den Brennern, organisatorische Maßnahmen – wie eine geschickte Anordnung der einzelnen Arbeitsplätze – und persönliche Maßnahmen ergriffen werden: Schutzbrille/-visier, Handschuhe und lange feuerfeste Kleidung.

Abstract

Emissions of optical radiation during the processing of glass workpieces with gas burners

During the processing of workpieces made of glass, gas burners of various designs are used. The gas flame emits ultraviolet (UV) radiation as well as visible (VIS) and infrared (IR) radiation. This optical radiation can pose a risk. To protect employees from risks from optical radiation, EU Directive 2006/25/EC was issued and transposed into national law in Germany by the Optical Radiation Ordinance (OStrV). This means that legally binding exposure limits have been defined for virtually all wavelength ranges of optical radiation.

In the laboratory, various commercially available and widely used gas burners were systematically investigated. It transpired that all burners emit radiation, with a noticeable risk posed by the UV range. It was found that the irradiance declines with the square of the distance, but that both the hands/lower arms and also the face have to be protected. Interestingly, there was no correlation between the irradiance and the burner output stated by the manufacturer.

During the processing of glass workpieces by skilled employees, it was shown that the radiation in the UV range was slightly reduced by the circumstances of the process, but that it returned to the initial level on completion of work. The infrared irradiance increased when the workpiece was heated.

The exposure limits for photochemical and thermal damage of the retina by visible and infrared radiation were neither reached nor exceeded during laboratory and field measurements. On the basis of the current state of knowledge, it can be assumed that there is no risk here of transgression of the exposure limits.

Overall, it was shown that the systematic laboratory measurements can be classified as a worst-case scenario. This means that the findings can be directly applied to prevention efforts.

The risk – of UV radiation particularly – must be countered with suitable protective measures on the (S)TOP principle. If substitution is not possible, technical measures such as protective windows at the burners, organisational measures – such as an intelligent layout of the various workplaces – and personal measures are to be taken: protective goggles/visor, gloves and long, fire-proof clothing.

Résumé

Émissions de rayonnement optique lors de la transformation de pièces de verre à l'aide de brûleurs à gaz

Pour la transformation de pièces de verre, on utilise divers modèles de brûleurs à gaz. Outre un rayonnement visible (VIS) et infrarouge (IR), la flamme de gaz émet aussi un rayonnement ultraviolet (UV). Ce rayonnement optique peut être un facteur de risque. C'est dans le but de protéger les travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques qu'a été adoptée la directive européenne 2006/25/CE, qui a été transposée dans le droit allemand par l'ordonnance sur les rayonnements optiques (OStrV). Des valeurs limites d'exposition ont été ainsi définies pour la quasi-totalité des longueurs d'onde des rayonnements optiques.

Divers brûleurs à gaz couramment vendus dans le commerce et fréquemment utilisés ont été systématiquement examinés en laboratoire. Il est apparu lors des essais que tous les brûleurs émettaient des rayonnements présentant un risque marqué, en particulier pour les ultraviolets. On a pu déterminer que toutes les intensités de rayonnement diminuent avec le carré de la distance, mais qu'il faut protéger tant les bras/avant-bras que le visage. Il a été intéressant de constater qu'il n'y avait aucune corrélation entre les intensités de rayonnement et les performances du brûleur telles qu'elles étaient indiquées par le fabricant.

Lors de la transformation de pièces de verre par du personnel qualifié, il a été constaté que, du fait de facteurs inhérents à cette activité, le rayonnement ultraviolet baissait légèrement, pour revenir toutefois à son intensité initiale une fois le travail terminé. Du fait de l'échauffement de la pièce à transformer, l'intensité du rayonnement infrarouge augmentait.

Les valeurs limites d'exposition pour les lésions photochimiques et thermiques de la rétine provoquées par un rayonnement visible et infrarouge n'ont été ni atteintes ni dépassées lors des mesures, que ce soit en laboratoire ou sur le terrain. Dans l'état actuel des connaissances, on peut partir du principe qu'il n'existe ici aucun risque lié à des valeurs limites d'exposition.

Il s'est avéré, d'une manière générale, que les mesures systématiques effectuées en laboratoire doivent être classées dans la catégorie du « pire des cas ». De ce fait, les résultats peuvent être intégrés directement dans les efforts faits en matière de prévention.

Resumen

Emisiones de radiación óptica en el procesamiento de piezas de fábrica de vidrio con sopletes de gas

En el procesamiento de piezas de fábrica de vidrio, se emplean sopletes de gas de diversos tipos. La llama de gas no solo emite radiación visible (VIS) e infrarroja (IR), sino también radiación ultravioleta. Esta radiación óptica puede suponer un peligro. Para proteger a los trabajadores de los peligros que implica la radiación óptica se emitió la Directiva europea 2006/25/CE, convertida en Alemania en derecho nacional con el reglamento de radiación óptica (OStrV), en el que se fijan los valores límite vinculantes de exposición para prácticamente todos los rangos de longitud de onda de la radiación óptica.

En el laboratorio se estudiaron de manera sistemática diversos sopletes de gas habituales en los comercios y empleados con frecuencia. En ese estudio se constató que todos los sopletes producían emisiones de radiación que suponen un peligro considerable, sobre todo en el ámbito de la radiación ultravioleta. Se calculó que todas las intensidades de radiación se reducen con el cuadrado de la distancia, pero que es necesario proteger las manos y los antebrazos así como el rostro. Curiosamente no se constató correlación alguna de la intensidad de la radiación con las potencias de soldadura indicadas por el fabricante.

Durante el procesamiento de piezas de vidrio a cargo de trabajadores expertos se constató que en función de las circunstancias de dicha actividad se reducía ligeramente la radiación en el ámbito de los rayos ultravioletas. No obstante, una vez finalizado el trabajo se volvía a alcanzar la intensidad de partida. Al calentar la pieza de fábrica se producía un aumento de la intensidad de radiación infrarroja.

Ni en el laboratorio ni en las mediciones de campo se alcanzaron ni se superaron los valores límite de exposición que podían causar daños fotoquímicos o térmicos en la retina mediante una radiación visible e infrarroja. Según los conocimientos actuales puede decirse que en esta actividad no existe peligro de exposición de modo que pudieran alcanzarse valores límite.

En general se constató que las mediciones sistemáticas de laboratorio deben considerarse como una observación para estudiar el “worst case”, de modo que los resultados se pueden emplear directamente en labores de prevención.

El riesgo, sobre todo a causa de la radiación ultravioleta, debe abordarse mediante medidas de protección adecuadas basadas en el principio (S)TOP. En caso de que no fuera posible realizar una sustitución, deberán aplicarse medidas técnicas, como lunetas protectoras en los sopletes, medidas organizativas (como una disposición adecuada de cada puesto de trabajo) y medidas de personal: gafas / visor de protección, guantes y ropa ignífuga larga.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
2	Grundlagen	13
2.1	Optische Strahlung	13
2.2	Messgrößen	13
2.2.1	Bestrahlungsstärke E.....	13
2.2.2	Bestrahlung H	13
2.2.3	Strahldichte L.....	13
3	Richtlinien, Normen und Expositionsgrenzwerte	15
3.1	EU-Richtlinie 2006/25/EG, OStrV und Technische Regeln	15
3.2	DIN EN 14255	16
4	Anwendung von Gasbrennern	17
4.1	Arbeitsverfahren und Expositionsbedingungen.....	17
4.2	Anwendung von Tischbrennern.....	17
4.3	Anwendung von Maschinenbrennern.....	17
4.4	Feuerpolieren und Nachwärmen	18
5	Labormessungen	19
5.1	Untersuchte Gasbrenner.....	19
5.2	Versuchsordnung und -durchführung.....	19
5.2.1	Versuchsaufbau im IFA-Labor	19
5.2.2	Versuchsaufbau in der Glasbläserei des Forschungszentrums Jülich.....	21
5.2.3	Verwendete Messgeräte	22
5.2.4	Messparameter	23
5.3	Auswertung.....	23
5.4	Ergebnisse	24
5.4.1	Strahlungsspektrum	24
5.4.2	Bestrahlungsstärke	25
5.4.3	Zeitabhängigkeit der Bestrahlungsstärke.....	29
5.4.4	Bezug zur Leistung des Brenners	29
5.4.5	Einfluss des Brenngases.....	30
5.4.6	Einfluss des Werkstücks	30
5.4.7	Reproduzierbarkeit.....	32
5.4.8	Gefährdung des Auges durch Blaulicht- und thermische Schäden	33
6	Ergebnisse von Betriebsmessungen	37
7	Zusammenfassung der Ergebnisse von Betriebsmessungen und Labormessungen	39
8	Empfehlungen für Schutzmaßnahmen	41
8.1	Zwei Beispiele für typische Fragen zum Arbeiten am Tischarbeitsplatz	41
8.2	Allgemeine Schutzeempfehlungen	41
9	Bisherige Veröffentlichungen	43
	Literatur	45
	Anhang A: Technische Details der untersuchten Gasbrenner	47
	Anhang B: Ermittlung der Reflexions- und Streustrahlung	49
	Anhang C: Weitere Messergebnisse	53

Danksagung

Die Autoren danken insbesondere Dr.-Ing. *Rolf Jörg Ehlers*, Leiter der Abteilung S-A des Forschungszentrums Jülich, für die freundliche und tatkräftige Unterstützung während der Feldmessungen in der Glasbläserei des Forschungszentrums.

Ein ganz besonderer Dank gilt auch dem Team der Glasbläserei des Forschungszentrums Jülich.

1 Einleitung

Zum Erhitzen von Werkstücken aus Glas werden häufig Gasbrenner eingesetzt. Dieser Einsatz bringt eine Reihe von Gefahren mit sich. Neben den Gefahren durch offene Flammen, hohe Temperaturen und dem Einsatz von Gasen können auch Gefahren durch die Emission optischer Strahlung auftreten. Von der Gasflamme und vom erhitzten Werkstück geht neben sichtbarer (VIS) und infraroter (IR) Strahlung auch ultraviolette (UV) Strahlung aus. Diese Strahlungsarten werden zusammenfassend als optische Strahlung bezeichnet.

Beschäftigte, die Gasflammen anwenden, können an den Augen und der Haut starker optischer Strahlung ausgesetzt und hierdurch gefährdet sein. Der UV-Anteil kann zur Hautrötung (Sonnenbrand) und – bei sehr intensiver Strahlung – zur Entzündung der Hornhaut und der Bindehaut führen. Vom sichtbaren Strahlungsanteil geht vor allem die Gefahr vorübergehender Blendung aus. Der IR-Anteil der Strahlung kann zu Verbrennungen der Haut und des Auges führen. Als mögliche Schäden durch langjährige Einwirkungen von UV- und/oder IR-Strahlung sind die Trübung der Augenlinse (Katarakt), die vorzeitige Hautalterung und der Hautkrebs zu nennen.

Während Strahlungsexpositionen durch IR-Strahlung bei der Anwendung von Gasbrennern schon seit Langem bekannt sind, ist die Erkenntnis, dass auch auftretende UV-Strahlungsexpositionen ein Gefahrenpotenzial darstellen, erst in den letzten Jahren stärker ins Blickfeld gerückt. Bei einer Messung von IR-Strahlungsexpositionen durch das BIA – Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (heute Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)) in den 1990er-Jahren fiel auf, dass die Beschäftigten im Dekolletébereich Rötungen aufwiesen. Dies war durch die Einwirkung von IR-Strahlung nicht zu erklären. Daher wurden auch Messungen der UV-Strahlungsexposition durchgeführt und es stellte sich heraus, dass Gasflammen erhebliche UV-Strahlungsanteile emittieren. Bei nachfolgenden Messungen der Strahlungsexposition an Arbeitsplätzen mit Gasbrennern hat das Institut daher neben der IR-Strahlung auch die UV-Strahlung gemessen.

Die Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektrotechnik (heute Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienzeugnisse – BG ETEM) hat an Arbeitsplätzen ebenfalls die Emission ultravioletter Strahlung von Gasbrennern gemessen. Auch bei diesen Untersuchungen stellte sich heraus, dass von den Gasflammen starke UV-Strahlungsanteile ausgehen, die zu einer erheblichen Überschreitung der Expositionsgrenzwerte führen können. Aufgrund der Messergebnisse des IFA und der BG ETEM erschien es sinnvoll, solche Emissionen genauer zu untersuchen. Der Fachausschuss Elektrotechnik erteilte daher dem Institut den Auftrag, neben Messungen in Betrieben auch im Labor die optischen Strahlungsemissionen von Gasbrennern verschiedener Bauart systematisch zu untersuchen. Unter anderem sollte herausgefunden werden, welche Abhängigkeiten der Strahlungsemission von der Brennerleistung, vom Abstand zum Gasbrenner und von anderen Faktoren bestehen. Ziel war es, im Idealfall die Höhe von Strahlungsemissionen in bestimmten Abständen abschätzen zu können. Damit wäre es möglich, aufwendige Expositionsmessungen bei Gefährdungsbeurteilungen zu vermeiden.

Dieser Report berichtet von den Untersuchungen, ihren Ergebnissen und gibt Empfehlungen für die sichere Anwendung von Gasbrennern zur Glasbearbeitung.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die physikalischen Grundlagen optischer Strahlung dargestellt. Zudem werden der rechtliche Rahmen sowie technische Hilfen und Informationen beschrieben, die hinsichtlich optischer Strahlung grundlegend sind.

2.1 Optische Strahlung

Optische Strahlung ist elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 1 mm. Sie gehört zur „nicht-ionisierenden Strahlung“; das bedeutet, dass Lichtteilchen dieser Energie (Photonen) üblicherweise nicht in der Lage sind, Elektronen aus der Hülle von Atomen oder Molekülen „herauszuschlagen“ (Atome oder Moleküle zu ionisieren). Optische Strahlung lässt sich in drei Bereiche gliedern, jeweils in Unterbereiche eingeteilt:

- Ultraviolette (UV-) Strahlung:

Die UV-Strahlung stellt den hochenergetischen Teil der optischen Strahlung dar und umfasst Wellenlängen von 100 bis 400 nm. Innerhalb der UV-Strahlung lässt sich eine weitere Unterteilung treffen:

- UV-C-Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 bis 280 nm,
- UV-B-Strahlung im Wellenlängenbereich von 280 bis 315 nm sowie
- UV-A-Strahlung im Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm.

- Sichtbare (VIS-) Strahlung:

Die sichtbare Strahlung, gemeinhin auch als „Licht“ bezeichnet, umfasst die Wellenlängen von 400 bis 800 nm. In der Literatur lassen sich bisweilen auch andere Wellenlängengrenzen finden – beispielsweise 380 bis 780 nm. Sichtbare Strahlung vermittelt uns einen Seheindruck, wobei „violett“ das kurzwellige Ende des Spektrums besetzt und „rot“ das langwellige Ende.

- Infrarote (IR-) Strahlung:

Die IR-Strahlung stellt den niederenergetischen Teil der optischen Strahlung dar und umfasst Wellenlängen von 800 nm bis 1 mm. Dabei wird folgende Unterteilung getroffen:

- IR-A-Strahlung im Wellenlängenbereich von 800 bis 1 400 nm,
- IR-B-Strahlung im Wellenlängenbereich von 1 400 bis 3 000 nm sowie
- IR-C-Strahlung im Wellenlängenbereich von 3 000 nm bis 1 mm.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass mit „Emission“ das Abstrahlen von Energie in Form inkohärenter optischer Strahlung

bezeichnet wird. Dementgegen bedeutet „Exposition“ die Einwirkung von inkohärenter optischer Strahlung auf die Augen oder auf die Haut.

2.2 Messgrößen

Die Messgrößen werden entsprechend den Definitionen in der Technischen Regel zur Optischen Strahlenverordnung (TROS IOS) definiert und verwendet.

2.2.1 Bestrahlungsstärke E

(1) Die Bestrahlungsstärke E (oder Leistungsdichte) ist die auf eine Fläche fallende Strahlungsleistung dP je Flächeneinheit dA. Sie ist gegeben durch folgenden Zusammenhang:

$$E = \frac{dP}{dA}$$

(2) Bei homogener Verteilung der Strahlungsleistung gilt:

$$E = \frac{P}{A}$$

Einheit: $W \cdot m^{-2}$ (Watt pro Quadratmeter).

In der Fachliteratur wird die Strahlungsleistung auch mit dem Formelzeichen Φ bzw. Φ_e bezeichnet.

2.2.2 Bestrahlung H

(1) Die Bestrahlung H (oder Energiedichte) ist das Integral der Bestrahlungsstärke E über die Zeit t. Sie ist gegeben durch folgenden Zusammenhang:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E \cdot dt$$

Einheit: $J \cdot m^{-2}$ (Joule pro Quadratmeter)

(2) Bei Expositionen an Arbeitsplätzen ist über die Expositionsdauer $\Delta t = t_2 - t_1$ zu integrieren.

2.2.3 Strahldichte L

(1) Die Strahldichte L nach § 2 Absatz 8 OStrV ist der Strahlungsfluss oder die Strahlungsleistung P je Raumwinkel Ω je Fläche $A \cos \varepsilon$. Dies gilt bei homogener Verteilung der Strahlungsleistung (Abbildung 1). Die Strahldichte L ist dann gegeben durch folgenden Zusammenhang:

$$L = \frac{P}{\Omega \cdot A \cdot \cos \varepsilon}$$

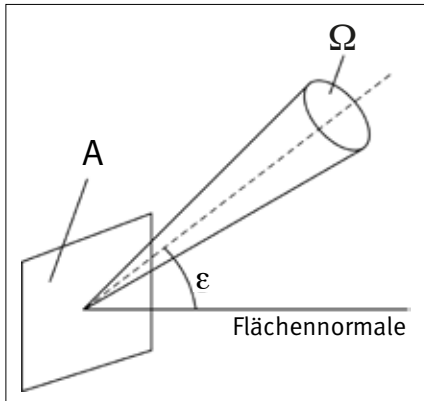
Einheit: $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ (Watt pro Quadratmeter und Steradian)

2 Grundlagen

(2) Durch $\cos \varepsilon$ wird das Kosinusetz berücksichtigt, da bei der Ermittlung der Strahldichte die projizierte Fläche einzusetzen ist, d. h. die Fläche, die bei Betrachtung der Fläche unter einem Winkel ε gegenüber der Flächennormalen mit dem Kosinus von ε abnimmt. Bei $\varepsilon = 0$ gilt:

$$L = \frac{P}{\Omega \cdot A}$$

Abbildung 1:
Strahldichte L unter einem Winkel ε



3 Richtlinien, Normen und Expositionsgrenzwerte

3.1 EU-Richtlinie 2006/25/EG, OStrV und Technische Regeln

Der Schutz vor Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung wurde lange Jahre durch die Berufsgenossenschaftliche Information 5006 (BGI 5006) geregelt. Mit dem Erlass der EU-Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung), die als 19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG [1] eingeordnet wird, hat der europäische Gesetzgeber Expositionsgrenzwerte festgelegt. Im Rahmen der nationalen Umsetzung der Richtlinie trat am 27. Juli 2010 die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV [2] in Kraft. Sie enthält keine eigene Liste der Expositionsgrenzwerte, sondern verweist in § 6 gleitend auf die Anhänge in der EU-Richtlinie, in denen die Expositionsgrenzwerte niedergeschrieben stehen. Hintergrund dieser Vorgehensweise war der Gedanke, dass Änderungen in den Expositionsgrenzwerten automatisch in nationales Recht übernommen würden.

Die Konkretisierung der OStrV durch Technische Regeln (TROS) wurde durch den Ausschuss für Betriebssicherheit (ABS) beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Rahmen von Projektskizzen festgelegt und dann durch den Unterausschuss 4 des ABS durchgeführt. Die Technischen Regeln für Inkohärente Optische Strahlung (TROS IOS) liegen nunmehr seit November 2013 durch eine Veröffentlichung im Gemeinsamen Ministerialblatt [3] vor.

Die Technischen Regeln mit ihren Teilen

- Allgemeines,
- Beurteilung der Gefährdung durch inkohärente optische Strahlung,
- Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung,
- Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch inkohärente optische Strahlung

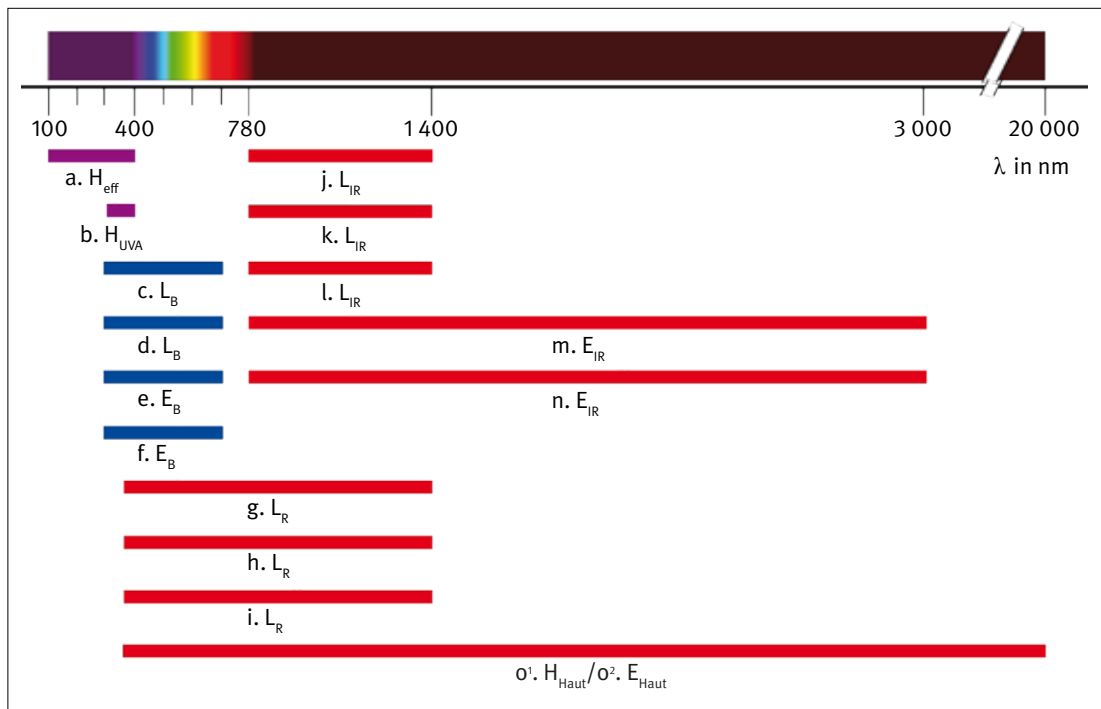
dienen dem Schutz vor direkten Gefährdungen der Augen und der Haut der Beschäftigten durch inkohärente optische Strahlung künstlicher Quellen am Arbeitsplatz und behandeln auch den Schutz vor Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen (z. B. vorübergehende Blendung, Brand- und Explosionsgefahr). Sie gelten für inkohärente optische Strahlung künstlicher Quellen im Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 1 mm.

Die TROS IOS konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs die Anforderungen der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung und der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge. Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnungen erfüllt sind.

Im Anhang des Teils 2 der TROS IOS sind die Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor inkohärenter optischer Strahlung zu finden [3]. Eine grafische Darstellung ist in Abbildung 2 zu sehen. Es muss jedoch angemerkt werden, dass diese Aufstellung nur zum besseren Verständnis der in diesem Report dargestellten Ergebnisse dient. Etwaige Änderungen, die durch den Gesetzgeber nach Veröffentlichung dieses Reports vorgenommen worden sind, können nur der jeweils gültigen Fassung der TROS IOS entnommen werden.

3 Richtlinien, Normen und Expositionsgrenzwerte

Abbildung 2:
Vereinfachte Darstellung der Expositionsgrenzwerte entsprechend den Abschnitten 5 und 6 der TROS IOS,
Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“



3.2 DIN EN 14255

Die Normenreihe DIN EN 14255 [4 bis 7] bildet die Grundlage der Messvorschriften, nach denen Messungen der Exposition gegenüber optischer Strahlung durchgeführt werden. Für das hier untersuchte Problem der Emission optischer Strahlung von Gasbrennern kommen insbesondere die Teile 1 und 2 zur

Anwendung. In der Normenreihe werden die Verfahren und Bewertungskriterien beschrieben, die zu reproduzierbaren und wissenschaftlich fundierten Ergebnissen führen. Expositionsgrenzwerte werden dort nicht aufgeführt, da diese vom Gesetzgeber festgelegt werden.

4 Anwendung von Gasbrennern

4.1 Arbeitsverfahren und Expositionsbedingungen

Die Strahlungsexposition der Beschäftigten wird stark von der Art des Arbeitsverfahrens beeinflusst. Zu den bei der Glasbearbeitung häufig eingesetzten Gasbrennern gehören beispielsweise Tisch- und Maschinenbrenner. Zusätzlich kommen Gasbrenner bei Tätigkeiten wie dem Feuerpolieren und der Nachwärmung bei der kontrollierten Abkühlung von Glasteilen zum Einsatz.

4.2 Anwendung von Tischbrennern

Bei der Arbeit an einem Tischbrenner (Abbildung 3) sitzt der Beschäftigte üblicherweise hinter dem Brenner, dessen Flamme von ihm weg gerichtet ist (Abbildung 4). Die Größe der Flamme richtet sich nach der Werkstückgröße und dem für die Bearbeitung notwendigen Wärmebedarf. Die zu bearbeitenden Glaswerkstücke, z. B. Glasrohre, hält man mit den Händen in die Gasflamme und ist dabei der optischen Strahlung der Gasflamme an den Händen, den Unterarmen und im Gesicht (Augen und Haut) ausgesetzt. Diese Körperteile befinden sich in Abständen zwischen etwa 5 und 50 cm zur Gasflamme. Es kommt häufig vor, dass Beschäftigte während ihrer gesamten Arbeitsschicht Tätigkeiten an einem Gasbrenner ausüben. Die optische Strahlungsexposition kann hierbei entsprechend hoch sein.

4.3 Anwendung von Maschinenbrennern

Die an Maschinen (z. B. an Glasdrehbänken, Abbildung 5) installierten Gasbrennersysteme bestehen häufig aus mehreren Einzelbrennern. Besonders bei sehr großen Werkstücken können gleichzeitig mehrere Gasbrenner hoher Leistung in Betrieb sein (Abbildung 6). Sie sind dabei ggf. so angeordnet, dass sie die eingespannten Werkstücke kranzförmig umschließen. Die Tätigkeiten des Maschinenführers umfassen üblicherweise die Werkstückbearbeitung sowie Einrichtungs-, Wartungs-, Justier-, Reparatur- und sonstige Nebenarbeiten. Nur ein Teil dieser Arbeiten – z. B. Werkstückbearbeitung und Brennerjustierung – erfolgt bei eingeschalteter Gasflamme. In diesem Fall führt man Tätigkeiten in Abständen von etwa 0,6 bis 1,2 m zur Flamme aus und ist der emittierten Strahlung an den Unterarmen und im Gesicht (Augen und Haut) ausgesetzt (z. B. Abbildung 6). An den Händen ist die Wärmeentwicklung oft so hoch, dass Handschuhe getragen werden müssen. Damit sind die Hände gegenüber der Strahlung abgeschirmt. Einrichtungs-, Wartungs- und sonstige Tätigkeiten erfolgen dagegen überwiegend ohne Gasbrenneranwendung. Eine Strahlungsexposition durch die Gasflammen besteht daher an diesen Arbeitsplätzen nur während eines Teils der Arbeitsschicht.

Abbildung 3:
Tischbrenner

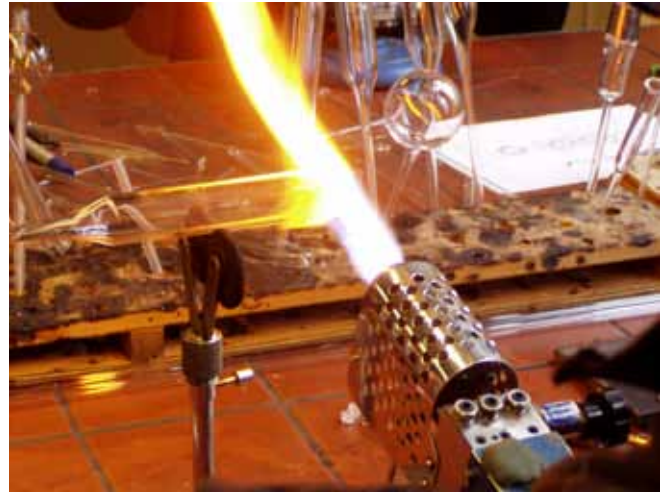


Abbildung 4:
Arbeit an einem Tischbrenner



Abbildung 5:
Maschinenbrenner



4 Anwendung von Gasbrennern

Abbildung 6:
Arbeit an einem Maschinenbrenner



Abbildung 7:
Brenner zum Feuerpolieren



4.4 Feuerpolieren und Nachwärmen

Die an Maschinen im Bereich der Hohlglasfertigung installierten Gasbrenner zum Feuerpolieren (Abbildung 7) und zum Nachwärmen (Abbildung 8) der Werkstücke bedürfen üblicherweise keiner ständigen Bedienung durch einen Beschäftigten. Die Gasflammen sind hier oft während der gesamten Arbeitsschicht eingeschaltet, wobei die Werkstücke automatisch in den Bereich der Gasflamme transportiert werden. Die Tätigkeiten bestehen hier überwiegend aus gelegentlichen Kontroll- und Einstellarbeiten an den Gasbrennern. Dementsprechend beträgt die Expositionsdauer je Arbeitsschicht oft nur wenige Minuten, sofern nicht andere Tätigkeiten, wie unerwartete Reparatur- oder Reinigungsarbeiten, einen Aufenthalt in der Nähe der Flammen erfordern. Dies kann z. B. bei der Beseitigung von Glasbruch notwendig sein, wobei dann eine hohe Exposition der Haut und der Augen in wenigen Zentimetern Abstand von der Flamme möglich ist.

Abbildung 8:
Brenner zum Nachwärmen



5 Labormessungen

5.1 Untersuchte Gasbrenner

Zur Bearbeitung der Werkstücke aus Glas an Tischarbeitsplätzen werden je nach Zielstellung Gasbrenner verschiedener Größe und Leistung benötigt. Daher war es in einer Vorauswahl notwendig, die Bandbreite der im Betrieb verwendeten Brenner abzudecken. Zusätzlich wurden Brenner ausgewählt, die auch an Maschinenbrennern verwendet werden können (Tabelle 1).

Die technischen Daten über die einzelnen Brenner sind in Anhang A „Technische Details der untersuchten Gasbrenner“ dargestellt.

Tabelle 1:
Aufstellung der untersuchten Brenner

Bezeichnung	Hersteller	Brenngas
100 ESL	Arnold GmbH*	Erdgas
105 ESL	Arnold GmbH*	Erdgas
114/2 ESL c	Arnold GmbH*	Erdgas
141/3 ES d	Arnold GmbH*	Erdgas
141/7 E B	Arnold GmbH*	Erdgas
105 PSL	Arnold GmbH*	Propan
Acetylen	GCE Rhöna**	Acetylen

* Herbert Arnold GmbH & Co. KG, Weilstr. 6, 35781 Weilburg

** GCD Rhöna, Weyhser Weg 8, 36043 Fulda

5.2 Versuchsanordnung und -durchführung

Bislang ist nicht bekannt, ob sich die Strahlungsemission der Gasbrenner bei der Bearbeitung eines Glaswerkstücks signifikant gegenüber der Strahlungsemission der reinen Flamme ändert. Dazu mussten auf der einen Seite Messreihen ohne Werkstück, auf der anderen Seite fachgerechte und reproduzierbare Messungen mit Werkstück in der Flamme durchgeführt werden.

Die Messungen an den Gasbrennern ohne Werkstück fanden in einem IFA-eigenen Labor statt, während die Messungen mit Werkstück in der Flamme fachkundig von Beschäftigten der Glasbläserei des Forschungszentrums Jülich unterstützt wurden.

5.2.1 Versuchsaufbau im IFA-Labor

Voraussetzung für einen sicheren, technisch einwandfreien Betrieb der Gasbrenner während der Versuche war ein geeigneter Versuchsplatz. Die Räumlichkeiten mussten folgende Anforderungen erfüllen:

- aktive Luftabführung (Entstehung von Stickgasen),
- Abdunkelung gegen Umgebungslicht (Sonnenlicht liefert UV-A-Anteil),
- Feuerfestigkeit (Brandschutz),
- Reflexionsfreiheit.

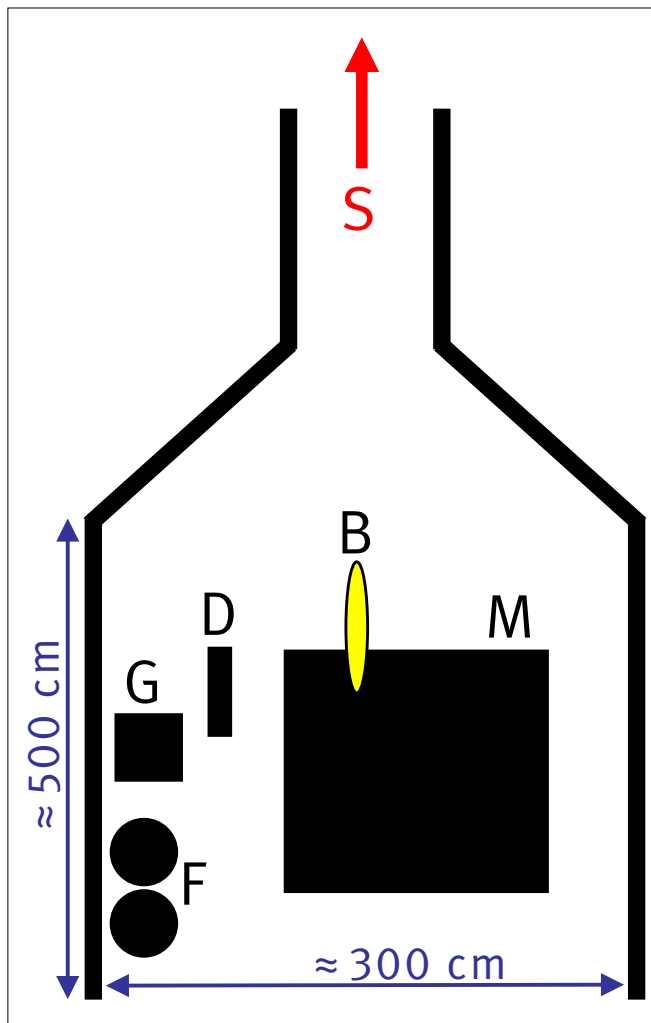
Es wurde festgestellt, dass der Staubmessversuchsraum im IFA allen Anforderungen entspricht. Vor der ersten Inbetriebnahme der Gasbrenner in diesem Raum wurde die Betriebsanweisung gemäß § 20 Gefahrstoffverordnung erstellt und in Kraft gesetzt. Zur Arbeit mit den Gasbrennern wurde zudem eine Verfahrensbeschreibung erlassen.

In Voruntersuchungen wurden die Reflexionseigenschaften des Versuchsraumes untersucht. Dadurch war eine Abschätzung darüber möglich, ob es durch Reflexionen an den metallenen Wänden oder der Decke zu einer signifikanten Verfälschung der Messergebnisse kommen könnte. Es konnte gezeigt werden, dass der Einfluss der Reflexion vernachlässigbar ist. Detaillierte Ergebnisse zu diesen Voruntersuchungen sind in Anhang B „Ermittlung der Reflexions- und Streustrahlung“ dargestellt.

Der Versuchsaufbau konnte so platziert werden, dass sich der Brenner mittig im Raum befand, die Apparatur jedoch noch von jeder Seite aus erreichbar war.

Abbildung 9 zeigt eine Skizze der Versuchskammer. Der Raum besitzt eine begehbare Grundfläche von etwa 3 m x 5 m und kann auf der kurzen Seite durch eine über die gesamte Breite reichende Tür verschlossen werden. Die andere Seite mündet trichterförmig in einen Absaugschacht, durch den eine variabel einstellbare Saugströmung erzeugt werden kann. Aus brand-schutztechnischen Gesichtspunkten kann in diesem Raum ohne Bedenken mit offener Flamme gearbeitet werden. Der Boden besteht aus Steinplatten, die Wände und die Decken sowie der Absaugschacht bestehen aus Metall. Der Messtisch wurde im Raum so platziert, dass die offene Brennerflamme mittig im Raum in Richtung des Absaugschachtes zeigte und das Messpersonal von jeder Seite am Tisch arbeiten konnte. Die Höhe der Brennerflamme über dem Boden erfüllte dieselben Bedingungen. Zusätzlich ist durch die Position der Gasflaschen der sichere Abstand zur Brennerflamme gewährleistet. Neben dem Messtisch wurde in definierter Entfernung ein elektronisches Dosimeter aufgestellt, das fortwährend die UV-ABC-Emission des verwendeten Brenners sekundengetaktet mit $S(\lambda)$ gewichtet dokumentierte. Die Detektoren des Dosimeters waren dabei auf den zentralen Messpunkt (Z in Abbildung 10) ausgerichtet. Zur Messung des Gasgehaltes der Luft wurden Gasmessgeräte im Raum platziert. Die Messgeräte wurden dem Messgerätepool des IFA entliehen.

Abbildung 9:
 Skizze des Versuchsraumes aus der Vogelperspektive;
 S = Saugströmung, G = Gasmessgeräte, F = Standort der Gasflaschen,
 D = elektronisches Dosimeter, B = Brennerflamme, M = Messtisch



Der aus feuerfesten Materialien bestehende Messtisch ist in den Abbildungen 10 und 11 schematisch dargestellt. Auf einer Platte sind zwei Vierkantrohre fest montiert, die als Träger für einen Teller und den Messgerätearm fungieren. Der zu untersuchende Gasbrenner wurde auf dem Teller platziert und in Betrieb genommen. Die Position des Brenners wurde durch Verschieben des Tellers so eingestellt, dass das Maximum der UV-A-Bestrahlungsstärke über dem zentralen Drehpunkt lag. Dazu wurde während der Einstellung des Brenners ständig die UV-A-Bestrahlungsstärke gemessen. Der über den zentralen Drehpunkt drehbare Arm dient zum Tragen eines Reiters, auf dem der jeweilige Messkopf angebracht ist. Durch das Drehen des Arms und das Verschieben des Reiters ist die Realisierung verschiedener Einstellungen leicht möglich. Die Gaszuleitung zum Brenner erfolgt von den Flaschen über eine Unterbrecher-Gassparvorrichtung (U), die bei jeder Messpause betätigt werden konnte. An der Erdgasflasche war zudem eine Flammrückschlagsicherung angebracht.

Die Flammrichtung der Gasflamme wird auf 0° festgelegt (Abbildung 12). Es ergeben sich daraus die messbaren Winkel 45° , 90° und 135° . Aus Gründen der z-achsensymmetrischen Abstrahlung der Flamme kann die Messung der Winkel 225° , 270° und 315° entfallen. Eine Messung bei 180° wäre wegen der Abschirmung durch den Brenner ohne Aussage.

Abbildung 13 zeigt den Versuchsaufbau während einer Messung. Die Messgeräte lassen sich aus einer sicheren Entfernung bedienen und man kommt zu keiner Zeit in den Bereich vor der Flamme.

Abbildung 10:
 Skizze des Messtisches aus der Vogelperspektive; V = tragende Vierkantrohre, T = Teller zum Tragen der Gasbrenner, R = Reiter für Messsonden, A = drehbarer Arm für Winklereinstellung in zunehmender ($+\alpha$) oder abnehmender ($-\alpha$) Richtung, Z = zentraler Drehpunkt, Zentrum der Flamme und Messpunkt

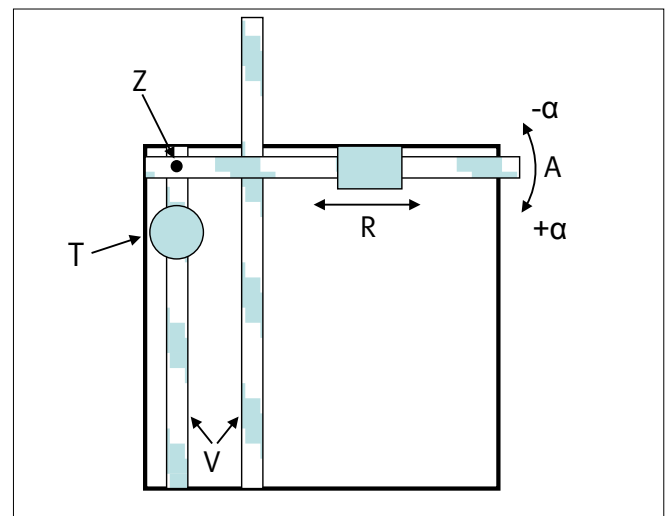


Abbildung 11:
 Skizze des Messtisches von der Seite; V = tragendes Vierkantrohr, T = Teller zum Tragen der Gasbrenner, Z = zentraler Drehpunkt, Zentrum der Flamme und Messpunkt, U = Unterbrecher-Gassparvorrichtung

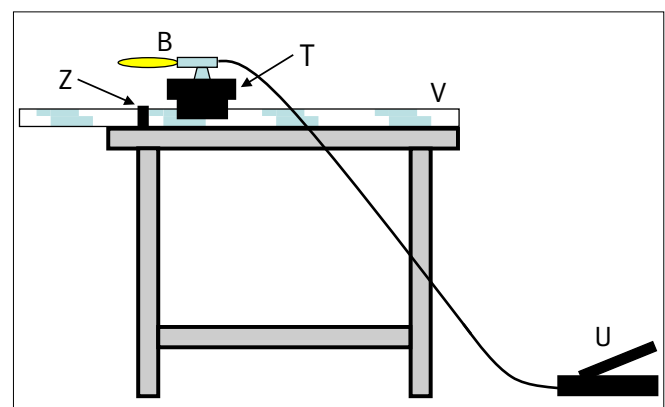


Abbildung 12:
Koordinatenfestlegung für die Messungen im Bezug auf die Flamme in Draufsicht; dieser Einteilung liegt die Definition zugrunde, dass die Richtung der Flamme 0° entspricht

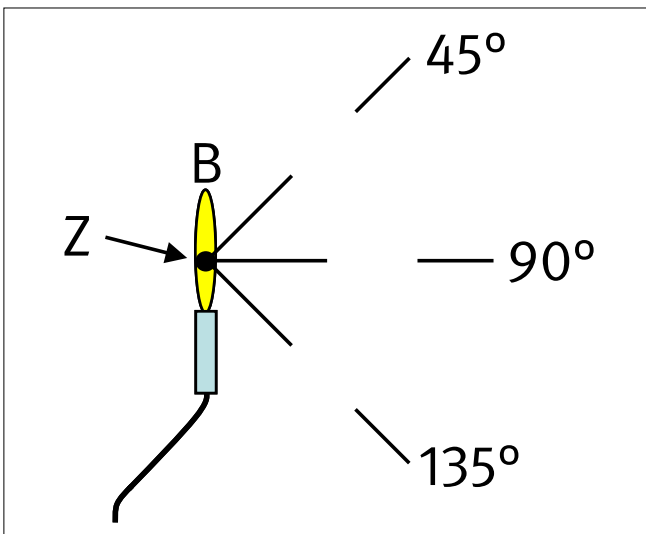
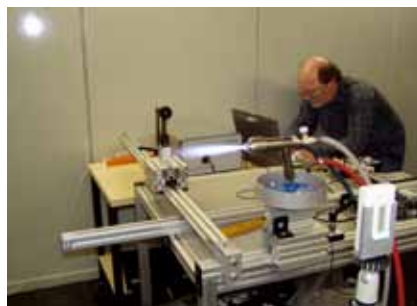


Abbildung 13:
Versuchsaufbau für Labormessungen; die Abbildung zeigt beispielhaft die Messung eines Strahlungsspektrums unter den Einstellungen Winkel 90° und Abstand $0,5\text{ m}$



5.2.2 Versuchsaufbau in der Glasbläserei des Forschungszentrums Jülich

Die Bearbeitung von Glaswerkstücken mit Gasbrennern durch unerfahrenes Personal stellt ein Sicherheitsrisiko für die Beteiligten dar. Daher wurden diese Messungen in einem Fachbetrieb durchgeführt, der nicht notwendigerweise dem produzierenden Gewerbe angehören musste. Das Forschungszentrum Jülich ist mit seinen Beschäftigten bei der BG ETEM versichert, die gleichzeitig Projektbeteiligte ist. Es wird eine Glasbläserei betrieben, die sich auf Nachfrage für die anstehenden Messungen bereit erklärt hat.

An die Arbeitsverfahren, die untersucht werden sollten, wurden folgende Anforderungen gestellt:

- Reproduzierbarkeit,
- Skalierbarkeit (kleinere/größere Werkstücke gleicher Bauart),
- Beobachtungsrichtung nicht abgedeckt während des Arbeitsvorgangs,
- ausreichende Dauer eines Arbeitsvorgangs.

Für die Messungen wurde dem Messpersonal des IFA ein erfahrener Mitarbeiter zur Seite gestellt, der auf Anforderung Arbeitstätigkeiten oder Veränderungen in den Geräteeinstellungen vornahm.

Um den oben genannten Anforderungen zu genügen, wurde die Tätigkeit „Spitzen ziehen“ gewählt. Dabei erhitzt der Beschäftigte ein Glasrohr, das danach durch Ziehen elongiert wird. Dadurch wird die Wandung dünner, das Glasrohr konisch und zu einer laborüblichen Pipettierspitze geformt. Je nach Rohrdurchmesser und/oder Wanddurchmesser dauert ein Arbeitsvorgang zwischen 15 und 30 Sekunden. Die Wahl verschiedener Rohre und die damit verbundenen unterschiedlichen Einstellungen am Gasbrenner ermöglichen es, den Einfluss der Gasflammengröße und der Werkstückgröße auf die Strahlungsemission abzuschätzen.

Bei der Arbeit an Glaswerkstücken unter Einsatz einer Gasflamme handelt es sich um einen Arbeitsgang mit zeitlicher Abhängigkeit der Exposition. Daher ist es notwendig, die Messwerte in den einzelnen Spektralbereichen E_{eff} , E_{UVA} und E_{IR} zeitgleich aufzunehmen, damit diese im Anschluss zusammen beurteilt werden können. Es musste ein Versuchsaufbau realisiert werden, der die Messköpfe für die verschiedenen Spektralbereiche tragen und so montiert werden konnte, dass freie

5 Labormessungen

Sicht auf das Arbeitsfeld ohne Behinderung des Beschäftigten möglich wurde. Dieser Versuchsaufbau ist in den Abbildungen 14 bis 16 dargestellt.

Der Strahldichtemesskopf zur Messung der Werte für die Blaulichtgefährdung („blue light hazard“, BLH) und die thermische Netzhautgefährdung („retinal thermal hazard“, RTH) wurde ebenso wie die Eingangsoptiken der Spektralradiometer an einer Position senkrecht zur Flammenrichtung aufgestellt (Abbildung 17).

Abbildung 14:
Messanordnung für die simultane Messung verschiedener Messgrößen (von links nach rechts): E_{eff} , $E_{\text{eff}}(\lambda)$, E_{UVA} , E_{IR}



Abbildung 15:
Messanbau in der Totalansicht; der Abstand zwischen der Messapparatur und der Gasflamme betrug 50 cm

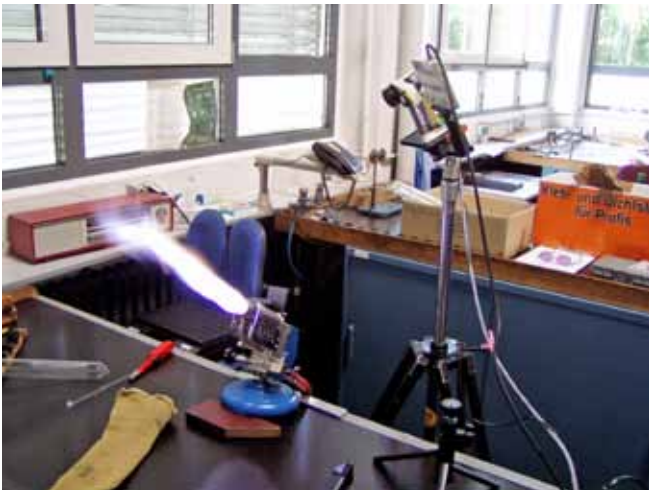


Abbildung 16:
Messaufbau während der Glasbearbeitung; Sicht auf das Werkstück wird nicht verdeckt; Position des Aufbaus spiegelt den Ort von Augen und Kopf wider



Abbildung 17:
Messaufbau zur Messung von Spektren der Gasflamme ohne Werkstück; bei der Messung unter Bearbeitung eines Werkstücks wurden die Eingangsoptiken wie in den Abbildungen 2 bis 4 gezeigt montiert



5.2.3 Verwendete Messgeräte

Zur Messung der optischen Strahlung wurden folgende Messgeräte eingesetzt:

- Strahlungsspektrum

Spektralradiometer CAS140-CT der Fa. Instrument Systems: Dieses mit einem Diodenarray ausgestattete Spektrometer hat in Verbindung mit der Optik EOP 120 einen Wellenlängen-Messbereich von 200 bis 800 nm.

Spektralradiometer CAS140-CT-IR der Fa. Instrument Systems: Dieses mit einem Diodenarray ausgestattete Spektrometer hat in Verbindung mit der Optik EOP 146 einen Wellenlängen-Messbereich von 780 bis 1 650 nm.

- Bestrahlungsstärke im IR-Bereich

Radiometer IL 1400 BL mit Detektor SEL 623 Nr. 602 mit dem Filter SCS 780 Nr. 23692 der Fa. International Light: Mit dem Detektor SEL 623 in Verbindung mit dem Filter SCS 780 misst dieses Gerät die Bestrahlungsstärke im Wellenlängenbereich von etwa 780 bis 2 740 nm. Die Ansprechempfindlichkeit ist in diesem Wellenlängenbereich nahezu konstant. Der Messbereich für die IR-Bestrahlungsstärke beträgt ca. 1 W/m^2 bis 4 kW/m^2 .

- Bestrahlungsstärke im UV-A-Bereich (unbewertet)

Optometer P9710-2 Nr. 4667M mit Detektor UV-3701-1 Nr. 1007 der Firma Gigahertz-Optik: Mit dem Detektor UV-3701-1 misst dieses Gerät die Bestrahlungsstärke im Wellenlängenbereich von etwa 315 bis 400 nm (UV-A). Die Ansprechempfindlichkeit ist in diesem Wellenlängenbereich nahezu konstant. Der Messbereich für die UV-A-Bestrahlungsstärke beträgt $0,02 \text{ mW/m}^2$ bis 390 kW/m^2 .

- Effektive Bestrahlungsstärke im UV-ABC-Bereich (bewertet)

– Radiometer X1 Nr. 2447M-0 mit Messkopf XD 9506-4 Nr. 4636/4607 (UV-A) und 4612 (UV-BC) der Fa. Gigahertz-Optik: Mit den im Messkopf XD 9506-4 integrierten zwei Detektoren misst dieses Gerät die effektive Bestrahlungsstärke mit einer spektralen Gewichtung $S(\lambda)$ nach Tabelle 1.2 der Richtlinie 2006/25/EG [1] im Wellenlängenbereich zwischen 200 und 400 nm (UV-ABC). Der Messbereich beträgt für die effektive Bestrahlungsstärke im UV-A-Bereich 50 nW/m^2 bis 1 W/m^2 und im UV-BC-Bereich $0,8 \text{ mW/m}^2$ bis 16 kW/m^2 .

– Dosimeter (Datenlogger) X2000-11 Nr. 5464 mit UV-A- und UV-B/C-Detektor der Fa. Gigahertz-Optik: Mit den im Datenlogger integrierten zwei Detektoren misst dieses Gerät die effektive Bestrahlungsstärke mit einer spektralen Wichtung $S(\lambda)$ nach Tabelle 1.2 der Richtlinie 2006/25/EG [1] im Wellenlängenbereich zwischen 200 und 400 nm (UV-A/B/C). Der Datenlogger ermöglicht die Registrierung der effektiven Bestrahlungsstärke mit einer zeitlichen Auflösung von 1 s.

– Radiometer P-9710-2 Nr. 4667M mit Strahldichtemesskopf LDM-9805 S/N 380 und dem Strahldichtesensor CD-2001, BLH S/N 1644 der Fa. Gigahertz-Optik: Mit dem Strahldichtemesskopf LDM-9805 und dem Strahldichtesensor CD-2001, BLH misst dieses Gerät die Blaulicht-Strahldichte (blue light hazard, BLH) mit einer spektralen Wichtung $B(\lambda)$ gemäß der Richtlinie 2006/25/EG [1]. Die einstellbaren Akzeptanzwinkel liegen bei 1,7, 11 und 100 mrad.

– Radiometer P-9710-2 Nr. 4667M mit Strahldichtemesskopf LDM-9805 S/N 380 und dem Strahldichtesensor CD-2002, RTH S/N 1652 der Fa. Gigahertz-Optik: Mit dem Strahldichtemesskopf LDM-9805 und dem Strahldichtesensor CD-2002, RTH misst dieses Gerät die Strahldichte für thermische Schädigung (retinal thermal hazard, RTH) mit einer spektralen Wichtung $R(\lambda)$ gemäß der Richtlinie 2006/25/EG [1]. Die wählbaren Akzeptanzwinkel liegen bei 1,7, 11 und 100 mrad.

Die genannten Messgeräte, deren Messwerte die Grundlage zur Beurteilung der Strahlungsexposition sind, werden regelmäßig rückführbar auf nationale Standards kalibriert. Zwischen den Kalibrierterminen werden die Konstanz und die Funktionsfähigkeit der Messgeräte vor und nach jedem Einsatz an einer Strahlungsquelle im Labor des IFA überprüft.

5.2.4 Messparameter

Für jeden Brenner wurde zunächst ein Strahlungsspektrum in einem Abstand von 0,5 m und einem Winkel von 90° gemessen. Danach folgte ein identisches Messprogramm. Dies umfasste die Parameter

- Winkel: 135° , 90° und 45°
- Abstand: 0,15 m, 0,5 m und 1 m

Zur Erlangung eines vollständigen Datensatzes wurden für nahezu alle vorstehend genannten Parameter die Messgrößen E_{UVA} , E_{eff} , E_{R} , $E_{\text{eff}}(t)$, L_{B} und L_{R} ermittelt. Die Messgröße $E_{\text{eff}}(t)$ bezeichnet die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufes der Bestrahlungsstärke E_{eff} mithilfe eines elektronischen Dosimeters. Zusätzlich wurden Strahldichtemessungen für jeden Brenner durchgeführt, um die Blaulichtgefährdung BLH und die thermische Gefährdung der Netzhaut RTH abschätzen zu können.

Um eine Abschätzung über die Reproduzierbarkeit der Parametereinstellungen liefern zu können, wurde die Einstellung „Winkel 90° und Abstand 0,5 m“ wiederholt eingestellt und gemessen.

5.3 Auswertung

Die Einzelmesswerte der Bestrahlungsstärken wurden tabellarisch während der Versuche festgehalten. Im Anschluss daran wurden sie in elektronischer Form gespeichert und daraufhin grafisch aufbereitet, in Abhängigkeit vom untersuchten Parameter wie Abstand oder Winkel. Mithilfe der Grafiken konnten dann Erkenntnisse abgeleitet werden.

Elektronisches Dosimeter:

Zeitlich aufgelöste Daten wie Dosimeterdaten wurden digital vom Gerät gespeichert und in tabellarischer Form (ASCII-Format) ausgegeben. Um die Daten im späteren Verlauf realen Zeiten zuordnen zu können, wurde bei jedem Start oder Stopp des Gerätes ein Zeitvermerk dokumentiert. Die Bestrahlungsstärken wurden anschließend grafisch gegen die Zeit aufgetragen und analysiert.

Spektralradiometer:

Spektrale Informationen wurden vom Gerät digital gespeichert und in tabellarischer Form (ASCII-Format) ausgegeben. Die Intensität wurde im Anschluss daran grafisch gegen die Wellenlänge dargestellt. Da die Datennahme jeweils in 1-nm-Schritten erfolgte, war eine nachträgliche Gewichtung entsprechend der Richtlinie 2006/25/EG [1] zur Ermittlung der effektiven Bestrahlungsstärke möglich.

5.4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Messergebnisse kombiniert für alle Brenner dargestellt. Detaillierte Einzelergebnisse sind in Anhang C „Weitere Messergebnisse“ zu finden.

5.4.1 Strahlungsspektrum

Die gemessenen Strahlungsspektren der Brenner sind mit Ausnahme des Acetylenbrenner-Spektrums (siehe Anhang C.7) ähnlich. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Intensität der emittierten Strahlung. Ein repräsentatives Spektrum für die Erdgas- bzw. Propangasflamme ist in Abbildung 18 dargestellt.

Das Spektrum kann in verschiedene Bereiche unterteilt werden:

- UV-Bereich von 200 bis 400 nm,
- visueller Bereich von 400 bis 800 nm
- IR-Bereich von 800 bis 1 650 nm

Im UV-B-Bereich sind prominente Emissionen um 300 nm zu erkennen. Diese werden von angeregten Zwischenzuständen bei der Verbrennung des Gases erzeugt.

Der Einfluss eines Werkstücks auf das Strahlungsspektrum ist in Abschnitt 5.4.6 dargestellt.

Die effektive Bestrahlungsstärke im UV-ABC-Bereich (E_{eff}) wird durch die Wichtung des gemessenen Spektrums mit der spektralen Wirkungsfunktion $S(\lambda)$ bestimmt. Daraus kann auch abgeleitet werden, welche spektralen Anteile des Gasflammen-Spektrums biologisch besonders wirksam sind. Am Beispiel des UV-Teils im Spektrum von Brenner „141/7 E B“ (Abbildung 19) erkennt man, dass die spektralen Anteile im UV-B-Bereich nahezu vollständig zur effektiven Bestrahlungsstärke beitragen, während die Anteile im UV-A-Bereich kaum ins Gewicht fallen. Die spektrale Wirkungsfunktion spiegelt die spektrale Empfindlichkeit von Augen und Haut im Bezug auf die Wellenlänge der auftreffenden Strahlung wider.

Abbildung 18:

Spektrale Bestrahlungsstärke der Gasflamme eines Brenners; das Spektrum kann unterteilt werden in den UV-Bereich (200 bis 400 nm), den sichtbaren Bereich (400 bis 800 nm) und den IR-Bereich (800 bis 1 650 nm)

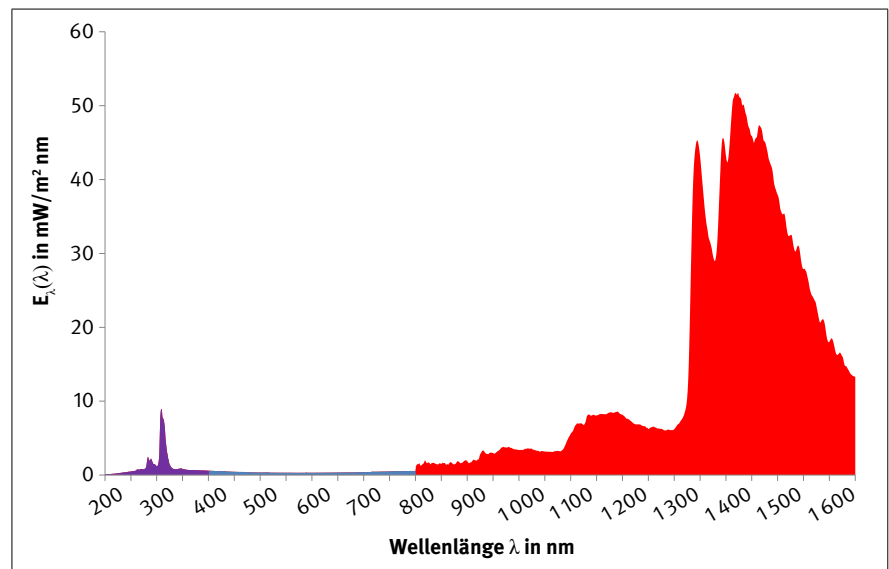
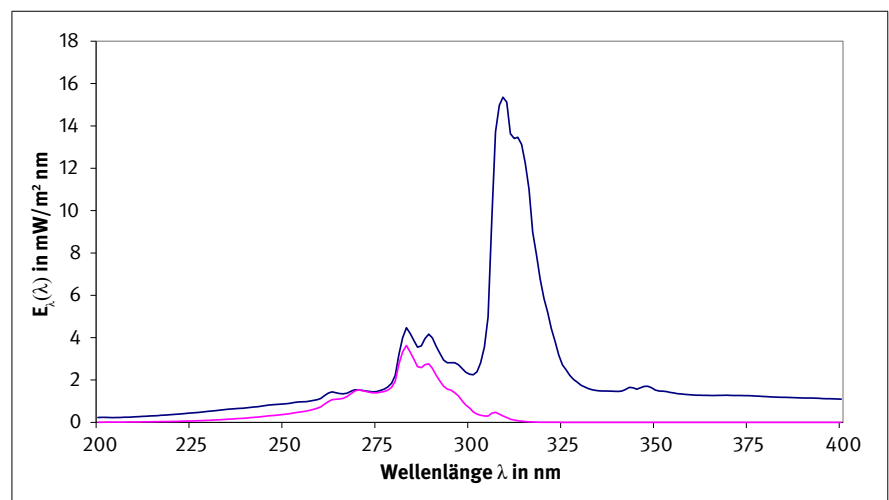


Abbildung 19:

Spektrum im UV-Bereich des Brenners „141/7 E B“; das ungewichtete Spektrum (blau) und das mit $S(\lambda)$ gewichtete Spektrum (magenta) spiegeln die spektrale Bestrahlungsstärke wider



5.4.2 Bestrahlungsstärke

UV-A, UV-ABC und IR. „k.A.“ bedeutet, dass ein Messwert nicht gewonnen werden konnte, beispielsweise aus brennergeometrischen Gründen.

Die Tabellen 2 bis 4 zeigen die gewonnenen Bestrahlungsstärken für die verschiedenen Brenner in den Spektralbereichen

Tabelle 2:
Messergebnisse für die Bestrahlungsstärke E_{UVA} für alle Brenner, Winkel und Abstände

		Bestrahlungsstärke E_{UVA} in mW/m ²					
		Winkel: 45°					
Brenner	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
Abstand in m							
0,15	k. A.	135,1	199,3	1 639	1 911	2 536	634,0
0,5	6,97	10,57	16,55	151,1	234,5	287,4	70,1
1,0	1,71	2,63	4,12	35,33	57,9	62,7	18,8
		Winkel: 90°					
Brenner	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
Abstand in m							
0,15	36,19	104,9	150,0	1 159	1 715	1 744	656,0
0,5	6,19	10,37	15,84	124,1	213,0	238,0	72,3
1,0	1,66	2,62	4,17	33,77	56,2	62,6	19,2
		Winkel: 135°					
Brenner	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
Abstand in m							
0,15	30,31	91,1	136,6	k. A.	k. A.	1 268	710,0
0,5	5,05	9,25	14,4	83,7	187,0	166,0	73,1
1,0	1,4	2,46	3,83	24,29	20,5	47,5	19,2

Tabelle 3:
Messergebnisse für die Bestrahlungsstärke E_{eff} für alle Brenner, Winkel und Abstände

		Bestrahlungsstärke E_{eff} in mW/m ²					
		Winkel: 45°					
Brenner	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
Abstand in m							
0,15	k. A.	50,8	80,3	784,4	714,2	1 070	76,1
0,5	1,9	3,5	5,6	59,3	78,3	103,0	7,8
1,0	0,38	0,9	1,4	12,0	19,3	22,6	3,4
		Winkel: 90°					
Brenner	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
Abstand in m							
0,15	13,0	34,9	57,3	492,0	582,5	697,2	59,3
0,5	1,6	3,3	5,3	44,5	72,3	85,5	7,7
1,0	0,29	1,0	1,4	11,1	18,2	21,0	3,4
		Winkel: 135°					
Brenner	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
Abstand in m							
0,15	11,0	30,4	52,3	319,6	k. A.	517,1	54,1
0,5	1,4	3,0	4,9	34,5	64,6	64,2	7,5
1,0	0,26	0,8	1,3	8,51	16,1	16,4	3,2

Tabelle 4: Messergebnisse für die Bestrahlungsstärke E_{IR} für alle Brenner, Winkel und Abstände

		Bestrahlungsstärke E_{IR} in W/m^2						
		Winkel: 45°						
Brenner	Abstand in m	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
	0,15	k. A.	218,0	177,0	668,0	1 260	818,0	71,0
	0,5	14,0	23,2	22,2	88,3	214,7	117,4	10,0
	1,0	3,6	5,4	5,2	21,9	51,4	28,1	2,0
		Winkel: 90°						
Brenner	Abstand in m	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
	0,15	57,0	131,0	107,0	507,0	1 011	534,0	48,0
	0,5	10,4	16,4	15,9	61,0	145,5	82,9	7,0
	1,0	3,2	4,6	4,4	17,8	42,0	23,3	2,0
		Winkel: 135°						
Brenner	Abstand in m	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 E B	Acetylen
	0,15	45,0	110,0	93,0	263,0	k. A.	408,0	45,0
	0,5	8,8	13,5	13,4	38,4	125,9	64,6	6,0
	1,0	2,8	4,0	4,0	12,8	38,1	20,0	2,0

a. Überprüfung des quadratischen Abstandgesetzes

Von punktförmigen, statischen Strahlungsquellen ist bekannt, dass es bei isotroper Abstrahlung zu einer quadratischen Abnahme der Bestrahlungsstärke mit dem Abstand kommt. Bei einer Gasflamme handelt es sich jedoch um eine bewegte Verbrennungsflamme mit teilweise großer Ausdehnung und gradueller Temperaturverteilung (vom Inneren zum Äußeren abnehmend), sodass ein Analogieschluss zur Punktquelle nicht zwangsläufig gegeben sein muss.

Misst man die Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke vom Abstand in kleinen Schrittweiten, dann kann ein mathematischer Zusammenhang rechnerisch ausreichend genau ermittelt

werden. Für die Bestrahlungsstärken E_{eff} , E_{UVA} und E_{IR} wurde dieser Zusammenhang exemplarisch an der Flamme des Brenners 114/2 ESL c bestimmt (Abbildungen 20 bis 22). Zu beachten ist, dass die konkreten Werte der Bestrahlungsstärke nicht auf andere Brenner übertragbar sind, sondern nur die qualitativen Verläufe.

Die Regression der Daten lässt sich für E_{eff} und E_{UVA} sehr gut mithilfe einer quadratischen Funktion beschreiben und ist daher im Abstrahlverhalten mit einer Punktquelle vergleichbar. Der Offset (+ 8 mW/m^2) für die UV-A-Bestrahlungsstärke ist vermutlich auf die durch die Gasflamme verursachte ambiente Bestrahlungsstärke im Raum zurückzuführen.

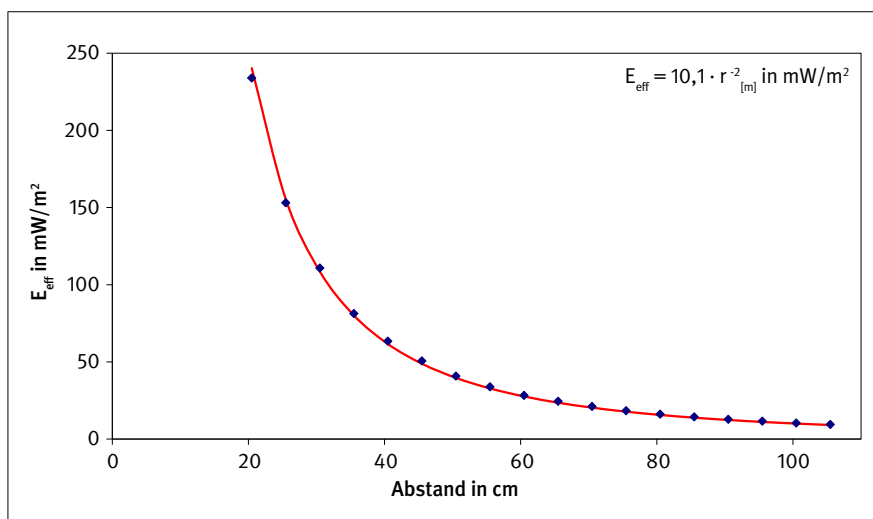


Abbildung 20: Bestimmung der Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke E_{eff} vom Abstand bei einem Messwinkel von 90°

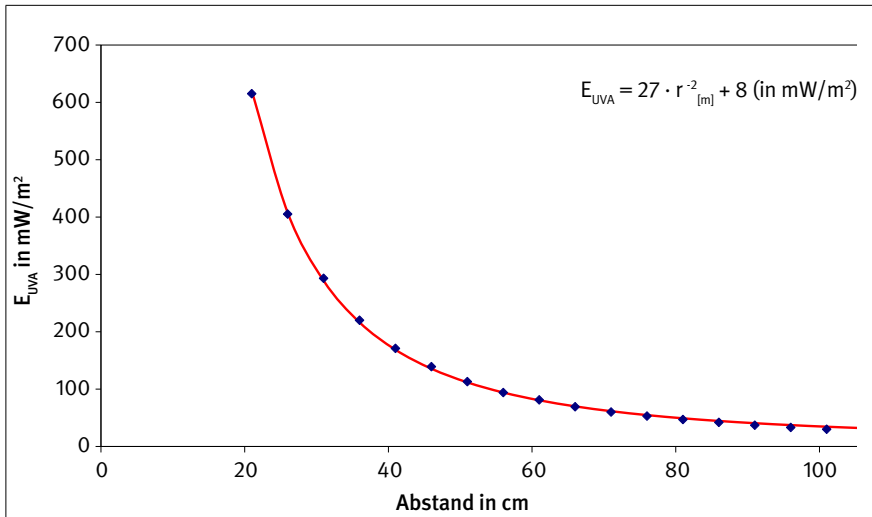


Abbildung 21:
Bestimmung der Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke E_{UVA} vom Abstand bei einem Messwinkel von 90°

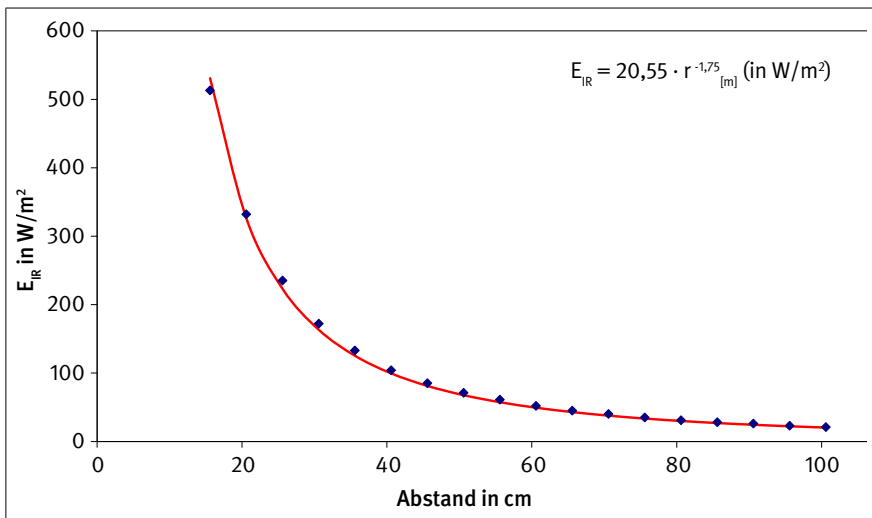


Abbildung 22:
Bestimmung der Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke E_{IR} vom Abstand bei einem Messwinkel von 90°

Für die Infrarot-Bestrahlungsstärke E_{IR} gelingt die Regression mit einem Exponenten von -1,75. Versucht man die Regression mit dem Exponenten -2, dann erhält man insbesondere bei kleinen Abständen deutliche Abweichungen zwischen Regression und Messwertekurve. Die Abweichungen können damit zusammenhängen, dass nicht nur die Infrarotstrahlung der Flamme, sondern auch der Raumumgebung detektiert wurde. Zudem kann es zu einer Nullpunktverschiebung bei dem Messgerät gekommen sein: Je näher das Messgerät an die Flamme herangeführt wird, desto schneller heizt sich dieses auf und der Nullpunkt verschiebt sich.

b. Abstand: Auswertung für verschiedene Brennertypen

Für alle Brenner wurde der Zusammenhang zwischen Abstand und Bestrahlungsstärke für die effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} , die unbewertete Bestrahlungsstärke E_{UVA} und die Bestrahlungsstärke E_{IR} im Infrarot bei Blickwinkeln von 45° , 90° und 135° untersucht und ausgewertet (siehe Tabellen 2 bis 4, Seite 25 und 26). Um den qualitativen Zusammenhang nachzuweisen, konnte auf eine Messung mit kleinen Schrittgrößen verzichtet werden.

Durch die im vorangegangenen Unterkapitel ermittelte Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke vom Abstand lassen sich aus den Messdaten für jeden Brenner und jeden betrachteten Wellenlängenbereich interpolierte Messkurven erstellen. Dies wurde für einen Winkel von 90° für alle Brenner und Wellenlängenbereiche durchgeführt (Abbildungen 23 bis 25).

Kennt man bei zukünftig zu untersuchenden Anwendungen die verwendeten Brenner, dann kann aus diesen Graphen direkt eine Abschätzung für die zu erwartende maximale Bestrahlungsstärke abgeleitet werden.

Für den Expositionsgrenzwert zum Schutz der Augen vor Schädigungen durch UV-Strahlung lässt sich aus der Grafik eine interessante Lehre ableiten: Der 8-Stunden-Expositionsgrenzwert ($H_{UVA, Grenzwert} = 10\,000 \text{ J}/\text{m}^2$) wird bei einer konstanten Bestrahlung von unter $347 \text{ mW}/\text{m}^2$ eingehalten – dies ist bei allen Brennern bei einem Abstand von mindestens 40 cm der Fall.

Abbildung 23:
Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke E_{eff} vom Abstand bei einem Messwinkel von 90° für alle untersuchten Brenner

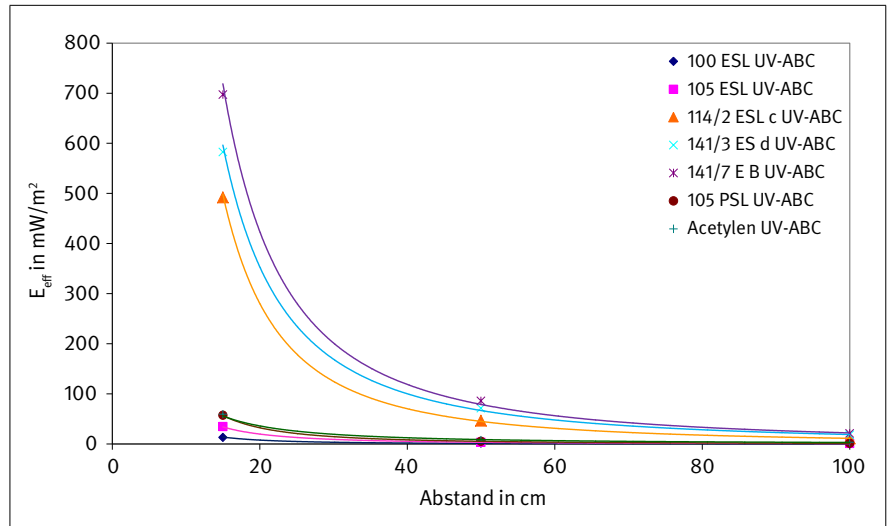


Abbildung 24:
Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke E_{UVA} vom Abstand bei einem Messwinkel von 90° für alle untersuchten Brenner

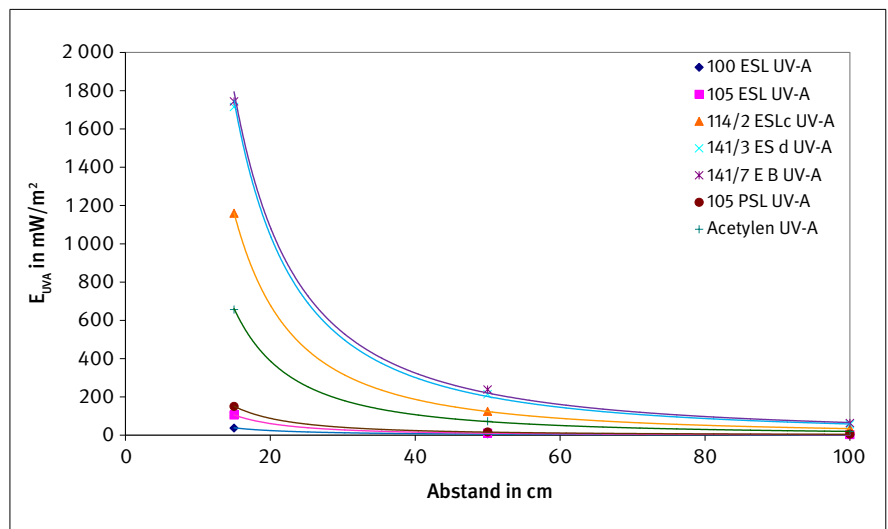
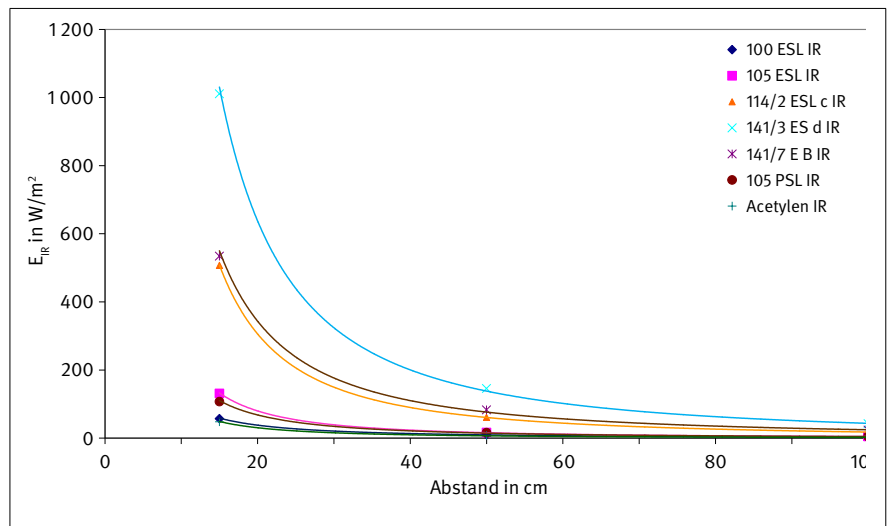


Abbildung 25:
Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke E_{IR} vom Abstand bei einem Messwinkel von 90° für alle untersuchten Brenner



c. Winkel: Auswertung für verschiedene Brennertypen

Gasflammen sind bewegte Verbrennungsflammen mit Richtungscharakter. Man könnte vermuten, dass die Strahlungsemission winkelabhängig ist. Dies ist vor allem von Interesse, weil die Position der Beschäftigten am Gasbrenner oftmals während einer Arbeitsschicht gleich bleibt. An einem Tischarbeitsplatz arbeitet die am Gasbrenner beschäftigte Person hinter dem Brenner (die Flamme ist von ihr weg gerichtet). Die Tische

in einer Glaswerkstätte sind aber bisweilen im „Schulbankschema“ angeordnet, sodass Beschäftigte im Nacken durch die Emission der Flamme am nächsten Arbeitsplatz bestrahlt werden.

Die Abhängigkeit der Bestrahlungsstärken E_{eff} , E_{UVA} und E_{IR} wurde für alle Brenner gemessen und analysiert. Dabei konnte ermittelt werden, dass es keinen nennenswerten Zusammenhang zwischen der Bestrahlungsstärke und dem Beobachtungswinkel in

der Strahlebene gibt (beispielhaft Abbildung 26). Die Strahlung wird demnach im Großen und Ganzen isotrop in den Raum abgestrahlt. Abweichungen in den Messungen, die bei einem Winkel von 135° auftraten, können mit einem Abschattungseffekt durch

teils geometrisch große Brennerköpfe erklärt werden. Sie stellen höchstwahrscheinlich keine Anisotropie in der Strahlungsemission dar.

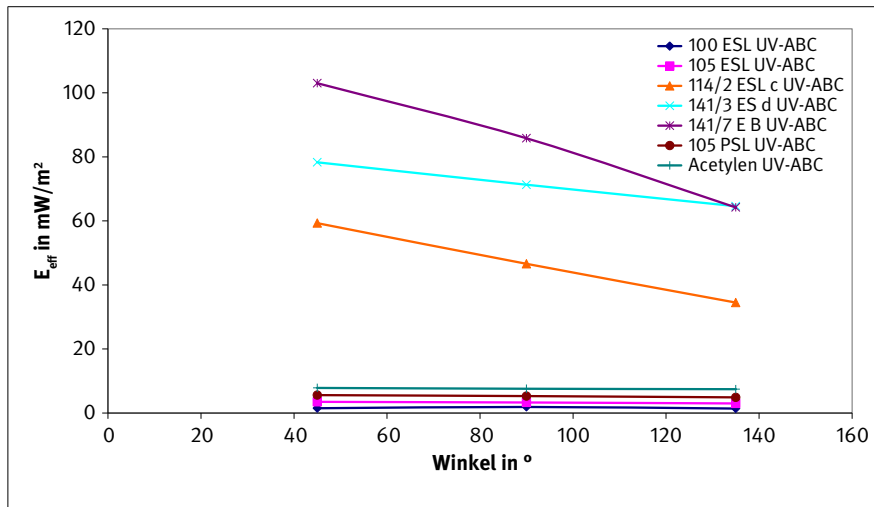


Abbildung 26: Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke E_{eff} vom Winkel bei einem Abstand von 0,5 m für alle untersuchten Brenner

5.4.3 Zeitabhängigkeit der Bestrahlungsstärke

Die Bestrahlungsstärke E_{eff} wurde mithilfe des elektronischen Dosimeters zeitaufgelöst gemessen. Damit konnte verfolgt werden, ob sich die Bestrahlungsstärke während eines Messvorgangs änderte und – wenn ja – in welchem Maße. Zusätzlich war es möglich, den Einfluss der Gassparvorrichtung auf die Brennerfunktion zu testen. Nach Betätigen der Vorrichtung wurde das Brenngas auf ein Minimum reduziert; es wurde gerade ausreichend viel Gas hindurchgelassen, um ein Auslöchen der Flamme zu verhindern. Nach nochmaligem Betätigen der Vorrichtung sollte der eigentliche Betriebszustand des Brenners wiederhergestellt werden. Das ist auch der Fall, wie die Dosimeterdaten beispielsweise beim Brenner 141/7 E B (siehe Anhang C.6, Seite 58) zeigen.

Aus den weiteren Diagrammen zu den Dosimeterdaten in Anhang C lässt sich ableiten, dass die Bestrahlungsstärke E_{eff} während der einzelnen Messreihen nahezu konstant war.

Zwecks Vergleich der Dosimeter- und Radiometer-Messwerte wurden für jeden Brenner die bei einem Winkel von 90° und einem Abstand von 0,5 m bestimmten Bestrahlungsstärken E_{eff} in Tabelle 5 gegenüber gestellt. Demnach stimmen die Werte beider Messgeräte bei den Erdgas- und Propanbrennern gut überein, während es beim Acetylenbrenner eine größere Abweichung gibt. Zudem gibt es in der Aufzeichnung der Dosimeterdaten beim Acetylenbrenner eine plötzliche Erhöhung der Bestrahlungsstärke (siehe auch Anhang C.7), die den Wert des integrativen Detektors widerspiegelt; eine Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden.

Es hat sich gezeigt, dass ein elektronisches Dosimeter ein nützliches Dokumentationsmittel für die Konstanz der Bestrahlungsstärken ist. Somit kann man auch davon ausgehen, dass die Messwerte eines Messprogrammes nicht durch kurzzeitige Flammeffekte oder veränderten Gasdurchsatz durch Erwärmung des Brenners beeinflusst werden.

Tabelle 5: Vergleich der Messwerte von Dosimeter und Radiometer

Brennertyp	E_{eff} laut Dosimeter in mW/m^2	E_{eff} laut Detektor in mW/m^2
100 ESL	1,9	1,8
105 ESL	3,1	3,3
105 PSL	5,2	5,3
114/2 ESL c	43	44
141/3 ES d	70	73
141/7 E B	80	83
Acetylen	6,2	7,5

5.4.4 Bezug zur Leistung des Brenners

Die untersuchten Brenner hat der Hersteller mit einer Leistungsangabe versehen, die sich aus dem verbrauchten Gas berechnet (ähnlich der Vorgehensweise bei der Leistungsbeurteilung einer Gasheizung). In Tabelle 6 sind die Leistungen der Brenner zusammen mit der jeweiligen Bestrahlungsstärke bei einem Abstand von 0,5 m und einem Winkel von 90° zusammengestellt.

In keinem der Wellenlängenbereiche lässt sich die erwartete Korrelation – nämlich eine Steigerung der Emission mit steigender Leistung – feststellen.

Tabelle 6:
Brennerleistung zusammen mit der Bestrahlungsstärke

Brennertyp	Leistung in kW	E_{eff} in mW/m ²	E_{UVA} in mW/m ²	E_{IR} in W/m ²
100 ESL	8	1,6	6,2	10,4
141/7 E B	26,9	78,1	238	82,9
141/3 ES d	32	72,3	213	145,5
105 PSL	33,8	5,3	15,8	15,9
114/2 ESL c	38,5	44,5	124,1	61
105 ESL	45	3,3	10,4	16,4

5.4.5 Einfluss des Brenngases

Für die Brenner standen drei Gasgemische zur Verfügung:

- Erdgas/Sauerstoff: 100 ESL, 105 ESL, 114/2 ESL c, 141/3 EB, 141/7 ES d,
- Propangas: 105 PSL,
- Actelyen/Sauerstoff: Actelyenbrenner.

Der Brenner 105 ESL/PSL konnte mit zwei Brenngasen betrieben werden, sodass sich die Auswirkung zweier Gassorten an einem Brennertyp vergleichen ließ. Für den Vergleich von Acetylen/Sauerstoff als Brenngas mit Erdgas und Propangas musste allerdings auf einen anderen Brennertyp zurückgegriffen werden.

Beide Spektren (für Erdgas in Abbildung 27, für Propangas in Abbildung 28) zeigen eine nahezu gleiche spektrale Energieverteilung. Festzustellen ist die höhere Intensität beim Propangasbrenner. Möglicherweise gibt es hier einen höheren Brenngasdurchsatz, gegebenenfalls aber auch einen höheren Anteil der brennbaren Bestandteile im Gas.

Im Vergleich dazu liefert die Acetylen-/Sauerstoffflamme ein anderes Spektrum (Abbildung 29). Zwar treten in diesem Spektrum dieselben Linien auf wie bei Erd- oder Propangas, jedoch ist die spektrale Energieverteilung anders. Der UV-Anteil tritt in diesem Fall deutlich hinter dem Anteil im sichtbaren Bereich zurück. Subjektiv hat man beim Betrachten dieser Gasflamme ein größeres Blendempfinden.

Abbildung 27:
Spektrum Tischbrenner 105 ESL

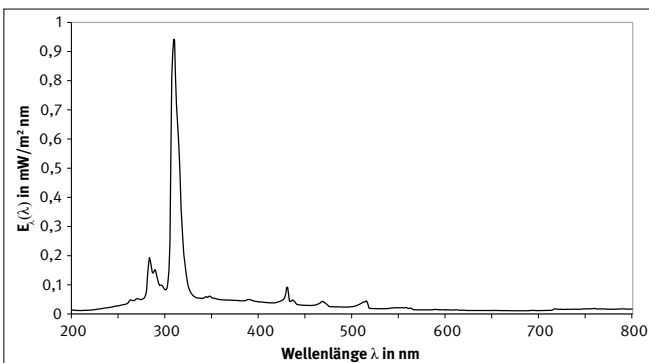


Abbildung 28:
Spektrum Tischbrenner 105 PSL

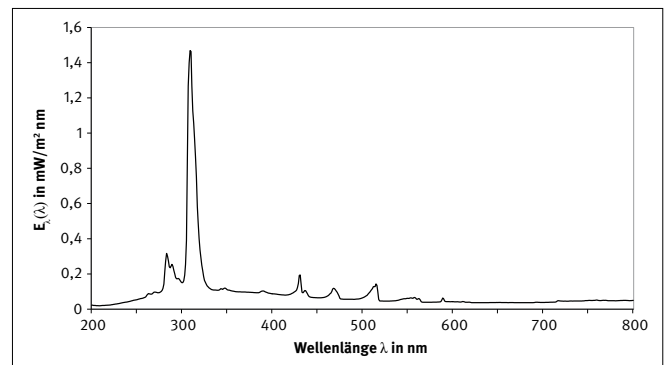
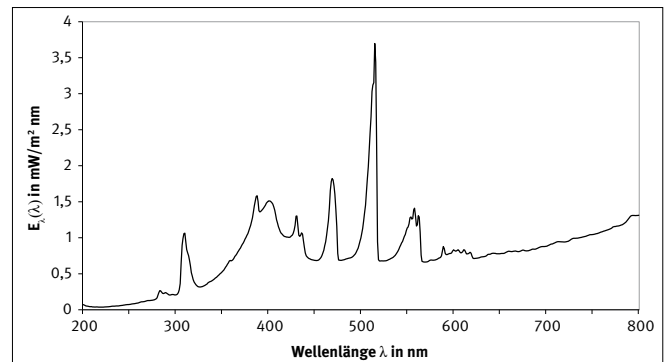


Abbildung 29:
Spektrum Acetylenbrenner



5.4.6 Einfluss des Werkstücks

Bislang ist nicht bekannt, welchen Einfluss die Erhitzung eines Glaswerkstücks mit der Gasflamme auf die Emission optischer Strahlung und damit auf die Exposition der Beschäftigten hat. Um dies zu untersuchen, wurden, wie in Abschnitt 5.2.2 beschrieben, definierte Glaswerkstücke bearbeitet. Die simultane Messung der Bestrahlungsstärken ermöglicht einen Vergleich während der Bearbeitungszeit.

Spektrale Bestrahlungsstärke

Die spektrale Verteilung der gemessenen Bestrahlungsstärke wurde mithilfe von Spektralradiometern bestimmt. Dazu wurde zunächst die Gasflamme ohne Werkstück beobachtet, gefolgt von einer Messung mit Werkstück in der Flamme. Abbildung 30 zeigt beispielhaft eine Messung bei der Bearbeitung von Werkstücken.

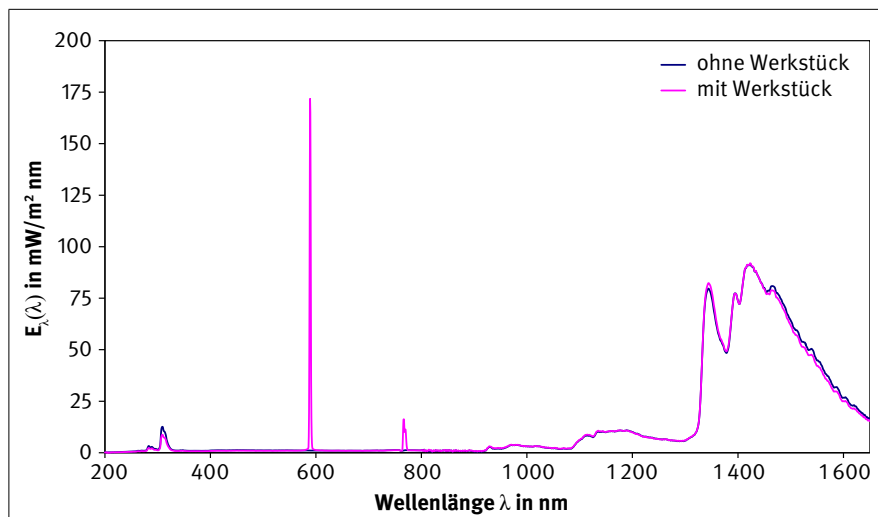


Abbildung 30:
Spektrale Bestrahlungsstärke vor (blau) und während (magenta) der Bearbeitung eines Werkstücks

Es lassen sich deutliche Unterschiede zwischen den Spektren mit und ohne Werkstück ableiten. Während es bei der Bearbeitung eines Werkstücks im UV-Bereich zu einer Abnahme der spektralen Bestrahlungsstärke kommt, steigt diese im visuellen Bereich an. Insbesondere kommt es zu einer deutlichen Emission bei etwa 595 nm („gelb scheinende Linie“), die während der Bearbeitung von den Beschäftigten als blendend empfunden wird. Obgleich es im roten Bereich bei etwa 770 nm zu einer weiteren Linie im visuellen Bereich kommt, kann eine Erhöhung der infraroten Intensitäten bis 1 650 nm nicht zweifelsfrei dokumentiert werden.

Das Absinken der UV-Bestrahlungsstärke bei der Bearbeitung kann verschiedene Ursachen haben, die jedoch an dieser Stelle nicht abschließend geklärt werden können. Mögliche Ursachen können unter anderem Absorption der UV-Strahlung durch das Glas oder eine verminderte Verbrennung durch Abkühlung der Flamme am Werkstück sein: Höchstwahrscheinlich kommt es aber auch zu Abschirmeffekten durch das Werkstück, indem Teile der „hinter“ dem Werkstück emittierten UV-Strahlung durch das Glas auf dem Weg zum Detektor reflektiert oder absorbiert werden.

Integrale Bestrahlungsstärke

Das Absinken der UV-Bestrahlungsstärke ist ein messbarer Effekt, der sich nicht nur in den Spektren zeigt. Betrachtet man die Veränderungen in den integralen Bestrahlungsstärken E_{eff} ,

E_{UVA} und E_{IR} bei der Bearbeitung von Werkstücken, dann ergeben sich die in Tabelle 7 gezeigten Werte. Bei den integralen Bestrahlungsstärken im UV-Bereich ist eine deutliche Abnahme festzustellen, während die Bestrahlungsstärke im IR-Bereich zur gleichen Zeit ansteigt. Dieser Anstieg ist mit der Erhitzung des Werkstücks und der damit verbundenen Strahlungsemission zu erklären.

Die Abnahme der effektiven Bestrahlungsstärke E_{eff} während der Bearbeitung des Glaswerkstücks konnte auch durch die Daten des elektronischen Dosimeters bestätigt werden (Abbildung 31).

Nach Beendigung der Werkstückbearbeitung (Zeitindex: 6 445 bzw. 8 050 s) kehrt die Bestrahlungsstärke auf ihr ursprüngliches Niveau zurück.

Anmerkung

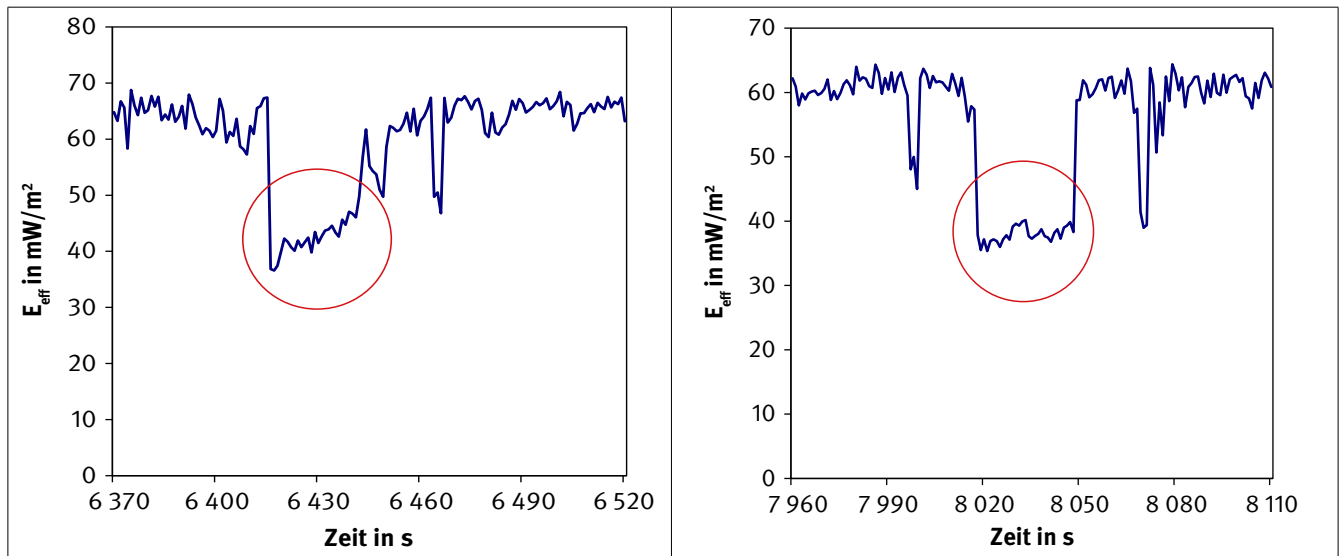
In Glas verarbeitenden Betrieben findet man bei Tischarbeitsplätzen oftmals die Anordnung hintereinander sitzender Beschäftigter („Schulbankschema“). Dabei kann eine hohe Bestrahlung des Genicks eines Beschäftigten durch die Gasflamme am nächsten Tisch entstehen. Im Rahmen der Feldversuche wurden die Bestrahlungsstärken dort gemessen, wo der Beschäftigte an der nächsten Bank üblicherweise sitzt. Es kommt hier im UV-Bereich zu hohen Bestrahlungsstärken, die bei einer andauernden Bestrahlung zu einer Überschreitung der Expositionsgrenzwerte führen können.

Tabelle 7:
Veränderung der integralen Bestrahlungsstärken bei der Bearbeitung von Werkstücken

	E_{eff} in mW/m ²	E_{UVA} in mW/m ²	E_{IR} in W/m ²	Zeit nach Bearbeitungsbeginn in s
Startwert	59	183	110	-
Werkstück 1	36,1	115,7	109	5
	38,2	119,7	135	10
Werkstück 2	35,9	107	105	5
	33,9	104	121	10
	33,2	111	155	15

Abbildung 31:

Zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke E_{eff} bei der Bearbeitung von Werkstücken aus Glas; Zeitpunkte, an denen das Werkstück in der Flamme bearbeitet werden, sind mit einem roten Kreis hervorgehoben (links: Werkstück 1, rechts: Werkstück 2)



5.4.7 Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit der Messdaten ist von großer Bedeutung, wenn daraus verlässliche Informationen abgeleitet werden sollen. Dabei muss auf einige wesentliche Punkte geachtet werden:

a. Einstellung der Parameter (Winkel, Abstand)

Durch wiederholtes Einstellen definierter Werte während eines Messprogramms kann der Fehler abgeschätzt werden, der durch ungenaue Abstände oder Winkel erzeugt wird. Um ein Signal deutlich oberhalb der Nachweisgrenze des Messgerätes zu erhalten, wurde ein Abstand von 50 cm bei einem Winkel von 90° als Referenzmesswert gewählt. Dabei ist die beobachtete Messgröße E_{eff} . Die zugrunde liegenden Messwerte des Detektors XD 9506-4 sowie dessen Position im Messprogramm ist den Tabellen in Abschnitt 5.4.2 (Seite 25 und 26) zu entnehmen. Sie wurden mit 12/1 bis 12/5 bezeichnet. Tabelle 8 fasst die ermittelten Werte zusammen.

Die Messwerte spiegeln eine gute Reproduzierbarkeit wider. Eine Ausnahme bildet der Brenner 141/7 EB, bei dem es zu den größten Abweichungen (Standardabweichung, SD) vom Mittelwert (MW) kommt. Zum Vergleich können die Werte des elektronischen Dosimeters herangezogen werden, das bei denselben Winkel- und Abstandseinstellungen betrieben wurde und ebenfalls die effektive Bestrahlungsstärke im UV-ABC-Bereich misst. Man kann ableiten, dass es tatsächlich zu einer schwankenden Emission kommt (siehe Anhang C.6). Besonders nach der letztmaligen Betätigung der Gassparvorrichtung (nach Sekunde 5 500) stellt sich eine geringere Emission ein, obwohl keine der Gasbrennereinstellungen verändert wurde.

Die Emission des Acetylenbrenners bleibt nahezu konstant, wengleich das elektronische Dosimeter eine um 1 mW/m² geringere Emission anzeigt als bei den Messungen mit dem Integraldetektor.

Tabelle 8: Messwerte zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit; MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Brennertyp	Effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} in mW/m ²						
	100 ESL	105 ESL	105 PSL	114/2 ESL c	141/3 ES d	141/7 EB	Acetylen
12/1	1,6	3,3	5,3	44,5	72,3	78,1	7,7
12/2	1,5	3,3	5,3	46,6	71,3	85,5	7,6
12/3	1,6	3,4	5,3	49,7	73,2	93,3	7,4
12/4	1,9	3,4	5,4	43,3	74,0	73,1	7,4
12/5	2,0	-	-	-	-	-	-
MW	1,72	3,35	5,33	46,0	72,7	82,5	7,53
SD	0,22	0,06	0,05	2,80	1,16	8,82	0,15

b. Einstellung der Flamme und des Emissionsmaximums

Ebenso wichtig wie die Einstellung der Messparameter sind die Einstellung der Flamme und das Finden des Emissionsmaximums. Dazu wurde ein Brenner (hier: 114/2 ESL c) exemplarisch an verschiedenen Tagen in Betrieb genommen und die Emission bei einem Abstand von 50 cm und einem Winkel von 90° gemessen (Tabelle 9).

Die Einstellung des Emissionsmaximums im Labor durch den gleichen Operator am gleichen Brenner erfolgt, über einen längeren Zeitraum betrachtet, offensichtlich reproduzierbar. Einzelne Werte können sich voneinander unterscheiden, während diese um den Mittelwert streuen.

Für die anderen Brenner wurde nur jeweils ein Kontrollwert an einem anderen Tag bestimmt (Tabelle 10).

Tabelle 9:
Werte zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit des Brennerbetriebs an verschiedenen Tagen

Tag	Messgröße (Detektor)	Messwert in mW/m ²
1	E _{eff} (XD 9506-4)	46,0
2	E _{eff} (XD 9506-4)	56,0
3	E _{eff} (XD 9506-4)	48,6
4	E _{eff} (XD 9506-4)	49,6
	Mittelwert	50,1 ± 4,2

Tabelle 10:
Kontrollwerte zur Einschätzung der Reproduzierbarkeit des Brennerbetriebs für verschiedene Brenner

Brenner	Messgröße (Detektor)	Tag 1 in mW/m ²	Tag 2 in mW/m ²
100 ESL	E _{eff} (XD 9506-4)	1,7	1,7
105 ESL	E _{eff} (XD 9506-4)	3,5	2,6
105 PSL	E _{eff} (XD 9506-4)	5,3	5,1
141/3 ES d	E _{eff} (XD 9506-4)	72,7	52,8
141/7 E B	E _{eff} (XD 9506-4)	82,5	99,4
Acetylen	E _{eff} (XD 9506-4)	7,5	5,8

Man erkennt, dass es besonders bei den Brennern mit größerer Flamme und damit größerer Emission zu einer Schwankung in der Einstellgenauigkeit kommt.

Das Einstellen der Gasflamme wird bei Brennern erschwert, die mehrere Regler für die Zuführung von Sauerstoff haben. Damit kann neben der Flammenhitze auch dezidiert auf die Flammgeometrie und -hitzeverteilung von außen nach innen eingewirkt werden.

c. Einstellung der Flamme durch Beschäftigte während der Feldmessung

Die Beschäftigten in den Betrieben stellen die Flamme des Gasbrenners zur Bearbeitung eines definierten Werkstücks alleine dem Gefühl nach ein. Die Reproduzierbarkeit der Flammeinstellung für jeweils gleiche Werkstücke ist demnach nur vom

individuellen Eindruck abhängig. Um die Schwankungen in diesen Einstellungen einschätzen zu können, wurde der Beschäftigte während der Messtage gebeten, die Flamme wiederholt für die Bearbeitung eines bestimmten Werkstücks (hier: 54er-Rohr: 2,5 mm Wandung, 54 mm Rohraußendurchmesser) neu einzustellen. Daraus ergaben sich die in Tabelle 11 dargestellten Werte.

Tabelle 11:
Werte zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Brennereinstellungen durch einen Beschäftigten während der Feldmessungen

Serie	E _{eff} in mW/m ²	E _{UVA} in mW/m ²	E _{IR} in W/m ²
1.1	74,9	213	156
1.2	88,8	240	146
1.3	98,7	270	157
2.1	19,1	77,8	75
2.2	21,6	91,2	79
2.3	24,7	99,2	80
2.4	18,5	70,0	70
2.5	19,4	75,0	78

Bei beiden Messreihen – 1 und 2 – zeigt sich, dass das gefühlsmäßige Einstellen des Brenners im Rahmen einer Genauigkeit von 25 % zu reproduzierbaren Daten führt. Typischerweise stellen die Beschäftigten die Flamme am Gasbrenner nach persönlichem Eindruck in kurzer Zeit ein, daher kann die Exposition in diesem Maße schwanken.

5.4.8 Gefährdung des Auges durch Blaulicht- und thermische Schäden

Messung der Strahldichte im Blaulichtbereich

Der Messkopf CD-2001-1 (Blue Light Hazard, BLH), SN 1644, erlaubt die direkte Messung der Strahldichte im Blaulichtbereich (L_B). Die spektrale Empfindlichkeit spiegelt den Verlauf der spektralen Wichtungsfaktoren für die Blaulichtgefährdung laut OStrV sehr gut wider.

Messung und Berechnung der Strahldichte für die thermische Gefährdung

Die Strahldichte L_R für die Beurteilung der thermischen Gefährdung muss aus Einzelmessungen mit dem Messkopf CD-2001-1 (BLH) und dem Messkopf CD-2002-1 (Retinal Thermal Hazard, RTH), SN 1652, zusammengeführt werden. Im Rahmen der Kalibrierung wurde der mathematische Zusammenhang zwischen den Messkurven so hergestellt, dass eine Kombination beider Messwerte die in der OStrV geforderte Wichtungskurve sehr gut dargestellt. L_R errechnet sich dadurch aus

$$L_R = 10 \cdot BLH + RTH$$

Der Faktor 10 ergibt sich aus dem Verhältnis der Wichtungsfaktoren $R(\lambda)$ und $B(\lambda)$.

Zum Vergleich der Messwerte mit dem Expositionsgrenzwert muss zunächst der Beobachtungswinkel ermittelt werden.

5 Labormessungen

Idealerweise handelt es sich bei der beobachteten Fläche um eine Kreisfläche, andernfalls wird aus der Breite und der Länge der Flamme der Mittelwert gebildet, der dann als fiktiver Radius dieser Kreisfläche verwendet wird. Dieser Wert wird dann durch den Abstand zwischen Flamme und Detektor (hier immer 50 cm) dividiert, woraus sich der Beobachtungswinkel α in rad ergibt.

Laut OStrV gelten für L_B , die Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B und L_R die in Tabelle 12 dargestellten Expositionsgrenzwerte.

Aus den Messwerten und den Expositionsgrenzwerten kann nun bestimmt werden, ob es zu Grenzwertüberschreitungen kommen kann. Für die Berechnung der Expositionsgrenzwerte wird angenommen, dass die Zeit t , die man in die Flamme blickt, > 10 Sekunden ist, jedoch $< 10\,000$ Sekunden. Im Zusammenhang mit den bestimmten Beobachtungswinkeln α , die alle ≥ 11 mrad sind (siehe Tabelle 13), treffen demnach nur die grau hinterlegten Expositionsgrenzwerte aus Tabelle 12 zu.

Tabelle 12:

Expositionsgrenzwerte für L_B , E_B und L_R nach OStrV [2]; grau hinterlegt: in dieser Untersuchung anzuwendende Expositionsgrenzwerte

Expositionsgrenzwert	Einheit	Anmerkung
$L_B = \frac{10^6}{t}$ $t \leq 10\,000$ s	L_B : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [Sekunden]	bei $\alpha \geq 11$ mrad
$L_B = 100$ $t > 10\,000$ s	L_B : [W m ⁻² sr ⁻¹]	
$E_B = \frac{100}{t}$ $t \leq 10\,000$ s	E_B : [W m ⁻²] t: [Sekunden]	bei $\alpha < 11$ mrad
$E_B = 0,01$ $t > 10\,000$ s	E_B : [W m ⁻²]	
$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ $t > 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_\alpha = 1,7$ bei $\alpha \leq 1,7$ mrad
$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}}$ $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [Sekunden]	$C_\alpha = \alpha$ bei $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad
$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ $t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100$ mrad

Tabelle 13:

Ergebnisse für die Strahldichten L_B und L_R , die sich aus den gemessenen Werten von BLH und RTH berechnen lassen

Brenner	Messgesichtsfeld γ in mrad	BLH in W/m ² · sr	RTH in W/m ² · sr	L_B in W/m ² · sr	L_R in W/m ² · sr
100 ESL	Flammgeometrie: 12 cm Länge, 1 cm Breite; daraus berechneter Beobachtungswinkel: $\alpha = 130$ mrad				
	1,7	0,12	0,85	0,12	2,05
	11	0,11	0,85	0,11	1,95
	100	0,05	0,28	0,05	0,78
105 ESL	Flammgeometrie: 20 cm Länge, 1 cm Breite; daraus berechneter Beobachtungswinkel: $\alpha = 210$ mrad				
	1,7	1,0	3,8	1,0	13,8
	11	0,84	3,5	0,84	12,9
	100	0,18	0,63	0,18	2,43
105 PSL	Flammgeometrie: 10 cm Länge, 1 cm Breite; daraus berechneter Beobachtungswinkel: $\alpha = 110$ mrad				
	1,7	4,8	12,5	4,8	60,5
	11	3,7	11,5	3,7	48,5
	100	0,4	1,6	0,4	5,6
114/2 ESL c	Flammgeometrie: 30 cm Länge, 4 cm Breite; daraus berechneter Beobachtungswinkel: $\alpha = 340$ mrad				
	1,7	1,67	5,2	1,67	21,9
	11	1,51	5,2	1,51	20,3
	100	1,13	3,4	1,13	14,7
141/3 ES d	Flammgeometrie: 25 cm Länge, 5 cm Breite, daraus berechneter Beobachtungswinkel: $\alpha = 300$ mrad				
	1,7	1,5	5,2	1,5	20,2
	11	1,3	5,2	1,3	18,2
	100	1,2	4,0	1,2	16,0

Tabelle 13: Fortsetzung

Brenner	Messgesichtsfeld γ in mrad	BLH in $W/m^2 \cdot sr$	RTH in $W/m^2 \cdot sr$	LB in $W/m^2 \cdot sr$	LR in $W/m^2 \cdot sr$
141/7 EB	Flammengeometrie: 25 cm Länge, 5 cm Breite; daraus berechneter Beobachtungswinkel: $\alpha = 300$ mrad				
	1,7	3,1	8,3	3,1	39,3
	11	2,8	8,2	2,8	36,2
	100	2,4	6,2	2,4	30,2
Acetylen	Flammengeometrie: 6 cm Länge, 1 cm Breite; daraus berechneter Beobachtungswinkel: $\alpha = 70$ mrad				
	1,7	35,2	262	35,2	614
	11	27,3	232	27,3	505
	100	6,9	43	6,9	112

Auswertung der Messungen im Labor

Im Einzelnen bedeutet das für die berechneten Werte für L_B und L_R aus den Labormessungen:

Für L_B ergibt sich damit bei einer maximalen Zeit t von 10 000 s der Expositionsgrenzwert zu

$$L_{B(GW)} = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

Der Expositionsgrenzwert für L_B wird bei keinem der Gasbrenner überschritten. Es ist also nicht mit einer Gefährdung der Augen durch Blaulicht („blue light hazard“) zu rechnen.

Für L_R ergibt sich der Expositionsgrenzwert nach der Größe des Beobachtungswinkels. Dieser ist mit Ausnahme beim Acetylenbrenner > 100 mrad. Daraus ergibt sich

$$L_{R(GW)} = 280 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

Für den Acetylenbrenner ergibt sich folgender Expositionsgrenzwert:

$$L_{R(GW)} = 400 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

Die Expositionsgrenzwerte werden demnach in keinem Fall überschritten; mit einer thermischen Gefährdung („retinal thermal hazard“) der Augen ist nicht zu rechnen.

Auswertung der Feldmessungen in der Glasbläserei des Forschungszentrums Jülich

Im Feldversuch wurde ermittelt, inwiefern sich L_B und L_R bei der Bearbeitung eines Glaswerkstücks verändern. Dazu wurde zunächst die Flamme des Gasbrenners ohne Werkstück untersucht, um Vergleichswerte zu erhalten. Dabei stellte sich heraus, dass die Obergrenze der Gefährdung gut durch den Wert mit der Einstellung $\alpha = 1,7$ mrad wiedergegeben wurde. Daher wurde bei der Messung während der Werkstückbearbeitung ausschließlich der Wert bei 1,7 mrad bestimmt. Im Einzelnen ergaben sich die in Tabelle 14 dargestellten Messwerte beispielgebend für den Brenner 114/2 ESL c. Die Flammengeometrie entspricht derjenigen beim Betrieb des baugleichen Brenners im IFA (Länge: 30 cm, Breite: 4 cm). Daraus ergibt sich ein Beobachtungswinkel α von 340 mrad.

Die Messung der Blaulichtgefährdung ist aufgrund der unruhigen Flamme schwierig. Daher wurden zwei Maximalwerte bestimmt, die nach einer Bearbeitungszeit von fünf bzw. 20 Sekunden auftraten. Die Strahldichte L_R wird wie zuvor erläutert berechnet.

Ohne Werkstück liegen die Messwerte für BLH im Vergleich zu den RTH-Werten im vorliegenden Fall maximal bei 25 %. In Tabelle 14 erkennt man auch, dass die Werte für BLH unter Einsatz eines Werkstücks etwa 1 % des RTH-Wertes entsprechen. Für die Zeitintervalle, in denen kein BLH-Wert ermittelt werden konnte, wurde daher $0,01 \cdot \text{RTH}$ als Schätzwert angenommen.

Aus den ermittelten Werten geht hervor, dass die Expositionsgrenzwerte für L_B ($100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$) und L_R ($280 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$) nicht erreicht werden und daher nicht mit einer entsprechenden Gefährdung zu rechnen ist.

5 Labormessungen

Tabelle 14:

Messwerte für BLH und RTH mit und ohne Bearbeitung eines Werkstücks; hieraus wurde L_B und L_R berechnet

Werkstück	Zeit in s	Winkel α in mrad	BLH in $W/m^2/sr$	RTH in $W/m^2/sr$	L_B in $W/m^2/sr$	L_R in $W/m^2/sr$
-	-	1,7	1,8	7	1,8	25
-	-	11	1,6	6,6	1,6	22,6
-	-	100	1,4	5,1	1,4	19,1
54-er-Rohr: Wand 2,5 mm, Außendurchmesser 54 mm	5	1,7	0,26	25	0,26	27,6
	10	1,7	0,01 · RTH	54	0,54	59,4
	15	1,7	0,01 · RTH	65	0,65	71,5
	20	1,7	0,76	75	0,76	82,6
54-er-Rohr: Wand 2,5 mm, Außendurchmesser 54 mm	5	1,7	0,26	7,6	0,26	10,2
	10	1,7	0,01 · RTH	24	0,24	26,4
	15	1,7	0,01 · RTH	53	0,53	58,3
	20	1,7	0,76	73	0,76	80,6
	25	1,7	0,01 · RTH	130	1,3	143

6 Ergebnisse von Betriebsmessungen

An Arbeitsplätzen in Glas verarbeitenden Betrieben wurden Tischbrenner, Handbrenner, Maschinenbrenner und Brenner zum Feuerpolieren bzw. Erwärmen untersucht.

Die folgenden Abbildungen geben an, welche Messwerte bei den Betriebsmessungen des IFA ermittelt wurden und in welcher Anzahl diese aufgetreten sind. Dabei wird zwischen den verschiedenen wirksamen Spektralbereichen (UV-ABC – $E_{\text{eff}}/H_{\text{eff}}$ und UV-A – $E_{\text{UVA}}/H_{\text{UVA}}$) unterschieden, da die Zielorgane wie zuvor beschrieben unterschiedlich sind.

E_{eff} bzw. H_{eff} – Gefährdung von Augen und Haut

Abbildung 32 zeigt die Häufigkeitsverteilung der effektiven Bestrahlungsstärke E_{eff} . Ein großer Teil der Messwerte liegt über 1 mW/m^2 . Bei Expositionszeiten bis zu acht Stunden am Tag ist in diesen Fällen eine Überschreitung des Expositionsgrenzwertes nicht auszuschließen. Ein nicht geringer Anteil der Messwerte liegt sogar über 10 mW/m^2 . Eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte ist hier bereits bei Expositionen von weniger als 50 Minuten möglich.

Zusätzlich zur Bestrahlungsstärke wurde auch die UV-Bestrahlung als Produkt aus der Bestrahlungsstärke und der Expositionsdauer ermittelt. Dabei wurden für die Expositionsdauern die Zeiten eingesetzt, in denen die Beschäftigten an den verschiedenen Arbeitsplätzen tatsächlich der UV-Strahlung ausgesetzt waren. Im Ergebnis war an acht von 16 untersuchten Arbeitsplätzen der Expositionsgrenzwert der effektiven Bestrahlung H_{eff} von 30 J/m^2 überschritten.

E_{UVA} bzw. H_{UVA} – Gefährdung der Augen

Abbildung 33 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Messwerte der UV-A-Bestrahlungsstärke E_{UVA} . Man sieht, dass E_{UVA} in allen Fällen unter dem Wert von 350 mW/m^2 liegt. Das bedeutet, dass auch bei einer Dauerexposition während einer achtstündigen Arbeitsschicht der UV-A-Expositionsgrenzwert an keinem der untersuchten Arbeitsplätze überschritten wurde. Dies wurde durch die Ermittlung der tatsächlichen Expositionsdauern und die Berechnung der UV-A-Bestrahlungen bestätigt.

Abbildung 34 stellt die gemessene Abhängigkeit der effektiven Bestrahlungsstärke E_{eff} von der Entfernung zum Gasbrenner dar. Die Werte sind nach Expositionen des Kopfes und der Hände/Arme aufgeschlüsselt.

Aus den Ergebnissen der Messungen können folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

- An den untersuchten Arbeitsplätzen sind vor allem der UV-C- und UV-B-Anteil der Strahlungsexposition eminent. Der UV-A-Anteil ist weniger kritisch.
- Je geringer der Abstand zur Gasflamme ist, desto höher ist die mögliche UV-Strahlungsexposition. Daher sind besonders die Hände und Arme einer erhöhten Exposition ausgesetzt, da sie sich bei Tätigkeiten an Gasflammen oft in einem geringen Abstand zur Flamme befinden.
- An Arbeitsplätzen, an denen die effektive Bestrahlungsstärke unter 1 mW/m^2 liegt, wird der Expositionsgrenzwert erst nach mehr als acht Stunden erreicht. Eine Dauerexposition während einer achtstündigen Arbeitsschicht führt in diesen Fällen nicht zu einer Überschreitung des Expositionsgrenzwertes. Diese Bedingung liegt an den untersuchten Arbeitsplätzen nur bei der Anwendung sehr kleiner Gasflammen oder bei großen Abständen zur Gasflamme vor.
- Überwiegend liegen die Messwerte der effektiven Bestrahlungsstärke über 1 mW/m^2 und vielfach auch über 10 mW/m^2 . Der Expositionsgrenzwert wird dann bereits nach einer Expositionsdauer von weniger als acht Stunden erreicht, beispielsweise bei einer effektiven Bestrahlungsstärke von 8 mW/m^2 schon nach einer Stunde. Ist die tatsächliche Expositionsdauer während der Arbeit an einem Gasbrenner länger, dann muss mit einer Überschreitung des Expositionsgrenzwertes gerechnet werden.
- Die höchste effektive Bestrahlungsstärke wurde mit 58 mW/m^2 an den Unterarmen eines Beschäftigten gemessen, der zur Störungsbeseitigung kurzzeitig in der Nähe eines Gasbrenners tätig wurde. Die höchste UV-Bestrahlung ergab sich bei Tätigkeiten an einem Tischbrenner. Hier wurde eine effektive Bestrahlungsstärke von 40 mW/m^2 an den Händen und 14 mW/m^2 am Kopf gemessen. Der Expositionsgrenzwert wurde an den Händen bereits nach 12 min überschritten.
- An acht von 16 untersuchten Arbeitsplätzen waren die ermittelten UV-Expositionen so hoch, dass der Expositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung von 30 J/m^2 überschritten wurde.

Das zeigt, dass bei Arbeiten mit Gasbrennern hohe UV-Expositionen auftreten können und in diesen Fällen Maßnahmen zur Verminderung der Expositionen und zum Schutz der Beschäftigten notwendig sind.

Abbildung 32:
Häufigkeitsverteilung der effektiven
Bestrahlungsstärke E_{eff}

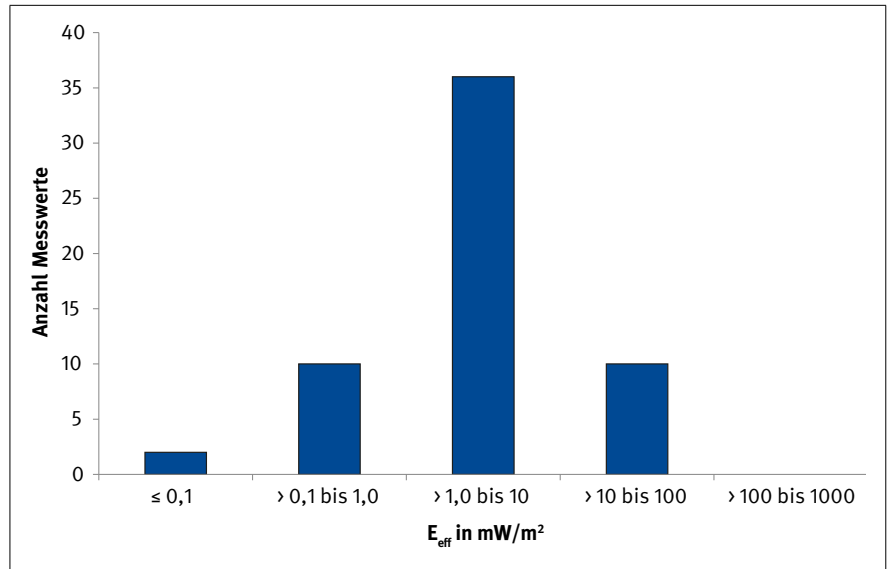


Abbildung 33:
Häufigkeitsverteilung der UV-A-Bestrahlungs-
stärke

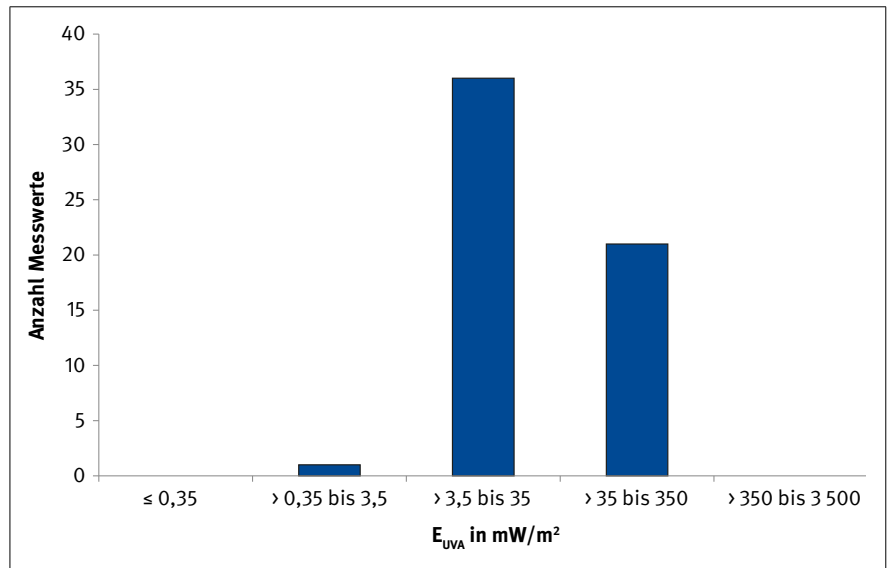
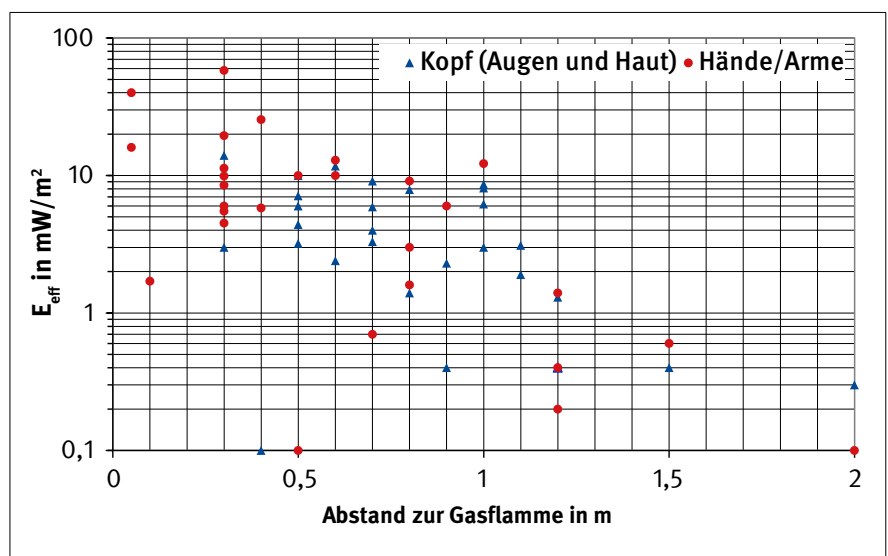


Abbildung 34:
Abhängigkeit der effektiven Bestrahlungs-
stärke E_{eff} vom Abstand zur Gasflamme; jeder
Datenpunkt repräsentiert eine Messung in
einem Betrieb, aufgliedert nach Kopf (blaue
Dreiecke) und Hände/Arme (rote Punkte)



7 Zusammenfassung der Ergebnisse von Betriebsmessungen und Labormessungen

Die Messungen im Laborumfeld an Gasbrennern unterschiedlicher Größe und Leistung liefern ein umfassendes Bild über die Strahlungsemission von Gasflammen und die dabei auftretenden Gefährdungen durch optische Strahlung. Spektralradiometrische Untersuchungen von Gasflammen zeigen, dass neben der bekannten Strahlungsemission im sichtbaren Bereich und der infraroten Wärmestrahlung deutliche Anteile von UV-Strahlung vorhanden sind. Diese Strahlungsanteile sind nicht durch das Planck'sche Strahlungsgesetz, bei dem ein Strahler als Temperaturstrahler beschrieben wird, erklärbar. Bei einer Gasflamme handelt es sich vielmehr um einen Verbrennungsprozess, bei dem das Gas über angeregte Zwischenzustände Strahlung im UV-Bereich (vornehmlich UV-B) emittiert.

Die systematische Untersuchung verschiedener Parameter liefert einige Erkenntnisse über die Abhängigkeiten der Strahlungsintensitäten von verschiedenen Parametern:

- Die Bestrahlungsstärken sind quadratisch abhängig vom Abstand.
- Es gibt keine nennenswerte Winkelabhängigkeit der Bestrahlungsstärke.
- Die Bestrahlungsstärke ist bei unveränderter Brennerflamme zeitlich konstant.
- Es gibt keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen der im Herstellerkatalog genannten Brennerleistung und der Bestrahlungsstärke.
- Das Brenngas hat einen Einfluss auf die spektrale Energieverteilung

Daraus lässt sich für die Untersuchung der Brenner im Labormaßstab eine Erkenntnis ableiten: Um die maximale Gefährdung eines Beschäftigten quantifizieren zu können, ist es korrekt, die Brenner im Strahlungsmaximum zu betreiben. Dies wurde durch die Einstellung der größten Flamme erreicht. Zudem wurde beim Aufbau darauf geachtet, dass sich das Emissionsmaximum direkt über dem zentralen Messpunkt befand.

Der zusätzliche Erkenntnisgewinn durch Messungen unter reproduzierbaren, aber realen Betriebsbedingungen im Fachbetrieb besteht unter anderem darin, dass es zu einer zeitlich abhängigen Erhöhung der Bestrahlungsstärke E_{IR} kommt. Wird das Werkstück erhitzt, dann emittiert es Strahlung gemäß dem Planck'schen Strahlungsgesetz in Abhängigkeit von seiner Temperatur. Diese wird ihren höchsten Anteil im Infraroten haben und damit zur Erhöhung der Gesamtbestrahlungsstärke in diesem Bereich beitragen. Weiterhin zeigen die Messungen während der Bearbeitung eines Werkstücks, dass die Bestrahlungsstärken E_{eff} und E_{UVA} im Bereich des Gesichtes und der Augen des Beschäftigten scheinbar sinken. Dies ist damit zu erklären, dass es zu Abschattungseffekten (Absorption, Streuung u. a.) durch das bearbeitete Werkstück kommt. Insgesamt zeigen die Messungen unter standardisierten Bedingungen im Labor und die Messungen unter Arbeitsbedingungen im Betrieb übereinstimmende Ergebnisse.

Es hat sich gezeigt, dass es durch die hohen UV-Bestrahlungsstärken zu Gefährdungen von Haut und Augen kommen kann. Oftmals können Expositionsgrenzwerte schon nach kurzer Zeit überschritten werden. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Strahlungsemission im UV-Bereich bei Messungen der Flamme ohne Werkstück einen Maximalwert darstellen. Für die Prävention bedeutet dies, dass die systematisch ermittelten (Labor-)Werte der Bestrahlungsstärken zur Beurteilung von Arbeitsplätzen herangezogen werden können. Ebenso können Expositionssituationen im Berufskrankheitenverfahren anhand dieser Werte retrospektiv beurteilt werden.

Abgesehen von den sekundären Gefährdungen durch Blendung besteht keine Gesundheitsgefahr durch die sichtbaren Strahlungsanteile der Gasflamme. Blaulichtgefährdung und ein thermischer Netzhautschaden sind sehr unwahrscheinlich und beim gesunden Auge nahezu ausgeschlossen.

Für E_{IR} kann nur eine Abschätzung durch die in den Laborversuchen ermittelten Werte durchgeführt werden. Durch die Erhitzung der Werkstücke kommt es zu einer Erhöhung von E_{IR} , die sich dann aus einem Anteil durch das erhitzte Werkstück und einem Anteil von der Gasflamme zusammensetzen.

8 Empfehlungen für Schutzmaßnahmen

Während der Glasbearbeitung mit Gasbrennern können Bestrahlungsstärken im UV- und IR-Bereich auftreten, welche die in der OStrV festgelegten Expositionsgrenzwerte überschreiten. Im sichtbaren Bereich ist hingegen nur mit einer Blendung zu rechnen, die indirekte Gefährdungen hervorrufen kann. Entsprechend der Gefährdung müssen Schutzmaßnahmen getroffen werden, die dem Prinzip T (technisch) – O (organisatorisch) – P (persönlich) angepasst sein sollten. Dabei müssen aber auch Eigenschaften des Arbeitsablaufes berücksichtigt werden, sodass der Einsatz von Schutzmaßnahmen nicht auf der anderen Seite zu einer anderweitigen Gefährdung (z. B. Brandgefahr von Schutzkleidung) führt. Das Wohlbefinden der Beschäftigten während des Arbeitsprozesses darf ebenfalls nicht eingeschränkt werden, auch wenn kurzfristige Schädigungen unwahrscheinlich, langfristige Schädigungen dafür aber nicht ausgeschlossen sind.

8.1 Zwei Beispiele für typische Fragen zum Arbeiten am Tischarbeitsplatz

- Tragen von Schutzhandschuhen während diffiziler Glasbearbeitung

Auf der einen Seite kommt es zu einer Gefährdung der Haut an den Fingern und Händen der Beschäftigten, auf der anderen Seite beklagen die Beschäftigten beim Tragen auch dünner Handschuhe ein mangelndes Gefühl für das Werkstück. Einen Kompromiss zu finden, ist in diesem Fall schwierig, aber möglich.

Für diese Situation ist es wichtig, die Exposition der Haut an den Händen so weit wie möglich zu vermindern. In diesem Fall kann das Tragen eines Handschuhs empfohlen werden, bei dem die Fingerkuppen abgeschnitten sind (ähnlich einem Radfahrerhandschuh). Die Fingerkuppen sind dadurch nach wie vor exponiert. Dabei ist darauf zu achten, dass der verwendete Stoff sowohl eng gewebt als auch brandfest ist (beispielsweise Baumwolle). Man könnte prüfen, ob Kompletthandschuhe getragen werden können, die eng und unverrutschbar an der Haut anliegen und so die Gefühlsechtheit vermitteln.

- Einzelfertigung von Glaswerkstücken an einem Tischarbeitsplatz

Hier ist es oft vonnöten, dass der Beschäftigte mit dem Mund Luft durch einen Schlauch in das Werkstück bläst. Dabei ist es nicht möglich, die Gesichtshaut vollständig durch ein Visier zu bedecken. Das Einblasen in das Werkstück ist während des Prozesses schnell nach einer gewissen Erhitzungs- oder Abkühlphase notwendig, sodass ein Unterbrechen zum Auf- oder Zuklappen des Visiers durch den Beschäftigten nicht möglich ist, ohne den Erfolg des Arbeitsschrittes zu riskieren.

Der Gesichtsschutz muss trotz der zu erfüllenden Aufgabe gewährleistet werden. Falls möglich, kann dies durch die Installation einer hinreichend großen, UV-undurchlässigen Scheibe (z. B. Verbundglas) geschehen. Bei Arbeitsvorgängen, die den Einsatz eines Schlauches zum manuellen Einblasen per Mund benötigen, kann wahlweise auch das Tragen einer Balaclava (Sturmhaube, wie beispielsweise im Motorsport) empfohlen werden. Dabei ist der Augenschutz durch eine Schutzbrille zu gewährleisten, die neben der UV-Schutzfunktion auch Schutz gegen IR-Strahlung und Blendung bietet.

8.2 Allgemeine Schutzempfehlungen

Bei der Arbeit an Gasbrennern sind die Augen und die Haut durch die Einwirkung optischer Strahlung gefährdet.

Der Schutz der Augen kann durch das Tragen geeigneter Schutzbrillen gewährleistet werden. Zum Schutz vor UV-Strahlung ist auf die Schutzstufe zu achten. Didymiumbrillen schützen die Augen vor Blendung während der Bearbeitung eines Werkstücks und verbessern die Erkennbarkeit am Schmelzort, sind aber nicht automatisch als Schutz ausreichend.

Der Schutz der Gesichtshaut vor UV-Strahlung kann durch Tragen eines Schutzvisiers der Schutzstufe 2-1,2 gewährleistet werden. Ein Schutz vor visueller Strahlung ist nicht nötig. Das gesamte Gesicht sollte bei der Bearbeitung von großen und heißen Werkstücken vor IR-Strahlung geschützt werden.

Die übrige Haut kann durch das Tragen langärmeliger Kleidung geschützt werden. Diese Kleidung sollte insbesondere folgende Anforderungen erfüllen: nicht brennbar (z. B. Baumwolle), engmaschig gewebt, nicht zu eng am Körper anliegend.

9 Bisherige Veröffentlichungen zum Projekt

Wittlich, M.; Schwaß, D.; Siekmann, H.; Böcker, H.: Glasbearbeitung mit Gasbrennern: Gefahren durch UV-Strahlung. Informationskurzschrift der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), 2010

Schwaß, D.; Wittlich, M.; Schmitz, M.; Siekmann, H.: UV-Strahlenexpositionen bei der Glasbearbeitung mit Gasbrennern. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin 2010.
www.dguv.de/ifa, Webcode: d13473

Wittlich, M.: UV-Belastung bei der Glasbearbeitung. Tagungsband zur Informationsveranstaltung „Optische Strahlung“ bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 1. Juli 2010 in Dortmund

Wittlich, M.: Strahlenemission bei der Glasbearbeitung mit Gasbrennern. Tagungsband zur Tagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung 2011 vom 19. bis 21. September 2011 in Dortmund

Wittlich, M.: UV-Belastung bei der Glasbearbeitung. Vortrag im Rahmen der Informationsveranstaltung „Optische Strahlung“ bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 1. Juli 2010 in Dortmund

Wittlich, M.: Expositionen durch optische Strahlung bei der Glasbearbeitung mit Gasbrennern – Ergebnisse des IFA-Projektes 4144. Vortrag im Rahmen des „Fachgespräches Physikalische Einwirkungen“ am 7. Dezember 2010 im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Wittlich, M.: Strahlende Brenner – UV-/IR-Belastung durch Gasbrenner. Fachvortrag im Rahmen einer IFA-internen Vortragsreihe, 24. Januar 2011 im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Wittlich, M.: Expositionsermittlung beim Schweißen und bei Gasbrennern. Vortrag im Rahmen einer Tagung für das Forschungsprogramm FB170 „Berufskrankheit Hautkrebs“ am 29. März 2011 im Klinikum in Dresden

Wittlich, M.: Expositionsermittlung beim Schweißen und bei Gasbrennern. Vortrag im Rahmen eines Treffens der Unfallversicherungsvertreter für das Forschungsprogramm FB170 „Berufskrankheit Hautkrebs“ am 29. Juli 2011 im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Wittlich, M.: Strahlenemission bei der Glasbearbeitung mit Gasbrennern. Vortrag im Rahmen der Tagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung 2011 vom 19. bis 21. September 2011 in Dortmund

Literatur

- [1] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates 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). ABl. EU (2006) Nr. L 114, S.38-59; zul. geänd. durch Artikel 2 der Verordnung vom 22. Oktober 2008. ABl. EU (2008) Nr. L 311, S. 1-54, in Kraft getreten am 11. Dezember 2008
- [2] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV), 19. Juli 2010, BGBl. I (2010) Nr. 38, S. 960-967
- [3] Technische Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – TROS Inkohärente Optische Strahlung. GMBL. (2013) Nr. 65-67, S. 1312-1325; zul. geänd. GMBL. (2014) Nr. 28-29, S. 630
- [4] DIN EN 14255-1: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung (6/2005). Berlin, Beuth 2005
- [5] DIN EN 14255-2: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 2: Sichtbare und infrarote Strahlung künstlicher Quellen am Arbeitsplatz (3/2006). Berlin, Beuth 2006
- [6] DIN EN 14255-3: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 3: Von der Sonne emittierte UV-Strahlung (6/2008). Berlin, Beuth 2008
- [7] DIN EN 14255-4: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 4: Terminologie und Größen für Messungen von UV-, sichtbaren und IR-Strahlungs-Expositionen (2/2007). Berlin, Beuth 2007

Anhang A: Technische Details der untersuchten Gasbrenner

Die technischen Daten der Brenner (Tabellen A.1 bis A.4) der Fa. Herbert Arnold GmbH & Co. KG, Weilstraße 6, 35781 Weilburg,

wurden dem Katalog entnommen, ebenso diese für den Acetylenbrenner der Fa. GCE Rhöna, Weyherser Weg 8, 36043 Fulda

Tabelle A.1:
Technische Daten für die Brenner 100 ESL, 105 ESL und 105 PSL

Technische Daten	Einheit	100 ESL	105 ESL	105 PSL
Gasbohrung	mm	3	12	9
Flammenrohr-Ø	mm	14	30	30
Düsenbohrung	mm	0,5/0,8/1,0	1,0/1,5/2,5	1,0/1,5/2,5
Tüllen-Ø – Gas	mm	9	9	9
Tüllen-Ø – Sauerstoff	mm	6	6	6
Tüllen-Ø – Luft	mm	9	9	9
Gasvordruck	mbar	22	22	50
Sauerstoffvordruck	bar	1 bis 1,5	1,5 bis 2	1,5 bis 2
Luftvordruck	bar	0,5 bis 1,5	1 bis 2	1 bis 2
Maximaler Gasverbrauch	m ³ /h	0,8	4,8	1,3
Maximaler Sauerstoffverbrauch	m ³ /h	0,8	2,8	2,2
Maximaler Luftverbrauch	m ³ /h	0,7	3,3	3,3
Leistung	kW	8,0	48,0	33,8
Gewicht	kg	1,1	2,1	2,1

Anhang A: Technische Details der untersuchten Gasbrenner

Tabelle A.2:
Technische Daten für den Brenner 114/2 ESL c

Technische Daten		Einheit	114/2 ESL c
Kopfdurchmesser		mm	65
bei Borosilikatglas für Rohr-Ø bis		mm	über 100
bei Quarzglas (WS) für Rohr-Ø bis		mm	ca. 80
Tüllen-Ø – Gas		mm	9
Anschlussgewinde Gas			R 3/8“ L
Tüllen-Ø – Sauerstoff		mm	6
Anschlussgewinde Sauerstoff			R 1/4“
Tüllen-Ø – Luft		mm	9
Anschlussgewinde Luft (E/P)			R 3/8“
Größter Flammen-Ø		mm	ca. 70
Gasvordruck	P	mbar	50
	E		22
	W		100
Sauerstoffvordruck	P	bar	3,5
	E		3,5
	W		3,5
Luftvordruck		bar	0,5 bis 1
Maximaler Gasverbrauch	P	m³/h	1,1
	E		4,0
	W		15
Maximaler Sauerstoffverbrauch	P	m³/h	4,7
	E		8,0
	W		8,8
Maximaler Luftverbrauch	P	m³/h	6,5
	E		4,0
Leistung	P	kW	28,7
	E		38,5
	W		44,9
Gewicht	P	kg	10,4
	E		9,6
	W		9,3

Tabelle A.3:
Technische Daten für den Brenner 141/3 ES d

Technische Daten		Einheit	141/3 ES d
Kopfdurchmesser		mm	45
Düsenkranzdurchmesser		mm	35
Düsenzahl			61
Brennerkopfwinkel α		Grad	90
Gesamtlänge A		mm	410
Länge B		mm	270
Größter Flammendurchmesser		mm	45
Gewicht		kg	0,7
Maximaler Verbrauch	E	m³/h	3,2
	S		5,6
Leistung		kW	32,0

Tabelle A.4:
Technische Daten für den Brenner 141/7 E B

Technische Daten		Einheit	141/7 E B
Kopfdurchmesser		mm	57
Düsenkranzdurchmesser		mm	33
Düsenzahl			37
Brennerrohr-Ø		mm	30
Tüllen-Ø – Gas		mm	9
Tüllen-Ø – Sauerstoff		mm	6
Tüllen-Ø – Luft		mm	9
Anschlussgewinde Gas			R 1/2“
Anschlussgewinde Sauerstoff			R 3/8“
Anschlussgewinde Luft			R 1/4“
Gasvordruck		mbar	22 bis 1000
Sauerstoffvordruck		bar	1,5 bis 4
Luftvordruck		bar	0,5 bis 1,0
Maximaler Verbrauch	E	m³/h	2,8
	S		4,8
	L		1,8
Leistung		kW	26,9
Gewicht		kg	1,8

Acetylenbrenner

Schweiß- und Schneidgarnitur KOMBI 17/ZEK 17 (Fa. GCE Rhöna)

Anschlussgewinde: M 21,5 x 20 Gg

Schaft-Ø: 17 mm

Schweißersatz mit gehämmerter Schweißdüse Größe 4
(Bereich: 4 bis 6 mm)

Anhang B: Ermittlung der Reflexions- und Streustrahlung

Zur Abschätzung der Reflexion an Seitenwänden und anderen Gegenständen wurde eine Reihe von Testmessungen durchgeführt. Um eine genaue und reproduzierbare Aussage treffen zu können, wurden UV-emittierende Lampen für diese Versuche verwendet. Der Einfluss der Raumbeleuchtung musste nicht charakterisiert werden, da die Messungen stets in Dunkelheit durchgeführt wurden.

B.1 Einzelreflexion eines Wandelementes

Mit einer Xenonlampe wurde die Reflexionseigenschaft eines Wandelementes im Versuchsraum aus kurzer Entfernung studiert. Dazu wurden drei Anordnungen verwendet (Abbildung A.1). Es wurden jeweils Spektren aufgenommen, die eine wellenlängenspezifische Interpretation der Reflexion erlauben.

Abbildung A.1:
Skizzen der Messaufbauten Nr. 1 (links), Nr. 2 (Mitte) und Nr. 3 (rechts)

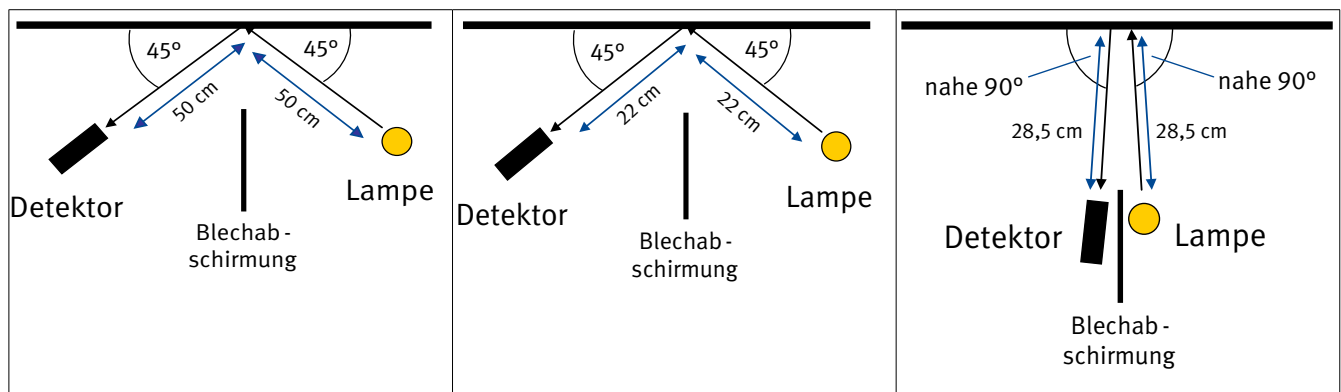
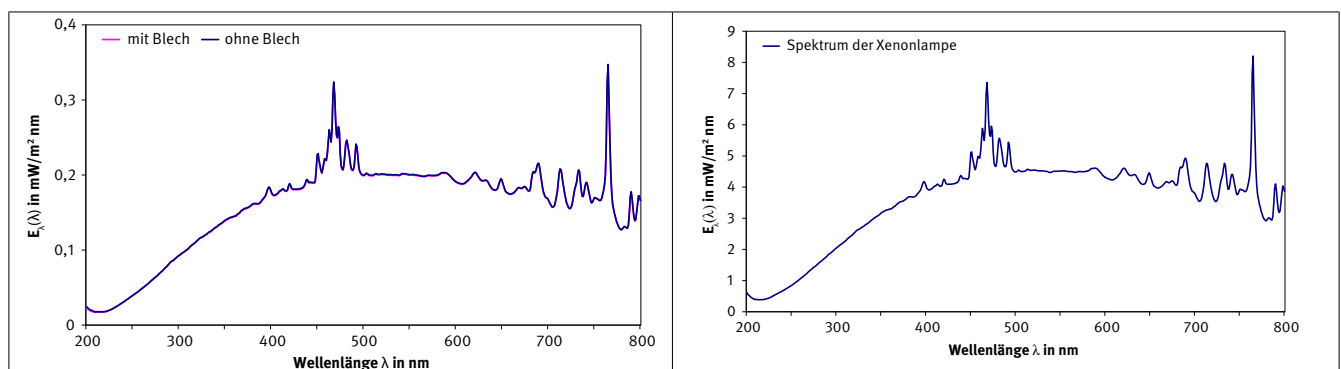


Abbildung A.2:
Links: Messung der Reflexivität gemäß Aufbau Nr. 1 mit und ohne Blechabschirmung; rechts: Spektrum der Xenonlampe aus 1 m Entfernung



Messaufbau Nr. 2 unterscheidet sich von Nr. 1 durch eine kleinere Entfernung von Detektor und Lampe zur Wand und durch eine weite Öffnung der Lampenblende, sodass eine große Fläche der Wand ausgeleuchtet ist. Es wird nun eine höhere Intensität empfangen; dadurch lässt sich die Reflexivität im jeweiligen Spektralbereich genauer abschätzen. Das Reflexionsspektrum

Mithilfe von Messaufbau Nr. 1 wurde untersucht, welcher Anteil des Signals durch die Reflexion an der Wand und durch direkte Strahlung detektiert wird. Dazu wurde ein Spektrum mit und eines ohne Blechabschirmung aufgenommen. Das Ergebnis ist in Abbildung A.2 (links) dargestellt.

Vergleicht man die Reflexionsspektren mit dem direkten, in gleicher Entfernung aufgenommenen Spektrum der Xenonlampe (Abbildung A.2 rechts), dann lässt sich qualitativ derselbe Verlauf erkennen. Die empfangenen Reflexionsintensitäten sind jedoch mehr als zehnfach niedriger. Aus den Spektren lässt sich eine Reflexivität ableiten, die etwa 4 % beträgt.

mit Blechabschirmung und das direkt aufgenommene Lampenspektrum sind in Abbildung A.3 dargestellt.

Die beiden Spektren unterscheiden sich deutlich im UV-Bereich, im visuellen Bereich verlaufen sie ähnlich. Offensichtlich kommt es zu einer wellenlängenabhängigen Reflexion an der Wand, die besonders den UV-Bereich betrifft. Aus den beiden Spektren

Anhang B: Ermittlung der Reflexions- und Streustrahlung

kann eine Reflexivität berechnet werden, die wellenlängenabhängig darstellbar ist (Abbildung A.4). Danach liegt die Reflexivität im UV-Bereich bei etwa 5 %, während sie im Sichtbaren etwa 22 % beträgt.

Messaufbau Nr. 3 dient zur Messung der Reflexion, die fast senkrecht auf die Wand auftretende Strahlung erfährt. Es wurden

dieselben Untersuchungen wie bei Aufbau Nr. 2 durchgeführt; die Spektren sind in Abbildung A.5 dargestellt.

Die Spektren ähneln den vorangegangenen Spektren, die mit Aufbau Nr. 2 gemessen wurden. Es kann eine Reflexivität berechnet werden, die in Abbildung A.6 dargestellt ist. Die Reflexivität im UV-Bereich ist vergleichbar zu Aufbau Nr. 2, jedoch wird deutlich weniger im Sichtbaren reflektiert (etwa 17 %).

Abbildung A.3:

Links: Messung der Reflexivität gemäß Aufbau Nr. 3 mit und ohne Blechabschirmung; rechts: Spektrum der Xenonlampe aus 44 cm Entfernung

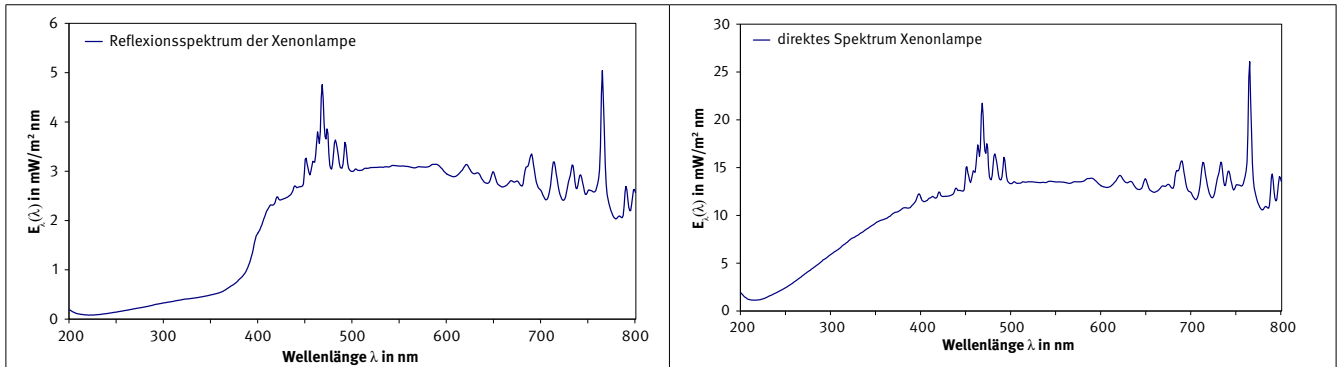


Abbildung A.4:

Reflexivität der Wand gemäß Aufbau Nr. 3

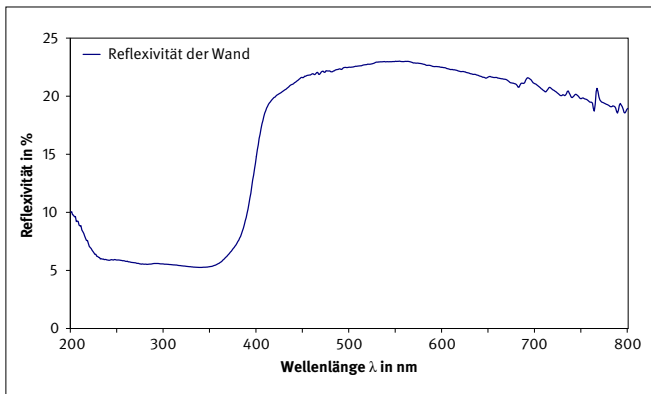


Abbildung A.5:

Links: Messung der Reflexivität gemäß Aufbau Nr. 2 mit und ohne Blechabschirmung; rechts: Spektrum der Xenonlampe aus 57 cm Entfernung

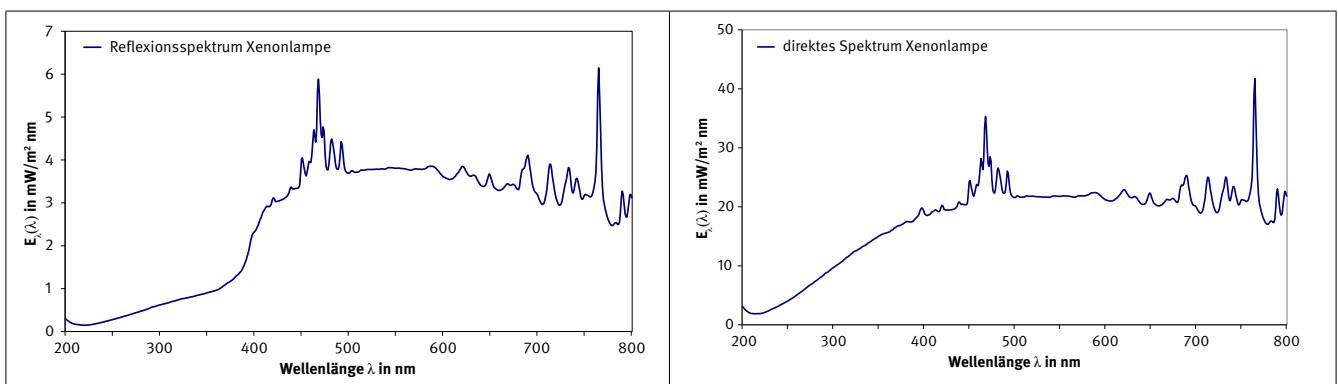
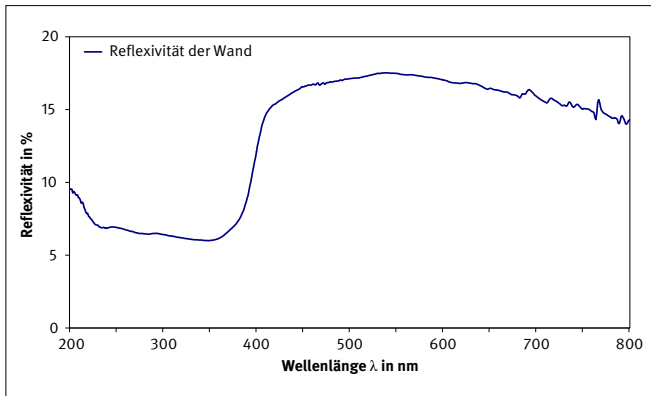


Abbildung A.6:
Reflexivität der Wand gemäß Aufbau Nr. 2



Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass bei Messungen in der Nähe zur Versuchsraumwand mit Reflexionen im UV-Bereich in einer Größenordnung von 7 % zu rechnen ist. Da diese aber noch unterhalb der Fehlertoleranzen der eingesetzten Messgeräte liegt, kann geschlossen werden, dass die Reflexion in den weiteren Versuchen vernachlässigt werden kann.

Für den Fall einer zu hohen UV-Reflexion der Wände wurde eine absorbierende Wandverkleidung in Betracht gezogen. Dazu wurde eine Probe einer UV-absorbierenden Folie auf ein Wandstück aufgebracht und untersucht. Aus den Messungen ging hervor, dass der Einsatz dieser Folie die Reflexion im UV-Bereich nicht verringert; daher wurde diese Vorgehensweise nicht weiter verfolgt.

B.2 Messung des Gesamtstreulichtes

Um das Gesamtstreulicht abschätzen zu können, das während einer Messung am Ort des Detektors auftritt, wurde ein Versuchsaufbau verwendet, der dem späteren Messaufbau entsprach (Abbildung A.7). Als Versuchslampe diente eine Halogenlampe, die isotrop in den Raum strahlt.

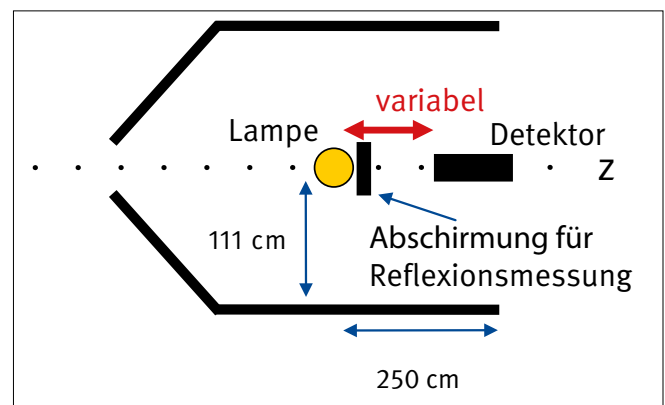
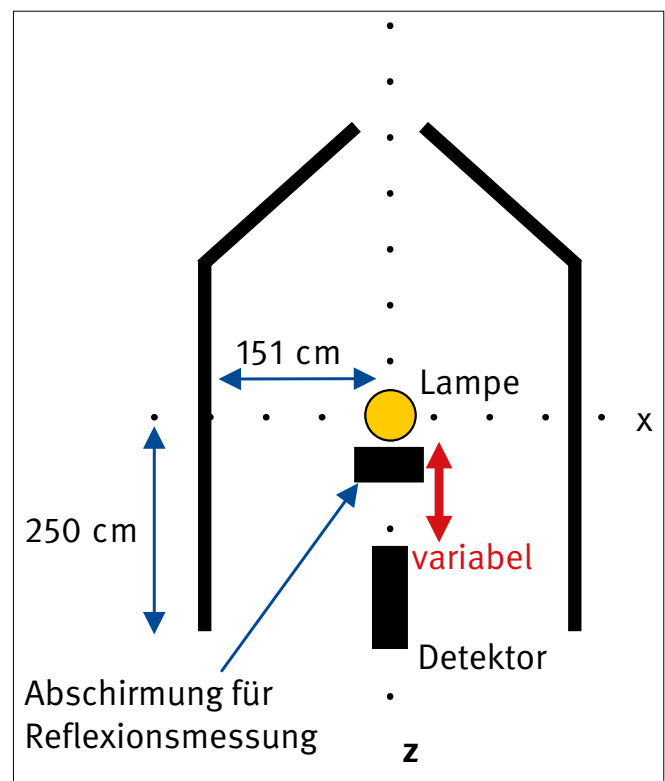
Zur Messung der Reflexion wurde der direkte Strahlungsweg von der Lampe zum Detektor abgedeckt. Alleine Referenzspektren wurden im direkten Strahlengang gemessen. Im späteren Messbetrieb wurden verschiedene Abstände zwischen Brenner und Detektor realisiert. Daher wurde auch zu Zwecken der Reflexionsmessung der Abstand zwischen Lampe und Detektor variiert. Zusätzlich kam es zu verschiedenen Winkeln zwischen der Beobachtungsrichtung und den Wänden. Mithilfe von Messungen auf x- und z-Achse wurde der Reflexionseinfluss an beiden Orten studiert.

Aus den Messergebnissen (Abbildung A.8) kann abgeleitet werden, dass die Gesamtreflexion von Wänden, Decke und anderen Gegenständen unter den gewählten Bedingungen keine Rolle spielt. Sie liegt im UV-Bereich unter 1 % und beträgt im

sichtbaren Wellenlängenbereich im Wesentlichen weniger als 2 %, mit nur einer Ausnahme von 4 % bei großen Abständen. Je größer die Entfernung zwischen Detektor und Quelle, desto größer ist der Anteil reflektierter Strahlung. Dies kann mit dem veränderten Raumwinkel, unter dem die Quelle betrachtet wird, sowie der größeren betrachteten Wandfläche begründet werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Anteil reflektierter Strahlung an den zu erwartenden Messergebnissen vernachlässigbar ist.

Abbildung A.7:
Versuchsaufbau zur Abschätzung der Gesamtreflexion am Ort des Detektors. Die Abstände zwischen Lampe und Wand (151 cm) sowie Lampe und Versuchsraumtür (250 cm) definieren in etwa die Mitte des Raumes; Ansicht von oben (oben) und von der Seite (unten)



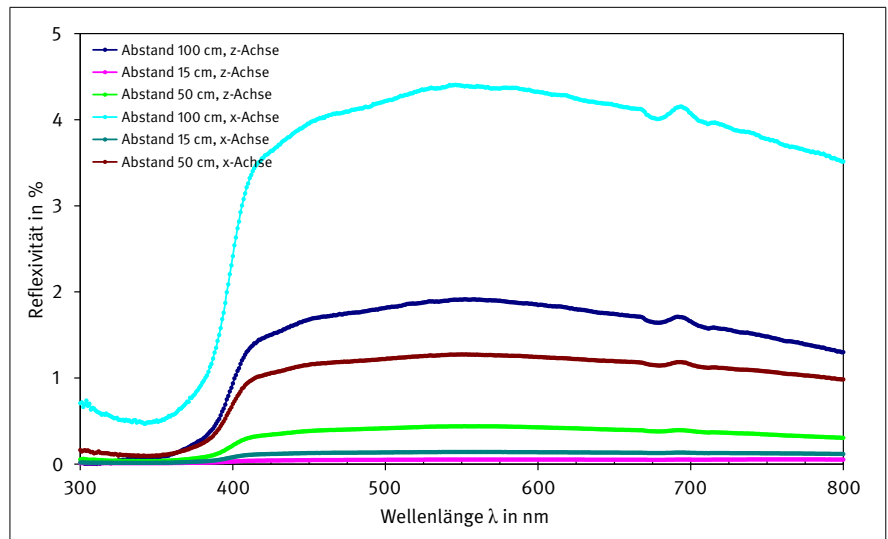


Abbildung A.8:
Gesamtreflexivität am Ort des Detektors gemäß
Versuchsaufbau in Abbildung A.7

Anhang C: Weitere Messergebnisse

C.1 Brenner 100 ESL

Abbildung A.9:
Strahlungsspektrum des Brenners 100 ESL

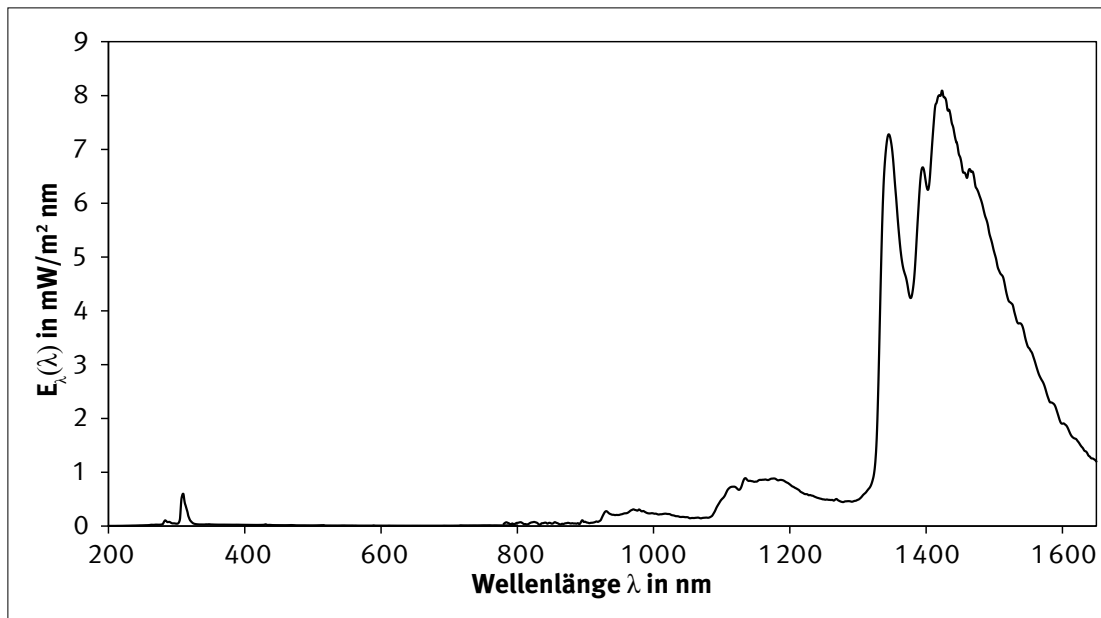
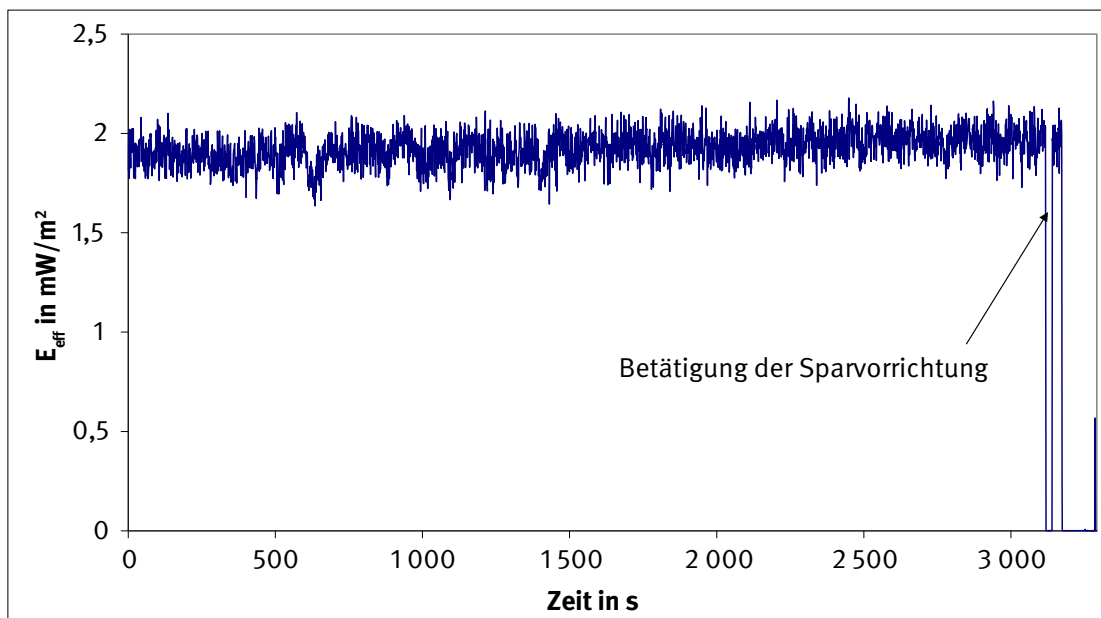


Abbildung A.10:
Zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke E_{eff} des Brenners 100 ESL



C.2 Brenner 105 ESL

Abbildung A.11:
Strahlungsspektrum des Brenners 105 ESL

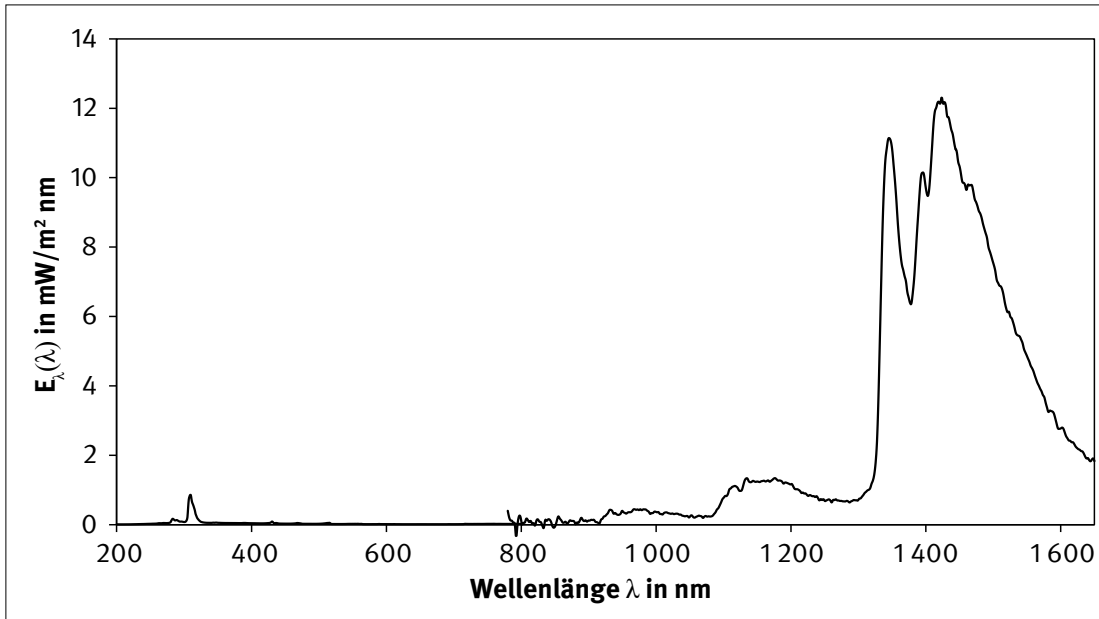
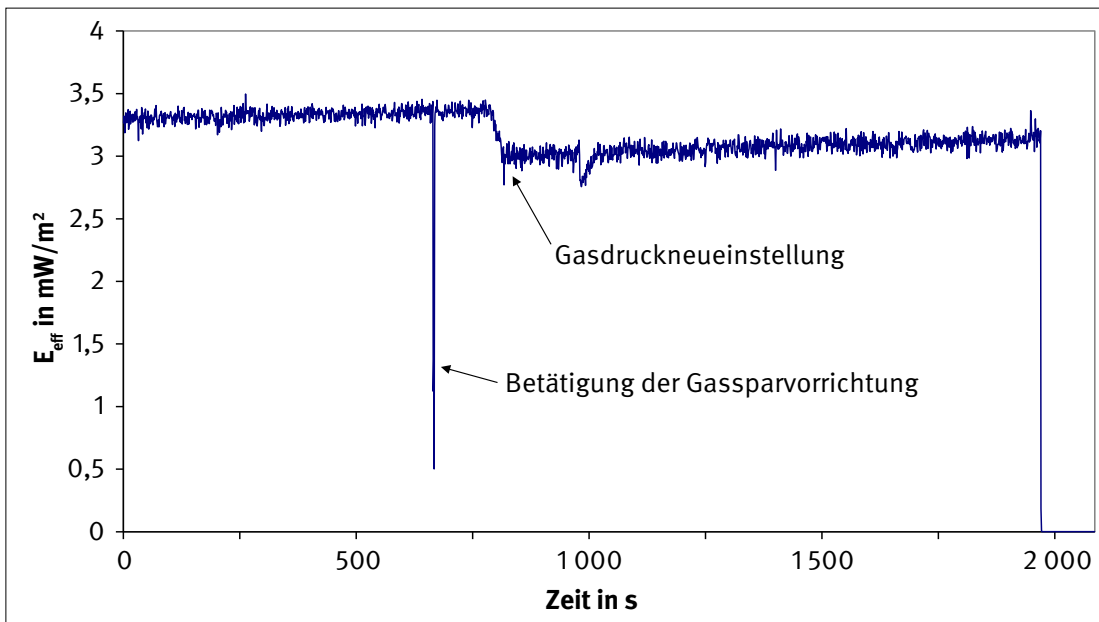
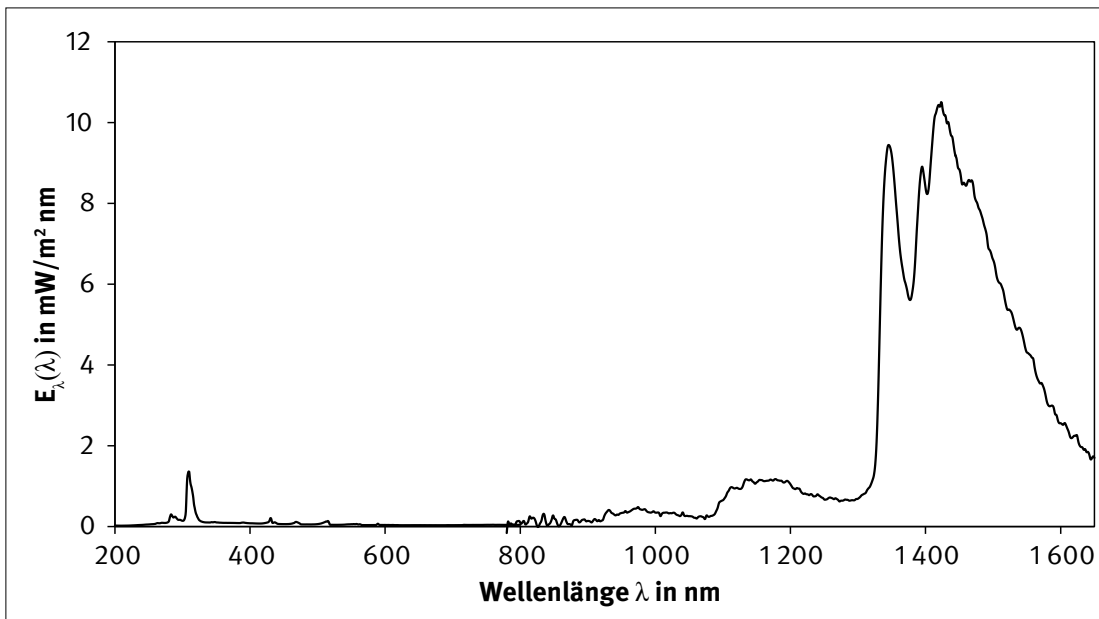
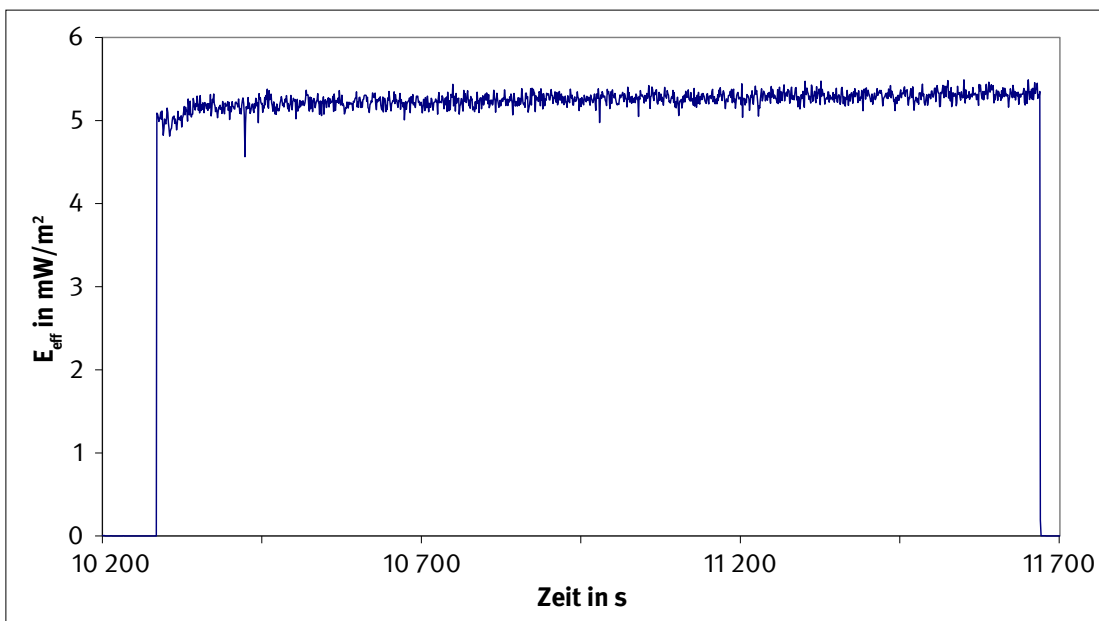


Abbildung A.12:
Zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke E_{eff} des Brenners 105 ESL



C.3 Brenner 105 PSLAbbildung A.13:
Strahlungsspektrum des Brenners 105 PSLAbbildung A.14:
Zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke E_{eff} des Brenners 105 PSL

C.4 Brenner 114/2 ESL c

Abbildung A.15:
Strahlungsspektrum des Brenners 114/2 ESL c

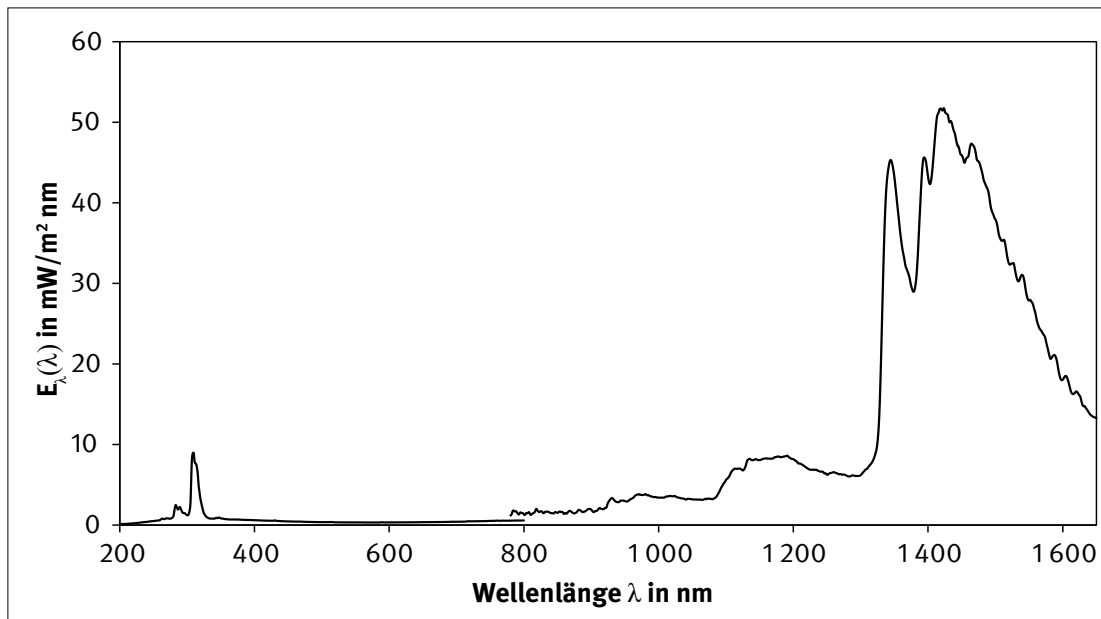
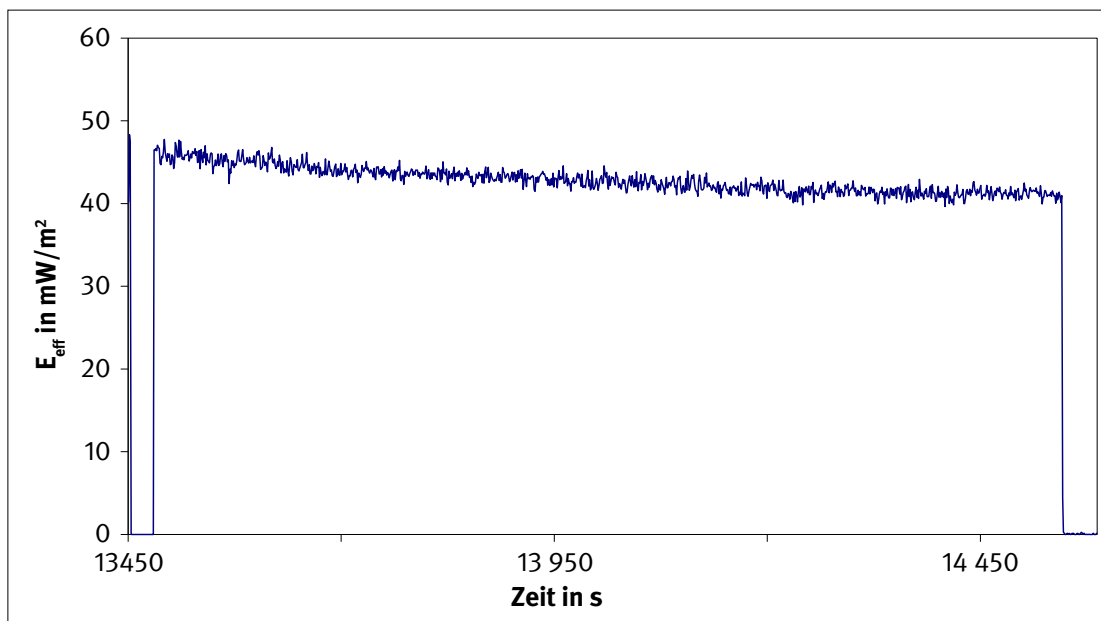


Abbildung A.16:
Zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke E_{eff} des Brenners 114/2 ESL c



C.5 Brenner 141/3 ES d

Abbildung A.17:
Strahlungsspektrum des Brenners 141/3 ES d

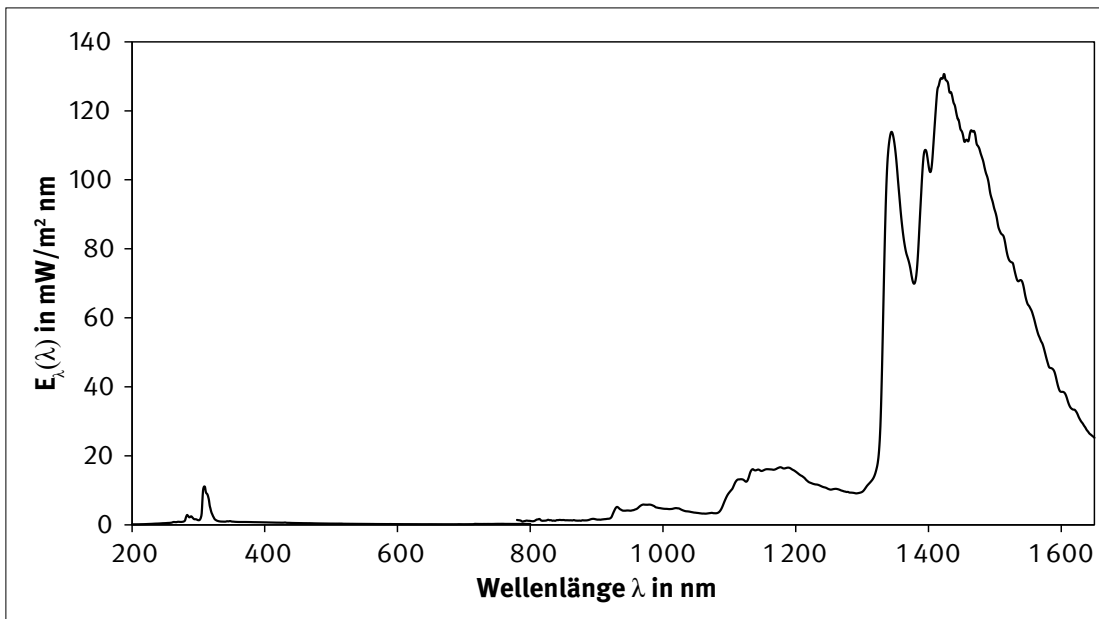
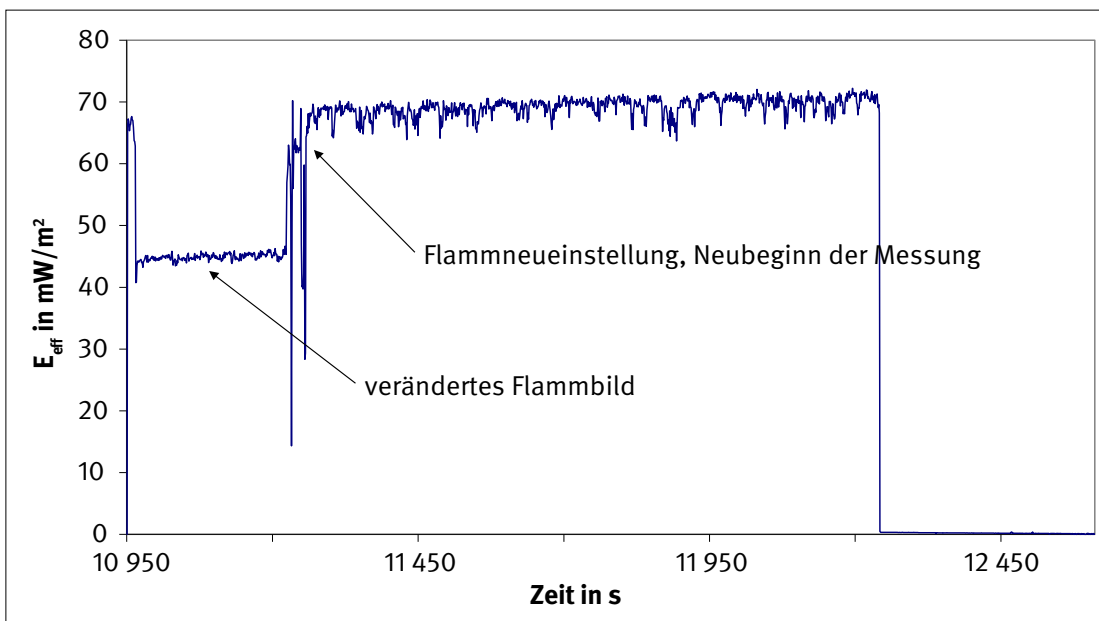


Abbildung A.18:
Zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke E_{eff} des Brenners 141/3 ES d



C.6 Brenner 141/7 E B

Abbildung A.19:
Strahlungsspektrum des Brenners 141/7 E B

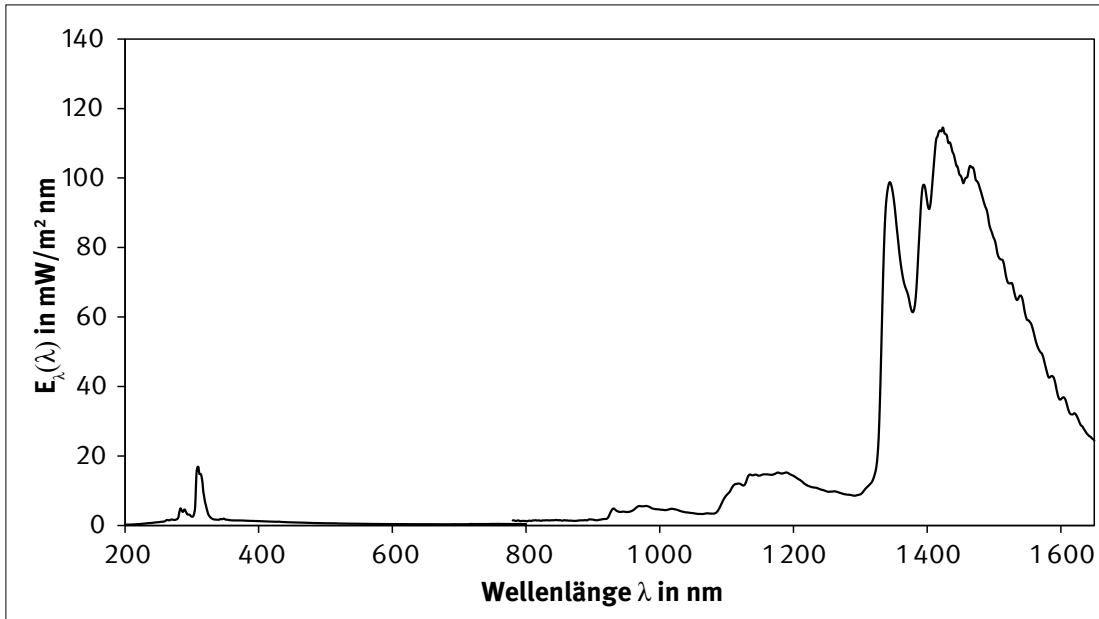
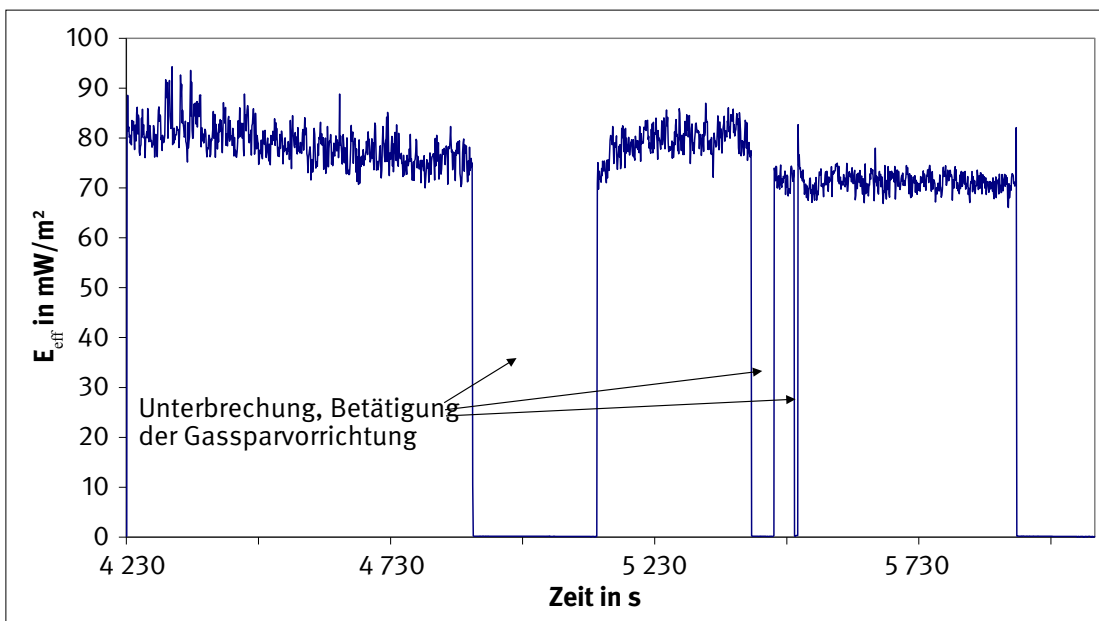
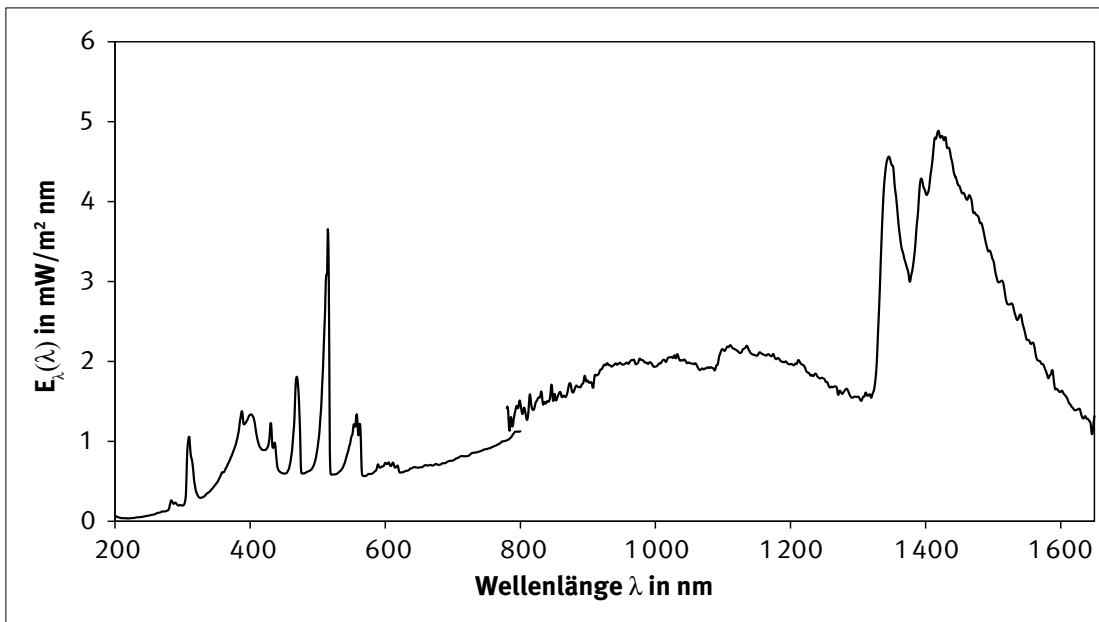
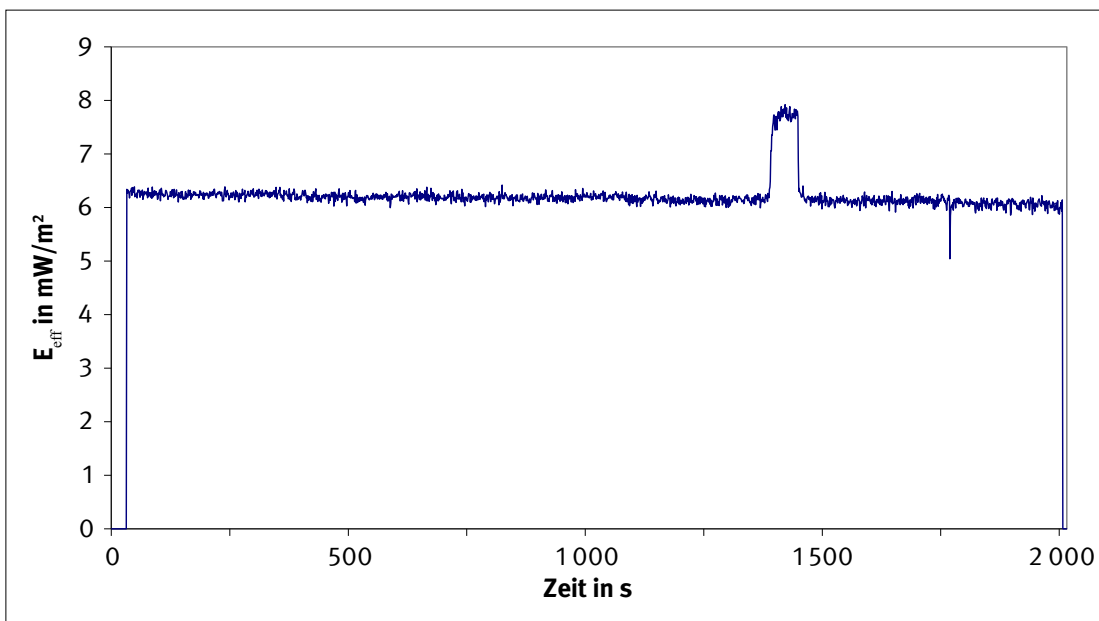


Abbildung A.20:
Zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke E_{eff} des Brenners 141/7 E B



C.7 Brenner AcetylenAbbildung A.21:
Strahlungsspektrum des Brenners AcetylenAbbildung A.12:
Zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke E_{eff} des Brenners Acetylen

C.8 Abhängigkeit der Bestrahlungsstärken vom Abstand zwischen Flamme und Detektor

die Bestrahlungsstärke in 5-cm-Schritten bestimmt wurde (Tabelle A.5). Die Messung wurde jeweils für E_{UVA} , E_{eff} und E_{IR} durchgeführt.

Die Abhängigkeit der Bestrahlungsstärken vom Abstand zwischen Flamme und Detektor wurde genauer untersucht, indem

Tabelle A.5: Einzelmesswerte zur Bestimmung der Bestrahlungsstärken in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Flamme und Detektor

Messung Nr.	Uhrzeit	Messgröße (Detektor)	Messwert	Abstand Flamme – Detektor in cm	Bemerkungen
1	11:43	E_{UVA} (UV-3701-1)	615 mW/m ²	21	Messserie „Abstand“, Offset zwischen Detektor und Reiter 6 cm bereits berücksichtigt
2		E_{UVA} (UV-3701-1)	405 mW/m ²	26	
3		E_{UVA} (UV-3701-1)	293 mW/m ²	31	
4		E_{UVA} (UV-3701-1)	220 mW/m ²	36	
5		E_{UVA} (UV-3701-1)	171 mW/m ²	41	
6		E_{UVA} (UV-3701-1)	139 mW/m ²	46	
7		E_{UVA} (UV-3701-1)	113 mW/m ²	51	
8		E_{UVA} (UV-3701-1)	94 mW/m ²	56	
9		E_{UVA} (UV-3701-1)	81 mW/m ²	61	
10		E_{UVA} (UV-3701-1)	69 mW/m ²	66	
11		E_{UVA} (UV-3701-1)	60 mW/m ²	71	
12		E_{UVA} (UV-3701-1)	53 mW/m ²	76	
13		E_{UVA} (UV-3701-1)	47 mW/m ²	81	
14		E_{UVA} (UV-3701-1)	42 mW/m ²	86	
15		E_{UVA} (UV-3701-1)	37 mW/m ²	91	
16		E_{UVA} (UV-3701-1)	33 mW/m ²	96	
17		E_{UVA} (UV-3701-1)	30 mW/m ²	101	
18		E_{UVA} (UV-3701-1)	27 mW/m ²	106	
19	11:50	H_{eff} (XD 9506-4)	2 339 mJ/m ²	20,5	Messserie „Abstand“, Offset zwischen Detektor und Reiter 5,5 cm bereits berücksichtigt, Integrationszeit 10 Sekunden
20		H_{eff} (XD 9506-4)	1 531 mJ/m ²	25,5	
21		H_{eff} (XD 9506-4)	1 108 mJ/m ²	30,5	
22		H_{eff} (XD 9506-4)	812,5 mJ/m ²	35,5	
23		H_{eff} (XD 9506-4)	633,9 mJ/m ²	40,5	
24		H_{eff} (XD 9506-4)	505,2 mJ/m ²	45,5	
25		H_{eff} (XD 9506-4)	407,6 mJ/m ²	50,5	
26		H_{eff} (XD 9506-4)	338,0 mJ/m ²	55,5	
27		H_{eff} (XD 9506-4)	282,1 mJ/m ²	60,5	
28		H_{eff} (XD 9506-4)	243,8 mJ/m ²	65,5	
29		H_{eff} (XD 9506-4)	210,5 mJ/m ²	70,5	
30		H_{eff} (XD 9506-4)	182,4 mJ/m ²	75,5	
31		H_{eff} (XD 9506-4)	160,7 mJ/m ²	80,5	
32		H_{eff} (XD 9506-4)	143,2 mJ/m ²	85,5	
33		H_{eff} (XD 9506-4)	127,2 mJ/m ²	90,5	
34		H_{eff} (XD 9506-4)	114,8 mJ/m ²	95,5	
35		H_{eff} (XD 9506-4)	103,3 mJ/m ²	100,5	
36		H_{eff} (XD 9506-4)	94,2 mJ/m ²	105,5	
37	12:07	E_{IR} (SEL623)	51,3 mW/cm ²	15,6	Messserie „Abstand“, Offset zwischen Detektor und Reiter 0,6 cm bereits berücksichtigt
38		E_{IR} (SEL623)	33,2 mW/cm ²	20,6	
39		E_{IR} (SEL623)	23,5 mW/cm ²	25,6	
40		E_{IR} (SEL623)	17,2 mW/cm ²	30,6	
41		E_{IR} (SEL623)	13,3 mW/cm ²	35,6	
42		E_{IR} (SEL623)	10,4 mW/cm ²	40,6	

Tabelle A.5: Fortsetzung

Messung Nr.	Uhrzeit	Messgröße (Detektor)	Messwert	Abstand Flamme – Detektor in cm	Bemerkungen
43		E _{IR} (SEL623)	8,5 mW/cm ²	45,6	
44		E _{IR} (SEL623)	7,1 mW/cm ²	50,6	
45		E _{IR} (SEL623)	6,1 mW/cm ²	55,6	
46		E _{IR} (SEL623)	5,2 mW/cm ²	60,6	
47		E _{IR} (SEL623)	4,5 mW/cm ²	65,6	
48		E _{IR} (SEL623)	4,0 mW/cm ²	70,6	
49		E _{IR} (SEL623)	3,5 mW/cm ²	75,6	
50		E _{IR} (SEL623)	3,1 mW/cm ²	80,6	
51		E _{IR} (SEL623)	2,8 mW/cm ²	85,6	
52		E _{IR} (SEL623)	2,6 mW/cm ²	90,6	
53		E _{IR} (SEL623)	2,3 mW/cm ²	95,6	
54		E _{IR} (SEL623)	2,1 mW/cm ²	100,6	

C.9 Bestimmung von BLH und RTH

Die Blaulichtgefährdung (BLH, blue light hazard) und die Gefährdung der Netzhaut durch thermische Strahlung (RTH,

retinal thermal hazard) wurde in Labormessungen für alle Brenner bestimmt (Tabelle A.6). Der Abstand zwischen Flamme und Detektor wurde jeweils auf 50 cm eingestellt. Die Messwerte wurden nach DIN 14255 Teil 2 [4] bestimmt.

Tabelle A.6:

Einzelmesswerte zur Bestimmung von Blaulichtgefährdung und Netzhautgefährdung durch thermische Strahlung

Messung Nr.	Uhrzeit	Detektor	Messwert	Bemerkungen
114/2 ESL c; Flammgeometrie: Länge 30 cm, Breite 4 cm; Abstand zwischen Flamme und Detektor: 50 cm				
1	14:32	RTH (CD-2002)	5,2 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
2		RTH (CD-2002)	5,2 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
3		RTH (CD-2002)	3,4 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
4	14:36	BLH (CD-2001)	1,67 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
5		BLH (CD-2001)	1,51 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
6		BLH (CD-2001)	1,13 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
100 ESL; Flammgeometrie: Länge 30 cm, Breite 4 cm; Abstand zwischen Flamme und Detektor: 50 cm				
7	14:54	BLH (CD-2001)	0,12 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
8		BLH (CD-2001)	0,11 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
9		BLH (CD-2001)	0,05 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
10	14:58	RTH (CD-2002)	0,85 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
11		RTH (CD-2002)	0,85 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
12		RTH (CD-2002)	0,28 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
105 ESL; Flammgeometrie: Länge 20 cm, Breite 1 cm; Abstand zwischen Flamme und Detektor: 50 cm				
13	8:56	BLH (CD-2001)	1,0 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
14		BLH (CD-2001)	0,84 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
15		BLH (CD-2001)	0,18 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
16	8:59	RTH (CD-2002)	3,8 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
17		RTH (CD-2002)	3,5 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
18		RTH (CD-2002)	0,63 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad

Anhang C: Weitere Messergebnisse

Tabelle A.6: Fortsetzung

Messung Nr.	Uhrzeit	Detektor	Messwert	Bemerkungen
141/7 E B; Flammgeometrie: Länge 25 cm, Breite 5 cm; Abstand zwischen Flamme und Detektor: 50 cm				
19	9:24	BLH (CD-2001)	3,1 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
20		BLH (CD-2001)	2,8 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
21		BLH (CD-2001)	2,4 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
22	9:26	RTH (CD-2002)	8,3 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
23		RTH (CD-2002)	8,2 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
24		RTH (CD-2002)	6,2 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
141/3 ES d; Flammgeometrie: Länge 25 cm, Breite 5 cm; Abstand zwischen Flamme und Detektor: 50 cm				
25	11:05	BLH (CD-2001)	1,5 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
26		BLH (CD-2001)	1,3 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
27		BLH (CD-2001)	1,2 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
28	11:07	RTH (CD-2002)	5,2 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
29		RTH (CD-2002)	5,2 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
30		RTH (CD-2002)	4,0 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
105 PSL; Flammgeometrie: Länge 10 cm, Breite 1 cm; Abstand zwischen Flamme und Detektor: 50 cm				
31	9:08	BLH (CD-2001)	4,8 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
32		BLH (CD-2001)	3,7 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
33		BLH (CD-2001)	0,4 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
34	9:10	RTH (CD-2002)	12,5 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
35		RTH (CD-2002)	11,5 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
36		RTH (CD-2002)	1,6 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
Acetylen; Flammgeometrie: Länge 6 cm, Breite 1 cm; Abstand zwischen Flamme und Detektor: 50 cm				
37	10:51	BLH (CD-2001)	35,2 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
38		BLH (CD-2001)	27,3 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
39		BLH (CD-2001)	6,9 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad
40	10:53	RTH (CD-2002)	262 W/m ² sr	$\gamma = 1,7$ mrad
41		RTH (CD-2002)	232 W/m ² sr	$\gamma = 11$ mrad
42		RTH (CD-2002)	43 W/m ² sr	$\gamma = 100$ mrad