



## IFA Report 3/2014

Ermittlung der UV-Strahlungsexposition  
bei Seeleuten

IFA Projekt 4153

**IFA Report 3/2014**

**Ermittlung der UV-Strahlungsexposition  
bei Seeleuten**

**IFA Projekt 4153**

Verfasst von: G. Meyer, U. Kirst, H. Steinbock  
Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft

U. Feister  
Deutscher Wetterdienst

M. Wittlich, M. Schmitz, D. Schwaß, H. Siekmann  
Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Publikationsdatenbank: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)

Bildnachweis: Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft:  
Abbildungen 6 bis 12, 24 und Fotodokumentation S. 61 und 62

Deutscher Wetterdienst:  
Abbildungen 13 bis 22, A.1 und A.2

Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA):  
Abbildungen 1 bis 5 und 23

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)  
Mittelstr. 51  
10117 Berlin  
Telefon: +49 30 288763800  
Fax: +49 30 2887663808  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)  
– Juni 2014 –

ISBN (print): 978-3-86423-108-7  
ISBN (online): 978-3-86423-109-4

ISSN: 2190-7986

# Kurzfassung

## Ermittlung der UV-Strahlungsexposition bei Seeleuten

Seit einigen Jahren verzeichnet die Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft eine deutliche Zunahme der Meldungen von Hautkreberkrankungen bei Seeleuten. Betroffen sind vorrangig Seeleute im Decksdienst in der Handelsschifffahrt und der Fischerei. Bei ihrer Arbeit an Deck sind sie je nach Fahrtgebiet, Jahreszeit, Tageszeit und Wetterlage einer unterschiedlichen ultravioletten (UV-) Strahlungsexposition ausgesetzt. Verlässliche Daten über deren Höhe lagen bislang nicht vor. Daher wurden vier Messreisen auf typischen internationalen Schifffahrtsrouten mit hoher UV-Strahlungsexposition durchgeführt. Mit personengebundenen Messungen wurden die individuellen UV-Strahlungsexpositionen über mehrere Wochen und Klimaregionen ermittelt. Zusätzlich wurde stationär die UV-Strahlungsimmission an Deck gemessen. Darüber hinaus wurde eine Job-Exposure-Matrix erstellt. Darin wurden für verschiedene Tätigkeiten und Berufe unter anderem Fahrtzeiten, Aufenthaltszeiten an Deck und typische Fahrtgebiete beschrieben. Diese Matrix soll zusammen mit den UV-Expositionsmesswerten dazu dienen, in BK-Fällen individuelle UV-Expositionen möglichst genau zu ermitteln.

Die Auswertung der Messwerte lieferte Aufschluss über die tägliche UV-Strahlungsexposition. Dabei zeigte sich wie erwartet eine Abhängigkeit vom Zenitwinkel der Sonne: Die Bestrahlung steigt mit abnehmender geografischer Breite. Ferner geht sie sowohl direkt von der Sonne als auch von der diffusen Strahlung des Himmels und der Reflexion der Oberflächen (Schiffsaufbauten) aus. Die personengebundenen Messungen zeigten, dass die höchste UV-Strahlungsexposition auf Kopf und Schultern vorlag. Zu den Messergebnissen wurden Modellrechnungen in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) vorgenommen. Rechnungen zur erythemwirksamen Bestrahlungsstärke wurden mit den Messungen auf den Schifffahrtsrouten verglichen. Die Modellrechnungen liefern generell Informationen über maximal zu erreichende Werte, die von den Messwerten nur unter besonderen meteorologischen Bedingungen überschritten werden sollten. Während des Projektes gelang es, eine fundierte und geschlossene Datenbasis zu entwickeln. Die Daten werden in einem Folgeprojekt so aufbereitet, dass mit einem zu erarbeitenden Modell für die PC-gestützte Einschätzung der persönlichen erythemwirksamen Strahlungsdosis eine sachgerechte Bearbeitung von BK-Fällen möglich ist.

# Abstract

## Measurement of the exposure of seamen to UV radiation

For some years, the German Social Accident Insurance Institution for Transport and Traffic has observed a clear increase in reported cases of skin cancer among seamen. Seamen on deck duty in merchant shipping and the fishing industry are primarily affected. They are exposed during work on deck to varying levels of UV radiation, depending upon the route of the vessel, season, time of the day and weather conditions. Reliable data on the level of this radiation were not previously available. Four measurement voyages were therefore conducted on typical international shipping routes on which high UV radiation exposure is encountered. The individual UV radiation exposure was determined over several weeks and in a number of climate zones by means of personal measurements. Static UV radiation exposure levels on deck were also measured. A job-exposure matrix was produced. The duration of the voyages, length of time spent on deck, typical zones traversed, etc. were described in this matrix for a range of tasks and occupations. The matrix is to be used in conjunction with the measured UV exposure values in order for individuals' UV exposure doses to be determined as precisely as possible during investigations of cases of suspected occupational disease.

Interpretation of the measured values enables conclusions to be drawn regarding the daily UV radiation exposure dose. As expected, the results were seen to depend upon the solar zenith angle, i.e. radiation increases with decreasing latitude. Radiation also occurs both directly from the sun, and in the form of diffuse radiation from the sky and reflection from surfaces (superstructure of the vessel). The personal measurements on the test subjects showed exposure to UV radiation to be highest on the head and shoulders. Model analyses of the measured results were performed in conjunction with the DWD, Germany's national meteorological service. Calculations of the erythema radiation level were compared with the results of measurements taken on the routes of the vessels. The model analyses yield general information on maximum anticipated values; these are exceeded by the measured values only under exceptional meteorological conditions. The project has succeeded in producing a sound and cohesive body of data. The data are to be edited in a follow-on project such that they can be used in conjunction with a future model for computerized estimation of the personal erythema radiation dose for appropriate processing of cases of occupational disease.

# Résumé

## Détermination de l'exposition aux UV chez les marins

Depuis quelques années, l'organisme d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles du secteur des transports et de la circulation enregistre une nette augmentation de cancers de la peau signalés chez les marins. Ce phénomène concerne surtout les marins du service pont de la marine marchande et de la pêche. Lorsqu'ils travaillent sur le pont, ils sont exposés aux rayonnements ultraviolets (UV), cette exposition variant en fonction de la zone géographique, de la période de l'année, de l'heure du jour et des conditions météorologiques. On ne disposait pas, jusqu'à présent, de données fiables sur le niveau de ces expositions. C'est pourquoi quatre séries de mesures ont été effectuées sur des routes maritimes internationales typiques fortement exposées aux UV. Des mesurages effectués sur des personnes pendant plusieurs semaines et dans différentes zones géographiques ont permis de déterminer les expositions individuelles aux UV. La concentration (immission) d'UV sur le pont des bateaux a été en outre enregistrée par des stations de mesure. Une matrice d'exposition professionnelle a par ailleurs été réalisée. Différents paramètres y ont été consignés, pour diverses activités et professions, notamment les durées de parcours, le temps passé sur le pont, et des zones géographiques caractéristiques. Combinée aux valeurs mesurées d'exposition aux UV, cette matrice devra permettre, dans le cas de maladies professionnelles, de déterminer avec un maximum de précision l'exposition aux UV subie par chaque individu.

Renseignant sur l'exposition quotidienne aux UV, l'exploitation des mesures relevées a révélé, comme on pouvait s'y attendre, que cette exposition est fonction de l'angle zénithal du soleil : plus la latitude géographique diminue, plus le rayonnement est important. De plus, l'exposition au rayonnement provient non seulement directement du soleil, mais aussi de la diffusion atmosphérique et de la réflexion sur les surfaces (superstructures du bateau). Les mesures effectuées sur les individus ont révélé que les parties du corps les plus exposées aux rayonnements UV étaient la tête et les épaules. Les résultats des mesures ont fait l'objet d'une modélisation mathématique réalisée en collaboration avec le service météorologique allemand (DWD). Des calculs sur l'intensité de rayonnement à efficacité érythémale ont été comparés avec les mesures relevées sur les routes maritimes. Les modèles mathématiques fournissent des informations générales sur les valeurs maximales à atteindre, qui ne devraient être dépassées par les valeurs mesurées que dans des conditions météorologiques exceptionnelles. Pendant le projet, une base de données solide et cohérente a pu être constituée. Dans un projet ultérieur, les données seront préparées de manière à permettre d'examiner de manière adéquate les cas de maladies professionnelles à l'aide d'un modèle à élaborer destiné à estimer par moyens informatiques la dose individuelle de rayonnement à efficacité érythémale.

# Resumen

## Cálculo de la exposición a la radiación ultravioleta (UV) de los marineros

Desde hace algunos años, la asociación profesional alemana del Transporte y la Economía Transportista registra un claro aumento de los casos de cáncer de piel detectados entre los marineros. Los afectados son en su mayoría marineros que trabajan en cubierta en la marina mercante y en barcos pesqueros. Durante la realización de sus tareas en cubierta, según el trayecto, la época del año, la hora del día y las condiciones meteorológicas, están expuestos a diversas intensidades de radiación ultravioleta (UV). Hasta la fecha no había datos fiables sobre su magnitud. Por eso se llevaron a cabo cuatro trayectos para la medición de datos en rutas marítimas internacionales típicas con una elevada exposición a las radiaciones ultravioletas. Con estas mediciones sobre personas se calcularon las exposiciones individuales a la radiación ultravioleta a lo largo de varias semanas y en diversas regiones climáticas. Además se midió de manera estacionaria la recepción de radiación ultravioleta en cubierta. Asimismo se realizó una matriz de exposición profesional, en la que se describen diversas actividades y profesiones incluyendo, entre otros, las horas de viaje, horas de estancia en cubierta y zonas de viaje habituales. Junto con las mediciones de los niveles de exposición a los rayos ultravioleta, se espera que esta matriz permita determinar con la mayor precisión posible las exposiciones a la radiación ultravioleta en los casos de enfermedades profesionales.

La evaluación de los valores medidos proporciona una clave sobre la exposición diaria a la radiación ultravioleta. En ella se ha constatado, tal y como se esperaba, una dependencia del ángulo cenital solar: la radiación aumenta a medida que disminuye la latitud geográfica. Asimismo, procede tanto directamente del sol como de la radiación difusa del cielo y de la reflexión de las superficies (estructuras de los barcos). Las mediciones realizadas sobre las personas han mostrado que la máxima exposición a la radiación ultravioleta se produce sobre la cabeza y los hombros. Sobre los resultados de las mediciones se han desarrollado unos modelos de cálculo en cooperación con el Servicio Meteorológico Alemán (el DWD, en sus siglas alemanas). Los cálculos de la intensidad de radiación con efecto eritematoso se compararon con las mediciones realizadas en las rutas navieras. Los modelos de cálculo proporcionan en general informaciones sobre los niveles máximos tolerables, que las mediciones solamente deberán superar en condiciones meteorológicas especiales. Durante el proyecto se ha conseguido desarrollar una base de datos fundada y concluyente. En el contexto de un proyecto subsiguiente se dispondrán dichos datos de manera que se puedan procesar adecuadamente los casos de enfermedades profesionales mediante la elaboración de un modelo para efectuar estimaciones informatizadas de la dosis de radiación eritematosa de la persona.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Danksagung .....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Hintergrund des Projekts .....</b>	<b>11</b>
1.1	Darstellung des Berufskrankheitengeschehens.....	11
1.2	Tätigkeiten auf Seeschiffen mit solarer UV-Strahlungsexposition (Job-Exposure-Matrix) .....	12
<b>2</b>	<b>Messungen unter realistischen Arbeitsbedingungen.....</b>	<b>15</b>
2.1	Auswahl der Messtechnik .....	15
2.1.1	Mögliche Messverfahren nach DIN EN 14255-3 .....	15
2.1.2	Testmessungen mit ausgewählten Dosimetern.....	16
2.1.3	Schlussfolgerungen für die Auswahl der Messtechnik .....	22
2.2	Anwendungen im Bordbetrieb .....	22
2.3	Beschreibung der Messreisen .....	24
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>27</b>
3.1	Stationäre Messungen .....	27
3.2	Personengebundene Messungen .....	29
3.3	Breitengradabhängiger Vergleich der Messreisen.....	31
3.4	Vergleich der täglichen UV-Bestrahlung an der Person.....	32
<b>4</b>	<b>Verwendung der Messergebnisse und Modellrechnungen .....</b>	<b>35</b>
4.1	Modellrechnungsergebnisse für Meridionalschnitte.....	35
4.2	Modellrechnungsergebnisse entlang der Fahrtrouten.....	39
4.2.1	Reise 1.....	39
4.2.2	Reise 2 .....	40
4.2.3	Reise 3 .....	42
4.2.4	Reise 4 .....	44
<b>5</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>Präventionsmaßnahmen .....</b>	<b>49</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>53</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>55</b>



# Danksagung

Ein besonderer Dank geht an die Reedereien German Tanker Shipping GmbH & Co. KG, Hansa Heavy Lift GmbH, NSB Niederelbe Schifffahrtsgesellschaft mbH & Co. KG, Reederei F. Laeisz GmbH und Triton Schifffahrts GmbH. Sie haben dieses Projekt mit Messreisen und allem, was dazu gehört, unterstützt. Ebenso danken wir den Kapitänen und ihren Besatzungen, die unsere Messaktivitäten immer wohlwollend begleitet haben.

Für die Bereitstellung von Messwerten der erythemwirksamen Strahlung und des atmosphärischen Ozongehalts der Stationen Rom und Lampedusa bedanken wir uns bei Frau Dr. *Annamaria Siani*, Universität Rom „La Sapienza“, Physics Department, und Herrn Dr. *Alcide di Sarra*, Laboratory for Earth Observations and Analyses in Santa Maria di Galeria, Italien.

Die Vergleichsmessungen zwischen dem UV-Messgerät des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und den X2000-10-Dosimetern für solare Zenitwinkel bis zu  $6^\circ$  wurden im Rahmen der bilateralen Zusammenarbeit zwischen dem Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) in Pretoria, Südafrika, und dem DWD, Meteorologisches Observatorium Lindenberg, durchgeführt. Die National Research Foundation (South Africa) und die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützten die bilaterale Kooperation. Unser persönlicher Dank gilt den Beschäftigten des CSIR, insbesondere Frau Dr. *Meena Lysko*, für die technische und logistische Unterstützung bei der Durchführung der Vergleichsmessungen.



# 1 Hintergrund des Projekts

## 1.1 Darstellung des Berufskrankheitengeschehens

Seit einigen Jahren verzeichnet die Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft (BG Verkehr) im Berufskrankheitengeschehen eine deutliche Zunahme der Anzeigen von Hautkrebskrankungen bei Seeleuten. So wurden von 1997 bis heute ca. 120 Verdachtsfälle auf eine Berufskrankheit (BK) gemeldet, wobei seit dem Jahr 2008 ein deutlicher Anstieg der Meldungen (achtfache Zunahme im Vergleich zum Durchschnitt der Vorjahre) beobachtet wurde. Überwiegend betroffen sind Seeleute, die im Decksdienst in der Handelsschifffahrt und in der Fischerei tätig sind bzw. waren. Die Erkrankungen traten vorrangig im Gesicht, am Kopf, auf den Schultern, an den Armen und auf den Händen auf. Nachgewiesen wurden aktinische Keratosen, Plattenepithelkarzinome und Basaliome.

Bei der aktinischen Keratose handelt es sich um eine durch langjährige intensive Einwirkung von ultravioletter (UV)-Strahlung hervorgerufene chronische Schädigung der verhornten Oberhaut. Im Laufe der Zeit kann sich daraus das sogenannte Plattenepithelkarzinom bzw. Spinaliom (Stachelzellkrebs) entwickeln. Das Basaliom ist genauso wie das Plattenepithelkarzinom eine Hautkrebskrankung. Im Gegensatz zum Plattenepithelkarzinom bildet das Basalzellkarzinom nur sehr selten Metastasen [1].

Bei der Arbeit an Deck von Seeschiffen sind Seeleute je nach Fahrtgebiet, Jahreszeit, Tageszeit und Wetterlage einer

unterschiedlichen UV-Strahlungsexposition durch Sonnenstrahlung ausgesetzt. Hohe UV-Strahlungsexpositionen können Akutschäden wie Sonnenbrand sowie Langzeitschäden wie Hautalterung und Hautkrebs hervorrufen. Für einige Berufsgruppen, wie Bergführer, Bauarbeiter, Landwirte etc., liegen erste Ergebnisse von Expositionsmessungen bereits vor. Es ist aber auch von Interesse, verlässliche Daten über die Höhe der UV-Strahlungsexposition von Seeleuten zu bekommen. Daher wurden beispielhaft die UV-Strahlungsexpositionen von Seeleuten auf typischen internationalen Schifffahrtsrouten, auf denen eine hohe UV-Strahlung zu erwarten ist, gemessen. Die Daten dienen einerseits dazu, festzustellen, ob Seeleute im Vergleich zur übrigen Bevölkerung einer erhöhten UV-Exposition unterliegen. Zum anderen sollen für zukünftig zu bearbeitende BK-Fälle die Grundlagen für die Ermittlung und Bewertung von UV-Expositionen geschaffen werden. Die Einführung einer neuen Berufskrankheit bezüglich einiger Spezies nicht melanozytären Hautkrebses (sogenannter „Heller Hautkrebs“) nach Einwirkung natürlicher UV-Strahlung durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) steht unmittelbar bevor. Die wissenschaftliche Begründung wurde zwischenzeitlich im Gemeinsamen Ministerialblatt, 64. Jahrgang, Nr. 35 vom 12. August 2013 auf den Seiten 671 ff. veröffentlicht.

## 1.2 Tätigkeiten auf Seeschiffen mit solarer UV-Strahlungsexposition (Job-Exposure-Matrix)

Die Besatzung hält sich im Vergleich zu Arbeitsplätzen an Land grundsätzlich über längere Zeiträume am Arbeitsplatz „Seeschiff“ auf. Auch an Wochenenden und Feiertagen gewährleistet ein ständiger Wach- und Bereitschaftsdienst die Arbeitsfähigkeit und die Sicherheit des Schiffs.

Da die UV-Strahlungsexposition ebenso rückwirkend betrachtet werden soll, müssen mit Ausnahme der Fischerei unterschiedliche Entwicklungsabschnitte der deutschen Seeschifffahrt berücksichtigt werden. Unmittelbar nach dem Zweiten Weltkrieg waren nur wenige Schiffe vorhanden, die überwiegend in der Nord- und in der Ostsee zum Einsatz kamen. Erst in den 1950er-Jahren wurden auf deutschen Werften neue Schiffe gebaut. Hierbei handelte es sich meist um sogenannte Stückgutschiffe. Außerdem gab es kleinere Tank- und Massengutschiffe, die bis in den Mittelmeerraum eingesetzt wurden. Zu Beginn der 1970er-Jahre wurde mit dem Containerschiff ein neuer Schiffstyp eingesetzt, der den Transport und die Verladung von Gütern im Vergleich zur Stückgutschifffahrt wesentlich erleichterte, beschleunigte und die Tätigkeiten an Bord veränderte.

Während in Westdeutschland mit der Zunahme des Anteils der Containerschiffe in den 1980er-Jahren eine Abnahme des Deckspersonals einsetzte, kamen in Ostdeutschland bis zur Wiedervereinigung überwiegend Stückgut-, Massengut- und Tankschiffe zum Einsatz. Fuhren in den 1960er-Jahren noch zwischen 40 und 50 Seeleute auf einem Stückgutschiff mit einer Vermessung von

10 000 BRZ (BRZ = Bruttoreaumzahl), so betrug 2013 die Besatzungsstärke auf einem modernen Containerschiff mit einer Vermessung von 100 000 BRZ im Durchschnitt 25 Seeleute. Parallel dazu veränderte sich die Zusammensetzung der Besatzungen: Waren bis in die 1980er-Jahre (Westdeutschland) bzw. 1990er-Jahre (Ostdeutschland) ausschließlich deutsche Besatzungsmitglieder an Bord, wurden in den darauffolgenden Jahren die Mannschaftsdienstgrade mit ausländischen Arbeitskräften besetzt. Diese Entwicklung ist auf die Einführung des sogenannten Zweitregisters im Jahr 1989 zurückzuführen. Das Zweitregister ermöglicht dem Schiffseigner, unter deutscher Flagge mit ausländischer Besatzung zu fahren. Lediglich die Schiffsführung muss aus Deutschland oder einem europäischen Land stammen. Derzeit richtet sich die Besetzung nach der Schiffsbesetzungsordnung vom 26. August 1998 in der Fassung vom 27. Oktober 2006.

Während das Maschinenpersonal und die Servicekräfte, wie Koch und Steward, üblicherweise kaum bzw. keine Außertätigkeiten verrichten, sind die Dienstgrade im Decksbereich in der Handelsschifffahrt und in der Fischerei gegenüber UV-Strahlung exponiert. Insbesondere auf Schiffen, die weltweit im Einsatz sind, also auch Häfen in subtropischen und tropischen Regionen anlaufen, besteht für das Deckspersonal die Gefahr einer erhöhten UV-Strahlungsexposition. Zu den üblichen, meist täglich durchzuführenden Tätigkeiten an Deck gehörten z. B. Rostklopfen, Malarbeiten, Pflege- und Konservierungsarbeiten, Wartungsarbeiten an Decksmaschinen und Ladegeschrir, Überwachung der Lade- und Löschvorgänge, Ladungskontrolle etc. Im Laufe der Zeit hat ein Wandel bei den Außenarbeiten stattgefunden. So werden heutzutage nur noch auf

Massengutschiffen (sogenannte Bulker), Multi-Purpose-Schiffen (Mehrzweckschiffe) und Tankschiffen umfangreiche Ausbesserungsarbeiten an Deck vorgenommen. In der modernen Containerschiffahrt geschieht dies in der Regel im geringen Umfang. Der Reeder muss für Konservierungsarbeiten an Deck und am Schiffsrumpf Werftliegezeiten in Anspruch nehmen.

Unter Berücksichtigung dieser Angaben wurde eine Job-Exposure-Matrix erstellt. Darin werden alle an Bord beschäftigten Seeleute, die im Decksdienst tätig waren bzw. sind, wie z. B. Matrosen, Bootsleute, Schiffsmechaniker, nautische Offiziere und Auszubildende erfasst. In Tabelle 1 werden die Tätigkeiten im Freien in Instandhaltungsarbeiten an Deck sowie in Brücken- und Hafenuache unterteilt. Die Brückenwache auf See umfasst eine tägliche Arbeitszeit von acht Stunden, wobei in der Regel nach vier Stunden Wache eine Unterbrechung von acht Stunden folgt.

Tabelle 1:  
Job-Exposure-Matrix für die Decksdienstgrade in der Seeschiffahrt

<b>Tätigkeit im Freien</b>	<b>Maximale tägliche Aufenthaltsdauer im Freien mit UV-Exposition in h</b>
Instandhaltungsarbeiten an Deck	8
Brückenwache	4
Hafenuache	8

Danach werden die übrigen vier Stunden des Wachdienstes geleistet, z. B. von 08:00 bis 12:00 und von 20:00 bis 00:00 Uhr. Während der Hafenuache werden die Lade- und Löscharbeiten überwacht und kontrolliert. Diesen Außertätigkeiten wurden die jeweils maximal möglichen Aufenthaltsdauern im Freien mit solarer UV-Exposition zugeordnet.



# 2 Messungen unter realistischen Arbeitsbedingungen

## 2.1 Auswahl der Messtechnik

ultravioletter Strahlung auf die Haut widerspiegelt [3]

### 2.1.1 Mögliche Messverfahren nach DIN EN 14255-3

$\Delta t_{exp}$ : Expositionsdauer in s

Bei der Auswahl der Messtechnik stand das Projektziel, verlässliche Daten über die personenbezogene UV-Strahlungsexposition von Seeleuten zu bekommen, im Vordergrund. DIN EN 14255-3 beschreibt verschiedene Verfahren, die zur Expositionsbestimmung durch die von der Sonne emittierte UV-Strahlung verwendet werden können [2]. Einige dieser Verfahren beruhen auf Schätzungen und Berechnungen und wurden deshalb nicht in Betracht gezogen. Stattdessen wurde für die hier erforderliche genaue Expositionsbestimmung das Verfahren nach Kapitel 8 in [2] gewählt. Dieses Verfahren sieht zur Bestimmung der personenbezogenen UV-Strahlungsexposition die Messung der erythemwirksamen Bestrahlung  $H_{er}$  im Wellenlängenbereich von 250 bis 400 nm vor. Neben der Messgröße  $H_{er}$  sind dabei folgende Messgrößen von Bedeutung, die in DIN EN 14255-4 [2] ausführlich beschrieben sind:

Diese Größen sind durch folgende Formeln miteinander verknüpft:

$$E_{er} = \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$H_{er} = \int_{\Delta t_{exp}} E_{er}(t) dt \quad (2)$$

Entsprechend diesen Formeln und den in [2] genannten Beschreibungen kann die erythemwirksame Bestrahlung  $H_{er}$  prinzipiell nach zwei verschiedenen Methoden ermittelt werden und zwar durch:

- direkte Messung von  $H_{er}$  mit einem am Körper getragenen Dosimeter,
- indirekte Messung von  $H_{er}$  oder  $E_{er}$  mit einem stationären Messgerät. Die Messung von  $E_{er}$  erfordert dann zusätzlich die Bestimmung von  $\Delta t_{exp}$ .

$E$ : Bestrahlungsstärke in  $W/m^2$

Da die direkte Messung mit mehreren gleichzeitig am Körper getragenen Dosimetern den Vorteil bietet, die UV-Strahlungsexposition an verschiedenen Körperstellen bestimmen zu können, wurde der Messung mit Personendosimetern der Vorzug gegeben. Für diesen Einsatzzweck kamen folgende Dosimeter in Betracht:

$E_{er}$ : erythemwirksame Bestrahlungsstärke in  $W/m^2$

$H_{er}$ : erythemwirksame Bestrahlung („Dosis“) in  $J/m^2$

$s_{er}(\lambda)$ : spektrale Wichtungsfunktion, die die erythemwirksame Wirkung von

- VioSpor-Dosimeter der Fa. BioSense, Labor für Biologische Sensorik, Bornheim

Es handelt sich um ein einmal verwendbares, biologisches Dosimeter, das nach der Auswertung mit einem neuen Film bestückt wird. Die  $H_{er}$ -Messbereiche der verschiedenen Dosimetertypen betragen beim Typ I 50 bis 3 000 J/m<sup>2</sup>, beim Typ II 100 bis 5 500 J/m<sup>2</sup> und für den Typ III 150 bis 12 000 J/m<sup>2</sup>. Die Dosimeter sind in einer druckwasserfesten Version erhältlich.

- Polysulfon-Dosimeter der Technischen Universität Dresden

Es handelt sich um ein einmal verwendbares, fotochemisches Dosimeter, das nach der Auswertung mit einem neuen Film bestückt wird. Der  $H_{er}$ -Messbereich beträgt 5 bis 125 000 J/m<sup>2</sup>. Eine wasserfeste Version dieses Dosimeters ist nicht verfügbar.

- Elektronisches Dosimeter X2000-10 der Fa. Gigahertz-Optik, Türkenfeld

Mit diesem batteriebetriebenen Dosimeter wird  $E_{er}$  in verschiedenen Intervallen gemessen und gespeichert. Aus den gespeicherten Einzelwerten von  $E_{er}$  und der Dauer der Aufzeichnung wird nach dem Ende der Messung  $H_{er}$  berechnet. Der  $E_{er}$ -Messbereich beträgt 0,2 bis 6 700 W/m<sup>2</sup>.

### 2.1.2 Testmessungen mit ausgewählten Dosimetern

#### *Durchführung der Messungen*

Mit den drei verschiedenen Dosimeterarten wurden an einem sonnigen, nahezu

wolkenlosen Tag im Juli 2008 erste Testmessungen auf dem Freigelände des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (50,8° N, 7,2° E) in Sankt Augustin durchgeführt. In diese Messungen wurden zu Vergleichszwecken folgende weitere Strahlungsmessgeräte einbezogen:

- Radiometer P 9710-2 mit Detektor UV 3704-1 der Fa. Gigahertz-Optik, Türkenfeld

Mit dem Detektor UV-3704-1 misst dieses Gerät die erythemwirksame Bestrahlungsstärke  $E_{er}$  nach. Die Messwerte dieses Gerätes werden auf einem Display angezeigt und können ergänzend in einstellbaren Intervallen gespeichert werden. Aus den gespeicherten Einzelwerten von  $E_{er}$  und der Dauer der Aufzeichnung wird nach dem Ende der Messung  $H_{er}$  berechnet. Der  $E_{er}$ -Messbereich beträgt etwa 0,1 mW/m<sup>2</sup> bis 16 000 W/m<sup>2</sup>.

- Spektralradiometer CAS 140 CT der Fa. Instrument Systems

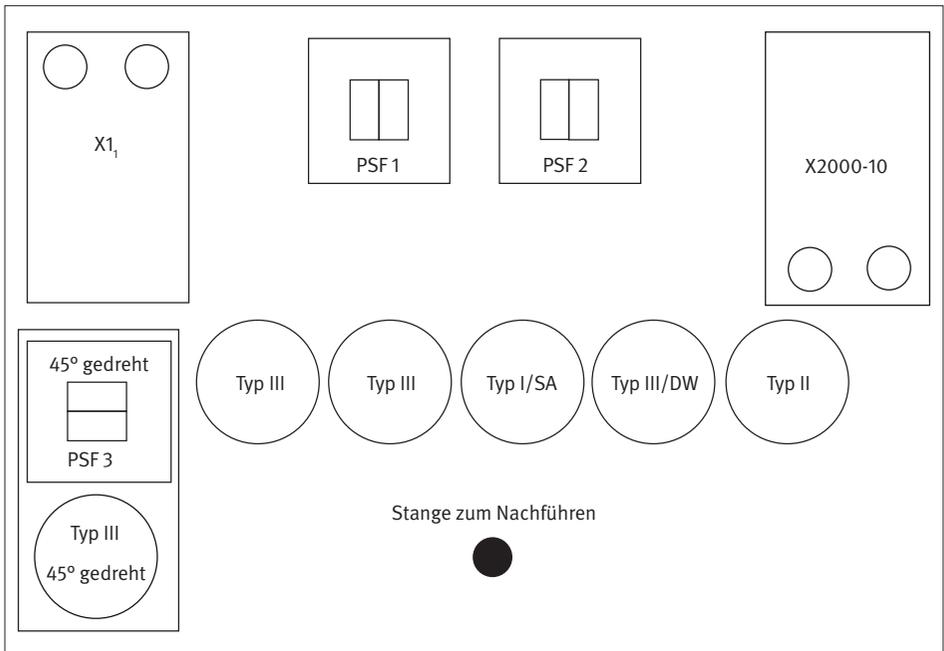
Dieses Array-Spektrometer hat in Verbindung mit der Optik EOP 120 einen Wellenlängen-Messbereich von 250 bis 800 nm. Aus dem gemessenen Strahlenspektrum kann nach der Messung  $E_{er}$  berechnet werden.

Das Ziel dieser Testmessungen war es einerseits, die Variation der Messergebnisse der verschiedenen Messgeräte bei der Messung solarer Strahlung festzustellen. Andererseits sollte bei diesen Versuchen die praktische Handhabung der Dosimeter im Hinblick auf den zukünftigen Einsatz auf Seeschiffen erprobt werden.

Für die Messungen wurden alle Dosimeter und Detektoren nebeneinander auf einem Stativ angeordnet. Hierzu waren die Dosimeter auf einer Aluminiumplatte, die Eingangsoptik des Spektrometers und der Detektor UV-3704-1 neben der Aluminiumplatte befestigt. Der Messaufbau zur Bestimmung der solaren UV-Strahlung mit den genannten Dosimetern und den UV-Messgeräten ist in den Abbildungen 1 bis 3 dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass von den Filmdosimetern jeweils mehrere Systeme verwendet wurden – und zwar drei Polysulfon-Dosimeter (PSF1 bis PSF3) und drei VioSpor-Dosimeter des Typs III. Jeweils eines dieser Dosimeter lag nicht waagrecht, sondern in einem Winkel von 45° zur Oberfläche auf der Aluminiumplatte. Damit sollte die Abhängigkeit der

Dosimeter-Messwerte von einem seitlichen Einfall der Sonnenstrahlung untersucht werden. Als weitere Dosimeter wurden die VioSpor-Dosimeter Typ I/SA (SA = Version für Klettbandbefestigung), III/DW (DW = druckwasserfeste Version) und II verwendet. Weiterhin waren auf der Aluminiumplatte das Radiometer X11 (dieses Messgerät wurde informativ ohne Bezug zu dem Projekt eingesetzt) und das elektronische Dosimeter X2000-10 befestigt. Während der Messungen wurden alle Dosimeter und Detektoren auf die Sonne ausgerichtet und immer manuell entsprechend dem Sonnenstand nachgeführt. Zur Kontrolle der Ausrichtung war auf der Aluminiumplatte eine Stange montiert (Abbildung 1).

Abbildung 1:  
Skizze des Messaufbaus zur Bestimmung der solaren UV-Strahlung



## 2 Messungen unter realistischen Arbeitsbedingungen

Abbildung 2 und 3:  
Messaufbau zur Bestimmung der solaren  
UV-Strahlung



Die Messungen fanden in der Zeit der höchsten zu erwartenden erythemwirksamen Bestrahlungsstärke und somit im Zeitraum von zwei Stunden vor und zwei Stunden nach Sonnenhöchststand statt. Der Sonnenhöchststand war um ca. 13:30 Uhr, dementsprechend erfolgten die Messungen in der Zeit von 11:30 bis 15:30 Uhr. Während dieser Zeit wurde im Abstand von 15 Minuten ein Sonnenspektrum mit dem Spektrometer gemessen und die erythemwirksame Bestrahlungsstärke am Radiometer P 9710-2

abgelesen und notiert. Zudem wurde an den Messgeräten mit eingebautem Datenlogger (P 9710-2 und X2000-10) alle zwei Sekunden ein Messwert gespeichert. Während der vier Stunden waren die Polysulfon-Dosimeter, die VioSpor-Dosimeter sowie das elektronische Dosimeter aktiv. In Tabelle 2 ist der verwendete Messplan aufgeführt.

Tabelle 2:  
Durchgeführte Messungen

Zeitraum	Sonnenspektrum mit CAS 140 CT	Erythemwirksame Bestrahlungsstärke mit Radiometer P 9710-2	Erythemwirksame Bestrahlungsstärke mit Dosimeter X2000-10	Polysulfon-Dosimeter	VioSpor-Dosimeter
11:30 bis 15:30 Uhr	im Abstand von 15 Minuten	im Abstand von 15 Minuten; zusätzlich Aufnahme alle 2 s über Datenlogger	Aufnahme alle 2 s über Datenlogger	Aktiv	Aktiv

### Messergebnisse

Die bei den Messungen nach Tabelle 2 erzielten Messergebnisse sind in den Abbildungen 4 und 5 sowie in Tabelle 3 aufgeführt. Als Beispiel für die viertelstündlich gemessenen Strahlenspektren der Sonne ist in Abbildung 4 das gemessene Spektrum beim Sonnenhöchststand um 13:30 Uhr dargestellt.

Trägt man die ausgelesenen Daten des Datenloggers des Radiometers P9710-2 mit dem Erythemmesskopf UV-3704-1 und des Datenloggers des Dosimeters X2000-10 grafisch auf, so ergibt sich der in Abbildung 5 dargestellte Sachverhalt. Wie darin zu

erkennen ist, wurden die Daten des Datenloggers des Dosimeters X2000-10 über das Messintervall von vier Stunden (= 14 400 s) aufgenommen. Die Daten des Datenloggers des Radiometers P 9710-2 und Erythemmesskopfs UV-3704-1 wurden dagegen nur für ca. drei Stunden erfasst. Nach den drei Stunden wurden teilweise Werte mit großer Schwankungsbreite festgestellt und daher in Abbildung 5 nicht dargestellt. Diese Fehlfunktion betraf aber nur die Aufzeichnung der Messwerte im Datenlogger des P9710-2. Die manuelle Ablesung der Messwerte im viertelstündlichen Abstand konnte dagegen fortgesetzt werden.

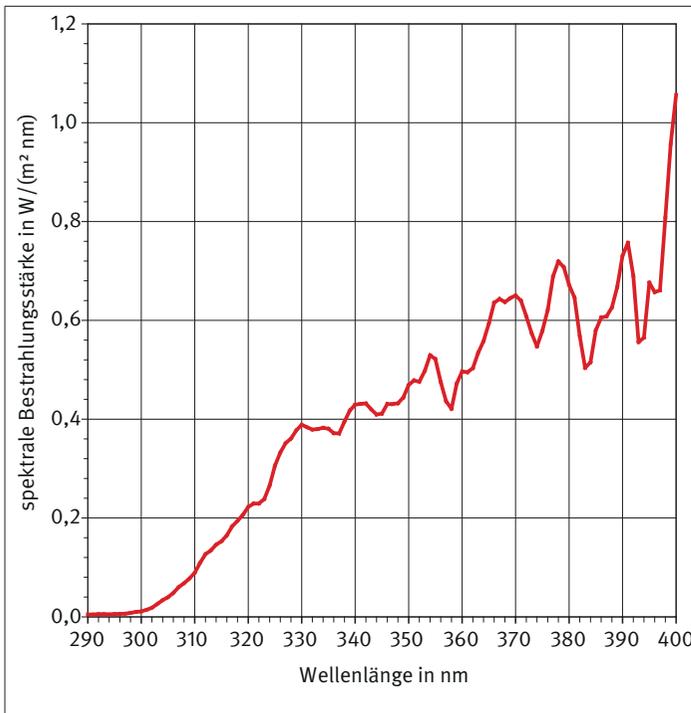


Abbildung 4:  
Gemessenes Strahlungsspektrum der Sonne bei Sonnenhöchststand um 13:30 Uhr

## 2 Messungen unter realistischen Arbeitsbedingungen

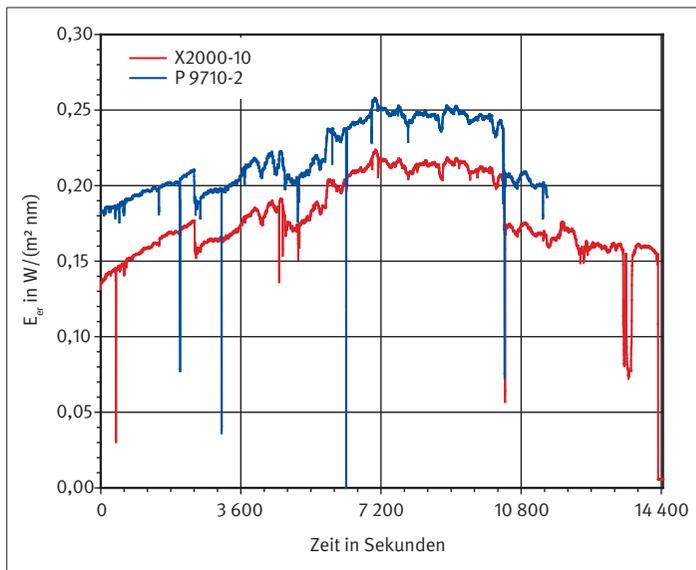


Abbildung 5:  
Mit den Datenloggern  
der Geräte X2000-10  
und P9710-2 aufge-  
zeichnete Werte der  
erythemwirksamen  
Bestrahlungsstärke  $E_{er}$

Tabelle 3:  
Ergebnisse der Testmessungen

Messung Nr.	Messgerät	$H_{er}$ in J/m <sup>2</sup>
1	Spektrometer CAS 140-CT	2 727
2	Dosimeter X2000-10	2 556
3	Radiometer P9710-2	3 043
4	Polysulfon-Dosimeter Nr. 49470	3 510
5	Polysulfon-Dosimeter Nr. 49471	3 530
6	VioSpor-Dosimeter Typ I/SA Nr. 1284	2 095
7	VioSpor-Dosimeter Typ II Nr. 1414	2 305
8	VioSpor-Dosimeter Typ III/DW Nr. 1483	2 239
9	VioSpor-Dosimeter Typ III Nr. 1443	2 268
10	VioSpor-Dosimeter Typ III Nr. 1449	2 241
11	Polysulfon-Dosimeter Nr. 49472 (45° zur Sonne ausgerichtet)	1 780
12	VioSpor-Dosimeter Typ III Nr. 1419 (45° zur Sonne ausgerichtet)	1 003

Aus den Aufzeichnungen in Abbildung 5 ergibt sich, dass Veränderungen der Bestrahlungsstärke vom Dosimeter X2000-10 und

vom Radiometer P 9710-2 in gleicher Weise registriert werden. Die Messwerte des Radiometers sind jedoch immer um ca. 20 % höher

als die des Dosimeters. Die abrupten Intensitätsänderungen in der Aufzeichnung sind zum Teil auf die manuelle Anpassung der Detektorenausrichtung zur Sonne und auf geringe Bestrahlungsstärkeschwankungen durch geringe Bewölkung zurückzuführen. Daneben gibt es kurzzeitige Perioden, in denen die Aufzeichnung des P 9710-2 offensichtlich fehlerhaft gewesen ist.

### **Auswertung der Messergebnisse**

Um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wurde mit jedem der gemäß Tabelle 2 eingesetzten Messgeräte die erythemwirksame Bestrahlung  $H_{er}$  in der Messperiode von 11:30 bis 15:30 Uhr folgendermaßen bestimmt:

- Spektrometer CAS 140 CT

Aus jedem der viertelstündlich mit einer spektralen Auflösung von 1 nm gemessenen Sonnenspektren wurden die Werte für die erythemwirksame Bestrahlungsstärke ermittelt. Aus allen so innerhalb der Messperiode bestimmten Messwerten wurde zunächst die mittlere erythemwirksame Bestrahlungsstärke  $E_{er}$  bestimmt. Diese wurde anschließend mit der Dauer der Messperiode ( $t = 14\,400\text{ s}$ ) multipliziert.

- Radiometer P9710-2

Aus den viertelstündlich manuell abgelesenen Werten für die erythemwirksame Bestrahlungsstärke wurde die mittlere erythemwirksame Bestrahlungsstärke  $E_{er}$  innerhalb der Messperiode bestimmt. Diese wurde anschließend mit der Dauer der Messperiode ( $t = 14\,400\text{ s}$ ) multipliziert.

- Dosimeter X2000-10

Aus den alle zwei Sekunden mit dem Datenlogger des Personendosimeters aufgenommenen Werten der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke ermittelt das Dosimeter automatisch einen Wert für die erythemwirksame Bestrahlung. Dieser Wert wurde nach Ende der Messung aus dem Speicher des Dosimeters ausgelesen.

- Polysulfon-Dosimeter

Die Auswertung des Dosimeters erfolgte durch den Hersteller. Die Herstellerangabe zum Messwert der erythemwirksamen Bestrahlung wurde übernommen.

- VioSpor-Dosimeter

Die Auswertung des Dosimeters erfolgte durch den Hersteller. Die Herstellerangabe zum Messwert der erythemwirksamen Bestrahlung wurde übernommen.

Tabelle 3 enthält die Ergebnisse dieser Auswertung.

Mit den zum Vergleich eingesetzten Messgeräten (Tabelle 3, Messungen 1 bis 3) wurde eine mittlere erythemwirksame Bestrahlung von  $H_{er} = 2\,775\text{ J/m}^2$  ermittelt. Demgegenüber ergibt sich aus den Messwerten der Polysulfon-Dosimeter (Tabelle 3, Messungen 4 und 5) eine mittlere erythemwirksame Bestrahlung von  $H_{er} = 3\,520\text{ J/m}^2$  und mit den VioSpor-Dosimetern (Tabelle 3, Messungen 6 bis 10) eine mittlere erythemwirksame Bestrahlung von  $H_{er} = 2\,230\text{ J/m}^2$ . Aus allen Messverfahren der Messungen 1 bis 10 wurde eine mittlere erythemwirksame Bestrahlung von  $H_{er} = 2\,651 \pm 536\text{ J/m}^2$  ( $\pm 20\%$ ) festgestellt.

Die Messwerte der unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Sonne ausgerichteten Dosimeter (Messungen 11 und 12) sind deutlich geringer als die Messwerte der direkt auf die Sonne gerichteten Dosimeter. Diese Verminderung beträgt beim Polysulfon-Dosimeter etwa 50 % und beim VioSpor-Dosimeter etwa 60 %. Sie ist bei beiden Dosimetern deutlich höher als die theoretisch wünschenswerte Abnahme von ca. 30 % entsprechend dem Cosinus des Einfallswinkels.

### 2.1.3 Schlussfolgerungen für die Auswahl der Messtechnik

Beim Vergleich der Messergebnisse fällt auf, dass die mit den Polysulfon-Dosimetern erzielten Messwerte deutlich höher sind als die der anderen Verfahren. Andererseits liefern die VioSpor-Dosimeter die niedrigsten Werte. Die Messwerte dieser beiden Dosimeterverfahren unterscheiden sich im Mittel um 45 %. Diese starke Abweichung wurde jedoch in anderen Versuchsreihen nicht bestätigt [4]. Weitere Vergleichsmessungen führte der Deutsche Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg (DWD/MOL-RAO) durch (siehe Anhang, [5 bis 7]).

Aus den Ergebnissen aller Testmessungen wurde schließlich festgelegt, die Messungen auf Seeschiffen mit den VioSpor-Dosimetern und den elektronischen Dosimetern des Typs X2000-10 durchzuführen. Ausschlaggebend für die Wahl der VioSpor-Dosimeter waren einerseits die gute Übereinstimmung der Messwerte zum Doppelmonochromator des DWD und andererseits die Möglichkeit, diese Dosimeter als wasserfeste Variante bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen auf Seeschiffen einsetzen zu können. Die elektronischen Dosimeter wurden zusätzlich gewählt, weil damit Informationen über den

zeitlichen Verlauf der Exposition während des Einsatzes auf Seeschiffen gewonnen werden können.

## 2.2 Anwendungen im Bordbetrieb

Nach einer zweitägigen Testreise mit einem Tankschiff von Hamburg durch die Nordsee nach Amsterdam konnte die Auswahl der Messgeräte und der Ausrüstung unter besonderer Berücksichtigung der Seetauglichkeit abgeschlossen werden. Die Messungen sollten sowohl personengebunden als auch stationär durchgeführt werden. Zur Bestimmung der erythemwirksamen Bestrahlung ( $J/m^2$ ) dienten X2000-10- und VioSpor-Dosimeter.

In Absprache mit allen Projektpartnern (IFA, DWD/MOL-RAO und BG Verkehr) fand die stationäre Messung grundsätzlich auf dem Peildeck statt (Abbildung 6). Da es sich um das oberste Deck eines Schiffs handelt, konnte beschattungsfrei die maximale erythemwirksame Bestrahlung am Tag bestimmt werden. Für diese Messung wurde ein Stativ mit einem Messbalken ausgestattet. Abbildung 6 zeigt das Stativ und den Messbalken, an dem ein X2000-10- und zwei VioSpor-Dosimeter horizontal sowie vier weitere VioSpor-Dosimeter zu den Seiten (Steuer- und Backbord), in und entgegen der Fahrtrichtung ausgerichtet waren. Das X2000-10-Dosimeter befand sich mit Ausnahme der Sensoren in einer weißen, vor Wasser und Hitze schützenden Hülle und wurde grundsätzlich in Fahrtrichtung angebracht.

Abbildung 6:  
Stationäre Messung auf dem Peildeck und  
Anordnung der Dosimeter



Für die personengebundene Messung trugen Testpersonen einen Gurt (Abbildung 7). Daran wurden fünf VioSpor-Dosimeter befestigt: zwei an der Brust, zwei auf den Schultern und eines auf dem Rücken. Weiterhin wurde eine Kopfbedeckung mit VioSpor-Dosimetern versehen. Es zeigte sich, dass auf allen horizontal ausgerichteten Positionen VioSpor-Dosimeter vom Typ III und an allen anderen Positionen VioSpor-Dosimeter vom Typ II eingesetzt werden sollten. Um festzustellen, wann diese Dosimeter ausgetauscht werden müssen, wurde eine Person mit einem X2000-10-Dosimeter auf dem Rücken ausgestattet.

Abbildung 7:  
Personengebundene Messungen während der  
Durchführung von Konservierungsarbeiten an Deck



Die stationären und personengebundenen Messungen fanden täglich über einen (Arbeits-)Zeitraum von acht Stunden statt. Nach Schichtende wurden die von den X2000-10-Dosimetern im Minuten- bzw. im Zehnminutentakt aufgezeichneten Messwerte ausgewertet. Anhand dieser Werte konnte abgeschätzt werden, ob ein Austausch der VioSpor-Dosimeter erfolgen musste. Da diese Dosimeter nur über einen bestimmten Messbereich verfügen, der nicht

überschritten werden darf, wurden sie in Abständen von zwei bis drei Tagen gewechselt. Der Dosimeterwechsel wurde dokumentiert. Nach Abschluss der Messfahrt wurden die VioSpor-Dosimeter an den Hersteller versandt, wo die Auswertung stattfand.

Die Fahrtroute wurde mit einem GPS-Handgerät im Minuten- bzw. Zehnminutentakt aufgezeichnet. Parallel dazu erfolgten zweimal am Tag Wetterbeobachtungen. Hierbei wurden neben der Schiffsposition die aktuelle Bordzeit, die UTC (Universal time coordinated), Temperatur, Luftfeuchtigkeit, der Niederschlag und Luftdruck, die Windstärke sowie die Sichtweite in Seemeilen erfasst. Anhand des vom DWD herausgegebenen „Wolkenatlas für die Wetterbeobachtung auf See“ erfolgte die Beobachtung der Wolken vor Ort nach Art und Höhe sowie die Bestimmung des Bedeckungsgrads des Himmels [8].

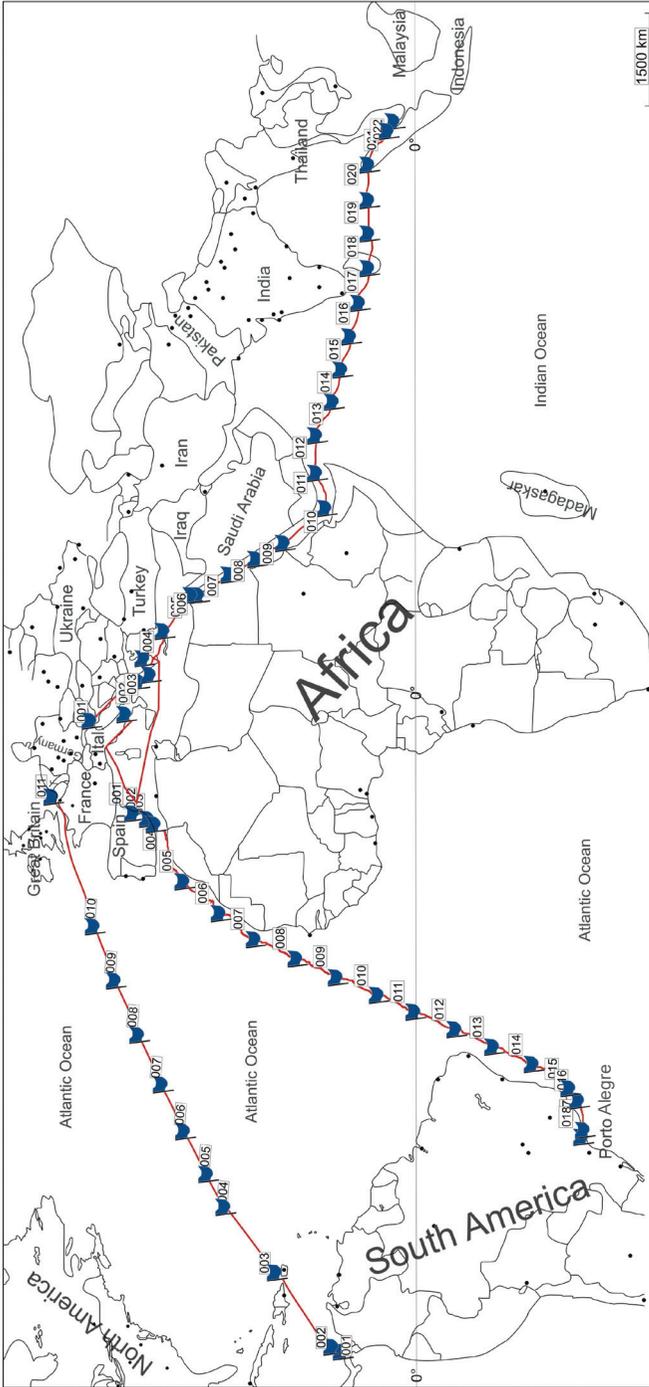
Alle während der Messreisen erhobenen Daten wurden mit der OMEGA-Software

erfasst. Im Anhang dieses Berichts ist das Schlüsselverzeichnis aufgeführt, das im Zusammenhang mit dem Projekt „Ermittlung der UV-Strahlungsexposition bei Seeleuten“ zusammengestellt wurde.

### 2.3 Beschreibung der Messreisen

Insgesamt wurden vier Messreisen auf gängigen internationalen Schifffahrtsrouten durchgeführt, auf denen eine hohe solare UV-Exposition zu erwarten ist. Die Fahrtrouten sind in Abbildung 8 dargestellt. Die erste Reise begann in Tarragona (Spanien) und endete nach der Überquerung des Äquators in Santos (Brasilien). Auf der zweiten Messreise ging es von Balboa (Panama) durch die Karibik nach Zeebrugge (Belgien). Darauf folgte eine Rundreise durch das Mittelmeer: von Neapel über Genua, Barcelona und Valencia nach Piräus. Die letzte Reise führte von Koper (Slowenien) durch das Rote Meer und den Indischen Ozean nach Singapur. Die Reisedauer lag zwischen zehn und 21 Tagen.

Abbildung 8:  
 Routen der vier Messreisen; die Fähnchen entsprechen ungefähr der täglich zurückgelegten Fahrstrecke des jeweiligen Schiffs





# 3 Ergebnisse

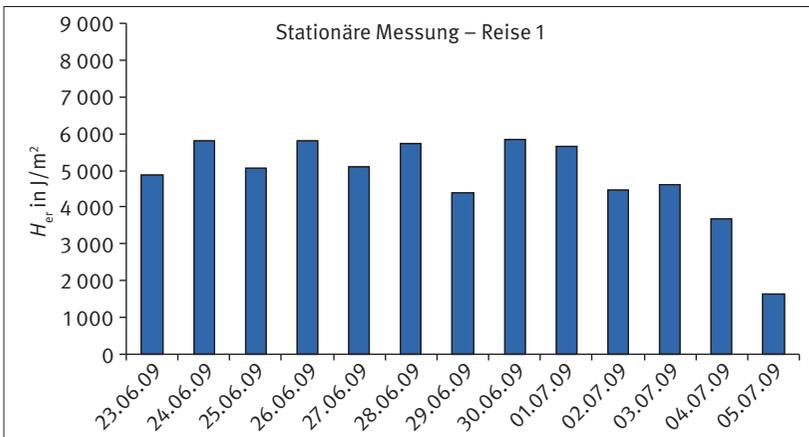
Alle mit den X2000-10-Dosimetern bestimmten Messwerte wurden für die Auswertung korrigiert. Hierzu wurden die vom DWD/MOL-RAO bei der Kalibrierung der Dosimeter ermittelten Korrekturfaktoren unter Berücksichtigung des solaren Zenitwinkels (SZW) und des Breitengrades verwendet (siehe Anhang, [5 bis 7]).

## 3.1 Stationäre Messungen

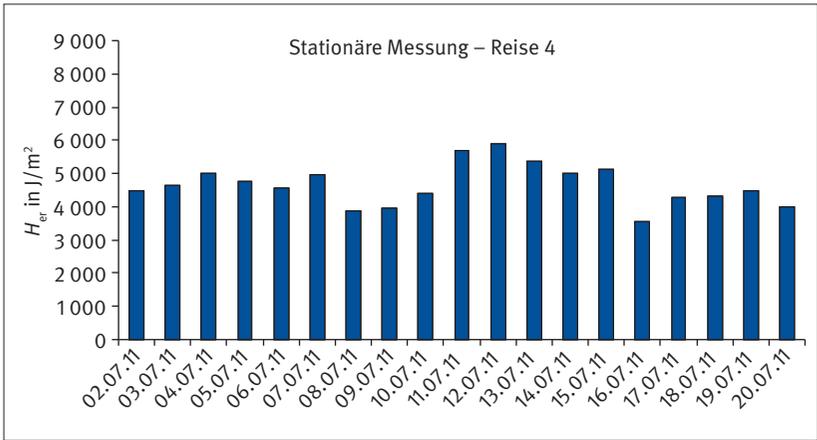
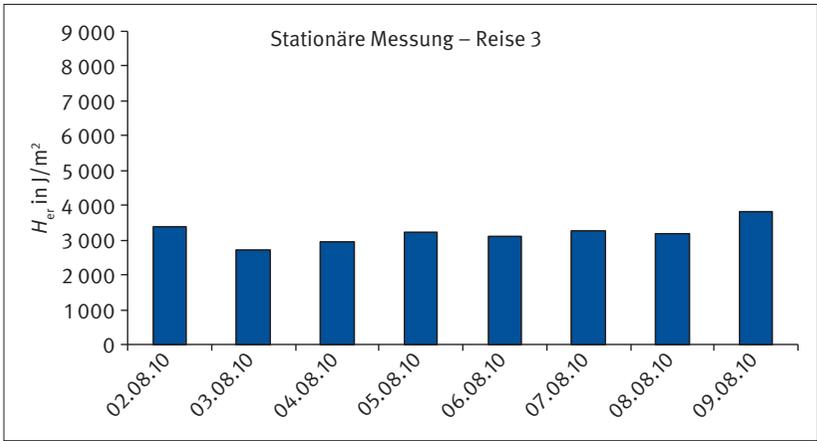
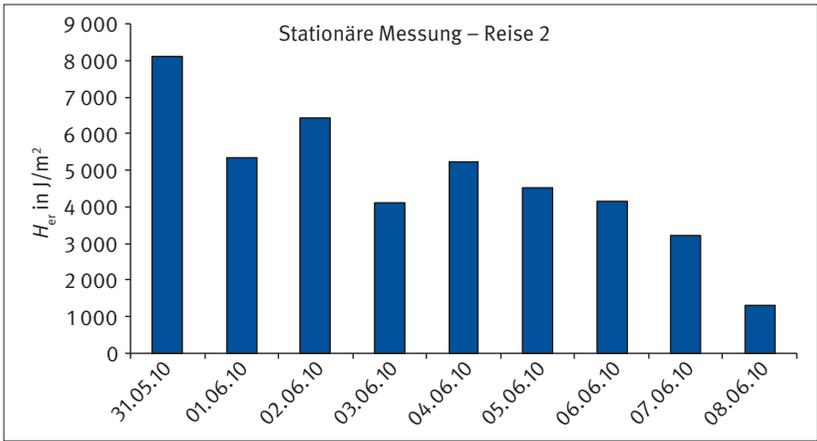
Die Messreisen fanden ausschließlich in den Sommermonaten von Juni bis August statt, sodass auf der Nordhalbkugel grundsätzlich von einer hohen UV-Strahlungsexposition auszugehen ist. Mit dem X2000-10-Dosimeter wurden auf dem Peildeck Messwerte zwischen 1 000 und 8 000 J/m<sup>2</sup> an erythemwirksamer Bestrahlung täglich ermittelt (Abbildung 9).

Der höchste und der niedrigste Wert wurden auf Reise 2 nachgewiesen, die im Juni 2010 von Panama durch die Karibik nach Nordeuropa führte. Weiterhin wurde festgestellt, dass in tropischen und subtropischen Breiten auch an Tagen mit starker Bewölkung eine hohe UV-Strahlungsexposition zu verzeichnen war. So lagen auf Reise 2 am 1. und am 3. Juni 2010 in der Karibik trotz vollständiger Bedeckung des Himmels Werte von 5 500 bzw. 4 500 J/m<sup>2</sup> an erythemwirksamer Bestrahlung ( $H_{er}$ ) vor. Ähnliches wurde auch auf Reise 4 beobachtet. Auf der Fahrt durch die Straße von Malacca nach Singapur, die vom 16. bis zum 20. Juli 2011 stattfand, wurden trotz Nebels und nicht differenzierbarer Bewölkung (sogenannter „chaotischer Himmel“) zwischen 4 000 und 4 600 J/m<sup>2</sup> an erythemwirksamer Bestrahlung bestimmt.

Abbildung 9: Tägliche erythemwirksame Bestrahlung  $H_{er}$  auf dem Peildeck, gemessen mit dem elektronischen Dosimeter X2000-10



### 3 Ergebnisse



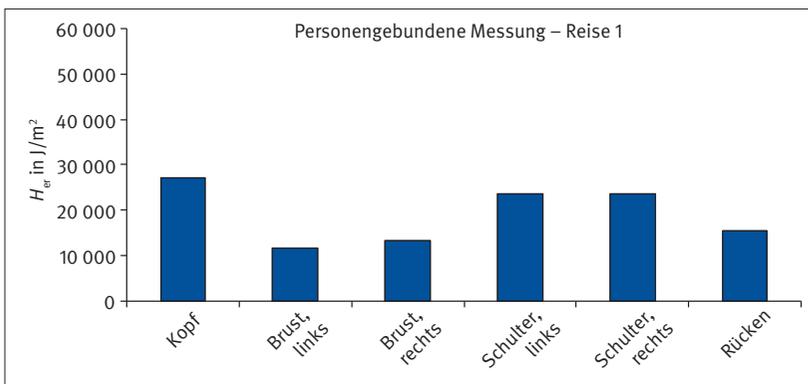
Auf Reise 1 wurden die höchsten UV-Strahlungsexpositionen am 30. Juni 2009 und am 1. Juli 2009 im Bereich des Äquators gemessen. Nach Überquerung des Äquators nahm die erythemwirksame Bestrahlung deutlich ab, da auf der Südhalbkugel Winter herrschte. Ein Breitengradabhängiger Verlauf lässt sich auch aus Reise 2 erkennen. Die UV-Strahlungsexposition nimmt mit der Zunahme des Breitengrads ab. Auf den Reisen 3 und 4 wurden nahezu gleichbleibende Messwerte ermittelt. Bei der Rundreise durch das Mittelmeer lagen zwischen 3 000 und 4 000 J/m<sup>2</sup> und bei der Fahrt durch das Rote Meer und den Indischen Ozean zwischen 3 800 und 6 000 J/m<sup>2</sup> an erythemwirksamer Bestrahlung vor.

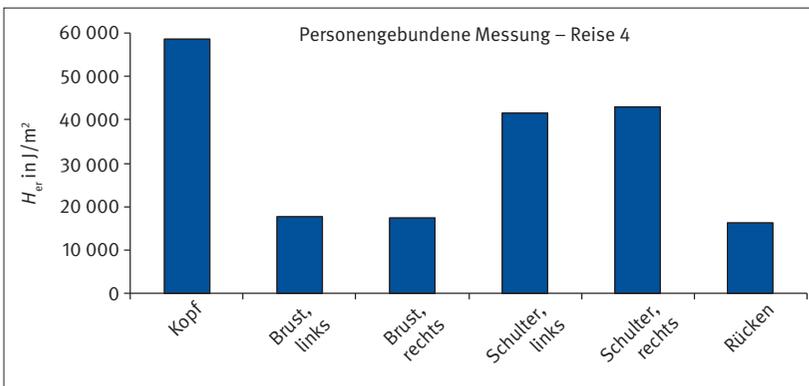
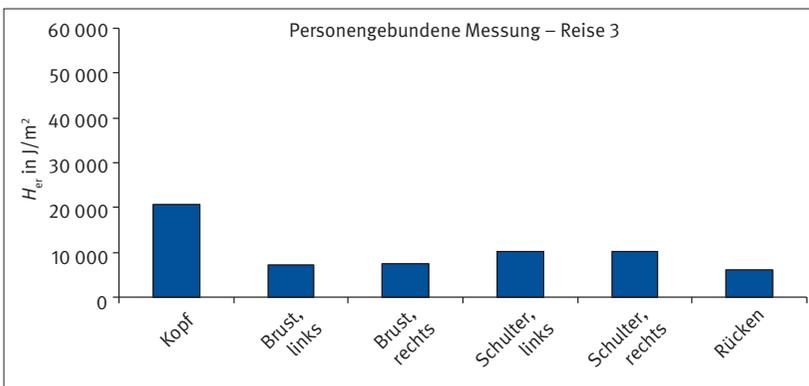
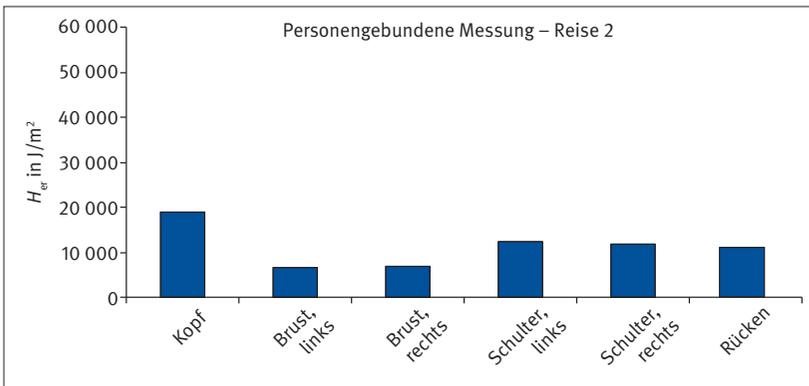
### 3.2 Personengebundene Messungen

Da die Verläufe der personengebundenen Messungen mit dem X2000-10-Dosimeter denen der stationären Messung gleichen, wird hier auf die Darstellung verzichtet. Es besteht lediglich ein Unterschied in der Höhe der erythemwirksamen Bestrahlung, die an der Person grundsätzlich niedriger ausfiel.

In Abhängigkeit von der Dauer der Messreise wurden bei den personengebundenen Messungen mit den VioSpor-Dosimetern unterschiedliche Gesamtsummen an erythemwirksamer Bestrahlung bestimmt (Abbildung 10). Dargestellt ist der Median von Messungen an vier Personen, die sich täglich über einen Arbeitszeitraum von acht Stunden an Deck bewegt und gearbeitet haben. Zu den Tätigkeiten gehörten u. a. Rostklopfen sowie Mal- und Reinigungsarbeiten.

Abbildung 10: Kumulative UV-Strahlungsexposition ( $H_{\text{er}}$ ), gemessen mit den VioSpor-Dosimetern bei der personengebundenen Messung





Da auf Reise 4 über einen Zeitraum von 19 Tagen gemessen wurde, wurden kumulativ mit 58 000 (auf dem Kopf) und 42 000  $J/m^2$  (auf den Schultern) die höchsten Messwerte

für  $H_{er}$  erzielt. Es fällt jedoch auf, dass unabhängig von der Fahrtroute Kopf und Schultern am stärksten gegenüber der UV-Strahlung exponiert waren. Dies ist auf deren

horizontale Ausrichtung (sogenannte „Sonnenterrassen“) zurückzuführen.

### 3.3 Breitengradabhängiger Vergleich der Messreisen

In Abbildung 11 ist die erythemwirksame Bestrahlung  $H_{er}$  bei den jeweiligen Messreisen in Abhängigkeit vom Breitengrad dargestellt. Die Messungen wurden ausschließlich mit dem X2000-10-Dosimeter durchgeführt. Der höchste Messwert mit 8 000 J/m<sup>2</sup> wurde an einem klaren Sommertag auf Reise 2 ermittelt. Tendenziell nahm die UV-Strahlungsexposition beim Vergleich aller Reisen

im Bereich der Subtropen (40 bis 23,5° N) von 2 000 auf 5 000 J/m<sup>2</sup> zu. In den Tropen (0 bis 23,5° N) pendelte sich die erythemwirksame Bestrahlung auf einen Messwert um 6 000 J/m<sup>2</sup> ein, sodass sich eine Plateauphase ergibt.

Ein ähnlicher Verlauf lag auch bei der personengebundenen Messung (Abbildung 12) vor. Die Messwerte fielen jedoch deutlich niedriger aus. Dabei muss berücksichtigt werden, dass das X2000-10-Dosimeter auf dem Rücken angebracht und somit nicht horizontal ausgerichtet war.

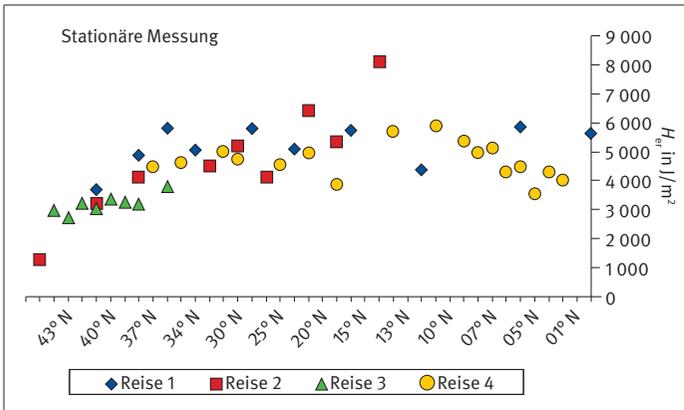


Abbildung 11: Breitengradabhängige erythemwirksame Bestrahlung  $H_{er}$  bei den stationären Messungen auf den Reisen 1 bis 4

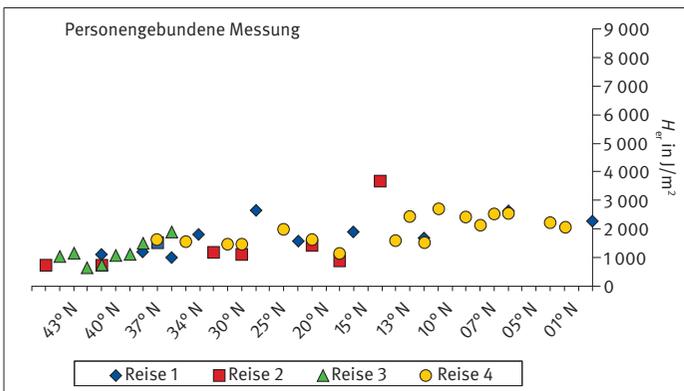


Abbildung 12: Breitengradabhängige erythemwirksame Bestrahlung  $H_{er}$  bei den personengebundenen Messungen auf den Reisen 1 bis 4 (Rückenposition)

Wie bei der stationären Messung wurde der höchste Wert mit  $3\,600\text{ J/m}^2$  auf Reise 2 ermittelt. Tendenziell stieg die erythemwirksame Strahlung auf allen Reisen von  $670\text{ J/m}^2$  bei  $45^\circ\text{ N}$  bis auf Werte um  $2\,500\text{ J/m}^2$  in den Tropen ( $0$  bis  $23,5^\circ\text{ N}$ ) an.

### 3.4 Vergleich der täglichen UV- Bestrahlung an der Person

Um die Fahrtrouten untereinander vergleichen zu können, wurde die mittlere erythemwirksame Bestrahlung pro Tag für die personengebundene Messung berechnet. Tabelle 4 zeigt die mittlere erythemwirksame Bestrahlung pro Tag, die auf den jeweiligen Reisen mit den VioSpor-Dosimetern erzielt wurden. Verglichen werden die Körperpositionen Kopf, Schultern, Brust und Rücken.

Der höchste Wert wurde grundsätzlich auf dem Kopf ermittelt. Darauf folgt der Schulterbereich. Auf der Brust und auf dem Rücken wurde eine deutlich niedrigere Bestrahlung festgestellt.

Anhand der jeweiligen mittleren erythemwirksamen Bestrahlung wurde der Körperstellenfaktor im Vergleich zur Brustposition ermittelt (Tabelle 5). Er gibt an, um welche Faktoren sich  $H_{er}$  an der jeweiligen Körperstelle von dem Wert für die Brustposition unterscheidet. Es zeigte sich, dass die UV-Strahlungsexposition auf dem Kopf ungefähr 2,0- bis 3,2-mal höher ist als auf der Brust. Die Schultern wiesen Faktoren zwischen 1,4 und 2,3 auf. Die UV-Strahlungsexposition auf dem Rücken fiel ähnlich hoch aus wie in der Brustposition.

Tabelle 4: Mittlere erythemwirksame Bestrahlung  $H_{er}$  pro Tag bei der personengebundenen Messung

Dosimeterposition	$H_{er}$ in $\text{J/m}^2$			
	Reise 1	Reise 2	Reise 3	Reise 4
Kopf	1 939,3	1 876,9	2 564,6	2 820,4
Schulter	1 684,3	1 242,1	1 276,0	2 034,8
Brust	946,1	673,7	878,1	871,1
Rücken	1 103,5	630,9	773,9	780,6

Tabelle 5: Körperstellenfaktoren im Vergleich zur Brustposition

Dosimeterposition	Reise			
	1	2	3	4
Kopf	2,0	2,8	2,9	3,2
Schulter	1,8	1,8	1,4	2,3
Rücken	1,2	0,9	0,9	0,9

In Tabelle 6 werden die mit den VioSpor-Dosimetern ermittelten erythemwirksamen Bestrahlungen der jeweiligen Körperstelle mit den entsprechenden Maximalwerten der horizontal ausgerichteten VioSpor-Dosimetern der stationären Messung verglichen. Dabei zeigte sich, dass auf dem

Kopf zwischen 60 und 80 % der maximalen erythemwirksamen Bestrahlung auftritt. Die Schultern erhielten ungefähr die Hälfte der maximalen UV-Strahlungsexposition, während die Brust und den Rücken nur noch zwischen 20 und 30 % der maximalen erythemwirksamen Bestrahlung erreichten.

Tabelle 6:  
Vergleich der UV-Strahlungsexposition der Körperstellen mit den Maximalwerten

Dosimeterposition	Reise			
	1	2	3	4
Kopf	0,6	0,6	0,8	0,7
Schulter	0,5	0,4	0,4	0,5
Brust	0,2	0,2	0,3	0,2
Rücken	0,3	0,2	0,2	0,2



## 4 Verwendung der Messergebnisse und Modellrechnungen

Für die Modellrechnungen wurde das Strahlungstransportmodell LibRadtran [9] verwendet, das auch für Vergleiche mit spektralradiometrischen Messungen des DWD/MOL-RAO eingesetzt wurde [6]. Mit dem Programm wird die auf die Horizontalfläche treffende spektrale Bestrahlungsstärke für vorgegebene geografische und atmosphärische Parameter berechnet. Daraus wurde durch gewichtete Integration über die Wellenlänge mit dem normierten Erythemwirkungsspektrum nach [3] die integrale erythemwirksame Bestrahlungsstärke bestimmt. Die Genauigkeit der Modellrechnung hängt von den Eingabedaten ab. Im vorliegenden Fall liegt die Streuung unter 1 % [10].

### 4.1 Modellrechnungsergebnisse für Meridionalschnitte

Modellrechnungen der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke für einen Meridionalschnitt (Schnitt durch die Erdkugel entlang eines Längengrads) entlang 30° westliche Länge (Atlantik) zwischen den Breitengraden 60° S und 60° N wurden mit dem Ziel durchgeführt, eine Datenbasis typischer täglicher Maximalwerte für den wolkenlosen Fall und verschiedene Jahreszeiten zur Verfügung zu stellen, die auch für die Auswahl geeigneter Dosimetertypen auf den Messfahrten genutzt werden sollten. Die Modellergebnisse sind weder als klimatologische Mittelwerte noch als Rekonstruktion der tatsächlichen Bestrahlungsstärke über dem Ozean zu verstehen. Vielmehr handelt es sich um Richtwerte für die tägliche maximale, auf die Horizontalfläche treffende Dosis der

erythemwirksamen Strahlung für wolkenlose Bedingungen, für die geografische Breite und Jahreszeit gemittelte Werte des Ozongesamtgehalts und geringe Aerosoltrübung sowie die für Ozeane typischen optischen Charakteristiken atmosphärischer Aerosole. Die Werte der unter bewölkten Bedingungen auf die Horizontalfläche treffende Bestrahlungsstärke sollten außer in Fällen extrem geringer Ozonwerte und/oder hoch reichender Cumulonimbus-Wolken, die sich gegenüber der scheinbaren Sonnenposition auftürmen, geringer als die modellierten Werte sein.

Die Berechnungen der spektralen Bestrahlungsstärke für die Horizontalfläche im Meeresspiegelniveau erfolgte entlang des Meridians 30° W (Atlantik) zwischen 60° S und 60° N in Schritten der geografischen Breite von 5° und für Zeitschritte von zehn Minuten zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang. Der im Jahresverlauf variable Abstand Erde/Sonne wurde berücksichtigt. Als Aerosolparameter wurden die für eine maritime tropische reine Atmosphäre geltenden typischen Werte der Einfachstreuabdo von 0,99 und des Asymmetrieparameters von 0,77, ein für den UV-Bereich typischer Wellenexponent von 0,07 und ein Trübungskoeffizient von 0,0537 verwendet [11]. Die verwendeten Absorptionskoeffizienten des Ozons nach [12] hatten sich in Vergleichen mit Messungen in Lindenberg bewährt.

Als Werte des Ozongesamtgehalts wurden Mittelwerte aus Satellitenmessungen über einen Zeitraum von fünf Jahren des Ozone

Monitoring Instruments (OMI) für die jeweiligen Koordinaten verwendet [13].

Die modellierten Bestrahlungsstärken der erythemwirksamen Strahlung unter wolkenlosen Bedingungen in Abhängigkeit von der geografischen Breite zwischen 60° S und 60° N sind für die Sonnenwende (21. Juni und 21. Dezember) und die Tagundnachtgleichen (21. März und 23. September) in Abbildung 13 dargestellt. Der in der rechten Ordinatenskala angegebene UV-Index erreicht in tropischen Regionen aufgrund der kleinen solaren Zenitwinkel (SZW) und des geringen Ozongehalts Werte von mehr als 17 und geht in mittleren Breiten im Winter auf Werte unter 1 zurück. Aufgrund der in der Südhemisphäre

geringeren Ozonwerte ist die erythemwirksame Strahlung bei gleichem SZW größer als in der Nordhemisphäre. Während der UV-Index beispielsweise bei 30° S am 21. Dezember einen Wert von 17 überschreitet, erreicht er bei 30° N am 21. Juni nur einen Wert zwischen 13 und 14.

Abbildung 14 zeigt die in den Modellrechnungen verwendeten Werte des Ozongesamtgehalts mit niedrigen Werten in tropischen Regionen und höchsten Werten auf der Nordhalbkugel im Frühjahr. Die Ausdünnung des Ozons in mittleren südlichen Breiten im Frühjahr (23. September) ist Folge des antarktischen Ozonminimums.

Abbildung 13: Modellierte erythemwirksame Bestrahlungsstärke (linke Ordinatenskala) und UV-Index (rechte Ordinatenskala) im wolkenlosen Fall in Abhängigkeit von der geografischen Breite entlang des Meridians 30° W für Sonnenwende sowie für Tagundnachtgleichen

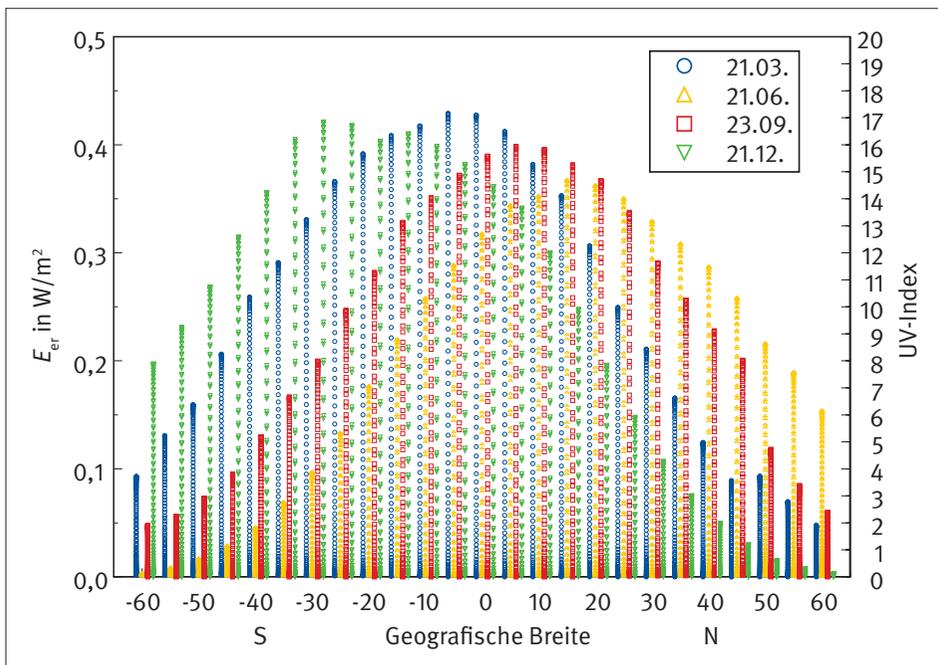
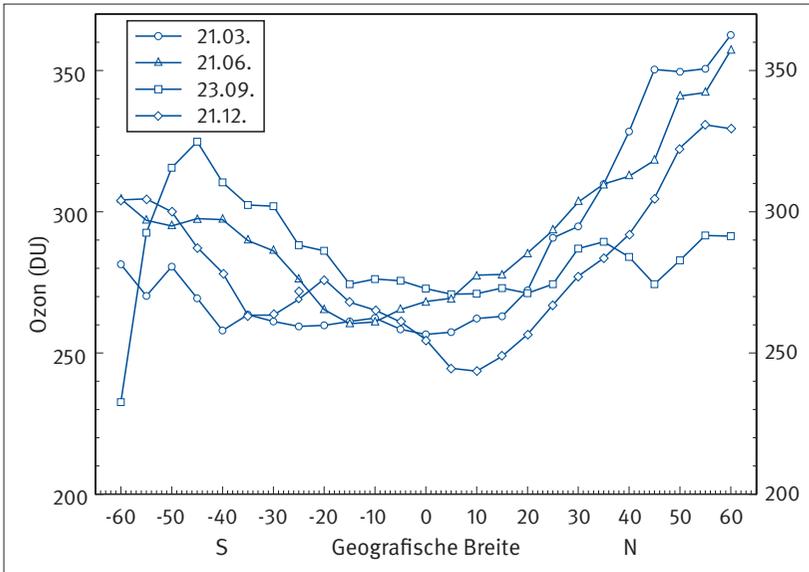


Abbildung 14:

Ozongesamtgehalt aus OMI-Satellitenmessungen (Mittel 2005 bis 2009) entlang des Meridians 30° W [13]



Stundensummen der erythemwirksamen Bestrahlung nahe dem lokalen mittäglichen Sonnenhöchststand (12 bis 13 wahre Ortszeit) sind in Abbildung 15 dargestellt. In der rechten Ordinatenkala sind Vielfache der Minimalen Erythemdosis (MED) für Hauttyp II (1 MED = 250 J/m<sup>2</sup> für Hauttyp II) eingetragen (nach Fitzpatrick [14], siehe Anhang). Zur Tagundnachtgleiche im Frühjahr (21. März) in tropischen Gebieten und zur Sommersonnenwende in subtropischen Breiten der Südhemisphäre werden in der Mittagsstunde bis zu ca. 6 MED erreicht; das entspricht einer Bestrahlungsdauer bis zum Erreichen einer minimalen Hautrötung für Hauttyp II von zehn Minuten. Ähnlich wie bei der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke macht sich

auch in der erythemwirksamen Bestrahlung für die Mittagsstunde der Einfluss des in der Südhemisphäre im Vergleich zur Nordhemisphäre geringeren Ozongesamtgehalts bemerkbar. Während bei 30° N zur Sommersonnenwende (21. Juni) in der Mittagsstunde ca. 4,8 MED erreicht werden, sind es bei 30° S am 23. September immerhin ca. 6 MED.

Die Tagessummen der erythemwirksamen Bestrahlung erreichen Höchstwerte um 37 MED bei 30° S im Südsommer (21. Dezember, Abbildung 16). Die maximale tägliche Bestrahlung im Sommer der Nordhemisphäre bei 30° N ist mit ca. 30 MED am 21. Juni geringer als in der Südhemisphäre.

#### 4 Verwendung der Messergebnisse und Modellrechnungen

Abbildung 15:

Stundensummen der erythemwirksamen Strahlung (linke Ordinaten skala) und Vielfache der Minimalen Erythemdosis für Hauttyp II (rechte Ordinaten skala) zwischen 12 und 13 wahrer Ortszeit (WOZ) in Abhängigkeit von der geografischen Breite entlang des Meridians 30° W für Sonnenwenden sowie für Tagundnachtgleichen

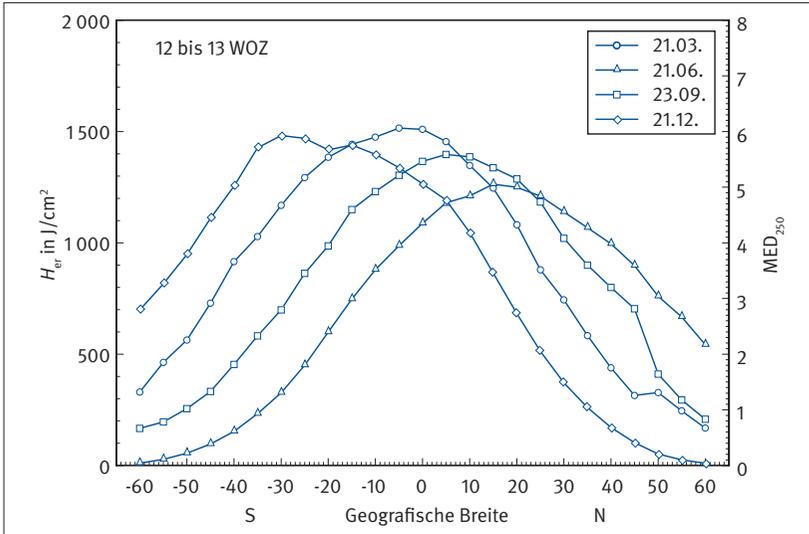
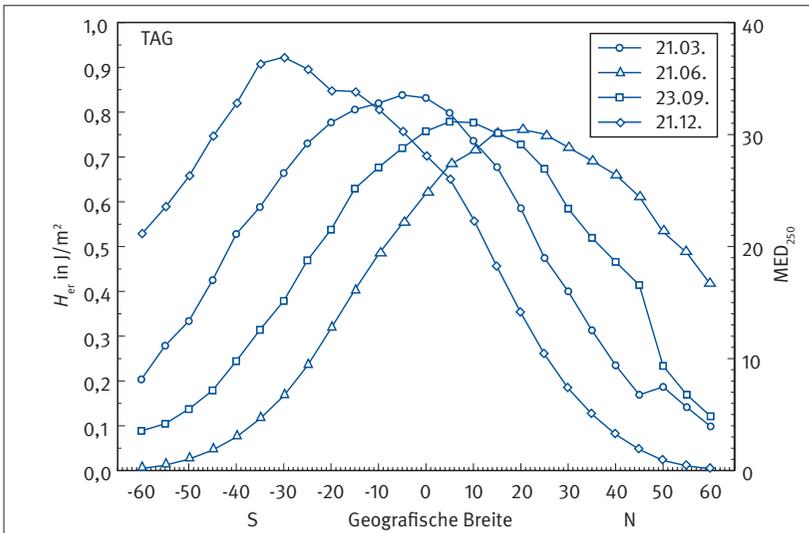


Abbildung 16:

Tagessummen der erythemwirksamen Bestrahlung (linke Ordinaten skala) und Vielfache der Minimalen Erythemdosis für Hauttyp II (rechte Ordinaten skala) in Abhängigkeit von der geografischen Breite entlang des Meridians 30° W für Sonnenwenden sowie für Tagundnachtgleichen



## 4.2 Modellrechnungsergebnisse entlang der Fahrtrouten

Die Modellrechnungen der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke entlang der unter Abschnitt 2.3 beschriebenen Schifffahrtsrouten wurden mit dem Ziel durchgeführt, Basiswerte zu bestimmen, die für die Beurteilung der Schiffsmessungen herangezogen werden können. Die Berechnungen wurden für den wolkenlosen Fall und sehr geringe Werte der aerosoloptischen Dicken, jedoch mit den für die jeweilige Schiffposition aus den an  $(1 \times 1)^\circ$ -Gitterpunkten abgeleiteten aktuellen Satellitenwerten des atmosphärischen Ozongesamtgehalts vorgenommen. Als Albedo der Unterlage wurde das spektrale Reflexionsvermögen für Wasser mit Werten im UV-Bereich von ca. 4 bis 6 % genutzt. Die Modellergebnisse dürften somit als

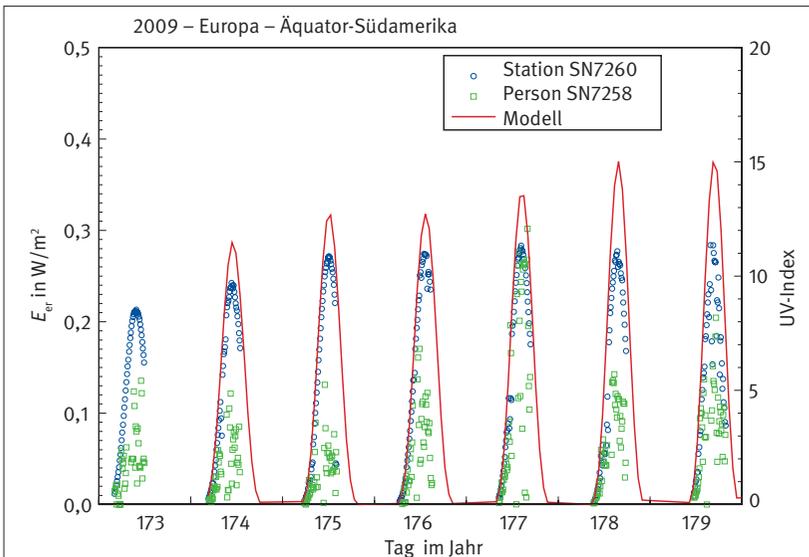
Bezugswerte für die höchsten erreichbaren Werte der auf die Horizontalfläche treffenden erythemwirksamen Bestrahlung gelten, die von den Messwerten außer im Falle sich hoch auftürmender kumuliformer Wolken gegenüber der scheinbaren Sonnenposition nicht überschritten werden sollten.

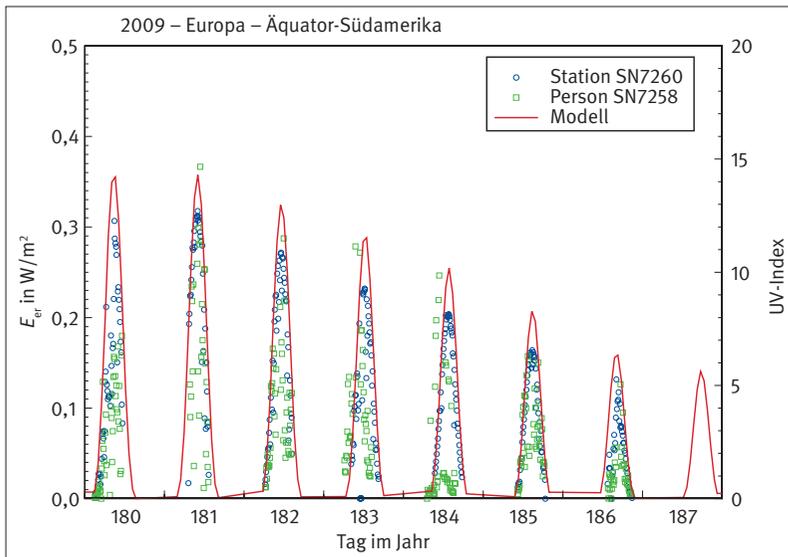
### 4.2.1 Reise 1

Die für Zehnminutenabstände vorhandenen Messwerte der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke aus den Messungen mit dem Dosimeter X2000-10 an der Station (weitgehend horizontalfrei) sowie an der Person, die während der Reise von Europa nach Südamerika erfasst wurden, sind im Vergleich mit den modellierten Werten (Zehnminutenwerte) in Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 17:

Erythemwirksame Bestrahlungsstärke (linke Ordinatenkala) und UV-Index (rechte Ordinatenkala) nach Messungen mit dem Dosimeter X2000-10 an der Station und an der Person (Zehnminutenwerte) im Vergleich zu Modellrechnungen für wolkenlosen Himmel (Zehnminutenwerte).





Die Tagesmaxima der erythemwirksamen Bestrahlung nehmen vom Tag 173 (22. Juni 2009, keine GPS-Daten) bis zum Tag 179 (28. Juni 2009) in Richtung Äquator zu und danach bis zum Tag 187 (6. Juli 2009, keine Messwerte) mit zunehmender Entfernung vom Äquator wieder ab (siehe auch Abschnitt 3.1).

#### 4.2.2 Reise 2

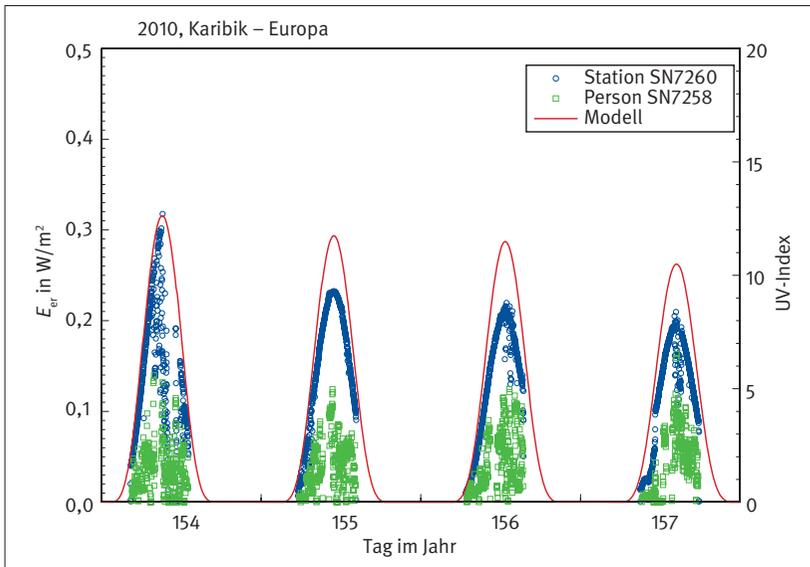
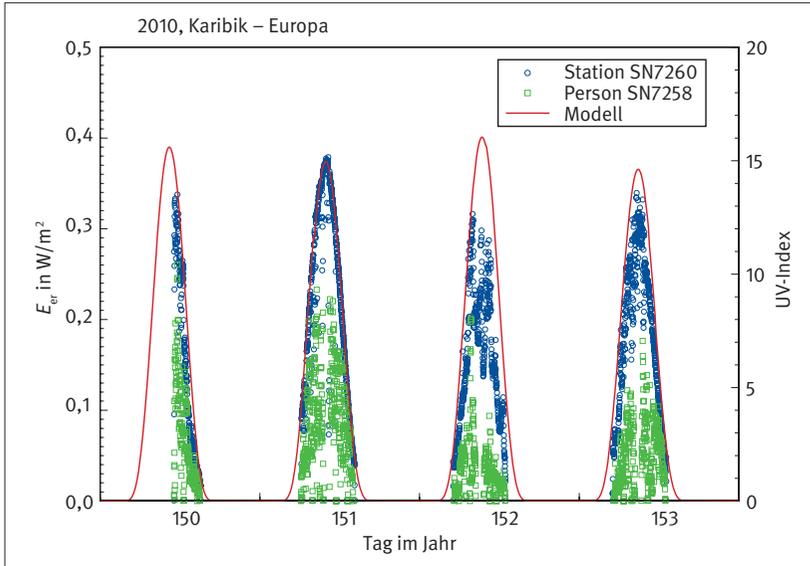
Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs zwischen Modellrechnung und

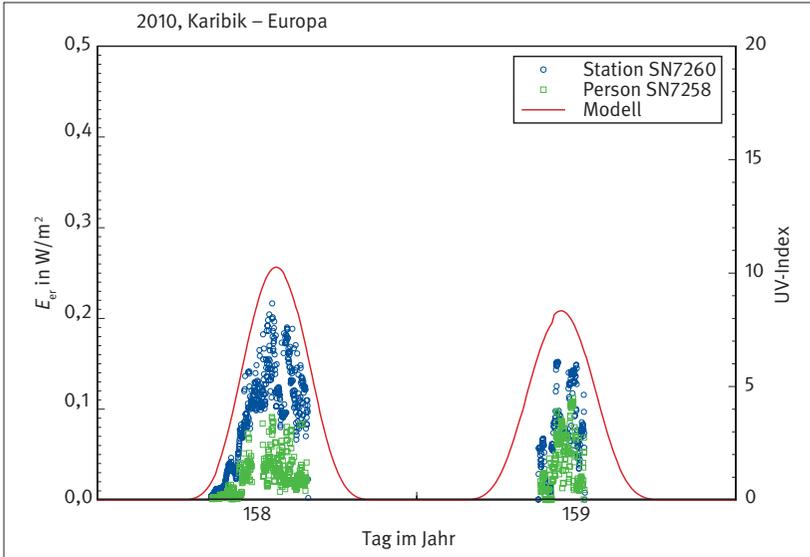
Messung für die Karibikfahrt 2010. Die Ergebnisse für die Station sowie die Messungen an der Person im Vergleich zu den Modellwerten sind ähnlich wie auf Reise 1.

Die Vergleiche zwischen den Messwerten des möglichst horizontfrei auf dem Peildeck aufgestellten Messbalkens (stationäre Messung) mit den Modellrechnungen zeigen, dass diese mit den Ergebnissen der Modellrechnungen kompatibel sind.

Abbildung 18:

Erythemwirksame Bestrahlungsstärke (linke Ordinatenkala) und UV-Index (rechte Ordinatenkala) nach Messungen mit dem Dosimeter X2000-10 an der Station und an der Person (Zehnminutenwerte) im Vergleich zu Modellrechnungen für wolkenlosen Himmel (Zehnminutenwerte)





### 4.2.3 Reise 3

Die Abbildungen 19 und 20 zeigen die Ergebnisse der Messungen und Modellrechnungen für die Tage 215 (3. August 2010) und 221 (9. August 2010) der Mittelmeerfahrt, an denen zusätzlich Messwerte nahe gelegener Landstationen verfügbar sind. Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen Messungen

und Modellrechnung ähneln denen der vorhergehenden Fahrten. Aufgrund der variablen räumlichen Differenzen zwischen Schiffposition und Messstation von bis zu mehreren Hundert Kilometern können vor allem bei Bewölkung Unterschiede zwischen den auf dem Schiff erfassten Messwerten und den Landstationswerten auftreten.

Abbildung 19:

Werte der erythemwirksamen Bestrahlung (linke Ordinatenkala) und des UV-Index (rechte Ordinatenkala) am 3. August 2010 auf der Mittelmeerfahrt entlang der italienischen Küste von der geografischen Breite Roms bis zum Hafen von Genua (ca. 41,5° N, 11,5° E bis 44,4° N, 8,9° E) nach Messungen mit dem Dosimeter X2000-10 an der Station und an der Person. Zusätzlich dargestellt sind die Ergebnisse von Modellrechnungen sowie die durch das Brewer-Spektralradiometer Nr. 63 an der Universität von Rom gemessenen Werte [15]. Im oberen Teil der Abbildung sind die SZW entlang der Fahrtroute und an der Station Rom dargestellt

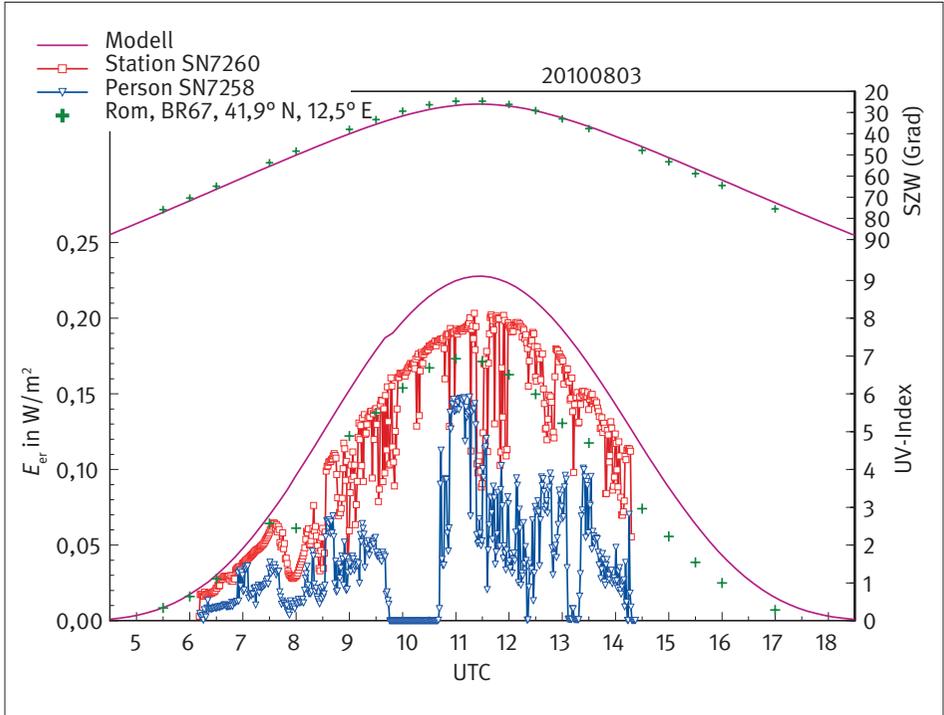
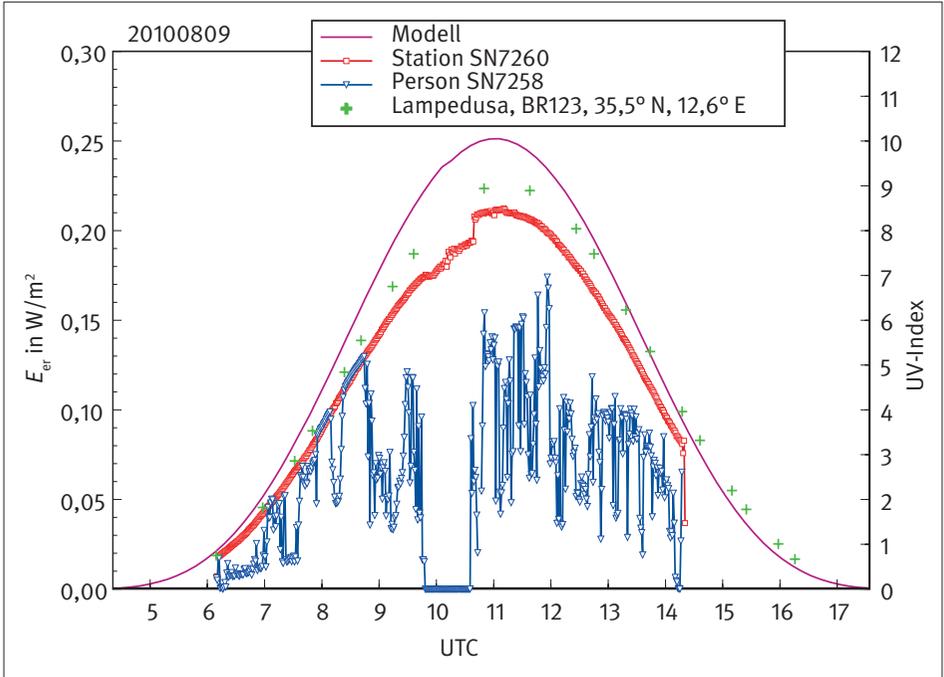


Abbildung 20:

Werte der erythemwirksamen Bestrahlung (linke Ordinaten-skala) und des UV-Index (rechte Ordinaten-skala) am 9. August 2010 auf der Mittelmeerfahrt (zwischen 36,9° N, 12,5° E und 36,0° N, 18,6° E) nach Messungen mit dem Dosimeter X2000-10 an der Station und an der Person. Zusätzlich dargestellt sind die Ergebnisse von Modellrechnungen sowie die durch ein Brewer-Spektralradiometer an der Station Lampedusa gemessenen Werte [16]



**4.2.4 Reise 4**

Die Fahrtroute verlief von Koper (Slowenien) über Port Said am Suez-Kanal durch den Indischen Ozean über die Andamanensee und die Straße von Malacca bis nach Singapur. Sie überdeckte einen Bereich geografischer Breiten von ca. 45° N bis 1° N und geografischer Längen von 14° E bis 104° E bei einer Fahrtstrecke von rund 12 000 km.

Da geografische Koordinaten vom GPS-Gerät im einminütigen Abstand erst ab dem 11. Juli 2011 zur Verfügung standen, wurden die Modellrechnungen zur Bestimmung der

erythemwirksamen Bestrahlungsstärke entlang der Fahrtroute von ca. 500 km östlich des Golfes von Aden im Indischen Ozean (14° N, 55° E) bis zur Straße von Malacca (1,8° N, 102,3° E) kurz vor der Ankunft in Singapur ausgeführt.

Für den Zeitraum zwischen dem 11. und 20. Juli 2011, in dem Schiffskoordinaten vom GPS-Gerät verfügbar sind, wurden mit dem Strahlungsmodell LibRadtran die Bestrahlungsstärkewerte entlang der Fahrtroute zwischen jeweils Sonnenauf- und Sonnenuntergang im Abstand von zehn Minuten berechnet [9]. Die mit dem Modell

berechneten Werte des UV-Index sind zusammen mit den Messwerten in den Abbildungen 21 und 22 dargestellt. Exemplarisch wurden die Messungen am 12. und 16. Juli 2011 ausgewählt.

Die Messwerte an der Station auf dem Peildeck liegen bis auf wenige Ausnahmen unter denen der Modellrechnung. In einigen Fällen kam es durch Streuung der Solarstrahlung an Wolkenrändern kurzzeitig zu einer Erhöhung der die Erdoberfläche erreichenden

Strahlung über die für wolkenlosen Himmel erreichbaren Werte. Am 16. Juli 2011 zeigen die Messwerte an der Station den sehr unterschiedlichen Einfluss der Wolken auf die UV-Strahlung. Unmittelbar vor und unmittelbar nach der Passage einer optisch dicken Wolke, die zur Verringerung des UV-Index an der Station auf Werte um 4 führte, waren die UV-Indexwerte durch Rückstreuung der Strahlung von den Wolkenrändern kurzzeitig auf 10 bis 12 angestiegen.

Abbildung 21:  
Erythemwirksame Bestrahlungsstärke (linke Ordinatenkala) und UV-Index (rechte Ordinatenkala) nach Messungen mit dem Dosimeter X2000-10 an der Station und an der Person (Zehnminutenwerte) im Vergleich zu Modellrechnungen für wolkenlosen Himmel (Zehnminutenwerte)

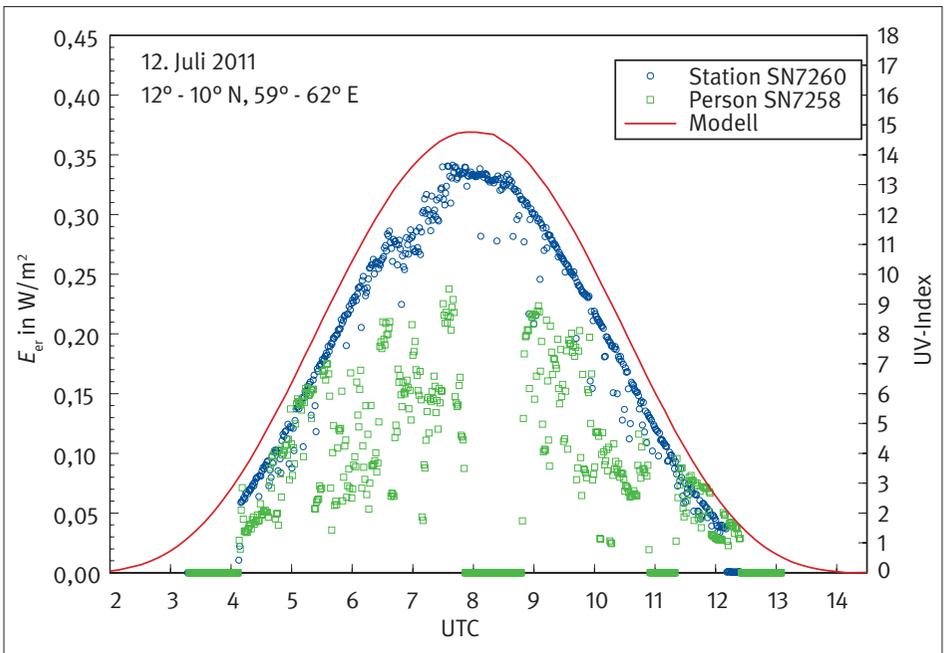
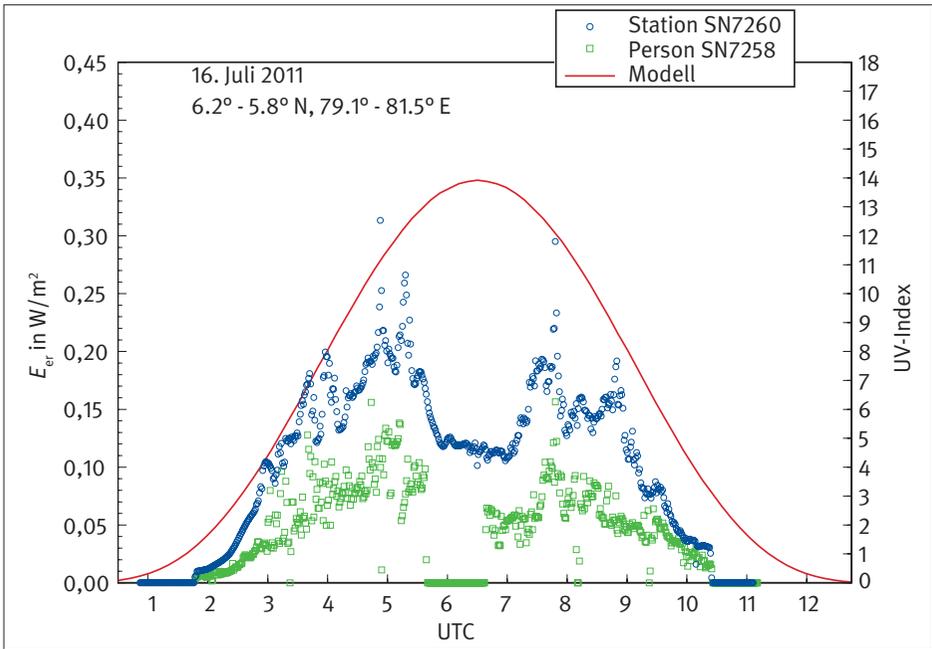


Abbildung 22:

Erythemwirksame Bestrahlungsstärke (linke Ordinatenkala) und UV-Index (rechte Ordinatenkala) nach Messungen mit dem Dosimeter X2000-10 an der Station und an der Person (Zehnminutenwerte) im Vergleich zu Modellrechnungen für wolkenlosen Himmel (Zehnminutenwerte)



Bemerkenswert ist die Tatsache, dass für größere solare Zenitwinkel die an der Person mit dem Dosimeter X2000-10 gemessenen Werte den an der Station gemessenen Werten nahe kommen oder diese in einigen Fällen überschreiten (Abbildung 21). Hierfür ergeben sich folgende Erklärungsmöglichkeiten:

- Das Dosimeter an der Person ist zeitweise zur Sonne ausgerichtet und misst dementsprechend höhere Werte als an der stationären Messung oder
- die Person hielt sich in der Nähe heller Schiffsaufbauten und/oder auf einem hellen Schiffsdeck auf, die im UV-Bereich stark die ultraviolette Solarstrahlung reflektieren, oder
- es befand sich stark streuende Bewölkung gegenüber der niedrig über dem Horizont befindlichen Sonnenposition, die zur Erhöhung der Strahlung auf die stark geneigte oder vertikale Empfängerfläche an der Person führte.

## 5 Ausblick

Die Kombination aus Messwerten der auf die Horizontalfläche und auf geneigte, bewegte Körperflächen treffenden Strahlung mit den Ergebnissen von Strahlungstransport-Modellrechnungen können als Datenbasis für die Abschätzung der individuellen Strahlungsexposition einer Person dienen. Anhand der individuellen Angaben einer Person über Zeitraum der Fahrt, Fahrtroute und Art der Tätigkeit an Bord können unter Nutzung der in dem Projekt ermittelten Basisdaten

- wahrscheinliche Höchstwerte der Strahlungsexposition abgeleitet werden, die für wolkenlose Bedingungen, für geringe Aerosoltrübung und für die horizontale Empfängerfläche gelten, und
- wahrscheinliche Werte für die Horizontalfläche unter Berücksichtigung des typischen Einflusses atmosphärischer Bedingungen (Wolken, Aerosol) sowie für verschiedene Körperflächen einer Person, die typische Decksarbeiten an Bord ausführt, bestimmt werden.



# 6 Präventionsmaßnahmen

An einer Textilprobe von einem fabrikneuen Overall, der üblicherweise an Bord als Arbeitsbekleidung eingesetzt wird, und einem mehrfach getragenen und gewaschenen T-Shirt bestimmte das IFA die Transmission (Durchlässigkeit bzgl. UV-A- und UV-B-Strahlung). Die Textilprobe wurde in Anlehnung an DIN EN 13758-1 untersucht [17]. Dabei wurde die UV-Filterwirkung des Textils

mittels Transmissionsspektrometrie gemessen. Die Probe wurde im spannungslosen, trockenen Zustand überprüft. Das T-Shirt wurde ebenfalls in Anlehnung an [17] in verschiedenen Bereichen – Ärmel, Schulter, Brust und Rücken – untersucht.

Abbildung 23 und Tabelle 8 fassen die Ergebnisse der Untersuchung zusammen.

Abbildung 23:  
Transmissionsgrad verschiedener Textilproben

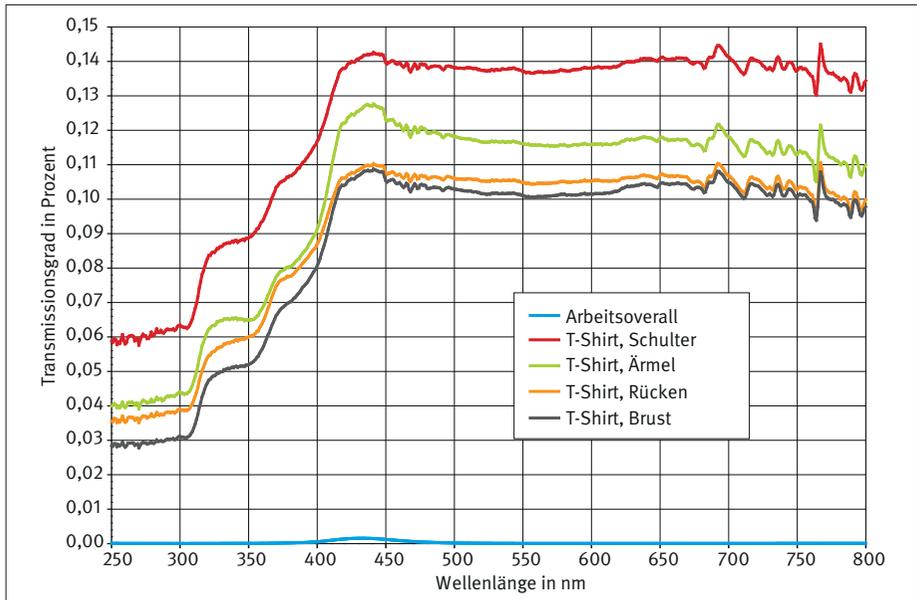


Tabelle 8:

Transmissionsgrad verschiedener Textilproben; UPF = Ultraviolet Protection Factor

Textilprobe	UV-A-Durchlässigkeit in %	UV-B-Durchlässigkeit in %	UPF
Arbeitsoverall	< 0,1	< 0,1	> 50
T-Shirt, Ärmel	7,2	4,5	20
T-Shirt, Schulter	9,6	6,5	14
T-Shirt, Brust	6,0	3,2	27
T-Shirt, Rücken	6,7	4,0	22

Die Textilprobe vom Arbeitsoverall ließ weniger als 0,1 % an UV-A- und UV-B-Strahlung durch. Im Vergleich dazu wies das T-Shirt in Abhängigkeit von der Messposition eine UV-A-Durchlässigkeit zwischen 6,0 und 9,6 % und eine UV-B-Durchlässigkeit zwischen 3,2 und 6,5 % auf.

Angelehnt an den Lichtschutzfaktor von Sonnencremes gibt es für Textilien den Ultraviolet Protection Factor (UPF). Der UPF des fabrikneuen Arbeitsoveralls liegt über 50, sodass man nach dem Europäischen Standard von einem hervorragenden UV-Schutz ausgehen kann. Im Vergleich dazu bietet das T-Shirt zwar einen UV-Schutz, der jedoch deutlich geringer ausfällt.

Grundsätzlich sollte geeignete, den Körper bedeckende Kleidung mit einem UPF von mindestens 40 getragen werden [17]. Weiterhin sollten Kopfbedeckungen verwendet werden, die z. B. eine breite Krempe oder einen Nackenschutz besitzen. Auf Hautpartien, die nicht von der Kleidung abgedeckt wird, sollte eine wasserfeste Sonnenschutzcreme mit einem Lichtschutzfaktor (LSF) von mindestens 30 aufgetragen werden. Außerdem sollte eine Sonnenbrille getragen werden mit ausreichender UV-Absorption („UV 400“), die vor seitlicher Sonneneinstrahlung schützt (siehe Abbildung 24).

Abbildung 24:

Faltblatt der BG Verkehr zum Schutz vor natürlicher UV-Strahlung an Bord von Seeschiffen

## Welcher Sonnenschutz ist sinnvoll?



## Schutz vor natürlicher UV-Strahlung an Bord von Seeschiffen



**BG Verkehr**  
Berufsgenossenschaft für  
Transport und Verkehrswirtschaft



**IFA**  
Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

**BG Verkehr**  
Geschäftsbereich Prävention  
Ottenser Hauptstraße 54  
22765 Hamburg  
Telefon: +49 40 3980-0  
E-Mail: praevention@bg-verkehr.de  
www.bg-verkehr.de

**IFA**  
Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung  
Alle Heerstraße 111  
53757 Sankt Augustin  
Tel.: 02241 2 31-02  
Fax: 02241 2 31-2234

- Tragen von geeigneter Körper bedeckender Kleidung, die mindestens über einen UV-Schutzfaktor von 15 (Australian / New Zealand Standard) oder von 40 (EN 13758:1999) verfügt,
- Tragen von Kopfbedeckungen, die z.B. eine breite Krempe oder einen Nackenschutz besitzen,
- Verwendung von wasserfesten Sonnenschutzcremes mit einem Lichtschutzfaktor von mindestens 30 und
- Tragen von Sonnenschutzbrillen. Die Sonnenbrille sollte eine ausreichende UV-Absorption aufweisen („UV 400“) und vor seitlicher Sonneneinstrahlung schützen.



### Was ist natürliche UV-Strahlung ?



- Natürliche UV-Strahlung wird von der Sonne abgestrahlt und ist für das menschliche Auge nicht sichtbar.
- Ihre Stärke hängt ab von:
  - Sonnenstand,
  - Breitengrad,
  - Höhe über Normalnull,
  - Gesamtzongehalt,
  - Bewölkung und
  - reflektierenden Oberflächen (z.B. glatte Wasseroberflächen, weiße oder glänzende Oberflächen)

### Wie wirkt die natürliche UV-Strahlung auf den Menschen ?

- In geringen Dosen ist die natürliche UV-Strahlung lebensnotwendig. Abhängig von Dauer und Stärke können jedoch schwerwiegende Schäden an Augen und Haut auftreten.
- Man unterscheidet:
  - akute Wirkungen, wie Sonnenbrand und Hornhautentzündung des Auges
  - chronische Schäden, wie grauer Star und Hautkrebs, die erst nach Jahrzehnten bemerkt werden.

### Woran erkennt man ein malignes Melanom ?

- Es kann sich an Pigmentmalen entwickeln und folgendermaßen erkannt werden:
  - A – Asymmetrie: Das Pigmentmal ist weder rund noch oval.
  - B – Begrenzung: Der Rand des Mals ist unregelmäßig oder unscharf.
  - C – Color: Die Pigmentierung fällt unterschiedlich und mehrfarbig aus.
  - D – Durchmesser: Das Mal vergrößert sich innerhalb kurzer Zeit.
  - E – Erhabenheit: Das Mal ist uneben.

### Sind Seeleute gefährdet ?

- Seit zwei Jahren verzeichnet die BG Verkehr eine deutliche Zunahme der Hautkrebserkrankungen (vorrangig im Gesicht und auf den Schultern) bei Seeleuten, die auf Weltweiter Fahrt im Decksdienst tätig waren.
- 
- Um festzustellen, ob Seeleute der natürlichen UV-Strahlung stärker als die übrige Bevölkerung ausgesetzt sind, werden derzeit Dosimetermessungen unter realistischen Arbeitsbedingungen vorgenommen.
  - Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass insbesondere im Sommer in sub- und tropischen Breiten auf dem Kopf und auf den Schultern innerhalb weniger Stunden eine hohe UV-Strahlung erreicht wird.

# Literatur

- [1] *Drexler, H.; Diepgen, T. L.; Schmitt, J.; Schwarz, T.; Letzel, S.:* Arbeitsbedingte UV-Exposition und Malignome der Haut. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 47 (2012) Nr. 10, S. 550-554
- [2] DIN EN 14255-3:2008: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 3: Von der Sonne emittierte UV-Strahlung (3/2008). Teil 4: Terminologie und Größen für die Messung von UV-, sichtbaren und IR-Strahlungs-Expositionen (2/2007). Beuth, Berlin
- [3] *McKinlay, A. F.; Diffey, B. L.:* A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE Research Note, CIE-Journal* 6 (1987) Nr. 1, S. 17-22
- [4] *Knuschke, P.; Unverricht, I.; Aschoff, R.; Cuevas, M.; Janßen, M.; Koch, E.; Krüger, A.; Ott, G.; Thiele, A.:* Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien. 1. Aufl. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund 2010
- [5] Bericht über Vergleichsmessungen der erythemwirksamen Bestrahlung im Rahmen des Projekts 4153 „Ermittlung der Strahlenexposition von Seeleuten“. Interner DWD-Bericht vom 20.08.2009
- [6] Bericht über Vergleichsmessungen der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke im Rahmen des Projekts 4153 „Ermittlung der Strahlenexposition von Seeleuten“. Interner DWD-Bericht vom 27.04.2010
- [7] Bericht über Vergleichsmessungen der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke am Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, Südafrika im November 2010. Interner DWD-Bericht vom 20.12.2010
- [8] *Wolkenatlas für die Wetterbeobachtung auf See.* 2. Aufl. Hrsg.: Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Hamburg 1993
- [9] *Mayer, B.; Kylling, A.; Hamann, U.; Emde, C.:* LibRadtran. Library for radiative transfer calculations. Edition 1.0 for LibRadtran version 1.4. December 2008, S. 1-78
- [10] *Mayer, B.:* Modelling of surface UV radiation. In: *One Century of UV radiation Research.* Davos, Schweiz, 18.-20. September 2007
- [11] *Hess, M.; Koepke, P.; Schult, I.:* Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 79 (1998), S. 831-844
- [12] *Bass, A. M.; Paur, R. J.:* The ultraviolet cross-sections of ozone: I. The measurements. In: *Zerefos, C. S.; Ghazi, A. (Hrsg.): Atmospheric ozone. Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium held in Halkidiki, Greece*

- 3-7 September 1984. S. 606-610.  
Springer Netherlands, Dordrecht 1985
- [13] Ozone Monitoring Instrument (OMI).  
Hrsg.: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de Bilt, Niederlande 2010. [www.knmi.nl/omi](http://www.knmi.nl/omi)
- [14] *Fitzpatrick, T. B.*: Ultraviolet-induced pigmentary changes: Benefits and hazards. In: *Hönigsmann, H.; Stingl, G.* (Hrsg.): Current Problems in Dermatology, Bd. 15. S. 25-38. Karger, Basel 1986
- [15] *Siani, A.*: Persönliche Mitteilung 2010
- [16] *Di Sarra, A.*: Persönliche Mitteilung 2010
- [17] DIN EN 13758-1: 2006: Textilien – Schutzeigenschaften gegen ultraviolette Sonnenstrahlung – Teil 1: Prüfverfahren für Bekleidungstextilien (3/2007). Beuth, Berlin 2007

# Anhang

## A1 Referenzmessungen

Beim Deutschen Wetterdienst – Meteorologisches Observatorium Lindenberg – wurden Vergleichsmessungen mit Referenzgeräten durchgeführt, die üblicherweise zur Erfassung der solaren UV-Strahlung zum Einsatz kommen.

### A1.1 Vergleiche der VioSpor-Dosimeter mit Referenzgeräten

Für den Vergleich wurden zehn VioSpor-Dosimeter des Typs I und vier Exemplare des Typs II bereitgestellt. Als Referenz dienten Spektralradiometer des Typs SPECTRO 320-D der Fa. Instrument Systems und Breitbandfilterradiometer, die nach Standardmethoden kalibriert wurden [1].

Für die Bewertung der Vergleichsergebnisse und die Durchführung von Modellrechnungen wurden Werte des atmosphärischen Ozongesamtgehalts verwendet, die mit einem Dobson-Spektrofotometer (Nr. 71) sowie Spektralradiometern des Typs Brewer (MKII, MKIV) in Lindenberg gemessen wurden.

Zusätzliche Messwerte der Globalstrahlung (sichtbare und nahe Infrarot-Strahlung), mit Pyranometern des Typs CM21 (Fa. Kipp und Zonen) erfasst, ermöglichen eine qualitative Kontrolle des zeitlichen Verlaufs der Sonnenstrahlung.

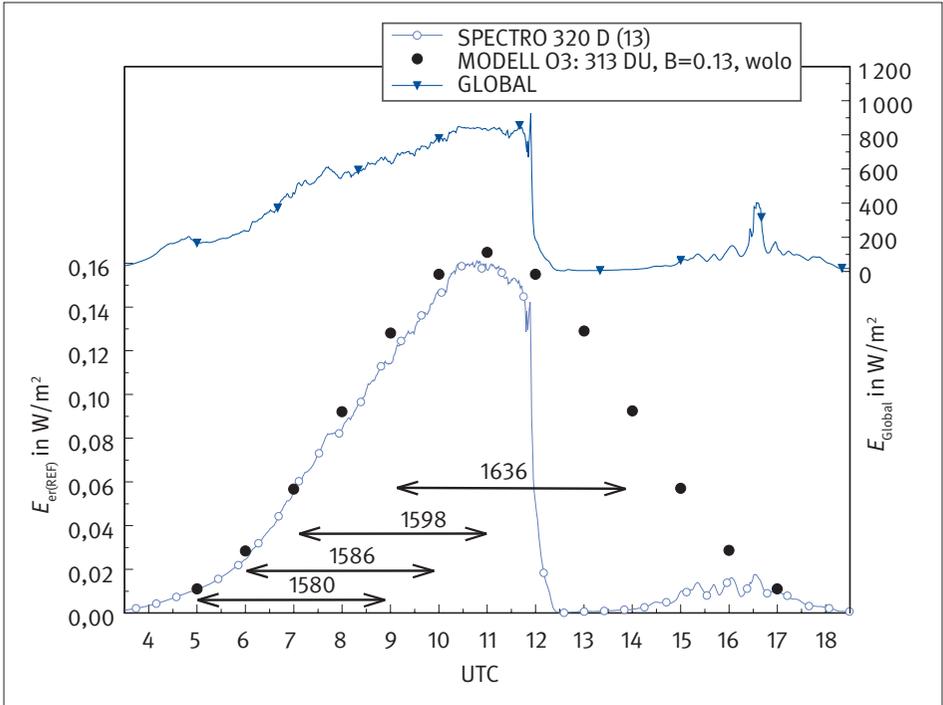
Messort war die Dachplattform der Strahlungszentrale des DWD/MOL-RAO in Lindenberg (52,2° N, 14,1° E, 127 m ü. NN).

Die Aufstellung der Personendosimeter erfolgte gemäß der von der Fa. BioSense gelieferten Gebrauchsanweisung und unter Berücksichtigung der Empfehlungen der Meteorologischen Weltorganisation WMO, Commission for Instruments and Methods of Observations [2] zur Durchführung von Strahlungsmessungen. Die Dosimeter wurden horizontal in Höhe der Empfängeroptiken der Spektralradiometer installiert. Zur Bestrahlung der Dosimeter wurde die Schutzkappe am Messort minutengenau entfernt und zum Ende der Expositionszeit wieder aufgesetzt. Die Dosimeter wurden nach dem Abschluss der Vergleichsmessungen zur Auswertung an den Hersteller übergeben.

Die Vergleiche erfolgten an drei Messtagen (24. April, 13. Mai und 26. Mai 2009) unter wolkenlosen oder wolkenarmen Bedingungen. Eine Ausnahme bildete der Nachmittag des 26. Mai 2009, an dem der UV-Index durch aufziehende, nach Wolkenradarmessungen des DWD/MOL-RAO bis 12 km Höhe reichende, optisch dicke Cumulonimbus-Wolken innerhalb einer Stunde (11:46 bis 12:47 UTC) von Werten über 6 auf 0,01 abnahm. Die Globalstrahlung fiel von Werten über 850 W/m<sup>2</sup> auf Werte um 5 W/m<sup>2</sup>, und die Lufttemperatur nahm im selben Zeitraum von 30,6 auf 17,2 °C ab (Abbildung A.1). Von diesem extremen Wolkenereignis war nur ein Dosimeter (Nr. 1636) betroffen. Niederschlag trat während der gesamten Vergleichsmessungen nicht auf. Die Expositionszeit wurde variabel auf volle Stunden  $\geq 4$  h gesetzt. Die Mindestbestrahlungszeit von 4 h wurde in Anlehnung an die Wachzeit auf Schiffen gewählt.

Abbildung A.1:

Erythemwirksame Bestrahlungsstärke  $E_{er(REF)}$  aus Messungen mit Spektラルradiometern des Typs SPECTRO 320-D, Strahlungstransport-Modellerggebnisse für wolkenlose Bedingungen (linke Ordinaten-skala) und Globalstrahlungsmesswerte  $E_{Global}$  (rechte Ordinaten-skala). Die Bestrahlungszeiten der Personendosimeter sind durch Pfeile gekennzeichnet. Die Messung erfolgte am 26. Mai 2009 in Lindenberg



Die aus den Dosimetermessungen ermittelten Bestrahlungen  $H_{er(BIO)}$  sind den aus Spektラルradiometermessungen bestimmten Bestrahlungen  $H_{er(REF)}$  in Tabelle A.1 gegenübergestellt. Die Bestrahlungszeiten von 240, 300, 420, 480 und 540 min sind ebenfalls angegeben.

Es ist festzustellen, dass alle Dosimeter innerhalb ihres jeweiligen Messbereichs bestrahlt wurden. Je nach Klassifikation (Typ I, Typ II) und der zugrunde gelegten Messwerte der erythemwirksamen Bestrahlung (BioSense oder DWD/MOL-RAO) wird

für zwei bis vier Dosimeterexpositionen die Obergrenze des vom Hersteller empfohlenen optimalen Messbereichs überschritten. Der in dem hier betrachteten Vergleich erreichte minimale solare Zenitwinkel (SZW) belief sich am 26. Mai 2009 auf  $31^\circ$ . Da der optimale Messbereich bei der Auswahl des geeigneten Dosimetertyps offenbar eine wesentliche Rolle spielt, ist eine gute Schätzung der zu erwartenden Bestrahlung für die richtige Auswahl des geeigneten Dosimetertyps unter den Bedingungen der in tropischen und subtropischen Gewässern bei geringeren Zenitwinkeln und geringeren

Ozonwerten und der daraus resultierenden erheblich höheren UV-Strahlungsdosen für die Schiffsmessungen von besonderer Bedeutung.

Im Mittel liegen die aus Dosimetermessungen bestimmten Werte der

erythemwirksamen Bestrahlung um 3,2 % unter den aus spektralradiometrischen Messungen bestimmten Referenzwerten. Die maximalen relativen Abweichungen betragen 24,4 und -28,8 %. Die einzelnen Abweichungen sind in Tabelle A.1 und in Abbildung A.2 zusammengestellt.

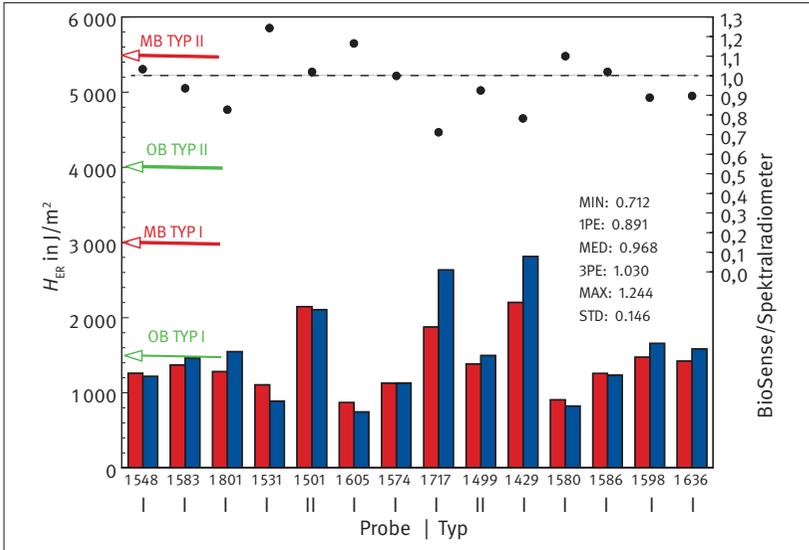
Tabelle A.1:  
Vergleichsergebnisse für die erythemwirksame Bestrahlung

Messung am	PRO	UTA	UTB	TYP	$\Delta t_{\text{exp}}$ in min	$H_{\text{er(BIO)}}$ in J/m <sup>2</sup>	$H_{\text{er(REF)}}$ in J/m <sup>2</sup>	$H_{\text{er(BIO)}}$ / $H_{\text{er(REF)}}$
24. April 2009	1548	7	11	I	240	1259	1218	1,034
	1583	8	12	I	240	1370	1462	0,937
	1801	9	13	I	240	1281	1548	0,827
	1531	6	10	II	240	1106	889	1,244
	1501	5	13	II	480	2148	2107	1,020
13. Mai 2009	1605	5	9	I	240	869	746	1,165
	1574	6	10	I	240	1127	1129	0,998
	1717	7	14	I	420	1876	2635	0,712
	1499	7	11	II	240	1384	1496	0,925
	1429	5	14	II	540	2203	2816	0,782
26. Mai 2009	1580	5	9	I	240	906	824	1,100
	1586	6	10	I	240	1258	1235	1,019
	1598	7	11	I	240	1473	1658	0,889
	1636	9	14	I	300	1421	1585	0,897
<b>Mittelwert</b>								<b>0,968</b>

PRO: Dosimeternummer  
 UTA, UTB: UTC-Zeiten zum Beginn und Ende der Messung  
 TYP: VioSpor-Dosimetertyp  
 $\Delta t_{\text{exp}}$ : Expositionsdauer in Minuten  
 $H_{\text{er(BIO)}}$ : erythemwirksame Bestrahlung in J/m<sup>2</sup> gemessen mit VioSpor-Dosimeter  
 $H_{\text{er(REF)}}$ : erythemwirksame Bestrahlung in J/m<sup>2</sup> gemessen mit Spektralradiometer  
 $H_{\text{er(BIO)}}$ / $H_{\text{er(REF)}}$ : Verhältnisse der Bestrahlungen zwischen Dosimeterwert und spektralradiometrischem Wert

Abbildung A.2:

Messwerte der erythemwirksamen Bestrahlung  $H_{er}$  durch VioSpor-Dosimeter (rote Balken) und durch Spektralradiometer (blaue Balken) (linke Ordinatenkala) und Verhältnisse  $H_{er(BIO)}/H_{er(REF)}$  (Punkte im oberen Bereich, rechte Ordinatenkala), Dosimeternummern und Typ (I, II) an der Abszisse



### A1.2 Vergleich der elektronischen Dosimeter X2000-10 mit den Referenzgeräten

Erste Vergleichsmessungen zwischen einem X2000-10-Dosimeter und spektralradiometrischen Messungen hatten Differenzen von 68 % bei solaren Zenitwinkeln (SZW) von über 80° bis zu etwa 58 % bei SZW von ca. 38° ergeben [6]. Für kleine SZW von 0 bis 38°, wie sie in tropischen Gewässern in den Mittagsstunden bei geringeren Ozonwerten auftreten, als sie für mittlere Breiten im Sommer typisch sind, ließen diese Messungen keine Aussage über die Messunsicherheit der X2000-10-Dosimeter und über systematische Messfehler zu. Ein Arbeitsbesuch von Mitarbeitern des DWD/MOL-RAO am Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) in Pretoria bot im November 2010

die Möglichkeit, die Dosimeter des Typs X2000-10 mit Referenzwerten über einen sehr großen Bereich solarer Zenitwinkel und für geringe Ozongesamtgehaltswerte zu vergleichen [7]. Ähnliche Messbedingungen mit SZW von bis zu 6° und Ozongesamtgehaltswerten von weniger als 280 DU (Dobson Unit) wären in Lindenberg auch im Hochsommer (geringster SZW 28,8°) nicht möglich gewesen.

Als Referenzgerät diente in diesem Fall ein UV-Filterradiometer, das im DWD/MOL-RAO vor der Reise kalibriert und im November 2010 auf der Dachplattform des CSIR installiert wurden.

Die Dosimeter X2000-10 mit den Nummern SN7260 und SN7258 zeigten systematisch kleinere Werte als die Referenzwerte.

Entsprechend der Regression betragen die Messwerte bei einem SZW von 80° für das Dosimeter SN7260 etwa 55 % und für das Dosimeter SN7258 etwa 51 % des Referenzwertes. Für den SZW von 6° liegt der Messwert für das Dosimeter SN7260 bei etwa 84 % und für das Dosimeter SN7258 bei etwa 89 % des Referenzwertes. Die Messwerte des X2000-10-Gerätes SN7260 bei dem SZW von 43°, der dem am 13. April 2010 während der Vergleichsmessung in Lindenberg geringsten SZW zum lokalen Mittag entspricht, betragen 78 % des Referenzwertes. Die Vergleichsmessungen des Dosimeters SN7260 am 13. April 2010 in Lindenberg hatten in annähernder Übereinstimmung

hiermit gezeigt, dass die mit diesem Gerät gemessenen Werte etwa 58 % bei großen SZW und etwa 68 % des Referenzwertes bei einem SZW von 43° erreichen.

Die aus den Vergleichen der X2000-10-Dosimeter mit der Referenz abgeleiteten Regressionsbeziehungen gestatten es, Messwerte der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke  $E_{er}$  für jeden SZW in korrigierte Bestrahlungsstärkewerte  $E_{er(COR)}$  auch nachträglich umzurechnen. Dadurch wird eine systematische Unterschätzung des wahren Bestrahlungsstärkewertes vermieden und ein durch die Messmethodik bedingter Tagesgang des Messfehlers erheblich reduziert:

$$E_{er(COR)} = E_{er}/c$$

Dosimeter SN7260:

$$c = 0,8396 + 0,0012 \cdot SZW - 6,0637 \cdot 10^{-5} \cdot SZW^2 \quad (1)$$

Dosimeter SN7258:

$$c = 0,8861 + 0,0005 \cdot SZW - 6,4401 \cdot 10^{-5} \cdot SZW^2 \quad (2)$$

## A2 Dokumentation im MGU

In Absprache mit dem Fachbereich 1, Sachgebiet Zentrale Organisation und Berichtserstattung im MGU (ZOB) des IFA wurde vereinbart, alle verfügbaren Messwerte des Projekts „Ermittlung der UV-Strahlungsexposition bei Seeleuten“ in die OMEGA-Software Gefahrstoffe aufzunehmen. Das Projekt erhielt die IFA-Nr. 4153. Nebenstehend sind die verwendeten Schlüsselverzeichnisse (SVZ) dargestellt.

Anmerkung: Die jeweiligen Dosimeterpositionen werden unverschlüsselt im Feld „Bemerkung zur Probenahme“ eingegeben.

### SVZ Probenahmesysteme

936	UV-Monitoring Dosimeter X2000-10
904	VioSpor-Dosimeter

### SVZ Probenträgerarten

931	VioSpor blue line Typ I
932	VioSpor blue line Typ II
933	VioSpor blue line Typ III

### SVZ Einheit

28	J/m <sup>2</sup>
----	------------------

### SVZ Gefahrstoffdatei

99996	Erythemwirksame Bestrahlung
-------	-----------------------------

### SVZ Analysensysteme

911	Spezifischer Sensor
913	Biologischer Sensor

### A3 Hauttypen nach *Fitzpatrick* [14]

Hauttyp	Hautreaktion bei direkter und intensiver UV-Exposition	Häufige Personenmerkmale	Erythemschwelle in J/m <sup>2</sup>
I	immer Sonnenbrand, nie Bräunung	rothaarig, Sommersprossen, helle Haut, keltischer Typ	200
II	immer Sonnenbrand, anschließend Bräunung	blonde Haare, blauäugig, helle Haut, hellhäutiger Typ	250
III	manchmal Sonnenbrand, immer Bräunung	brünette Haare, bräunlicher Teint, dunkelhäutiger Typ	350
IV	minimaler Sonnenbrand, immer Bräunung	dunkelhaarig, braunhäutig, mediterraner Typ	450
V	von Natur aus guter UV-Schutz durch besondere Pigmentierung	asiatischer Typ	-
VI	von Natur aus guter UV-Schutz	dunkelbraun bis schwarz, afrikanischer Typ	-

### Literatur

- [1] *Feister, U.; Kaifel, A.; Grewe, R.-D.; Kaptur, J.; Reutter, O.; Wohlfart, M.; Gericke, K.*: Fast measurements of solar spectral irradiance – first performance results of two novel spectroradiometers. Opt. Eng. 44 (2005) Nr. 4, S. 041007-1 -041007-9
- [2] Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8. 7. Aufl. Hrsg.: World Meteorological Organization, Genf, Schweiz 2008. [www.wmi.int/pages/gcos/documents/CIMO/CIMO\\_Guide\\_7th\\_edition-2008.pdf](http://www.wmi.int/pages/gcos/documents/CIMO/CIMO_Guide_7th_edition-2008.pdf)

## Fotodokumentation

Reise 1



Reise 2



Reise 3



+ +

Reise 4



**Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Mittelstraße 51  
10117 Berlin  
Telefon: +49 30 288763800  
Fax: +49 30 2887663808  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)