

# Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien

P. Knuschke, I. Unverricht, G. Ott, M. Janßen

**Forschung  
Projekt F 1777**

**Forschung  
Projekt F 1777**

P. Knuschke  
I. Unverricht  
G. Ott  
M. Janßen

**Personenbezogene Messung  
der UV-Exposition von  
Arbeitnehmern im Freien**

Dortmund/Berlin/Dresden 2007

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ - Projekt F 1777 - im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Dipl.-Phys. Peter Knuschke  
Dipl.-Chem. Ines Unverricht

Technische Universität Dresden  
Medizinische Fakultät „Carl Gustav Carus“  
Klinik und Poliklinik für Dermatologie  
Fetscherstr. 74, 01307 Dresden

Dipl.-Ing. Günter Ott  
Dipl.-Ing. Marco Janßen

Gruppe „Anlagen und Verfahren, optische Strahlung“  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund  
Telefon: 0231 9071-0  
Telefax: 0231 9071-2454  
E-Mail: [poststelle@buaa.bund.de](mailto:poststelle@buaa.bund.de)  
Internet: [www.buaa.de](http://www.buaa.de)

Berlin:  
Nöldnerstr. 40-42, 10317 Berlin  
Telefon: 030 51548-0  
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:  
Proschhübelstr. 8, 01099 Dresden  
Telefon: 0351 5639-50  
Telefax: 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.  
Aus Gründen des Umweltschutzes wurde diese Schrift auf Recyclingpapier gedruckt.

ISBN 978-3-88261-060-4

# Inhaltsverzeichnis

Kurzreferat.....	6
Abstract .....	7
Résumé .....	8
1 Einleitung .....	9
2 Wissenschaftlicher und technischer Ausgangsstand .....	11
3 UV-Personenmonitoring zum Jahresverlauf individueller solarer UV-Expositionen ausgewählter Berufsgruppen mit Tätigkeit im Freien unter Alltagsbedingungen.....	19
3.1 Organisation des UV-Personenmonitorings .....	20
3.1.1 Untersuchte Berufsgruppen .....	20
3.1.2 Rekrutierung der Probandengruppen .....	21
3.1.3 Branchen- und berufsgruppenspezifische Randprobleme bei ganzjährigen Untersuchungen .....	23
3.1.4 Elektronisches Personendosimeter X2000 – Geräteprobleme und Produktweiterentwicklung.....	24
3.2 UV-expositionsrelevante Daten.....	26
3.2.1 Personendaten .....	26
3.2.2 Globale Einflussfaktoren auf individuelle UV-Expositionen .....	26
3.2.3 Personendosimetrische Messdaten – PSF-Dosimeter .....	28
3.2.4 Personendosimetrische Messdaten – Datenloggerdosimeter X2000.....	30
3.3 Durchgeführte Messkampagnen .....	30
3.3.1 Jahreszeitliche, zyklische Messperioden.....	32
3.3.2 Kontinuierliche Messungen .....	35
3.3.2.1 Kontinuierliche PSF-Messung .....	35
3.3.2.2 Zeitaufgelöste Messungen (Datenlogger) .....	37
3.3.3 UV-Expositionen im Urlaub .....	37
3.3.4 Jahreszeitliche Messung der Körperverteilung der UV-Exposition unter direkten und unter diffusen Strahlungsbedingungen .....	38
3.4 Entwicklung einer Befragungsuntersuchung zum Thema: Sonnen- strahlung – UV-Wirkungen und Schutz vor zu hohen Expositionen .....	41
4 Ergebnisse und statistische Auswertung.....	42
4.1 Methodische Angaben.....	42
4.2 Individuelle UV-Expositionen innerhalb der Personengruppen .....	42
4.2.1 Jahreszeitlich zyklische Messperioden.....	42
4.2.2 Kontinuierliche Messungen .....	53

4.2.3	Urlaubsmessungen .....	54
4.2.4	Körperverteilungsmessungen.....	56
4.3	Relationen der UV-Expositionen zwischen den Berufsgruppen .....	66
4.3.1	Jahreszeitlich zyklische Messperioden.....	66
4.3.2	Kontinuierliche Messungen .....	72
4.4	Mittlere UV-Jahresexpositionen für Arbeitstage sowie für Freizeit und Urlaub.....	72
4.5	Trends aus Probandenbefragungen.....	81
4.5.1	UV-Hauttypen der Teilnehmer an UV-Personenmonitoringstudien .....	81
4.5.2	Verwendung von Lichtschutzsubstanzen .....	82
4.5.3	Hauttyp und UV-Freizeitexpositionen .....	83
4.5.4	Freier Oberkörper in der Sonne.....	83
4.5.5	Sonnenbrände pro Jahr.....	86
4.5.6	Benutzung von Solarien .....	86
4.6	Wissen über UV-Strahlung (Wirkung und Schutz).....	87
5	Optimierung von UV-Personendosimetrie und UV-Personenmonitoring .....	94
5.1	Optimierung des UV-Personenmonitoringsystems.....	94
5.1.1	Optimierung des automatischen Managements .....	94
5.1.1.1	Optimierung des Messroboters .....	94
5.1.1.2	Aktualisierung des Softwaresystems zum UV-Personenmonitoring.....	94
5.1.2	Optimierung der PSF-Gehäuse.....	95
5.1.3	Korrektur-Algorithmus für Personendosismesswerte bei nachvollziehbaren Fehlern bezüglich der vorgegebenen Tragetage .....	95
5.2	Untersuchung einer Interkalibrieroutine zur Qualitätssicherung für in Deutschland verfügbare UV-Personendosimeter .....	97
5.2.1	Laborinterkalibrierung bei der BAuA Dortmund (optisches Kalibrierlabor).....	97
5.2.2	Feldvergleich aktinischer Radiometer als Basis einer Interkalibrierung mit UV-Personendosimetern (UV-Messstation Dermatologie/TU Dresden) .....	100
5.2.2.1	Interkalibrierung der aktinischen Radiometer der UV-Messstation.....	100
5.2.2.2	Interkalibrierung der Datenlogger-Personendosimeter mit der Technik der UV-Messstation mittels Solarstrahlung .....	105
5.2.3	Interkalibrierung PSF und Doppelmonochromator-Spektorradiometer.....	110
5.3	Feldversuch mit den derzeit in Deutschland verfügbaren UV-Personendosimetersystemen.....	112

6	Empfehlung einer Referenzbasis zur Bewertung von individuellen solaren UV-Expositionen.....	115
7	Zusammenfassung.....	118
8	Ausblick.....	124
9	Literaturverzeichnis .....	127
10	Abkürzungsverzeichnis .....	133
11	Tabellenverzeichnis .....	135
12	Abbildungsverzeichnis.....	137
13	Danksagung .....	140
14	Anhang 1: Organisation des UV-Personenmonitorings .....	141
15	Anhang 2: Detailergebnisse des UV-Personenmonitorings.....	161
16	Anhang 3: Algorithmus zur Korrektur der Expositionsmesswert-Zuordnung zwischen WT- und WE- Dosis nach falschem Tragen der PSF- Personendosimeter .....	183
17	Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen aus den Anhängen 1 und 2 ...	194

# Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien

## Kurzreferat

In den letzten Jahren ist permanent eine steigende Hautkrebsinzidenz zu verzeichnen. Epidemiologisch ist ein Zusammenhang zwischen solaren UV-Expositionen und Hautkrebs belegt. Mit den vorgelegten Untersuchungsergebnissen steht quantitatives Datenmaterial zu individuellen UV-Expositionsleveln von Arbeitnehmergruppen mit ständigem bzw. mit partiellem Arbeitsfeld unter solarer UV-Exposition zur Verfügung. Es wird eine Referenzbasis für die Bewertung der erhöhten UV-Jahresexpositionen bzw. der arbeitstäglichen UV-Expositionen dieser Arbeitnehmergruppen vor dem Hintergrund eines daraus erwachsenden möglichen gesundheitlichen Risikos vorgeschlagen. Als diese Referenzbasis sollen die mittleren individuellen UV-Expositionen von Arbeitnehmern dienen, die ausschließlich in Gebäuden tätig sind und zudem ein Freizeit- und Urlaubsverhalten ohne betonte Aktivitäten im Freien haben.

Mittels UV-Personenmonitoring wurden UV-Expositionen im Jahresverlauf differenziert nach Werktags-, Freizeit- und Urlaubsexpositionen gemessen. Erfasst wurde auch die jahreszeitlich variierende Körperverteilung der UV-Exposition. Sowohl aus kontinuierlichen Messungen über 52 Wochen, als auch aus biostatistischen Modellberechnungen liegen für die repräsentativen Berufsgruppen mittlere UV-Jahresexpositionen und deren Verteilung für 19 verschiedene Körperareale vor. Als repräsentativ für ständig im Freien beschäftigte Arbeitnehmer wurden drei Beschäftigungsfelder (Hochbau, Landwirtschaft/Feldwirtschaft, Müllabfuhr) untersucht. Für Berufe mit intermittierender Tätigkeit im Freien wurden Sportlehrer, Kindergärtnerinnen und Glasreiniger einbezogen. Für ständig im Freien Beschäftigte wurde eine Erhöhung der UV-Jahresexposition gegenüber der Referenzbasis auf 300 bis 500 % nachgewiesen. Dabei wird die UV-Jahresexposition maßgeblich durch den Werktagsanteil und nicht durch die Anteile aus Freizeit und Urlaub bestimmt. Für Beschäftigte mit intermittierender Außentätigkeit betrug die Erhöhung gegenüber der UV-Referenzbasis 170 bis 300 %, wobei der berufliche Anteil an der UV-Jahresexposition etwa doppelt so hoch wie von Innenbeschäftigten ist.

Für zukünftige Untersuchungen solarexponierter Arbeitsplätze mittels personendosimetrischer Messtechnik wurde eine Interkalibrierungsroutine im Labor- und Feldversuch (künstliche und natürliche UV-Strahlenquellen) erprobt. Die Interkalibrierungen unter Solarstrahlung erfolgte gegen aktinische Breitbandradiometer und Doppelmonochromator-Spektorradiometer, mit denen auch die solare Globalstrahlung während des UV-Personenmonitorings erfasst wurde.

Die Ergebnisse des BAuA-Projektes 1777 bilden einen Teil der wissenschaftlichen Basis in der Diskussion um ausgewogene Richtlinien zum vorbeugenden Gesundheitsschutz für solarexponierte Arbeitsplätze.

### Schlagwörter:

Außenbeschäftigte, Innenbeschäftigte, Verhalten gegenüber Sonnenstrahlung, Wissen über Ultraviolett-Strahlung, UV-Personendosis im Jahr, Hautkrebsrisiko, UV-Personenmonitoring, UV-Exposition für Arbeitstag/Freizeit/Urlaub, Körperverteilung der solaren UV-Strahlung, PSF-Dosimeter (Polysulfonfilm), Datenlogger-Dosimeter

# Personal UV monitoring in outdoor workers

## Abstract

In the last years a permanent increase of the skin cancer incidence was stated. Epidemiological studies proofed a correlation between UV exposure and skin cancer. In result of this project a database of the solar UV exposure level of different groups of employees working outdoors permanently or intermitted was established.

Taking possible healthy risks into account the assessment of the increased annual UV exposure levels of these employee groups requires a baseline UV exposure level. As **reference UV baseline exposure** the authors recommend the mean individual annual and workday UV exposure of indoor workers (with normal, lower activities outdoors in leisure time and holidays).

By the method of personal UV monitoring individual UV exposures were measured in the course of a year. The individual UV doses were registered separately for workday exposures, leisure time exposures and holiday exposures. Furthermore the body distribution of the solar UV exposure and its seasonal changings was investigated in the different occupational groups. In result, a data base of seasonal and annual UV exposures of 19 different body sites was established for the representative outdoor profession groups.

The occupational surrounding of building construction workers, agricultural workers/plant cultivation and dustmen served to be representative for permanent outdoor work. In case of intermitted outdoor work PE teachers, nursery school teachers and window cleaners were investigated. Compared to the reference UV baseline exposure the annual UV exposure of outdoor workers were increased to 300...500 % and dominated by the workday exposures. In case of the intermitted outdoor work an increase to 170...300 % was measured. In this occupational groups the workday exposures percentage of the in the annual UV exposure is twice compared to indoor workers..

To prepare future measurements of the individual UV exposure level at outdoor workplaces an intercalibration routine of usable personal UV dosimeters were carried out on one hand by laboratory calibrations using artificial UV sources. On the other hand solar UV radiation field intercalibrations of the personal UV dosimeter systems were carried out in comparison to high precision actinic broadband radiometers and to double monochromator spectroradiometers. This measurement technique also provided the personal UV monitoring with the global radiation data permanently.

In result, the data of the BAuA-research project 1777 can serve as a scientific base to provide the discussions on well-balanced health prevention regulations on outdoor workplaces.

### Key words:

outdoor worker, indoor worker, behaviour concerning solar radiation, knowledge on ultraviolet radiation, annual UV-personal dose, skin cancer risk, personal UV monitoring, UV exposure at workplaces, UV exposure in leisure time, UV exposure in holidays, body distribution of solar UV radiation, PSF dosimeter (polysulphone film), data logger dosemeter



# Mesure personnelle de l'exposition au rayonnement ultraviolet de salariés en plein air

## Résumé

Ces dernières années, une augmentation permanente des cas de cancers de la peau a été observée. Des études épidémiologiques ont démontré un lien entre exposition aux UV et cancer de la peau. Le résultat de ce projet fût la création d'une base de données regroupant des informations sur le degré d'exposition aux UV de différents groupes d'employés travaillant à l'extérieur, de manière permanente ou intermittente.

Pour l'estimation du degré d'exposition annuelle élevé aux UV de ces catégories d'employés et du risque sanitaire qui peut potentiellement en résulter, il est nécessaire d'établir un niveau d'exposition aux UV de référence. Les auteurs recommandent de prendre comme niveau de référence les résultats des travailleurs exerçant des activités exclusivement dans des bâtiments et ne passant pas beaucoup de temps en plein air pendant leurs loisirs ou leurs vacances.

L'exposition individuelle aux UV a été mesurée sur une année au moyen de la méthode d'observation personnelle des UV. Les expositions individuelles d'UV étaient enregistrées séparément selon qu'il s'agisse d'une exposition lors d'une journée de travail, de loisir ou de vacances. De plus, l'effet saisonnier a été pris en compte. Le résultat de cette étude fut la création d'une base de donnée concernant les différents groupes de référence des travailleurs exerçant leurs activités à l'extérieur, regroupant les expositions saisonnières et annuelles aux UV, en incluant les expositions sur 19 parties du corps.

Trois corps de métiers (bâtiment, agriculture, éboueurs) représentatifs des travailleurs exposés aux UV systématiquement ont été examinés.

Les professeurs d'éducation physique et sportive, les éducatrices d'école maternelle et les laveurs de carreaux ont été considérés comme représentatifs pour le groupe « travail partiellement en plein air ».

Une routine de l'interétalonnage pour préparer les recherches futures sur des postes de travail exposés au soleil au moyen des techniques de mesure personnelle a été menée aussi bien en laboratoire, que sur terrain (sources de rayonnement ultraviolet artificielles et naturelles). L'interétalonnage avec rayonnement ultraviolet solaire utilisait des radiomètres actiniques et des spectroradiomètres, avec lesquels le rayonnement global solaire était également enregistré durant l'observation personnelle.

Les résultats du projet IFSST 1777 peuvent servir de base scientifique dans la discussion des directives équilibrées concernant la protection préventive de la santé des travailleurs exposés au soleil.

### Mots clés:

travailleurs extérieurs, travailleurs intérieurs, comportement vis à vis du soleil, connaissance du rayonnement UV, dose UV annuelle personnelle, risque de cancer cutané, surveillance des doses individuelles d'UV, exposition d'UV sur le lieu du travail, exposition d'UV pendant le temps libre, exposition d'UV pendant les vacances, distribution d'UV solaire sur le corps, dosimètres PSF (film polysulphone), dosimètre enregistreur

# 1 Einleitung

„Die Strahlenschutzkommission (SSK) beobachtet mit Sorge die Zunahme akuter und chronischer Hautschäden sowie der Hautkrebserkrankungen und hat bereits wiederholt Empfehlungen zum Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung ausgesprochen, die unverändert Gültigkeit haben. Einzelheiten der Wirkung sind jedoch noch nicht geklärt. Angesichts der Vielfalt der vermuteten Ursachen und deren Wechselwirkungen ist es notwendig, eine wissenschaftliche Basis für die zu ergreifenden Präventiv- und Schutzmaßnahmen zu schaffen. Aufgabe von wissenschaftlichen Untersuchungen muss es sein, vor dem Hintergrund bisher bekannter Risikofaktoren für das maligne Melanom festzustellen, in welchem Maße UV-Expositionen in Beruf und Freizeit als zusätzliche Risikofaktoren anzusehen sind.“ (SSK 1998) Gleiches gilt für die nichtmelanozytären Hautkrebsformen.

„Aufgrund der Auswirkungen von optischer Strahlung auf die Gesundheit und die Sicherheit der Arbeitnehmer, insbesondere wegen der Schädigung der Augen und der Haut, wird nunmehr die Einführung von Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch optische Strahlung als notwendig angesehen.“ (EU-Richtlinie 2006)

Arbeitsplätze mit solarer UV-Exposition wurden (nach Vermittlungsverfahren zwischen EU-Parlament und EU-Rat) wieder aus dieser Richtlinie herausgenommen. Ein Grund dafür war, dass es ohne ausreichende wissenschaftliche Basis zum Fragenkomplex solarexponierter Arbeitsplätze schwierig war, fundierte, ausgewogene Richtlinien für den Gesundheitsschutz an diesen Arbeitsplätzen zu erstellen.

In diesem Kontext standen erste Querschnittstudien zum Expositionslevel durch solare UV-Strahlung in der deutschen Bevölkerung (KNUSCHKE et al., 2000; KNUSCHKE et al., 2004). Derartige Untersuchungen sollten im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) speziell auf charakteristische Tätigkeitsfelder mit ständiger bzw. mit intermittierender Beschäftigung im Freien angewendet werden. Für die Planung und Auswahl, welche Berufsgruppen in diese Untersuchungen als repräsentativ einzubeziehen seien, konnte auf Erkenntnisse zu diesen Tätigkeitsfeldern aus Arbeitsplatzstudien im Rahmen des BAuA-Forschungsprojektes 903 „Untersuchungen der Außentätigkeit unter unmittelbarer Einwirkung von Sonnenstrahlung“ (TREIER et al., 2000) zurückgegriffen werden.

Im Projekt sollten mittlere UV-Expositionslevel für die untersuchten repräsentativen Gruppen bestimmt werden, die sich in den einzelnen Jahreszeiten ergeben. Im Weiteren sollten die Schwankungsbreiten innerhalb der Gruppen und zwischen den betrachteten Gruppen statistisch ausgewertet werden. Dabei wurden zu den individuellen UV-Expositionen simultan die zugehörigen Globalstrahlungsdaten (und weitere globale Einflussfaktoren, wie meteorologische Daten) erfasst. In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) wurden die UV-Globalstrahlungsdaten mit Breitband-Spektralradiometern als auch mit hochauflösender Doppelmonochromator-Messtechnik kontinuierlich erfasst.

Für Folgeuntersuchungen mittels personendosimetrischer Messtechnik sollte eine Kalibrierroutine zur Qualitätssicherung entwickelt werden. Darin wurden spektrometrische Messtechnik, photobiologisch-wichtende Breitbandradiometer (u. a. Robertson-Berger-Meter), Datenlogger-Personendosimeter, und neben dem Poly-

sulfonfilm-Dosimeter weitere Film-Dosimeter einbezogen. Für diese Interkalibrierung konnten die vorhandenen Möglichkeiten eines speziellen Messlabors und die spektrometrische Messtechnik der BAuA genutzt werden. An der Dermatologie der TU Dresden erfolgten die Interkalibrierungen in Felduntersuchungen mittels solarer UV-Strahlung unter den verschiedenen Strahlungsbedingungen im Verlauf des Jahres.

Schwerpunkt des Projektes war die Ermittlung und Bewertung tatsächlicher individueller UV-Expositionen für Beschäftigte mit solarer UV-Exposition im Arbeitsprozess. Die gewonnenen Daten ermöglichen Einschätzungen zum Ausmaß solarer Expositionen im Arbeitsleben dieser Berufsgruppen in Relation zu typischen Expositionsniveaus von Berufs- bzw. Bevölkerungsgruppen ohne dieses zusätzliche UV-Expositionspotential.

Die Untersuchungsergebnisse des Projektes sollen die Ausarbeitung von ausgewogenen Empfehlungen zum Gesundheitsschutz vor den Risiken durch zu hohe solare UV-Expositionen an Arbeitsplätzen im Freien unterstützen.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Datenpool geschaffen, der Arbeits-, Freizeit- und Urlaubsexpositionen im Jahresverlauf durch die solare UV-Strahlung sowie objektiv (u. a. meteorologische) und subjektiv (u. a. Freizeitverhalten) beeinflussende Faktoren auf die UV-Personendosis zur Auswertung bereithält. Der unterschiedlich hohe UV-Expositionsgrad der einzelnen Körperregionen – in Abhängigkeit von Tätigkeitsprofil und von jahreszeitlich bedingtem Sonnenstand – wurde in die Untersuchungen und Auswertungen einbezogen.

Zur Einschätzung der biologischen Wirksamkeit wurden die UV-Expositionen bezüglich der folgenden photobiologischen Effekte bewertet:

- UV-Erythem (CIE 1998)
- ICNIRP (Spektraler Grenzwertsatz für den 8-h-Arbeitstag) (ICNIRP 1996)
- UV-A (Grenzwerte für Augenexposition durch UV-A für den 8-h-Arbeitstag) (ICNIRP 1996)
- NMSC (Risiko für Ausbildung eines nichtmelanozytären Hautkrebses) (CIE 2006)

Für die untersuchten Tätigkeitsfelder, ständige Außentätigkeit und Wechseltätigkeit, liegen jetzt mittlere biologisch-effektive UV-Jahresexpositionen vor. Dabei wurden die kumulativen Jahreswerte der UV-Werktagsexpositionen in Relation zu den UV-Expositionen von den Freizeittagen und den UV-Expositionen von den Urlaubstagen des Jahres ausgewertet.

Der Vergleich mit den entsprechenden Daten bei ausschließlicher Innentätigkeit gestattet die Abschätzung der arbeitsbedingten Erhöhung der solaren UV-Expositionen bei Tätigkeitsfeldern im Freien.

Ausgehend vom Alltagslevel für die UV-Expositionen von Innenbeschäftigten mit in der Freizeit eher geringen Aktivitäten im Freien – das sind rund 80 % dieser Beschäftigtengruppe (KNUSCHKE et al., 2004) – lässt sich jetzt die Erhöhung des UV-Expositionslevels für Berufsgruppen mit sowohl ständigem Arbeitsaufenthalt im Freien als auch mit wechselndem Tätigkeitsfeld außen und innen einschätzen.

## 2 Wissenschaftlicher und technischer Ausgangsstand

„In der Bundesrepublik Deutschland liegen die Inzidenzen für das maligne Melanom, das Basalzellkarzinom und das Plattenepithelkarzinom zurzeit bei ca. 12, ca. 80 und ca. 25 Neuerkrankungen pro 100.000 Einwohner pro Jahr. ... Die Tendenz ist steigend und spiegelt damit einen weltweit beobachteten Trend wieder.“ (SSK 1996) Für diese Hauttumore weisen epidemiologische Untersuchungen neben konstitutionellen Faktoren die solare UV-Strahlung als wesentlichen Co-Faktor in der Tumorgenese aus (IARC 1992).

Während man für das maligne Melanom Sonnenbrände in der frühen Kindheit sowie intermittierende Stoßexpositionen als möglichen Bezug zur UV-Exposition annimmt, weisen epidemiologische Studien für das Basaliom und das Plattenepithelkarzinom kumulative Lebensdosen als Co-Faktor der Tumorgenese aus. Durch die steigende Lebenserwartung werden deutlich höhere kumulative Lebensdosen erreicht. Weiterhin führt das veränderte Freizeitverhalten der letzten Jahrzehnte zur Erhöhung der kumulativen UV-Expositionen. Dabei weisen die Erfahrungen der eigenen Klinik aus, dass es sich bei einem großen Teil der Patienten mit Basaliom bzw. Plattenepithelkarzinom um Personen mit ganzjährig permanent erhöhten UV-Expositionen in der Anamnese handelt.

Neben diesen Faktoren, die die individuellen kumulativen UV-Expositionen beeinflussen, besteht weiterhin die Gefahr, dass der auch über Europa nachweisbare Trend einer Reduktion des stratosphärischen Ozons in Zukunft einen Anstieg der bodennahen UV-Strahlung nach sich zieht.

Seit über zwei Jahrzehnten unterstreicht die Tendenz der Verringerung der stratosphärischen Ozonschicht das Risikopotenzial des Co-Faktors UV-Strahlung. In diesem Zusammenhang wurden Modellberechnungen zur Auswirkung eines Ozonschichtabbaus und den daraus resultierenden Veränderungen der biologisch-wirksamen, bodennahen solaren UV-Strahlung erstellt. Diese führten zur Annahme, dass bei 1 % Ozonschichtreduktion mit einem Anstieg der biologisch-effektiven Bestrahlungsstärke von 2 % zu rechnen wäre. „Weltweite Hochrechnungen sagen für eine 1%ige Abnahme der Ozonschicht eine Zunahme des UV-induzierten Hautkrebses von 1 % (Melanom) und 3 % (NMSC) voraus“ (SSK 1996).

Die Konsequenz liegt in einer – ob im Arbeitsprozess oder in der Freizeit - auf das erforderliche Minimum reduzierten UV-Exposition. Dabei ist anzumerken, dass dieses Minimum an biologisch wirksamer UV-Strahlung, das erforderlich ist, um die notwendigen positiven UV-Effekte (vor allem die Einleitung des Vitamin-D-Stoffwechsels) zu gewährleisten, bei vergleichsweise geringen UV-Expositionen liegt, wie KNUSCHKE et al. (1996, 1999) ermittelten.

Einem gesundheitlichen Risiko aus zu hohen UV-Expositionen im Arbeitsprozess wurde 1990 auf EU-Ebene Rechnung getragen. Neben mechanischen Vibrationen, Wärmewirkung und elektromagnetischen Feldern wurde die optische Strahlung, von der die UV-Strahlung ein Teilbereich ist, als potenziell schädigendes physikalisches Agens festgelegt. Für deren Begrenzung am Arbeitsplatz seien jeweils harmonisierte Mindestanforderungen in einer EU-Richtlinie zu erlassen. Dabei wurden ursprünglich sowohl Arbeitsplätze mit künstlichen UV-Strahlenquellen als auch Arbeitsplätze mit

solarer UV-Exposition einbezogen. Auch auf nationaler (deutscher) Ebene wurde Mitte der 1990er Jahre die Arbeit an einer Regelung durch das BMAS initiiert. Es wurde ein Fachausschuss mit der Ausarbeitung einer Unfallverhütungsvorschrift „Optische Strahlung“ beauftragt. Die Unfallverhütungsvorschrift sollte ursprünglich auch Empfehlungen für den Gesundheitsschutz in Bezug auf die solaren UV-Strahlungswirkungen für die etwa 3 Millionen Arbeitnehmer in Deutschland mit Beschäftigungsfeld im Freien enthalten.

Für diese Arbeitsplätze können nicht von vornherein die von der International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) empfohlenen wellenlängenabhängigen Grenzwerte maximaler UV-Bestrahlungen  $H_{ICNIRP}(\lambda)$  für den 8-h-Arbeitstag (ICNIRP 1996) herangezogen werden. Diese spektralen Grenzwerte basieren auf Schwellwerten zur Auslösung der Akutreaktionen Photokeratitis sowie Photokonjunktivitis am Auge und der Akutreaktion UV-Erythem an der nichtpigmentierten, lichtungewöhnten Haut. Dieser Grenzwertsatz wurde für Arbeitsplätze mit künstlichen UV-Strahlenquellen aufgestellt. Hier muss von Beschäftigten ohne Eigenschutz der Haut durch Pigmentierung und Lichtschwiele ausgegangen werden, wie es beispielsweise im Winter oder bei Tätigkeit ausschließlich im Gebäude der Fall ist.

Demgegenüber baut der ganzjährig im Freien Beschäftigte – abhängig von Hauttyp und Expositionsgrad – einen gewissen Eigenschutz durch Lichtschwiele und Pigmentierung unter der solaren UV-Strahlung auf. Eine Anwendung des o. g. Grenzwertsatzes, der keinen Eigenschutz der Haut berücksichtigt, wäre verglichen mit Alltagsgegebenheiten für einen Arbeitsplatz im Freien ein unangemessen strenger Maßstab: die Exposition von länger als 10...30 Minuten Mittagssonne im Sommer führte dann – je nach Körperareal – zu einer Überschreitung des Grenzwertes für den 8-h-Arbeitstag!

Wie stark dieser Eigenschutz UV-expositionsabhängig im Jahresverlauf aufgebaut wird und im Herbst/Winter wieder zurückgeht, ist derzeit Inhalt des BAuA-Forschungsprojektes 1986 „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“. Für einen Teil der Untersuchungen im Rahmen des BAuA-Projektes F 1986 bilden die Ergebnisse dieses abgeschlossenen Projektes die Grundlage.

Die die Erdoberfläche insgesamt erreichende solare Globalstrahlung wird seit über einem Jahrzehnt in Deutschland durch ein Messnetz mit hochauflösender, spektrometrischer Messtechnik im 6-min-Takt kontinuierlich erfasst. Derzeit sind es zehn Messstationen unter Leitung vom BfS/UBA, die die solare UV-Gesamtexposition registrieren. Welcher Anteil davon tatsächlich von einzelnen Personen sowie Personengruppen mit vergleichbarem Verhaltensmuster akkumuliert wird, ist aus diesen Messungen nicht abzuleiten.

Individuelle UV-Expositionslevel messtechnisch zu erfassen und in ihrem Ausmaß bewerten zu können, erfordert ein UV-Personenmonitoring als Untersuchungsmethode. Das heißt, es werden zum einen personendosimetrische Messwerte für die betrachteten Personengruppen erfasst. Zum anderen, als wesentlicher Bestandteil für die Bewertung, werden subjektive (UV-expositionsrelevante Personendaten) und objektive (UV-Globalstrahlungsdaten der Sonne und meteorologische Daten) Einflussfaktoren in einer UV-Personenmonitoring-Datenbank gespeichert. Mittels eines UV-Personenmonitoringsystems gewonnene und biostatistisch ausgewertete Daten zur Verteilung biologisch-effektiver (z. B. erythem-, ICNIRP- oder NMSC-effektiver) UV-Expositionen im Alltag innerhalb und zwischen den verschiedenen

soziologisch charakterisierten Personengruppen der Bevölkerung geben die erforderlichen Aufschlüsse, wie im Einzelnen der UV-Expositionslevel zu bewerten ist (KNUSCHKE et al., 1999a; KRINS et al., 1999a; KNUSCHKE et al., 1999b; KNUSCHKE et al., 2000; KNUSCHKE et al., 2000a; KNUSCHKE et al., 2005a; KNUSCHKE, 2006b).

Damit sind diese Untersuchungsmethoden auch zur Bewertung von Arbeitsplätzen mit zeitweiliger oder ständiger solarer UV-Exposition, speziell aus gesundheitspräventiver und arbeitsmedizinischer Sicht geeignet. Derartig gewonnene Daten sind Voraussetzung, um den zusätzlichen UV-Expositionsgrad für Beschäftigte, die der solaren UV-Strahlung im Arbeitsleben ausgesetzt sind, realistisch einschätzen zu können. Insbesondere auch arbeitsmedizinisch ist es bedeutsam, in welcher Relation bei den Beschäftigten berufliche UV-Expositionen zu Freizeitexpositionen bzw. zu Urlaubsexpositionen stehen. Denn die photobiologischen Wirkungen aus den verschiedenen UV-Expositionsumfeldern auf den Einzelnen wirken kumulativ und lassen sich nicht von einander abgrenzen.

Als sinnvolle Referenz eines normalen UV-Expositionslevels sollte die mittlere UV-Jahresexposition von Innenbeschäftigten dienen, also ohne ein zusätzliches berufliches Expositionspotenzial. Weiteres Kriterium für das UV-Referenzniveau sollte sein, dass es sich auf ein Kollektiv mit eher geringen Freizeitaktivitäten im Freien bezieht. Diesem Verhaltensmuster sind hochgerechnet etwa 80 % der Innenbeschäftigten zuzuordnen (KNUSCHKE et al., 2004).

Zwischen einzelnen Personengruppen der Bevölkerung, welche durch soziologisch determinierte Differenzen im Verhalten gegenüber der Sonnenstrahlung charakterisiert sind, können sich die Mittelwerte individueller arbeitstäglicher bzw. Freizeitexpositionen innerhalb einer Jahreszeit um bis zu 300 % unterscheiden. Diese Ergebnisse zeigte eine Pilotstudie innerhalb verschiedener Bevölkerungsgruppen von Kindergartenkindern bis Altersheimbewohnern (KNUSCHKE et al., 2000).

Innerhalb soziologisch gleichartig charakterisierter Bevölkerungsgruppen variieren die individuellen UV-Expositionen im Alltag um mehr als eine Größenordnung. Betrachtet man die Jahresexpositionen durch die solare UV-Strahlung und bezieht neben den Alltagsexpositionen von Werktagen und Freizeittagen auch den Urlaub mit ein, so könnten sich die mittleren UV-Jahresexpositionen zwischen einzelnen Beschäftigtengruppen (von Innenbeschäftigten mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien und Urlaub im mitteleuropäischen Inland bis zu Außenbeschäftigten mit verstärkten Freizeitaktivitäten im Freien und Strandurlaub am Mittelmeer im Sommer) bis zu 700 % unterscheiden (KNUSCHKE et al., 2004).

Statistische Auswertungen der UV-Expositionsverteilung innerhalb einer gleichartig charakterisierten Bevölkerungsgruppe weisen aus, dass diese Expositionsverteilungen gut durch logarithmische Normalverteilungen beschrieben werden können (KNUSCHKE et al., 2004).

Auch für andere Forschungsbereiche ist das Verteilungsspektrum dieser tatsächlichen individuellen UV-Expositionen in der Bevölkerung als Eingangsbasis wesentlich (KNUSCHKE, 2006b). Beispielsweise stellen solche Daten eine Basis für Untersuchungen der UV-Wirkungen auf den menschlichen Organismus bei der Photokarzinogenese vor dem Hintergrund steigender Hauttumorzinidenzen und der Ozonlochproblematik dar. Daher wurde mit Unterstützung des BMBF im Rahmen des Vorhabens „UV-Personendosimetrie mit Verwendung des Polysulfonfilms als UV-

Sensor“ (Förderkennzeichen: 07UVB54B, 1996-1999 (KNUSCHKE et al., 2000)) ein UV-Personenmonitoring mit physikalisch beschriebenem UV-Sensor und photobiologischer Auswertemethode etabliert, das personendosimetrische Routineuntersuchungen in größeren Personengruppen ermöglicht.

Dieses UV-Personenmonitoring besitzt als zentrale Verwaltungskomponente eine PC-Datenbank, die die Verwaltung bzw. Verknüpfung der Dosimeterdaten und der Personendaten datenschutzgerecht realisiert. Darüber hinaus erfolgt eine weitergehende Erfassung von globalen Faktoren (simultane Messung der Globalstrahlungsdaten mittels Polysulfonfilm-Dosimeter und Robertson-Berger-Meter, meteorologischen Daten) und individuellen Faktoren (Aufenthaltszeiten im Freien, Freizeit, Beruf, Alter, Geschlecht, hauttyprelevante Angaben, Lichtschutzverwendung usw.), die das personenbezogene Expositions-niveau beeinflussen. Entsprechende Fragebogenspiegel wurden geschaffen.

Es wurde eine orientierende Querschnittstudie realisiert, bei der erste Basisdaten zu individuellen erythem-effektiven UV-Expositionen im Alltag verschiedener Bevölkerungsgruppen in Dresden erfasst wurden. Getrennt nach Werktag- bzw. Wochenend- (Freizeit-) Expositionen erfolgte ein UV-Personenmonitoring über 2 Jahre, das 13 Probandengruppen mit insgesamt 150 Teilnehmern umfasste. Die eingeschlossenen Personengruppen aus der Bevölkerung reichten von einer Kindergartengruppe, über Schüler/Studenten, Werktätige verschiedener Berufsgruppen, Hausfrauen, Vorruheständler/Rentner bis zu Seniorenheimbewohnern. Bei der Gruppe ständig in Gebäuden Beschäftigter wurde zusätzlich nach verstärkten oder eher geringeren Freizeitaktivitäten im Freien differenziert. Simultan wurde in jeder der jahreszeitlich ausgeführten Messkampagnen die erythem-effektive Globalstrahlung der Sonne mittels PSF und RB-Meter registriert.

Darüber hinaus wurden erste personendosimetrische Messungen an Urlaubern in ausgewählten Urlaubsregionen (Mittelmeer-Region, Hochgebirge im Sommer, Strandurlaub Deutschland, Wintersport im Gebirge) vorgenommen. Im Vergleich zu deutschen Strandurlaubern am Mittelmeer wurde der Jahresverlauf der Expositions-niveaus in einer spanischen Vergleichsgruppe in Gebäuden Beschäftigter erfasst. Die mittlere UV-Wochenexposition deutscher Sommerurlauber am Mittelmeer liegt um das 5-fache über der zeitgleichen wöchentlichen Arbeits- und Freizeitexposition einer Gruppe spanischer Innenbeschäftigter und 20-fach über der eigenen UV-Exposition in Deutschland in der Woche vor dem Urlaub, wenn es sich um einen typischen Innenbeschäftigten handelt (KNUSCHKE et al. 2000).

Im Rahmen des BMBF-Projekts „Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung“ (BMBF-Förderkennzeichen: 07UV-B54C/3) wurde ein biostatistisch validiertes Modell zur Schätzung mittlerer kumulativer UV-Jahresexpositionen aus den UV-Personenmonitoringdaten für repräsentative Bevölkerungsgruppen entwickelt (KNUSCHKE et al., 2001). Eingangsgrößen in dieses Modell sind die Daten des UV-Personenmonitorings im Rahmen des Projektes über zwei Jahre (2000-2002) mit 140 Innenbeschäftigten und 140 im Freien Beschäftigten verschiedener Berufsgruppen (sowie 80 Kindergartenkindern und dem Übergang in Klasse 1 der Grundschule). Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen weisen insbesondere auf einen großen Einfluss der Freizeitaktivitäten im Freien hin: Die mittlere UV-Jahresexposition im Gebäude Beschäftigter mit verstärkten Freizeitaktivitäten im Freien liegt bei etwa 200 % verglichen mit deren Kollegen mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien. In die Datenbank des Modells wurden die Ergebnisse der Studie zu mittleren Urlaubsexpositionen als wesentliche Einflussgröße auf die kumulative UV-Jahresexposition aufgenommen. Einbezogen wurden sieben typische Urlaubsregionen und -zeiträume

(Probanden pro Region:  $n = 25...34$ ). So stellt ein 3-wöchiger Strandurlaub am Mittelmeer für einen im Gebäude Beschäftigten mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien etwa 50 % der UV-Jahresexposition dar (KNUSCHKE et al., 2004).

Zur Berechnung der Verteilung kumulativer UV-Jahresexpositionen für die unterschiedlich stark belasteten Körperregionen mittels des biometrischen Modells, wurden die Daten aus den jahreszeitlichen Körperverteilungsmessungen herangezogen. Es war eine Methodik entwickelt worden, mit der unter Alltagsbedingungen die Verteilung der UV-Exposition kumulativ über mehrere Tage gemittelt gemessen werden konnte (KNUSCHKE et al., 2000). Die Verteilung der UV-Expositionen über die Körperareale ist vor allem vom jahreszeitlichen Sonnenstand, von meteorologisch beeinflussten Einstrahlungsverhältnissen und vom Charakter der Betätigung im Freien abhängig. Im Rahmen des BMBF-Projektes waren Gärtner und Innenbeschäftigte an Tagen mit klarem Himmel untersucht worden. Es waren vier jahreszeitliche Messreihen erfolgt (Anh. 1, Abb. 6). Die UV-Körperverteilung der Gärtner – in Körperhaltung und Bewegungsablauf repräsentativ für im Freien Beschäftigte mit körperlicher Tätigkeit – wurde an Werktagen gemessen, da diese vorrangig den UV-Expositionslevel bestimmen. Die UV-Körperverteilung der Innenbeschäftigten wird durch die Freizeitexpositionen bestimmt. Deshalb wurde neben den arbeitstäglichen Messungen das gesamte Wochenende gemessen (KNUSCHKE et al., 2004).

Als Eingangsgrößen des biometrischen Modells dienten mittlere UV-Personendosen von Berufs- bzw. Bevölkerungsgruppen, die jahreszeitlich zu vier Referenzsonnenhöhen in 16-tägigen Messperioden erfasst worden waren. Zur Erfassung zeitaufgelöster Tagesprofile der UV-Exposition (gegenüber den kumulativ messenden PSF-Dosimetern) und messtechnischen Validierung des Modells zur biometrischen Schätzung von UV-Jahresexpositionen, trugen 10 Innenbeschäftigte und 4 im Freien Beschäftigte ein Jahr lang im Wochenwechsel elektronische UV-Datenloggerdosimeter vom Typ UVDAN (AWI für Polarforschung Bremerhaven/ESYS GmbH Berlin) (KNUSCHKE et al., 2004).

Neben diesen systematischen Untersuchungen zu individuellen UV-Expositionen in Bevölkerungsgruppen handelte es sich bei den personendosimetrischen Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen weitgehend um experimentelle Einzeluntersuchungen. So erfolgten Messungen bei Beschäftigten, für deren Arbeitsplätze erhöhte UV-Expositionen vermutet wurden bzw. quantifiziert werden sollten (DIFFEY et al., 1986; LARKÖ et al., 1986; BATH et al., 1990; MOERLE et al., 2000). Andere personendosimetrische Messungen dienten der Klärung medizinischer Fragestellungen (DIFFEY et al., 1982; KNUSCHKE et al., 1993; KNUSCHKE et al., 2000). Weitere Untersuchungen dienten quantitativen Erfassungen zum Ausmaß der solaren UV-Exposition. So führte DIFFEY (1977) bereits eine erste Relativmessung zur Körperverteilung der solaren UV-Strahlung durch. Die australische Arbeitsgruppe um GIES führte ergänzend zu spektraleradiometrischen Messungen der erythemwirksamen Globalstrahlung in Australien personendosimetrische Messungen mit Polysulfonfilmen zur Körperverteilung der UV-Exposition bei Sportaktivitäten in den Mittagsstunden im Sommer (GIES et al., 1992a) und zum Expositionslevel verschiedener Tätigkeiten im Freien durch (HERLIHY et al., 1994).

Auch mit einem routinemäßigen UV-Personenmonitoring ist der Untersuchungsumfang einbeziehbarer Probanden aus praktischen Gründen (Betreuungsaufwand, Materialkosten, Probanden ausreichender Compliance usw.) begrenzt. Deshalb war für eine Planung derartiger Untersuchungen und für spätere Verallgemeinerungen der Ergebnisse unumgänglich, die Tätigkeitsbilder, Umfeld- und Verhaltensstrukturen



der untersuchten Probanden auf verallgemeinerte Angaben zu beziehen. Eine Basis dafür war mit dem Forschungsbericht Fb 903 „Untersuchungen der Außentätigkeit unter unmittelbarer Einwirkung von Sonnenstrahlung“ (TREIER et al., 2000) gegeben. Es wurden in umfassender Form die verschiedenen Beschäftigungsfelder im Freien analysiert und als tabellarisches Übersichtswerk zusammengestellt.

#### *Verfügbare UV-Personendosimetersysteme*

Seit Mitte der siebziger Jahre erfolgten Untersuchungen an diversen UV-sensitiven Materialien zur Nutzung in der UV-Dosimetrie. Als Hauptproblem stellte (und stellt) sich die Übereinstimmung der relativen spektralen Response des Sensorsystems mit dem gewünschten Aktionsspektrum dar. Dieser Anforderung kam der Polysulfonfilm (PSF) (DAVIS et al., 1976) nahe, ohne aber dem Aktionsspektrum eines der Photoeffekte (wie UV-Erythem, ICNIRP-Kurve) direkt zu entsprechen. So konnte der PSF als UV-Personendosimeter für Relativmessungen eingesetzt werden bzw. zur personendosimetrischen Bestimmung effektiver Bestrahlungen, wenn zuvor die jeweils aufwendige Kalibrierung simultan zu einem Spektroradiometer (Bestimmung der effektiven Kalibrierbestrahlungsstärke) erfolgte (DIFFEY et al., 1989). Es konnte so eine spezifische Kalibrierung erhalten werden, die für die konkreten Expositionsbedingungen – die spektrale Verteilung der UV-Strahlenquelle und das Aktionsspektrum des zu untersuchenden photobiologischen Effektes – Gültigkeit hatte. Bei dieser Verfahrensweise ist aber die Dosimeterkalibrierung bei jeder Änderung von Strahlenquelle und/oder auszuwertendem Photoeffekt jeweils neu auszuführen.

Eine Übersicht über untersuchte Sensormaterialien, über personendosimetrische Messungen bis zu Beginn der neunziger Jahre und eine empfohlene Verfahrensweise zur photobiologischen UV-Personendosimetrie wurde in einem Technical Report der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) „Personal UV Dosimetry“ (CIE 1992) gegeben. Darin wird von den Verfassern des Entwurfs zum Technical Report eine Methode zur biologisch gewichteten Auswertung von PSF-Messwerten angegeben, die von dieser Arbeitsgruppe eingeführt wurde und angewendet wird (BARTH et al., 1990; KNUSCHKE et al., 1996; KRINS et al., 2001). Nach einer einmaligen monochromatischen Kalibrierung des PSF lassen sich die PSF-Messwerte über einen Gewichts- bzw. Kalibrierfaktor in den (z. B. erythem-, ICNIRP-) effektiven Wert für die Bestrahlung  $H$  überführen. Für eine spezielle Fragestellung ist nicht mehr eine komplette, aufwendige Kalibrierung, sondern die Berechnung des Kalibrierfaktors aus den Spektraldaten der einwirkenden UV-Strahlenquelle, der spektralen PSF-Response sowie des Aktionsspektrums des untersuchten photobiologischen Effektes erforderlich. Eine detaillierte Untersuchung der Messeigenschaften des UV-Sensors Polysulfonfilm mit einer strahlenphysikalischen Beschreibung erfolgte im Rahmen eines BMBF-Forschungsvorhabens (KRINS et al., 1998; KRINS et al., 1999b; KRINS et al., 1999c; KRINS et al., 2000b; KRINS et al., 2000c; KNUSCHKE et al., 2000; Bolsée et al., 2000) und einer damit verbundenen Promotionsarbeit (KRINS, 2000). Die Untersuchungen zur biologisch-gewichteten Auswertung von PSF-Messwerten wurden darin theoretisch untermauert. In Interkalibrierungen an verschiedensten künstlichen monochromatischen und polychromatischen UV-Strahlenquellen von PSF-Messungen mit hochaufgelösten spektralradiometrischen Messungen einerseits sowie bei simultanen Solarstrahlungsmessungen von Tagesgängen zu verschiedenen Jahreszeiten anderer-

seits konnte diese Methode auch messtechnisch (bei Abweichungen im Bereich von  $\pm 15\%$ ) bestätigt werden (KNUSCHKE et al., 2000).

Die Untersuchungen weiterer UV-sensitiver Materialien und Effekte zur Nutzung als Sensor in der UV-Dosimetrie, auf deren grundlegende Publikationen hier verwiesen werden soll, umfassten ab Beginn der neunziger Jahre auch neue elektronische Sensoren (Halbleitersensoren, deren spektrale Empfindlichkeit über Filterkombinationen dem erforderlichen Aktionsspektrum angenähert werden) (EL NAGGAR et al., 1995; DIFFEY et al., 1995). Weiterhin wurden die Möglichkeiten untersucht, photobiologische Prozesse zur Bestimmung von UV-Expositionen zu nutzen: Uracil als DNA-verwandtes kristallines Molekül (GRÓF et al., 1996), T7-Phagen (RONTÓ et al., 1992), Bakteriensporen (*Bact. subtilis*) (MUNAKATA 1981; MUNAKATA 1989; PUSKEPPELEIT et al., 1992; QUINTERN et al., 1997), Vitamin D (Photosynthese von Provitamin D zu Prävitamin D) (TERENETSKAYA et al., 1994; GALKIN et al., 1999).

In Tabelle 2.1 ist eine Übersicht zu derzeit in Deutschland verfügbaren UV-Personendosimetersystemen gegeben.

**Tab. 2.1** Verfügbare Systeme für eine UV-Personendosimetrie und deren Einsatzfelder

Dosimetersystem	Einsatzfelder / Vorzüge	Einschränkungen
Polysulfonfilm Dermatologie/TU Dresden (Dosimeter-Hardware; Präparation; photobiologische Bewertung)	- Bewertung der Messdaten für alle verfügbaren UV-Aktionsspektren möglich - kostengünstig - Routineverfahren	- für reine UV-A1-Strahlung nicht einsetzbar - Dosimeterfilm nicht wiederverwendbar
Biofilm DLR/Köln (Patent) VioSpore BioSense GmbH/Bornheim (kommerzielle Nutzung)	- reine DNA-Untersuchungen Bereich 250 nm $<\lambda$ <400 nm - mit Filtern: Erythemanpassung, DNA-effektiv UV-A; UV-A1	- hoher präparativer Aufwand - hohe Kosten - Dosimeterfilm nicht wiederverwendbar
UVDAN (ELUV14) AWI Bremerhaven/ Fa. ESYS GmbH Berlin	- Erythem-, ICNIRP-effektiv - zeitaufgelöste Messungen - wiederverwendbar - PC-auslesbar	- zzt. noch sehr hohe Kosten - Abweichungen zum Aktionsspektrum
X2000-1; X2000-2; X2000-4 Fa. Gigahertz-Optik GmbH/ Puchheim	- Erythem-effektiv ICNIRP-effektiv/UV-A Erythem-effektiv/UV-A - zeitaufgelöste Messungen - wiederverwendbar - PC-auslesbar	- zzt. noch sehr hohe Kosten - Abweichungen zum Aktionsspektrum

Entsprechend den aufgeführten Anforderungen an Sensoren zur UV-Personendosimetrie weisen die einzelnen Sensorsysteme Vorzüge und Nachteile auf. Kein System kann allen Anforderungen, einschließlich der Bewertung in Bezug auf die verschiedensten Aktionsspektren, gerecht werden. Je nach Fragestellung ist das günstigste System oder eine Kombination zu wählen.

Kriterien zur Wahl und zu Anforderungen an das/die Messmittel sowie die Durchführung von Messung und Bewertung von UV-Strahlung liegen jetzt in einem europäischen Standard (EN 14255-1) vor.

Für einen europäischen Standard zur Messung und Bewertung solarer UV-Expositionen zirkuliert der Final Draft in den Mitgliedsstaaten. Dieser Standard bezieht speziell die UV-Personendosimetrie im Rahmen eines UV-Personenmonitorings als Mittel der Wahl ein, wenn im Rahmen wissenschaftlicher bzw. detaillierter Untersuchungen exakte Ergebnisse gefragt sind (pr EN 14255-3).

### **3 UV-Personenmonitoring zum Jahresverlauf individueller solarer UV-Expositionen ausgewählter Berufsgruppen mit Tätigkeit im Freien unter Alltagsbedingungen**

Das Projekt war in drei Arbeitskomplexe gegliedert – (A) Untersuchungen mittels UV-Personenmonitoring, (B) Biostatistische Auswertung des UV-Personenmonitorings, (C) Optimierung von UV-Personendosimetrie und UV-Personenmonitoring.

Im Arbeitskomplex A wurde in der Zeit von Mai 2003 bis Mai 2005 ein UV-Personenmonitoring zur Messung und Bewertung individueller personenbezogener UV-Expositionen im Jahresverlauf an Arbeitsplätzen mit solarer UV-Exposition ausgeführt.

Diese Arbeitsplätze wurden bezüglich zweier wesentlicher Tätigkeitsprofile differenziert:

- Berufsgruppen mit Tätigkeit im Freien (Außentätigkeit)
- Berufsgruppen mit Tätigkeit sowohl in Gebäuden als auch im Freien (Wechseltätigkeit).

Als Basisreferenz für die UV-Expositionslevel dienten analog erfasste UV-Personenmonitoringdaten an Arbeitsplätzen mit ausschließlicher Tätigkeit in Gebäuden (Innentätigkeit).

Das UV-Personenmonitoring umfasste die Datenerhebung und -bewertung aus:

- UV-Personendosimetrie (PSF-Dosimeter) an Messposition „Brust“, mit differenzierten Expositionsmessungen für:
  - Arbeitstage
  - Freizeittage
  - Urlaub
- Zeitaufgelöste Messungen mit Datenlogger-Personendosimetern (simultan zu PSF-Dosimetern)
- Daten globaler Einflussfaktoren auf UV-Personendosis
  - Messung der solaren Globalstrahlung simultan zur UV-Personendosimetrie
  - meteorologische Daten
- Daten individueller Einflussfaktoren auf UV-Expositionen und belastete Hautareale (Probandentagebuch)
  - Aufenthaltszeiten im Freien, anzugeben für fünf Zeitbereiche pro Tag
  - Status der unbedeckten Haut je Tageszeitbereich (Bekleidung, Lichtschutzsubstanzen, Schweiß, Hauttyp)
- Körperverteilung der solaren UV-Exposition unter Alltagsbedingungen mit den Einflussfaktoren:
  - Berufsgruppe
  - jahreszeitliche Mittagssonnenhöhe
  - Wetter: klarer Himmel (direkte Sonnenstrahlung);  
bedeckter Himmel (diffuse Strahlung).

Das gesamte UV-Personenmonitoring wird über eine zentrale Datenbanksoftware ausgeführt, die folgende Hauptkomponenten beinhaltet:

- Verwaltung und Einsatzzuordnung der Personendosimeter und der Messdaten
  - datenschutzgerechte Probandenbetreuung
  - Speicherung der UV-expositionsrelevanten, personenbezogenen Daten (Probandentagebücher)
  - Import der solaren Globalstrahlungsdaten und der meteorologischen Daten.
- Somit liegen alle Werte und Angaben für die weitere Auswertung des UV-Personenmonitorings in einem Datenbanksoftwaresystem vor.

### 3.1 Organisation des UV-Personenmonitorings

#### 3.1.1 Untersuchte Berufsgruppen

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden Berufsgruppen untersucht, die drei verschiedenen Tätigkeitsprofilen bezüglich der solaren UV-Exposition der Arbeitsplätze zuzuordnen sind:

1. Beschäftigte mit Tätigkeitsfeld vorrangig im Freien (Außentätigkeit)
  - Bauarbeiter (Bau):  
Personen aus dem Bereich Hochbau, die überwiegend im Freien (> 80 %) arbeiten und im Sommer ggf. nicht geschlossen bekleidet sind und deren Arbeitsplätze nicht gezielt von der Sonnenstrahlung abgeschirmt sind.
  - Landwirte (Land):  
Personen aus dem Bereich Landwirtschaft (Pflanzenbau), die überwiegend im Freien (> 80 %) arbeiten.
  - Müllwerker (Müll):  
Personen aus dem Bereich Stadtreinigung (Müllabfuhr), die überwiegend im Freien (> 80 %) arbeiten.
2. Beschäftigte mit wechselndem Tätigkeitsfeld außen und innen (Wechseltätigkeit)
  - Personen aus Berufsgruppen, die wechselnd sowohl in geschlossenen Räumen als auch im Freien tätig sind (Einzelanteil > 40 %)
    - Glasreiniger (Glas)
    - Kindergärtnerinnen (Kiga)
    - Sportlehrer (Sport).
3. Beschäftigte mit Tätigkeitsfeld ständig in Gebäuden (Innentätigkeit) als Referenzgruppe auf Basisexpositionsniveau
  - indoor.

Anmerkung:

Vor Aufnahme der Untersuchungen wurden mit der BAuA folgende Konkretisierungen abgestimmt:

In dem abgeschlossenen BMBF-Projekt „Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung“ (Förderkennzeichen 07UV-B54C/3, ausgeführt durch die Dermatologie/TU Dresden) wurde u. a. eine 120 Personen umfassende Gruppe Innenbeschäftigter (indoor) über zwei Jahre untersucht. In diesem Projekt kam auch das UV-Personenmonitoring der Dermatologie/TU Dresden zum Einsatz. Dabei wurden die globalen Einflussfaktoren

(solare Globalstrahlung, meteorologische Bedingungen) der Messperioden in der Datenbank erfasst (KNUSCHKE et al. 2004).

Deshalb kann sinnvoller Weise auf den Datenpool dieser indoor-Gruppe zugegriffen werden. Einer diesbezüglichen Nachnutzung der Forschungsergebnisse wurde durch das BMBF ausdrücklich zugestimmt. Mit der BAuA wurde vereinbart, exemplarisch drei ständig im Gebäude beschäftigte Arbeitnehmer als Probandengruppe im Rahmen der kontinuierlichen Messungen über ein Jahr (PSF-Dosimeter und simultan elektronisches Datenloggerdosimeter) mitzuführen.

Durch die freien Kapazitäten konnte so in Erweiterung des ursprünglichen Programms eine zusätzliche Berufsgruppe mit Wechseltätigkeit (Sportlehrer, s. o.) aufgenommen werden.

Weiterhin wurde auf die Untersuchung „Bauarbeiter im Hochbau mit abgeschatteten Arbeitsplätzen“ (z. B. mit Planen verhangene Arbeitsplätze) verzichtet. Diese Arbeitsplatzcharakteristik wird von den Firmen aus Kostengründen kaum realisiert. Die Untersuchungsgruppe „Bau-Plane“ wurde gegen eine deutschlandweit typische Berufsgruppe (Müllwerker), die wetterunabhängig immer im Freien beschäftigt ist, ersetzt.

### **3.1.2 Rekrutierung der Probandengruppen**

Aufbauend auf den Erfahrungen aus den Probandenrekrutierungen zu den Studien im Rahmen der beiden BMBF-Projekte, wurde zunächst zu den Geschäftsleitungen relevanter Firmen bzw. mit entsprechenden Behörden Kontakt aufgenommen und das Anliegen des Forschungsprojektes dargelegt. Bei erteilter Genehmigung wurden die Hintergründe der Studie sowie die Aufgaben und Anforderungen an freiwillige Teilnehmer den Mitarbeitern, die als potentielle Probanden in Betracht kamen, in persönlichen Gesprächen erläutert. In Firmen bzw. Einrichtungen, in denen das Vorhaben durch persönliches Engagement von Leitungsseite unterstützt wurde, vereinfachte sich die Probandengewinnung erheblich. So war auch die Motivierung der Mitarbeiter durch den Geschäftsführer eines größeren landwirtschaftlichen Betriebes entscheidend bei der Rekrutierung der Probandengruppe „Landwirte“.

Anmerkung: Analog zu den Erfahrungen bei der Betriebsauswahl, die im BAuA-Forschungsbericht 903 (TREIER et al., 2000) dokumentiert wurden, waren die regionalen Bauernverbände nicht bereit, Adressen von Betrieben im Umland von Dresden zur Verfügung zu stellen.

Das Interesse an der Problematik, und damit die individuelle Bereitschaft von vornherein, war in allen Gruppen sehr unterschiedlich ausgeprägt. Aus den Erfahrungen bei der Arbeit mit Probanden entsprechender Studien seit 1994 musste man, verstärkt in den letzten 5 Jahren, einen Rückgang des breiten Interesses an der UV-Strahlung als Gesundheitsfaktor verzeichnen.

Der persönliche UV-Expositionslevel im Freien Beschäftigter wird neben den globalen Einflussfaktoren entscheidend vom individuellen Arbeitsumfeld geprägt. Deshalb mussten die an dieser Studie teilnehmenden Probanden sehr genau definierten Tätigkeitsmerkmalen über den untersuchten Zeitraum von einem Jahr (teilweise auch länger) entsprechen. So mussten die teilnehmenden Gebäudereiniger ausschließlich mit der Fensterreinigung sowohl innerhalb als auch außerhalb beschäftigt sein oder die Bauarbeiter im Hochbau mussten in Dresden bzw. der näheren Umgebung eingesetzt sein (wegen der Relation zur simultan in Dresden gemessenen solaren Globalstrahlung).

**Tab. 3.1** Übersicht der Teilnehmer an den jahreszeitlich zyklischen MP

Gruppe	Firma	Mai03	Sep03	Dez03	März04	Apr04	Jun04	Sep04
Bau	WALTER BAU AG	6	7	6	4			
	WOLFF & MÜLLER GmbH & Co. KG	5	2	2				
	Stölzer GmbH		3					
	Övermann GmbH & Co. KG			6				
	Schuppertbau GmbH				4			
	Maria Heinisch Bau- und Projektbetreuung Makellos				2			
Müll	Stadtreinigung Dresden GmbH			6	6		8	6
Land	Agricultur GmbH	10	11	11		11		
Glas	Clemens Kleine GmbH	8	9	9	10			
	Piepenbrock Dienstl. GmbH & Co. KG		1					
	Götz Gebäude-dienstleistung GmbH			1	1			
Kiga	Kindergarten Comeniusstr. 135	7	6	7	7			
	Kindergarten Zöllnerstr. 2	6	5	6	6			
Sport	Sportgymnasium	3	3	3	4			
	Kreuzschule	2	2	2	1			
	Sportmittelschule	2	2	2	2			
	101. Mittelschule	2	2	2	1		1	
	Schule für Hörgeschädigte		1	1	1		1	

Für die jahreszeitlichen Messperioden im Rahmen des UV-Personenmonitorings gibt Tabelle 3.1 die Probandenzahl je Firma, die die Studie unterstützten, wieder. In Tabelle 3.2 ist die analoge Übersicht für die kontinuierlichen Messungen über 52 Kalenderwochen (bzw. 64 Kalenderwochen) zusammengestellt.

**Tab. 3.2** Übersicht der Teilnehmer an der kontinuierlichen Jahresmessung

Gruppe	Firma	Anzahl
Bau	WALTER BAU AG	5
Land	Agricultur GmbH	5
Müll	Stadtreinigung Dresden GmbH (Start: 01.12.03)	5
Glas	Clemens Kleine GmbH	5
Kiga	Kindergarten Bahnhofstr .52	3
	Kindergarten Zöllnerstr. 2	2
Sport	Sportgymnasium	1
	Bertolt-Brecht-Gymnasium	1
	Joseph-Haydn-Gymnasium	1
	Schule für Hörgeschädigte (Start: 02.06.03)	2
indoor	Universitätsklinikum Dresden	3

### 3.1.3 Branchen- und berufsgruppenspezifische Randprobleme bei ganz-jährigen Untersuchungen

In den Berufsgruppen Bauarbeiter, Glasreiniger und Landwirte beeinflussten branchenspezifische Besonderheiten den theoretisch geplanten Untersuchungsablauf. Besonders in den Wintermonaten ruhen in diesen Branchen sehr viele Beschäftigungsverhältnisse.

#### Bauarbeiter

Als Problem für dieses Vorhaben erwies sich die Tatsache, dass Bauvorhaben aus ökonomischen Gründen nur einen absolut minimal vertretbaren Zeitrahmen umfassen. Es gibt kaum Bauvorhaben über 12 Monate und länger. Das bedeutete für die personendosimetrische Untersuchung, dass ein Teil der Probanden im Vorfeld nur für eine bzw. zwei Messperioden „garantiert“ den Anforderungen entsprach. Aufgrund der allgemeinen wirtschaftlichen Lage konnten die meisten Baufirmen keine Aussagen zu Bauvorhaben über 3 Monate im Voraus treffen.

Außerdem kam es immer wieder zu kurzfristigen Arbeitsplanänderungen. Das führte regelmäßig dazu, dass ein Mitarbeiter (Bau) plötzlich woanders eingesetzt wurde, durchaus auch fern von Dresden. Diese Umsetzung erfolgte oft von einem Tag auf den anderen. Da dies auch während der Messperioden passierte, konnte es vorkommen, dass Probanden kurzfristig dem Anforderungsprofil nicht mehr entsprachen und Nachrekrutierungen erforderlich waren.

#### Landwirte

Als ein Sonderfall musste die Gruppe Landwirte behandelt werden. In der Landwirtschaft Beschäftigte mit Schwerpunkt Pflanzenbau arbeiten im Frühjahr und Sommer witterungsbedingt und den entsprechend anstehenden Arbeiten auch an den Wochenenden und an Feiertagen durch. Dafür wird in den Wintermonaten (Dezember, Januar, Februar) weitgehend nicht gearbeitet, Überstunden abgebaut und der größte Teil des Jahresurlaubs genommen. Das ist charakteristisch für dieses



Berufsbild und musste auch während der Durchführung der Datenerfassung beachtet werden.

#### Glasreiniger (Gebäudereiniger)

Als Besonderheit dieser Berufsgruppe war zu berücksichtigen, dass speziell in den Sommermonaten Arbeitsbeginn um ca. 4.00 Uhr morgens ist, damit das Arbeitsende ca. 12.00 Uhr erreicht ist. Hintergrund dafür sind die sonst unerträglichen Arbeitsbedingungen in der Mittagshitze. Der weitere Tagesablauf wurde in den Zeitfragebögen (ZFB) zu Verhaltensangaben bei Freiluftaufenthalten (vgl. Anh. 1, Abb. 4 a-b) erfasst. Weiterhin geben die exemplarischen Messungen mit den zeitauflösenden Datenlogger-Dosimetern Aufschluss.

#### Berufsgruppenspezifische Arbeitszeiten

In den Probandentagebüchern waren die täglichen Arbeitszeiten zu dokumentieren. Aus diesen Angaben in der UV-Personenmonitoring-Datenbank konnten die typischen, berufsgruppenspezifischen Arbeitszeiten für die untersuchten Berufsgruppen extrahiert werden (Tab. 3.3).

**Tab. 3.3** Berufsgruppenspezifische, typische Arbeitszeiten

	Arbeitszeit von	Arbeitszeit bis
Bau Fröhschicht	06:30	16:00
Spätschicht	13:00	22:00
Land*)	07:00	18:00
Müll	06:00	15:00
Sport	07:30	17:15
Kiga	08:00	15:30
Glas	04:30	13:30
indoor	08:00	16:00

\*) Nov.-Feb. nur vereinzelt

### 3.1.4 Elektronisches Personendosimeter X2000 – Geräteprobleme und Produktweiterentwicklung

#### Hardwareprobleme

Die Messdaten aller Datenlogger-Dosimeter X2000 (Fa. Gigahertz-Optik GmbH, Puchheim) zur exemplarischen zeitaufgelösten UV-Personendosimetrie waren vom Start in der 19. KW (05.05.03) bis zur 37. KW (09.09.03) von allen Messgeräten nicht nutzbar.

Der erste Auslesezyklus erfolgte nach vier Wochen – statt nach den geplanten sechs Wochen gemäß Datenloggerspeicherkapazität. Es musste festgestellt werden, dass nur für jeweils die ersten 10-12 der 28 Tage Messwerte gespeichert wurden. Für die übrige Zeit wurden nur Datensätze für Bestrahlungsstärke- und Temperaturwerte angelegt, diese aber mit „0“-Werten gefüllt.

Ursache war letztlich der Einbau von verzinnnten Batteriekontakten statt verchromten Stahl-Kontakten in die X2000-4 durch einen Zulieferer der Fa. Gigahertz-Optik.

Offensichtlich führten hohe Außentemperaturen und Luftfeuchte im Sommer 2003 bei diesem Material zu erhöhten Kontaktwiderständen, die die Batteriespannung regelmäßig zusammenbrechen ließen.

Das Bestreben über drei Monate, kontinuierliche Messreihen zu garantieren und die Fehlersuche bei laufendem Betrieb zu realisieren, erforderten einen erheblichen Mehraufwand. So war in der Endphase eine studentische Hilfskraft über 3 Wochen täglich ausschließlich mit der Aktivierung der zwölf X2000-4 beschäftigt. Sie musste ständig auf Abruf zu den Probanden fahren und die Geräte durch Batteriewechsel reaktivieren (Mehraufwand: 400 Fahrkilometer, 60 Batterien und 50 Arbeitsstunden). Letztlich waren diese Daten der elektronischen Datenlogger-Dosimeter für eine Auswertung doch nicht nutzbar. Der Ausfall der einzelnen Geräte ist in Anh. 1, Tab. 1 zusammengefasst.

Nach Abstellen des Gerätefehlers arbeiteten die Datenlogger-Dosimeter X2000-4 weitgehend fehlerfrei. Ab Januar 2004 konnte auf den ursprünglich geplanten 6-wöchigen Ausleserhythmus übergegangen werden.

### Software

Von der Dermatologie/TU Dresden werden verschiedene elektronische Messsysteme mit Datenloggern verwendet: Robertson-Berger-Meter (RB-Meter), Personendosimeter X2000 und Personendosimeter UVDAN (vgl. Kap. 5.2, 5.3).

Damit alle Messdaten eine einheitliche Datenstruktur haben und mit dieser Datenstruktur in die Personenmonitoring-Datenbank importierbar sind, war die Software „DosiDat“ entwickelt worden. Anhand des Datenauslesefiles wird automatisch der Typ des elektronischen Personendosimeters erkannt und in eine einheitliche Datenstruktur konvertiert.

Beispielsweise werden von einem Datenlogger-Dosimeter X2000 durch die Firmware OSDL 2000 jeweils Messdatenfiles erstellt, mit den Kopfdaten: Seriennummer, Sensortyp (Erythem, ICNIRP, UV-A) mit verwendeter Bestrahlungsstärke-Maßeinheit, Startzeitpunkt (Datum, Uhrzeit), Zeiteinheit des Messtaktes. Es folgen dann die Messdatensätze pro Messtakt: Messwert der Bestrahlungsstärke je UV-Sensor, Messwert der Gerätetemperatur. Es musste für die Vorbereitung des Datenbankimportes zuerst eine Zuordnung von Datum und Uhrzeit zu den Messdaten je Messtakt erfolgen.

Ein zusätzliches Problem war, dass die Datenloggerinitialisierungs- und Auslesesoftware OSDL 2000 zu den einzelnen Geräten (X2000-1, -2, -4) in verschiedensten Versionen, verschiedenen Sprachen, verschiedenen Maßeinheitensystemen, verschiedenem Ausleselayout und fehlerhaften Initialisierungsfunktionen geliefert wurde. Die fehlerhaften Initialisierungsfunktionen wurden Schritt für Schritt erkannt, analysiert und in ständiger Zusammenarbeit mit der Fa. Gigahertz-Optik nachgebessert. Der Variantenreichtum musste in die erweiterte Programmierung von „DosiDat“ aufgenommen werden.

Die Programmentwicklung war im BMBF-Projekt 07UV-B54C/3 (KNUSCHKE et al., 2004) erfolgt. Im Rahmen dieses Projektes erfolgte die Erweiterung des Programms zur Erkennung und Konvertierung von X2000-4 (Erythem-, UV-A-Sensor).

## 3.2 UV-expositionsrelevante Daten

### 3.2.1 Personendaten

Zur Aufnahme in die Datenbank des UV-Personenmonitorings wurden die UV-expositionsrelevanten Personendaten der Studienteilnehmer mit Hilfe von Befragungsbögen erfasst. Erfragt wurden:

- Allgemeine Personendaten: Kontaktdaten; Ausbildung; Arbeitsweg und Freizeitaktivitäten (pauschal aus Jahressicht); Einwilligung zur Datenerfassung und -verarbeitung gemäß Datenschutzgesetz;
- UV-hauttyprelevante Personendaten
- Verlauf Urlaubsjahr 2003: Urlaubsort mit geografischen Angaben; Freizeitaktivitäten im Freien;
- Probandentagebuch: Aufenthaltszeiten im Freien in 5 Tageszeitbereichen; zugeordneter Hautstatus (Bekleidung, Schwitzen, Lichtschutzsubstanzen); Freizeitaktivitäten, Arbeitsweg jeweils für die aktuelle Messperiode.

Diese Befragungsbögen basieren auf jenen, die in der Arbeitsgruppe Experimentelle Photobiologie (Dermatologie/TU Dresden) für das UV-Personenmonitoring solarer Expositionslevel in der Bevölkerung im Rahmen der BMBF-Projekte „UV-Personenmonitoring mit Verwendung des Polysulfonfilms als UV-Sensor“ und „Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung“ entwickelt und in das Datenbanksystem implementiert wurden.

Für dieses Projekt wurden die Befragungs- und Protokollbögen im Layout probandenfreundlicher gestaltet und teilweise im Befragungsumfang erweitert (Anh. 1, Abb. 1 bis 5). So wurde die Erfassung der täglichen Arbeitszeiten, Wochenendarbeit bzw. Freizeittage an Werktagen und Tätigkeiten im Freien mit freiem Oberkörper aufgenommen. Weiterhin wurde eine Präzisierung der Aufenthaltszeiten im Freien für jeden der fünf Tageszeitbereiche von 30-min- auf 15-min-Genauigkeit (Anh. 1, Abb. 4 b) im Protokoll vorgenommen und in der Datenbank-Software programmiert.

Für die Gruppe der Landwirte musste ein ergänzender Fragebogen erstellt werden, um die Vielfalt der individuell sehr verschiedenen Arbeitsvorgänge zu erfassen (Anh. 1, Abb. 5). Da die Arbeit in landwirtschaftlichen Betrieben durch eine Anzahl wechselnder Tätigkeiten an unterschiedlichen Orten und unter verschiedenen Bedingungen geprägt ist, sollte so zu jedem einzelnen Teilnehmer ein Überblick des Umfeldes zu den Expositionszeiten und -bedingungen unter freiem Himmel erfasst werden.

### 3.2.2 Globale Einflussfaktoren auf individuelle UV-Expositionen

Als globale Einflussfaktoren auf die individuelle UV-Exposition durch Solarstrahlung wurden im Rahmen des UV-Personenmonitorings erfasst:

- biologisch-effektive Globalstrahlung der Sonne
- meteorologische Daten.



**Abb. 3.1 a** Robertson-Berger-Meter und Polysulfonfilm-Dosimeter zur Messung der Globalstrahlung



**Abb. 3.1 b** Spektroradiometer im klimatisierten Raum unter Messkopfräger



**Abb. 3.1 c** Spektroradiometer-Messkopf und ICNIRP-, UV-A-, Ery-Breitband-Messkopf für solare UV-Globalstrahlungsmessung sowie elektronische UV-Personendosimeter zur Interkalibrierung

Zur kontinuierlichen Messung der erythem-effektiven Globalstrahlung für den Raum Dresden stand die seit 1996 auf dem Gelände des Universitätsklinikums Dresden betriebene UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden mit einem Gerät vom Robertson-Berger-Typ (RB-Meter) zur Verfügung. Dieses Messgerät Scintec UV-S-E-T der Fa. Kipp & Zonen, Delft/NL wurde vor Messbeginn des Projektes im April 2003 in der Firma rekali­briert. Für die im 10-min-Takt erfassten Messdaten des RB-Meters gibt es ein Importmodul in der Datenbank des UV-Personenmonitorings.

Simultan zu allen personendosimetrischen Messungen erfolgten die Messungen der Globalstrahlung auch mittels PSF-Dosimetern (Abb. 3.1 a). Je nach Wochentag waren die PSF-Dosimeter der WT- bzw. der WE-Messung geöffnet. Parallel fand eine Dauerexposition über die gesamte Messperiode statt. Gemessen wurde a) in horizontaler Dosimeterlage die Globalstrahlung, b) in vertikaler Lage gegen Süden, c) in der Ebene für senkrechten Sonneneinfall 12 Uhr MEZ (Dosimeterhalter in Abb. 3.1 a für Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 30^\circ$ ). Die Mitteleuropäische Zeit MEZ ist für Dresden (geografische Länge:  $13,5^\circ$  ö. L.) nahe der wahren Ortszeit WOZ:  $12:00$  WOZ =  $12:07$  MEZ).

In diesem Projekt wurde die UV-Messstation durch Spezialmesstechnik der BAuA Dortmund wesentlich erweitert:

Zur Messung hochaufgelöster Solarspektren im UV-Bereich im 2-min-Takt kam ein Doppelmonochromator-Spektralradiometer (Spectro 320, Instrument Systems GmbH, München; Abb. 3.1 b) im Zeitraum Mai 2003 bis November 2005 zum Einsatz. Zur Messung der ICNIRP-, UV-A- und erythem-effektiven Globalstrahlung im 2-min-Takt sind Breitbandradiometer-Sensoren (Typ P 9801, Gigahertz-Optik GmbH, Puchheim, Abb. 3.1 c) seit Mai 2003 in der UV-Messstation im Einsatz.

Außerdem wurden die meteorologischen Daten für das UV-Personenmonitoring kontinuierlich aus Internet-Angaben mitgeführt: <http://www.wetteronline.de>. Meteorologische Daten (u. a. stündliche Sonnenscheindauer, Temperaturen, Niederschlag, Niederschlagsarten) mit möglichem Einfluss auf die individuelle UV-Exposition wurden intermittierend vom DWD bezogen. Für jede der Messgrößen wurde eine zugeordnete Datenbank entwickelt.

### 3.2.3 Personendosimetrische Messdaten – PSF-Dosimeter

Für die personendosimetrischen Messungen im Rahmen des UV-Personenmonitorings kommen primär PSF-Dosimeter zum Einsatz (Abb. 3.2 a).

Über ein Verfahren zur Bestimmung von Gewichts- oder Kalibrierungsfaktoren (BARTH, KNUSCHKE, BARTH, 1990; KNUSCHKE, 1996; KRINS, 1999b) für die Messwerte der PSF-Dosimeter wurden die individuellen UV-Expositionen als kumulative aktinische Bestrahlungen, bezüglich folgender photobiologischer Wirksamkeiten, ausgegeben:

- erythem-effektive Bestrahlung  $H_{ery}$
- ICNIRP-effektive Bestrahlung  $H_{ICNIRP}$
- NMSC-risk-effektive Bestrahlung  $H_{NMSC}$ .

Bei Anlaufen des Projektes kam es zu einer Veränderung in der Belieferungssituation mit PSF im Papprahmen und PSF-Dosimetergehäusen. Der Lieferant – Dr. Kockott UV-Technik, Hanau – stellte die Bereitstellung aus Altersgründen ein. Seit März 2003 erfolgt die Fertigung in Regie der Dermatologie/TU Dresden. Die physikalische

Beschreibung und Kalibrierung (KRINS, 2000; KNUSCHKE et al., 2000) bleiben bei unverändertem Polysulfonfilm-Material unbeeinflusst.



**Abb. 3.2 a** Datenlogger-UV-Dosimeter X2000 und PSF-UV-Dosimeter



**Abb. 3.2 b** X2000 und PSF-Dosimeter in Tragetasche zur simultanen Messung der UV-Personendosis

### 3.2.4 Personendosimetrische Messdaten – Datenloggerdosimeter X2000

In den sechs untersuchten Berufsgruppen mit Tätigkeit im Freien kamen exemplarisch je Gruppe bei zwei Probanden Datenlogger-Personendosimeter der Fa. Gigahertz-Optik GmbH, Puchheim vom Typ X2000-4 (1 Erythemsensor; 1 UV-A-Sensor) zum Einsatz (Abb. 3.2 a). Die Geräte wurden von der BAuA Dortmund bereitgestellt. Die drei Probanden der Referenzgruppe (indoor) trugen X2000-1 (1x Erythemsensor) aus dem Bestand der Dermatologie/TU Dresden (Anmerkung: Wegen zu geringer Empfindlichkeit eines Gerätes wurde dieses gegen ein X2000-2 mit ICNIRP- und UV-A-Sensor ausgetauscht).

Gemessen wurden im 1-min-Takt: die aktinischen Bestrahlungsstärken  $E_{ery}$  bzw.  $E_{ICNIRP}$ ,  $E_{UV-A}$  und die Gerätetemperatur  $T$ . Die Messungen erfolgten simultan zu PSF-Messungen. Beide Dosimetertypen kamen mit einer speziell gefertigten, umhängbaren Tragetasche (Abb. 3.2 b) zum Einsatz.

Die X2000 wurden bei den Probanden vor Ort mittels Notebook ausgelesen. Die Auslesezyklen waren mit sechs Wochen geplant (vgl. Kap. 3.1.4).

#### *X2000-Datenablage*

Für jedes der 15 Geräte fielen in einem 6-wöchigen Messzyklus 60.500 Datensätze an – also über 52 Wochen 525.000 Datensätze (Datum, Uhrzeit,  $E_{ery}$ ,  $E_{UV-A}$ ,  $T_{intern}$ ,  $T_{extern}$ ). Zur Übernahme und Datenverarbeitung der Messdaten der elektronischen Datenlogger-Personendosimeter vom Typ UVDAN und X2000-1 (vgl. Kap. 5.2 und 8.3) kam die Datenbanksoftware „ELUV.mdb“ (für UVDAN) und „X2000\_1Messkopf.mdb“ (für X2000-1) zum Einsatz (KNUSCHKE et al., 2004). Im Rahmen dieses Projektes wurde die Software für die Geräte des Typs X2000-2, -4 mit 2 UV-Sensoren als „X2000\_2Messköpfe.mdb“ angepasst. Die Datenbankprogramme haben einen Link zum Datenbanksystem des UV-Personenmonitoring. Damit kann auf dieselben Messzeiträume (MZR) und dieselben Tageszeiträume (ZR) der PSF-Dosimetrie und der Probandentagebücher zur Auswertung zugegriffen werden.

#### *Sofort-Bewertung der X2000-Messungen*

Vor dem Hintergrund der anfänglich generellen und im weiteren Verlauf des UV-Personenmonitorings in verschiedenen Formen auftretenden Geräteprobleme einerseits, einer Compliance-Kontrolle der Probanden andererseits, aber insbesondere für Sofort-Ergebnisse aus den X2000-Auslesungen der Messdaten wurde die grafische Auswertesoftware X2000\_graf0\_3 (Anh. 1, Abb. 7 a) aus der Software ELUV\_graf0 (KNUSCHKE et. al., 2004) entwickelt. Sie ermöglichte zeitnah nach dem Auslesezyklus die Bewertung je Personendosimeter pro Kalenderwoche:

- kumulative UV-Dosen Mo-Fr und Sa/So [grafisch u. tabellarisch] (Anh. 1, Abb. 7 b)
- Personendosis im Wochenverlauf in Relation zur Globalstrahlung aus RB-Meter-Datenbank [grafisch] (Anh. 1, Abb. 7 c)
- UV-Tagesdosen Mo-So [grafisch und tabellarisch] (Anh. 1, Abb. 7 d).

## 3.3 Durchgeführte Messkampagnen

Zur Erfassung des Datenmaterials gemäß der Projektplanung waren verschieden strukturierte Messkampagnen im Rahmen des UV-Personenmonitorings erforderlich. Definierte Mittagssonnenhöhenwinkel  $\gamma_s$  in Dresden dienten als reproduzierbare

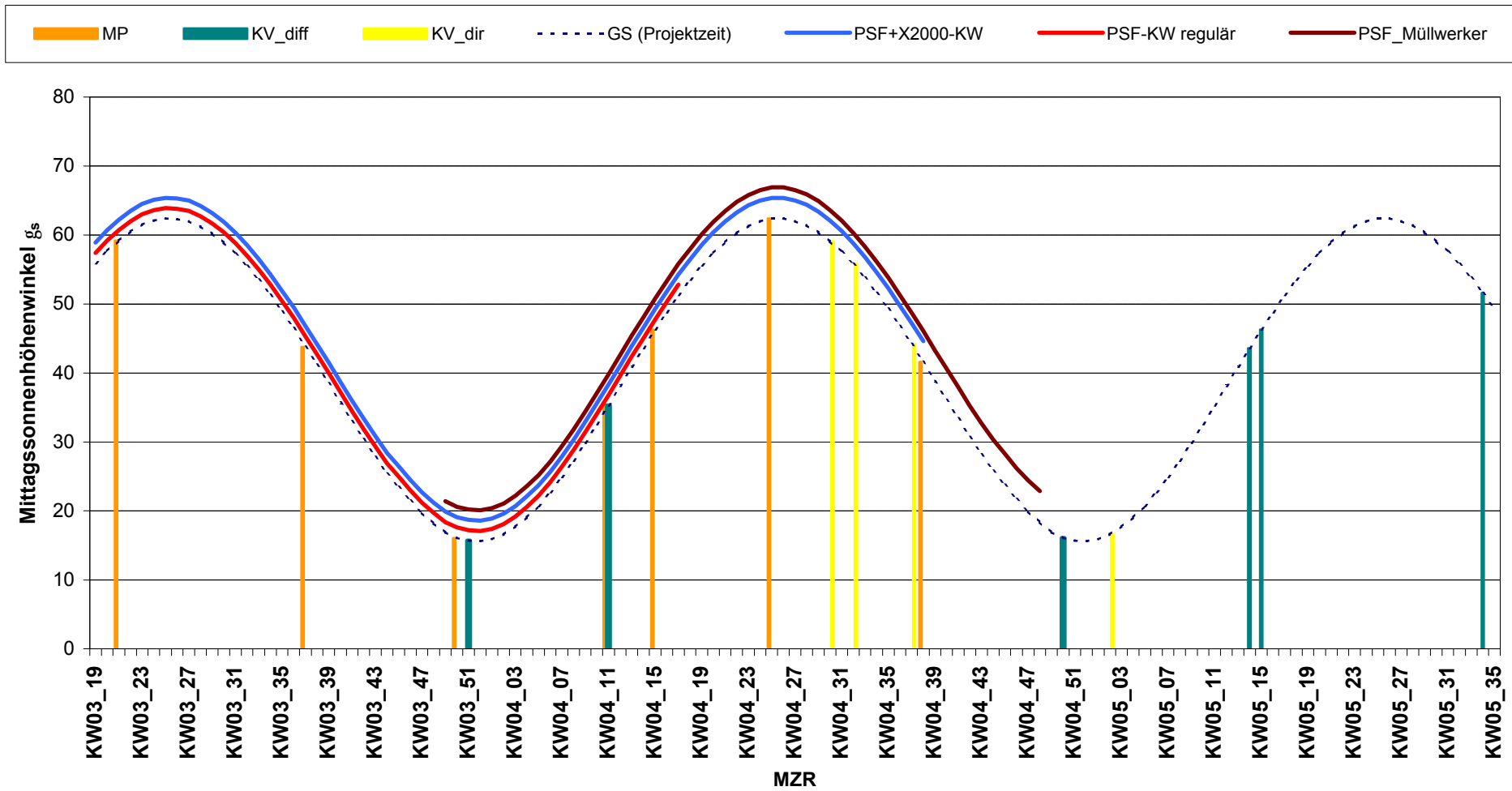


Abb. 3.3 Messreihen des UV-Personenmonitorings im Rahmen des BAuA-Projektes F 1777



Referenz bezüglich der biologischen Wirksamkeit des Sonnenspektrums im Jahresverlauf. Im Fall der Messreihen zur Erfassung der sonnenstandsabhängigen Körperverteilung der UV-Exposition mussten während der Zeitfenster der Referenzsonnenhöhen zuzüglich spezielle meteorologische Bedingungen herrschen. Die UV-Körperverteilung sollte im Rahmen dieses Projektes erstmals für die beiden möglichen Extreme von solaren Bestrahlungssituationen vergleichend untersucht werden: a) wolkenloser Himmel – direkte Einstrahlung; b) bedeckter Himmel ohne Regen – diffuse Einstrahlung.

In Abb. 3.3 ist eine zeitliche Übersicht über alle Messkampagnen des Projektes dargestellt. Dabei bedeuten:

- MP (s. Kap. 3.3.1):  
Jahreszeitliche Messperioden MP über ein Jahr
- PSF-KW regulär (s. Kap. 3.3.2.1):  
Kalenderwöchentliche (KW) Messperioden über ein Jahr gemäß regulärer Planung
- PSF+X2000-KW (s. Kap. 3.3.2.2):  
simultan zu PSF-KW, zusätzlich mit zeitauflösenden UV-Datenloggern X2000
- PSF-Müllwerker (s. Kap. 3.3.1; 3.3.2.1; 3.3.2.2)  
Untersuchungen der Müllwerker, Start um 6 Monate später;  
(anstelle Gruppe Hochbau mit Arbeitsplatz abgeschirmt durch Planen)
- KV\_dir (s. Kap. 3.3.4):  
Körperverteilung der UV-Exposition über 3 bzw. 5 Tage je Sonnenhöhe  $\gamma_s$ ;  
Meteorologische Bedingungen: direkte Sonnenstrahlung (klarer Himmel)
- KV\_diff (s. Kap. 3.3.4):  
Körperverteilung der UV-Exposition über 3 bzw. 5 Tage je Sonnenhöhe  $\gamma_s$ ;  
Meteorologische Bedingungen: diffuse Sonnenstrahlung  
(gleichmäßig bedeckter Himmel, kein Regen)
- GS (Projektzeit):  
Messung der biologisch-effektiven solaren Globalstrahlung über die gesamte Projektlaufzeit mittels
  - PSF-Dosimeter (Dermatologie/TU Dresden)
  - Messgerät vom Robertson-Berger-Typ (Dermatologie/TU Dresden)
  - Breitbandradiometer mit Erythem-, ICNIRP- und UV-A-Messkopf (BAuA Dortmund)
  - Doppelmonochromator-Spektorradiometer (BAuA Dortmund).

### 3.3.1 Jahreszeitliche, zyklische Messperioden

Um eine Bewertung der UV-Exposition unter Alltagsbedingungen für einen Jahresverlauf bezüglich des dosimetrischen Messumfanges auch für größere Probandengruppen realisieren zu können, wurden saisonale Messperioden (MP) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser MP dienen als Datenstützstellen für den Jahresverlauf. Die Stützstellen von jeder Personengruppe bilden die Datenbasis für die vorhandene Modell-Datenbank zur biometrischen Schätzung von UV-Jahresexpositionen (vgl. Kap. 2). Zur Vergleichbarkeit von UV-Expositionsdaten erfolgten alle MP der UV-Personenmonitoringstudien der Dermatologie/TU Dresden mit Bezug zu festen Mittagssonnenhöhen  $\gamma_s$  als Referenz (charakterisiert durch: Datum im Jahr und geografische Breite).

**Tab. 3.4** Durchgeführte Messperioden in den Jahren 2003 und 2004

Referenz- sonnenhöhe	Messzeitraum MZR	Zeitraum Messperiode	Tragezeit der PSF-Dosimeter	Tageszeiträume ZR im Probandentagebuch für Messzeitraum MZR	Teilnehmer-Gruppen (Kurzbezeichnung)	Zeitpunkt der Referenzsonnenhöhe für Dresden (51,0° n.Br.)
60°	Mai03	17.05.– 01.06.2003	7.00-19.00 (MESZ)	ZR1 vor 9 MESZ ZR2 9-12 MESZ ZR3 12-14 MESZ ZR4 14-17 MESZ ZR5 nach 17 MESZ	Bau, Kiga, Glas, Sport, Land	26. Mai / 19. Juli
42°	Sep03	06.09.– 21.09.2003	8.00-18.00 (MESZ)	ZR1 vor 9 MESZ ZR2 9-12 MESZ ZR3 12-14 MESZ ZR4 14-17 MESZ ZR5 nach 17 MESZ	Bau, Kiga, Glas, Sport, Land	16. September / 28. März
15°	Dez03	06.12.– 21.12.2003	8.00-16.00 (MEZ)	ZR1 vor 9 MEZ ZR2 9-11 MEZ ZR3 11-13 MEZ ZR4 13-15 MEZ ZR5 nach 15 MEZ	Bau, Kiga, Glas, Sport, Land, Müll	21. Dezember
30°	März04	06.03.– 21.03.2004	7.00-17.00 (MEZ)	ZR1 vor 9 MEZ ZR2 9-11 MEZ ZR3 11-13 MEZ ZR4 13-15 MEZ ZR5 nach 15 MEZ	Bau, Kiga, Glas, Sport, Müll	26. Februar / 19. Oktober
42°	Apr04	03.04.– 18.04.2004	8.00-18.00 (MESZ)	ZR1 vor 9 MESZ ZR2 9-12 MESZ ZR3 12-14 MESZ ZR4 14-17 MESZ ZR5 nach 17 MESZ	Land	16. September / 28. März
60°	Jun04	12.06.– 27.06.2004	7.00-19.00 (MESZ)	ZR1 vor 9 MESZ ZR2 9-12 MESZ ZR3 12-14 MESZ ZR4 14-17 MESZ ZR5 nach 17 MESZ	Sport, Müll	26. Mai / 19. Juli
42°	Sep04	11.09.– 26.09.2004	8.00-18.00 (MESZ)	ZR1 vor 9 MESZ ZR2 9-12 MESZ ZR3 12-14 MESZ ZR4 14-17 MESZ ZR5 nach 17 MESZ	Müll	16. September / 28. März

Die Referenzsonnenhöhen 60°; 42°; 30° und 15° (erreicht in Dresden / 51,0° n. Br. am: 26. Mai / 19. Juli; 16. September / 28. März; 26. Februar / 19. Oktober und 21. Dezember) für die jahreszeitlichen zyklischen Messperioden dieser Studie entsprachen denen vorangegangener UV-Personenmonitoringuntersuchungen. Damit war vor allem die Vergleichbarkeit zum Datenpool des UV-Personenmonitorings (KNUSCHKE et al., 2000 - Anh. 3; KNUSCHKE et al., 2004) bei Innenbeschäftigten als Referenzgruppe bezüglich des UV-Expositionslevels gegeben. Einen Überblick zu den durchgeführten Messperioden MP zeigt Tab. 3.4.

### *Design einer MP*

Eine Messperiode umfasste:

- 2 Arbeitswochen je 10 Werktage (WT)
- 3 Wochenenden je 6 Wochenendtage (WE).

Jeder Teilnehmer bekam kurz vor Beginn der jeweiligen Messperiode:

- 1 PSF-Dosimeter für die Arbeits-(Werk-)tage (WT)
- 1 PSF-Dosimeter für die Wochenendtage (WE)
- ein Tagebuchprotokoll zur Dokumentation des Zeitverlaufs der Freiluftaufenthalte, des Bekleidungsstatus, der Verwendung von Lichtschutzpräparaten, ggf. des Vorhandenseins phototoxischer Stoffe.

Simultan zur UV-Personendosimetrie erfolgte die Globalstrahlungsmessung mit PSF-Dosimetern über den Messzeitraum.

In Tabelle 3.5 ist das PSF-Dosimeter-Design für eine MP zusammengestellt.

Über die gesamte Projektlaufzeit erfolgte die Globalstrahlungsmessung mit elektronischer UV-Messtechnik (Messstation auf Haus 19 Uniklinikum Dresden):

- RB-Metermessung 10-min-Takt (Dermatologie/TU Dresden)
- Spektralradiometermessung 2-min-Takt (BAuA Dortmund)
- Breitbandradiometermessung 2-min-Takt (BAuA Dortmund)  
(Erythem-, ICNIRP-, UV-A-Sensor)

**Tab. 3.5** Dosimeter-Design einer Messperiode

Untersuchung	Messtage	Anzahl Dosimeter / Messwerte
<b>Personendosimetrie (PD)</b>	10 Werktage (WT)	1 WT-PSF-Dosimeter
	6 Wochenendtage (WE)	1 WE-PSF-Dosimeter
<b>Globalstrahlung (GS)</b> - PSF: horizontal	10 WT	6 PSF-Messwerte
	6 WE	6 PSF-Messwerte
	16 Tage Gesamtdauer	6 PSF-Messwerte
- PSF: schräg 12:00 MEZ senkrechter Sonneneinfall	10 WT	6 PSF-Messwerte
	6 WE	6 PSF-Messwerte
	16 Tage Gesamtdauer	6 PSF-Messwerte
- PSF: vertikal Ausrichtung: nach Süd	10 WT	6 PSF-Messwerte
	6 WE	6 PSF-Messwerte
	16 Tage Gesamtdauer	6 PSF-Messwerte

In der MP03\_5 (Mai 2003) lag ein Wochenfeiertag. Wegen der unterschiedlichen Arbeitszeitgestaltungen am Feiertag wurde für die Probanden festgelegt, an diesem Tag kein Personendosimeter zu tragen. Aus den Tagebuchprotokollen wurde ermittelt, ob die Person arbeitete bzw. Freizeit hatte. Zur Bewertung der UV-Exposition am Feiertag wurde dann der Tagesmittelwert aus den WT-Messwerten bzw. aus den WE-Messwerten herangezogen.

### 3.3.2 Kontinuierliche Messungen

#### 3.3.2.1 Kontinuierliche PSF-Messung

Zur exemplarischen Erfassung vollständiger UV-Jahresexpositionen für jede der Beschäftigtengruppen trugen je 5 Personen bzw. im Fall der Vergleichsgruppe 3 Personen kontinuierlich über 52 Kalenderwochen (KW) PSF-Personendosimeter.

Die Messreihe wurde mit der 19. KW 2003 (05.05.03) gestartet und in der 18. KW 2004 (02.05.04) beendet. Für die Berufsgruppe Müllwerker lief die Messreihe von der 49. KW 2003 (01.12.03) bis zur 48. KW 2004 (28.11.04).

Das Dosimeter-Design der kalenderwöchentlichen Messzeiträume ist in Tabelle 3.6 zusammengefasst.

**Tab. 3.6** Dosimeter-Design je KW-MZR

Untersuchung	Messtage	Anzahl Dosimeter / Messwerte
Personendosimetrie (PD) zwischen: <b>KW 13 und KW 40</b>	5 Werktage (WT)	1 WT-PSF-Dosimeter
	2 Wochenendtage (WE)	1 WE-PSF-Dosimeter
Globalstrahlung (GS) - PSF: horizontal - PSF: vertikal	5 WT	6 PSF-Messwerte
	2 WE	6 PSF-Messwerte
	5 WT	6 PSF-Messwerte
	2 WE	6 PSF-Messwerte
Personendosimetrie (PD) <sup>*)</sup> zwischen: <b>KW 41 und KW 12</b>	10 WT	1 WT-PSF-Dosimeter
	4 WE	1 WE-PSF-Dosimeter
Globalstrahlung (GS) <sup>*)</sup> - PSF: horizontal - PSF: vertikal	10 WT	6 PSF-Messwerte
	4 WE	6 PSF-Messwerte
	10 WT	6 PSF-Messwerte
	4 WE	6 PSF-Messwerte

<sup>\*)</sup> Im Zeitraum 41. KW 2003 bis einschließlich 12. KW 2004 (zusätzlich 41. KW 2004 bis einschließlich 48. KW 2004 für die Gruppe der Müllwerker) wurde aufgrund der jahreszeitlich bedingt reduzierten UV-Exposition der Tragezeitraum für die PSF-Dosimeter von einer Kalenderwoche auf zwei Kalenderwochen verlängert.

Die Teilnehmer wurden mit Dosimetern und Tagebuchprotokollen für jeweils 6 Wochen ausgestattet. Das bedeutete, jeder Proband erhielt 2 Dosimetergehäuse (eins für WT und eins für WE) und je Kalenderwoche einen Dosimeterfilm für WT und einen Dosimeterfilm für WE. Der Dosimeterfilmwechsel wurde von den Teilnehmern

nach Schulung selbstständig durchgeführt. Die täglichen Dosimeter-Tragezeiten waren jahreszeitlich angepasst (Tab. 3.7).

Außerdem erhielten die Probanden die Anweisung, im Fall eines Wochenfeiertages, einzelner Urlaubstage oder Krankheit an Stelle des WT-Dosimeters das WE-Dosimeter zu tragen und dies im Protokoll zu vermerken.

**Tab. 3.7** Kontinuierliche UV-Jahresmessung mit PSF-Personendosimetern Referenzsonnenhöhen für PSF-Auswertung und jahreszeitlich angepasste tägliche Personendosimeter-Tragezeiten

von	bis	Referenzsonnenhöhe für Auswertung	Tägliche Tragezeiten der PSF-Dosimeter
19. KW 2003	36. KW 2003	60°	7.00- 9.00 (MESZ)
37. KW 2003	43. KW 2003	42°	8.00-18.00 (MESZ)
44. KW 2003	06. KW 2004	15°	8.00-16.00 (MEZ)
07. KW 2004	12. KW 2004	30°	7.00-17.00 (MEZ)
13. KW 2004	16. KW 2004	42°	8.00-18.00 (MESZ)
17. KW 2004	36. KW 2004	60°	7.00-19.00 (MESZ)
37. KW 2004	44. KW 2004	42°	8.00-18.00 (MESZ)
45. KW 2004	48. KW 2004	15°	8.00-16.00 (MEZ)

Nach Rücknahme im 6-Wochen-Rhythmus wurden bei Eingabe in die Personenmonitoring-Datenbank die Messdaten und Protokollangaben verifiziert.

Während für die Gruppen Bauarbeiter, Landwirte, Sportlehrer, Kindergärtnerinnen und Innenbeschäftigte der Anteil der nutzbaren Datensätze zwischen 88 % und 100 % lag, erreichte der Anteil der verwendbaren Daten bei den Glasreinigern nur 56 % für Werkzeuge und nur 50 % für Wochenendtage. Die Übersicht zu den für die biostatistische Auswertung nutzbaren Datensätzen, getrennt nach Werk- und Wochenendtagen, ist in Anh. 1, Abb. 8 a-b dargestellt.

Die Daten waren nicht nutzbar, wenn Probanden:

- Dosimeter nicht getragen hatten (leere bzw. unterexponierte Dosimeter)
- kein Protokoll ausgefüllt hatten
- Dosimeter verloren hatten
- den Dosimeterwechsel falsch, vor allem aber nicht nachvollziehbar, durchgeführt hatten (beim eigenverantwortlichen Tausch der Dosimeterfilme im Rahmen der Untersuchung über 52 Kalenderwochen)
- manipulierte Dosimeter zurückgegeben hatten.

Seit der Feststellung der unzureichenden Compliance der Probanden der Gruppe „Glasreiniger“ wurde versucht, durch persönliche Gespräche die Probleme zu lösen und die Motivation zu erhöhen.

Die Globalstrahlungsmessung erfolgte ebenfalls simultan mit je 2 PSF-Dosimetern für WT bzw. WE, dem RBM, dem Spektral- und dem Breitbandradiometer. Im Zeitraum 41. KW 2003 bis einschl. 12. KW 2004 (für Müllwerker zusätzlich von 45. KW

bis einschl. 48. KW 2004) wurde analog zur personendosimetrischen Messung der Expositionszeitraum für die PSF-Dosimeter von einer Woche auf zwei Wochen verlängert.

### 3.3.2.2 Zeitaufgelöste Messungen (Datenlogger)

Jeweils zwei der Probanden pro Beschäftigtengruppe, die an der kontinuierlichen Messung teilnahmen, trugen simultan zum PSF-Dosimeter ein elektronisches Datenlogger-Personendosimeter vom Typ X2000-4 bzw. im Fall der Vergleichsgruppe vom Typ X2000-1 (Abb. 3.2 b). So wurden über die kumulativen Expositionsdaten je Kalenderwoche aus den PSF-Dosimetern hinaus auch die Tagesprofile der UV-Expositionen im 1-min-Messtakt erfasst. Die Tragezeiten für die elektronischen Personendosimeter entsprachen denen für die PSF-Dosimeter (siehe Tab. 3.7). Die Messreihe lief parallel zu den in Kapitel 3.3.2.1 angegebenen Untersuchungszeiträumen.

### 3.3.3 **UV-Expositionen im Urlaub**

Von jedem Probanden wurden die Angaben zum Urlaubsjahr 2003 erfasst. In der Datenbank des UV-Personenmonitorings wurden Zeitraum, geografische Daten zum Urlaubsort (geografische Breite, Höhe ü. NN, mögliche erhöhte UV-Reflexionen durch Wasser/Schnee) und Art der Aktivitäten im Freien gespeichert (Anh. 1, Abb. 3). Jeder Proband wurde in den Kontaktgesprächen und mit Hilfe des Fragebogens auf die personendosimetrischen Urlaubsmessungen mit PSF-Dosimetern hingewiesen.

Von den Teilnehmern der jahreszeitlichen Messperioden lagen 45 Bereitschaftserklärungen für die Urlaubsmessung vor.

Während des Messjahres konnten davon insgesamt 28 Urlaubsmessungen durchgeführt werden. Etwa 50 % der interessierten Personen konnten zur Zeit der Befragung noch keine Angaben zu ihrem Urlaub machen und es gab auch zu keinem späteren Zeitpunkt einen Hinweis auf geplante Urlaubsreisen.

Von den 33 Probanden der kontinuierlichen Jahresmessung wurden im Jahr 2003 insgesamt 29 und im Jahr 2004 13 Urlaubsmessungen durchgeführt. Zwischen diesem Teilnehmerkreis und der Dermatologie/TU Dresden bestand ein enger Kontakt durch die Verteilung von Dosimetern und Protokollen im 6-Wochen-Takt. Dadurch war der Informationsaustausch gerade auch hinsichtlich der Urlaubsaktivitäten sehr ergiebig.

#### *Messdurchführung*

Für die Urlaubsmessung erhielt jeder Teilnehmer für eine Messdauer bis zu 2 Wochen 1 Personendosimeter, 2 Globalstrahlungsdosimeter zur Anbringung am Urlaubsort, ein Protokoll zur zeitlichen Dokumentation der Freiluftaufenthalte, des Bekleidungsstatus und des ggf. verwendeten Lichtschutzpräparats (analog zu Anh. 1, Abb. 4 b). Weiterhin erhielten diese Probanden ein Wetterprotokoll (Anh. 1, Abb. 4 c). Für eine Urlaubsmessung von länger als 14 Tage erhielten die Probanden entsprechend mehr Dosimeter und Protokollblätter.

### 3.3.4 Jahreszeitliche Messung der Körperverteilung der UV-Exposition unter direkten und unter diffusen Strahlungsbedingungen

Die Messungen zur Bestimmung der Körperverteilung (KV) der solaren UV-Exposition sollten unter zwei genau definierten meteorologisch bestimmten Expositionsbedingungen erfolgen:

KV<sub>dir</sub>: direkte Sonneneinstrahlung (weitgehend wolkenlos)

KV<sub>diff</sub>: diffuse Solarstrahlung (gleichmäßig vollständig bedeckter Himmel ohne Niederschlag).

Tabelle 3.8 zeigt eine Übersicht über die jahreszeitlichen KV-Messzeiträume, die durch die Referenz-Sonnenhöhenwinkel bestimmt sind. Abhängig von den saisonal bedingten Außentemperaturen und damit den möglichen unbedeckten bzw. bedeckten Hautarealen, erfolgten im Sommerhalbjahr Messungen an 19 Körperpositionen bzw. im Winterhalbjahr an 9 Körperpositionen, die in Tabelle 3.9 spezifiziert wurden. Im Winterhalbjahr wurde über 5 Arbeitstage unter Alltagsbedingungen gemessen, im Sommerhalbjahr wurden die mittleren Körperverteilungsexpositionen über 3 Tage pro Proband akkumuliert.

Zur Bestimmung der Körperverteilung effektiver UV-Strahlung unter Arbeitsbedingungen im Alltag kam das von der Dermatologie/TU Dresden entwickelte KV-Messset (vgl. Kap. 2) zum Einsatz (Abb. 3.4).

Die Auswertungen erfolgten mit Bezug zur Referenzmessposition „Brust“, an der bei allen anderen Untersuchungen des UV-Personenmonitorings die Personendosimeter getragen wurden.

**Tab. 3.8** Übersicht zur Durchführung von KV-Messungen

Messzeitraum für Mittagssonnenhöhen $\gamma_s$	Messpunkte am Körper	Kumulative Messdauer
15° (Dez./Jan.)	9	5 Arbeitstage
30° (Feb./Mrz. bzw. Okt.)	9	5 Arbeitstage
42° (September)	19	3 Arbeitstage
60° (Ende Mai/Ende Juli)	19	3 Arbeitstage

Bis Anfang November 2003 war es gelungen, die benötigte Anzahl von Probanden für die Körperverteilungsmessungen zu rekrutieren.

Es wurden Müllwerker und Kindergärtnerinnen untersucht. Entgegen anfänglicher Bedenken war es doch möglich, die Glasreiniger in diese Messungen einzubeziehen. Die Bedenken betrafen eine mögliche Beschränkung der Bewegungsfreiheit, was sich aber mit dem Set zur Messung der Körperverteilung auch für diese Personengruppe als unbegründet erwies. Demgegenüber wäre die Beeinträchtigung der Bauarbeiter und Landwirte in ihrer Tätigkeitsausübung zu stark gewesen. Weiterhin wäre es sicher bei diesen Arbeitsprozessen zu erheblichen Dosimeterverlusten gekommen, was die Auswertbarkeit stark beeinträchtigt hätte. In Absprache mit der BAuA Dortmund wurde vereinbart, die existierenden Daten der Berufsgruppe Gärtner (aus BMBF-07UV-B54C/3) heranzuziehen. Für diese Berufsgruppe mit Arbeitskörperhaltungen vergleichbar denen von Bauarbeitern oder Landarbeitern sollten die

UV-Körperverteilungsmessungen bei diffuser Solarstrahlung ergänzend ausgeführt werden.

**Tab. 3.9** Detaillierte Positionen der UV-Körperverteilungsmessungen

Körperstelle	Bezeichnung
Stirn <sup>*)</sup>	Stirn
Haupt / oben <sup>*)</sup>	Kopf oben
Haupt / hinten <sup>*)</sup>	Kopf hinten
Nacken <sup>*)</sup>	Nacken
Schulter / links oben	Schult. li. ob.
Schulter / rechts oben	Schult. re. ob.
Rücken / unterer	Rücken unt.
Brust <sup>*)</sup>	Brust
Bauch	Bauch
Oberarm / links außen	Ob.arm li.au.
Oberarm / rechts außen	Ob.arm re.au.
Handgelenk / links außen <sup>*)</sup>	Ha.gel.li.au.
Handgelenk / rechts außen <sup>*)</sup>	Ha.gel.re.au.
Handgelenk / links innen <sup>*)</sup>	Ha.gel.li.in.
Handgelenk / rechts innen <sup>*)</sup>	Ha.gel.re.in.
Oberschenkel / vorn	Ob.sch. vorn
Oberschenkel / hinten	Ob.sch. hin.
Wade / hinten	Wade hinten
Fußrücken	Fußrücken

<sup>\*)</sup> Körperpositionen der Messreihen im Herbst/Winterhalbjahr ( $\gamma_s$ : 15° sowie 30°) - übrige Körperstelle sind temperaturbedingt bekleidet

Die Sportlehrer nahmen ebenfalls nicht an diesen Messungen teil, weil der Aufwand durch sehr häufiges Umziehen für die Teilnehmer zu hoch gewesen wäre.

In Tabelle 3.10 ist die Einsatzstruktur der KV-Teilnehmergruppen aufgelistet. Die Zeitpunkte, zu denen erforderliche Sonnenhöhe und meteorologische Bedingungen weitestgehend übereinstimmten und eine Messdurchführung erlaubten, sind in der Abbildung 3.3 dargestellt.





**Abb. 3.4** Set zur Messung der UV-Körperverteilung unter Alltagsbedingungen an 19 Positionen (Anmerkung: in Brustposition ein Dosimeter; Messungen unter Schulterblatt nicht durchgeführt)

**Tab. 3.10** Exemplarische Körperverteilungsmessungen

Beschäftigtengruppe	KV <sub>dir</sub>	KV <sub>diff</sub>
Kindergärtnerinnen	n = 3	n = 3
Müllwerker	n = 3	n = 3
Glasreiniger	n = 3	-
Gärtner (repräsentativ für manuelle Tätigkeit ständig im Freien)	Daten lagen vor <sup>*)</sup>	n = 3
Freizeit im Freien	Daten lagen vor <sup>*)</sup>	-

<sup>\*)</sup> BMBF-Projekt 07UV-B54C/3

### 3.4 Entwicklung einer Befragungsuntersuchung zum Thema: Sonnenstrahlung – UV-Wirkungen und Schutz vor zu hohen Expositionen

Eine maßgebliche Voraussetzung, damit sich der Einzelne ausreichend vor zu hohen, insbesondere solaren UV-Expositionen schützen kann, ist sein Wissen um die UV-Strahlung und deren Wirkung auf den menschlichen Organismus.

Der prinzipielle Gedanke, eine Studie zu diesem Kenntnisstand unter den zu untersuchenden Außenbeschäftigten durchzuführen, entsprang der Anlaufbesprechung zum Projekt zwischen Dermatologie/TU Dresden und BAuA Dortmund im Januar 2003.

Um den Kenntnisstand einschätzen zu können, und in Zukunft erforderlichenfalls mit verstärkten Aufklärungskampagnen und Weiterbildungsmaßnahmen reagieren zu können, wurde eine Befragungsuntersuchung zu diesem Themenkomplex entwickelt. Zur datenbankfähigen Auswertung des Kenntnisstandes zu den gewählten Fragen wurde das multiple-choice-Verfahren gewählt. Es wurde ein nutzerfreundliches Layout erstellt, das sowohl für den Befragten als auch für den Bearbeiter bei der Übernahme der Antworten in die Datenbank (s. u.) gut überschaubar ist.

Der Befragungsbogen zu 26 Punkten ist in folgende Komplexe gegliedert (Anh. 1, Abb. 9 a-c):

- Die Sonnenstrahlung und ihre Wirkungen
- Schutz der Haut vor zu intensiver UV-Strahlung der Sonne
- Sonnenschutz durch Lichtschutzmittel
- Vorhersagen im Wetterbericht zur Sonnenbrandwirksamkeit der Sonnenstrahlung (UV-Index)
- Persönliche Einschätzung zur Sonne und zu einer möglichen Gefährdung

Für die Auswertung wurde eine Datenbank (Basis: MS-ACCESS 2000) programmiert, in der die ausgefüllten Fragebogendaten aufgenommen werden. Über die Datenbank erfolgt die Auswertung der Richtigkeit der Antworten aus den einzelnen Fragekomplexen. Der Auswertemodus gestattet eine Differenzierung der Ergebnisse nach u. a. Untersuchungsgruppe, Geschlecht, Altersgruppe.

Diese Untersuchung wurde zwischenzeitlich auch für breitere Untersuchungen in der Bevölkerung eingesetzt.

## 4 Ergebnisse und statistische Auswertung

### 4.1 Methodische Angaben

Die Ergebnisse der einzelnen personendosimetrischen Untersuchungen sind je nach Zielaussage mit unterschiedlichen grafischen Mitteln dargestellt.

Für die Auswertungen pro Gruppe erfolgt in diesem Forschungsbericht die Darstellung als mittlere kumulative Wochenexpositionen für 5 WT und 2 WE (in SED/Woche; linear skaliert). Die analogen Ergebnisse, jedoch als mittlere UV-Tagesexpositionen für 1 WT und 1 WE mit Standardabweichung und Teilnehmerzahl pro Gruppe (in SED/d; linear skaliert), sind in Anhang 2 angefügt.

Für die statistische Bewertung der Expositionsverteilungen innerhalb der Untersuchungsgruppen und zwischen den Untersuchungsgruppen sind Boxplots eine probate Methode, Messwertverteilungen (d. h. die Häufigkeitsverteilung einer Variablen mit Zentrum, Streuung, Schiefe und Spannweite inkl. Ausreißern) auszuwerten und in einer Grafik darzustellen.

In diesem Fall sind die Ordinaten logarithmisch skaliert. Biostatistische Analysen zur Verteilung der UV-Personendosen innerhalb von Bevölkerungsgruppen ergaben, dass sich diese Expositionsverteilungen gut durch eine logarithmische Normalverteilung beschreiben lassen (vgl. Kap. 2). Die Boxdarstellung, die dabei die Verteilung wiedergibt, ist bei logarithmischer Skalierung etwa symmetrisch.

Die Boxdarstellungen sind wie folgt zu interpretieren:

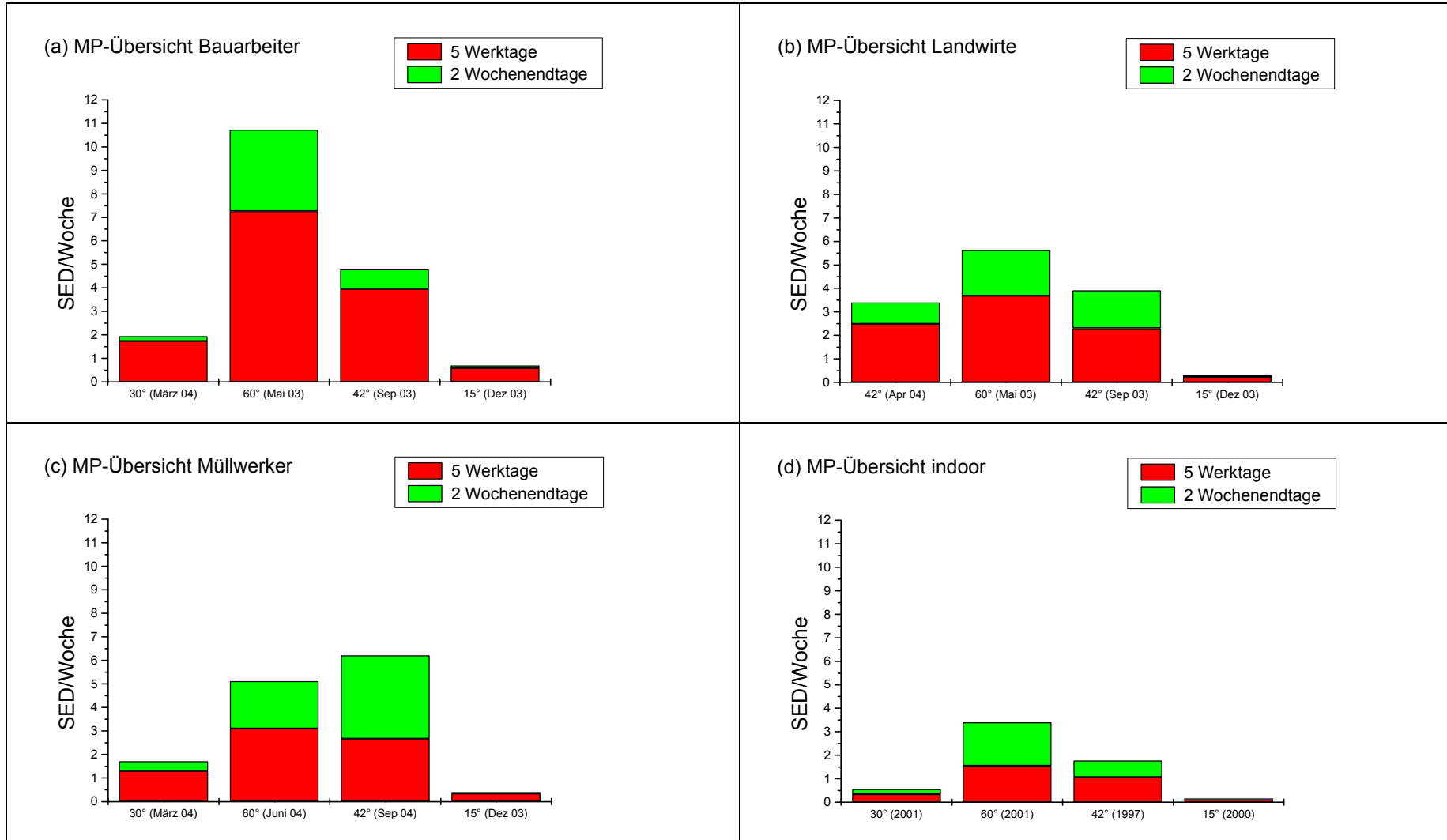
In der Boxplotdarstellung wird der Messwert (hier: UV-Personendosis) zum 0. Percentile (kleinster Wert) sowie zum 5., 25., 50., 75., 95. und 100. (größter Wert) Percentile angegeben. Dabei sind in der Grafik die Linien der Box der 25., 50. und 75. Percentile. Die Fehlerbalken geben den 5. bzw. 95. Percentile an. Das Sternsymbol „\*“ markiert den Wert für den 0. bzw. 100. Percentile. Der statistische Mittelwert (aller UV-Personendosen der Serie) wird durch das Quadrat „□“ gekennzeichnet.

### 4.2 Individuelle UV-Expositionen innerhalb der Personengruppen

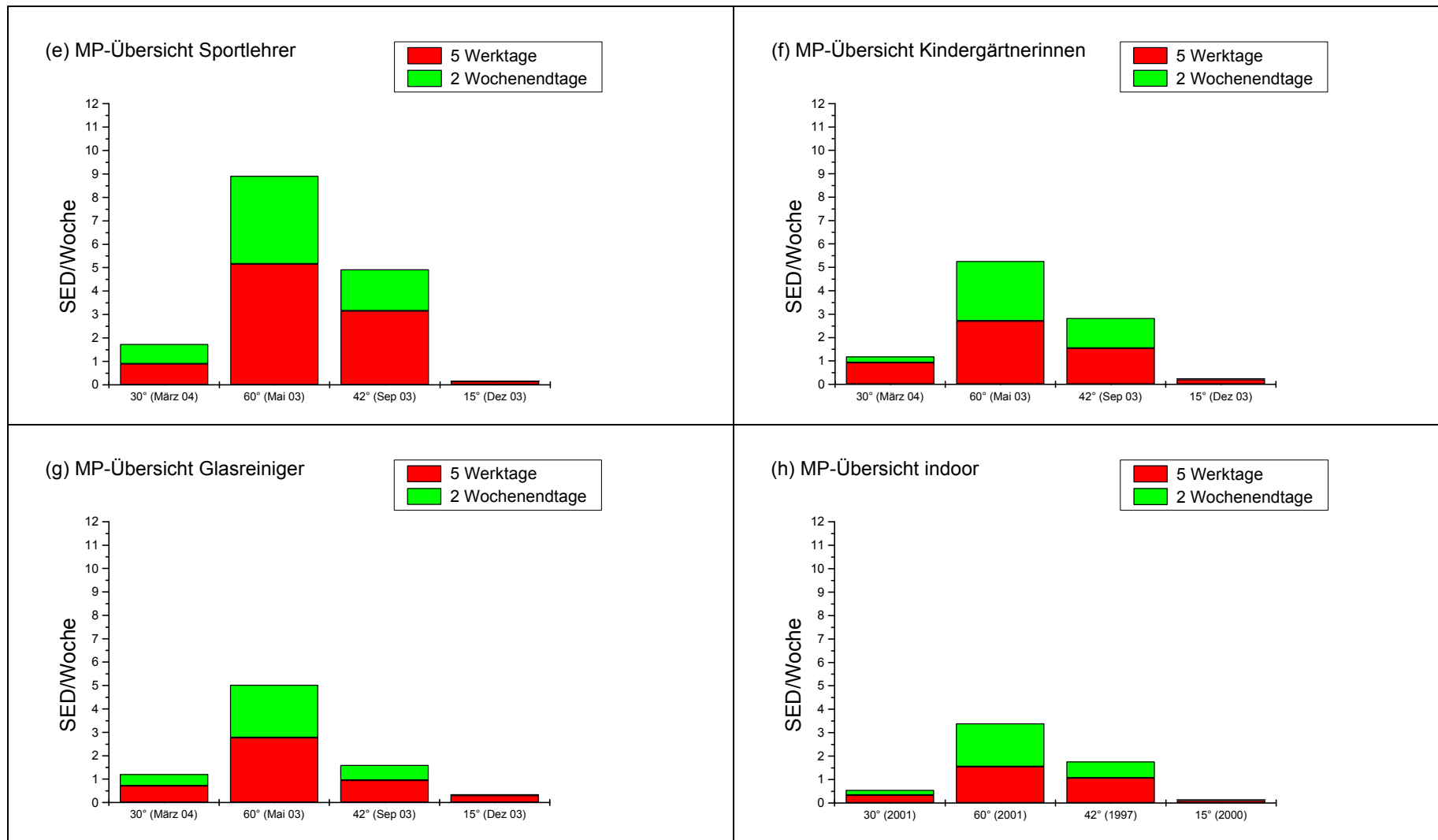
#### 4.2.1 Jahreszeitlich zyklische Messperioden

Die individuelle UV-Jahresexposition setzt sich aus Werktags-, Freizeit- und Urlaubsanteil zusammen. Der Werktagsanteil wird maßgeblich durch die berufsspezifischen Tätigkeiten, der Freizeit- und Urlaubsanteil durch die individuellen Interessen bestimmt. Im Rahmen dieses Projektes standen vor allem die werktäglichen UV-Expositionen im Vordergrund. Aber wichtig für die richtige Bewertung des beruflichen Anteils an der kumulativen UV-Exposition ist auch dessen Relation zu den Freizeit- und Urlaubsexpositionen.

Als Grundlage für biometrische Schätzungen der kumulativen UV-Jahresexposition je Beschäftigtengruppen erfolgten jahreszeitlich die Messungen der WT- und WE-Expositionen unter Alltagsbedingungen. In jedem Fall wurde die erythem-effektive UV-Bestrahlung  $H_{ery}$  in Brustposition gemessen.



**Abb. 4.1 a-d** Mittlere UV-Wochenexpositionen von Beschäftigten im Hochbau, der Landwirtschaft und der Müllabfuhr in Relation zu Innenbeschäftigten im jahreszeitlichen Vergleich



**Abb. 4.1 e-h** Mittlere UV-Wochenexpositionen von Sportlehrern, Kindergärtnerinnen und Glasreinigern in Relation zu Innenbeschäftigten im jahreszeitlichen Vergleich

Die Jahresübersicht für jede der untersuchten Gruppen im Freien Beschäftigter ist in Abb. 4.1 a-h als mittlere kumulative Wochenexposition in SED/Woche dargestellt. Im Vergleich dazu ist der mittlere wöchentliche UV-Expositionslevel von Innenbeschäftigten angegeben. Die mittleren kumulativen UV-Wochenexpositionen beinhalten 5 Werktage und 2 Wochenendtage. Die detaillierten UV-Expositionsdaten mit Standardabweichung und Teilnehmerzahl pro Gruppe, hier mit den mittleren erythem-effektiven Bestrahlungen pro Werktag bzw. pro Wochenendtag, wurden in Anh. 2, Abb. 1 a-h beigefügt.

Für alle Berufsgruppen war – wie zu erwarten – festzustellen: Die Expositionen des Sommerhalbjahres lieferten die wesentlichen Beiträge zur UV-Jahresexposition.

Als Kontrollgruppe dienten die UV-Expositionen von Innenbeschäftigten (mit geringeren Freizeitaktivitäten im Freien).

Den mittleren UV-Expositionslevel dieser Bevölkerungsgruppe definieren wir als Basislevel durch die solare UV-Strahlung, auf den sich Risikoabschätzungen bezüglich erhöhter UV-Expositionen beziehen sollten (vgl. Kap. 6).

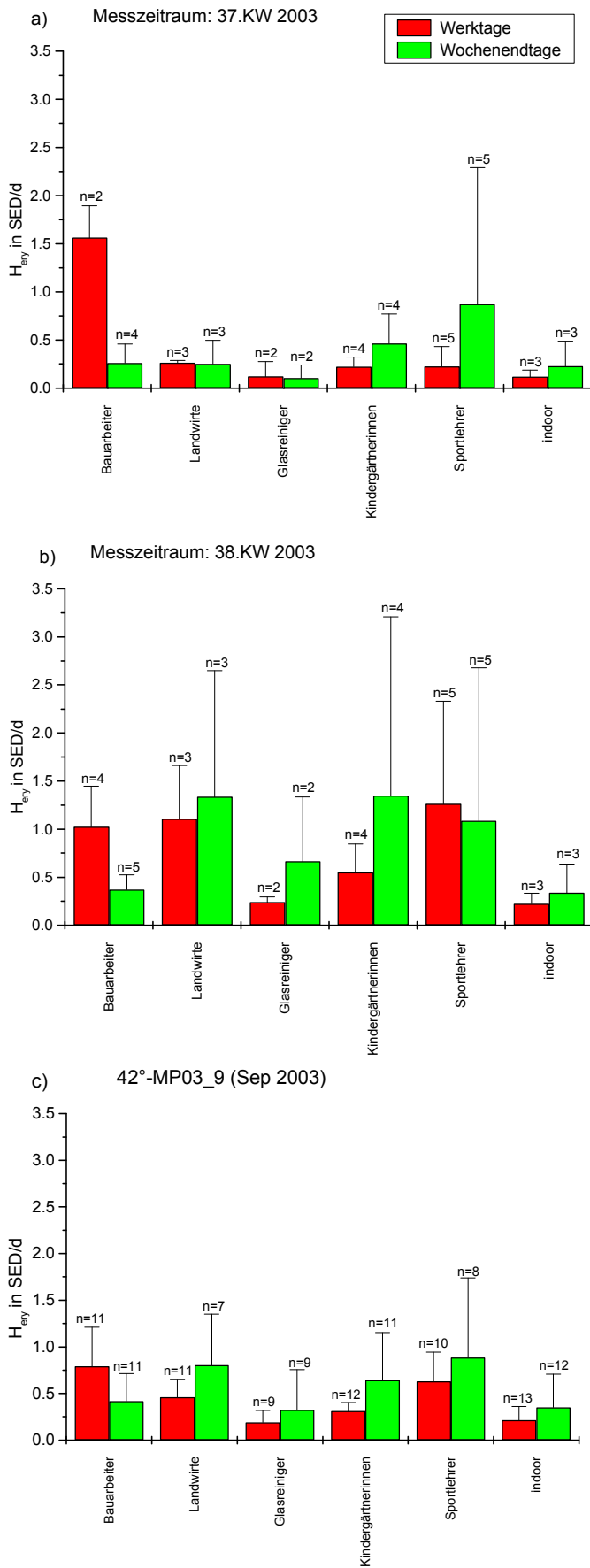
Die Expositionsdaten von Innenbeschäftigten mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien wurden aus Ergebnissen von Messperioden früherer UV-Personenmonitoringuntersuchungen bezogen, in denen annähernd gleiche Witterungsverhältnisse wie in den jeweils verglichenen aktuellen Messperioden herrschten (KNUSCHKE et al., 2000; KNUSCHKE et al., 2004).

Für derartige Vergleiche wurden und werden im Rahmen des UV-Personenmonitorings die Globalstrahlungsdaten und meteorologischen Daten ergänzend zur UV-Personendosimetrie in der Datenbank abgelegt.

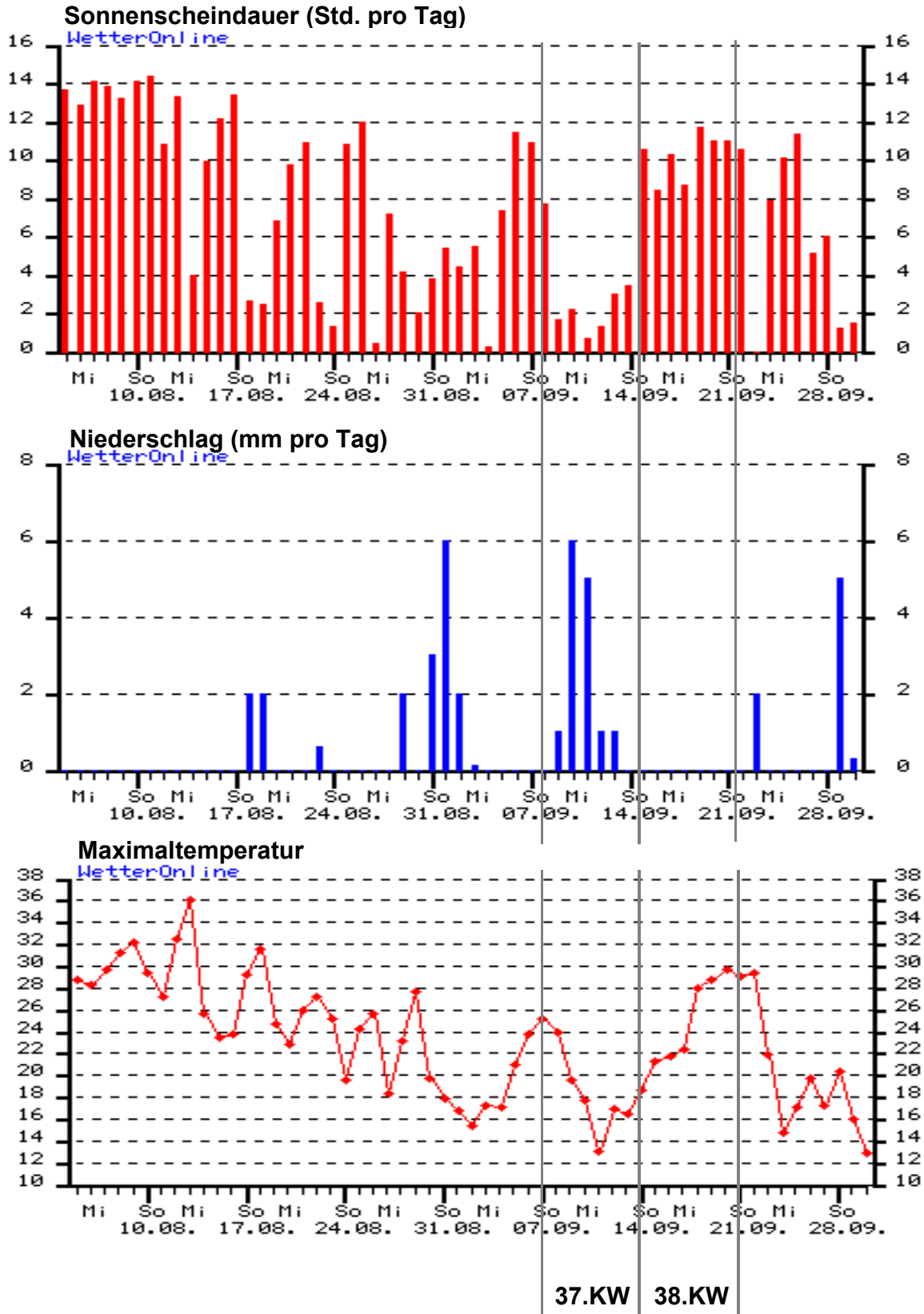
Die Notwendigkeit dieser von Anbeginn durchgeführten Praxis lässt sich an Hand der Situation in der 37. und 38. KW 2003 belegen:

Die Personendosen aller Gruppen der kontinuierlichen Jahresmessung (vgl. Kap. 4.2.2) waren in der 38. KW um 100...400 % höher als in der 37. KW (Abb. 4.2 a-b). Zeitgleich fand während beider Kalenderwochen die Messperioden-Untersuchung MP03\_9 (September 2003) statt. Deren Messergebnisse entsprachen in etwa dem Mittelwert aus den o. g. KW-Messzeiträumen (Abb. 4.2 c). Es lagen also für die Mittagssonnenhöhe 42° pro Beschäftigtengruppe drei mittlere UV-Expositionslevel vor! Nur durch die erfassten Zusatzdaten, die ein UV-Personenmonitoring gegenüber einer reinen UV-Personendosimetrie auszeichnen, sind in Folge derartige Messdaten vollständig auswertbar. Meteorologische Einflüsse, insbesondere Lufttemperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag spielen eine bedeutende Rolle im individuellen Verhalten bezüglich der Wahrscheinlichkeit eines Aufenthalts im Freien und damit der Wahrscheinlichkeit individueller UV-Expositionen. Das belegen auch die Untersuchungen, die in das biometrische Modell zur Schätzung mittlerer UV-Jahresexpositionen eingehen (KNUSCHKE et al., 2004 - Anh. 3). Weiterhin beeinflussen meteorologische Faktoren, wie die Bewölkung, die Intensität der Globalstrahlung direkt. Grund für die o. g. erheblichen Unterschiede in den ermittelten UV-Expositionen war, dass es exakt in der Mitte der MP03\_9 zu einer Wetterumstellung kam, wobei die 37. KW kühl und regnerisch mit geringer Sonneneinstrahlung und die 38. KW warm, sonnenreich und niederschlagsfrei war (Abb. 4.3).

Bei Vergleichen von Messserien aus unterschiedlichen Jahren oder geografischen Lagen bei gleichem Sonnenstand müssen derartige zusätzliche Einflussgrößen unbedingt berücksichtigt werden.



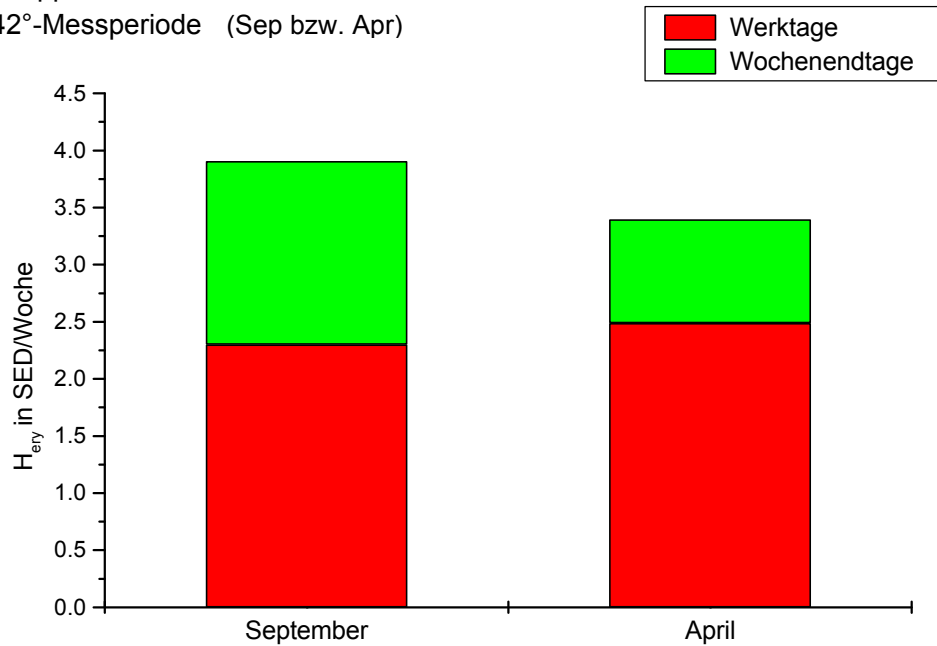
**Abb. 4.2 a-c** Mittlere solare UV-Exposition an Werk- und Wochenendtagen ( $\gamma_s=42^\circ$ ) für 37. und 38. KW und für MP03\_9 (Messdauer: 37. und 38. KW)



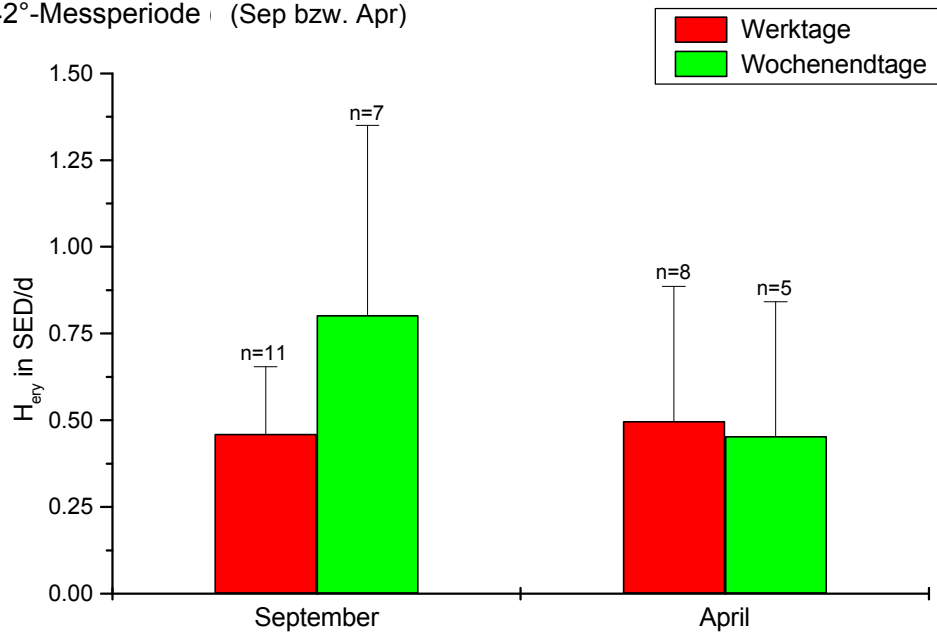
**Abb. 4.3** Meteorologische Angaben zum Wetterumschwung zwischen 37. und 38. KW sowie innerhalb MP03\_9 (Quelle: [www.wetteronline.de](http://www.wetteronline.de))



Gruppe: Landwirte - mittlere **UV-Wochendosis**  
42°-Messperiode (Sep bzw. Apr)



Gruppe: Landwirte - mittlere **UV-Tagesdosis**  
42°-Messperiode (Sep bzw. Apr)



**Abb. 4.4**

Vergleich der mittleren UV-Expositionen von Landarbeitern bei 42°-Messperioden im September 2003 und im April 2004 bei etwa gleichen Globalstrahlungsbedingungen, aber deutlich niedrigeren Außentemperaturen im April gegenüber September

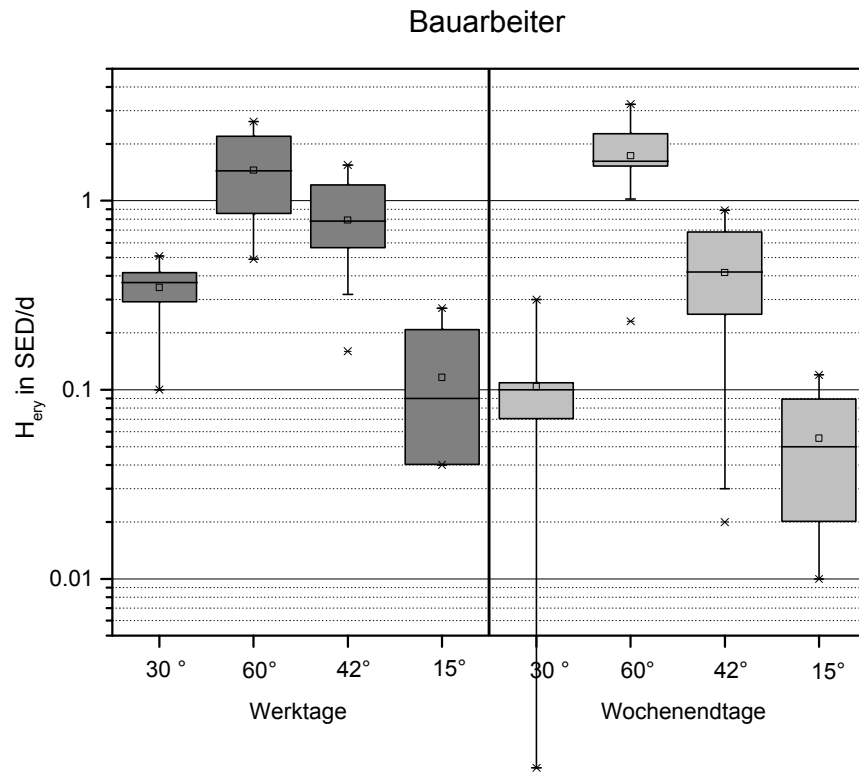
Ein weiterer Beleg des meteorologischen Einflusses auf den individuellen UV-Expositionslevel, und hier speziell auf den Freizeitexpositionslevel, zeigte sich in der Untersuchung von zwei Messperioden zu gleichen Sonnenhöhen. Jeder Mittagssonnenhöhenwinkel (ausgenommen zur Sommer- und zur Wintersonnenwende) wird im Verlauf eines Jahres zweimal durchlaufen (s. Abb. 3.3). Unter den Bedingungen der Mittagssonnenhöhe  $42^\circ$  wurde die Gruppe Landarbeiter zum einen im September 2003 und zum anderen im April 2004 gemessen. Bezüglich Sonnenscheindauer, Bewölkung und damit UV-Globalstrahlung herrschten vergleichbare Bedingungen. Die werktäglichen UV-Expositionen werden maßgeblich durch die Arbeitsaufgaben bestimmt und meteorologisch weniger beeinflusst.

Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung der werktäglichen UV-Expositionswerte. Im Vergleich dazu unterschieden sich die Wochenendexpositionen fast um das Doppelte (Abb. 4.4). Im September 2003 ermöglichten die Temperaturen bei spätsommerlichen Wetterverhältnissen längere Aufenthaltszeiten im Freien als die noch kühlen Apriltage 2004.

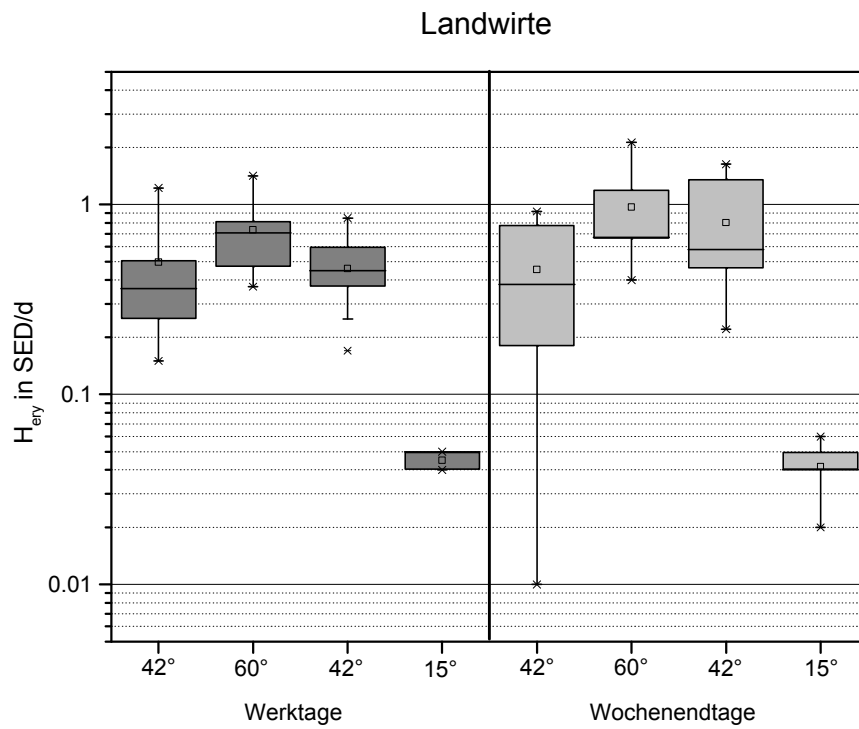
Anmerkung: Bis in die letzte Märzwoche 2004 lag Schnee, was den üblichen Beginn der Feldarbeit Anfang März und damit eine gemeinsame Messung im Rahmen der  $30^\circ$ -Messperiode MP04\_3 verhinderte.

Die statistische Auswertung der Streuung der individuellen UV-Expositionen innerhalb einer Beschäftigtengruppe bestätigte die o. g. Feststellung allgemein: An Werktagen war die Streuung der UV-Personendosen geringer als an Wochenendtagen. Das bringen die schmalere Boxen und dichter an den Boxen liegenden Minimal- und Maximalwerte in den Abb. 4.5 a-g zum Ausdruck. Dies ist, wie schon festgestellt, damit zu erklären, dass die Berufsausübung mit bestimmten Tätigkeiten und Verhaltensweisen verbunden ist, die innerhalb einer Gruppe vergleichbar sind. Demgegenüber sind die Gestaltungsmöglichkeiten in der Freizeit entsprechend vielgestaltiger.

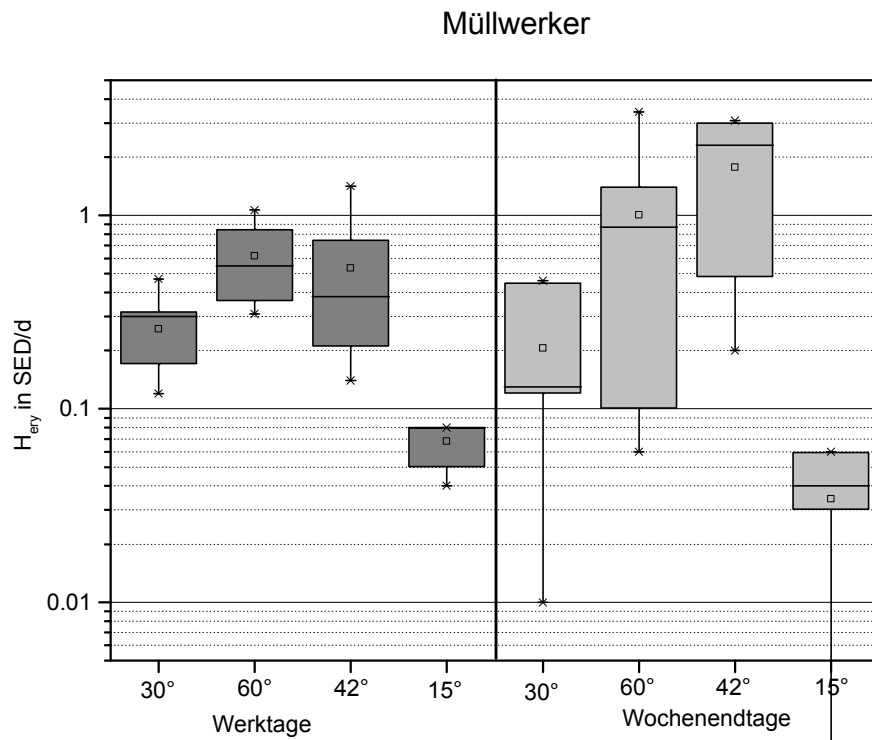
Anmerkung: Die Ursache der niedrigen UV-Expositionswerte für die Müllwerker zur  $60^\circ$ -Messperiode war, dass diese Gruppe organisatorisch erst im Dezember 2003 gestartet wurde. Die  $60^\circ$ -Messperiode erfolgte daher im Juni des Sommers 2004, bei deutlich schlechteren Wetterbedingungen als die personendosimetrischen Messungen der anderen Gruppen, die im sonnenreichen Sommer 2003 durchgeführt worden waren.



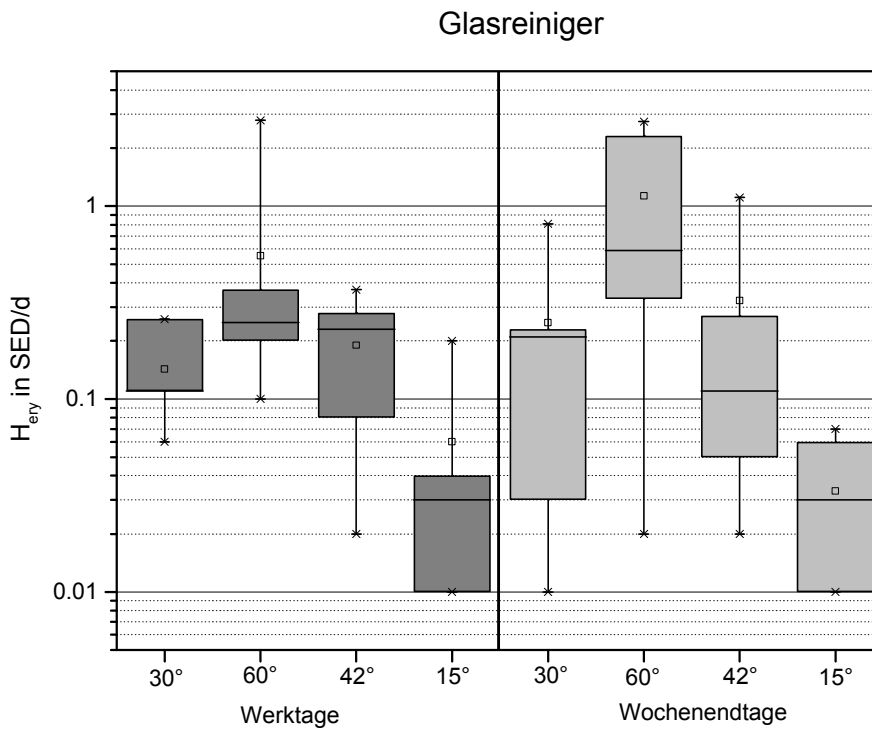
**Abb. 4.5 a** Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Bauarbeiter  
Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf



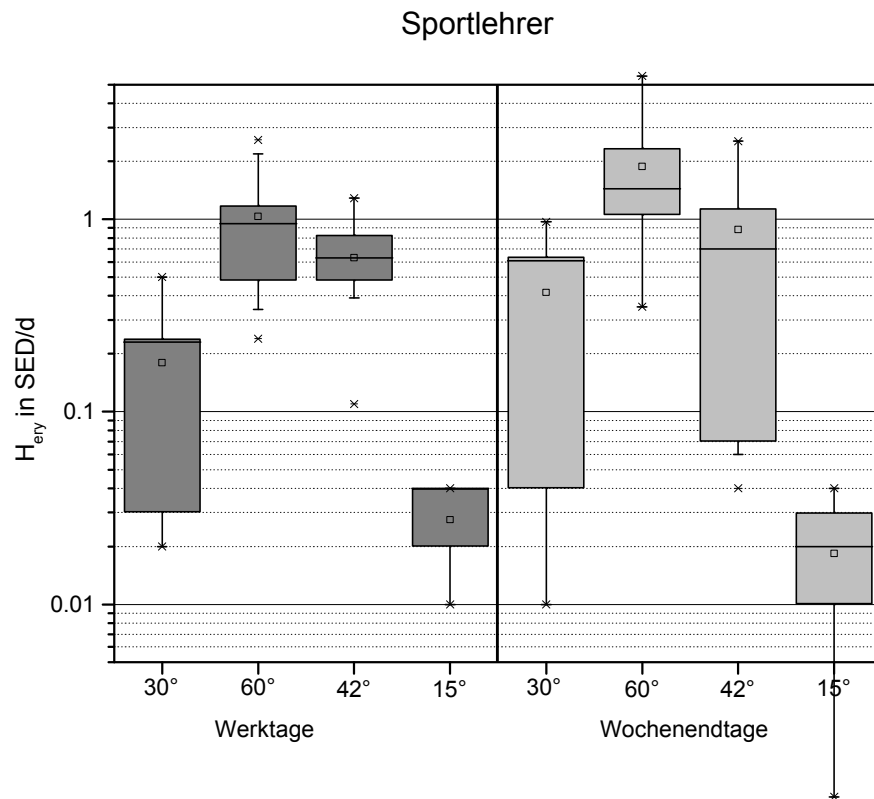
**Abb. 4.5 b** Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Landwirte  
Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf



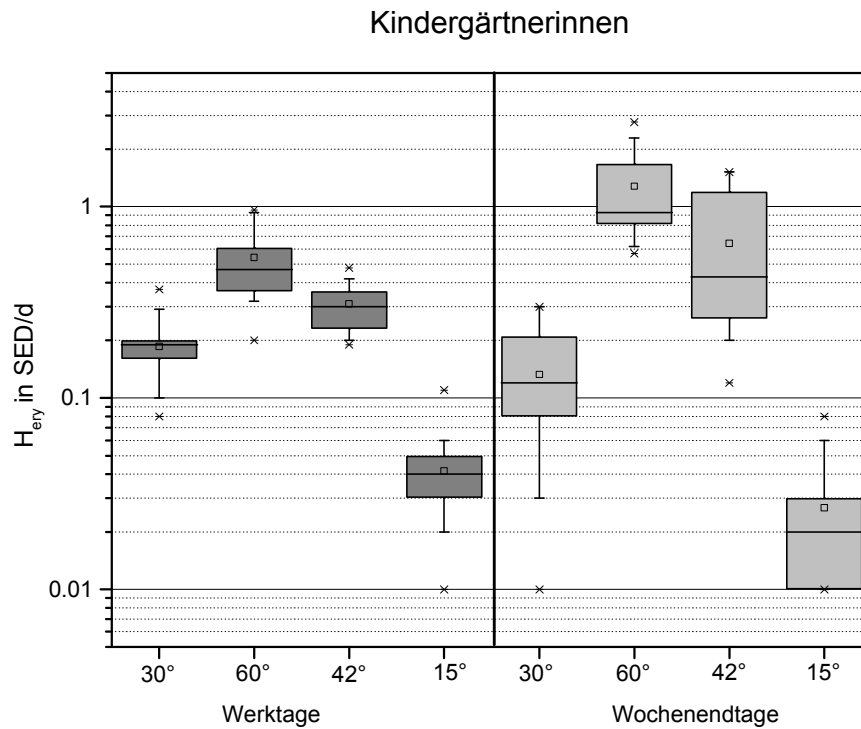
**Abb. 4.5 c** Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Müllwerker  
Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf



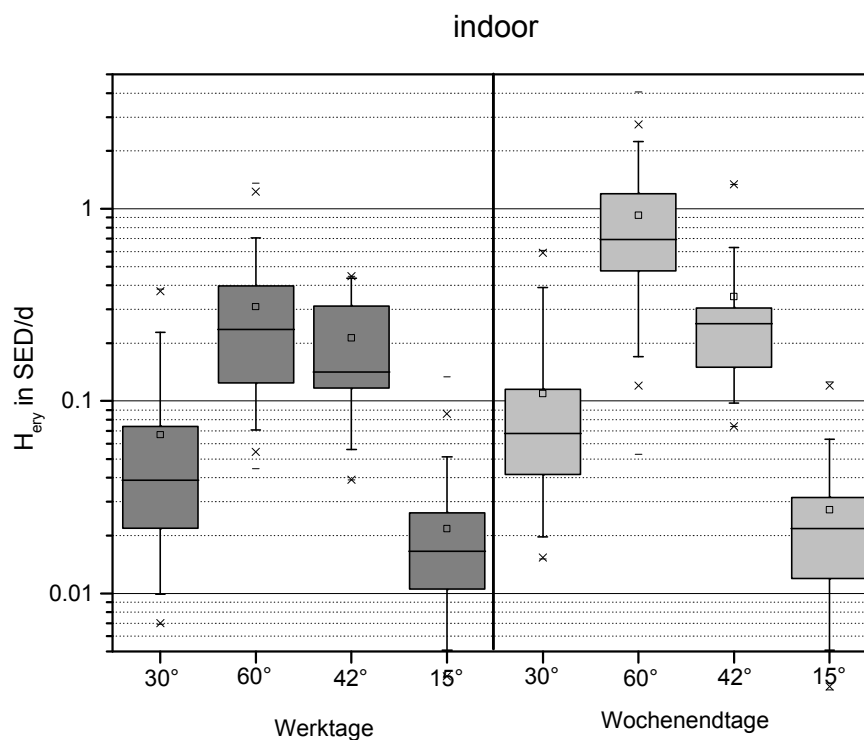
**Abb. 4.5 d** Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Glasreiniger  
Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf



**Abb. 4.5 e** Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Sportlehrer  
Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf



**Abb. 4.5 f** Streuung der individ. UV-Expositionen in der Gruppe Kindergärtnerinnen  
Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf



**Abb. 4.5 g** Streuung der individ. UV-Expositionen in der Gruppe Innenbeschäftigte Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf

#### 4.2.2 Kontinuierliche Messungen

Aus jeder Berufsgruppe wurden je 5 Personen und aus der Vergleichsgruppe 3 Personen über 52 KW, wie bereits beschrieben, untersucht.

Die Messdaten wurden verifiziert, das heißt die Messwerte der Personendosimeter wurden darauf geprüft, ob die Protokollangaben in den Probandentagebüchern und die Globalstrahlungswerte zu einander passten (vgl. Kap. 3.3.2.1).

Stark unstimmmige Datensätze wurden gekennzeichnet und nicht in die Auswertung einbezogen. Das führte in der Darstellung der individuellen Jahresverläufe der UV-Expositionen zu Lücken für einzelne Kalenderwochen.

Während für die Gruppen Bauarbeiter, Landwirte, Müllwerker, Sportlehrer, Kindergärtnerinnen und Innenbeschäftigte der Anteil der nutzbaren Datensätze zwischen 100 % und 87 % lag, erreichte der Anteil der verwendbaren Daten bei den Glasreinigern nur 56 % für Werktage und nur 50 % für Wochenendtage (Anh. 1, Abb. 8 a-b).

Für jede Berufsgruppe wurde ein Einzelergebnis der kontinuierlichen Jahresmessung exemplarisch in Anh. 2, Abb. 2 a-h dargestellt. Für die Vergleichsgruppe der Innenbeschäftigten wurden zwei Ergebnisse dargestellt. Die Ergebnisse von den beiden Probanden zeigen eindrucksvoll, dass innerhalb einer Beschäftigtengruppe der berufsgeprägte arbeitstägliche Jahresverlauf im Wesentlichen gleich war. Aufgrund der individuell verschiedenen Freizeit- und Urlaubsgestaltung resultierten demgegenüber aber deutlich unterschiedliche Ergebnisse für die UV-Jahresexposition (Anh. 2, Abb. 2 g-h).

Vergleicht man die mittleren UV-Expositionen der jeweiligen Beschäftigtengruppe aus den jahreszeitlich durchgeführten MP mit den Ergebnissen der zeitgleichen Kalenderwochen-Messungen aus den kontinuierlichen Jahresmessung (Kap. 4.4, Abb. 4.14 a-g), so zeigt sich eine gute bis sehr gute Übereinstimmung der UV-Expositionen zu den entsprechenden Zeitpunkten.

### 4.2.3 Urlaubsmessungen

Die Ergebnisse der 42 Urlaubsmessungen im Rahmen des UV-Personenmonitorings zur kontinuierlichen Messung über 52 Wochen wurden direkt in die Auswertung zur Bestimmung der kumulativen UV-Jahresexpositionen aufgenommen.

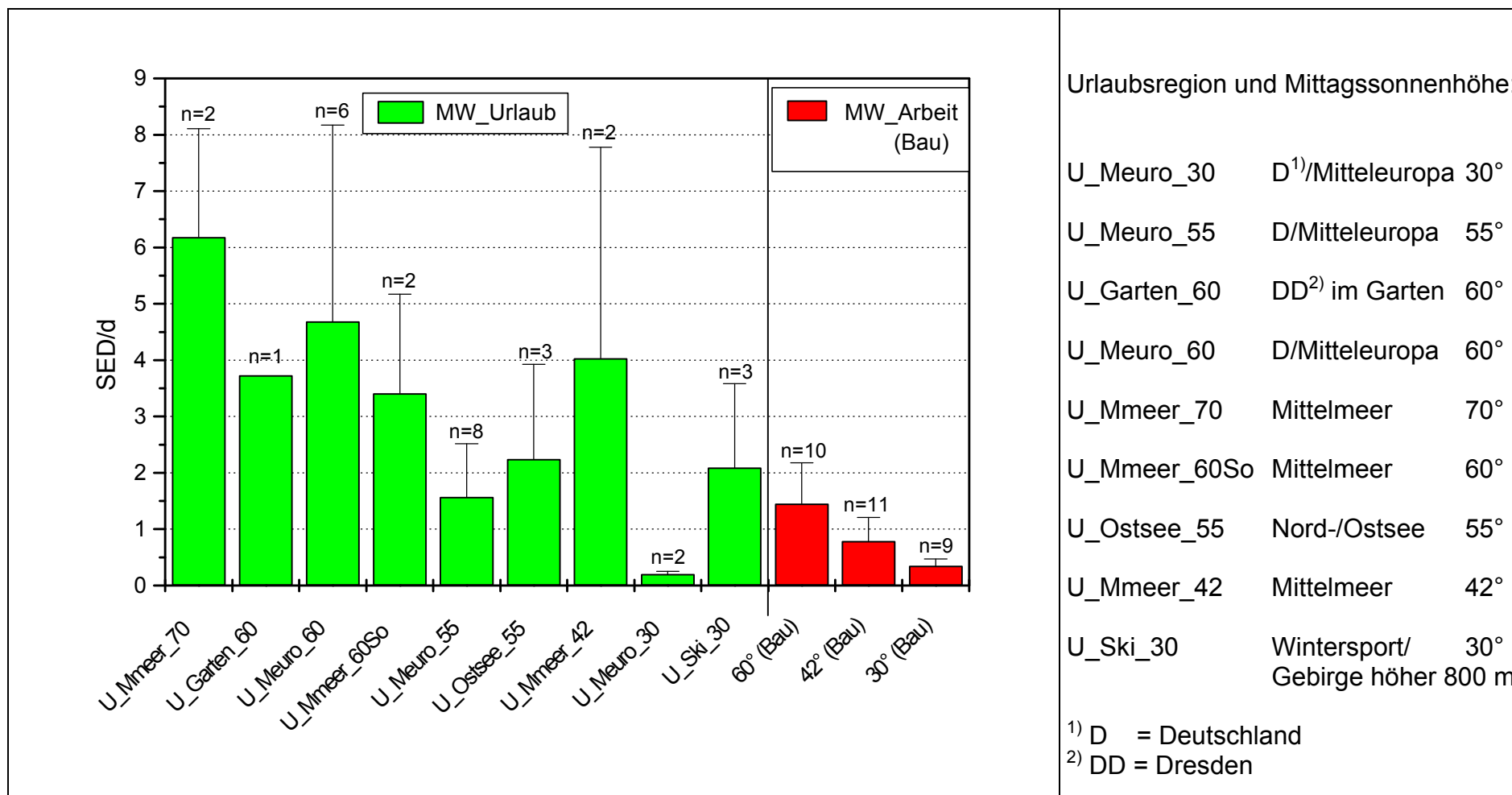
Die durchgeführten 29 Urlaubsmessungen mit Teilnehmern an den jahreszeitlichen Messperioden erfolgten zu Zeitpunkten außerhalb der MPs (Urlaub während einer MP war ein Ausschlusskriterium für die Teilnahme in der konkreten Messperiode).

Die personendosimetrischen Messungen zeigten, wie unterschiedlich UV-Expositionen im Urlaub sein können.

Bestimmt durch die Wahl des Urlaubsortes (geografische Breite) und des Reisedatums ergab sich für den Urlaub eine bestimmte Mittagssonnenhöhe. Der Sonnenhöhenwinkel ist eine maßgebliche Größe für die Erythem-Wirksamkeit der solaren UV-Strahlung. Die individuellen Urlaubsexpositionen hängen dann außerdem noch von vorherrschenden Witterungsbedingungen, Reisedauer und persönlichem Urlaubsverhalten ab. Abbildung 4.6 zeigt die gemessenen mittleren erythem-effektiven Bestrahlungen (Brustposition) in SED pro Urlaubstag für verschiedene Urlaubsregionen und Sonnenhöhenwinkel. Als Vergleich wurden die Messergebnisse von Bauarbeitern in Dresden für Mittagssonnenhöhen  $60^\circ$ ,  $42^\circ$  und  $30^\circ$  gegenübergestellt. So wurden z. B. für den Urlaubs-MZR „Mittelmeer, Mittagssonnenhöhe  $70^\circ$ : U\_Mmeer\_70“ im Juli 6,1 SED als mittlere individuelle Tagesdosis bestimmt. Die mittlere arbeitstägliche UV-Exposition eines Bauarbeiters bei  $\gamma_s = 60^\circ$  nahe dem Sonnenhöchststand in Dresden lag mit 1.5 SED/d bei nur einem Viertel davon.

Die Ergebnisse der Urlaubsmessung „Skiurlaub im Gebirge“ im Februar (Sonnenhöhenwinkel:  $30^\circ$ ) zeigten, dass durch Reflexion der UV-Strahlung auf Schnee und durch die Höhenlage Werte von 2 SED/d erreicht wurden. Bei Bauarbeitern wurde im Februar/März ein mittlerer Wert von 0.35 SED/d ermittelt. Dies bedeutet, dass auch Winterurlauber unbedingt auf ausreichenden UV-Schutz für die Gesichtshaut, die Augen und ggf. Hände hingewiesen werden müssen. Für Berufsgruppen, die im Rahmen dieses Projektes nicht einbezogen werden konnten, wie Skilift-Personal, Skilehrer, Bergretter usw. sind diese Hinweise auch vor dem hier untersuchten gesundheitsprotektiven Hintergrund zu berücksichtigen.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen nicht nur, wie unterschiedlich die UV-Urlaubsdosis sein kann, sondern auch, dass sie einen bedeutenden Anteil an der UV-Jahresexposition bildet.



**Abb. 4.6** Mittlere tägliche Urlaubsexpositionen im Vergleich zu mittleren arbeitstäglichen UV-Expositionen (Gruppe Bau) von im Freien beschäftigten Teilnehmern an den jahreszeitlichen Messperiodenuntersuchungen; Zusammenfassung nach Urlaubsregionen und Mittagssonnenhöhe am Urlaubsort



#### 4.2.4 Körperverteilungsmessungen

Das Studiendesign dieser sehr aufwendigen Untersuchungsreihe wurde im Kapitel 3.3.4 beschrieben. Voraussetzung für die Erfüllung der Messbedingungen war: über 3 bzw. über 5 Tage konstant wolkenloser Himmel für die Körperverteilungsuntersuchung  $KV_{dir}$ , bzw. über 3 bzw. 5 Tage vollständig bedeckter Himmel ohne Niederschlag für  $KV_{diff}$ . Diese meteorologische Konstellation musste sich dann genau zu den Zeitpunkten der Mittagssonnenhöhen  $\gamma_s$  von  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $42^\circ$ ,  $60^\circ$  einstellen. Da die Zeitfenster für  $30^\circ$ - und  $42^\circ$ -KV-Messungen nur 2 Wochen lang sind und zu diesem Zeitpunkt dann über mehrere Tage die entsprechende Wetterlage stabil herrschen musste (nur klarer Himmel bzw. nur völlig bedeckter Himmel ohne Niederschlag), waren gewisse Störungen der geplanten Messbedingungen unausweichlich.

Die Messungen erfolgten mit den PSF-Dosimetern biologisch-effektiv (primäre Auswertung: erythem-effektiv). Die Ergebnisse für die einzelnen Messpositionen wurden dann auf die Referenzposition „Brust“ normiert. Für die drei Probanden je untersuchter Tätigkeitsgruppe wurden die gemessenen relativen erythem-effektiven Bestrahlungsstärken  $H_{rel}(\text{Brust})$  gemittelt. Das erfolgte für jede jahreszeitliche Mittagssonnenhöhe (s. o.) und jeweils für direkte bzw. diffuse Sonneneinstrahlung.

Die mittleren saison- und wetterabhängigen UV-Körperverteilungen wurden in Abbildung 4.7 a-d für die untersuchte Berufsgruppe der Gärtner dargestellt. Diese Berufsgruppe erscheint auch repräsentativ für Bauarbeiter, Landarbeiter sowie für weitere Tätigkeiten mit vergleichbarem Bewegungsablauf und vergleichbarer Körperhaltung bei der Arbeit. Weiterhin wurden die auf die Brustposition bezogenen mittleren Körperverteilungen erythem-effektiver Bestrahlungen in Abb. 4.8 für die Müllwerker, in Abb. 4.9 für die Kindergärtnerinnen und in Abb. 4.10 für die Glasreiniger zusammengestellt. Zu beachten ist die unterschiedliche Ordinatenkalibrierung für  $15^\circ$  und  $30^\circ$  gegenüber  $42^\circ$  und  $60^\circ$ .

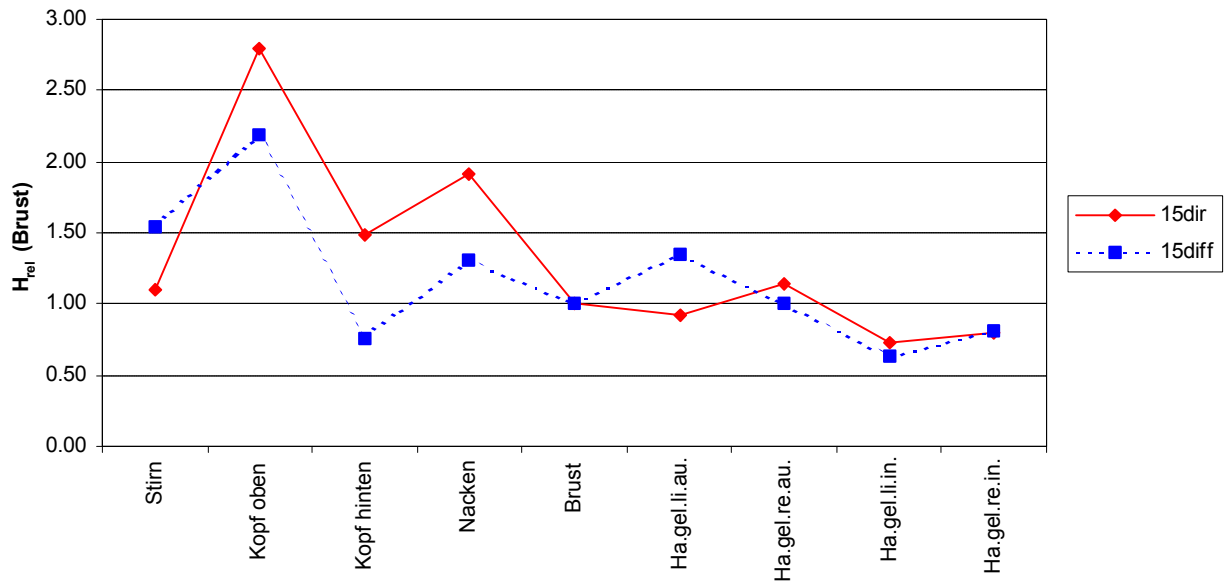
Die Position „Kopf oben“ ist in der Messorientierung meistens der Orientierung der Globalstrahlungsmessung vergleichbar – sieht man von einem eingeschränkten Horizont, den Kopfneigungen während der Arbeit usw. ab. Sie ist damit die jeweils am stärksten exponierte Messposition. Die ermittelten Messwerte für die erythem-effektive Bestrahlung pro Tag dieser Messposition wurden in Tab. 4.1 zusammengefasst.

Der Wertebereich wurde wesentlich von den während der Messung ausgeübten Tätigkeiten und den tatsächlichen Witterungsverhältnissen beeinflusst. Nicht immer herrschten die geforderten meteorologischen Bedingungen über die gesamte Messperiode vor. Außerdem kamen bei den Körperverteilungsmessungen die im Kapitel 3.2.1 ausführlich beschriebenen berufsspezifischen Besonderheiten zum Tragen.

**Tab. 4.1** Messergebnisse (gesamt) für die Position „Kopf oben“

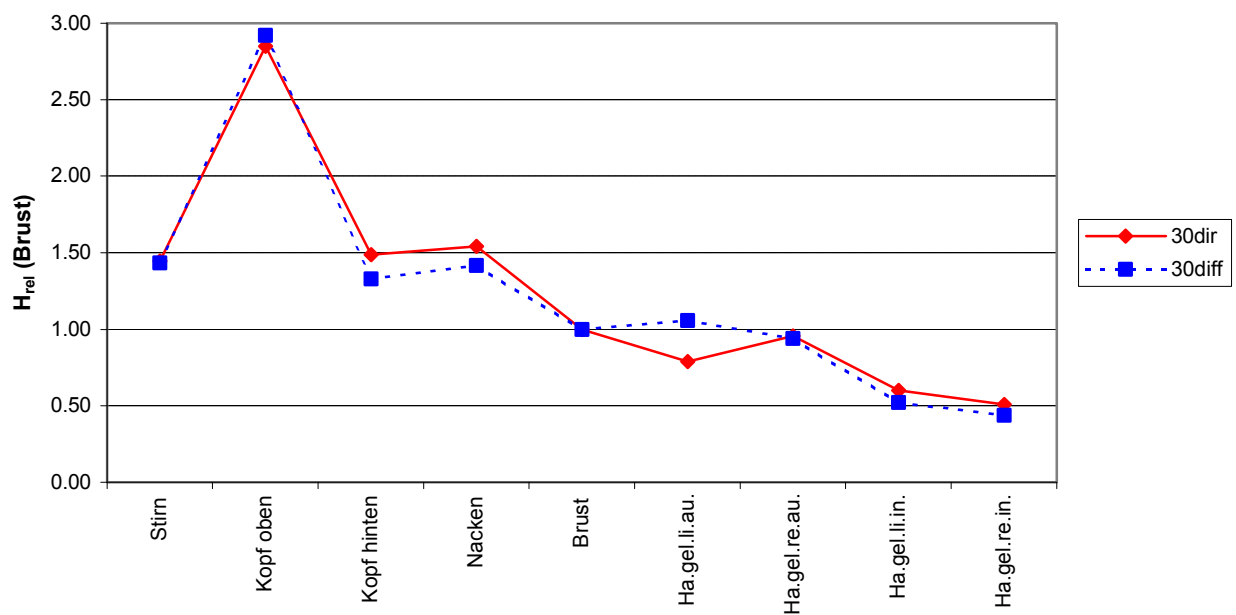
Mittagssonnenhöhe $\gamma_s$	Außentätigkeit (Müllwerker, Gärtner)	Wechseltätigkeit (Kindergärtnerinnen, Glasreiniger)
$15^\circ$ (Dezember, Januar)	20 bis 33 $J/m^2$	6 bis 9 $J/m^2$
$30^\circ$ (Februar, Oktober)	100 bis 225 $J/m^2$	30 bis 55 $J/m^2$
$42^\circ$ (April, September)	275 bis 350 $J/m^2$	80 bis 275 $J/m^2$
$60^\circ$ (Mai, August)	200 bis 325 $J/m^2$	35 bis 250 $J/m^2$

UV-Körperverteilung Gärtner - Sonne 15° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



(a)

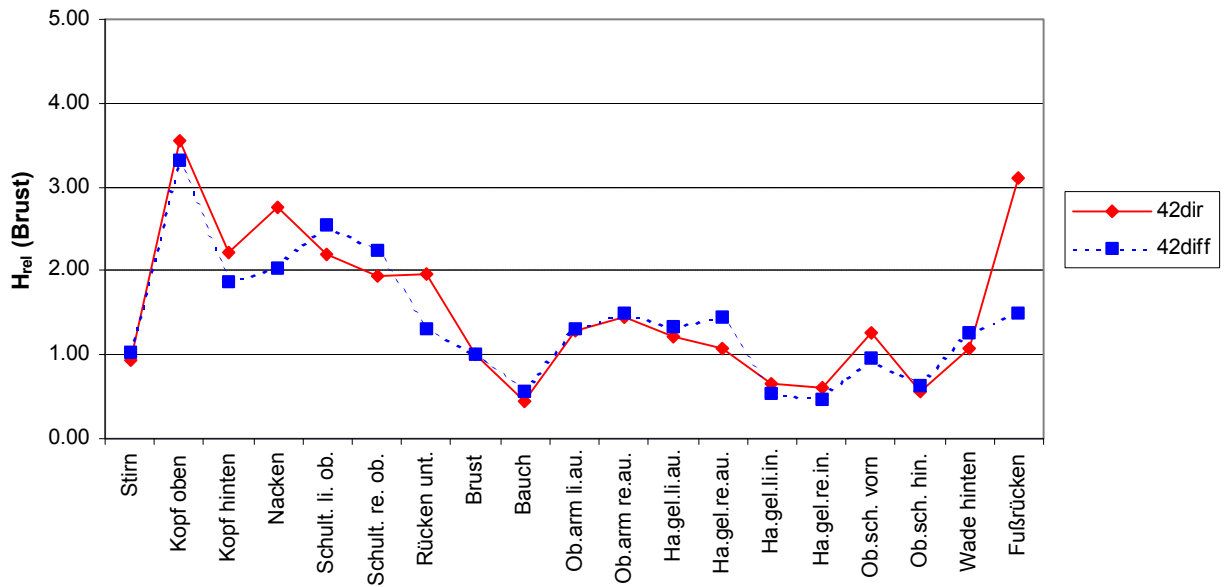
UV-Körperverteilung Gärtner - Sonne 30° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



(b)

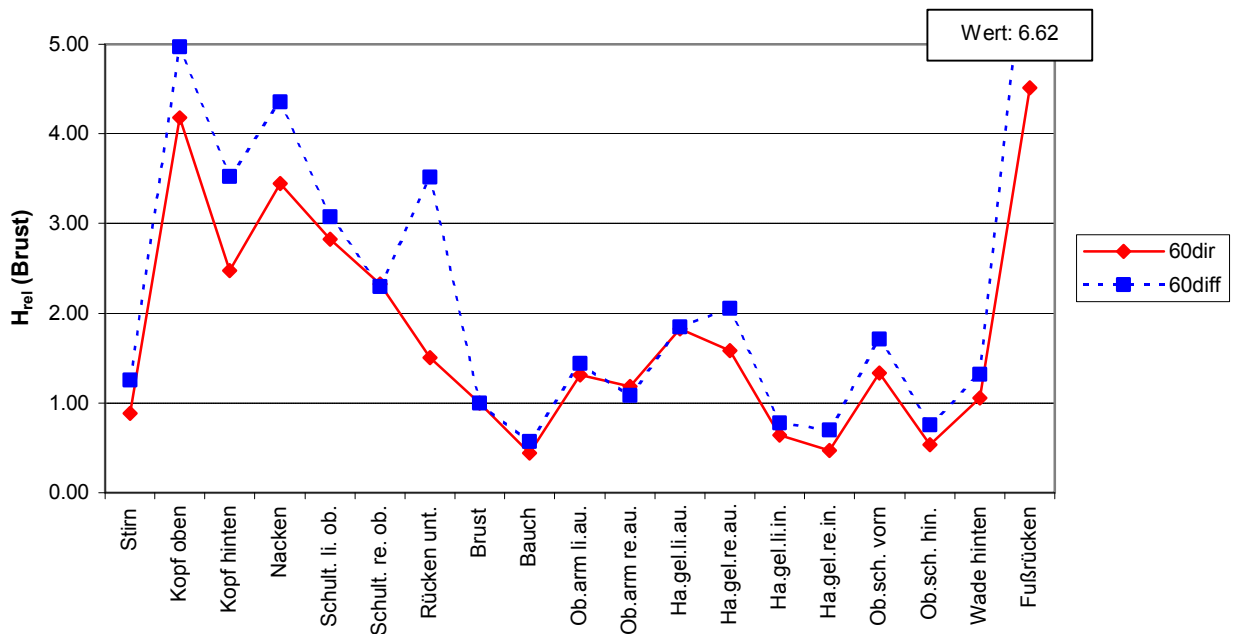
**Abb. 4.7 a-b** Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Gärtner bei Mittagssonnenhöhe von (a) 15°, (b) 30°

UV-Körperverteilung Gärtner - Sonne 42° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



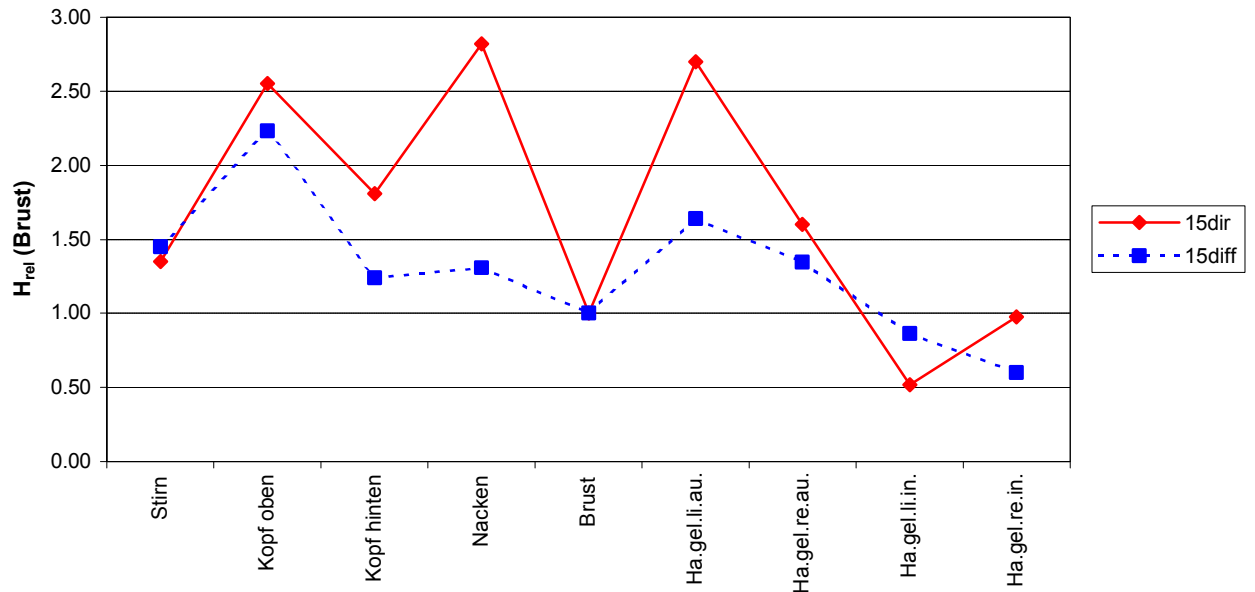
(c)

UV-Körperverteilung Gärtner - Sonne 60° (direkt: klar / diffus: bedeckt)

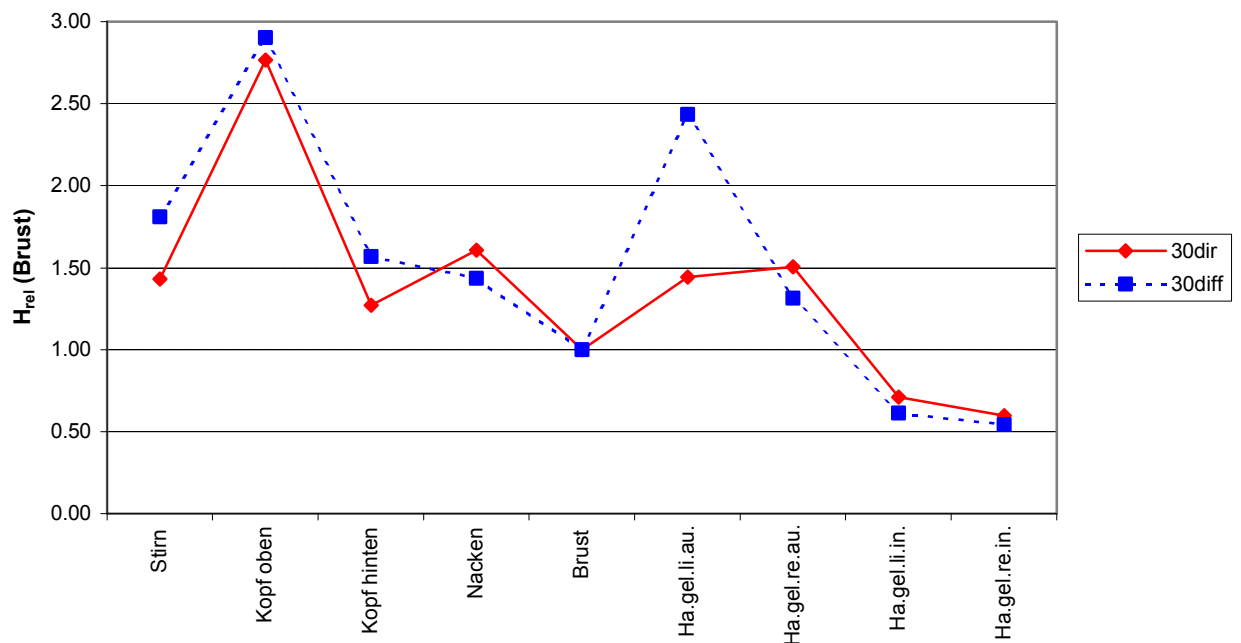


(d)

**Abb. 4.7 c-d** Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Gärtner bei Mittagssonnenhöhe von (c) 42°, (d) 60°

**UV-Körperverteilung Müllwerker - Sonne 15° (direkt: klar / diffus: bedeckt)**


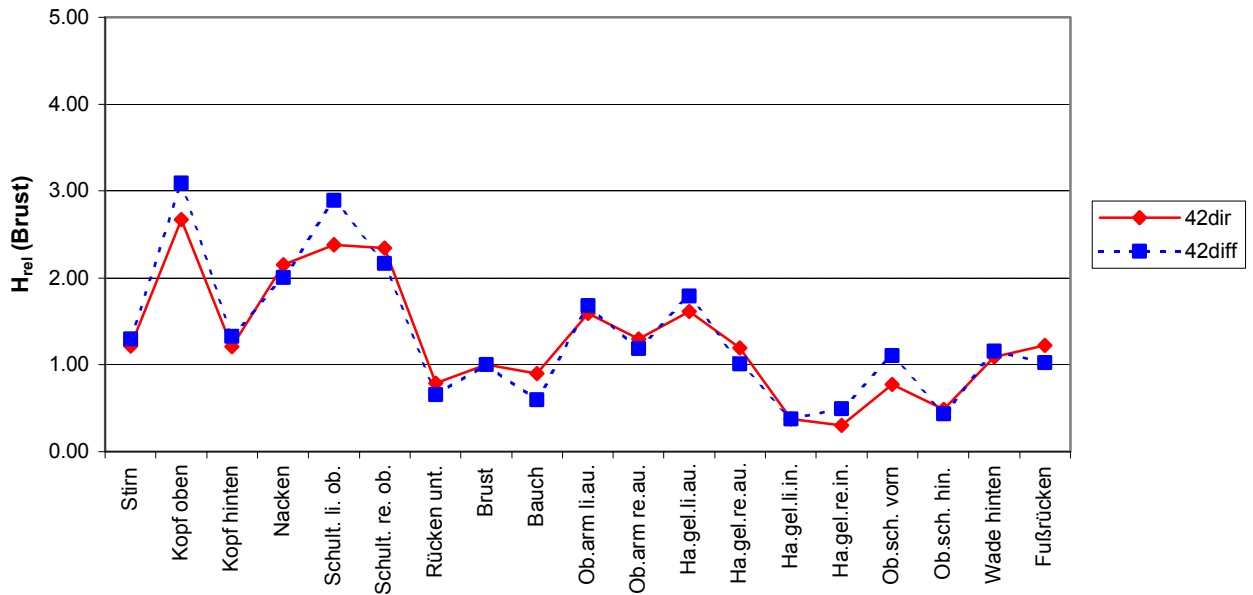
(a)

**UV-Körperverteilung Müllwerker - Sonne 30° (direkt: klar / diffus: bedeckt)**


(b)

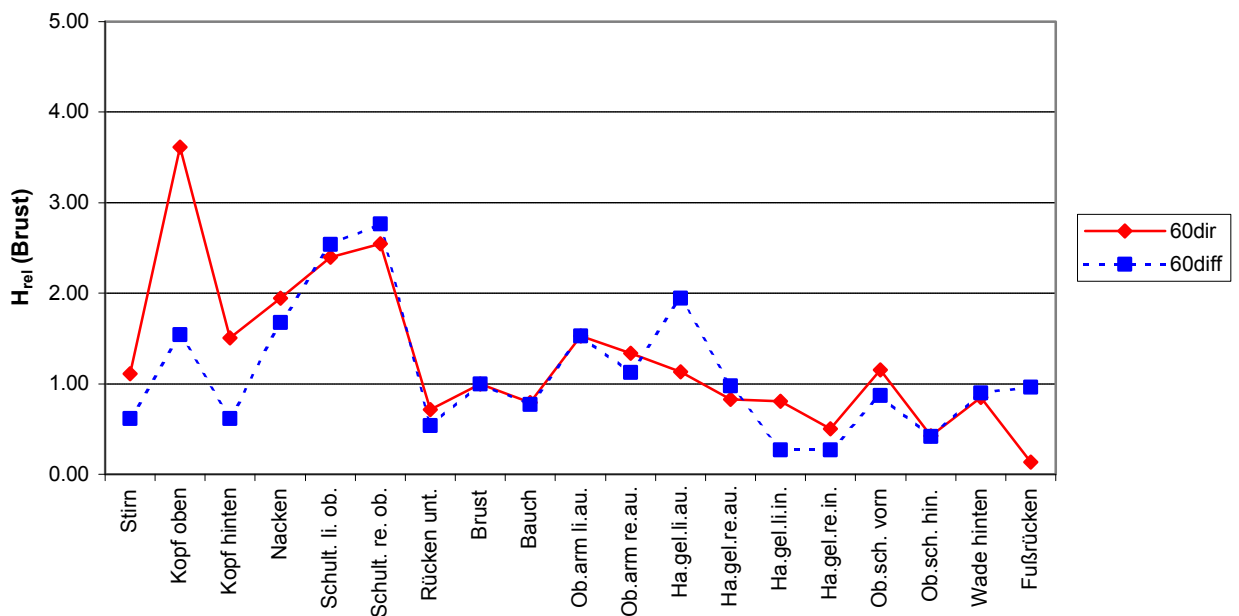
**Abb. 4.8 a-b** Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Müllwerker bei Mittagshöhe von (a) 15°, (b) 30°

UV-Körperverteilung Müllwerker - Sonne 42° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



(c)

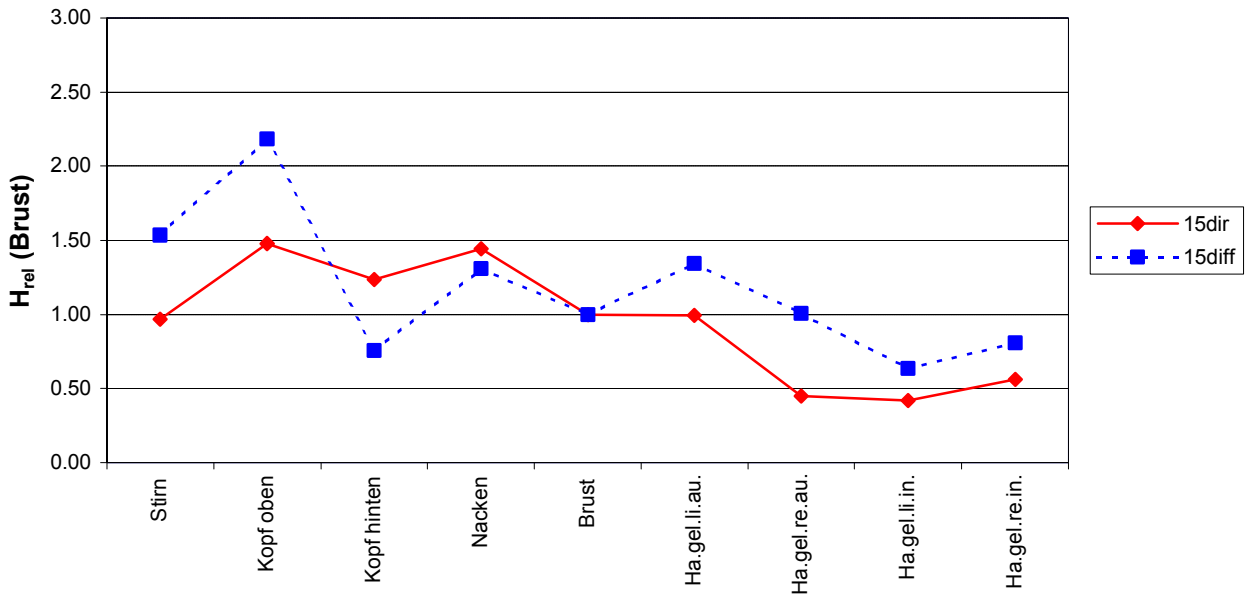
UV-Körperverteilung Müllwerker - Sonne 60° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



(d)

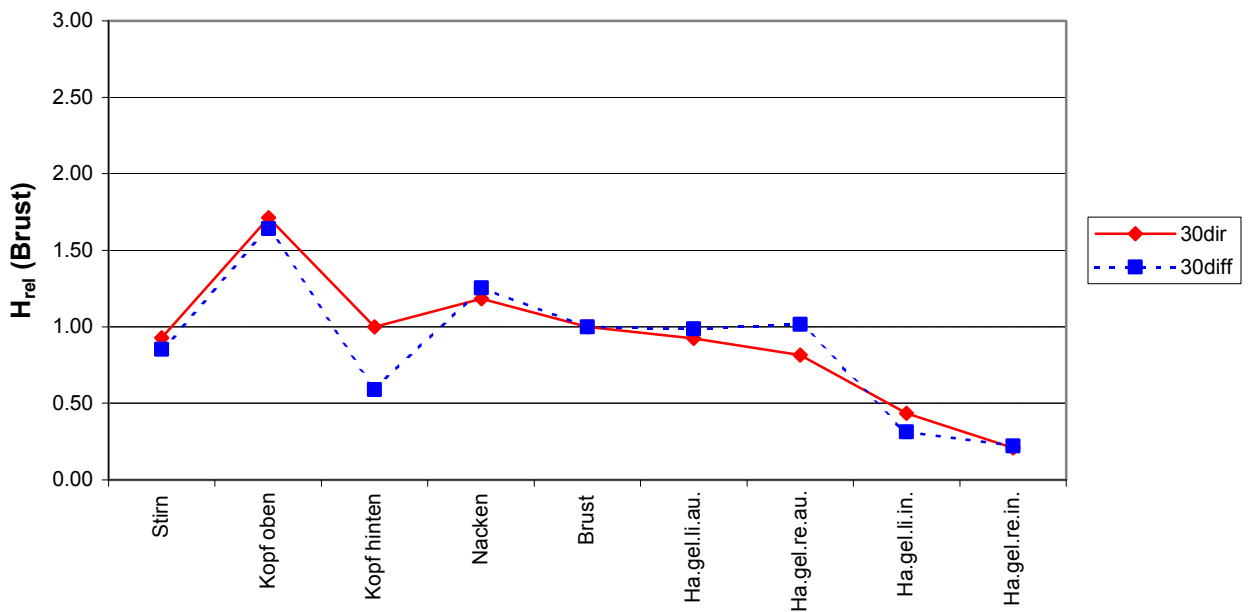
**Abb. 4.8 c-d** Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Müllwerker bei Mittagssonnenhöhe von (c) 42°, (d) 60°

UV-Körperverteilung Kindergärtnerinnen - Sonne 15° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



(a)

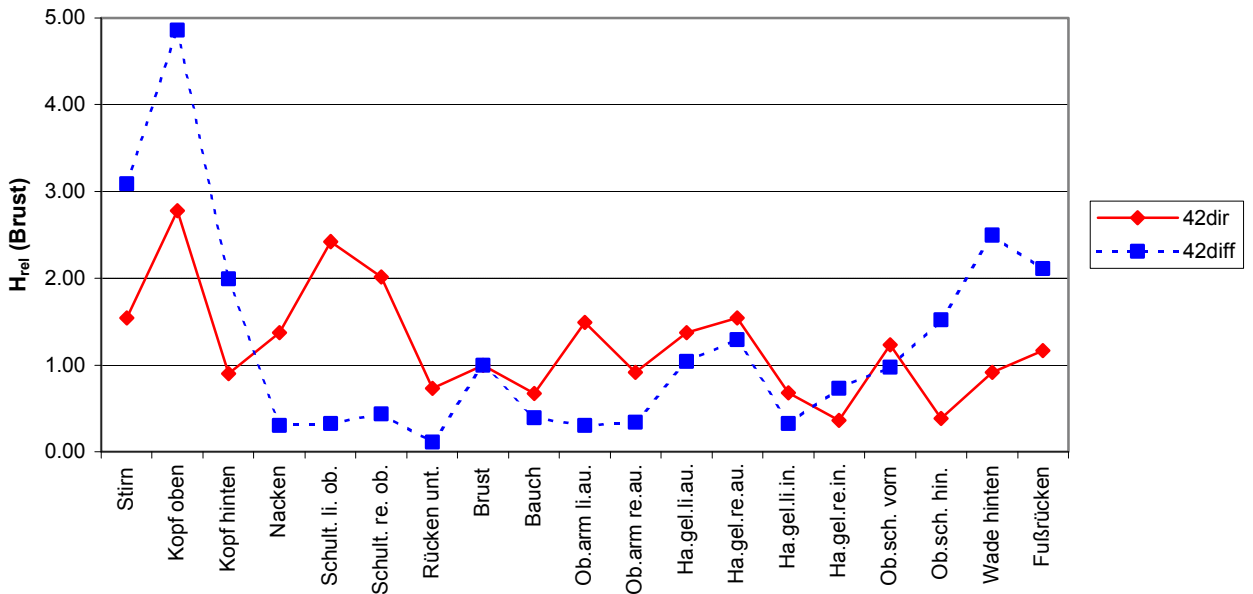
UV-Körperverteilung Kindergärtnerinnen - Sonne 30° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



(b)

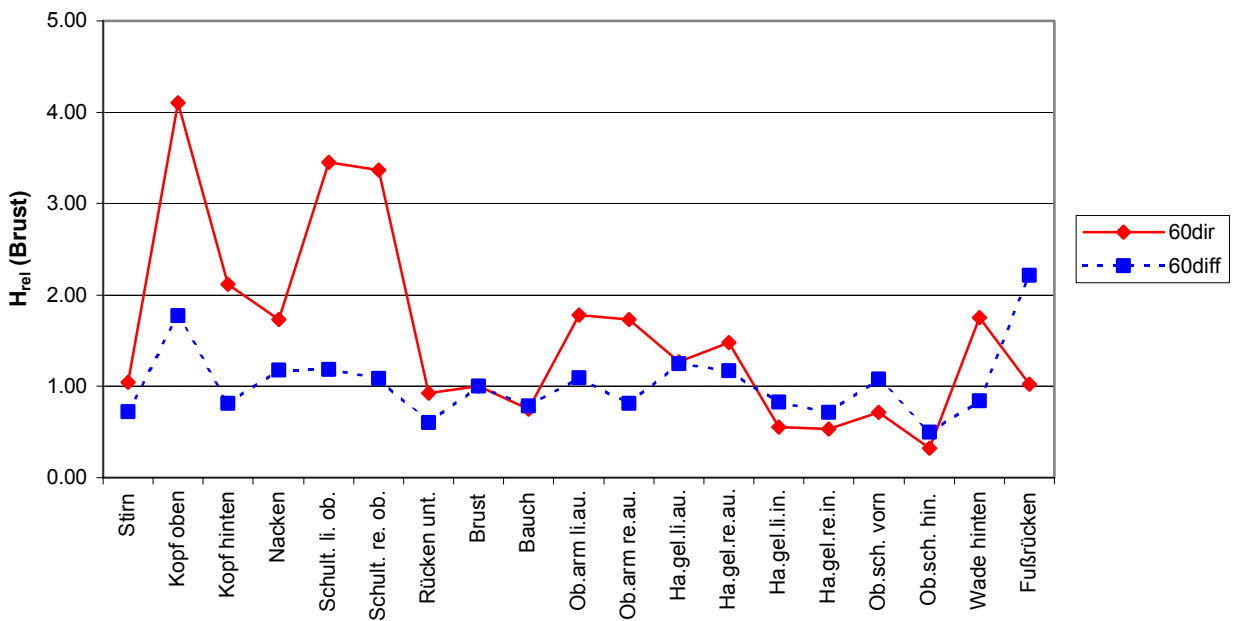
**Abb. 4.9 a-b** Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Kindergärtnerinnen bei Mittagssonnenehöhe von (a) 15°, (b) 30°

UV-Körperverteilung Kindergärtnerinnen - Sonne 42° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



(c)

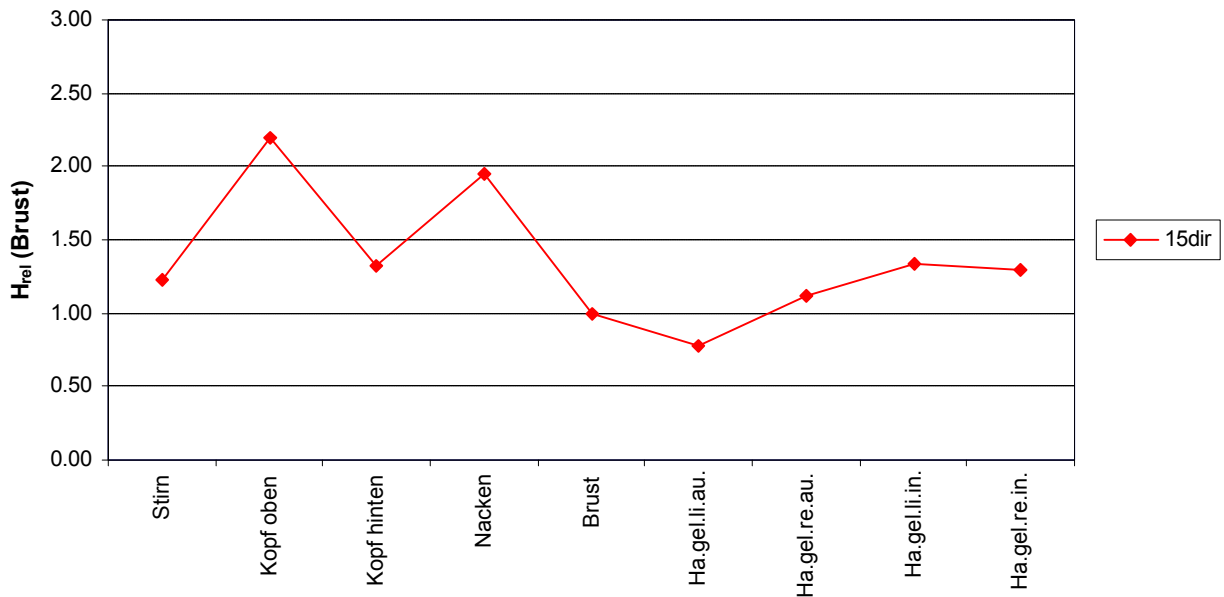
UV-Körperverteilung Kindergärtnerinnen - Sonne 60° (direkt: klar / diffus: bedeckt)



(d)

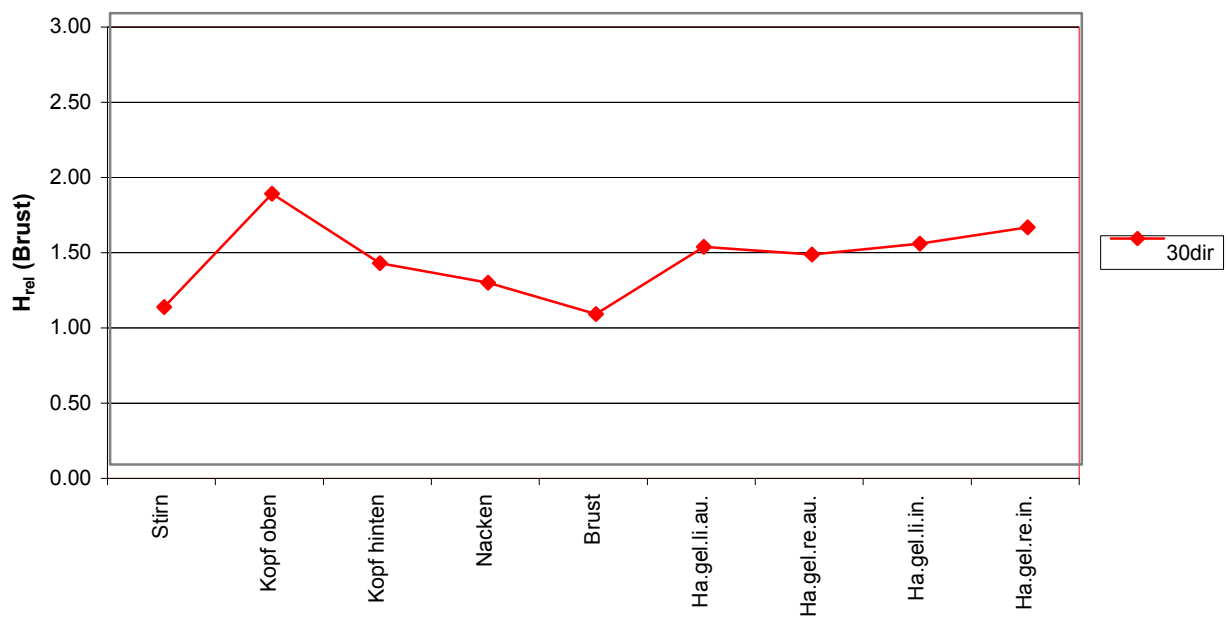
**Abb. 4.9 c-d** Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Kindergärtnerinnen bei Mittags-sonnenhöhe von (c) 42°, (d) 60°

### UV-Körperverteilung Glasreiniger - Sonne 15° (direkt: klar)



(a)

### UV-Körperverteilung Glasreiniger - Sonne 30° (direkt: klar)

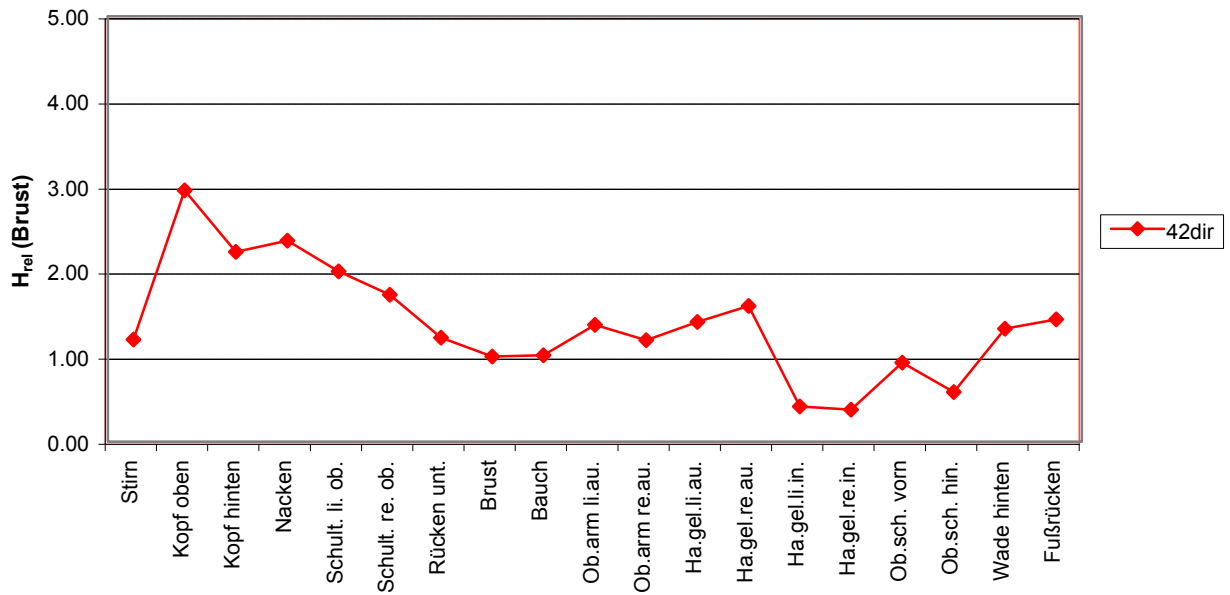


(b)

**Abb. 4.10 a-b** Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Glasreiniger bei Mittagssonnenhöhe von (a) 15°, (b) 30°

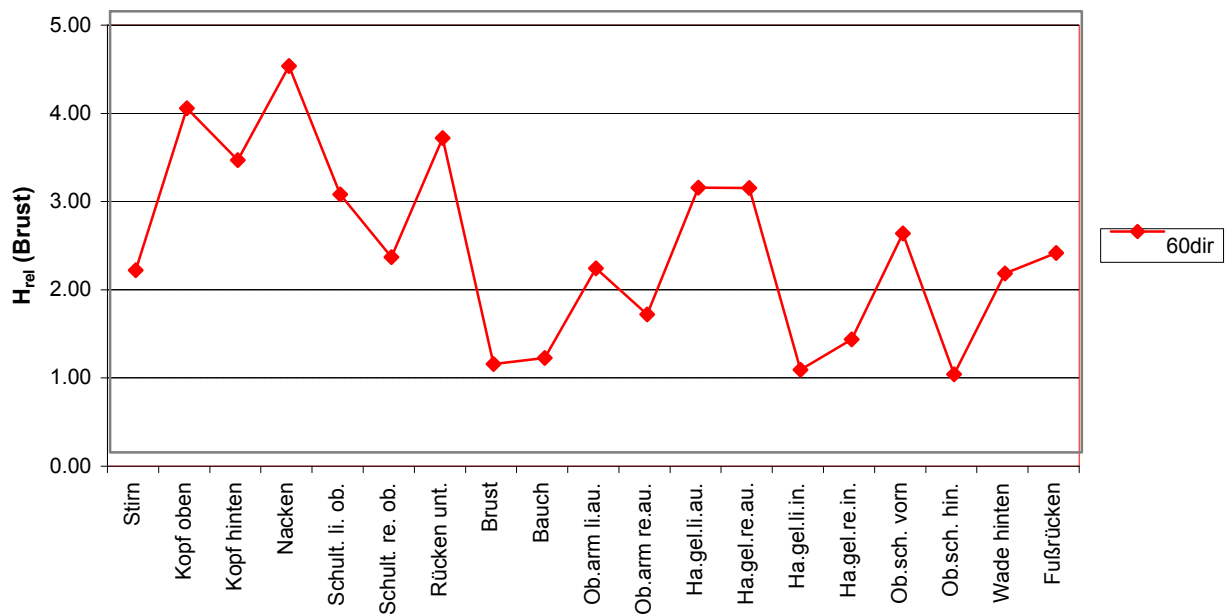


UV-Körperverteilung Glasreiniger - Sonne 42° (direkt: klar)



(c)

UV-Körperverteilung Glasreiniger - Sonne 60° (direkt: klar)



(d)

**Abb. 4.10 c-d** Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Glasreiniger bei Mittagssonnenhöhe von (c) 42°, (d) 60°

Bei den Gärtnern sind mehrheitlich die Körperpositionen „Kopf oben“, „Nacken“, „Schultern oben“ höher exponiert als „Brust“, „Bauch“ und „Stirn“. Dies steht im Einklang mit einer hockenden oder stehenden und nach vorn gebeugten Körperhaltung. Die Streckseiten von Oberarm, Unterarm und die Handrücken nehmen dazwischen ein mittleres Expositions-niveau ein.

In den Mittelwerten der Müllwerker ist sowohl die Fahrer- als auch die Belader-Tätigkeit enthalten. Da der Messstart immer sehr kurzfristig festgelegt werden musste (vgl. Sonnenwinkelzeitfenster - meteorologische Anforderungen), konnte auf die Arbeitsaufgabe der Teilnehmer keine Rücksicht und kein Einfluss genommen werden. Letztlich entspricht aber dieser Mittelwert aus beiden Tätigkeitsprofilen auch der realen, mittleren Körperverteilung für die Mehrheit der Müllfahrer. Für Personen mit reiner Ladetätigkeit könnte auf entsprechende Messwerte zurückgegriffen werden.

Die am höchsten exponierten Körperstellen waren „Kopf oben“ und „Schultern oben“. Stärker als die Referenzposition „Brust“ waren auch stets „Oberarme außen“, „Handgelenke außen“, „Oberschenkel vorn“ und „Wade hinten“ exponiert. Diese Ergebnisse resultieren aus einer vorrangig aufrechten Körperhaltung während der Arbeit. Die hohen Messwerte für die „Handgelenke links außen“ gegenüber „Handgelenke rechts außen“ ergeben sich aus der Fahrtätigkeit bei geöffnetem Fenster mit Ablage des Armes auf der heruntergefahrenen Fensterscheibe. Gleiches gilt für die Oberarme.

Auch für Kindergärtnerinnen ist die aufrechte Körperhaltung maßgeblich, deshalb ist die Verteilung der Messwerte ähnlich wie bei den Müllwerkern. Die Körperposition „Fußrücken“ erreichte bei den Kindergärtnerinnen Werte wie die „Brust“-Position. Bei den Müllwerkern war diese Messposition stets geringer exponiert als die Referenzposition. Die Ursache hierfür wird in der Abschattung des Fußes durch die weiten Hosenbeine der Arbeitsbekleidung sowie ggf. Mülltonnen und Müllfahrzeug vermutet.

Glasreiniger arbeiten vorrangig dem Gebäude zugewandt. Deshalb sind die rückgewandten Messpositionen (wie „Kopf hinten“, „Nacken“, „Schultern oben“) erwartungsgemäß stärker exponiert. Am deutlichsten ist das am Ergebnis für den „unteren Rücken“, gemessen bei 60° Sonnenhöhenwinkel, sichtbar. Für diese Messposition wurde der 3,5fache Wert gegenüber der Referenzposition gemessen. An der „Stirn“ hingegen wurden, außer im August, Werte wie in Brustposition gemessen.

Bei niedrigem Sonnenstand (15° und 30°) sind die Handgelenke innen und außen gleichermaßen exponiert. Die Ursache hierfür wird in der ständigen Drehung der Handgelenke während der Arbeit vermutet. Dies könnte bei flachem Einfallswinkel zu einer Gleichverteilung innen und außen führen. Bei 60° und 42° Sonnenhöhenwinkel wurde dieser Effekt nicht beobachtet.

Für alle KV-Messperioden und Berufsgruppen waren die Messwerte für die erythem-effektive Bestrahlung pro Tag der Referenzkörperposition „Brust“ im Wesentlichen vergleichbar mit den Ergebnissen dieser Messposition aus den jahreszeitlich zyklischen MP. Für die KV<sub>dir</sub>-Messserien (im Idealfall 3/5 Sonnentage) liegen die Messwerte über den Mittelwerten aus den Messperioden, da diese nicht über 16 Tage bei konstant sonnigem Wetter verliefen.

Generell für alle Tätigkeitsgruppen war festzustellen, dass mit saisonal steigendem Sonnenhöhenwinkel die UV-Exposition für die Regionen Schultern, Nacken, Kopf (oben) deutlich stieg. Die relative Gesichtsexposition (Stirn bezogen auf Brust) ging dabei zurück. Absolut lagen sogar die mittlere erythem-effektive Bestrahlung im Gesicht bei  $42^\circ$  zu Herbstbeginn höher als bei  $60^\circ$  im Sommer. Bei zwar etwas niedrigerer Bestrahlungsstärke in dieser Jahreszeit, ist das mit dem steileren und damit wirksameren Einfall auf die Gesichtshaut bzw. die PSF-Sensoren zu erklären. Im Sommer, bei hohem Sonnenstand, hat die Sonnenstrahlung demgegenüber einen eher streifenden Einfall auf die Stirn.

Auch solche Fakten sind für den effektiven UV-Schutz der Haut zu berücksichtigen.

Für den Vergleich der Körperverteilungen durch direkte bzw. diffuse solare UV-Expositionen war erwartet worden, dass sich die im Fall direkter Sonneneinstrahlung bestehenden deutlichen Unterschiede der Verteilung der Exposition über den Körper von bis zu 900 % bei diffuser Einstrahlung nivellieren. Deutlich ausgeprägt konnte diese Erwartung bei allen untersuchten Beschäftigtengruppen in der Messperiode  $KV_{diff\_60}$  bestätigt werden. Vergleicht man hier die Körperverteilung, so sind die Relationen von höchster zu niedrigster Exposition auf etwa 400 % zurückgegangen. Selbst kurzzeitige Wolkenlöcher mit Sonnenscheinmomenten verfälschen sofort und nachhaltig die Körperverteilungsmessungen von dieser für diffuse Einstrahlungsbedingungen repräsentativen Verteilung in Richtung Körperverteilung bei Direktstrahlung.

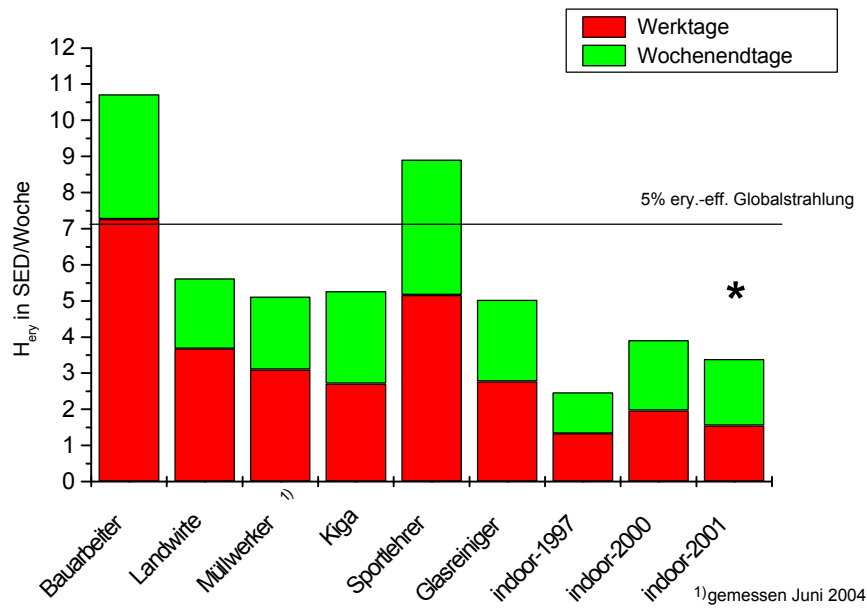
## 4.3 Relationen der UV-Expositionen zwischen den Berufsgruppen

### 4.3.1 Jahreszeitlich zyklische Messperioden

In Kapitel 4.2.1 wurden die jahreszeitlichen UV-Expositionslevel innerhalb jeder einzelnen Beschäftigtengruppe ausgewertet. Hier erfolgt die Analyse, in welchem Verhältnis die UV-Expositionen stehen, die bei Tätigkeiten mit großem Arbeitsanteil im Freien ( $> 80\%$ ) akkumuliert wurden, gegenüber Wechseltätigkeiten und insgesamt bezogen auf einen UV-Basislevel, der durch ausschließlich im Gebäude Beschäftigte (mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien) charakterisiert wird. Bleiben diese Relationen zwischen den Beschäftigtengruppen im Jahresverlauf gleich oder gibt es markante Verschiebungen?

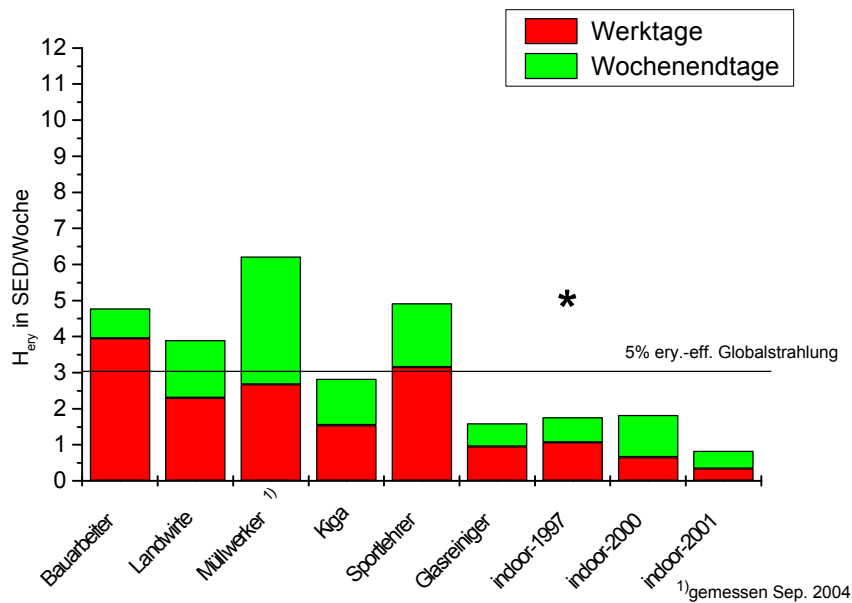
Die Gegenüberstellungen der Ergebnisse aller Beschäftigtengruppen für jeden MZR in der Untersuchungslaufzeit von Mai 2003 bis September 2004 erfolgte in den Abb. 4.11 a-d als mittlere kumulative Wochenexpositionen (Brustposition). Eine detaillierte Darstellung (mittlere erythem-effektive UV-Bestrahlungen  $H_{ery}$  pro Werktag bzw. pro Wochenendtag  $\pm D$ ; Anzahl  $n$  auswertbarer Probanden je Gruppe und MZR) befindet sich in Anh. 2, Abb. 7 a-d. In den Abbildungen ist für jede MP der 5%-Level der totalen Globalstrahlung eingefügt. Das gestattet eine orientierende Einschätzung des Anteils der Globalstrahlung, der individuell als UV-Personendosis kumuliert wird.

Dresden, Mai 2003/Juni 2004 ( $\gamma_s=60^\circ$ )



(a)

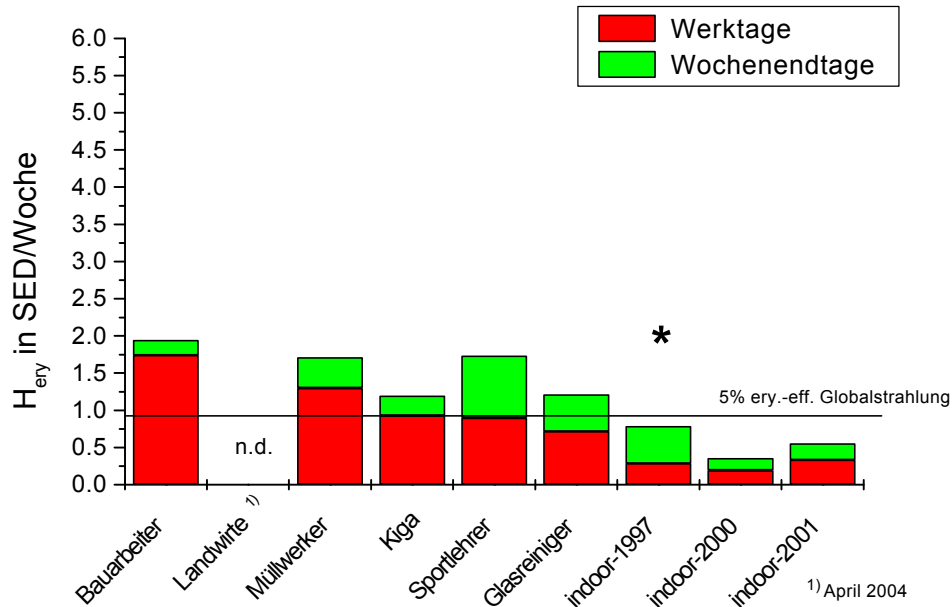
Dresden, September 2003/2004 ( $\gamma_s=42^\circ$ )



(b)

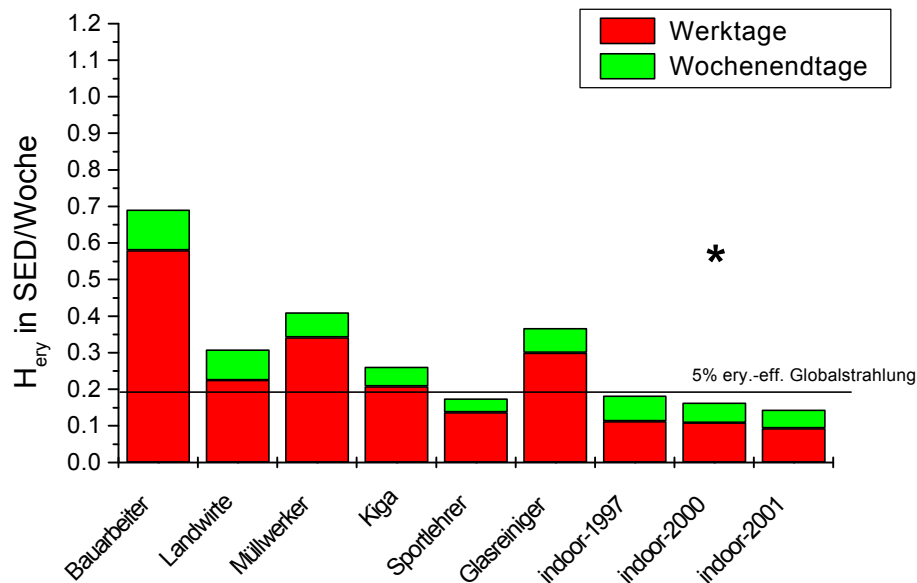
**Abb. 4.11 a-b** Vergleich der UV-Expositionslevel der untersuchten Beschäftigungsgruppen innerhalb des MZR einer Jahreszeit: Mittagssonnenhöhe (a)  $60^\circ$ ; (b)  $42^\circ$   
mittlere erythem-effektive Bestrahlungen  $H_{ery}$  pro Woche in Relation zur solaren Globalstrahlung

Dresden, März 2004 ( $\gamma_s = 30^\circ$ )



(c)

Dresden, Dezember 2003 ( $\gamma_s = 15^\circ$ )



(d)

**Abb. 4.11 c-d** Vergleich der UV-Expositionslevel der untersuchten Beschäftigtengruppen innerhalb des MZR einer Jahreszeit: Mittagssonnenhöhe (c)  $30^\circ$ ; (d)  $15^\circ$   
mittlere erythem-effektive Bestrahlungen  $H_{ery}$  pro Woche in Relation zur solaren Globalstrahlung

Als Vergleichsbasis sind die Expositionslevel für im Gebäude Beschäftigte (indoor) angegeben. Für diese Beschäftigtengruppe liegen Daten aus verschiedenen Messjahren in der Datenbank vor. Die mit „ \* “ gekennzeichneten Werte stammen aus einer MP mit vergleichbaren Witterungsbedingungen zu der konkret ausgewerteten MP im Rahmen dieses Projektes. So waren die Globalstrahlungswerte der 60°-Messperiode 2003 ähnlich den Werten von 2001, die der 42°-Messperiode 2003 ähnlich den Werten von 1997, die der 15°-Messperiode 2003 ähnlich den Werten von 2000 und die der 30°-Messperiode 2004 ähnlich den Werten von 1997. Damit konnten die Messdaten von Innenbeschäftigten (indoor) von 1997 (KNUSCHKE et al., 2000), von 2000 und 2001 (KNUSCHKE et al., 2004) als Kontrollgruppe auf Basisexpositionslevel herangezogen werden.

Unter gleichen Sonnenstandsbedingungen 60° (bzw. 42°; 30°; 15°) wie im UV-Personenmonitoring dieses Projektes wurden für die Innenbeschäftigten die in Tab. 4.2 zusammengestellten mittleren erythem-effektiven Bestrahlungen  $H_{ery}$  pro Werktag sowie  $H_{ery}$  pro Wochenendtag jeweils abhängig vom Freizeitverhalten (a) für im Freien aktive Personen und (b) für wenig im Freien aktive (passive) Personen gemessen (siehe Abb. 4.11 a-d).

**Tab. 4.2** Mittlere erythem-effektive Bestrahlung  $H_{ery}$  pro Tag von Innenbeschäftigten an Werktagen (WT) bzw. an Wochenendtagen (WE)

Mittagssonnenhöhe (Messjahr)	$H_{ery}(WT) / d$ in SED	$H_{ery}(WT) / d$ in SED Freizeit: aktiv	$H_{ery}(WT) / d$ in SED Freizeit: passiv
60° (2001)	0,35	0,90	0,45
42° (1997)	0,25	0,40	0,20
30° (1997)	0,060	0,85	0,30
15° (2003)	0,020	0,055	0,035

Zu beachten ist die erforderliche Änderung der Achsskalierung der Ordinaten bezüglich der Bestrahlungswerte  $H_{ery}$  wegen der Änderung der UV-Expositionslevel um mehr als eine Größenordnung im Verlauf des Jahres. In Abb. 4.11 a-d musste als Maximalwert für den Sonnenhöhenwinkel 60° bzw. 40° das 10fache gegenüber 15° und das Doppelte gegenüber 30° gewählt werden. In Anh. 2, Abb. 7 a-d entspricht der Maximalwert für 60° und 42° dem 20fachen gegenüber 15° und dem 5fachen gegenüber 30°.

Erwartungsgemäß lag der mittlere UV-Level aus den Werktagsexpositionen für die Berufsgruppe der Bauarbeiter zu jeder Jahreszeit am höchsten. Dabei erreichten die mittleren Werktagsexpositionen durch UV-Strahlung bei Mittagssonnenhöhen von 60° etwa 10fach höhere Werte als bei einer Mittagssonnenhöhe von 15°. Im März (30°) erreichten die Werte bereits mehr als das Doppelte der Dezember-Werte (15°). Im April rund das Sechsfache.

Aus den Probandentagebüchern der Landarbeiter ging hervor, dass teilweise zu den 42°- und 60°-MP die gesamten Wochen durchgearbeitet wurde. Dies ist, wie schon erwähnt, charakteristisch für das Berufsbild der Landarbeiter. Die arbeitstäglichen Messwerte in Höhe von 3,5 SED/Woche im Mai/Juni bzw. 2,5 SED/Woche im September erschienen für die dokumentierten Aufenthaltszeiten im Freien viel zu niedrig. Ein Zusatzfragebogen zu Art und Umfeld der verschiedenen ausgeübten Tätigkeiten jedes einzelnen Probanden belegte, dass ein Großteil des Arbeitstages in

Fahrzeugen (Traktor und andere landwirtschaftliche Maschinen) verbracht wurde. Dies brachte eine gewisse Abschirmung vor solarer UV-Strahlung mit sich.

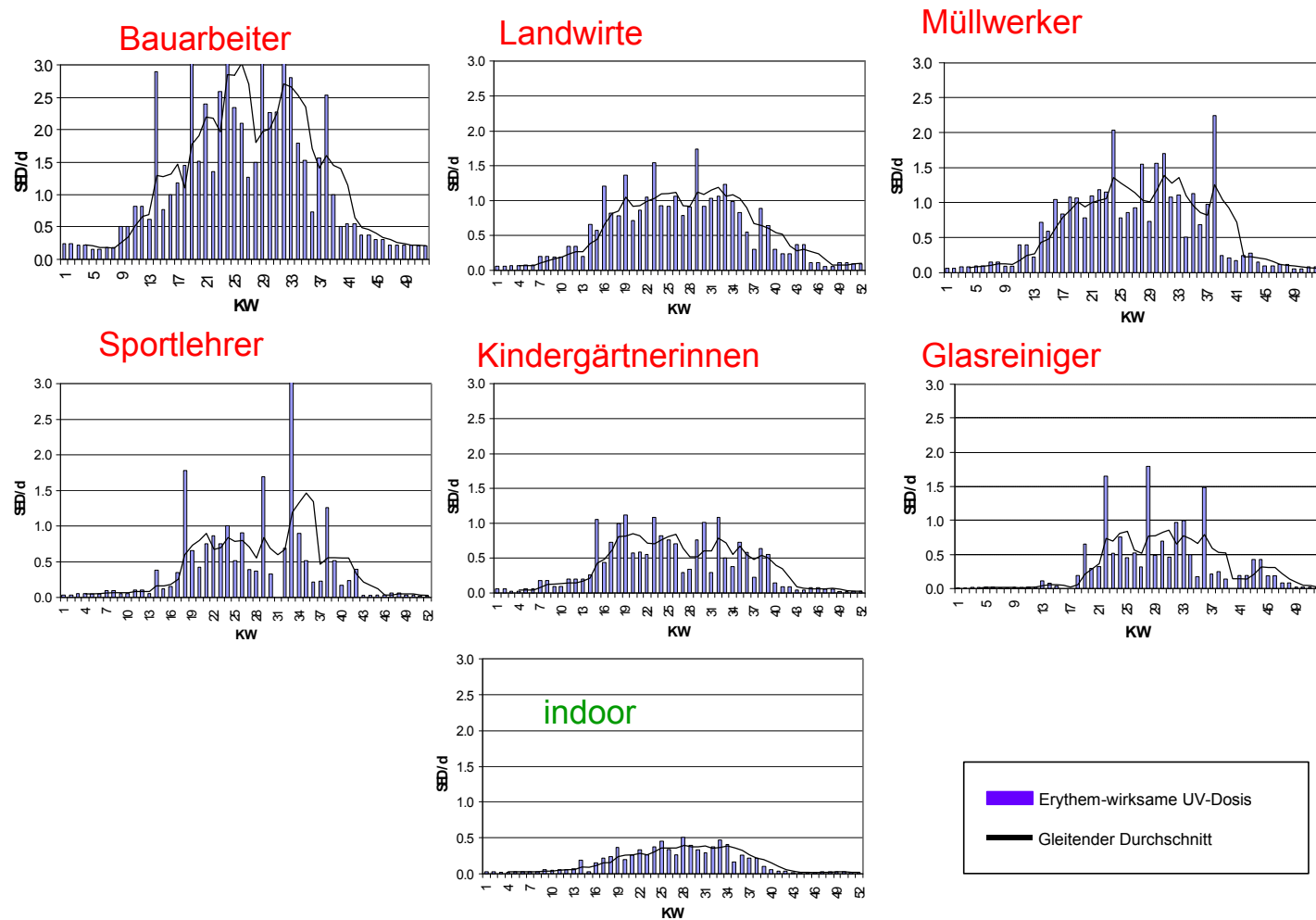
Die Müllwerker eines Fahrzeugs der Müllabfuhr wechseln sich mit Fahrerfunktion und Ladetätigkeit in der Regel ab (eine Woche fahren, eine Woche beladen). Diese Berufsgruppe erreichte deshalb bei einem Sonnenhöhenwinkel von  $60^\circ$  vergleichbare Expositionswerte wie Kindergärtnerinnen. Ihre Tätigkeitsabfolge im Freien ist das ganze Jahr über weitgehend unverändert und bei jeder Witterung auszuführen. Kindergärtnerinnen dagegen orientieren sich bei der Aufstellung ihres Tagesprogramms am Wetter. So erreichten sie im September nur 0,3 SED/d gegenüber den Müllwerkern mit 0,53 SED/d. Noch deutlicher stellte sich dieser Unterschied in den Ergebnissen der Wintermessungen dar (Abb. 4.11 c-d).

Der charakteristische Tagesablauf von Kindergärtnerinnen weist berufsbedingte Aufenthalte im Freien vormittags zwischen 9.00 Uhr und 11.00 Uhr sowie nachmittags zwischen 15.00 Uhr und 17.00 Uhr auf. Die ausgesparte Mittagssonnenexposition erklärt die niedrigen effektiven Bestrahlungswerte  $H_{\text{ery}}$ , verglichen mit Bauarbeitern oder Sportlehrern.

Das Expositionsniveau der Sportlehrer lag an den Werktagen sowohl im Mai ( $60^\circ$ ) als auch im September ( $42^\circ$ ) am zweithöchsten von den untersuchten Berufsgruppen. Zu beachten war, dass Sportlehrer an Werktagen außerhalb des Schuldienstes oft zusätzlich Sportgruppen trainieren. Das Training fand bei gutem Wetter im Freien statt. Laut Probandentagebuch war auch das Freizeitverhalten am Wochenende durch sportliche Aktivitäten, wie z. B. Jogging und Tennis, geprägt. Sportlehrer erreichten in den Sommermonaten Werte wie Außenbeschäftigte, im Dezember dagegen wie Innenbeschäftigte.

Die niedrigen Expositionswerte an Werktagen für die Gruppe der Glasreiniger lagen im Ablauf des speziellen Arbeitsprozesses begründet. Die Auswertung der Arbeitszeiten in den Probandentagebüchern wies aus, dass die Arbeitsschicht in den Sommermonaten in der Zeit von 4.00 Uhr bis 12.00 Uhr liegt. Hintergrund hierfür waren die sonst zu sehr belastenden Arbeitsbedingungen durch Mittagshitze und reflektierte Sonnenstrahlung. Es wurde stets mit dem Dosimeter zum Gebäude hin (Messposition: Brust!) gearbeitet. Entsprechend höhere UV-Expositionswerte wiesen folgerichtig bei den Körperverteilungsmessungen die rückgewandten Körperregionen (Hinterkopf, Nacken, unterer Rücken, Wade, die ständig bewegten Hände) verglichen mit den anderen Berufsgruppen für die einzelnen Messperioden aus (Abb. 4.10 d).

Eine statistische Verteilungsanalyse der individuellen UV-Expositionen innerhalb einer Beschäftigtengruppe für jeden MZR ist in Anh. 2, Abb. 8 a-b bis Anh. 2, Abb. 11 a-b in Form der Boxplotdarstellung komprimiert zusammengefasst. Deutlich ist der Unterschied der Streuung zwischen Werktagsexpositionen und Wochenendexpositionen. Bei fest umrissenen Arbeitsaufgaben an Werktagen wurden relativ geringe Streuungen der individuellen UV-Expositionen in allen jahreszeitlichen Messperioden festgestellt. Konnten die Arbeitsaufgaben flexibler gehandhabt werden, wie bei Sportlehrern im zeitigen Frühjahr (Sportunterricht noch in der Sporthalle oder bereits auf dem Sportplatz), waren auch hier größere Streuungen nachweisbar.



**Abb. 4.12** Mittlerer Jahresverlauf der erythem-effektiven UV-Exposition pro Werktag im Verlauf der 1. bis 52. Kalenderwoche (gleitender Durchschnitt: über 4 Wochen)



Analog war das Ergebnis bei den Bauarbeitern im Winter mit witterungsbedingt häufigeren Tätigkeiten auch im Inneren von Bauten, was zu größeren Unterschieden führte. Demgegenüber streuen aber die UV-Freizeitexpositionen wegen ihrer hohen Individualität um mehr als eine Größenordnung zu jeder Jahreszeit deutlich höher.

#### 4.3.2 Kontinuierliche Messungen

Je untersuchter Beschäftigtengruppe lagen von jeweils 5 Probanden (indoor: 3 Probanden) die wöchentlichen UV-Expositionen über ein Jahr vor (vgl. Kap. 4.2.2). Der Jahresgang der UV-Exposition ist für je einen Probanden exemplarisch pro Gruppe in Anh. 2, Abb. 2 a-h dargestellt. Abbildung 4.12 zeigt die mittleren UV-Jahresverläufe der Werktagsexpositionen je Beschäftigtengruppe über 52 Wochen:

- (a) in der oberen Reihe für ständig im Freien Beschäftigte,
- (b) in der mittleren Reihe für Beschäftigte mit zwischen innen und außen wechselndem Tätigkeitsfeld,
- (c) in der unteren Reihe für die Kontrollgruppe der Innenbeschäftigten.

Die Wechseltätigkeit führte in diesem konkreten Vergleich mit nur 3 innenbeschäftigten Kontrollpersonen zu einer Erhöhung des beruflichen UV-Expositionsanteils auf 200 %, die dauernde Tätigkeit im Freien zu einer Erhöhung auf 300 %...700 %.

Bei nur fünf Probanden je Beschäftigtengruppe können keine Differenzierungen nach höheren oder geringeren Freizeitaktivitäten im Freien vorgenommen und gemittelt werden. Analoges gilt für die sehr differenzierten Urlaubsaktivitäten.

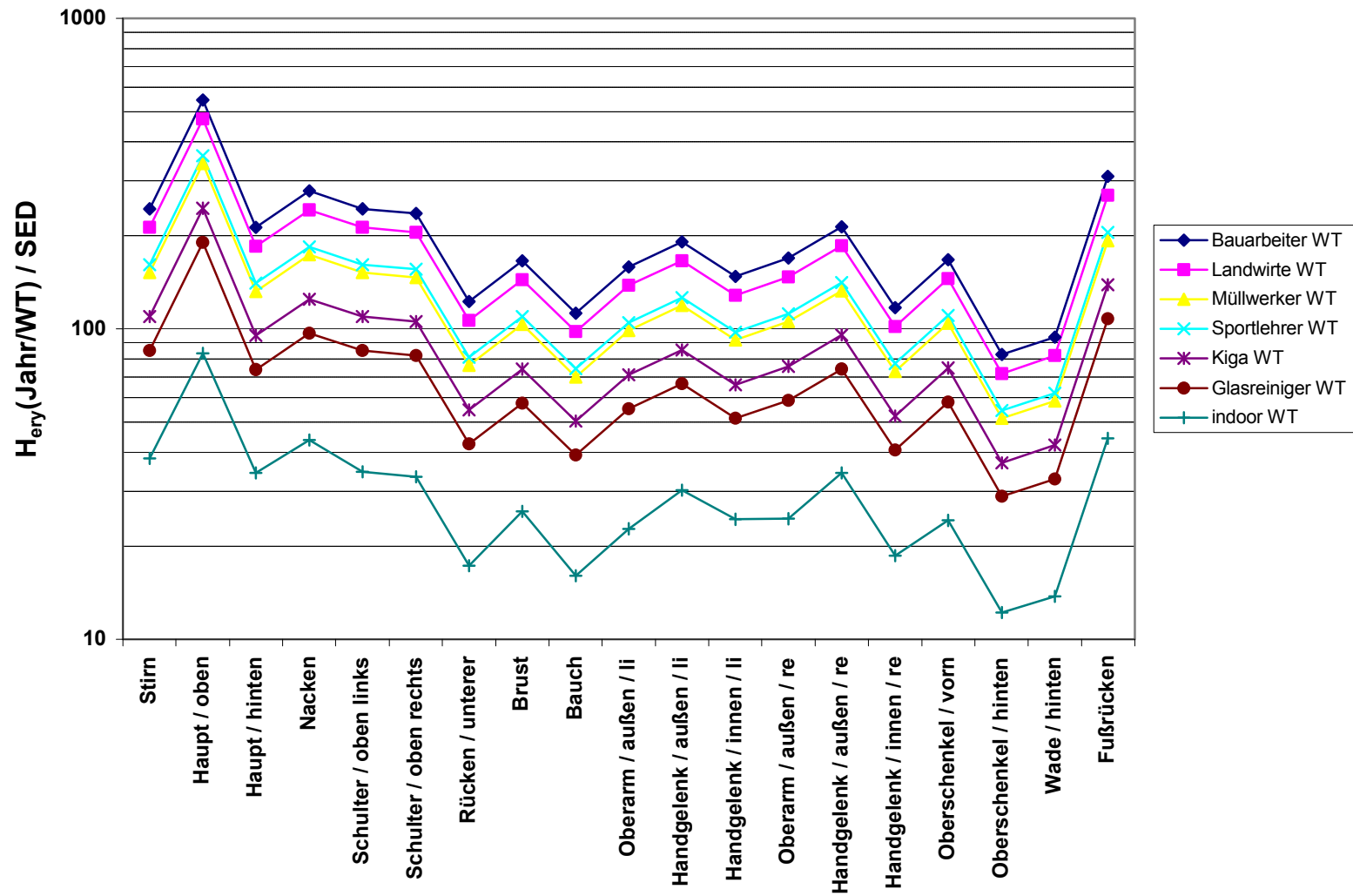
#### 4.4 Mittlere UV-Jahresexpositionen für Arbeitstage sowie für Freizeit und Urlaub

Für die Risikobewertung der UV-Expositionen ist einerseits die Kenntnis der Maximalexpositionen im Jahr wesentlich. Diese Daten liegen mit den Sommermessdaten aus dem untersuchten Jahresverlauf vor (vgl. Kap. 4.2.1/4.2.2). Andererseits sind die kumulativen UV-Jahresdosen für die Abschätzung des Einflusses auf kumulative UV-Lebensdosen maßgeblich.

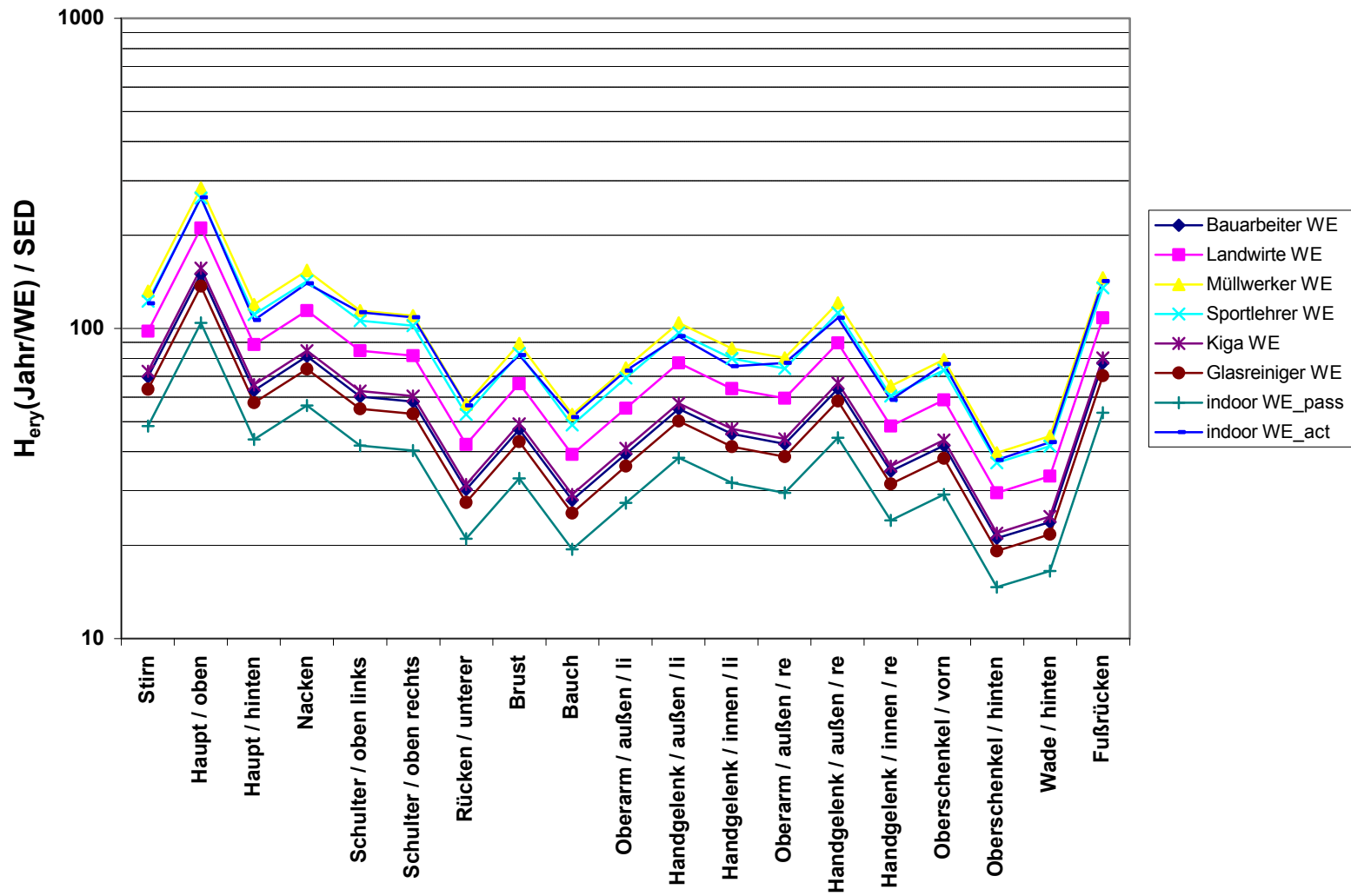
##### *UV-Jahresexposition aus UV-Personendosimetrie und Modellrechnung*

Mittels eines in der Experimentellen Photobiologie der Dermatologie/TU Dresden entwickelten biometrischen Modells können mittlere kumulative UV-Jahresdosen (für 19 Körperregionen) von Bevölkerungsgruppen ermittelt werden (vgl. Kap. 2). Dabei dienen die Messdaten des jahreszeitlich durchgeführten UV-Personenmonitorings als Eingangsgrößen.

Die Daten der in diesem Projekt untersuchten Beschäftigtengruppen (vgl. Kap. 4.2.1) wurden in die Datenbanksoftware des Modells eingegeben. Die vier jahreszeitlichen Ergebnisse für Werktagsexpositionen und für Freizeit-(Wochenend-)Expositionen dienten als Stützstellen im Modell. Daraus wurde der WT- und WE-Verlauf über 52 Kalenderwochen errechnet. Weiterhin sind Datenbankwerte zu mittleren wöchentlichen UV-Expositionen von typischen Urlaubszeiten im Jahr und Urlaubsregionen in die Bestimmung (im Austausch gegen die ansonsten zu dieser Zeit einwirkenden Alltagsexpositionen WT/WE) einbeziehbar. Damit können mittlere UV-Jahresexpositionen je Beschäftigtengruppe bestimmt werden.



**Abb. 4.13 a** Körperteilverteilung der solaren UV-Jahresexpositionen der untersuchten Beschäftigtengruppen; Anteil aus Werktagen (Modell-Berechnung)



**Abb. 4.13 b** Körperverteilung der solaren UV-Jahresexpositionen der untersuchten Beschäftigtengruppen; Anteil aus Wochenend-/Freizeit- und Feiertagen (Modell-Berechnung)

Es können auch Auswertungen der UV-Jahresdosis bezüglich typischer Urlaubsplanungen im Jahr unter Einbeziehung des vorliegenden Urlauber-Expositionspools in der Datenbank vorgenommen werden.

Anmerkung: Die ermittelten Urlaubsergebnisse lassen aufgrund der geringen Probandenzahl keine allgemein gültigen Aussagen zu und können nur als ein mögliches individuelles Ergebnis betrachtet werden (vgl. Kap. 4.2.3).

In Abb. 4.13 a-b wurden für alle in die Untersuchung einbezogenen Beschäftigtengruppen die mittleren UV-Jahresexpositionen für 19 Körperareale (vgl. Tab. 3.9) aus (a) Werktagen und aus (b) Wochenendtagen grafisch dargestellt. Die Wertetabelle wurde in Anh. 2, Tab. 1 a-b angefügt.

Für die Werktage bestätigen sich die Verhältnisse, wie sie sich aus den Messungen in Brustposition über 52 Wochen ergaben (vgl. Kap. 4.3.2).

Im Vergleich zu in der Freizeit im Freien Aktiven war für die Freizeit-(WE-)Exposition festzustellen, dass die Sportlehrer (wie bereits in Kap. 4.3.1 festgestellt) mit ihren Aktivitäten ebenfalls dieser Charakteristik entsprechen. Folgerichtig liegen die Jahresexpositionen auf dem gleichen Level. Auch die Müllwerker zeigten weitgehend einheitlich dieses Freizeitverhalten – häufig Gartenarbeit – offensichtlich als Ausgleich zum Arbeitsumfeld. Bei den Landarbeitern ist der hohe Freizeitexpositionsanteil durch eigene landwirtschaftliche Tätigkeit in der Freizeit gekennzeichnet. In den Gruppen der Kindergärtnerinnen, Bauarbeiter und Glasreiniger fanden sich sowohl Probanden mit größeren Aktivitäten im Freien als auch geringen wieder (vgl. Anh. 2, Abb. 8 a-b bis Abb. 11 a-b). So liegen die Jahres-Freizeitexpositionen dieser untersuchten Probandengruppen zwischen den Freizeitexpositionen im Freien Aktiver und im Freien wenig Aktiven.

(Anmerkung: Die Ergebnisse der berufsgruppenspezifischen Körperverteilungsmessungen aus diesem Forschungsprojekt konnten nach Abschluss der Auswertungen noch nicht in die Datenbank des Modells erweiternd einprogrammiert werden.)

#### *UV-Jahresexposition aus kontinuierlichem UV-Personenmonitoring*

Die Ergebnisse der exemplarischen kontinuierlichen UV-Personendosimetrie über 52 KW-Messperioden (vgl. Kap. 4.2.2) wurden als kumulative WT-, WE- und U-Jahresexpositionen ausgewertet. Dabei konnten mit Hilfe der Methode zur biologisch-gewichteten Auswertung von PSF-Dosimetern (KNUSCHKE et al., 1996) die Daten bezüglich UV-Erythem, ICNIRP, NMSC und UV-A bestimmt und in Tabelle 4.3 zusammengestellt werden. Die Relationen zwischen den einzelnen Beschäftigtengruppen bezüglich der biologisch-effektiven UV-Jahresdosen veranschaulicht Anh. 2, Abb. 12 bezüglich der Erythem-Effektivität der Solarexposition. Die Relationen bezüglich ICNIRP, NMSC und UV-A sehen im Wesentlichen analog aus. Es gibt geringe Verschiebungen insbesondere bei den Urlaubsexpositionen, wenn der Urlaub in Regionen mit deutlich verändertem Sonnenhöhenwinkel zu Veränderungen im Sonnenspektrum führte (nicht dargestellt).

Für die ständig Außenbeschäftigten zeigte sich, dass der Werktagsanteil (mit 40 % bis 66 %) deutlich größer ist als der Freizeitanteil (mit 16 % bis 32 %). Für die Beschäftigten mit Wechseltätigkeit und die Innenbeschäftigten sind der Werktags- und der Freizeitanteil annähernd gleich groß.

Die relative Verteilung der Einzelanteile für die untersuchten Berufsgruppen im Vergleich zu Innenbeschäftigten (n = 140 aus KNUSCHKE et al., 2004) ist in Abb. 6.1 dargestellt.

**Tab. 4.3** Mittlere biol.-effektive UV-Jahreseexpositionen  
Expositionskomponenten aus Werktagen, Wochenenden/Freizeit und  
Urlaub bezüglich: Erythem (in SED), ICNIRP (in J/m<sup>2</sup>), NMSC (in J/m<sup>2</sup>),  
UV-A (in J/m<sup>2</sup>) für Beschäftigte mit solar exponierten Arbeitsplätzen  
(n = 5) und Innenbeschäftigte als Vergleich (n = 3)

**Gesamt = WT + WE + U**

Gruppe	H-Jahr_Ery	H-Jahr_ICNIRP	H-Jahr_NMSC	H-Jahr_UV-A
Bauarbeiter	330	8.150	71.500	11.500.000
Landwirte	230	6.950	60.500	9.050.000
Müllwerker	295	8.300	65.000	9.800.000
Sportlehrer	145	3.700	31.000	5.000.000
Kindergärtnerinnen	170	4.600	36.000	5.550.000
Glasreiniger	125	3.450	28.000	3.800.000
Indoor	115	3.000	26.000	3.750.000

**WT**

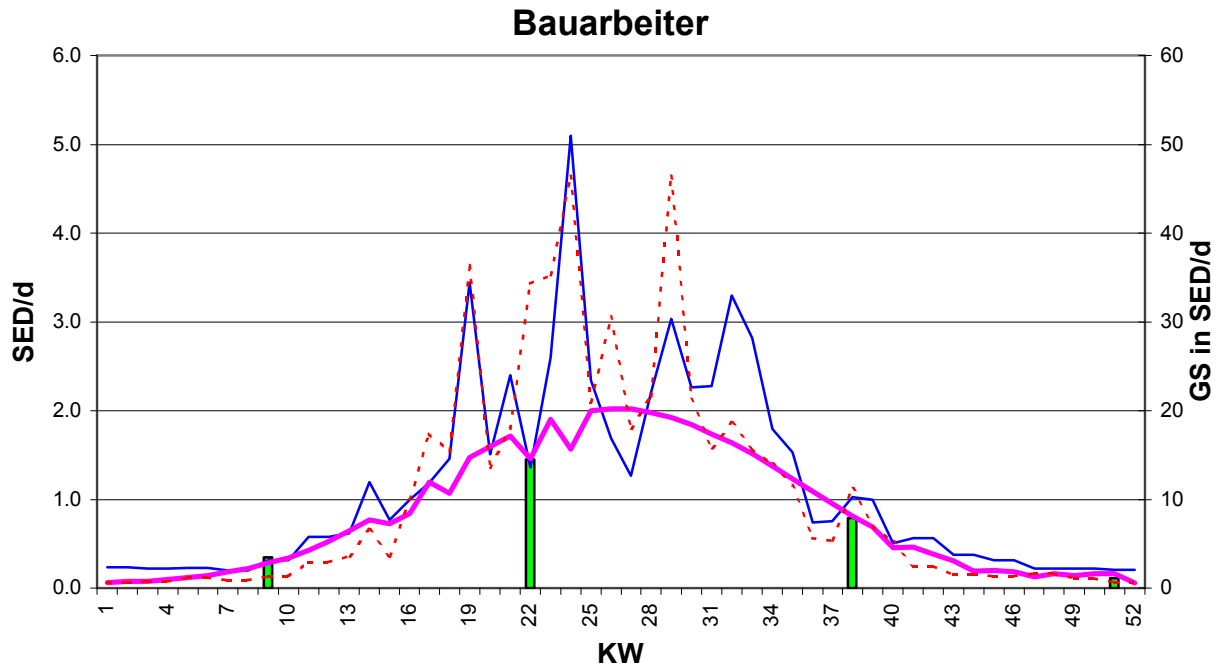
Gruppe	H-Jahr_Ery	H-Jahr_ICNIRP	H-Jahr_NMSC	H-Jahr_UV-A
Bauarbeiter	215	5.300	46.500	7.700.000
Landwirte	130	3.150	28.000	4.450.000
Müllwerker	115	2.900	25.500	4.100.000
Sportlehrer	60	1.600	13.000	2.200.000
Kindergärtnerinnen	70	1.800	15.500	2.450.000
Glasreiniger	50	1.250	11.000	1.550.000
Indoor	40	950	8.400	1.300.000

**WE**

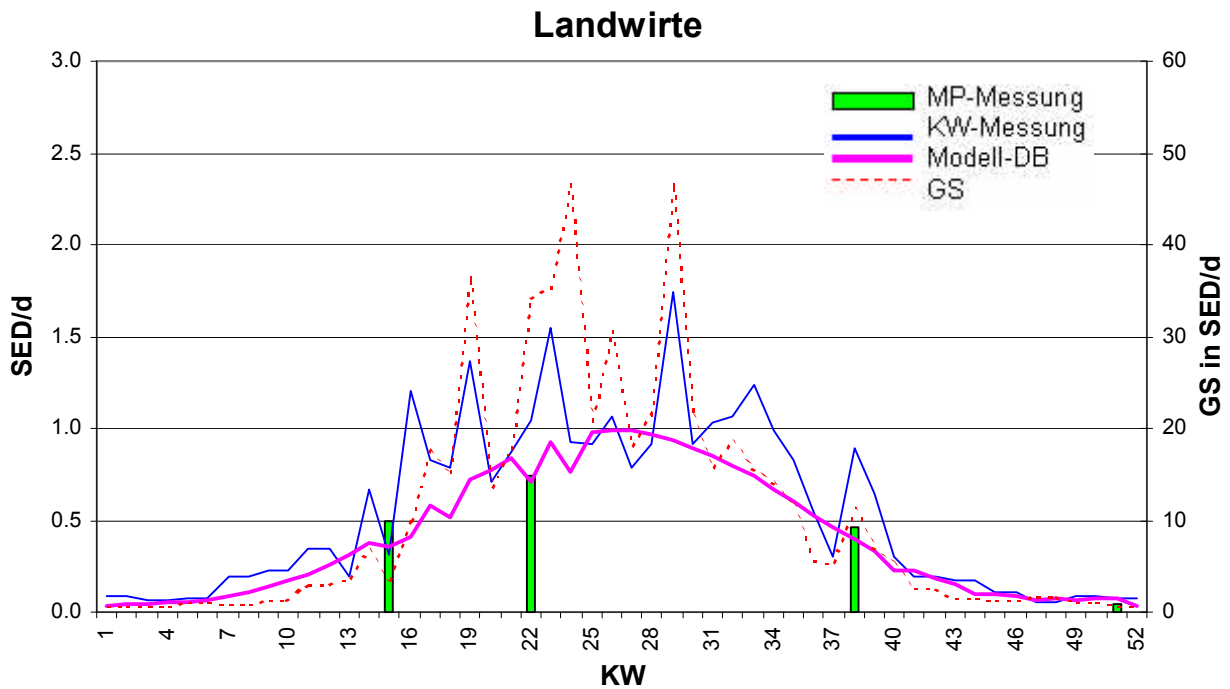
Gruppe	H-Jahr_Ery	H-Jahr_ICNIRP	H-Jahr_NMSC	H-Jahr_UV-A
Bauarbeiter	55	1.300	12.000	1.900.000
Landwirte	75	1.850	16.000	2.550.000
Müllwerker	75	1.800	16.000	2.400.000
Sportlehrer	35	700	6.300	1.050.000
Kindergärtnerinnen	65	1.500	11.500	1.900.000
Glasreiniger	45	1.100	9.500	1.250.000
Indoor	40	1.000	8.600	1.350.000

**U**

Gruppe	H-Jahr_Ery	H-Jahr_ICNIRP	H-Jahr_NMSC	H-Jahr_UV-A
Bauarbeiter	60	1.550	13.500	1.900.000
Landwirte	30	1.950	16.500	2.000.000
Müllwerker	105	3.600	23.500	3.300.000
Sportlehrer	55	1.350	12.000	1.800.000
Kindergärtnerinnen	30	1.300	8.500	1.150.000
Glasreiniger	35	1.100	7.700	1.000.000
Indoor	40	1.050	8.800	1.100.000



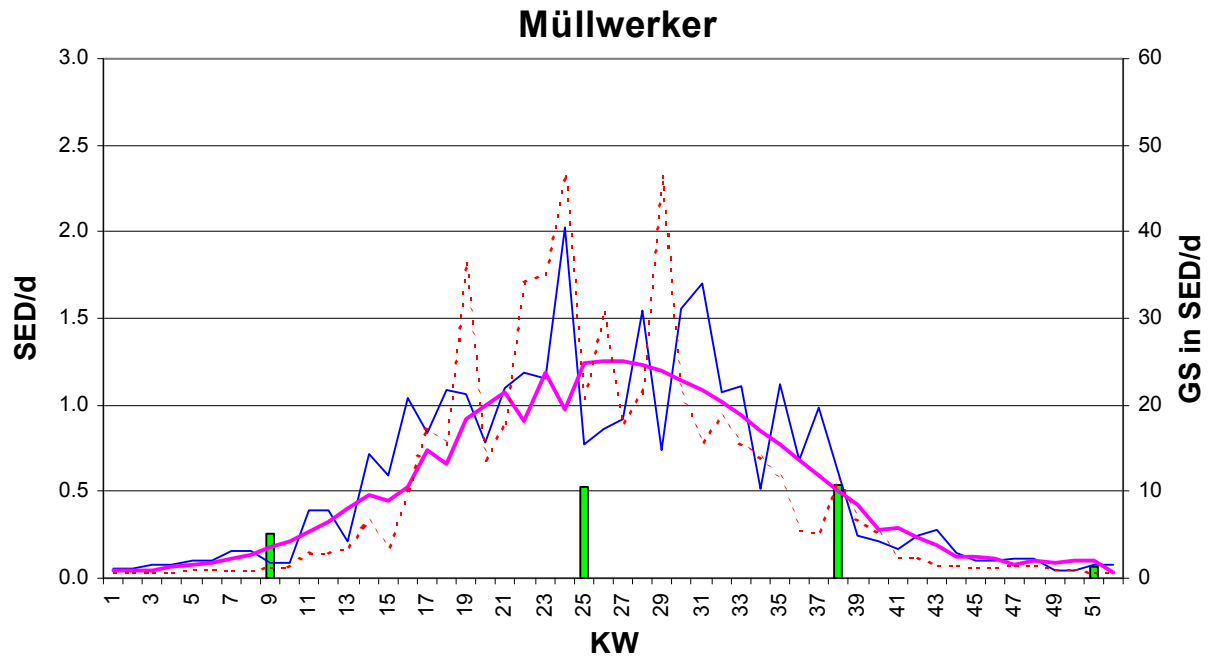
(a)



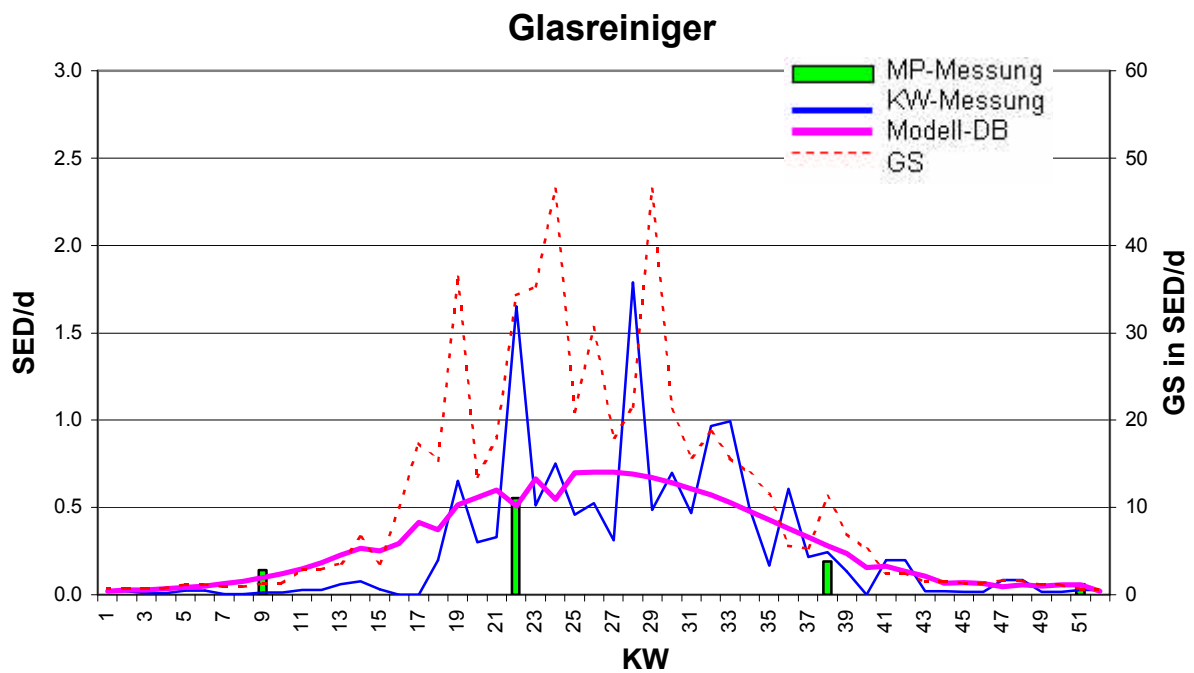
(b)

**Abb. 4.14 a-b** Jahresverlauf der arbeitstäglichen UV-Personendosis  $H_{\text{ery}}$  für Bau- und Landarbeiter ermittelt aus:

- 1.) vier jahreszeitlichen Messperioden (MP) mit PSF-Dosimetern
  - 2.) kontinuierlichen Messungen über 52 Wochen mit PSF-Dosimetern
  - 3.) Modellberechnung des Jahresverlaufes aus Daten von 1.)
- GS: Jahresverlauf der erythem-wirksame Globalstrahlung der Sonne



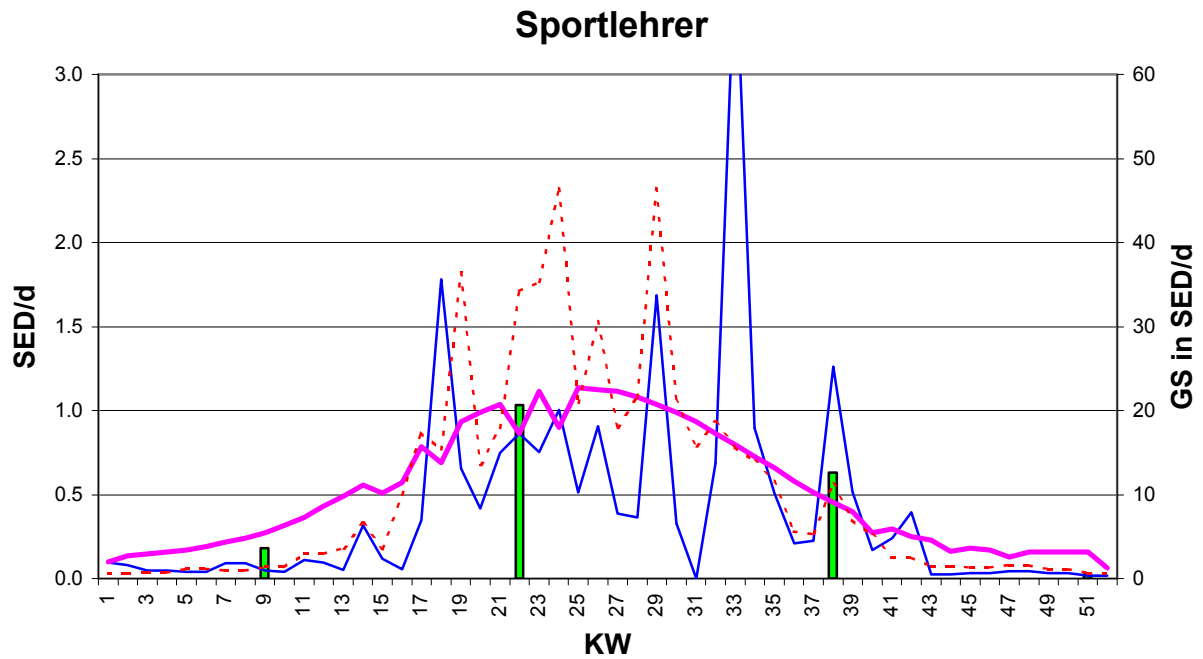
(c)



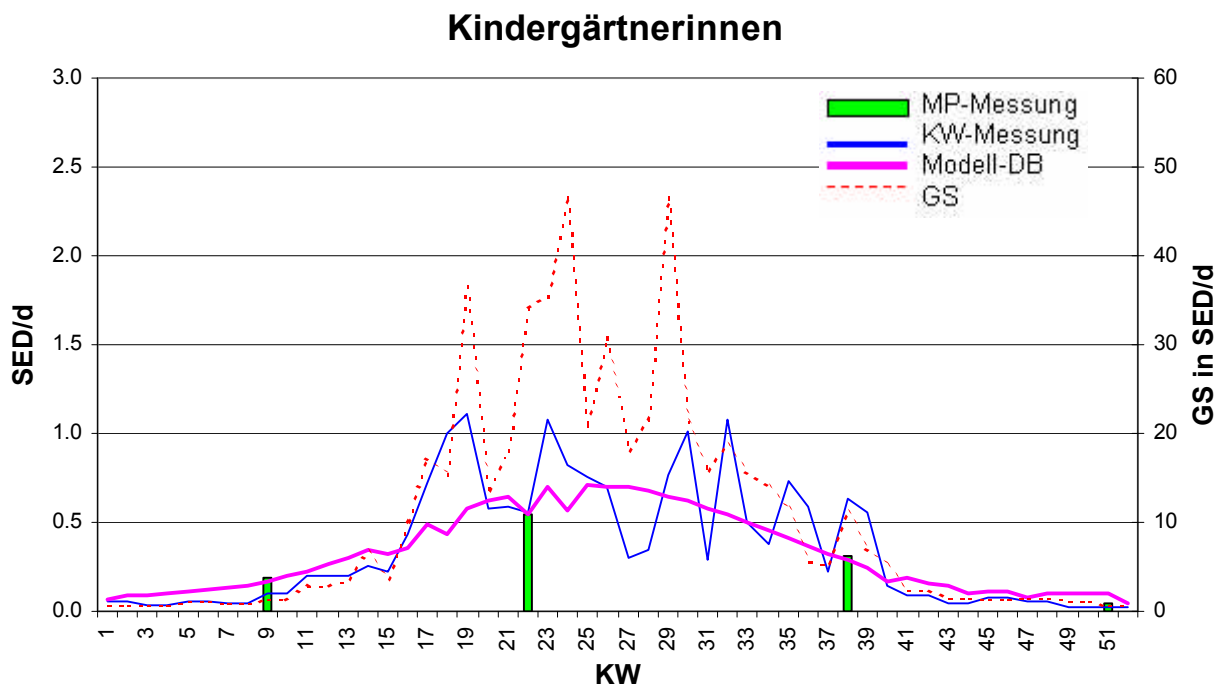
(d)

**Abb. 4.14 c-d** Jahresverlauf der arbeitstäglichen UV-Personendosis  $H_{\text{ery}}$  für Müllwerker und Glasreiniger ermittelt aus:

- 1.) vier jahreszeitlichen Messperioden (MP) mit PSF-Dosimetern
  - 2.) kontinuierlichen Messungen über 52 Wochen mit PSF-Dosimetern
  - 3.) Modellberechnung des Jahresverlaufes aus Daten von 1.)
- GS: Jahresverlauf der erythem-wirksame Globalstrahlung der Sonne



(e)



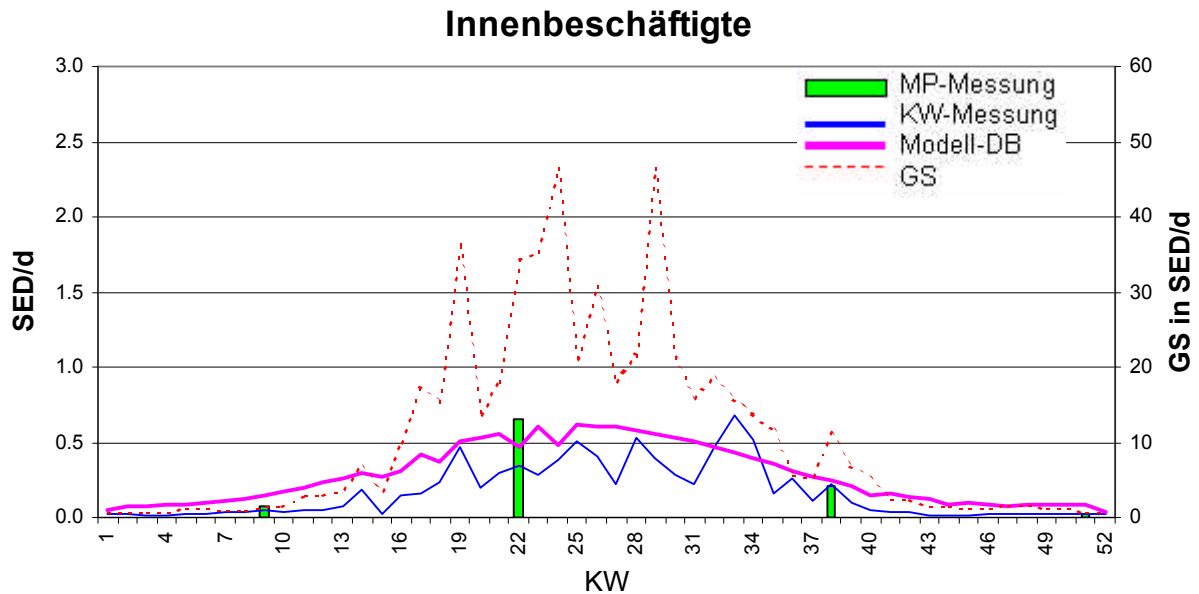
(f)

**Abb. 4.14 e-f** Jahresverlauf der arbeitstäglichen UV-Personendosis  $H_{\text{ery}}$  für Sportlehrer und Kindergärtnerinnen ermittelt aus:

- 1.) vier jahreszeitlichen Messperioden (MP) mit PSF-Dosimetern
- 2.) kontinuierlichen Messungen über 52 Wochen mit PSF-Dosimetern
- 3.) Modellberechnung des Jahresverlaufes aus Daten von 1.)

GS: Jahresverlauf der erythem-wirksame Globalstrahlung der Sonne





(g)

**Abb. 4.14 g** Jahresverlauf der arbeitstäglichen UV-Personendosis  $H_{\text{ery}}$  für Innenbeschäftigte ermittelt aus:

- 1.) vier jahreszeitlichen Messperioden (MP) mit PSF-Dosimetern
- 2.) kontinuierlichen Messungen über 52 Wochen mit PSF-Dosimetern
- 3.) Modellberechnung des Jahresverlaufes aus Daten von 1.)

GS: Jahresverlauf der erythem-wirksame Globalstrahlung der Sonne

#### *Übereinstimmung der Methoden zur Bestimmung der UV-Jahresexpositionen*

Vergleicht man die Mittelwertergebnisse aus den durchgeführten jahreszeitlichen Messperioden mit den Ergebnissen aus der kontinuierlichen Jahresmessung sowie den modellierten Jahresverläufen der individuellen UV-Exposition je untersuchter Beschäftigtengruppe, so zeigt sich eine gute bis sehr gute Übereinstimmung an den entsprechenden Messpunkten (Abb. 4.14 a-g).

Damit kann das Modell zur Ermittlung mittlerer biologisch-effektiver UV-Jahresexpositionen von Bevölkerungsgruppen nach biometrischer Verifizierung (KNUSCHKE et al., 2004 - Anh. 4), auch im direkten Vergleich zu simultan laufender kontinuierlicher UV-Personendosimetrie über ein Jahr als gut verifiziert gelten.

## 4.5 Trends aus Probandenbefragungen

Mit Hilfe der ausgegebenen Fragebögen zum Personenmonitoring wurden, wie bereits in Kap. 3.2.1 beschrieben, UV-expositionsrelevante Personendaten (unter Wahrung der Bestimmungen zum Datenschutz) zu unterschiedlichen Aspekten erhoben und ausgewertet.

### 4.5.1 UV-Hauttypen der Teilnehmer an UV-Personenmonitoringstudien

Die Auswertung der UV-Hauttyp-Fragebögen ergab für die insgesamt 149 Teilnehmer der verschiedenen Messreihen im Rahmen dieses Projektes, folgende Verteilung der UV-Toleranztypen der Haut (nach Fitzpatrick, 1988):

- Hauttyp I: 4,7 %
- Hauttyp II: 56,4 %
- Hauttyp III: 32,9 %
- Hauttyp IV: 6,0 %.

Demnach war die Mehrheit der Probanden den Hauttypen II und III zuzuordnen. Die prozentuale Hauttypverteilung innerhalb der untersuchten Beschäftigtengruppen ist in Tab. 4.4 dargestellt.

**Tab. 4.4** Prozentuale Hauttypverteilung innerhalb der untersuchten Berufsgruppen und einer Bevölkerungsstichprobe aus dem Raum Dresden

Gruppe	n	Hauttyp I	Hauttyp II	Hauttyp III	Hauttyp IV
Bau	31	6.5	48.4	35.5	9.7
Landwirte	17		64.7	35.3	
Müllwerker	18	11.1	61.1	22.2	5.6
Kiga	27	11.1	44.4	37.0	7.4
Sportlehrer	18		61.1	33.3	5.6
Glasreiniger	27		63.0	33.3	3.7
BAuA-Projekt F 1777	149	4.7	56.4	32.9	6.0
BMBF- und BAuA-Projekte	777	4.1	57.3	34.9	3.7

Betrachtet man diese Befragungsergebnisse gemeinsam mit den in gleicher Weise erhobenen Daten aus den vorangegangenen BMBF-Projekten, so ergibt sich eine Gesamtzahl von 777 Studienteilnehmern. Neben verschiedene Berufsgruppen von Innen- und Außenbeschäftigten sind Kindergarten- und Grundschulkinder, Schüler und Studenten, Hausfrauen, Senioren und Altersheimbewohner in dieser Stichprobe aus der Dresdner Bevölkerung enthalten.

Die prozentuale Verteilung für die UV-Toleranztypen der Haut, für diese 777 Personen ist ebenfalls in Tab. 4.4 angegeben.

Demnach kommt der UV-empfindlichere Hauttyp II am häufigsten vor. Die Hauttypen I und IV bilden im Raum Dresden mit < 10 % einen geringeren Anteil. Weiterhin kann festgestellt werden, dass die Hauttyp-Verteilung in den untersuchten Gruppen von Außenbeschäftigten im Wesentlichen der Stichprobenverteilung aus allen Projekten entspricht. Es ist kein Hinweis zu finden, dass Außentätigkeiten vermehrt durch Personen der Hauttypen III und IV ausgeführt werden.

**Schutzkonzepte für solarexponierte Arbeitsplätze müssen auf jeden Fall den überwiegenden Anteil von Außenbeschäftigte berücksichtigen, die dem empfindlicheren Hauttyp II zuzuordnen sind.**

#### 4.5.2 Verwendung von Lichtschutzsubstanzen

Weiterhin wurde die Benutzung von Lichtschutzpräparaten erfragt. Da sich die Teilnehmerzusammensetzung, aus bereits beschriebenen Gründen, von MP zu MP in einigen Probandengruppen veränderte, wurden die Angaben für jede MP einzeln ausgewertet.

Laut eigenen Angaben der Teilnehmer der Messperioden Mai03 und Jun04 sowie der Teilnehmer der kontinuierlichen Jahresmessung konnten zur Benutzung von Lichtschutzsubstanzen an Arbeitstagen folgende Feststellungen getroffen werden (Tab. 4.5): Nur etwa ein Viertel der Studienteilnehmer benutzen an Arbeitstagen Lichtschutzsubstanzen. Auffällig ist, dass die am stärksten belastete Berufsgruppe der Bauarbeiter offensichtlich überdurchschnittlich bereit ist, Lichtschutzsubstanzen zu verwenden, während die untersuchte Gruppe Glasreiniger (nach eigenen Angaben) nie Sonnecremes o. ä. verwendete.

**Tab. 4.5** Prozentualer Anteil der Benutzung von Lichtschutzpräparaten innerhalb der Beschäftigten-Gruppen an Werktagen (Mai03/Juni04)

Beschäftigten-Gruppe	wird benutzt in %	nie benutzt in %
Bauarbeiter	42.9	57.1
Landwirte	7.1	92.9
Müllwerker	25.0	75.0
Kindergärtnerinnen	35.3	64.7
Sportlehrer	30.8	69.2
Glasreiniger	0.0	100.0
Teilnehmer insgesamt	24	76

Interessanterweise kehrten sich die Verhältnisse an Freizeittagen um (Tab. 4.6). Über 80 % der Studienteilnehmer gaben an, an Wochenendtagen Lichtschutzsub-

stanzen zu verwenden, vor allem bei hoch UV-belastendem Verhalten, z.B. Sonnenbädern und Wanderungen.

**Tab. 4.6** Prozentualer Anteil der Benutzung von Lichtschutzpräparaten innerhalb der Beschäftigten-Gruppen an Freizeittagen (Mai03/Juni04)

Beschäftigten-Gruppe	wird benutzt in %	nie benutzt in %
Bauarbeiter	80.0	20.0
Landwirte	58.3	41.7
Müllwerker	100.0	0.0
Kindergärtnerinnen	100.0	0.0
Sportlehrer	91.7	8.3
Glasreiniger	72.7	27.3
Teilnehmer insgesamt	84	16

Analoge Ergebnisse liegen für die MP Sep03 und MP Sep04 vor.

Aufgrund der wenigen Probanden pro Gruppe spiegeln diese Stichproben jedoch nur Tendenzen wider, aus denen keine Verallgemeinerungen abgeleitet werden können. Außerdem muss beachtet werden, dass es sich um subjektive Angaben handelt, die zum Teil auch eine gewisse soziale Erwünschtheit wiedergeben könnten.

Trotzdem lassen die beschriebenen Daten die Annahme zu, dass der überwiegenden Mehrheit der Teilnehmer bewusst ist, dass eine mögliche Gefährdung durch die UV-Strahlung der Sonne (vor allem in Form des Sonnenbrandes) besteht. Jedoch wird das Gefährdungspotenzial zum größten Teil nur mit Freizeitaktivitäten in Verbindung gebracht.

#### 4.5.3 Hauttyp und UV-Freizeitexpositionen

Ein Hinweis darauf, dass Personen der empfindlicheren Hauttypen I und II (aufgrund ihrer persönlichen Erfahrung) ihre Freizeit bezüglich der Sonnenexposition vorsichtiger gestalten als Personen des Hauttyps III und IV, konnte nicht gefunden werden. Die Gegenüberstellung der mittleren erythem-effektiven Wochenendtagesexpositionen in SED/d, gemessen bei Mittagssonnenhöhen von 60° und 42°, zeigt keinen signifikanten Unterschied in Abhängigkeit vom Hauttyp (Abb. 4.15).

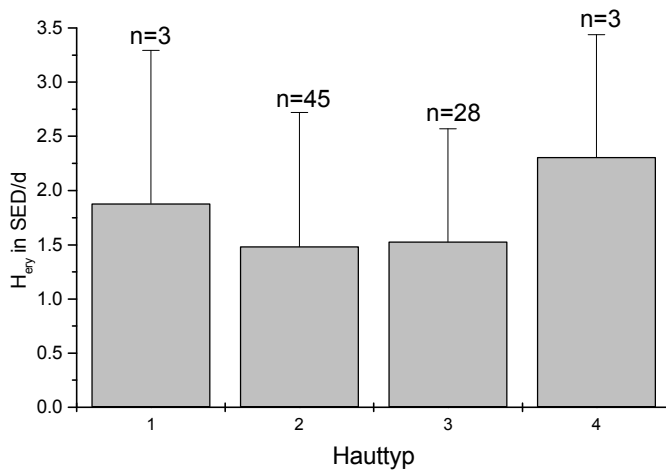
#### 4.5.4 Freier Oberkörper in der Sonne

Aus den Angaben zum Bekleidungsstatus konnte ermittelt werden, wie viele Personen sich wann mit unbedecktem Oberkörper im Freien aufgehalten haben.

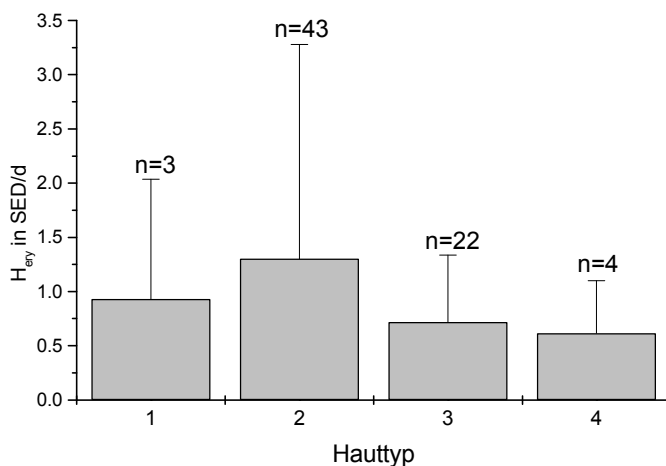
Ausgewertet wurden die Angaben der insgesamt 61 Teilnehmer für die 16 Tage der MP bei einem Mittagssonnenhöhenwinkel 60° (Mai03 und Jun04) und der insgesamt 60 Teilnehmer für die MP bei 42° Mittagssonnenhöhe (Sep03 und Sep04). Die

Ergebnisse sind getrennt nach Werktagen und Wochenendtagen in Tabelle 4.7 und 4.8 dargestellt.

Mittlere Wochenendexpositionen je Hauttyp



Mittlere Wochenendexpositionen je Hauttyp



**Abb. 4.15** Mittlere erythem-effektive Wochenendexposition in SED/d in Abhängigkeit vom Hauttyp der Studienteilnehmer  
 - oben: analysiert für Mai / Juni bei Mittagssonnenhöhe  $60^\circ$   
 - unten: analysiert für September bei Mittagssonnenhöhe  $42^\circ$

Während der Arbeit hielten sich die untersuchten Personen kaum mit freiem Oberkörper im Freien auf.

Bei den Bauarbeitern gaben lediglich 5 Personen (entspr. 22 % der Gruppe), bei den Landwirten und Sportlehrern je 2 Personen (entspr. jeweils 10 % der Gruppe) an, zum Sonnenhöchststand (12:00 - 14:00 Uhr) einen unbedeckten Oberkörper gehabt zu haben. Die 2 Glasreiniger hatten erst nach 12.00 Uhr einen freien Oberkörper, d. h. erst nach der Arbeit (siehe Arbeitszeiten in Tab. 3.3).

Fazit: Vorrangig wurde mit bekleidetem Oberkörper gearbeitet.

**Tab. 4.7** Ergebnis der Abfrage nach „freiem Oberkörper“ für die MP-Teilnehmer getrennt nach Berufsgruppe und Zeitbereich an Werktagen

Gruppe	ZB (MESZ)	Anzahl Personen	Anzahl Tage
<b>Bauarbeiter</b>	9.00 - 12.00	1	3
	12.00 - 14.00	5	7
	14.00 - 17.00	6	10
<b>Landwirte</b>	9.00 - 12.00	2	2
	12.00 - 14.00	2	3
	14.00 - 17.00	2	2
<b>Stadtreinigung</b>	9.00 - 12.00	0	0
	12.00 - 14.00	0	0
	14.00 - 17.00	0	0
<b>Sportlehrer</b>	9.00 - 12.00	1	3
	12.00 - 14.00	2	3
	14.00 - 17.00	3	4
<b>Kindergärtne- rinnen</b>	9.00 - 12.00	0	0
	12.00 - 14.00	0	0
	14.00 - 17.00	0	0
<b>Glasreiniger</b>	9.00 - 12.00	0	0
	12.00 - 14.00	2	3
	14.00 - 17.00	1	2

Ein analoges Ergebnis zeigte sich bei der Auswertung der Probandentagebücher der kontinuierlichen Jahresmessung. Dieser Befund stimmt auch mit den Untersuchungsergebnissen von TREIER et al. (2000) bei der „Untersuchung der Außentätigkeiten unter unmittelbarer Einwirkung von Sonnenstrahlen“ überein. Nur ein eher geringer Teil bei Bauarbeitern gab an, auch mal mit freiem Oberkörper zu arbeiten. Noch geringer war danach der Anteil, dass mit kurzen Hosen gearbeitet wurde. Dies stimmt auch mit den Erfahrungen aus Befragungen der Probanden des zzt. laufenden BAuA-Projektes 1986 „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ überein. Damit besteht eine sehr gute Voraussetzung, geeignete UV-Schutzkleidung als von Arbeitnehmern akzeptierte Arbeitsschutzmaßnahme durchzusetzen.

An Wochenendtagen steigt die Häufigkeit des Aufenthaltes mit freiem Oberkörper in allen Gruppen an.

Wie erwartet, gaben vor allem die Probanden während der Urlaubsmessungen in entsprechenden Gebieten (z. B. an der Ostsee, am Mittelmeer) bei sommerlichen Witterungsbedingungen „Oberkörper frei“ an. In der Regel dann den ganzen Tag.

**Tab. 4.8** Ergebnis der Abfrage nach „freiem Oberkörper“ für die MP-Teilnehmer getrennt nach Berufsgruppe und Zeitbereich an Wochenendtagen

Gruppe	ZB (MESZ)	Anzahl Personen	Anzahl Tage
<b>Bauarbeiter</b>	9.00 - 12.00	7	19
	12.00 - 14.00	11	18
	14.00 - 17.00	10	21
<b>Landwirte</b>	9.00 - 12.00	4	5
	12.00 - 14.00	3	7
	14.00 - 17.00	3	6
<b>Stadtreinigung</b>	9.00 - 12.00	2	3
	12.00 - 14.00	1	8
	14.00 - 17.00	3	8
<b>Sportlehrer</b>	9.00 - 12.00	1	1
	12.00 - 14.00	3	6
	14.00 - 17.00	4	7
<b>Kindergärtnerinnen</b>	9.00 - 12.00	4	7
	12.00 - 14.00	5	7
	14.00 - 17.00	4	9
<b>Glasreiniger</b>	9.00 - 12.00	1	2
	12.00 - 14.00	1	1
	14.00 - 17.00	1	2

#### 4.5.5 Sonnenbrände pro Jahr

Die Frage nach der Anzahl der jährlichen Sonnenbrände beantworteten immerhin 53 % der Teilnehmer mit mindestens einmal pro Jahr. 5 Teilnehmer (entspr. 3 %) gaben sogar an, dass sie mehr als 2 Sonnenbrände im Jahr haben. Interessanterweise handelt es sich hierbei um Personen, die in der Freizeit sehr wohl Lichtschutzsubstanzen verwenden, während der Arbeitszeit jedoch kaum. Ausnahme ist ein Bauarbeiter (Hauttyp II), der trotz regelmäßiger Lichtschutzanwendung mehr als 2 Sonnenbrände angibt.

#### 4.5.6 Benutzung von Solarien

Die im Rahmen dieses Projektes untersuchten 149 Studienteilnehmer wurden auch zur Benutzung von Solarien befragt. Lediglich 3 Personen machten keine Angaben zum Solarium. Die Auswertung der Antworten ergab, dass 12.75 % der Befragten im Winter mindestens einmal im Monat ein Solarium aufsuchen. Im Sommer hingegen geben dies nur 2.7 %, im Frühling 11.4 % und im Herbst 8 % an. Hauptsächlich handelt es sich dabei um Personen des Hauttyps II und III. Aber auch je eine Person des Hauttyps I und IV gaben an, regelmäßig ein Solarium zu benutzen.

Das Alter der Studienteilnehmer lag zwischen 20 und 65 Jahren. Festgestellt wurde, dass es in jeder Altersgruppe Solarienbenutzer gibt. Die Altersstruktur ist in Tab. 4.9 angegeben. Eine weitere Strukturierung der Ergebnisse ist wegen der geringen Probandenzahl nicht möglich.

**Tab. 4.9** Altersstruktur der Solarienbenutzer

Alter	≤ 30 Jahre	31 - 40 Jahre	41 - 50 Jahre	51 - 60 Jahre	≥ 60 Jahre
Anzahl Personen in der Altersgruppe	20	32	45	41	8
Anzahl Solarienbenutzer des Hauttyps I		1			
des Hauttyps II	1	1	1	6	1
des Hauttyps III	3	1		1	1
des Hauttyps IV			1		
Solariennutzer je Altersgruppe in %	20.0	9.4	4.4	17.1	25.0

#### 4.6 Wissen über UV-Strahlung (Wirkung und Schutz)

Der Einzelne kann sich nur in dem Maße vor zu hohen solaren und künstlichen UV-Expositionen schützen, wie er sich der möglichen Gefährdungen bewusst ist. Das Wissen um die UV-Strahlung, um deren Wirkungen auf den menschlichen Organismus sowie um die möglichen Schutzmaßnahmen vor zu hohen UV-Expositionen ist eine maßgebliche Voraussetzung.

Um diesen Wissensstand einschätzen zu können, wurde eine Untersuchung mittels Fragebogen zu 26 diesbezüglichen Punkten (vgl. Kap. 3.4) durchgeführt. Alle Probanden der Studien des Projektes wurden gebeten, an der Befragung teilzunehmen.

Da die Studienteilnehmer des Projektes nicht per Zufallsauswahl gefunden werden konnten, sondern aufgrund der Teilnahmekriterien einem vorbestimmten Klientel angehörten, entsprachen sie nicht einem repräsentativen Bevölkerungsquerschnitt. Daher sind die gewonnenen Ergebnisse (n = 128) eher als Trend für diese Beschäftigtengruppen zu interpretieren.

Erste Ergebnisse dieser Probandenbefragung wurde auf der Tagung NIR 2004 vorgetragen (OTT, 2004).

Um diese Ergebnisse zum Kenntnisstand über die UV-Strahlung in Relation zu anderen Bevölkerungsgruppen betrachten zu können, wurden die Befragungsuntersuchungen auf drei weitere Personengruppen ausgedehnt.

Weiterhin sollte untersucht werden, inwieweit der direkte Kontakt der Studienteilnehmer mit der Problematik UV-Exposition das persönliche Informationsbedürfnis



zu diesem Thema stimulierte. Dieselbe Befragungsuntersuchung wurde am Ende der Projektstudien erneut durchgeführt, um sie mit den Ergebnissen der Eingangsbefragung zu vergleichen.

Somit lagen Befragungsdaten von folgenden Gruppen vor:

1. Studienteilnehmer des BAuA-Projektes  
(n = 128, **Befragungszeitpunkt: vor** der Studienteilnahme)
2. Studienteilnehmer des BAuA-Projektes  
(n = 59, **Befragungszeitpunkt: nach** der Studienteilnahme)
3. Medizinstudenten der TU Dresden (n = 170, 8. Semester)
4. Teilnehmer am AOK-Hautcheck 2004 in München (n = 68)
5. Mitarbeiter der BGFE (n = 145).

Für die Studienteilnehmer an den UV-Personenmonitoringuntersuchungen im Rahmen dieses Projektes ergaben sich allgemein positive Veränderungen der Kenntnisse zur Problematik UV-Strahlung. Offensichtlich stimulierte die Teilnahme bereits, sich für Informationen zu dieser Thematik verstärkt zu interessieren: Durchgängig lag der Anteil der Antwort „weiß nicht“ bei  $\leq 25\%$  verglichen mit der Befragung zu Beginn des Projektes. Im Allgemeinen lag der Anteil richtiger Antworten um 20 % höher. Bei einer Reihe gerade individuell wichtiger Fragen verdoppelte sich sogar der Anteil richtiger Antworten (eigener Hauttyp, zugehörige Sonnenbrandschwellzeit, Auftragsmenge von Lichtschutzsubstanzen, LSF im Sommer in Deutschland und im Urlaub, vom UV-Index gehört, UV-Index-Anwendung, positiver UV-Effekt Vitamin-D-Bildung benötigt nur kurze Sonneneinwirkung). Es ist aber anzumerken, dass - angenommen die Anwendung von Lichtschutzsubstanzen – dieser Kenntniszuwachs von einem zumeist sehr niedrigen Niveau aus erfolgte.

Aus den Ergebnissen für die Probanden nach Abschluss der Studienteilnahme sowie den weiteren drei Gruppen konnten folgende allgemeine Trends abgeleitet werden: Für die Teilnehmer am AOK-Hautcheck wird angenommen, dass es sich vor allem um Personen handelt, die der Problematik Hautkrebsrisiko einen größeren Stellenwert beimessen. Sie werden deshalb auch Informationen rund um die Sonnenstrahlung aufgeschlossener gegenüber stehen. Das zeigte der Vergleich des Kenntnisstandes verglichen mit dem Ausgangskenntnisstand der Studienteilnehmer. Letztere wiesen zu den Hautcheck-Teilnehmern vergleichbares Wissen in der Befragung nach Abschluss der Projektstudien aus. Sie hatten dann sogar einen geringeren Anteil an „weiß nicht“-Antworten. Der Kenntnisstand der Medizinstudenten war geringfügig besser. Auf etwa vergleichbarem Niveau lagen die Ergebnisse der Mitarbeiter der BGFE.

Für alle Gruppen ergaben sich im Wesentlichen vergleichbare Kenntnistrends.

Pauschale Grundlagen wussten 80...90 % aller Befragten:

- UV-Strahlung ist unsichtbar.
- Die UV-Wirkung auf den Menschen erfolgt an Haut und Augen.
- Die solare UV-Strahlung hat positive oder negative Effekte je nach Besonnungszeit.

Das Wissen, welche biologischen und gesundheitlichen Effekte speziell durch die UV-Strahlung (und nicht durch sichtbare oder Infrarot-Strahlung) ausgelöst werden, ist in der Gesamtheit nur mangelhaft vorhanden.

Auch wesentliche Kenntnisse, die dem eigenen Schutz vor zu hohen solaren UV-Expositionen im Alltag dienen, fehlen.

Als Beispiel sei nur das Ergebnis zu einem elementaren Fakt angeführt – Frage 10: „Woran bemerken Sie, dass Sie nicht länger in der Sonne bleiben dürfen, um keinen Sonnenbrand zu bekommen?“

Die Tatsache, dass das Erreichen bzw. Überschreiten der Sonnenbrandschwelldosis nicht bemerkt werden kann und die Wirkung, der Sonnenbrand, erst nach etwa drei Stunden beginnt einzusetzen, war weniger als 50 % der Befragten – Medizinstudenten eingeschlossen – bekannt (Abb. 4.16 a). Falsche und gefährdende Wirkungen, wie das Erwärmen der Haut, werden als Indikator angenommen!

Die Größe zur Information der Bevölkerung über die zu erwartende Sonnenbrandwirksamkeit der Solarstrahlung – der UV-Index – nur vom Hörensagen war weniger als 40 % der Befragten bekannt (Abb. 4.16 b). Den UV-Index anwenden können zwischen 5 % und 25 % von ihnen. Letzterer Wert wurde für die Gruppe der am AOK-Hautcheck-Teilnehmer ermittelt, für die ein eher vorsichtiger Umgang mit der Sonnenstrahlung von uns vermutet wird. Positiv festzustellen war, dass die Kenntnisse um den UV-Index bei den BAuA-Studienteilnehmern von anfangs 7 % auf 16 % anstiegen.

Allgemein ist auch bekannt, dass Menschen unterschiedlich empfindlich auf die UV-Strahlung in Bezug auf den Sonnenbrand reagieren und der Hauttyp I besonders empfindlich ist. Aber nur die Hälfte der Befragten kannte den eigenen Hauttyp und die zugehörige, orientierende Sonnenbrandschwellzeit. Dies ist jedoch eine Grundvoraussetzung, um angemessene persönliche Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

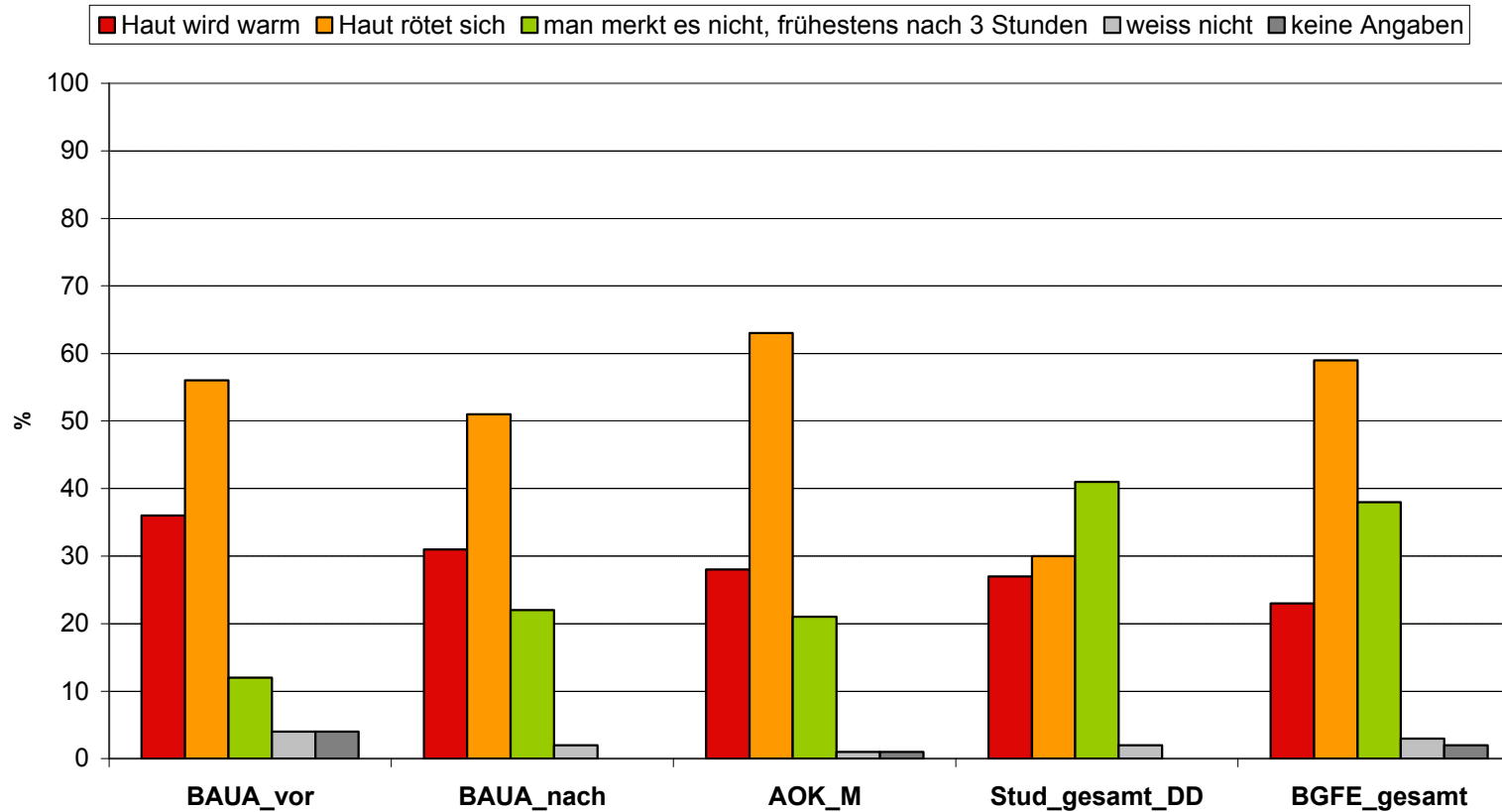
Beim Schutz vor zu hohen solaren UV-Expositionen ist die Kenntnis um die Verwendung von Lichtschutzpräparaten (Fragen 13 bis 17) mit 40...80 % besser als zu den anderen Belangen. Bei der entscheidenden Frage 16 spiegelt sich aber ein typischer Anwendungsfehler wider: Lichtschutzpräparate werden häufig viel zu dünn aufgetragen, sodass dann nur ein Bruchteil des Lichtschutzes tatsächlich erreicht wird (Abb. 4.16 c). Eine übliche 200-ml-Packung, die nominell für fünf Ganzkörperanwendungen ausreicht, würden rund 30 % der Befragten für 20 Anwendungen nutzen.

Langärmelige Kleidung einschließlich Kopfbedeckung sieht die Mehrheit der Befragten mit 75 % (BAuA-Probanden) bzw. um 90 % (AOK-Hautcheck, Medizinstudenten, BGFE-Mitarbeiter) – gleichberechtigt mit Lichtschutzpräparaten – als primäre Schutzmaßnahme gegen zu hohe solare UV-Expositionen an. Jedoch halten, durchgängig in allen Gruppen, mehr als 50 % ein Vorbräunen durch die Sonne als weitere, wenn auch zweitrangige Möglichkeit des UV-Schutzes. Nur 15 % - 20 % betrachten diese Möglichkeit als ungeeignet. Wenn auch geringer, so wird selbst eine Vorbräunung im Solarium in allen Gruppen noch von 20 % der Befragten als weiterer Weg zum Aufbau eines UV-Schutzes gesehen. Nur 35 % - 40 % lehnen diese Möglichkeit von vornherein als ungeeignet ab.

Die Antworten auf Frage 25: „Meinen Sie, dass Sie sich persönlich ausreichend vor den negativen Wirkungen der Sonne schützen?“ zeigen, dass eine große Unsicherheit besteht. Denn mehr als die Hälfte (gruppenabhängig) wussten nicht, ob sie sich ausreichend schützen oder gaben an sich nicht ausreichend zu schützen.

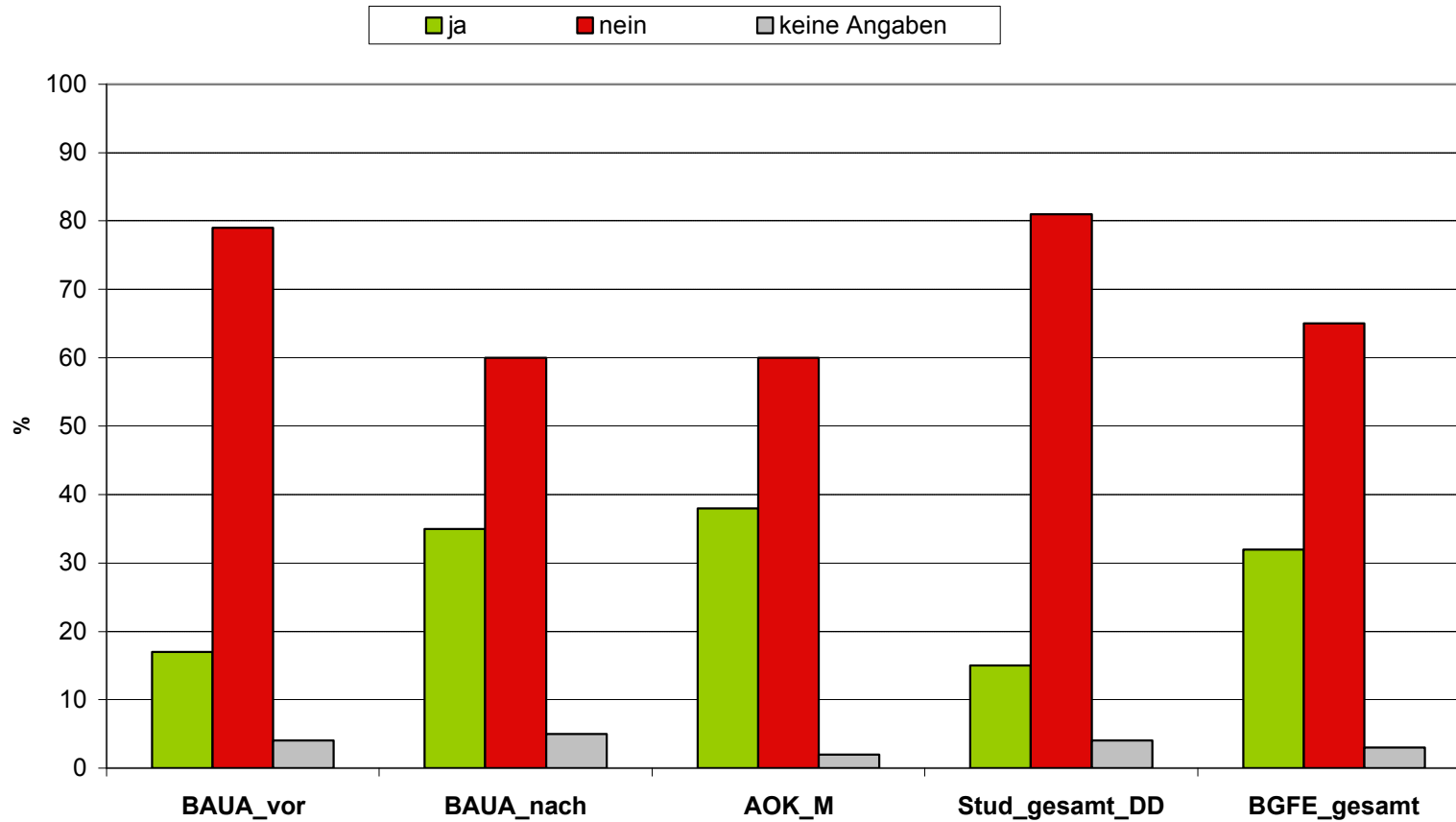
Insgesamt musste konstatiert werden, dass der Kenntnisstand in allen Gruppen kaum 50 % erreicht.

**Frage 10: Woran bemerken Sie, dass Sie nicht länger in der Sonne bleiben dürfen, um keinen Sonnenbrand zu bekommen?**



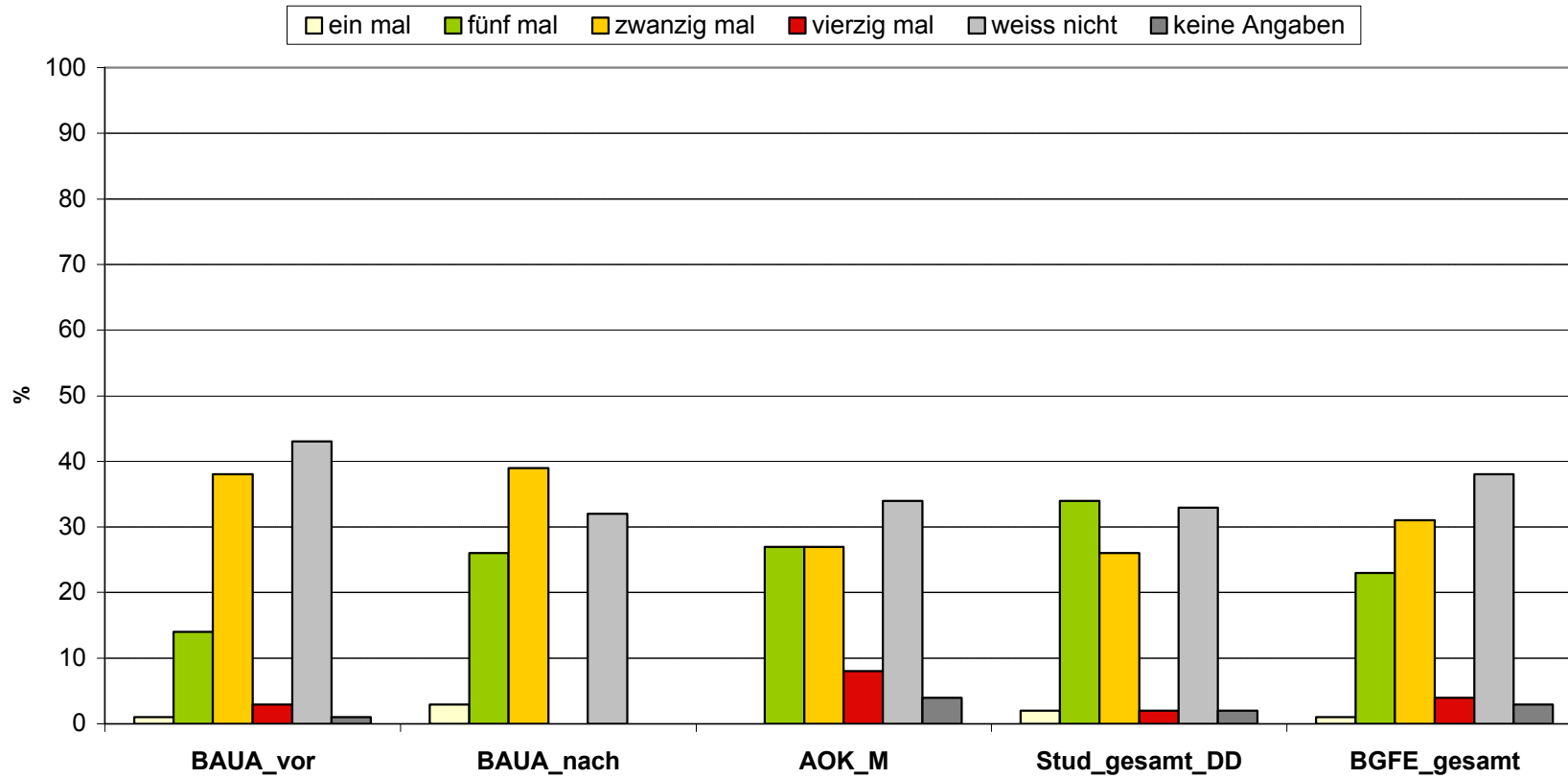
**Abb. 4.16 a** Befragungsstudie zum Wissen über die Sonnenwirkungen und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Frage 10): Nur 10 bis 40 % wissen, dass die UV-Überexposition an der Haut nicht bemerkbar ist.

Frage 19: Kennen Sie die Angabe "UV-Index" aus dem Wetterbericht?



**Abb. 4.16 b** Befragungsstudie zum Wissen über die Sonnenwirkungen und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Frage 19): Der UV-Index als Informationsgröße zum Schutz vor zu hoher solarer UV-Exposition ist weitgehend unbekannt.

**Frage 16: Wie oft kann mit einer typischen 200 ml-Flasche Sonnencreme bzw. Sonnenmilch, bei vorschriftsmäßiger Anwendung optimaler UV-Schutz für den gesamten Körper erreicht werden?**



**Abb. 4.16 c** Befragungsstudie zum Wissen über die Sonnenwirkungen und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Frage 16): Lichtschutzsubstanzen werden von 30 bis 40 % deutlich zu dünn aufgetragen.

Das Fazit ist, dass ähnlich den intensiven Aufklärungskampagnen der frühen 1990er Jahre die Thematik Solarstrahlung und Schutz vor zu hohen UV-Expositionen wieder aufgegriffen werden müsste, um der Bevölkerung diese Problematik wieder näher zu bringen und damit verbunden den Kenntnisstand wieder anzuheben. Das Beispiel des positiven Einflusses auf die Studienteilnehmer dieses Projektes zeigt, dass teilweise nur das entscheidende „Bit“ gesetzt werden muss, um diese Informationen – wie sie bereits für die Bevölkerung bereitgestellt werden – aufzunehmen und zu nutzen.

## 5 Optimierung von UV-Personendosimetrie und UV-Personenmonitoring

### 5.1 Optimierung des UV-Personenmonitoringsystems

#### 5.1.1 Optimierung des automatischen Managements

##### 5.1.1.1 Optimierung des Messroboters

Die Messgröße der PSF-Dosimeter ist die Änderung der optischen Dichte, die an identischen Stellen des Filmes vor und nach UV-Exposition (Reproduzierbarkeit der Messstrahlposition:  $\pm 0,1$  mm) spektrophotometrisch gemessen wird. Jeder Film verfügt über 3 Messfelder, die zu vermessen sind. Zur Qualitätssicherung werden diese Messungen dreimal unabhängig voneinander ausgeführt und auf Messwert-schwankungen (Messgerät bzw. Material) analysiert.

Sowohl die Messung einerseits, als auch Datenfile-Transfer, Evaluation zur Qualitätssicherung inklusive Entscheidung über Kontrollmessungen mit erneuter Prüfung andererseits, waren früher „Handarbeit“. Ein Messroboter hat sowohl die Arbeit der messenden Laborkraft als auch die Datentransfer- und Evaluationsaufgaben des wissenschaftlichen Mitarbeiters übernommen. Jedoch war die Greifmechanik des automatischen Probenwechslers noch sehr störanfällig. Im Fehlerfall zog das einen Programmneustart unter Messdatenverlust nach sich (zeitlicher Zusatzaufwand bis zu 1,5 h).

Von Februar bis März 2003 erfolgte eine komplette Überarbeitung der Mechanik des Greifers (Ingenieurbüro HUS, Dresden).

Die Testungen des optimierten Messroboters für den Routineeinsatz konnten unmittelbar vor Beginn der Vorbereitungen der PSF-Dosimeter (Leerwertmessungen) für den Messeinsatz in der Messperiode Mai03 abgeschlossen werden. Auf die nunmehr über 50.000 Dosimetermessaktionen kamen bisher weniger als 0,1 % fehlerhafte Dosimeteraufnahmen und ein Mikrotasterausfall (Verschleiß).

Der Messroboter läuft seit März 2003 nahezu im täglichen Dauereinsatz.

##### 5.1.1.2 Aktualisierung des Softwaresystems zum UV-Personenmonitoring

Die Datenbank (DB) zum UV-Personenmonitoring wurde 1997 unter MS-Access2 geschrieben und permanent weiterentwickelt. Die Satelliten-DBs (RB-Meterdaten, DWD-Daten, X2000-Daten, UVDAN-Daten), aus denen über Importfilter die aufbereiteten Daten in die UV-Personenmonitoring-DB gezogen werden können, wurden ebenfalls unter MS-Access2 entwickelt. Die Verknüpfungssoftware zum Transfer und der Kalibrierung der PSF-Messdaten (vom Messplatz-PC zum Server mit UV-Monitoring-DB) wurde unter MS-Excel97 mit Visual-Basic-Programmen erstellt. Um dem Problem einer mangelnden Unterstützung dieser Software unter neuen Betriebssystemversionen vorzubeugen, wurde der Schritt einer Konvertierung auf MS-Access2000 bzw. MS-Excel2000 zu Projektbeginn gegangen. Aufgrund der Komplexität der Programme zog sich die Beseitigung der Konvertierungsfehler von März bis August 2003 hin.

Für eine schnelle Bewertung der ausgelesenen Messdaten aus den Datenlogger-Dosimetern X2000 (60.000 Datensätze pro Dosimeter in einem Auslesezyklus) existierte eine Excel-Vorlage zur Datenreduktion auf Tages- und Wochenwerte je Kalenderwoche mit grafischer Übersicht. Der erforderliche Datenimport für 15 Datenlogger-Dosimeter und jeweils 4 bzw. 6 Kalenderwochen für einen Auslesezyklus erforderte per Hand 3 Arbeitstage.

Es wurde ein Importmodul programmiert, mit dessen Hilfe diese Arbeit (auf einem schnellen PC / 2.7 GHz-Prozessor) jetzt in einer Stunde bewältigt wird.

Das Gesamtsystem basiert nun auf 32-bit-Programmen einheitlichen Levels.

### **5.1.2 Optimierung der PSF-Gehäuse**

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes „Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung“ wurde das Konzept der PSF-Dosimetergehäuse mit dem Ziel überarbeitet, eine Verbesserung der mechanischen Stabilität der empfindlichen Eingangsoptik, ein schnelleres Be- und Entladen der Gehäuse mit Dosimeterfilmen und eine Senkung des Verschleißes beim Mehrfacheinsatz zu erreichen.

Diese Dosimetergehäuse wurden bezüglich der Eingangsoptik in Eigenregie durch die Dermatologie/TU Dresden erstellt. Die Reproduzierbarkeit der Transmission der Graufilterkomponenten (Metallgazelagen) wurde exemplarisch für 135 nacheinander gefertigte Gehäuse geprüft. Der Messwert lag bei  $T = 5,61 \% \pm 0,11 \%$  (rel. Fehler: 2,0 %). Des Weiteren erfolgte eine positive Prüfung im Feldversuch (vgl. Kap. 5.3) mittels Interkalibrierung zum Doppelmonochromator-Spektralradiometer SP 320, zum Breitbandradiometer mit Erythemsensor P 9801 und RB-Meter (Geräte siehe Kap. 3.2.2).

Ein messtechnisches Problem wurde bei der Messung der Globalstrahlung durch die Gehäusearchitektur in seinem Ausmaß quantifiziert:

Im Rahmen der Interkalibrierungen wurden sowohl offene PSF ohne Gehäuse als auch PSF in Gehäusen untersucht. Bei Messung der Globalstrahlung schattet das Gehäuse den etwa 2 mm unter Niveau liegenden PSF partiell ab. Das wird bei geringen Sonnenhöhen von  $\gamma_s < 30^\circ$  bedeutsam, wie der Vergleich der offen exponierten PSF zu denen in Gehäusen zeigte. Beim Einsatz als Personendosimeter bedeutet das, dass nicht der volle Halbraum vor dem Dosimeter, sondern ein etwas eingeschränkter Sichtbereich von  $\pm 60^\circ$  voll messtechnisch erfasst wird.

Diese optimierten Dosimetergehäuse (Abb. 3.2 a) kamen in diesem Projekt zum Einsatz und haben sich bewährt, vor allem auch hinsichtlich ihrer Robustheit bei der Nutzung für körperliche Arbeit (Bau, Landwirtschaft, Müllabfuhr, Sportlehrer) im Langzeiteinsatz über ein Jahr.

### **5.1.3 Korrektur-Algorithmus für Personendosismesswerte bei nachvollziehbaren Fehlern bezüglich der vorgegebenen Tragetage**

Im Softwaresystem des UV-Personenmonitorings wird jedem Dosimeterfilm die geplante Messaufgabe zugeordnet. Wird das PSF-Dosimeter personendosimetrisch über eine (typischerweise) mehrtägige Messperiode eingesetzt, wird in der Datenbank gespeichert, an welchen Tagen genau es getragen oder ggf. nicht getragen wurde. In den Untersuchungen des UV-Personenmonitorings im Alltag, differenziert nach Werktags-(WT-)Dosis und Wochenend-(WE-)Dosis werden den Probanden je



MZR ein WT- und ein WE-Dosimeter ausgehändigt. Diese sind genau nach Vorgabe zu tragen, um eine Auswertung aller kumulativen WT-Expositionen getrennt von den kumulativen WE-Expositionen im Messzeitraum erfassen zu können. An welchem Tag im konkreten MZR welches Dosimeter (oder keines) getragen wurde, wird aus den Probandentagebüchern in das Datenbanksystem des Personenmonitorings übernommen. Diese Angaben sind essentiell, um die Messdaten einheitlich auf mittlere UV-Bestrahlungen pro Tag normieren zu können.

Im Rahmen der Studien treten aber immer wieder Fehler in der Trageweise der PSF-Dosimeter durch vertauschen oder vergessen auf. Im vorangegangenen UV-Personenmonitoring, in dem dieses Datenbanksystem bereits für Durchführung und Auswertung genutzt wurde, wurden drei große Probandengruppen mit je 120 Probanden untersucht. Zwei oder drei fehlerhaft getragene Dosimeter wurden als Datensätze für die Auswertung gesperrt, beeinflussten aber die Auswertung nicht wesentlich. Ein fehlerhaftes Tragen in diesem Projekt bedeutete schon 10 % Ausfall an Daten für die Gruppe in dem MZR (bei den exemplarischen kontinuierlichen Jahresmessungen bereits 20 %).

Um die PSF-Messdaten nutzbar zu erhalten, wurde ein Korrekturalgorithmus entwickelt, der aus den Messwerten der WT- und der WE-Dosimeter, den Daten aus den Probandentagebüchern zur Dosimetertrageweise und den Globalstrahlungsdaten der Messtage eine Näherung an die tatsächliche WT-Personendosis und die tatsächliche WE-Personendosis realisiert.

Das mathematische Konzept wurde in der AG Experimentelle Photobiologie (Dermatologie/TU Dresden) von September 2004 bis Januar 2005 entwickelt und vervollständigt (Anhang 3). Die Software-Programmierung und deren Implementierung in den bestehenden Datenbankkomplex erfolgte ab November 2004. Letztlich arbeitet dieser Korrekturmodul seit August 2005 fehlerfrei.

Damit konnten die Datensätze, die nach der Verifizierung aufgrund von Tragefehlern gesperrt werden mussten (vgl. Kap. 4.2.2), in die Gesamtauswertungen einbezogen werden.

## 5.2 Untersuchung einer Interkalibrieroutine zur Qualitätssicherung für in Deutschland verfügbare UV-Personendosimeter

Die Interkalibrierungen von Geräten zur Messung aktinischer Strahlung (erythem-effektiv, ICNIRP-effektiv, NMSC-risk-effektiv) unter Einbeziehung hochauflösender Doppelmonochromator-Spektralradiometer (SRM) wurden einerseits im Kalibrierlabor der BAuA Dortmund an einem Sekundärnormal und andererseits im Feldversuch mittels Solarstrahlung auf der UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden durchgeführt.

Ziel war zum einen, die zyklische Re-Kalibrierung der im Rahmen des Projektes auf der UV-Messstation in Dresden eingesetzten aktinischen Breitbandradiometer und dem Spektroradiometer an einer Halogen-Kalibrierlampe (durch die BAuA Dortmund) sowie deren Interkalibrierung zu einem Doppelmonochromator-Spektroradiometer höchster Präzision (TDM 300 der BAuA Dortmund). Zum anderen sollten Interkalibrierungen der aktinischen Datenlogger-Personendosimeter und des PSF im Vergleich zu den Breitbandradiometern und dem Spektroradiometer auf der UV-Messstation erfolgen.

Es sollte festgestellt werden, welche Einflussfaktoren für eine Qualitätssicherung bezüglich der aktinischen (photobiologisch-effektiven) Messwerte beim Einsatz der verschiedenen verfügbaren UV-Personendosimetersysteme bei Messung individueller solarer UV-Expositionen zu berücksichtigen sind.

### 5.2.1 Laborinterkalibrierung bei der BAuA Dortmund (optisches Kalibrierlabor)

Die Laborinterkalibrierung erfolgte nach Abschluss des UV-Personenmonitorings und nach den geplanten Feldversuchen auf der UV-Messstation in Dresden. Bis dahin waren die Datenlogger-Personendosimeter noch bei Probanden im Einsatz.

In die Laboruntersuchungen an der Kalibrierlampe waren folgende Gerätetypen einbezogen (Gerätehersteller siehe Kap. 3.2.2 und 3.2.4):

- Datenlogger-Personendosimeter X2000-1 (Erythem-Sensor)
- Datenlogger-Personendosimeter X2000-2 (ICNIRP-Sensor + UV-A-Sensor)
- Datenlogger-Personendosimeter X2000-4 (Erythem-Sensor + UV-A-Sensor)
- Datenlogger-Personendosimeter UVDAN

#### *X2000-Laborkalibrierung*

Die Seriennummern der X2000 sowie die Seriennummern ihrer Sensoren wurden in Tabelle 5.1 zusammengestellt.

Die Geräte vom Typ X2000-4, die von den Probanden getragen wurden, waren vor deren erstem Einsatz bereits vor der Halogenkalibrierlampe vermessen worden.

Nach Abschluss des UV-Personenmonitorings und der Feldinterkalibrierungen mit Solarstrahlung galt es, insbesondere den Einfluss eineinhalbjähriger, täglicher Benutzung im Berufsalltag auf das optische Messinstrument zu prüfen. In Tabelle 5.2 wurden die Kalibrierdaten je Messgerät vor der ersten Nutzung im April 2003 und nach Abschluss der Messreihen im April 2006 in Relation gesetzt.

**Tab. 5.1** X2000-Datenlogger-Dosimeter der Laborinterkalibrierung  
 Serien-Nummern der Geräte, Typ, Serien-Nummern der Sensoren

Serien-Nummer X2000	Typ X2000-	Serien-Nummer UV-A	Serien-Nummer Erythem	Serien-Nummer ICNIRP
2854M	4	3861	3879	
2855M	4	3860	3878	
2856M	4	3864	3872	
2857M	4	3865	3871	
2858M	4	3866	3877	
2859M	4	3857	3874	
2860M	4	3886	3876	
2861M	4	3858	3870	
2862M	4	3887	3875	
2864M	4	3863	3873	
2865M	4	3862	3880	
2877	4	3859	3868	
2136	2	3313		3316
2126	1		3308	
2142	1		3309	
1625	1		bis 23.01.04: 1625 ab 16.02.04: 5111-a	

**Tab. 5.2** Abweichungen der X2000-4 gegen die Halogen-Kalibrierlampe als unbenutztes Neugerät (2003) und nach eineinhalbjährigem, täglichen Einsatz in Beruf und Freizeit

Beruf	2006 ungereinigt		2003 gereinigt		Differenz 2006 - 2003	
	Abw UV-A	Abw. Ery	Abw UV-A	Abw. Ery	$\Delta$ UV-A	$\Delta$ Ery
Fensterputzer	-6.5 %	1.6 %	5.7 %	-2.6 %	<b>12.2 %</b>	<b>4.2 %</b>
Fensterputzer	8.4 %	-18.4 %	2.2 %	-1.1 %	<b>6.2 %</b>	<b>17.3 %</b>
Kindergärtnerin	-5.6 %		4.2 %		<b>9.9 %</b>	
Kindergärtnerin	-11.2 %	2.9 %	-5.6 %	31.4 %	<b>5.7 %</b>	<b>28.5 %</b>
Bauarbeiter	-24.6 %	-45.3 %	-2.9 %	-13.3 %	<b>21.7 %</b>	<b>32.0 %</b>
Müllabfuhr	-8.1 %	-5.4 %	-4.8 %	-25.3 %	<b>3.4 %</b>	<b>19.9 %</b>
Müllabfuhr	-29.6 %	-39.0 %	-4.4 %	4.1 %	<b>25.2 %</b>	<b>43.1 %</b>
Sportlehrer	-20.0 %	-22.9 %	-4.0 %	2.4 %	<b>16.0 %</b>	<b>25.4 %</b>
Sportlehrer	-0.1 %	-7.3 %	-3.5 %	37.5 %	<b>3.4 %</b>	<b>44.8 %</b>
Landwirt	-35.9 %	-50.8 %	-5.0 %	14.9 %	<b>30.9 %</b>	<b>65.7 %</b>
Landwirt	-19.3 %	-37.9 %	4.3 %	29.8 %	<b>23.6 %</b>	<b>67.7 %</b>

Die X2000-4 Dosimeter wurden vom Hersteller kalibriert ausgeliefert. Bei Strahlungsquellen, deren Spektrum sich wesentlich von dem des Kalibriernormals unterscheidet und bei einer technisch bedingten Abweichung zwischen spektraler Sensorempfindlichkeit und dem vorgesehenen photobiologischen Aktionsspektrum, kann es zu größeren systematischen Abweichungen kommen. Um diese Abweichungen zu minimieren, sind vom Hersteller für jeden UV-Sensor Korrekturwerte für die unterschiedlichen Strahlungsquellentypen angegeben, die spezifisch für die jeweilige zu bewertende Strahlung sind. In Tabelle 5.2 wurde der Korrekturwert für Halogenlampen berücksichtigt.

Vor dem Einsatz lag für alle UV-A-Sensoren die Abweichung gegen die Halogen-Kalibrierlampe bei  $\leq 5\%$ . Nach nahezu eineinhalbjährigem Dauereinsatz wichen die Kalibrierwerte um etwa 20 % nach unten ab. Für die Erythem-Sensoren waren anfangs die Abweichungen für fünf der elf Geräte in einem Bereich  $\pm 5\%$  vergleichbar gut. Die anderen sechs Geräte wichen aber bereits vor dem Einsatz um 15 %...30 % ab. Die deutlich sensiblere erythem-effektive Messung zeigte nach dem Dauereinsatz unter Alltagsbedingungen bis zu 50 % Empfindlichkeitsverlust.

Die stärksten Abweichungen sind bei beiden Landarbeitern zu verzeichnen, was mit dem Umfeld der Arbeit erklärbar ist. Trotz Zwischenreinigungen waren die UV-Sensoren schon sichtbar deutlich verschmutzt. Starke Abweichungen waren ebenfalls bei beiden Sportlehrern und einem Müllfahrer zu erkennen.

Die für das Projekt eingesetzten X-2000-4 Dosimeter haben neben dem UV-A-Messkopf einen Erythem-Messkopf, der für den UV-B und kurzwelligen UV-A Bereich optimiert ist. Im langwelligen UV-A Bereich ist die Anpassung nicht optimal, was z. B. bei der Vermessung der Sonnenstrahlung zu Messabweichungen beiträgt. Bei einer Weiterentwicklung des X-2000 wird die erythem-effektive Bestrahlungsstärke mit zwei UV-Sensoren gemessen. Ein Sensor ist in seiner spektralen Response auf den kurzwelligeren Bereich des Erythem-Aktionsspektrums optimiert, der zweite auf den langwelligeren Bereich, was insgesamt zu einer höheren Genauigkeit führt.

### *UVDAN-Laborkalibrierung*

Die Datenloggerdosimeter vom Typ UVDAN werden, anders als die X2000, nicht an einer Halogen-Kalibrierlampe vermessen ausgeliefert. Da das Einsatzziel gängigerweise die personendosimetrische Messung von Solarstrahlung ist, erfolgt durch das AWI eine Kalibrierung an Solarstrahlung über Interkalibrierung zu einem Referenz-UVDAN. Dabei handelt es sich um ein qualitativ sehr gut arbeitendes Gerät, das gegen ein Spektroradiometer interkalibriert wurde. Diese Mehrfach-Interkalibrierung birgt gewisse Risiken der Addition von Messfehlern zwischen Geräten von unterschiedlichen Auslieferungszeitpunkten.

Bei den Geräten der Seriennummern e167, e170 und e171 handelt es sich um neuere Geräte mit vergleichsweise geringem Einsatz.

Die Geräte der Seriennummern e129, e133, e136, e142 und e145 waren in den Jahren 2001 und 2002 im Rahmen eines UV-Personenmonitoring über zwei Jahre bei Probanden unter Alltagsbedingungen im Dauereinsatz (KNUSCHKE et al., 2004) – analog dem Einsatz der X2000-4 (vgl. Kap. 3.3.2.2).

Für den Zustand vor diesem Dauereinsatz liegen – anders als bei den Geräten X2000-4 – keine vergleichbaren Ausgangswerte vor.

Erwartungsgemäß weichen die Messdaten von der erythem-gewichteten Strahlung der Halogenkalibrierlampe ab, wie es auch bei den X2000 ohne Berücksichtigung des Kalibrierfaktors für Halogenlampen der Fall war.

Da kein Kalibrierfaktor für Halogenlampen vorliegt, wurden die Verhältnisse der Kalibriermesswerte zwischen den UVDAN mit den Verhältnissen der Messwerte der Geräte zu den verschiedenen Interkalibrierungsbedingungen durch die Solarstrahlung verglichen (Tab 5.6 a-b) und bewertet (vgl. Kap. 5.2.2).

## **5.2.2 Feldvergleich aktinischer Radiometer als Basis einer Interkalibrierung mit UV-Personendosimetern (UV-Messstation Dermatologie/TU Dresden)**

### 5.2.2.1 Interkalibrierung der aktinischen Radiometer der UV-Messstation

Die Messstation befand sich auf dem Flachdach des Chirurgiegebäudes Haus 19 (zwischenzeitlich auf Haus 70 umgesetzt). Für den Aufbau der Messtechnik der BAuA Dortmund konnte ein klimatisierter Raum im Dachgeschoss genutzt werden. Es wurde ein Mauerdurchbruch für den Lichtwellenleiter des SRM und die Anschlusskabel der Breitbandradiometer sowie außen eine Halterung über Dachniveau geschaffen. Die Halterung kann die Messkopfträgerplatte der BAuA Dortmund aufnehmen (Abb. 3.1 b-c).

Mit folgenden Messgeräten war die UV-Messstation in Dresden während der Projektlaufzeit bestückt (siehe Abb. 5.1; Gerätehersteller: vgl. Kap. 3.2.2):

- Doppelmonochromator-Spektroradiometer Typ Spectro 320 (ständig)
- Breitbandradiometer P-9801 mit Erythem-, ICNIRP-, UV-A-Messkopf (ständig)
- Robertson-Berger-Typ-Meter UV-S-E-T (ständig)
- Doppelmonochromator-Spektroradiometer Typ TDM 300 (zu Interkalibrierungen)
- Präzisionsoptometer P9710 mit Erythemsensor (zu Interkalibrierungen für BAuA-Forschungsprojekt F 1986)

Die Feldversuche zu Interkalibriermessungen erfolgten zu den in Tabelle 5.3 angegebenen Terminen mit den jeweils angegebenen UV-Sensorsystemen.

**Tab. 5.3** Übersicht zu Interkalibrierungsuntersuchungen unter Solarstrahlung unterschiedlicher Mittagssonnenhöhen

Datum	9801_UV-A	9801_ery	9801_ICNIRP	Sp320	TDM300	RB-Meter	PSF	X2000	ELUV	VioSpor
15./16.05.03	x	x	x	x					x	
24./25.05.03	x	x	x	x		x	PSF60			
07.08.03	x	x	x	x		x				
15./16.09.03	x	x	x	x		x	PSF42			
17.10.03	x	x	x	x		x	PSF30			
09.12.03	x	x	x	x		x	PSF15			
21.02.04	x	x	x	x		x	PSF30	x	x	
03./04.03.04	x	x	x	x		x				
27./28./29.07.04	x	x	x	x	x	x	PSF60	x	x	x
13./14./15./16./17.09.04	x	x	x	x		x	x	x	x	x
21./22.09.04	x	x	x	x	x	x	PSF42	x	x	x
20./21./22./23.10.04	x	x	x	x		x				
23.11.04	x	x	x	x		x				
27./28.07.05	x	x	x	x	x	x		x	x	
08./09.09.05	x	x	x	x		x		x	x	

Doppelmonochromator-Spektorradiometer:

- Spectro 320
- TDM 300

Breitbandradiometer:

- P 9801\_UV-A-Sensor
- P 9801\_Erythem-Sensor
- P 9801\_ICNIRP-Sensor
- Robertson-Berger-Meter

Personendosimeter (Filmdosimeter)

- PSF
- VioSpor

Datenlogger-Personendosimeter:

- X2000-1, -2, -4
- UVDAN

**Tab. 5.4** Interkalibrierungsergebnisse der Radiometer im Verlauf des Projektes zu verschiedenen JahreszeitenKalibrierbedingungen vom **27.7.04**

Messkopf	Strahlung	9:35 Uhr	10:12 Uhr	10:15 Uhr	10:31 Uhr	10:38 Uhr	11:52 Uhr	12:08 Uhr	Mittelwert
Spectro 320 D	UV-A	-0.1%	-2.0%	-2.4%	10.5%	6.9%		-1.2%	1.9%
	Erythem	21.5%	-43.6%	21.9%	31.7%	30.1%		26.0%	14.6%
	ICNIRP	23.9%	-41.5%	25.6%	34.2%	34.2%		32.4%	18.1%
Gigahertz Integralmesskopf	UV-A	-16.5%	-17.0%	-16.6%	-7.3%	-9.3%	-14.8%	-15.9%	-13.9%
	Erythem	-5.0%	-4.3%	-5.3%	-0.7%	-1.9%	-3.7%	-3.7%	-3.5%
	ICNIRP	-13.8%	-15.2%	-16.4%	-6.2%	-9.0%	-17.5%	-17.0%	-13.6%
RB	Erythem		-0.1%	0.1%	3.8%	3.2%	-2.1%	-2.3%	0.4%
Gigahertz 9710	Erythem		-22.8%	-22.7%	-23.0%	-22.2%	-22.7%	-24.6%	-23.0%

Fortsetzung: Messungen vom **27.7.04**

Messkopf	Strahlung	16:32 Uhr	16:42 Uhr	16:59 Uhr	Mittelwert
Spectro 320 D	UV-A	2.7%	3.7%	4.9%	3.8%
	Erythem	-4.0%	0.8%	5.0%	0.6%
	ICNIRP	-5.3%	-0.4%	9.0%	1.1%
Gigahertz Integralmesskopf	UV-A	-11.6%	-11.4%	-12.6%	-11.8%
	Erythem	0.0%	0.4%	2.6%	1.0%
	ICNIRP	4.5%	6.3%	13.1%	8.0%
RB	Erythem	5.4%	6.5%	7.5%	6.5%
Gigahertz 9710	Erythem			-5.1%	-5.1%

Kalibrierbedingungen vom **21.09.04**

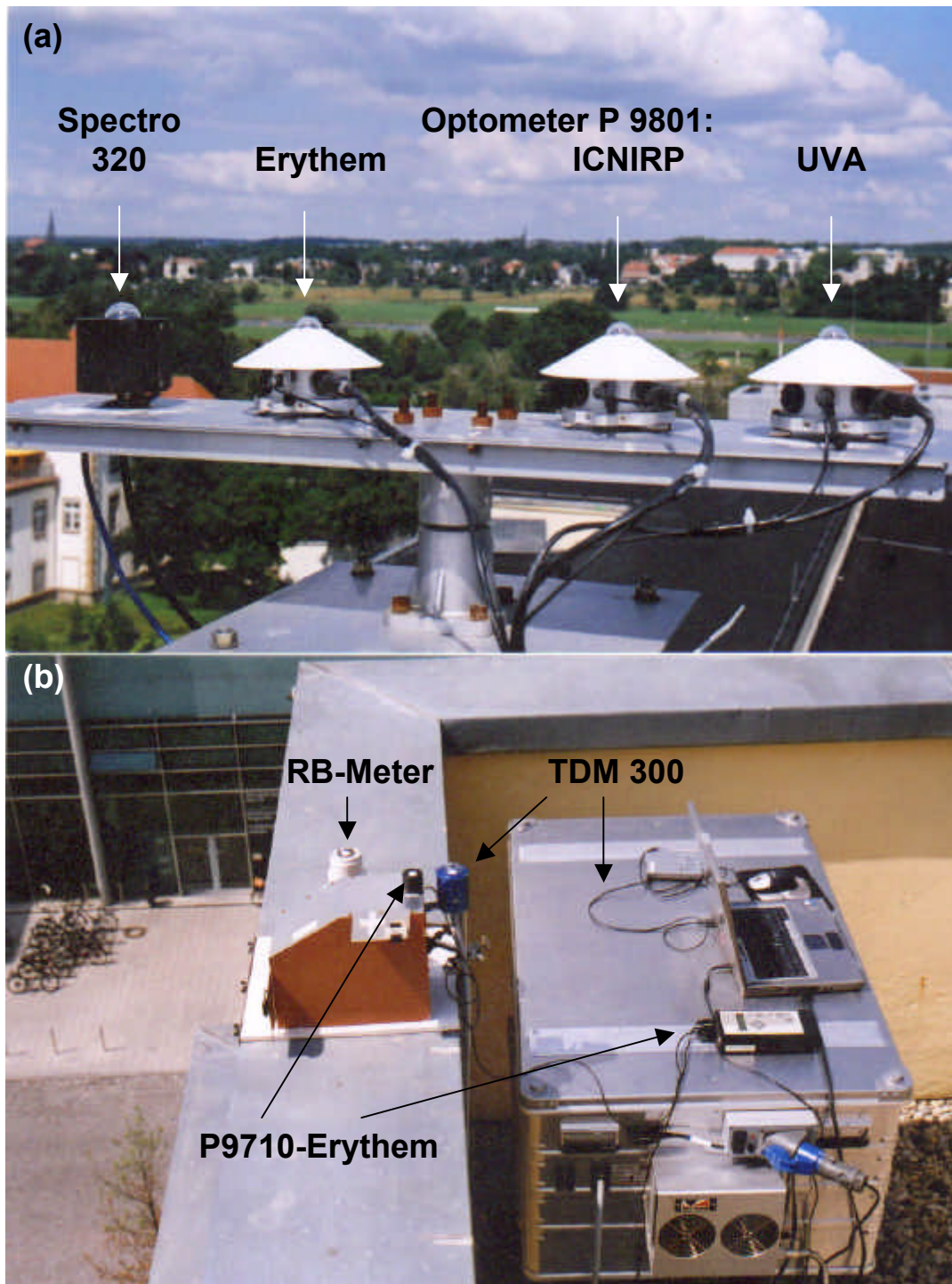
Messkopf	Strahlung	14:22 Uhr	14:28 Uhr	14:40 Uhr	14:44 Uhr	14:48 Uhr	15:16 Uhr
Spectro 320 D	UV-A	-16.7%	22,8%	22,0%	-2,3%	9,7%	5,6%
	Erythem	-8,9%	19,2%	14,4%	-6,9%	7,6%	-2,3%
	ICNIRP	-0,2%	35,0%	44,4%	-4,4%	19,2%	1,5%
Gigahertz Integralmesskopf	UV-A						-12,9%
	Erythem	18,9%	41,6%	90,9%	8,4%	19,0%	12,4%
	ICNIRP						61,7%
RB	Erythem	1,2%	35,6%	32,2%	11,7%	21,8%	20,4%
Gigahertz 9710	Erythem	-2,4%	-5,0%	-14,1%	-5,6%	-1,4%	-1,1%

Fortsetzung: Messungen vom **21.09.04**

Messkopf	Strahlung	15:22 Uhr	15:28 Uhr	15:58 Uhr	16:02 Uhr	16:06 Uhr	Mittelwert
Spectro 320 D	UV-A	3,2%	4,0%	8,4%	7,7%	10,10%	6,8%
	Erythem	10,1%	5,1%	18,1%	20,4%	20,82%	9,4%
	ICNIRP	23,2%	15,6%	42,2%	46,3%	45,52%	25,2%
Gigahertz Integralmesskopf	UV-A	45,5%	11,7%	-8,7%	-8,8%	-8,1%	-3,3%
	Erythem	26,7%	50,5%	32,4%	35,3%	40,5%	34,5%
	ICNIRP	145,2%	140,9%	86,6%	93,4%	104,0%	87,9%
RB	Erythem	24,6%	30,8%	19,5%	20,4%	20,5%	21,8%
Gigahertz 9710	Erythem	5,3%	4,8%	7,3%	10,9%	11,5%	1,5%

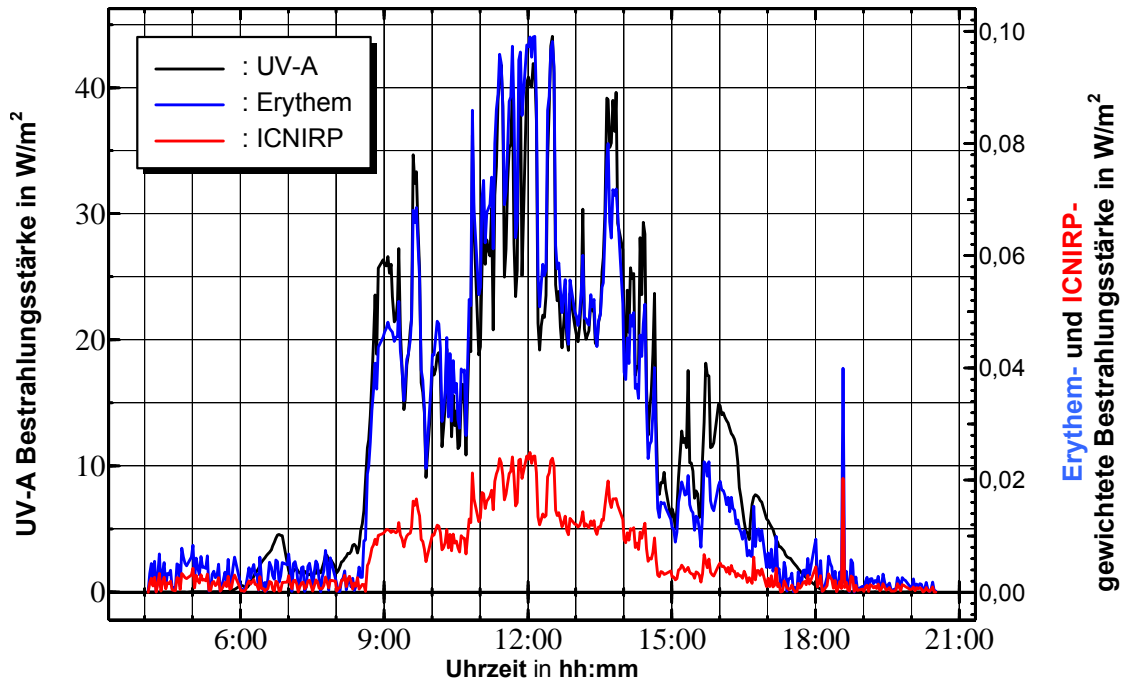
Kalibrierbedingungen vom **27.07.05**

Messkopf	Strahlung	13:20 Uhr	13:30 Uhr	17:40 Uhr	17:50 Uhr	17:52 Uhr	Mittelwert
Spectro 320 D	UV-A						
	Erythem						
	ICNIRP						
Gigahertz Integralmesskopf	UV-A	-19,6%	-19,9%	-17,4%	-11,7%	-13,2%	-16,4%
	Erythem						
	ICNIRP						
RB	Erythem	-11,8%	-12,2%	-10,7%	-8,3%	-10,3%	-10,7%
Gigahertz 9710	Erythem	-26,0%	-25,9%	-58,8%	-43,1%	-33,0%	-37,4%



**Abb. 5.1 a-b** Radiometer-Interkalibrierung auf der UV-Messtation der Dermatologie/TU Dresden zum Doppelmonochromator-Spektroradiometer TDM 300  
 (a) Doppelmonochromatorspektroskopischer Radiometer Spectro 320  
 Breitbandradiometer P9801 mit Erythem-, ICNIRP- und UVA-Sensor  
 (b) Doppelmonochromatorspektroskopischer Radiometer TDM 300  
 Robertson-Berger-Typ-Meter Scintec UV-S-E-T  
 - weiterhin für BAuA-Projekt F1986:  
 Interkalibrierung des Präzisionsoptometers P9710 mit Erythemsensor





**Abb. 5.2** Tagesverlauf der UV-A- und biologisch gewichteten Strahlung am 21.09.2004

Die Ergebnisse weisen deutlich die Problematik der photobiologisch-effektiven Messungen der Solarstrahlung aus. Selbst Geräte, die zuvor im Kalibrierlabor vermessen worden waren und vor Ort rekaliert wurden, wiesen bis zu 30 % Abweichungen auf. In Tabelle 5.4 wurden für die einbezogenen Messgeräte die Abweichungen untereinander zu verschiedenen Mittagssonnenhöhen-Daten zusammengestellt. Wie in Abbildung 5.2 beispielhaft für den 21.09.2004 zu erkennen ist, traten im Tagesverlauf kurzfristige starke, meteorologisch bedingte Schwankungen der solaren Globalstrahlung auf. Dies führt schon bei geringen Differenzen in der Zeitsynchronisation der eingesetzten Messgeräte wesentlich zu den Messabweichungen. In die Messgerätevergleiche sollte insbesondere das Präzisionsgerät TDM 300 der BAuA einbezogen werden, das dazu jeweils temporär von Dortmund nach Dresden umgesetzt wurde. Für die Planung dieser Geräteumsetzung war man auf mittelfristige Wetterprognosen angewiesen, um meteorologisch günstige Messbedingungen zu treffen. Die Interkalibrierungen sollten darüber hinaus bei bestimmten Mittagssonnenhöhen stattfinden. So mussten die Messungen letztlich auch an Tagen durchgeführt werden, an denen die Wetterbedingungen entgegen den Prognosen nicht optimal waren.

Eine weitere Fehlerquelle bei aktinischen Integralmessgeräten und auch bei Dosimetern ist, dass die spektrale Empfindlichkeit der UV-Sensoren nicht exakt dem vorgesehenen Aktionsspektrum entspricht. So treten geräteabhängig Abweichungen durch die spektralen Veränderungen der Sonnenstrahlung im Tages- und Jahresverlauf auf, die zu berücksichtigen sind.

Damit sind in Folge auch absolute Bewertungen für die verschiedenen Personendosimetersysteme, ob Polysulfonfilm-Dosimeter oder VioSpor bzw. Datenloggersysteme wie X2000 oder UVDAN, mit Bezug auf die in der UV-Messstation aufgestellten, biologisch wichtenden Breitbandradiometer schwierig (vgl. Kap. 5.2.2.2). Für

die Interkalibrierung gegen das Doppelmonochromator-Spektorradiometer bringt die Messzeit pro Spektrum von etwa zwei Minuten folgendes Problem mit sich: Solche – eher typischen – meteorologischen Bedingungen wie in Abb. 5.2 gezeigt, führen zu schwankenden Messwerten.

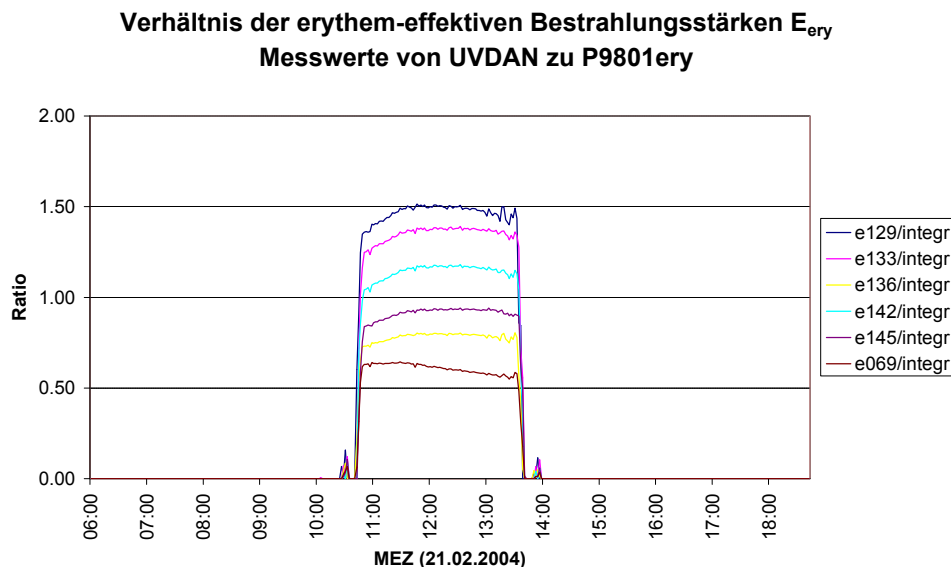
### 5.2.2.2 Interkalibrierung der Datenlogger-Personendosimeter mit der Technik der UV-Messstation mittels Solarstrahlung

In die Interkalibrierungen mittels Solarstrahlung wurden die in Kap. 5.2.1 behandelten Datenlogger-Personendosimeter X2000-4, X2000-1, X2000-2 und UVDAN einbezogen.

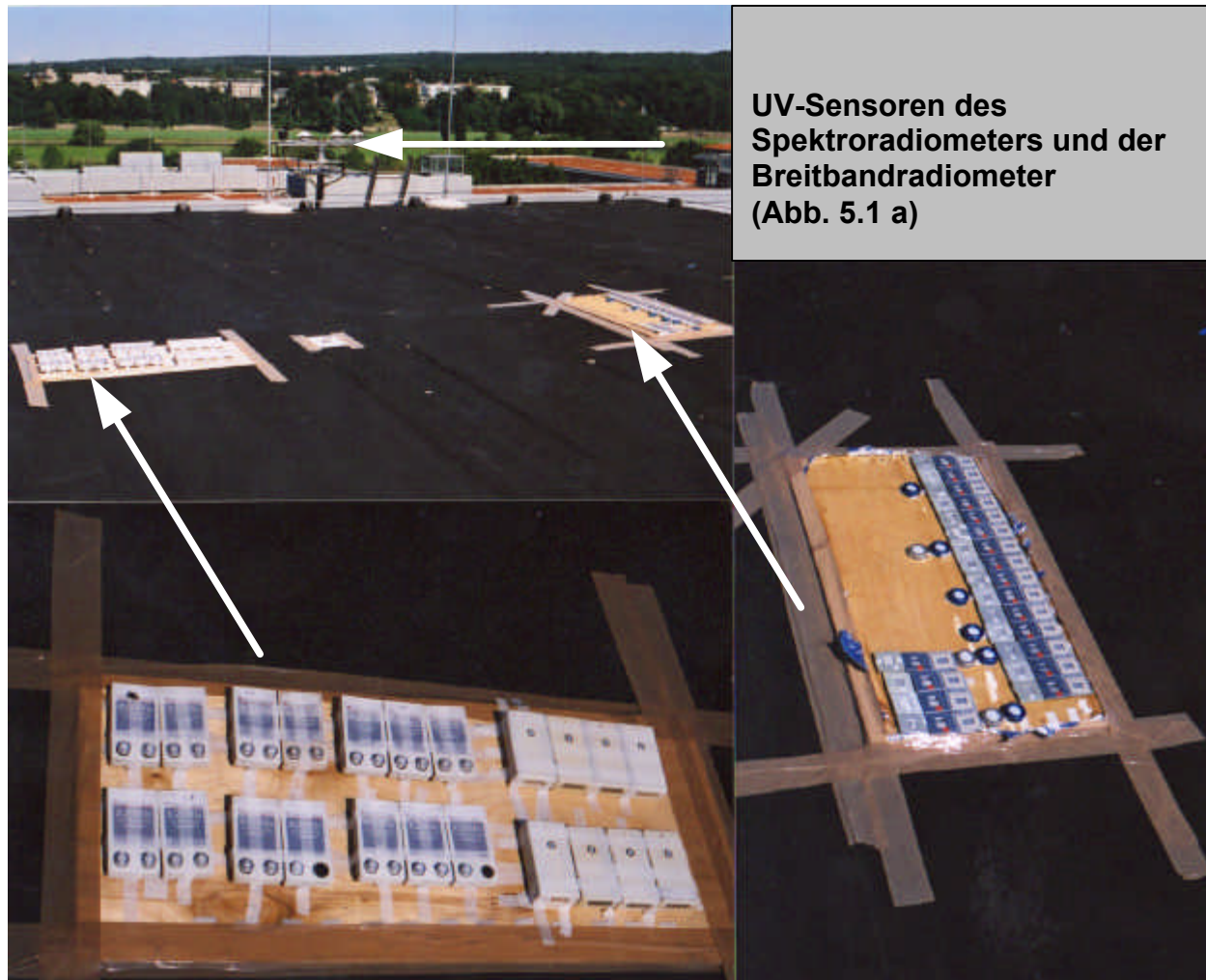
Die Interkalibrierung mit Bezug zum Breitbandradiometer P9801 mit Erythemsensor und zu den erythem-gewichteten Daten des Spektorradiometers Spectro 320 erfolgten an Tagen mit Mittagssonnenhöhen  $\gamma_s = 60^\circ, 42^\circ, 30^\circ$  (Abb. 5.4 a).

Bei Durchführung und Auswertung waren die in Kap. 5.2.2.1 genannten Probleme für die Interkalibrierung aktinischer Radiometer berücksichtigt worden. So besteht für die X-2000 Dosimeter nur ein Korrekturwert für Solarstrahlungsmessung für einen Mittagssonnenstand  $\gamma_s=72^\circ$  (Basis: Mittagssonnenspektrum vom 15. Juli 1997, Thessaloniki/GR). Anmerkung: Vom Hersteller ist beabsichtigt eine Korrekturmatrix zu erstellen, die den Tages- und Jahresverlauf der Sonnenstrahlung berücksichtigt.

Bezüglich der meteorologischen Bedingungen war man etwas flexibler (als bei der Interkalibrierung mit dem Spezialgerät aus Dortmund, das aus Effektivitätsgründen mit den Spezialisten nicht länger als 2 bis 3 Tage in Dresden stationiert sein konnte). Für diese Interkalibrierungen wurden die Experimente vorbereitet. Sie konnten dann spontan gestartet werden, wenn morgens die meteorologischen Gegebenheiten für den Tag ausreichend stabil erschienen. So konnte beispielsweise die Interkalibrierung bei  $\gamma_s = 60^\circ$  unter idealen Solarstrahlungsbedingungen erfolgen (Abb. 5.5 c).

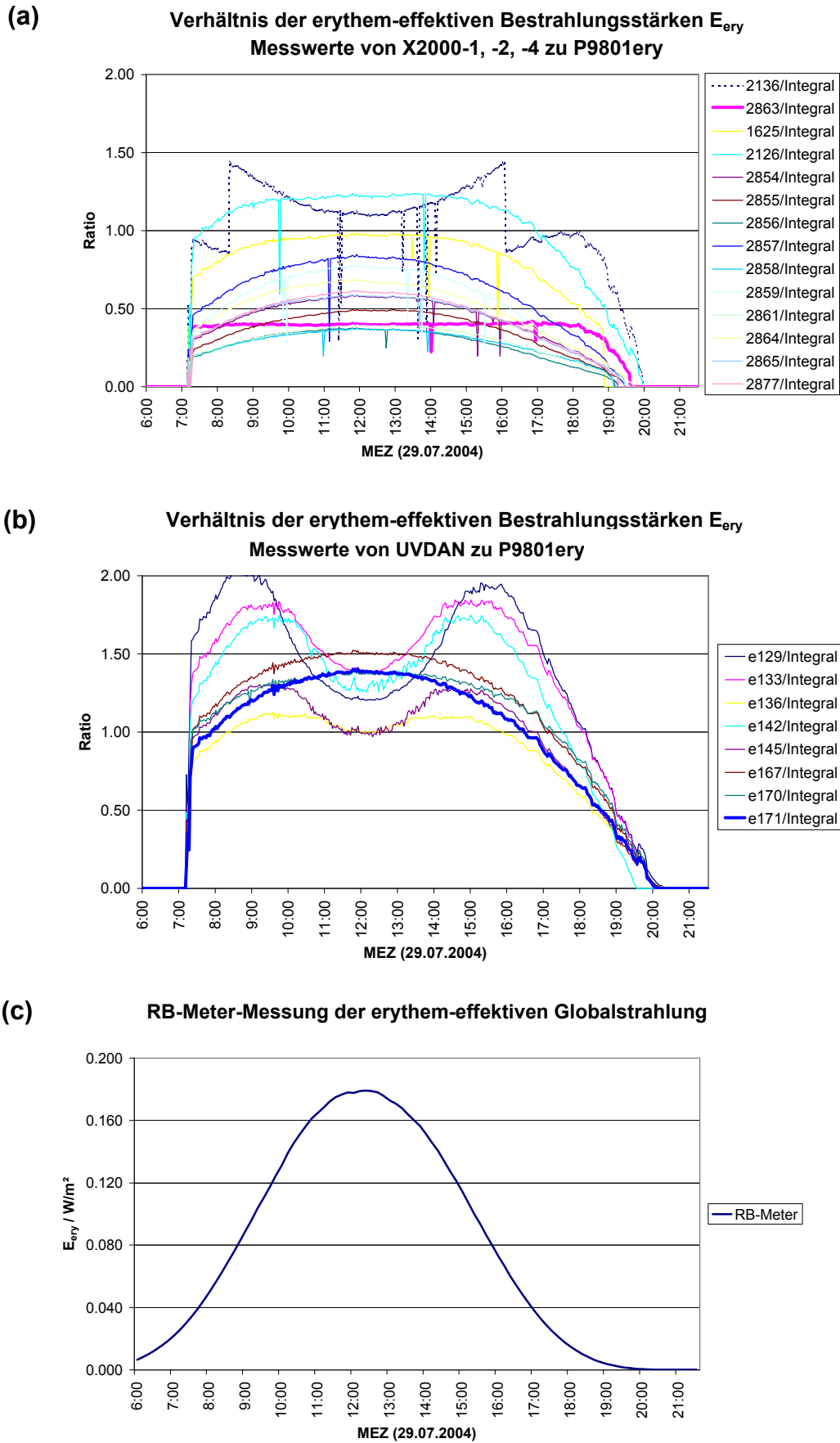


**Abb. 5.3** Interkalibrierung von UVDAN gegen Breitbandradiometer P9801 mit Erythemsensor (Integr) nur über den Sonnenhöchststand (21.02.04)



UV-Sensoren des  
Spektroradiometers und der  
Breitbandradiometer  
(Abb. 5.1 a)

**Abb. 5.4 a-b** Interkalibrierung von UV-Personendosimetersystemen mit Doppelmonochromator-Spektroradiometer und biologisch-wichtigen Breitbandradiometern  
(a) Datenlogger-Dosimeter X2000-1, -2, -4 und UVDAN  
(b) Polysulfonfilm(PSF)-Dosimeter und VioSpor-Dosimeter



**Abb. 5.5 a-c** Interkalibrierung von X2000 und UVDAN gegen Breitbandradiometer P9801 mit Erythemsensor (Integral) über einen vollständigen Tagesgang (29.07.04) bei idealen Solarstrahlungsbedingungen

**Tab. 5.5** Interkalibrierung X2000-Erythemsensor zu Breitbandradiometer  
Verhältnisse der Ergebnisse für verschiedene Sonnenhöhenwinkel

X2000	Datum / Uhrzeit	Mittags- sonnenhöhe	Datum / Uhrzeit	Mittags- sonnenhöhe	Datum / Uhrzeit	Mittags- sonnenhöhe
SN	21.02.2004 12:00	30°	29.07.2004 12:00	60° 18:00	21.09.2004 12:00	42°
1625			0.974	0.533	0.890	
2126	0.940		1.222	0.766	0.741	
2136	1.003		1.108	0.978	1.390	
2854			0.570	0.227		
2855			0.385	0.143		
2856			0.304	0.103	0.202	
2857			0.947	0.375		
2858			0.271	0.123	0.194	
2859			0.669	0.198		
2860						
2861			0.393	0.157	0.301	
2862					0.403	
2863			0.400	0.392	0.391	
2864	0.257		0.572	0.210		
2865			0.494	0.182	0.406	
2877			0.610	0.220	0.511	

Aus den Interkalibrierungen konnten für zukünftige Studien zur Messung individueller, solarer UV-Expositionen mit dem Einsatz von Datenlogger-Personendosimetern folgende Erkenntnisse gewonnen werden, die qualitativ in Abbildung 5.3 und Abbildung 5.5 a, b sowie quantitativ in Tab. 5.5 und 5.6 zu erkennen sind:

- Gemeinsam eingesetzte Datenlogger-Dosimeter, auch gleichen Typs sollten vor einem ersten Einsatz gemeinsam gegen ein zuverlässiges Breitbandradiometer bzw. Spektroradiometer interkalibriert werden.
- Voraussetzung für Feldinterkalibrierungen sind zuvor präzise kalibrierte Vergleichsgeräte (vgl. Kap. 5.2.2.1) und ideale meteorologische Bedingungen (siehe Abb. 5.5 a-c).
- Idealerweise ist der Tagesgang des Verhältnisses effektiver Bestrahlungsstärken weitgehend ein Kastenprofil. Einen solchen Verlauf zeigt das X2000-2 SN 2863, dessen Tagesgangkurve in Abbildung 5.5 a fett dargestellt wurde. (Die Abweichung im Absolutwert erklärt sich, da das X2000-2 einen ICNIRP- und keinen Erythem-Sensor enthält.)
- Die Messung zu einem einzelnen Zeitpunkt am Tag, z. B. zu Mittag (vgl. Abb. 5.3), könnte nicht ausreichend sein.
- Die Fehlanpassung zwischen Aktionsspektrum und spektraler Sensorresponse als ein Faktor und Abweichungen von einer konsinusgetreuen Sensorresponse bei den miniaturisierten UV-Sensoren führen zu Messwertabweichungen, die zudem im Tagesverlauf mit sich änderndem Sonnenspektrum und mit sich änderndem Einfallswinkel der solaren Direktstrahlung nicht konstant sind.
- Es können ggf. Geräteprobleme erkannt werden, bevor die elektronischen UV-Personendosimeter zum Dauereinsatz kommen und dann Datensätze permanent gestört oder nicht nutzbar wären.

Beispiel für das im letzten Anstrich gesagte ist ein Gerätefehler der in Abbildung 5.2 a für das X2000 SN 2136 (gepunktet markierte Kurve) zu sehen ist. Es gab einen

Fehler in der automatischen Messbereichsumschaltung. Ein derartiger Fehler ist weder aus den ausgelesenen personendosimetrischen Daten noch aus einer kurzzeitigen Einzelmessung zu erkennen. (Der Fehler trat erst im Dauerbetrieb auf.)

Für die UVDAN konnte ebenfalls ein Messproblem nur durch die Interkalibrierung eines kompletten Tagesganges und zu verschiedenen Jahreszeiten erfasst werden: Während aus den Interkalibrierungen im Vergleich zum Breitbandradiometer P9801/Erythemsensor bei  $\gamma_s = 30^\circ$  mit geringer erythem-effektiver Bestrahlungsstärke  $E_{ery}$  zwar deutlich die Abweichung von einem Interkalibrierungsverhältnis = 1 zu sehen ist und Korrekturfaktoren bestimmt werden könnten, zeigen die gleichen Messgeräte bei  $\gamma_s = 60^\circ$  eine Überlastung. Die fünf älteren Geräte, die dieses Problem zeigen, waren als Personendosimeter ausgelegt. Die drei neuen Geräte zeigen dieses Problem nicht mehr, wie exemplarisch der fett-markierte Tagesgang des Interkalibrierungsverhältnisses des Geräte171 zeigt (Abb. 5.5 b).

**Tab. 5.6 a** UVDAN-Messwerte zu Halogen-Kalibrierlampe (Erythem/ICNIRP)

- Verhältnis der Abweichungen Ery/ICNIRP = konst.
- Messwerte der UVDAN auf Messwert von Gerät e145 bezogen

UVDAN SN	Messwert	Ratio Messwert/ Ery-Kal.-Wert	Ratio Messwert/ ICNIRP-Kal.-Wert	Ratio Kalibrierung Ery/ICNIRP	e145 = 1 als Bezug
e129	6.82E+01	2.96	4.56	0.65	1.38
e133	7.30E+01	3.17	4.89	0.65	1.48
e136	4.93E+01	2.14	3.30	0.65	1.00
e142	7.03E+01	3.05	4.71	0.65	1.42
e145	4.95E+01	2.15	3.31	0.65	1.00
e167	5.38E+01	2.34	3.60	0.65	1.09
e170	5.93E+01	2.58	3.97	0.65	1.20
e171	6.84E+01	2.97	4.58	0.65	1.38
	Kal.-Wert / W/m <sup>2</sup> :	2.30E+01	1.49E+01		

**Tab. 5.6 b** Interkalibrierung UVDAN zu Breitbandradiometer P9801 Ery-Sensor

- Responseverhältnisse Labor (Tab. 5.6 a) entsprechen grob der Solarresponse
- Responseverhältnisse gleicher Sonnenwinkel ~ gleich (29.7. 15:30 / 21.9. 12:00)

UVDAN SN	e145 = 1 als Bezug aus Lab.-Kalibrierung	21.02.04	29.07.04	29.07.04	29.07.04	21.09.04	21.09.04
		30°	58°	38°	15°	40°	23°
		12:00	12:00	15:30	18:00	12:00	15:30
e129	1.38	1.51	over range	1.92	1.05	1.98	1.61
e133	1.48	1.38	over range	1.83	1.03	1.78	1.38
e136	1.00	0.80	over range	1.04	0.60	1.34	1.04
e142	1.42	1.17	over range	1.68	0.80	2.07	1.42
e145	1.00	0.94	over range	1.23	0.66	1.24	0.83
e167	1.09		1.50	1.31	0.79	1.33	1.11
e170	1.20		1.38	1.26	0.82	1.25	0.98
e171	1.38		1.38	1.16	0.66	1.17	0.88

In Tabelle 5.5 sind die erythem-effektiven Bestrahlungsstärken der X2000 bezogen auf die des Breitbandradiometer P9801 für verschiedene Mittagssonnenhöhen  $\gamma_s$  im Jahr sowie für zwei Tageszeiten des 29.07.04 quantifiziert. Im Gegensatz zur Laborkalibrierung gab es für die Interkalibrierung mit solarer Globalstrahlung keine Ausgangswerte. Es ist aber zu vermuten, dass die Abweichungen von mehr als - 50 % neben den bereits angesprochenen Faktoren hauptsächlich auf die Alltagsbelastungen durch die Tätigkeiten der Beschäftigten im Freien zurückzuführen sind. Die Abweichungen der Geräte SN 2126, 2136 sind geringer, sie waren bei Innenbeschäftigten im Einsatz.

Die Messwertverhältnisse aus dem Kalibrierlabor für die UVDAN entsprechen im wesentlichen den Verhältnissen bei den Interkalibrieruntersuchungen (Tab. 5.6 a-b). Bei gleichen Einfallswinkeln der solaren Direktstrahlung (29.07.04, 15:30 bzw. 21.09.04, 12:00) sind die Responseverhältnisse der UVDAN zueinander gleich. Die Solarkalibrierung der UVDAN weichen untereinander und zum Breitbandradiometer ab.

### 5.2.3 Interkalibrierung PSF und Doppelmonochromator-Spektrometriometer

Nach Installation des Breitbandradiometers P9801 und des Doppelmonochromator-Spektrometriometers Spectro 320 auf der UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden wurde zur Interkalibrierung mit dem PSF eine Kalibrierreihe aufgenommen (Abb. 5.4 b). Breitbandradiometer und Spektrometriometer waren unmittelbar vor der Umsetzung nach Dresden im optischen Messlabor der BAuA Dortmund kalibriert worden. Nach dem Transport waren die Geräte vor der Installation in Dresden rekali-  
briert worden.

Die Interkalibrierung mit Solarstrahlung (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 59,6^\circ$ ) erfolgte am 24.05.03 (vgl. Tab. 5.3).

Ziel war es, die Güte des Polysulfonfilms gepaart mit der Methode zur biologisch-gewichteten Auswertung der Dosimeterdaten im Vergleich zu erythemgewichteten Spektrometriometerdaten wiederholt zu bestätigen (KNUSCHKE et al., 2000: Bük/H, 1996 bei  $\gamma_s = 55^\circ$ :  $1,18 \pm 0,13$ ; Thessaloniki/GR, 1997 bei  $\gamma_s = 72^\circ$ : 1,11).

Da unmittelbar zuvor die Übernahme der PSF-Dosimeterfertigung von Fa. Dr. Dieter Kockott UV-Technik/Hanau (aus Altersgründen) durch die Experimentelle Photobiologie/Dermatologie, TU Dresden erfolgte, zielte die Interkalibrierung weiterhin auf den Nachweis ab, ob die Kontinuität in der Messgenauigkeit erhalten geblieben war (vgl. Kap. 3.2.3).

Abbildung 5.6 zeigt die Ergebnisse der PSF-Dosimeter-Kalibrierreihen mit je 20 geometrisch steigenden Bestrahlungen und drei Messwerten je Bestrahlungsstufe. Die polysulfonfilm-effektiven Dosimeterwerte wurden erythem-gewichtet auf der Ordinate über den zugehörigen erythem-effektiven Bestrahlungen  $H_{ery}$ , wie sie aus den Spectro-320-Daten bestimmt wurden, aufgetragen. Es konnte festgestellt werden:

- keine Änderung der erythem-effektiven Response im Direktvergleich zu einem Doppelmonochromator-Spektrometriometer zwischen PSF konfektioniert durch Dr. Kockott bzw. durch die Dermatologie/TU Dresden,
- konstante 16 %ige Überbewertung der erythem-effektiven UV-Bestrahlung durch die PSF-Dosimeter bezogen auf die simultanen erythem-gewichteten Spektrometriometermessungen liegt vergleichbar zu den o. g. Interkalibrierungsergebnissen von Bük und Thessaloniki,
- die Schwankungen bei Globalstrahlungsmessungen liegen bei Parallelexpositionen für den PSF typischerweise bei 5 %.



Interkalibrierung von PSF (Dr. Kockott), PSF (TU Dresden) mit Spectro320  
 bei  $g_s = 60^\circ$  (Dresden 24.05.04)

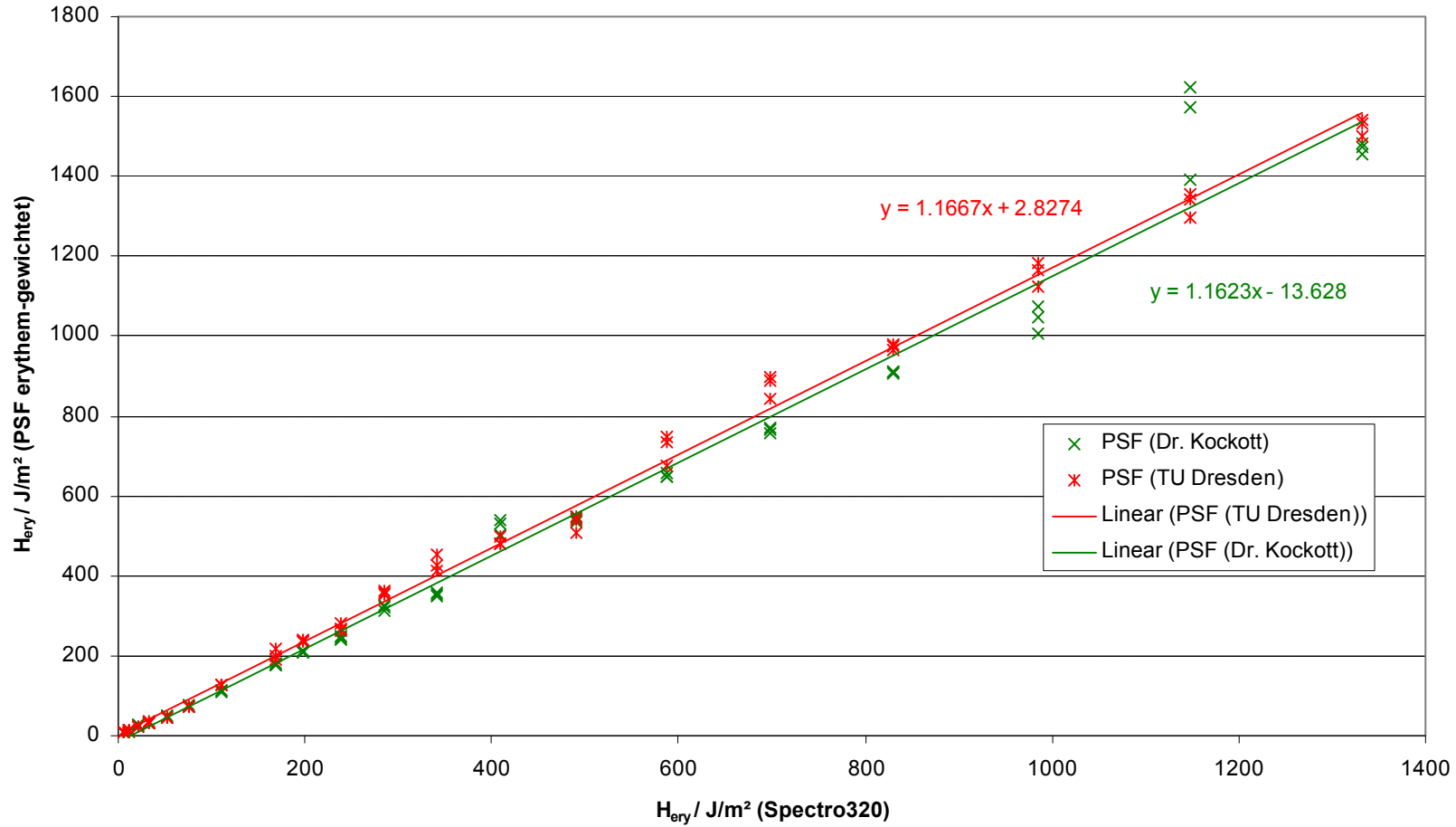


Abb. 5.6

Übereinstimmung der erythem-gewichteten Auswertung von PSF-Messungen gegen Spektrometernmessungen  
 Vergleich von PSF-Dosimeterchargen, die bei Dr. Kockott-UV-Technik gefertigt wurden, mit von der Dermatologie/  
 TU Dresden gefertigten



Damit ist einerseits die Kontinuität in der PSF-Konfektionierung nach der know-how-Übergabe nachgewiesen. Andererseits wurden die Abweichung früherer Interkalibrierungen zu Doppelmonochromator-Spektorradiometern, die bei konstant +11 % bzw. +18 % lagen, bestätigt.

Anmerkung: Die Kalibrierfaktoren zur Überführung PSF-effektiver Bestrahlungen  $H_{PSF}/J/m^2$  in erythem-effektive Bestrahlungen  $H_{ery}/J/m^2$  beim Sonnenhöhenwinkel  $\gamma_s = 60^\circ$ , entsprechend bei  $\gamma_s = 70^\circ, 55^\circ, 42^\circ, 30^\circ, 15^\circ$  basieren auf Modellspektren (dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt durch Dr. M. Seidlitz, GSF München-Neuherberg) für Dresden (bzw. Thessaloniki) bei diesem Sonnenwinkel.

### 5.3 Feldversuch mit den derzeit in Deutschland verfügbaren UV-Personendosimetersystemen

Um direkte Vergleiche unter Einsatzbedingung von den verschiedenen in Deutschland verfügbaren UV-Personendosimetersystemen neben Interkalibrierungen mittels solarer Globalstrahlung zu haben, war ein exemplarischer Feldversuch mit folgenden vier UV-Personendosimetersystemen konzipiert und durchgeführt worden:

1. Personendosimeter (Filmdosimeter)
  - (A) PSF (Dermatologie/TU Dresden)
  - (B) VioSpor (Fa. Biosense, Bornheim); Typ I - Personendosimetrie
2. Datenlogger-Personendosimeter:
  - (C) X2000-1, -2, -4 (Fa. Gigahertz-Optik, Puchheim)
  - (D) UVDAN (Fa. ESYS, Berlin; AWI für Polarforschung, Bremerhaven)

In diesem Feldversuch vom 13.09. - 17.09.2004 trug je ein Proband der untersuchten Berufsgruppen (vgl. Kap. 3.1.1; ohne Landwirte wegen zu hohem Kontaminationsrisiko der UV-Dosimeter) die o. g. vier in Deutschland derzeit verfügbaren UV-Personendosimetersystemen simultan unter Alltagsbedingungen (Abb. 5.7).

In den Tabellen 5.7 a sind die Messwerte der einzelnen UV-Personendosimetersysteme je Proband zusammengestellt. Die Ergebnisse einer zeitgleichen, orientierenden Globalstrahlungsmessung durch PSF, VioSpor und RB-Meter auf der UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden zeigt Tabelle 5.7 b.

In der orientierenden Globalstrahlungsmessung über 5 Tage zeigt der PSF + 17 % zum RB-Meter (vgl. Kap. 5.2.3). Der VioSpor Typ III (für höhere kumulative Bestrahlungen als Typ I) weicht im Mittel um + 8,7 % zum RB-Meter ab.

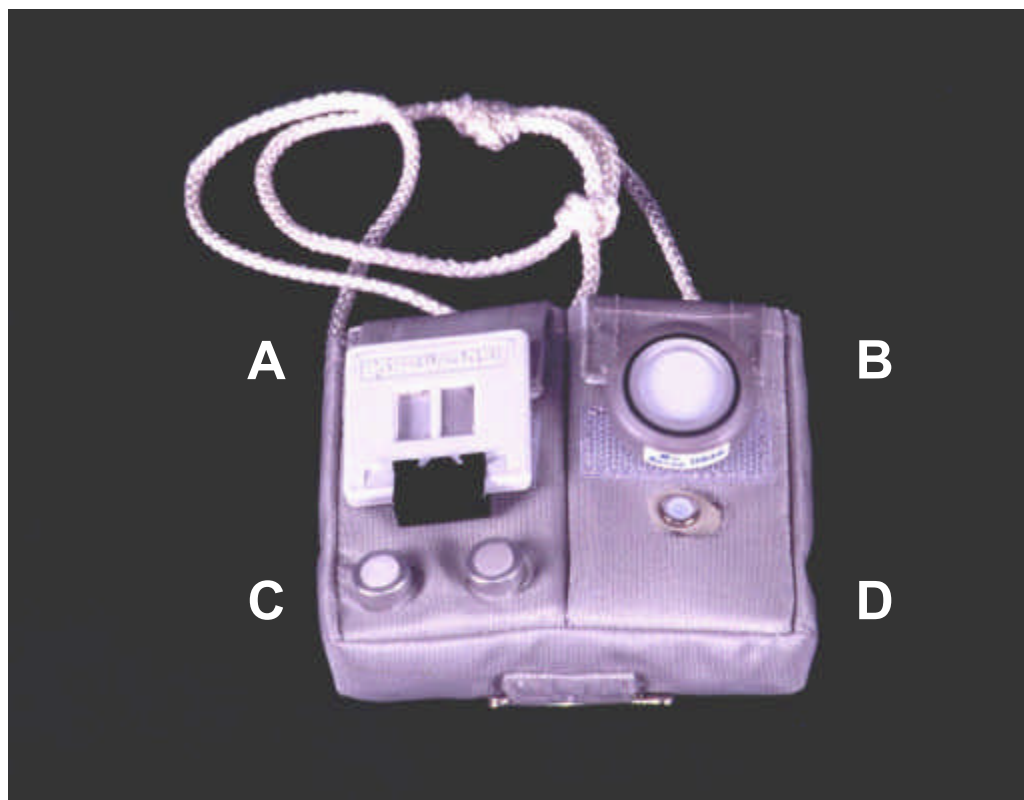
Auch beim Vergleich der Daten aus dem personendosimetrischen Einsatz sind die Abweichungen zwischen den Filmdosimetern PSF und VioSpor deutlich geringere, als die Abweichungen zu den elektronischen Datenlogger-Dosimetern, was der Bezug auf den Polysulfonfilm zeigt (Tab 5.8).

**Tab. 5.7 a** Feldversuch zur Interkalibrierung von vier in Deutschland verfügbaren UV-Personendosimetersystemen

Berufsgruppe 13.09.-17.09.04	PSF	H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	VioSpor	H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	X2000	H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	UVDAN	H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>
	Dosi-Nr.		Typ I / Nr.		SN		SN	
Bauarbeiter	47919	<b>717</b>	1456	<b>1000</b>	SN 2861	<b>295</b>	e133	<b>676</b>
Müllabfuhr	47945	<b>382</b>	1478	<b>875</b>	SN 2857	<b>350</b>	e142	<b>188</b>
Sportlehrer	47941	<b>694</b>	2038	<b>675</b>	SN 2860	<b>166</b>	e136	<b>252</b>
Kindergärtnerin	47931	<b>517</b>	1550	<b>725</b>	SN 2862	<b>273</b>	e145	<b>203</b>
Fensterputzer	47921	<b>169</b>	1487	<b>100</b>	SN 2854	n. d.	e129	<b>119</b>
indoor	47929	<b>183</b>	1531	<b>175</b>	SN 2136	<b>147</b>	e167	<b>25</b>

**Tab. 5.7 b** Globalstrahlungsmessung simultan zum Feldversuch zur personendosimetrischen Interkalibrierung

Globalstrahlung	PSF	H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	VioSpor	H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	RB-Meter	H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>
	Dosi-Nr.		Typ III / Nr.			
13.09.-17.09.04	47981	l	9121	946	9075	10204
(erythem-effektiv)		m	8321	1070	9900	
		r	8684			
<b>Mittelwert</b>			<b>8709</b>		<b>9488</b>	<b>10204</b>
<b>Verhältnis PSF zu:</b>			<b>1.00</b>		<b>0.92</b>	<b>0.85</b>



**Abb. 5.7** Feldversuch zur Interkalibrierung von UV-Personendosimetern am Probanden unter Alltagsbedingungen  
 A - PSF-Dosimeter  
 B - VioSpor-Dosimeter Typ I  
 C - X2000-Datenlogger-Dosimeter  
 D - UVDAN-Datenlogger-Dosimeter

**Tab. 5.8** Ergebnisse des personendosimetrischen Feldvergleichs bezogen auf den Polysulfonfilm

Berufsgruppe	PSF	zu VioSpor	zu X2000	zu UVDAN
Bauarbeiter		0.72	2.43	1.06
Müllabfuhr		0.44	1.09	2.03
Sportlehrer		1.03	4.19	2.76
Kindergärtnerin		0.71	1.89	2.54
Fensterputzer		1.69	n. d.	1.42
indoor		1.05	1.24	7.25
	STD	0.43	1.25	2.25
	<b>MW</b>	<b>0.94</b>	<b>2.17</b>	<b>2.84</b>

Die Ergebnisse dieses orientierenden Feldversuches unterstreichen die Notwendigkeit der Ausdehnung derartiger Feldversuche, wenn die verfügbaren UV-Personendosimetersysteme ergänzend zueinander eingesetzt werden sollen. Da jedes dieser Dosimetersysteme je nach Einsatzziel seine Vorzüge, bei anderen Einsätzen Nachteile aufweist, wäre ein kontinuierlicher, messtechnischer Anschluss in den Messergebnissen von großer Wichtigkeit.

## 6 Empfehlung einer Referenzbasis zur Bewertung von individuellen solaren UV-Expositionen

Die Untersuchungen quantifizierten die erwarteten, gestaffelten UV-Expositionslevel für die gewählten repräsentativen Berufsgruppen im Freien Beschäftigter mit solar-exponierten Arbeitsplätzen.

Zur „Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ gibt die Serie der Standards EN 14255 umfassende Verfahrensrichtlinien. Es wird die solare UV-Exposition für Arbeitsplätze und die Bevölkerung (prEN 14255-3) und die UV-Exposition durch künstliche UV-Strahlenquellen an Arbeitsplätzen (EN 14255-1) behandelt.

Die Verfahrensvorgaben zur Bewertung der individuellen UV-Expositionen liegen fest. Die Basis dieser Bewertung ist aber nicht Bestandteil dieser Standards. Für den EU-Bereich sind für die künstliche optische UV-Strahlung an Arbeitsplätzen spektrale Grenzwerte festgelegt (EU-Richtlinie 2006).

**Für die Bewertung des Ausmaßes der natürlichen UV-Expositionen durch die Sonne ist bisher keine Referenzbasis vereinbart.**

**Aus den Erkenntnissen der UV-Personenmonitoringuntersuchungen zur Verteilung der individuellen solaren UV-Expositionen in den Bevölkerungsgruppen (KNUSCHKE et al., 2000; KNUSCHKE et al., 2004; BAuA-Forschungsprojekt 1777) wird folgende Referenzbasis für die Bewertung individueller solarer UV-Expositionen vorgeschlagen:**

- Referenzbasislevel für UV-Expositionen ist die mittlere UV-Exposition von ständig im Gebäude Beschäftigten.  
Von den Innenbeschäftigten soll nur der Personenkreis in die Auswahl eingeschlossen werden, der bezüglich des Freizeitverhaltens durch geringe Aktivitäten im Freien geprägt ist (**= passive Innenbeschäftigte [in-p]**).  
Für den Urlaubsanteil an der UV-Jahresexposition sollen mittlere UV-Expositionslevel für Urlaub am Wohnort in Deutschland/Mitteuropa ohne erhöhte Freizeitaktivitäten im Freien zugrunde gelegt werden. In die UV-Jahresexposition geht ein dreiwöchiger Sommerurlaub (Juli/August), ein einwöchiger Urlaub (Februar/kein Wintersport) und ein einwöchiger Weihnachtsurlaub ein.
- Es werden mittlere individuelle UV-Expositionen pro Arbeits- bzw. Werktag im Jahresverlauf für Bewertungen zu einem speziellen Zeitpunkt im Jahr zugrunde gelegt (Tab. 6.1).
- Es werden mittlere individuelle UV-Expositionen pro Freizeit- bzw. Wochenendtag im Jahresverlauf für Bewertungen zu einem speziellen Zeitpunkt im Jahr zugrunde gelegt (Tab. 6.1).
- Es werden mittlere individuelle UV-Expositionen pro Jahr (Werktags-, Freizeit- und Urlaubsanteil) für o. g. Personengruppe passiver Innenbeschäftigter zugrunde gelegt, um Bewertungen über langfristige UV-Expositionen vornehmen zu können.
- Da die solare UV-Exposition einer Intensitätsverteilung über den Körper unterliegt, wird die Brustposition als Referenzmessposition festgelegt.

Damit können sowohl aktuelle solare UV-Einzelexpositionen als auch permanente UV-Langzeitexpositionen in ihrem Ausmaß bewertet werden.

**Tab. 6.1** Referenzbasis von Tagesdosen zur Bewertung solarer UV-Expositionen in Deutschland/Mitteleuropa.

Basiswerte der UV-Tagesdosis (erythem-effektive Bestrahlung  $H_{ery} / d$  in SED / d) für verschiedene saisonale Sonnenhöhenwinkel  $\gamma_s$  in Brustposition:

- für Arbeits-/Werktage (WTin-p)
- für Freizeit-/Wochenendtage (WEin-p)

Mittagssonnenhöhe $\gamma_s$	Referenzbasis $H_{ery}(WTin-p)$ für Werktage in SED / d	Referenzbasis $H_{ery}(WEin-p)$ für Wochenendtage in SED / d
60°	0.35	1.0
42°	0.10	0.45
30°	0.05	0.1
15°	0.02	0.025

**Tab. 6.2** Referenz – Basiswert für kumulative UV-Jahresdosen

	UV-Jahresdosis $H_{ery}(\text{Jahr, in-p})$ in SED / a
Passive Innenbeschäftigte (gesamt)	70
Passive Innenbeschäftigte (werktätlich)	20

Begründung für die Wahl dieser Referenzbasis:

- Passive Innenbeschäftigte bilden die Bevölkerungsgruppe, mit den niedrigsten individuellen UV-Expositionen im gesamten Jahresverlauf (KNUSCHKE et al., 2000). (Anmerkung: Das Expositionsniveau ist kleiner/gleich dem von Altersheimbewohnern.)
- Passive Innenbeschäftigte machen mit diesem Verhaltensmuster in der Freizeit 80 % aller Innenbeschäftigten aus (KNUSCHKE et al., 2004).
- Die urlaubstäglichen UV-Expositionen in Deutschland/Mitteleuropa liegen im Sommer bei  $\leq 50\%$  verglichen mit einem Urlaubsaufenthalt in der Mittelmeerregion, Nord-/Ostseeregion oder im Hochgebirge (KNUSCHKE et al., 2004).
- Passive Innenbeschäftigte sind in den UV-Expositions niveaus im Verlauf des Jahres für Arbeits-/Werktage und Freizeit-/Wochenendtage sowie deren Verhältnis zueinander im Jahresverlauf mit einer Reihe weiterer Bevölkerungsgruppen vergleichbar und deshalb repräsentativ.  
Solche Bevölkerungsgruppen sind u. a. ältere Schüler, Studenten, Hausfrauen, Senioren im Altersheim (KNUSCHKE et al., 2000).
- Die Körperverteilung der solaren UV-Expositionen ist neben dem saisonalen Sonnenhöhen einfluss deutlich von der Tätigkeit im Freien abhängig. Die bei Freizeitaufenthalten in der Sonne aufrechte bzw. im Sitzen nach hinten gelehnte Körperhaltung führt zu einem Verhältnis zwischen Gesicht und Brustposition von rund 1,5 : 1. Bei im Freien Beschäftigten liegt dieses Verhältnis bei etwa 1 : 1.  
Das Gesicht ist bezüglich Schutzmaßnahmen ein wesentliches Hautareal. Da für Expositionsbewertungen insbesondere Personengruppen mit permanent erhöhten UV-Expositionen, wie Arbeitnehmer mit Tätigkeiten im Freien im Vordergrund stehen, ergibt sich, dass mit der vergleichsweise einfach und reproduzierbar zu

messenden Brustregion gleichzeitig eine Aussage für den Gesichtsbereich zu treffen ist.

Für weitere Körperregionen bzw. weitere Verhaltensmuster beim Aufenthalt im Freien wird auf die Ergebnisse von KNUSCHKE et al. 2004 und die Ergebnisse aus Kap. 4.2.4 verwiesen.

Damit können die UV-Expositionsdaten der Personengruppe „passive Innenbeschäftigte“ als Referenzbasisdaten dienen.

Individuelle UV-Expositionen durch Solarstrahlung können in ihrem Ausmaß gegenüber dieser Referenzbasis zum Beispiel für Gefährdungsanalysen in Relation gesetzt werden.

Auch zur Bewertung des Ausmaßes anderweitiger UV-Expositionen kann diese Referenzbasis herangezogen werden. So lässt sich der zusätzliche Anteil an der UV-Jahresexposition durch Solarienbesuche quantifizieren. Weiterhin werden diese Daten bereits zur Nutzen-Risiko-Abschätzung in der dermatologischen Phototherapie von den Autoren angewendet.

## 7 Zusammenfassung

Für ausgewählte, repräsentative Berufsgruppen wurden die individuellen, biologisch-effektiven UV-Expositionen durch die Solarstrahlung im Verlauf eines Jahres mittels UV-Personenmonitoring untersucht.

Die biostatistische Auswertung des gewonnenen Datenmaterials gestattet Aussagen zur Einschätzung mittlerer Expositionsniveaus von Berufsgruppen.

Es liegen kumulative UV-Jahresdosen differenziert nach Anteilen aus den Arbeits-/Werktagen, den Freizeit-/Wochenendtagen und dem Urlaub vor.

Abhängig von der Ausrichtung der Körperareale zur Sonne unterscheiden sich die solaren UV-Expositionen in ihrer Wirksamkeit für diese Körperareale. Diese UV-Körperverteilung wurde unter Alltagsbedingungen erfasst und in die Daten der UV-Jahresdosen einbezogen.

Damit liegen für die untersuchten Berufsgruppen die o. g. UV-Jahresdosen nicht nur als Einzelwert, sondern für jede Gruppe als Datensatz von UV-Jahresdosen für 19 Körperregionen vor.

Aus der Verteilung der individuellen UV-Expositionen der Probanden innerhalb einer Gruppe sind auch Einschätzungen zum Ausmaß der Exposition einzelner Arbeitnehmer möglich.

Weitere Bestandteile des Forschungsprojektes waren die Optimierung des routinemäßigen UV-Personenmonitorings mit dem Polysulfonfilm als UV-Personendosimeter sowie Untersuchungen von derzeit verfügbaren UV-Personendosimetern mit der Zielstellung, sie in Interkalibrierungen abzugleichen.

Das Projekt wurde im Zeitraum von 01.03.2003 bis 28.03.2006 realisiert.

Im Rahmen des UV-Personenmonitorings wurden insgesamt 7 repräsentative Berufsgruppen untersucht. Sie waren drei verschiedenen Tätigkeitsprofilen bezüglich der solaren UV-Exposition am Arbeitsplatz zuzuordnen:

1. Beschäftigte mit Tätigkeitsfeld vorrangig im Freien:  
Bauarbeiter, Landarbeiter, Müllwerker
2. Beschäftigte mit wechselndem Tätigkeitsfeld außen und innen:  
Kindergärtnerinnen, Glasreiniger, Sportlehrer
3. Beschäftigte mit Tätigkeitsfeld ständig in Gebäuden  
Innenbeschäftigte als Referenzbasis der UV-Expositionsniveaus (vgl. Kap. 6).

Zur Bewertung des Jahresverlaufes der UV-Expositionen unter Alltagsbedingungen für die gewählten Probandengruppen erfolgten die Untersuchungen in vier saisonalen Messperioden. Zur Vergleichbarkeit von UV-Expositionsdaten aus verschiedenen Messjahren wurden die Messperioden (MP) orientiert an definierten Mittagssonnenhöhen  $\gamma_s$  (bestimmt durch: Datum im Jahr und geografische Breite) festgelegt. Als Referenz dienten Sonnenhöhen, die bereits in früheren UV-Personenmonitoringuntersuchungen herangezogen wurden.

Die Ergebnisse dieses UV-Personenmonitorings fließen als Datenbasis in ein Rechenmodell zur biometrischen Schätzung von mittleren UV-Jahresexpositionen der jeweiligen Berufs- oder Verhaltensgruppe aus der Bevölkerung ein (vgl. Kap. 2).

Es wurde ein kontinuierliches UV-Personenmonitoring über 52 Kalenderwochen durchgeführt, das exemplarisch für jede Untersuchungsgruppe (n = 5 pro Gruppe) neben den MP-Untersuchungen erfolgte.

Anhand dieser Daten konnten die Ergebnisse der Modellrechnung den real gemessenen Werten gegenübergestellt werden.

Der ermittelte Jahresverlauf mittlerer individueller UV-Expositionen je Kalenderwoche aus dem biometrischen Rechenmodell stimmt sehr gut mit den Messdaten aus dem kontinuierlichen UV-Personenmonitoring aller Probandengruppen überein.

Damit kann die (bisher ausschließlich biostatistisch validierte) Modellrechnung (KNUSCHKE et al., 2004) auch durch den direkten Vergleich zu mittleren individuellen UV-Expositionen je Kalenderwoche aus einem UV-Personenmonitoring als sehr gut bestätigt angesehen werden.

Die individuelle solare UV-Jahresexposition setzt sich aus Werktags-, Freizeit- und Urlaubsanteil zusammen:

- Der Werktagsanteil wird maßgeblich durch die berufsspezifischen Tätigkeiten bestimmt.
- Der Freizeit- und Urlaubsanteil wird durch die individuellen Interessen bestimmt.

Im Rahmen der Untersuchungen stand vor allem das Ausmaß beruflicher UV-Expositionen von Arbeitnehmern im Freien im Vordergrund.

Wichtig für die richtige Bewertung des beruflichen Anteils der kumulativen UV-Expositionen am gesundheitlichen Einfluss auf den Arbeitnehmer ist auch die Relation zu den Freizeit- und Urlaubsexpositionen.

Eine Gesamtübersicht zu den ermittelten Ergebnissen der einbezogenen – als repräsentativ auch für weitere – Berufsgruppen sind in Abb. 7.1 dargestellt.

Für alle Berufsgruppen gilt erwartungsgemäß, dass die UV-Expositionen des Sommerhalbjahres den maßgeblichen Beitrag zur UV-Jahresdosis einer Person liefern.

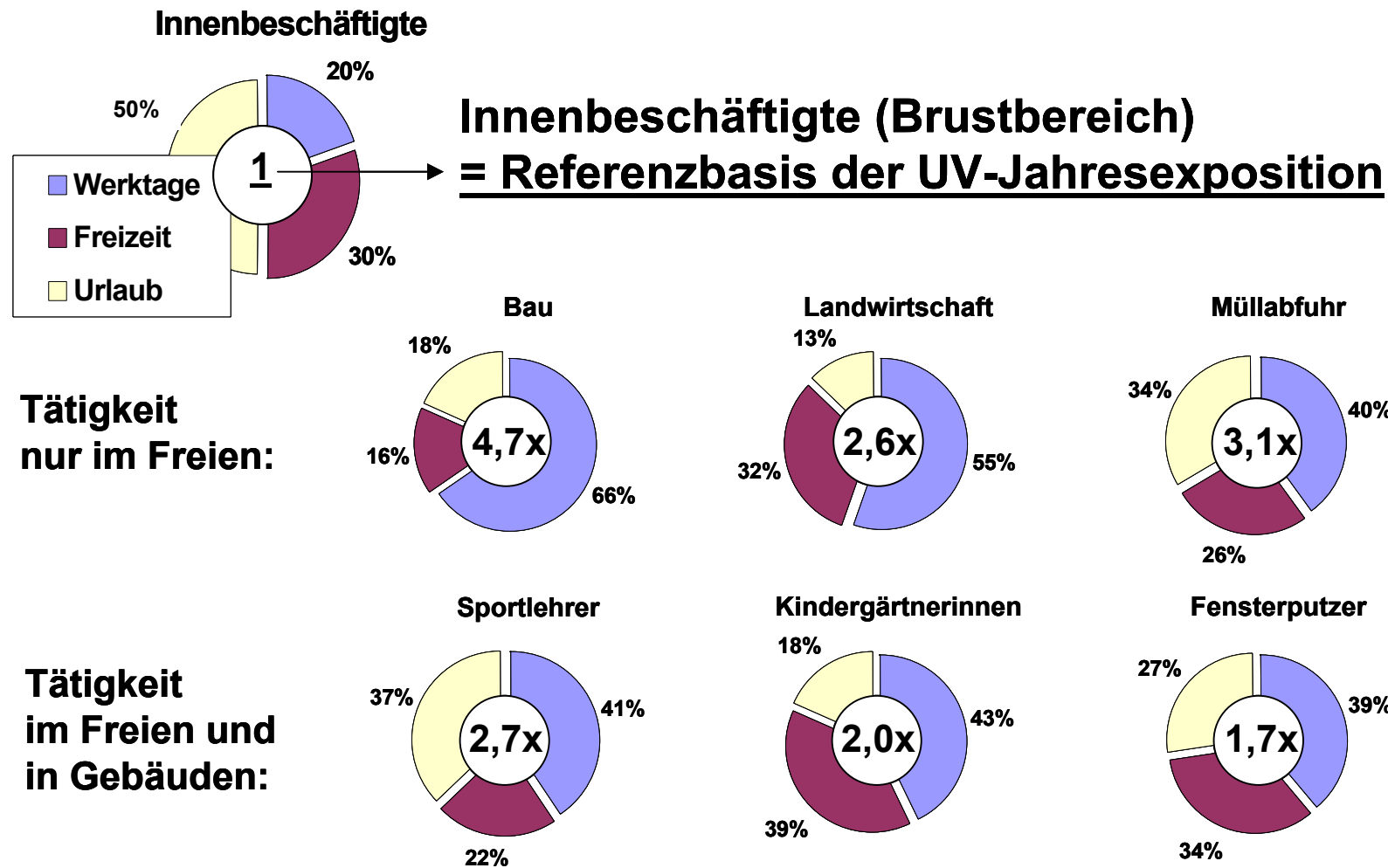
Der Vergleich mittlerer werktäglicher UV-Expositionen an Arbeitsplätzen im Freien gegenüber Arbeitsplätzen ohne solare UV-Expositionen (Tab. 7.1) wies schon bei wechselnder Tätigkeit, sowohl im Gebäude als auch im Freien, eine Erhöhung auf etwa 150 % bis 300 % aus.

Eine ständige berufliche Beschäftigung im Freien zieht im Mittel eine Erhöhung der jährlichen UV-Exposition auf 300 % - 500 % nach sich (UNVERRICHT et al., 2005; UNVERRICHT et al., 2006).

Jedoch kann auch durch Freizeitaktivitäten am Wochenende mit erhöhtem Aufenthalt im Freien (keinem Sonnenbaden!) ein UV-Tagesexpositions-niveau erreicht werden, das sogar die mittleren Werktagsexpositionen der Bauarbeiter deutlich überschreitet.

Die Daten des UV-Personenmonitoring bilden die Grundlage weiterer Auswertungen mit dem biometrischen Modell zur Bestimmung mittlerer biologisch-effektiver UV-Jahresexpositionen für die untersuchten Berufs- bzw. Verhaltensgruppen.





**Abb. 7.1** Erhöhungsfaktor der UV-Jahresexposition durch Tätigkeit im Freien und prozentuale Anteile an der UV-Jahresexposition aus Werktagen, Freizeit und Urlaub; Ergebnisse des BAuA-Projektes F1777 (Innenbeschäftigte: BMBF-Projekt 07UVB54C/3)

**Tab. 7.1** UV-Exposition von Außenbeschäftigten in Relation zur Vergleichsgruppe (Referenzbasis)

Berufsgruppen	Anteil der Werktags- exposition an der UV-Jahres- exposition	Erhöhung der UV-Exposition an Werktagen im Vergleich zu Innenbeschäftigten als Referenzbasis		UV-Jahres- exposition im Vergleich zur Jahresexposition von Innen- beschäftigten
		Sommer / %	Winter / %	
	%			%
<b>Innenbeschäftigte (Referenzbasis)</b>	<b>20<sup>*)</sup></b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Bauarbeiter	66	500 - 1000	400 - 600	470
Landarbeiter	55	250 - 500		260
Müllwerker	40	200	300	310
Kindergärtnerinnen	41	150 - 300	200	270
Sportlehrer	43	350 - 700	100	200
Glasreiniger	39	250	100	170

<sup>\*)</sup> aus KNUSCHKE 2004 (n = 140)

Die effektiv einwirkende UV-Exposition über den Körper unterliegt einer Verteilung bedingt durch den Einfallswinkel der Solarstrahlung. Die UV-Körperverteilung variiert:

- mit der beruflichen Körperhaltung (analog für die Freizeit im Freien)
- mit jahreszeitlicher Sonnenhöhe
- durch meteorologischen Einfluss (direkte Sonnenstrahlung bzw. diffuse Einstrahlung bei vollständig bedecktem Himmel, als die beiden Wetterextreme)

Gegenüber der Brustposition als Referenz kann die UV-Exposition gleichzeitig in anderen Körperregionen folgende Werte erreichen

- bis 400 % (Kopf oben)
- bis 40 % (Wade, Oberschenkel hinten).

In der UV-Jahresexposition variieren die einzelnen Körperregionen zueinander in der biologisch-effektiven UV-Exposition bis zu einem Faktor 10.

Ein bestehender Datensatz (für Gärtner ausschließlich bei direkter Sonneneinstrahlung) wurde um die Berufsgruppen Müllfahrer, Kindergärtnerinnen und Glasreiniger erweitert. Erstmals wurden die saisonalen UV-Körperverteilungsdaten auch für diffuse Einstrahlung erfasst.

Die Messdaten der (jahreszeitlich variierenden) Körperverteilung der UV-Expositionen sind in die Modellrechnung zur biometrischen Schätzung von UV-Jahresdosen implementiert.

Für die untersuchten Berufsgruppen wurden mittlere UV-Jahresexpositionen  $H$  für 19 unterschiedliche Körperareale bestimmt bezüglich:

- UV-Erythem  $H_{\text{ery}}$
- ICNIRP  $H_{\text{ICNIRP}}$
- NMSC  $H_{\text{NMSC}}$
- UV-A  $H_{\text{UV-A}}$

Die Ergebnisse aus dem UV-Personenmonitoring und der Modellrechnung zu UV-Expositionen im Jahresverlauf der einzelnen Berufsgruppen ermöglichen einerseits

- das Betrachten mittlerer kumulativer Jahreswerte, andererseits
- die Ermittlung saisonaler Expositionspeaks aus den Einzelmesswerten einer Person.

Aus den UV-expositionsrelevanten Personendaten, die als Bestandteil des UV-Personenmonitorings erhoben wurden, gingen folgende Trends hervor:

- Die Verteilung auf die UV-Hauttypen bei im Freien beschäftigten Arbeitnehmern ist im Wesentlichen deckungsgleich mit der der Gesamtbevölkerung.
- Mit rund 55 % ist der UV-empfindlichere Hauttyp II am häufigsten vertreten. Der Hauttyp III beträgt etwa 35 % unter den Außenbeschäftigten. Dieser Schwerpunkt bei Personen mit geringerem natürlichen UV-Eigenschutzvermögen ist für Gefährdungsbeurteilungen der UV-Expositionslevel zu berücksichtigen.
- Während in der Freizeit und im Urlaub Lichtschutzpräparate in der Mehrzahl verwendet werden, ist der Verwendungsgrad am Arbeitsplatz derzeit noch sehr niedrig.
- Es konnte nicht festgestellt werden, dass Personen der empfindlicheren UV-Hauttypen I und II verglichen mit Personen der Hauttypen III und IV sich in ihrer Freizeit bewusst weniger der solaren UV-Exposition aussetzen.
- Die untersuchten im Freien Beschäftigten arbeiteten kaum mit freiem Oberkörper. Lediglich bei den Bauarbeitern wird es von einem Fünftel bis einem Viertel an einzelnen Tagen praktiziert. Deutlich höher liegt der Anteil an den Wochenenden. Andererseits wurde dafür die Nutzung von Lichtschutzsubstanzen angegeben (s. o.).
- Zusätzliche UV-Expositionen durch Besuch von Sonnenstudios beschränken sich bei im Freien Beschäftigten auf das Winterhalbjahr mit 8 % bis 13 %. Das Ausmaß dieser zusätzlichen UV-Expositionen wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht quantifiziert. Ein deutlicher Alterstrend war bei dem geringen Stichprobenumfang nicht auszumachen.

Zum Wissen über UV-Strahlung in seiner Wirkung und über den möglichen Schutz vor zu hohen UV-Expositionen erfolgte eine Befragungsuntersuchung, um den Kenntnisstand zu dieser Thematik, der Voraussetzung für einen effektiven Selbstschutz ist, in verschiedenen Bevölkerungsgruppen aufzunehmen:

- Außenbeschäftigte (Studienteilnehmer **vor** dem UV-Personenmonitoring)
- Außenbeschäftigte (Studienteilnehmer **nach** dem UV-Personenmonitoring)
- Teilnehmer eines dermatologischen Hautchecks zur Hautkrebsprophylaxe
- Mitarbeiter einer Berufsgenossenschaft
- Medizinstudenten.

Für die 26 Fragenkomplexe muss insgesamt konstatiert werden, dass der Wissensstand mangelhaft ist. Insbesondere zu Fragen die essentiell den Eigenschutz betreffen, fehlen die Kenntnisse.

Positiv zu konstatieren ist, dass, wenn auch von niedrigem Niveau aus, ein Wissenszuwachs bei den in dieses Projekt als Probanden involvierten Außenbeschäftigten festzustellen war.

Das deutet an, dass das Interesse an der Problematik doch zu wecken ist und die Personen sich dann den entsprechenden Informationen zu diesem Thema im Alltag öffnen.

Um die Aufmerksamkeit in der Bevölkerung wieder auf den Schutz vor den Risiken zu hoher UV-Expositionen in der Freizeit oder eben auch im Beruf zu fokussieren, sollten verstärkt Aufklärungskampagnen, wie in den 1990er Jahren der Fall gewesen, initiiert werden.

Andererseits sollte die Bildung zu diesem Thema vom Kindergarten über die Schule begleitend erfolgen (wie beispielsweise vom Schweizer Amt für Gesundheit im Aufbau und der Aktion in Bayern „Sonne mit Verstand...statt Sonnenbrand“).

Als wesentliche Erkenntnis aus den Untersuchungen zur Interkalibrierung von UV-Personendosimetersystemen ist zu konstatieren, dass sowohl eine Laboruntersuchung vor einer Kalibrierlampe als auch eine Interkalibrierung im Feldversuch unter solarer UV-Strahlung im Tagesgang für die Bewertung der Messsysteme unumgänglich sind.

Die Laborkalibrierung an einem Sekundärnormal prüft und dokumentiert die Langzeitstabilität des UV-Sensors eines elektronischen UV-Personendosimeters.

Feldversuche zur Interkalibrierung sowohl von elektronischen als auch von Film-dosimetern zur photobiologischen UV-Strahlenmessung gegen Doppelmonochromatorspektrometerspektrometer sind unumgänglich, um berechnete Kalibrierfaktoren für den Einsatz zur Messung, beispielsweise der erythem-effektiven Solarstrahlung, auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Erforderlichenfalls sind Korrekturfaktoren zu bestimmen.

Die Daten eines UV-Personenmonitorings an Arbeitsplätzen im Freien, differenziert nach Werktags-, Freizeit- sowie Urlaubsexpositionen, stellen verglichen mit den zugehörigen Daten der empfohlenen Referenzbasis biologisch-effektiver UV-Expositionen eine Grundlage dar, um den Gefährdungsgrad durch solare UV-Expositionen im Arbeitsleben realistisch einschätzen und darauf aufbauend ausgewogene Richtlinien zum Gesundheitsschutz entwickeln zu können.

Die gewonnenen Daten aus den UV-Personenmonitoringstudien bilden eine grundlegende Voraussetzung für weiterführende Untersuchungen. So wird von den Autoren derzeit das natürliche UV-Eigenschutzverhalten der Haut von ständig im Freien beschäftigten Arbeitnehmern unter den hier beschriebenen (quantifizierten realen) Alltagsgegebenheiten hinsichtlich der solaren UV-Exposition untersucht.

## 8 Ausblick

Sowohl auf europäischer (EU-Richtlinie, 2006) als auch auf nationaler Ebene (BGV B9, Entwurf) wird zum momentanen Zeitpunkt die Gefährdung von Arbeitnehmern **nur** durch künstliche optische Strahlung berücksichtigt. Ursprünglich wurde eine EU-Richtlinie zum Gesundheitsschutz an Arbeitsplätzen vor „Optischer Strahlung“ ausgearbeitet. Bis zu einem Kompromisspapier zwischen EU-Kommission und EU-Parlament enthielt der Richtlinienentwurf noch die natürliche UV-Strahlung. Arbeitsplätze mit solarer UV-Exposition als potenzielle Gefährdung wurden letztlich in den Endfassungen von EU-Richtlinie und Fachausschuss-Entwurf der BGV B9 ausgeklammert.

Einer der wichtigsten Gründe dafür war, dass die wissenschaftliche Datenlage zum Ausmaß der individuellen UV-Expositionen für diese Arbeitsplätze als noch nicht ausreichend angesehen wurde. Weiterhin fehlten quantitative Daten über das Reaktionsverhalten der Haut auf diese individuellen UV-Expositionen. Bisher geht man von einem sehr hohen Eigenschutz aufbau durch die Haut im Verlauf des Sommerhalbjahres aus. Diese Auffassung basiert auf einer falschen Interpretation von wissenschaftlichen Untersuchungen zum maximal möglichen natürlichen Eigenschutz der Haut bezüglich der Akutreaktion UV-Erythem. Dieser Maximalwert in Höhe eines Schutzfaktors 40 wurde nach täglichen, erythematischen UV-Expositionen über 20 Tage in einem Testareal erreicht (JUNG et al., 1971), also in einer UV-Expositionsabfolge, die fern den werktäglichen Gegebenheiten an solarexponierten Arbeitsplätzen liegt.

Wegen des angenommenen hohen natürlichen Eigenschutzes wurden in den Entwürfen zur EU-Richtlinie „Optische Strahlung“, die die natürliche UV-Strahlung noch enthielten, die spektralen Grenzwerte maximal zulässiger 8-Stunden-Bestrahlungen (entsprechen weitgehend ICNIRP 1996) am Arbeitsplatz nur für künstliche UV-Strahlung einbezogen. Der angenommene Aufbau des natürlichen Eigenschutzes durch die Tätigkeit im Freien würde zu einer zu strengen Anforderung an den maximal zulässigen UV-Expositionslevel führen, weil für diese Grenzwerte der lichtungewöhnte Winterzustand der Haut zugrunde gelegt wurde.

Es war also erforderlich, für im Freien beschäftigte Arbeitnehmer den natürlichen UV-Eigenschutz der Haut zu untersuchen, wie er sich im Jahresverlauf unter realen Alltagsbedingungen der individuellen UV-Exposition, wie sie im BAuA-Forschungsprojekt 1777 ermittelt wurden, entwickelt. In einem laufenden BAuA-Forschungsprojekt 1986 „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ wird – neben dem Verlauf des Eigenschutzes der Haut nach UV-Einzelexpositionen (wie beispielsweise bei Streustrahlungs-Expositionen durch künstliche UV-Strahlenquelle möglich) – eben dieser natürliche UV-Eigenschutz für ständig im Freien Beschäftigte in seinem Jahresverlauf untersucht.

Über ein Jahr hinweg wurden monatlich die Erythemschwelldosis (minimale Erythemdosis MED) als Gesamtmaß des UV-Eigenschutzes sowie dessen Komponenten – die Epidermisdicke (zur Kontrolle auf Lichtschwielereaktion) und der Pigmentierungsgrad durch Hautfarbmessung – an langjährig im Freien Beschäftigten untersucht. In einer weiteren Jahresstudie wird derzeit die Haut von Personen (Innenbeschäftigte als Probanden) untersucht, die noch nie als Außenbeschäftigte tätig waren. Ihre Haut entspricht der von Berufseinsteigern bei Tätigkeiten ständig im Freien. In dieser Studie werden einer Rückenhälfte im Jahresverlauf sonnenähnliche, suberythematische UV-Expositionen appliziert, die jeweils der mittleren UV-Dosis für die Stirn von im Freien Beschäftigten (Dosisdaten aus Ergebnissen der UV-

Personenmonitoringstudien des BAuA-Forschungsprojektes 1777) zu diesem Jahreszeitpunkt entsprechen. Die andere Rückenhälfte wird als unexponierte Kontrolle untersucht.

Der individuelle Einflussfaktor aus Werktags-, Freizeit- und Urlaubsexpositionen wird in kontinuierlichen Messungen über das Untersuchungsjahr mittels des, seit dem Projekt 1777 weitgehend, automatisiert laufenden UV-Personenmonitoring erfasst. So können die UV-Eigenschutzveränderungen an der Haut im Jahresverlauf, in Relation zu den auslösenden UV-Expositionen, ausgewertet werden.

In Bezug auf Gesundheitsschutzkonzepte für Arbeitsplätze mit solarer UV-Exposition ist ein Ergebnis als Vorabinformation aus dem BAuA-Forschungsprojekt 1986 von sehr großer Bedeutung:

Der UV-Eigenschutzaufbau an der Haut von im Freien Beschäftigten ist weitgehend vernachlässigbar. Er zeigt einen Zuwachs von nur 50 % am Ende des Sommers – das entspricht lediglich einem Lichtschutzfaktor 1,5 (!) bezogen auf die Hautempfindlichkeit im März – (KNUSCHKE et al., 2005b; KNUSCHKE et al., 2005c) und nicht etwa einem Faktor 40 (oder 4000 %), wie häufig angenommen.

Die Mehrzahl der im Freien Beschäftigten arbeitet mit bekleidetem Oberkörper (vgl. Kap. 4.5.4), so auch die untersuchten Gruppen ständig im Freien Beschäftigter der UV-Eigenschutzstudie im Rahmen des BAuA-Forschungsprojektes 1986. Aber auch die suberythematösen UV-Dosen, die den mittleren solaren Gesichtsdosen im Freien Beschäftigter entsprachen (s. o.) und der Rückenhaut Innenbeschäftigter appliziert wurden, bewirkten ebenfalls nur einen Eigenschutzanstieg um einen Faktor 1,5 (KNUSCHKE et al., 2006a). Einen Anstieg des UV-Eigenschutzes in gleicher Größe wie über das Sommerhalbjahr bei im Freien Beschäftigten bringt der zwei- bis dreiwöchige Sommerurlaub im Juli bzw. August, nachgewiesen an der nichtexponierten Kontrollrückenhälfte der Innenbeschäftigten.

Damit muss festgestellt werden:

- Ständig im Freien Beschäftigte werden im Jahr um das 3,5- bis 5fache höher UV-exponiert als ständig im Gebäude Beschäftigte, die zudem die typischerweise geringeren Freizeitexpositionen im Freien haben.
- Die arbeitstäglichen UV-Expositionen bilden den Schwerpunkt als Anteil an der Jahresexposition.
- Trotz der höheren UV-Belastung wird nur ein minimal höherer natürlicher Eigenschutz der Haut aufgebaut.

### **!!! Der natürliche UV-Eigenschutz der Haut entfällt als Komponente für Gesundheitsschutzkonzepte im Freien Beschäftigter !!!**

Vor diesem Hintergrund müssen die solarexponierten Arbeitsplätze sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene wieder in den Fokus gerückt werden.

Es müssen neue Schutzkonzepte und Schutzkomponenten untersucht werden.

Neben der existierenden EU-Richtlinie (2006) über „Künstliche optische Strahlung“ und der Unfallverhütungsvorschrift BGV B9 „Künstliche Optische Strahlung“ sollte auch eine Richtlinie zum Gesundheitsschutz bei „Natürlicher optischer Strahlung“ am Arbeitsplatz ins Auge gefasst werden. Für eine solche zukünftige Richtlinie gilt es,

die bestehende wissenschaftliche Basis zu diesem Feld, zu dem das abgeschlossene BAuA-Forschungsprojekt 1777 und das BAuA-Forschungsprojekt 1986 beitragen, zu verbreitern.

Es gilt die Datenlage zum UV-Eigenschutzverhalten der Haut weiter zu festigen. Das schließt auch den Einfluss der Alltagsexpositionen im Freien Beschäftigter hinsichtlich sich chronisch auswirkender Effekte wie DNA-Schäden in der Haut sowie deren Reparaturgrad unter den verschiedenen Expositionsbedingungen im Jahresverlauf ein.

Andererseits gilt es ganz pragmatisch, technische und organisatorische Schutzkonzepte zu entwickeln, weiterzuentwickeln bzw. bestehende zu prüfen, inwieweit sie effizient für den Außenbeschäftigten sind, von diesem angenommen werden und seine Arbeitsfähigkeit nicht beeinträchtigen. Weiterhin müssten diese Konzepte auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten vertretbar sein.

Es sollte eine praktische Untersuchung der Wirksamkeit von UV-schützender Bekleidung erfolgen. In diesem Forschungsprojekt konnte bereits auf einen positiven Ansatzpunkt als Ergebnis verwiesen werden: Mehrheitlich wird von den Außenbeschäftigten nicht nur wegen mechanischer Verletzungsgefahr, sondern nach eigenen Aussagen auch wegen der Sonnenbrandgefahr über das ganze Sommerhalbjahr mit bekleidetem Oberkörper gearbeitet (Kap. 4.5.4). Hier könnte u. a. angesetzt werden, textilen Sonnenschutz mit hohem UPF auf seine praktische Nutzbarkeit am Arbeitsplatz zu untersuchen. Es muss die Effektivität der Kleidung unter praktischen Bedingungen mittels UV-Personenmonitoring (auf der Kleidung, unter der Kleidung am Körper) genauso geprüft werden wie der Tragekomfort bei körperlicher Arbeit. Letzterer müsste in Zusammenarbeit mit entsprechenden Forschungsinstituten optimiert werden, denn das Material ist für den hohen UPF eng gewebt und damit weitgehend luftundurchlässig.

Analoge Untersuchungsanforderungen bestehen für Kopfbedeckungen mit optimalem Gesichts- und Nackenschutz und für den Augenschutz u. a. durch optimierte Sonnenbrillen.

Aus diesem Grund besteht weiterer Forschungsbedarf, der die Erkenntnisse und die noch in den Datenbanken vorliegenden Informationsressourcen aus dem BAuA-Forschungsprojekt 1777 sowie aus dem laufenden BAuA-Forschungsprojekt 1986 zum natürlichen Eigenschutz der Haut mit den verschiedenen möglichen Schutzkonzepten und Schutzkomponenten verbindet:

- Vermeidung von solarer UV-Exposition (technisch/organisatorisch), z. B. durch Abschattung oder Verlagerung der Arbeitszeiten.
- Expositionsreduktion durch persönliche Schutzkleidung unter realen Bedingungen.
- Expositionsschutz durch Lichtschutzsubstanzen (Wirksamkeit auch gegen chronische Photoeffekte).
- Natürlicher Eigenschutz (aufbauend auf F 1986).

Resultate derartiger Untersuchungen von UV-Schutzkonzepten sind nachgewiesenermaßen dringend erforderlich, um zukünftigen Richtlinien zum Gesundheitsschutz sonnenexponierter Arbeitsplätze eine wissenschaftlich fundierte Basis zu geben.

## 9 Literaturverzeichnis

**Barth, Ch., Knuschke, P., Barth, J.:** UV-Strahlenbelastung in der Umgebung von Schweißarbeitsplätzen. Z. Ges. Hyg. 36 (1990), 654-655

**Bolsée, D., Webb, A. R., Gillotay, D., Dörschel, B., Knuschke, P., Krins, A., Terenetskaya, I.:** Laboratory facilities and recommendations for the characterisation of biological ultraviolet dosimeters. Appl. Opt. 39 (2000), 2813-2822

**CIE 1992:** Personal Dosimetry of UV-Radiation (Ausarbeitung: Knuschke, P.)  
1. Aufl. Wien: Commission Internationale de L'Eclairage 1992. (CIE Technical Report, 98)

**CIE 2006:** CIE Standard S 019/E: Photocarcinogenesis action spectrum (Non-Melanoma Skin Cancers). 2006

**CIE S007-1998:** Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose. 1998

**Davis, A., Deane, G. H. W., Diffey, B. L.:** Possible dosimeter for ultraviolet radiation. Nature 261 (1976), 169-170

**Diffey, B. L., Kervin, M., Davis, A.:** The anatomical distribution of sunlight. Br. J. Dermatol. 97 (1977), 407-409

**Diffey, B. L., Larkö, O., Meding, B., Edeland, H., Wester, U.:** Personal monitoring of exposure to ultraviolet radiation in the car manufacturing industry. Ann. Occupat. Hygiene 30 (1986), 163-170

**Diffey, B. L., Larkö, O., Swanbeck, G.:** UV-B doses received during different outdoor activities and UV-B treatment of psoriasis. Br. J. Dermatol. 106 (1982), 33-41

**Diffey, B. L., Saunders, P. J.:** Behaviour outdoors and its effects on personal ultraviolet exposure rate measured using an ambulatory datalogging dosimeter. Photochem. Photobiol. 61 (1995), 615-618

**Diffey, B. L.:** Ultraviolet radiation dosimetry with polysulphone film. In: Radiation Measurement in Photobiology. London: Academic Press Limited 1989, 135-159

**El Nagga, S., Gustat, H., Magister, H., Rochlitzer, R.:** An electronic personal UV-B-dosimeter, J. Photochem. Photobiol. B: Biol. 31 (1995), 87-90

**EN 14255-1 Incoherent optical radiation - Part 1:** Measurement and assesment of radiation exposures by artificial UV-sources in the workplace (Deutsche Version: DIN-EN 14255-1 Inkohärente optische Strahlung - Teil 1: Messung und Beurteilung von Strahlenexpositionen durch künstliche UV-Quellen am Arbeitsplatz. April 2005)



**prEN 14255-3: 2006:** Incoherent optical radiation - Part 3: Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation — Part 3: UV-Radiation emitted by the sun (Deutsche Version: DIN-prEN 14255-3:2006 Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung — Teil 3: Messung und Beurteilung von Strahlungsexpositionen durch die Sonne)

**EU-Richtlinie 2006:** Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rats über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) L 114/38 DE Amtsblatt der Europäischen Union 27.4.2006

**Fitzpatrick, T. B.:** The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI. Arch. Dermatol. 124 (1988) 869-671

**Galkin, O. N., Terenetskaya, I. P.:** 'Vitamin D' biosimeters: basic characteristics and potential applications. J. Photochem. Photobiol. B: Biol. 53 (1999), 12-19

**Gies, H. P., Roy, C. R., Herlihy, E., Rivers, J.:** (1992a) Personal dosimetry of solar UV-B using polysulphone film. IRPA Congress Proceedings 1 (1992), 791-794

**Gróf, P., Gáspár, S., Ronto, G.:** Use of uracil thin layer for measuring biologically effective UV dose. Photochem. Photobiol. 64 (1996), 800-806

**Herlihy, E., Gies, H. P., Roy, C. R., Jones, M.:** Personal dosimetry of solar UV radiation for different outdoor activities. Photochem. Photobiol. 60 (1994), 288-294

**IARC 1992:** International Agency for Research on Cancer (Hrsg.): Solar and Ultraviolet Radiation. Lyon: WHO 1992. (IARC Monographs on Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 55)

**ICNIRP 1996:** International Commission for Nonionizing Radiation Protection: Guidelines on UV radiation exposure limits. Health Physics 71 (1996), 978

**Jung, E. G., Anton-Lamprecht, I.:** Untersuchung über Albinismus. Arch. Derm. Forsch. 240 (1971), 123-137

**Knuschke, P., Barth, J., Gerlach, B.:** Einsatz von Polysulphonfolien zum Nachweis von UV-Bestrahlungsdefiziten. Aktuelle Derm. 19 (1993), 238-240

**Knuschke, P., Barth, J.:** Biologically weighted personal UV dosimetry. J. Photochem. Photobiol. B: Biol. 35 (1996a), 77-83

**Knuschke, P., Darrelmann, M., Gerlach, B., Lehmann, B., Liepe, K., Neumann, U., Wozel, G.:** Restoration of normal vitamin D-serum levels in elderly people by a long-term low dosage UV-phototherapy. Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. 12 (1996b), 251

**Knuschke, P., Bocionek, P., Lehmann, B., Pinzer, B., Meurer, M.:** Stimulation of 25(OH)D<sub>3</sub>-serum levels by minimized UV-exposures of different sunbed lamps in winter time. In: M. F. Holick, E. G. Jung, (Hrsg.): Biological effects of light 1998. Boston: Kluwer Academic Publisher 1999, 71-73

**Knuschke, P., Krins, A., Meurer, M.:** Individual extent of solar UV exposure in every day life. In: Baumstark-Khan, C., Kozubek, St., Horneck, G. (Hrsg.): Fundamentals for the assessment of risks from environmental radiation. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher 1999a, 75-80. (NATO Science Series 2: Environmental Security, 55)

**Knuschke, P., Krins, A., Meurer, M.:** Methodology for an epidemiological study of Individually received biological effective solar UV-exposure in the course of the year. In: Holick, M. F., Jung, E. G. (Hrsg.): Biological effects of light 1998. Boston: Kluwer Academic Publisher 1999b, 75-77

**Knuschke, P., Krins, A.:** UV-Personendosimetrie Teil B: Mit Verwendung des Polysulfonfilms als UV-Sensor. Hannover: Universitätsbibliothek und Technische Informationsbibliothek 2000. (F00B1544). Schlussbericht BMBF-Vorhaben 07UVB54B (2000)

**Knuschke, P., Krins, A., Meurer, M.:** Assessment of the UV-exposure distribution within the population by personal UV-monitoring. In: Rettberg, P., Horneck, G., Baumstark-Khan, C., Amanatidis, G. T. (Hrsg.): Biological UV dosimetry, a tool for assessing the impacts of UV radiation on health and ecosystems. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2000a, 228-234

**Knuschke, P., Koch, R., Krins, A., Kurpiers, M., Meurer, M.:** A model to estimate annual individual UV exposures in the Central European population. 9<sup>th</sup> ESP Congress, Lillehammer (N), September, 3-8, 2001. Programme and Book of Abstracts (2001), 54

**Knuschke, P., Kurpiers, M., Koch, R., Kuhlisch, W., Witte, K. :** Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung. Hannover: Technische Informationsbibliothek 2004. (F05B898). Schlussbericht BMBF-Vorhaben 07UV-B54C/3

**Knuschke, P., Kurpiers, M., Koch, R., Kuhlisch, W., Witte, K. .:** Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung. Hannover: Technische Informationsbibliothek 2004, 17-19 und Anhang 3. (F05B898). Schlussbericht BMBF-Vorhaben 07UV-B54C/3

**Knuschke, P., Kurpiers, M., Koch, R., Kuhlisch, W., Witte, K.:** Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung. Hannover: Technische Informationsbibliothek 2004, 20-21 und Anhang 4. (F05B898). Schlussbericht BMBF-Vorhaben 07UV-B54C/3

**Knuschke, P., Kurpiers, M.:** UV-Dosimetrie an Menschen. In: 200 Jahre solare UV-Strahlung: Geschichte und Perspektiven. Salzgitter: Wirtschaftsverl. NW /Verl. für neue Wissenschaft GmbH 2005a, 55-64. (BfS-Schriftenreihe, 36/05)

**Knuschke, P., Unverricht, I.:** 2. Zwischenbericht zum BAuA-Forschungsprojekt 1986 „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ (2005b)

**Knuschke, P., Unverricht, I., Koch, E., Popp, A., Ott, G. :** Monitoring des natürlichen Lichtschutzes der Haut. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Optische Strahlung - EU-Richtlinie und aktuelle Forschungsergebnisse. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2005c, 32-37

**Knuschke, P., Unverricht, I.:** 4. Zwischenbericht zum BAuA-Forschungsprojekt 1986 „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ (2006a)

**Knuschke, P.:** Personal UV monitoring in health prevention and risk analysis. UV News (2006b), 8, 62-63

**Krins, A., Dörschel, B., Henniger, J., Knuschke, P.:** Mathematical description of measuring effects in personal UV-dosimeters on the example of polysulphone film. Rad. Prot. Dosimetry. 78 (1998), 195-204

**Krins, A., Burger, P. M., Dörschel, B., Knuschke, P.:** Messung und Bewertung natürlicher und künstlicher UV-Strahlung. Hautarzt 50 (1999a), 701-705

**Krins, A., Dörschel, B., Henniger, J., Knuschke, P., Bais, A.:** Readings of polysulphone film after fractionated and continuous exposures to UV radiation and consequences for the calculation of the reading resulting from polychromatic UV radiation. Rad. Prot. Dosimetry, 83 (1999b), 303-308

**Krins, A., Dörschel, B., Henniger, J., Knuschke, P.:** Polysulfonfilm als UV-Personendosimeter. In: Krause, N., Fischer, M., Steimel, H.-P. (Hrsg.): Nichtionisierende Strahlung - mit ihr leben in Arbeit und Umwelt, 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Köln, 27.09.-01.10.1999c. Köln: TÜV-Verl. 1999, 265-274. (Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz)

**Krins, A.:** Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften von Polysulfonfilm zur Anwendung in der UV-Dosimetrie. Dissertation, Technische Universität Dresden 2000a

**Krins, A., Bolsée, D., Dörsche, B., Gillotay, D., Knuschke, P.:** Angular dependence of the efficiency of the UV sensor polysulphone film. Radiat. Prot. Dosimetry 87 (2000b) 261-266

**Krins, A., Dörschel, B., Henniger, J., Knuschke, P., Meurer, M.:** On the mathematical description of measuring effects in polysulphone film due to exposure to UVR. In: Rettberg, P., Horneck, G., Baumstark-Khan, C., Amanatidis, G. T. (Hrsg.): Biological UV dosimetry, a tool for assessing the impacts of UV radiation on health and ecosystems. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2000c, 246-247

**Krins, A., Dörschel, B., Knuschke, P., Seidlitz, H. K., Thiel, S.:** Determination of the calibration factor of polysulphone film UV dosimeters for terrestrial solar radiation. *Radiat. Prot. Dosimetry* 95 (2001), 345-352

**Larkö, O., Diffey, B.L.:** Occupational exposure to ultraviolet radiation in dermatology departments. *Br. J. Dermatol.* 114 (1986), 479-84

**Moehrle, M., Korn, M., Garbe, C.:** Bacillus subtilis spore film dosimeters in personal dosimetry for occupational solar ultraviolet exposure. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 73 (2000), 575-80.

**Munakata, N.:** Genotoxic action of sunlight upon bacillus subtilis spores: monitoring studies at Tokyo. *Japan J. Radiat. Res.* 30 (1989), 338-351

**Munakata, N.:** Killing mutagenic action of sunlight upon bacillus subtilis spores: a dosimetric system. *Mutat. Res.* 82 (1981), 263-268

**Ott, G., Janssen, M.:** Neuer Leitfaden Sonnenstrahlung. In: Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Hofmann, J. (Hrsg.): Nichtionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit. TÜV-Verlag, Köln, 2004, 123-130 (Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz FS-04-128-T)

**prEN 14255-3:2006:** Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation - Part 3: UV-Radiation emitted by the sun (Deutsche Version: DIN-prEN 14255-3:2006 Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung - Teil 3: Messung und Beurteilung von Strahlungsexpositionen durch die Sonne)

**Puskeppeleit, M., Quintern, L. E., el Naggat, S., Schott, J.-U., Eschweiler, U., Horneck, G., Bücker, H.:** Long-term dosimetry of solar UV radiation in Antarctica with spores of bacillus subtilis. *Appl. Environ. Microbiol.* 58 (1992), 2355-2359

**Quintern, L. E., Furusawa, Y., Fukutsu, K., Holtschmidt, H.:** Characterisation and application of UV detector spore films: the sensitivity curve of a new detector system provides good similarity to the action spectrum for UV-induced erythema in human skin. *J. Photochem. Photobiol B: Biol.* 37 (1997), 158-166.

**Ronto, G., Gáspár, S., Bérces, A.:** Phages T7 in biological UV measurement. *J. Photochem. Photobiol. B.* 12 (1992), 285-294

**SSK 1996:** Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 139. Sitzung 26.-28. Juni 1996. In: BMU (Hrsg.): Environmental UV-Radiation, Risk of Skin Cancer and Primary Prevention. Stuttgart: Gustav Fischer 1996, 9 (Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, 34)

**SSK 1998:** Ultraviolette Strahlung und malignes Melanom - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Stuttgart: Gustav Fischer 1998, 3. (Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 19)

**Terenetskaya, I. P.:** Provitamin D photoisomerization as a possible UV-B monitor: kinetic study using tunable dye laser. SPIE Proc. 2134B (1994), 135-140

**Treier, C., Schnauber, H., Messinesis, St., Hoffmann, V., Aliferis, K. :** Untersuchung der Außentätigkeiten unter unmittelbarer Einwirkung von Sonnenstrahlen. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 2000. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung, Fb 903)

**Unverricht, I., Janssen, M., Ott, G., Knuschke, P.:** UV-Monitoring an Arbeitsplätzen im Freien – eine Basis für ausgewogene Richtlinien zum Gesundheitsschutz. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Hrsg.): Optische Strahlung - EU-Richtlinie und aktuelle Forschungsergebnisse. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund 2005, 25-31

**Unverricht, I., Janßen, M., Ott, G., Knuschke, P.:** UV-monitoring at outdoor workplaces - A base for well-balanced health prevention regulations. UV News (2006), 8, 56-58

**Weber, M., Schwaiger, M., Schulmeiste, K., Brusl, H., Kindl, P., Knuschke, P.:** Comparison of measurement devices for the measurement of erythemal solar ultraviolet radiation during an outdoor-worker study in Austria. UV News (2006), 8, 31-32

## 10 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AG	Arbeitsgruppe
AOK	Allgemeine Ortskrankenkasse
AWI	Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGFE	Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CIE	Internationale Beleuchtungskommission (frz.: Commission Internationale de l'Éclairage)
DLR	Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt
DWD	Deutscher Wetterdienst
Fa.	Firma
FB	Forschungsbericht
FIOOSH	Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA)
GS	Globalstrahlung
ICNIRP	International Committee for Non-Ionisation Radiation Protection
IFSST	Institut Fédéral de la Sécurité et de la Santé au Travail (BAuA)
in-p	passive Innenbeschäftigte / indoor passive
Kap.	Kapitel
KV	Körperverteilung
KV <sub>dir</sub>	Körperverteilung bei direkter Sonneneinstrahlung
KV <sub>diff</sub>	Körperverteilung bei diffuser Sonneneinstrahlung
KW	Kalenderwoche
li	links
MEZ	Mitteeuropäische Zeit
MESZ	Mitteeuropäische Sommerzeit
mind.	mindestens
MP	Messperiode
MS	Microsoft
MZR	Messzeitraum
MW	Mittelwert
n. Br.	nördliche Breite
n. d.	keine Messdaten vorhanden (no data)
NL	Niederlande
NMSC	Non Melanoma Skin Cancer (Nicht-Melanom-Hautkrebs)
ö. L.	östliche Länge
PC	Personal Computer
PN	Personennummer
PSF	Polysulfonfilm
RBM	Robertson-Berger-Meter, RB-Meter
re	rechts
SRM	Spektralradiometer
S	Standardabweichung
SN	Seriennummer
SSK	Strahlenschutzkommission

Tab.	Tabelle
TU	Technische Universität
UBA	Umweltbundesamt
UV	ultraviolette Strahlung (100 bis 400 nm)
UV-A	Ultraviolett-A-Bereich (315 bis 400 nm)
UV-B	Ultraviolett-B-Bereich (280 bis 315 nm)
UV-C	Ultraviolett-C-Bereich (100 bis 280 nm)
ü. NN	über Normal-Null
WE	Wochenendtag
WT	Werktag/Arbeitstag
WOZ	wahre Ortszeit
ZFB	Zeitfragebögen
ZR od. ZB	5 Zeiträume oder Zeitbereiche für die Erfassung und Auswertung der UV-expositionsrelevanten Daten und UV-Expositionen

Größen und Maßeinheiten:

d	Tag
$E_{\text{ery}}$	erythem-effektive Bestrahlungsstärke
$E_{\text{ICNIRP}}$	ICNIRP-effektive Bestrahlungsstärke
$H_{\text{ery}}$	erythem-effektive Bestrahlung
min	Minute
n	Anzahl
SED	Standard-Erythemdosis ( $H_{\text{ery}} = 1 \text{ SED} = 100 \text{ J/m}^2$ )
T	Temperatur
$\Delta$	Differenz
$\gamma_s$	Sonnenhöhenwinkel

## 11 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 2.1</b>	Verfügbare Systeme für eine UV-Personendosimetrie und deren Einsatzfelder	17
<b>Tab. 3.1</b>	Übersicht der Teilnehmer an den jahreszeitlich zyklischen MP	22
<b>Tab. 3.2</b>	Übersicht der Teilnehmer an der kontinuierlichen Jahresmessung	23
<b>Tab. 3.3</b>	Berufsgruppenspezifische, typische Arbeitszeiten	24
<b>Tab. 3.4</b>	Durchgeführte Messperioden in den Jahren 2003 und 2004	33
<b>Tab. 3.5</b>	Dosimeter-Design einer Messperiode	34
<b>Tab. 3.6</b>	Dosimeter-Design je KW-MZR	35
<b>Tab. 3.7</b>	Kontinuierliche UV-Jahresmessung mit PSF-Personendosimetern Referenzsonnenhöhen für PSF-Auswertung und jahreszeitlich angepasste tägliche Personendosimeter-Tragezeiten	36
<b>Tab. 3.8</b>	Übersicht zur Durchführung von KV-Messungen	38
<b>Tab. 3.9</b>	Detaillierte Positionen der UV-Körperverteilungsmessungen	39
<b>Tab. 3.10</b>	Exemplarische Körperverteilungsmessungen	41
<b>Tab. 4.1</b>	Messergebnisse (gesamt) für die Position „Kopf oben“	56
<b>Tab. 4.2</b>	Mittlere erythem-effektive Bestrahlung $H_{\text{ery}}$ pro Tag von Innen- beschäftigten an Werktagen (WT) bzw. an Wochenendtagen (WE)	69
<b>Tab. 4.3</b>	Mittlere biol.-effektive UV-Jahresexpositionen	76
<b>Tab. 4.4</b>	Prozentuale Hauttypverteilung innerhalb der untersuchten Berufsgruppen und einer Bevölkerungsstichprobe aus dem Raum Dresden	81
<b>Tab. 4.5</b>	Prozentualer Anteil der Benutzung von Lichtschutzpräparaten innerhalb der Beschäftigten-Gruppen an Werktagen (Mai03/Juni04)	82
<b>Tab. 4.6</b>	Prozentualer Anteil der Benutzung von Lichtschutzpräparaten innerhalb der Beschäftigten-Gruppen an Freizeittagen (Mai03/Juni04)	83
<b>Tab. 4.7</b>	Ergebnis der Abfrage nach „freiem Oberkörper“ für die MP-Teil- nehmer getrennt nach Berufsgruppe und Zeitbereich an Werktagen	85
<b>Tab. 4.8</b>	Ergebnis der Abfrage nach „freiem Oberkörper“ für die MP-Teil- nehmer getrennt nach Berufsgruppe und Zeitbereich an Wochenendtagen	86
<b>Tab. 4.9</b>	Altersstruktur der Solarienbenutzer	87
<b>Tab. 5.1</b>	X2000-Datenlogger-Dosimeter der Laborinterkalibrierung SN der Geräte, Typ, SN der Sensoren	98
<b>Tab. 5.2</b>	Abweichungen der X2000-4 gegen die Halogen-Kalibrierlampe	99
<b>Tab. 5.3</b>	Übersicht zu Interkalibrierungsuntersuchungen unter Solar- strahlung unterschiedlicher Mittagssonnenhöhen	101
<b>Tab. 5.4</b>	Interkalibrierungsergebnisse der Radiometer im Verlauf des Projektes zu verschiedenen Jahreszeiten	102
<b>Tab. 5.5</b>	Interkalibrierung X2000-Erythemsensor zu Breitbandradiometer Verhältnisse der Ergebnisse für verschiedene Sonnenhöhenwinkel	108



<b>Tab. 5.6 a</b>	UVDAN-Messwerte zu Halogen-Kalibrierlampe (Erythem/ICNIRP)	109
<b>Tab. 5.6 b</b>	Interkalibrierung UVDAN zu Breitbandradiometer P9801 Ery-Sensor	109
<b>Tab. 5.7 a</b>	Feldversuch zur Interkalibrierung von vier in Deutschland verfügbaren UV-Personendosimetersystemen	113
<b>Tab. 5.7 b</b>	Globalstrahlungsmessung simultan zum Feldversuch zur personendosimetrischen Interkalibrierung	113
<b>Tab. 5.8</b>	Ergebnisse des personendosimetrischen Feldvergleichs bezogen auf den Polysulfonfilm	114
<b>Tab. 6.1</b>	Referenzbasis von Tagesdosen zur Bewertung solarer UV-Expositionen in Deutschland/Mitteleuropa.	116
<b>Tab. 6.2</b>	Referenz – Basiswert für kumulative UV-Jahresdosen	116
<b>Tab. 7.1</b>	UV-Exposition von Außenbeschäftigten in Relation zur Vergleichsgruppe (Referenzbasis)	121

## 12 Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 3.1 a</b>	Robertson-Berger-Meter und Polysulfonfilm-Dosimeter zur Messung der Globalstrahlung	27
<b>Abb. 3.1 b</b>	Spektroradiometer im klimatisierten Raum unter Messkopfträger	27
<b>Abb. 3.1 c</b>	Spektroradiometer-Messkopf und ICNIRP-, UV-A-, Ery-Breitband-Messkopf für solare UV-Globalstrahlungsmessung	27
<b>Abb. 3.2 a</b>	Datenlogger-UV-Dosimeter X2000 und PSF-UV-Dosimeter	29
<b>Abb. 3.2 b</b>	X2000 und PSF-Dosimeter in Tragetasche zur simultanen Messung der UV-Personendosis	29
<b>Abb. 3.3</b>	Messreihen des UV-Personenmonitorings im Rahmen des BAuA-Projektes F 1777	31
<b>Abb. 3.4</b>	Set zur Messung der UV-Körperverteilung unter Alltagsbedingungen an 19 Positionen	40
<b>Abb. 4.1 a-d</b>	Mittlere UV-Wochenexpositionen von Beschäftigten im Hochbau, der Landwirtschaft und der Müllabfuhr in Relation zu Innenbeschäftigten im jahreszeitlichen Vergleich	43
<b>Abb. 4.1 e-h</b>	Mittlere UV-Wochenexpositionen von Sportlehrern, Kindergärtnerinnen und Glasreinigern in Relation zu Innenbeschäftigten im jahreszeitlichen Vergleich	44
<b>Abb. 4.2 a-c</b>	Mittlere solare UV-Exposition an Werk- und Wochenendtagen ( $\gamma_s=42^\circ$ ) für 37. und 38. KW und für MP03_9 (Messdauer: 37. und 38. KW)	46
<b>Abb. 4.3</b>	Meteorologische Angaben zum Wetterumschwung zwischen 37. und 38. KW sowie innerhalb MP03_9	47
<b>Abb. 4.4</b>	Vergleich der mittleren UV-Expositionen von Landarbeitern bei 42°-Messperioden im September 2003 und im April 2004	48
<b>Abb. 4.5 a</b>	Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Bauarbeiter; Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf	50
<b>Abb. 4.5 b</b>	Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Landwirte; Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf	50
<b>Abb. 4.5 c</b>	Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Müllwerker; Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf	51
<b>Abb. 4.5 d</b>	Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Glasreiniger; Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf	51
<b>Abb. 4.5 e</b>	Streuung der individuellen UV-Expositionen in der Gruppe Sportlehrer; Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf	52
<b>Abb. 4.5 f</b>	Streuung der individ. UV-Expositionen in der Gruppe Kindergärtnerinnen; Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf	52
<b>Abb. 4.5 g</b>	Streuung der individ. UV-Expositionen in der Gruppe Innenbeschäftigte; Vergleich von Werktags- und Wochenendexpositionen im Jahresverlauf	53

<b>Abb. 4.6</b>	Mittlere tägliche Urlaubsexpositionen im Vergleich zu mittleren arbeitstäglichen UV-Expositionen (Gruppe Bau)	55
<b>Abb. 4.7</b>	Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Gärtner bei Mittagssonnenhöhe von (a) 15°, (b) 30°, (c) 42°, (d) 60°	57
<b>Abb. 4.8</b>	Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Müllwerker bei Mittagssonnenhöhe von (a) 15°, (b) 30°, (c) 42°, (d) 60°	59
<b>Abb. 4.9</b>	Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Kindergärtnerinnen bei Mittagssonnenhöhe von (a) 15°, (b) 30°, (c) 42°, (d) 60°	61
<b>Abb. 4.10</b>	Jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition relativ zur Referenzposition „Brust“ für Glasreiniger bei Mittagssonnenhöhe von (a) 15°, (b) 30°, (c) 42°, (d) 60°	63
<b>Abb. 4.11</b>	Vergleich der UV-Expositionslevel der untersuchten Beschäftigtengruppen innerhalb des MZR einer Jahreszeit: Mittagssonnenhöhe (a) 60°; (b) 42°, (c) 30°; (d) 15°	67
<b>Abb. 4.12</b>	Mittlerer Jahresverlauf der erythem-effektiven UV-Exposition pro Werktag im Verlauf der 1. bis 52. Kalenderwoche	71
<b>Abb. 4.13 a</b>	Körperverteilung der solaren UV-Jahresexpositionen der untersuchten Beschäftigtengruppen; Anteil aus Werktagen (Modell-Berechnung)	73
<b>Abb. 4.13 b</b>	Körperverteilung der solaren UV-Jahresexpositionen der untersuchten Beschäftigtengruppen; Anteil aus Wochenend-/Freizeit- und Feiertagen (Modell-Berechnung)	74
<b>Abb. 4.14</b>	Jahresverlauf der arbeitstäglichen UV-Personendosis $H_{ery}$ für: a) Bau-, b) Landarbeiter, c) Müllwerker, d) Glasreiniger, e) Sportlehrer, f) Kindergärtnerinnen, g) Innenbeschäftigte	77
<b>Abb. 4.15</b>	Mittlere erythem-effektive Wochenendexposition in SED/d in Abhängigkeit vom Hauttyp der Studienteilnehmer	84
<b>Abb. 4.16 a</b>	Befragungsstudie zum Wissen über die Sonnenwirkungen und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Frage 10)	90
<b>Abb. 4.16 b</b>	Befragungsstudie zum Wissen über die Sonnenwirkungen und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Frage 19)	91
<b>Abb. 4.16 c</b>	Befragungsstudie zum Wissen über die Sonnenwirkungen und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Frage 16)	92
<b>Abb. 5.1 a-b</b>	Radiometer-Interkalibrierung der auf der UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden mit dem Doppelmonochromator-Spektrometriemeter TDM 300	103
<b>Abb. 5.2</b>	Tagesverlauf der UV-A und biologisch gewichteten Strahlung am 21.09.2004	104

<b>Abb. 5.3</b>	Interkalibrierung von UVDAN gegen Breitbandradiometer P9801 mit Erythemsensor (Integr) nur über den Sonnenhöchststand (21.02.04)	105
<b>Abb. 5.4 a-b</b>	Interkalibrierung von UV-Personendosimetersystemen mit Doppelmonochromator-Spektroradiometer und biologisch-wichtenden Breitbandradiometern	106
<b>Abb. 5.5 a-c</b>	Interkalibrierung von X2000 und UVDAN gegen Breitbandradiometer P9801 mit Erythemsensor (Integr) über einen vollständigen Tagesgang (29.07.04) bei idealen Solarstrahlungsbedingungen	107
<b>Abb. 5.6</b>	Übereinstimmung der erythem-gewichteten Auswertung von PSF-Messungen gegen Spektroradiometermessungen	111
<b>Abb. 5.7</b>	Feldversuch zur Interkalibrierung von UV-Personendosimetern am Probanden unter Alltagsbedingungen	114
<b>Abb. 7.1</b>	Erhöhungsfaktor der UV-Jahresexposition durch Tätigkeit im Freien und prozentuale Anteile an der UV-Jahresexposition	120

## 13 Danksagung

Die Autoren danken den Herren Dipl.-Ing. G. Ott und Dipl.-Ing. M. Janßen für die Interkalibrierungen im Optiklabor der BAuA Dortmund und Zusammenarbeit bei den Feldinterkalibrierungskampagnen in Dresden sowie weiterhin ihnen und Dr. R. Pipke (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund) für die gute Betreuung und Unterstützung während der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Der Klinik und Poliklinik für Dermatologie danken die Autoren, namentlich Herrn Direktor Prof. Dr. M. Meurer, für die Förderung der Arbeiten des Forschungsprojektes.

Des Weiteren danken die Autoren den studentischen Hilfskräften D. Ackermann, Y. Donau, L. Fransecky, M. Kissig, D. Knuschke, J. Matz, H. Rönsch und M. Storch, die durch großes persönliches Engagement bei der Probandenbetreuung, der Eingabe von abertausenden Datensätzen, Messaufgaben, der Endredaktion dieses Berichtes oder der Software-Entwicklung zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

Für die präzise Umsetzung einer Vielzahl größerer und kleinerer feinmechanischer Spezialaufträge gilt der Dank Herrn Frank Steurich aus der Medizintechnik des UKD.

An dieser Stelle sei auch noch einmal der Dank an die Firmenleitungen und Institutionen ausgesprochen, die der Durchführung der personendosimetrischen Messungen in der Belegschaft zustimmten und darüber hinaus in einer Vielzahl von Fällen durch persönliches Engagement insbesondere die Probandengewinnung unterstützten:

- Agricultur GmbH
- Clemens Kleine GmbH
- Götz Gebäudedienstleistung GmbH
- Maria Heinisch Bau- und Projektbetreuung Makellos
- Övermann GmbH & Co. KG
- Piepenbrock Dienstleistung GmbH & Co. KG
- Schuppertbau GmbH
- Stadtreinigung Dresden GmbH
- Stölzer GmbH
- Universitätsklinikum Dresden
- WALTER BAU AG
- WOLFF & MÜLLER GmbH & Co. KG
- Kindergarten Bahnhofstr. 52
- Kindergarten Comeniusstr. 135
- Kindergarten Zöllnerstr. 2
- 101. Mittelschule
- Bertolt-Brecht-Gymnasium
- Joseph-Haydn-Gymnasium
- Kreuzschule
- Schule für Hörgeschädigte
- Sportgymnasium
- Sportmittelschule

Der größte Dank der Autoren gilt allen freiwilligen Teilnehmern der verschiedenen UV-Personenmonitoringuntersuchungen.

## **14 Anhang 1: Organisation des UV-Personenmonitorings**

**Anh. 1, Tab. 1** Ausfallzeiten für kontinuierliche, zeitaufgelöste UV-Personendosimetrie durch Reparaturzeiten an X2000-Datenlogger-Dosimetern (eingeschickt an Fa. Gigahertz-Optik GmbH)

X2000 SN	Fehlermeldung am	Reparaturzeit		Grund	Personengruppe
		von	bis		
2857		14.07.03	10.10.03	Fehleranalyse für Ausfälle aller Messgeräte/Logger	Bau / Stadtreinigung
alle		10.09.03	01.10.03	Austausch Batteriekontakte	alle
2854	15.12.03	16.12.03	05.05.04	Sporadische hohe Dunkelströme	Fensterputzer
1625		08.01.04	23.01.04	unempfindlich	Indoor
1625		26.01.04	18.02.04	Kalibrierwerte erheblich zu hoch bei solarer UV-Strahlung	Indoor
2857	12.02.04	18.02.04	21.03.04	Sporadische hohe Dunkelströme	Stadtreinigung
2862	12.02.04	18.02.04	21.03.04	Sporadische hohe Dunkelströme	Kindergärtnerin
2854	25.03.04	05.04.04	05.05.04	Sporadische hohe Dunkelströme	Fensterputzer
2857	25.03.04	05.04.04	05.05.04	Sporadische hohe Dunkelströme	Stadtreinigung
2859	25.03.04	05.04.04	05.05.04	Sporadische hohe Dunkelströme	Bau
2860	25.03.04	05.04.04	05.05.04	Sporadische hohe Dunkelströme	Sportlehrer
2864	25.03.04	05.04.04	05.05.04	Sporadische hohe Dunkelströme	Fensterputzer
2854	30.06.04	15.07.04	b.a.w.	ins Spülwasser gefallen	Fensterputzer

<b>Pers. Nr.</b>	
------------------	--

**Fragebogen zur Person und Sonnen-Exposition im Alltag**

Teilnehmer am Forschungsprojekt F 1777  
 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)  
 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“

**Zutreffendes bitte ankreuzen ☒ !**

1. Angaben zur Person

Name	_____	Adresse	_____	
Vorname	_____		_____	
geboren am	_____	Telefon	_____	
Tätigkeit (derzeitig)	_____	beschäftigt	<input type="radio"/> Vollzeit	<input type="radio"/> Teilzeit
				Std./Tag

Arbeitszeit	<input type="radio"/> Normal	<input type="radio"/> Schicht
	von _____ bis _____	von _____ bis _____
		von _____ bis _____

2. Ausbildung

Hauptschul- abschluß	Mittlere Reife	Abitur	Lehre	Meister	FS / FHS / HS / BA / Uni
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erlerner Beruf: _____					

3. Arbeitsweg

Wie gelangen Sie meistens zur Arbeitsstätte (z.B. Fahrrad und öffentliche Verkehrsmittel) und wie lang sind Sie unterwegs (Hin- und Rückweg zusammengenommen)?  
 Sollte Ihr Arbeitsweg jahreszeitlich unterschiedlich sein, notieren Sie bitte die entsprechenden Monate (z.B. 1 = Januar, 2 = Februar usw.).

	zu Fuß	mit Fahrrad	mit Auto	mit öffentlichen Verkehrsmitteln
Zeit (für Hin- & Rückweg pro Tag)	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min
Monat(e)	_____	_____	_____	_____

**Bitte weiter auf nächster Seite.**

**Anh. 1, Abb. 1 a** Allgemeine Teilnehmerdaten: Kontaktdaten, Ausbildung, Arbeitsweg (pauschal)



4. Welchen Freizeitaktivitäten gehen Sie im Allgemeinen nach? (ggf. unterschiedliche Angaben für Sommer und Winter)

im Sommer	_____
im Winter	_____

5. Mit welchen der folgenden Aktivitäten verbringen Sie hauptsächlich Ihr Wochenende?

	im Haus	im Garten	Spaziergänge	Aufenthalt mit Kindern im Freien	Freizeitsport im Freien	Wandern Klettern/ Radfahrer	Ausflüge (Auto/ Bahn/ Bus/ Motorrad)	Wassersport (Segeln/ Surfen)	Freibad	Sonnenbaden
im Sommer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	im Haus	im Garten	Spaziergänge	Aufenthalt mit Kindern im Freien	Freizeitsport im Freien	Wandern / Klettern / Radfahren	Ausflüge (Auto/Bahn/ Bus/Motorrad)	Wintersport
im Winter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Da die Häufigkeit von Freiluftaufhalten auch von der Betreuung der Kinder geprägt wird, bitten wir Sie in diesem Zusammenhang um folgende Angaben:

Haben Sie Kinder bzw. Enkelkinder?	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein
wenn ja,	<input type="radio"/> im Haushalt lebend bzw. ständiger Kontakt <input type="radio"/> besuchsweiser Kontakt
Geben Sie bitte die Geburtsjahre der Kinder bzw. Enkelkinder an:	_____

7. Haustiere

Haben Sie einen Hund, den Sie regelmäßig ausführen?	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein
-----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------

8. Gehen Sie ins Solarium und wie häufig pro Jahr?

	nie	1 bis 3 mal	4 bis 12 mal	mehr als 12 mal
Frühling	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sommer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Herbst	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Winter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

---

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.**

**Anh. 1, Abb. 1 b** Allgemeine Teilnehmerdaten: Freizeitaktivitäten (pauschal)

## Einwilligungserklärung

Ich bin gemäß §4 des Sächsischen Datenschutzgesetzes einverstanden, daß die im umseitigen Fragebogen erfaßten Daten zu meiner Person und meinen Lebensgewohnheiten gespeichert werden. Diese Einwilligung bezieht sich ausschließlich auf die Speicherung und Verwendung der Daten im Rahmen dieser Studie.

Mir wurde versichert, daß die Daten nur von Personen bearbeitet werden, die nach §6 SächsDSG auf das Datengeheimnis verpflichtet worden sind bzw. der ärztlichen Schweigepflicht unterliegen. Eine Weitergabe dieser Daten an andere Stellen für Zwecke der wissenschaftlichen Forschung (§30 SächsDSG) ist nur zulässig, a) wenn meine Einwilligung erneut eingeholt worden ist oder b) wenn die Daten soweit anonymisiert worden sind, daß ein Rückschluß auf meine Person ausgeschlossen ist.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

**Anh. 1, Abb. 1 c** Allgemeine Teilnehmerdaten: Einwilligungserklärung zum Datenschutz

WIRD VON UNS AUSGEFÜLLT:				
Probanden-Nr. :				
Hauttyp :	I	II	III	IV

### Fragebogen zur Bestimmung des Hauttyps

**Zur Bestimmung Ihres Hauttyps benötigen wir die folgenden Angaben von Ihnen:**

Zutreffendes bitte ankreuzen ☒ !

<b>Haarfarbe</b> (! ursprüngliche !)	rötlich/rotblond	<input type="checkbox"/>	
	hellblond	<input type="checkbox"/>	
	dunkelblond	<input type="checkbox"/>	
	braun	<input type="checkbox"/>	
	schwarz	<input type="checkbox"/>	
<b>Augenfarbe</b> (ggf. zwei Farben)	grau	<input type="checkbox"/>	
	grün	<input type="checkbox"/>	
	blau	<input type="checkbox"/>	
	braun	<input type="checkbox"/>	
<b>Hautfarbe</b> (Teinte)	sehr hell mit Sommersprossen	<input type="checkbox"/>	
	hell	<input type="checkbox"/>	
	hellbraun getönt	<input type="checkbox"/>	
	braun	<input type="checkbox"/>	
<b>Anzahl von Muttermalen</b> (Durchmesser größer als 3mm)	weniger als 5	<input type="checkbox"/>	
	5 - 9	<input type="checkbox"/>	
	10 - 19	<input type="checkbox"/>	
	20 - 39	<input type="checkbox"/>	
	mehr als 40	<input type="checkbox"/>	
<b>Sonnenbrandneigung</b>	immer	<input type="checkbox"/>	
	sehr stark	<input type="checkbox"/>	
	mäßig	<input type="checkbox"/>	
	gering bis nie	<input type="checkbox"/>	
<b>Hautbräunung</b>	nie	<input type="checkbox"/>	
	gering	<input type="checkbox"/>	
	deutlich	<input type="checkbox"/>	
	stark	<input type="checkbox"/>	
<b>starke Sonnenbrände</b>	<b>pro Jahr:</b>	<b>in der gesamten Kindheit:</b>	
	nie <input type="checkbox"/>	nie <input type="checkbox"/>	
	1 <input type="checkbox"/>	1 - 3 <input type="checkbox"/>	
	2 und mehr <input type="checkbox"/>	4 und mehr <input type="checkbox"/>	
<b>Verwendung von Sonnenschutzcreme</b>	Nie	Freizeit <input type="checkbox"/>	Arbeit <input type="checkbox"/>
	nur im Frühsommer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	immer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	bei Sonnenbädern, Wanderungen	<input type="checkbox"/>	
<b>Lichtschutzfaktor</b>	<b>Gesicht:</b>	<b>Körper:</b>	
	6 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	
	12 <input type="checkbox"/>	12 <input type="checkbox"/>	
	20 <input type="checkbox"/>	20 <input type="checkbox"/>	
	30 oder höher <input type="checkbox"/>	30 oder höher <input type="checkbox"/>	
<b>wenn Sonnenschutzpräparaten verwendet werden, seit wieviel Jahren</b>	5 Jahre	<input type="checkbox"/>	
	10 Jahre	<input type="checkbox"/>	
	15 Jahre	<input type="checkbox"/>	
	seit mehr als 15 Jahre	<input type="checkbox"/>	

**Anh. 1, Abb. 2**      Relevante Personendaten zur UV-Hauttyp-Bestimmung

Pers. Nr.	
-----------	--

Liebe Studienteilnehmer, wir bitten Sie noch um Angaben zu Ihrem

### Urlaub im Jahr 2003

**Wieviele Urlaubstage hatten Sie im gesamten Jahr 2003?** \_\_\_\_\_ Tage  
 (entsprechend Ihres Urlaubsscheines)

**Wieviele Urlaubstage nutzten Sie davon für Erholung?** \_\_\_\_\_ Tage  
 (im Unterschied zu Urlaubstagen die für Behördengänge, Umzüge und ähnliches genutzt wurden)

#### **Der Erholungsurlaub**

Wir interessieren uns für die Erholungsurlaube ab 5 Tagen am Stück (jetzt incl. Wochenende, Feiertage). Auch der Urlaub zu Hause ist wichtig. Bitte füllen Sie die folgende Tabelle mit Angaben zu Ihren Urlauben im Jahr 2003 aus. Kreuzen Sie bei den Aktivitäten pro Urlaub höchstens 2 der überwiegenden Aktivitäten an.

	Urlaub 1	Urlaub 2	Urlaub 3	Urlaub 4
<b>Zeitraum</b>	von bis	von bis	von bis	von bis
<b>Land</b>				
<b>Ort</b>				
<b>Region (falls bekannt geograf. Breitengrad)</b>				
<b>Lage am Meer/ See</b>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
<b>Höhenlage</b>	bis 500 m <input type="checkbox"/> 500–1200 m <input type="checkbox"/> über 1200 m <input type="checkbox"/>	bis 500 m <input type="checkbox"/> 500–1200 m <input type="checkbox"/> über 1200 m <input type="checkbox"/>	bis 500 m <input type="checkbox"/> 500–1200 m <input type="checkbox"/> über 1200 m <input type="checkbox"/>	bis 500 m <input type="checkbox"/> 500–1200 m <input type="checkbox"/> über 1200 m <input type="checkbox"/>
<b>Schnee</b>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
↓ Bitte kreuzen Sie pro Urlaub 1 oder 2 Aktivitäten an! ↓				
<b>Aufenthalt im Quartier, kurze Spaziergänge</b>				
<b>Wandern, Radfahren</b>				
<b>Erholung und Arbeit im Garten</b>				
<b>Baden, Sonnen, Camping</b>				
<b>Aufenthalt auf dem Wasser (Wassersport z.B. Surfen, Boot fahren) und Angeln</b>				
<b>Besichtigungen, Stadtgänge, Autotourismus</b>				
<b>Sonstiges (Bitte benennen!)</b>				

**Anh. 1, Abb. 3** Teilnehmerdaten zum Urlaubsjahr 2003 mit Freizeitaktivitäten im Freien und geografischen Angaben zum Urlaubsort

TU Dresden / Medizinische Fakultät  
 Klinik und Poliklinik für Dermatologie  
 Experimentelle Photobiologie

## UV- Personendosimetrie

Pers. Nr.:	
Dosimeter	Werktag
	Wochenende

<b>31./32. Kalenderwoche :</b> Montag <b>26. Juli 2004</b> – Sonntag <b>08. August 2004</b> <b>Tägliche Tragezeit:</b> 7.00 bis 19.00 Uhr Das <b>dunkelgraue</b> Dosimeter wird an <b>Werktagen</b> getragen. Das <b>hellgraue</b> Dosimeter wird am <b>Wochenende</b> getragen. • Die gerade nicht benötigten Dosimeter bitte in dunklem Behältnis oder auf der Vorderfläche abgelegt aufbewahren! • <b>Krankheit</b> oder einzelne <b>Urlaubstage</b> bitte auf dem <b>Zeitprotokoll</b> vermerken und an diesen Tagen das hellgraue <b>Dosimeter</b> tragen! Zum <b>Montag</b> bzw. zum <b>Samstag</b> die Dosimeter entsprechend der auf der Rückseite <b>angegebenen Nummern</b> wechseln!
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

bitte beantworten Sie wieder die **Fragen 1. und 2.** und bitte füllen Sie das Protokoll über Ihre **Aufenthaltszeiten** im Freien vollständig aus.

<b>1.</b> An wieviel Tagen in diesen Messwochen benutzen Sie die jeweiligen Möglichkeiten für den Weg zur Arbeit?	<b>31. Kalenderwoche</b>	zu Fuß	Fahrrad	Auto + zu Fuß		Öffentliche Verkehrsmittel + zu Fuß + Fahrrad + Auto				
	Hin- und Rückweg in Minuten	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min
	Anzahl der Tage	_____ Tage	_____ Tage	_____ Tage		_____ Tage				
	<b>32. Kalenderwoche</b>	zu Fuß	Fahrrad	Auto + zu Fuß		Öffentliche Verkehrsmittel + zu Fuß + Fahrrad + Auto				
	Hin- und Rückweg in Minuten	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min	_____ min
	Anzahl der Tage	_____ Tage	_____ Tage	_____ Tage		_____ Tage				

<b>2.</b> Welchen Freizeitaktivitäten bzw. Hobbies gehen Sie derzeit nach?	Freizeit im Freien mit körperl. Aktivität	Freizeit im Freien - ohne körperl. Aktivität	Freizeit im Gebäude - ohne körperl. Aktivität	Freizeit im Gebäude - mit körperl. Aktivität	Rest
	Angeln <input type="checkbox"/>	Motorrad <input type="checkbox"/>	Fernsehen/PC <input type="checkbox"/>	Fitness <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>
	Ballsport/außen <input type="checkbox"/>	Reisen <input type="checkbox"/>	Freunde/Disco/ <input type="checkbox"/>	Hallensport <input type="checkbox"/>	sonstiges <input type="checkbox"/>
	Eigenheim <input type="checkbox"/>	Sportzuschauer <input type="checkbox"/>	Besuche im Haus <input type="checkbox"/>	Schwimmhalle <input type="checkbox"/>	_____
	Fahrrad <input type="checkbox"/>	Balkon/Terrasse <input type="checkbox"/>	Kinder <input type="checkbox"/>	Hilfsorganisationen <input type="checkbox"/>	_____
	Freibad <input type="checkbox"/>	Garten <input type="checkbox"/>	Lesen <input type="checkbox"/>	_____	_____
	Garten <input type="checkbox"/>	Sauna <input type="checkbox"/>	Musik <input type="checkbox"/>	_____	_____
	Skaten/Joggen <input type="checkbox"/>	Solarium <input type="checkbox"/>	Spielen/innen <input type="checkbox"/>	_____	_____
	Spazieren <input type="checkbox"/>	Sonnen <input type="checkbox"/>	Theater/Museum/ Kino <input type="checkbox"/>	_____	_____
	Spielen/außen <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____
Sport/außen <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Wandern/Klettern <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Wassersport <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!**

Bei Rückfragen rufen Sie uns bitte an:      Telefon      0351 - 458 3155 / 3552 oder  
 Fax      0351 - 458 8474 / 5759

**Anh. 1, Abb. 4 a**      Vorderseite des Protokolls zum Probandentagebuch (Beispiel: Messperioden 04KW31 und 04KW32)

Bitte machen Sie hier **Angaben über Ihre Aufenthaltszeit im Freien, zu Ihrer Kleidung und zum Lichtschutzfaktor** im entsprechenden Tageszeitraum. Machen Sie zunächst die Angabe über Ihre Aufenthaltszeit im Freien. Kreuzen Sie dann an, ob Sie im entsprechenden Tagesabschnitt geschwitzt haben (S), ob Sie kurzärmelig (A) bekleidet waren, ob Sie einen kurzen Rock oder eine kurze Hose getragen haben (B) und ob Sie eine Kopfbedeckung trugen (K). Falls Sie ein Sonnenschutzmittel verwendet haben, tragen Sie bitte in der Spalte LSF den Lichtschutzfaktor des Präparates ein.

**LSF** - benutzter Lichtschutzfaktor      **B** - kurze Hose oder Rock      **OK** - freier Oberkörper  
**A** - kurzärmelig      **K** - mit Kopfbedeckung      **S** - geschwitzt

**Runden** Sie die Dauer auf **viertel Stunden** auf oder ab (Bsp: 45 Min. = 0,75 ; 1 h = 1) Aufenthalt in Fahrzeugen ist kein Aufenthalt im Freien !. Geben Sie die Zeiten getrennt an als:

**Normaler Aufenthalt im Freien**    oder    **erhöhte Sonneneinwirkung bei Aufenthalt am und auf dem Wasser**

Tag	Merkmal	Arbeitszeit krank/Urlaub		vor 9 Uhr					9 – 12 Uhr					12 – 14 Uhr					14 – 17 Uhr					nach 17 Uhr					Dosimeter getragen? Welches?										
		von	bis	Zeit	LSF	A	B	K	OK	S	Zeit	LSF	A	B	K	OK	S	Zeit	LSF	A	B	K	OK	S	Zeit	LSF	A	B			K	OK	S						
Beispiel		6:30	16:00	1,75						2,25							1,25	1	X		X			2	1	X		X			0,5		X					blau	<input checked="" type="radio"/>
Mo 26.07.																																				blau	<input type="radio"/>		
Di 27.07.																																				blau	<input type="radio"/>		
Mi 28.07.																																				blau	<input type="radio"/>		
Do 29.07.																																				blau	<input type="radio"/>		
Fr 30.07.																																				blau	<input type="radio"/>		
Sa 31.07.																																				blau	<input type="radio"/>		
So 01.08.																																				blau	<input type="radio"/>		
Mo 02.08.																																				blau	<input type="radio"/>		
Di 03.08.																																				blau	<input type="radio"/>		
Mi 04.08.																																				blau	<input type="radio"/>		
Do 05.08.																																				blau	<input type="radio"/>		
Fr 06.08.																																				blau	<input type="radio"/>		
Sa 07.08.																																				blau	<input type="radio"/>		
So 08.08.																																				blau	<input type="radio"/>		

Anh. 1, Abb. 4 b Rückseite des Protokolls zum Probandentagebuch (Beispiel: Messperioden 04KW31 und 04KW32)

**Wetterinformation**

- zu:
- Temperatur
  - Himmel:  
heiter / wolkig / dunstig / Nebel
  - Niederschlag:  
kein / Regen / Schneeregen / Schneefall

Name:	
Urlaubsort:	
Personennummer	
Dosimeternummer für Person	
Dosimeternummer für Totalstrahlung	

Positionierung der Gesamtstrahlungsdosimeter:

- Dosimeter flach (horizontal) auf einem Dach ?      Dosimeter vertikal mit „Blick“ nach Süden ?
- Abweichende Anbringung: - Dosimeter im Schatten von .....Uhr bis .....Uhr
- Dosimeter nicht exakt nach Süden, sondern Himmelsrichtung:
- ggf. weitere Hinweise:

Datum	Merkmal	vor 9 Uhr	9-12 Uhr	12-14 Uhr	14-17 Uhr	nach 17 Uhr
	Temperatur					
	Himmel					
	Niederschlag					
	Temperatur					
	Himmel					
	Niederschlag					
	Temperatur					
	Himmel					
	Niederschlag					
	Temperatur					
	Himmel					
	Niederschlag					
	Temperatur					
	Himmel					
	Niederschlag					
	Temperatur					
	Himmel					
	Niederschlag					

Falls Sie mit Kindern unterwegs sind: Wie alt sind die Kinder?

**Anh. 1, Abb. 4 c** Probandentagebuch: Protokoll zum Wetter im Urlaub sowie zur Positionierung der PSF-Dosimeter für die Globalstrahlungsmessung am Urlaubsort

Probandengruppe: **Landwirte**

**Tätigkeitsbeschreibung - Jahresübersicht 2003**

Liebe Studienteilnehmer,

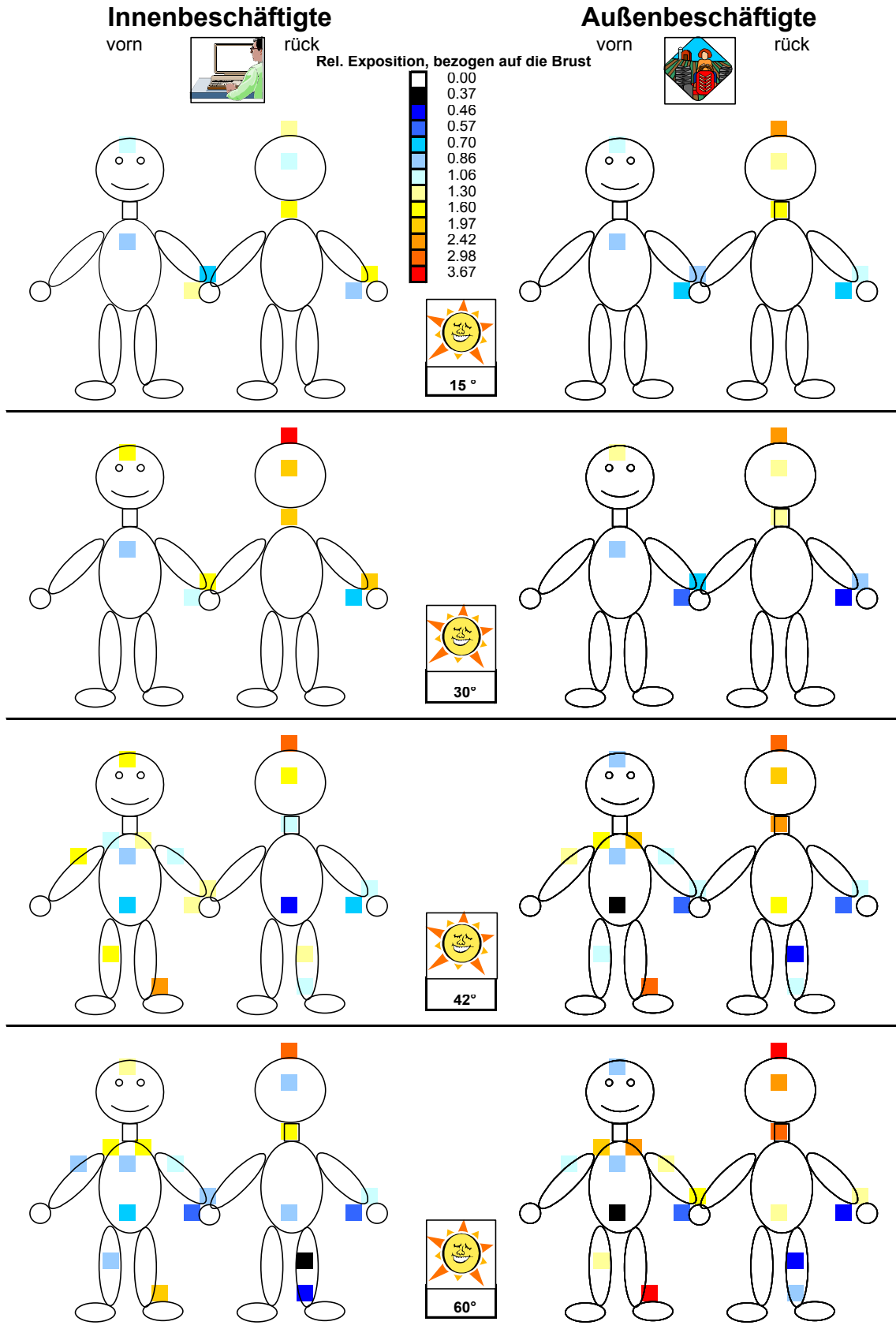
die Arbeit in landwirtschaftlichen Betrieben ist durch eine Vielzahl wechselnder Tätigkeiten an unterschiedlichen Orten und unter verschiedenen Bedingungen geprägt.

Um genaue Hinweise zu den Belastungen der Beschäftigten und zu den in dieser Studie besonders interessierenden Expositionszeiten unter freiem Himmel zu erhalten, bitten wir Sie für jeden Monat die für Sie **typischen** berufsbedingten Tätigkeiten zu beschreiben!

Monat	Art der Tätigkeit	Körperhaltung (Stunden pro Tag oder Tage pro Monat)	bediente Fahrzeuge bzw. Maschinen (Stunden pro Tag oder Tage pro Monat)	Sonstiges(arbeitslos, Überstunden-Frei, u.ä.)
Beispiel	Feld bearbeiten ohne Fahrzeuggehäuse, Schädlinge bekämpfen, düngen, säen, ernten; Tiere pflegen, Pflanzgut aufbereiten o.ä.	3 Stunden gebückte Haltung, 2 Stunden aufrechte Haltung, 4 Stunden im Fahrzeug	Traktor, Gabelstapler	
Januar				
Februar				
März				

Seite 2: weiter bis Dezember





BMBF\_07UVB54C/3 (Kurpiers, Knuschke 2002)

Anh. 1, Abb. 6

Übersicht zur jahreszeitlich, mit der Sonnenhöhe variierenden Körperverteilung der solaren UV-Exposition (Wetter: klarer Himmel)

**Excel Auswertung für DosimeterDBs** (C) 2003 Mathias Kissig, Hautklinik TU Dresden

1. Messzeitraum auswählen

MZR-Daten per Hand eingeben  
Datum von:

Messzeitraum aus Liste auswählen  
Datenbankpfad angeben:  ...

Messzeitraum auswählen:

2. RB-Datenbank auswählen  
Datenbankpfad angeben:  ...

3. Dosimeter-Datenbanken auswählen

<input type="checkbox"/>	1625	<input checked="" type="checkbox"/>	2854	<input checked="" type="checkbox"/>	2858	<input checked="" type="checkbox"/>	2862
<input checked="" type="checkbox"/>	2126	<input checked="" type="checkbox"/>	2855	<input checked="" type="checkbox"/>	2859	<input checked="" type="checkbox"/>	2864
<input checked="" type="checkbox"/>	2136	<input checked="" type="checkbox"/>	2856	<input checked="" type="checkbox"/>	2860	<input checked="" type="checkbox"/>	2865
<input checked="" type="checkbox"/>	2142	<input checked="" type="checkbox"/>	2857	<input checked="" type="checkbox"/>	2861	<input checked="" type="checkbox"/>	2877

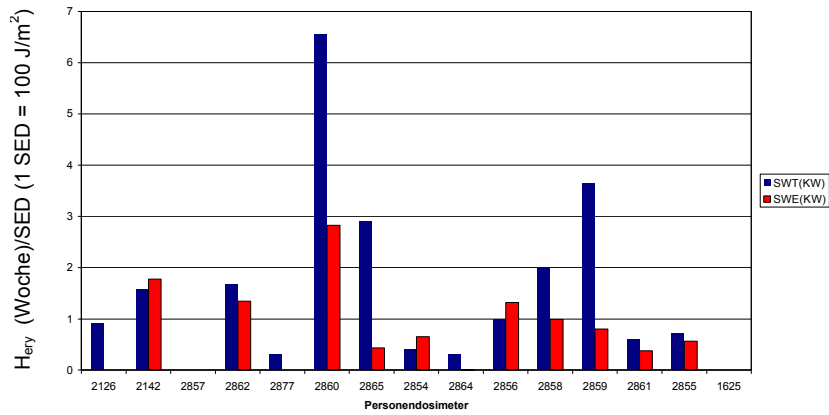
4. Daten einlesen und für Ery-Wert auswerten

5. Auswertung für Temperatur/ UVA

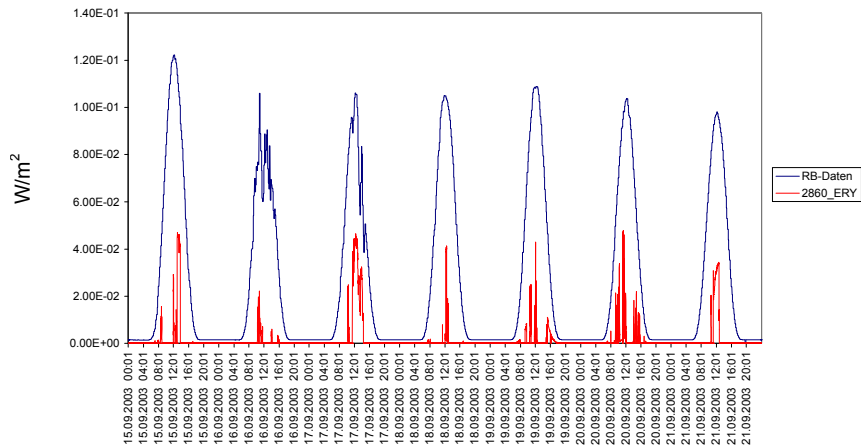
### Anh. 1, Abb. 7 a Datenreduzierendes, makrogesteuertes Excel-Tabellensystem X2000\_graf0.xls

- wählbarer Messzeitraum (MZR hier: Kalenderwochen vgl. Kap. 3.3.2.2)
- Globalstrahlungsdaten des RB-Meters für gemeinsame Grafik pro X2000-Personendosimeter
- Wahl der auszuwertenden X2000-Geräte (Zugriff auf Datenbank des Geräts)
- Wahl der Auswertung bezüglich:
  - Erythem-Sensor
  - UV-A-Sensor
  - Temperatursensor
- Kumulative Werte:
  - in Tabellenform; in Grafik
  - pro Kalendertag; pro Summe Werktag; pro Summe Wochenendtage

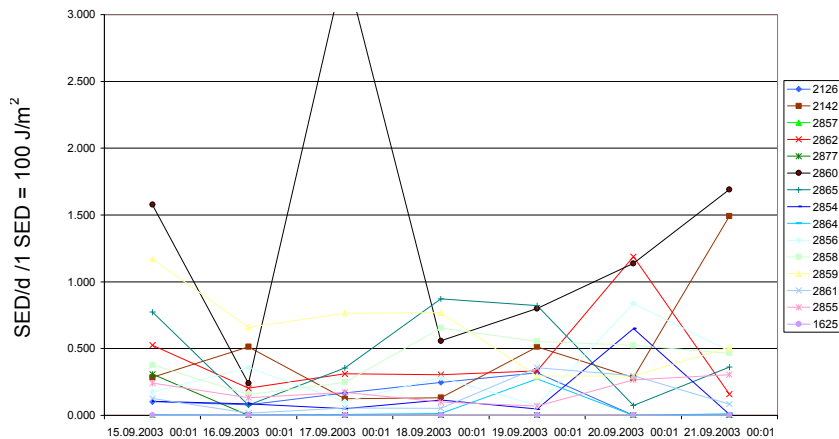
Wochensummen ery.-eff. Bestrahlungen  $H_{ery}/SED$   
aus 5 Werktagen bzw. 2 Wochenendtagen der 38. KW 2003



Erythem-effektive UV-Personenexpositionen  
im Tagesverlauf in der 38. KW 2003



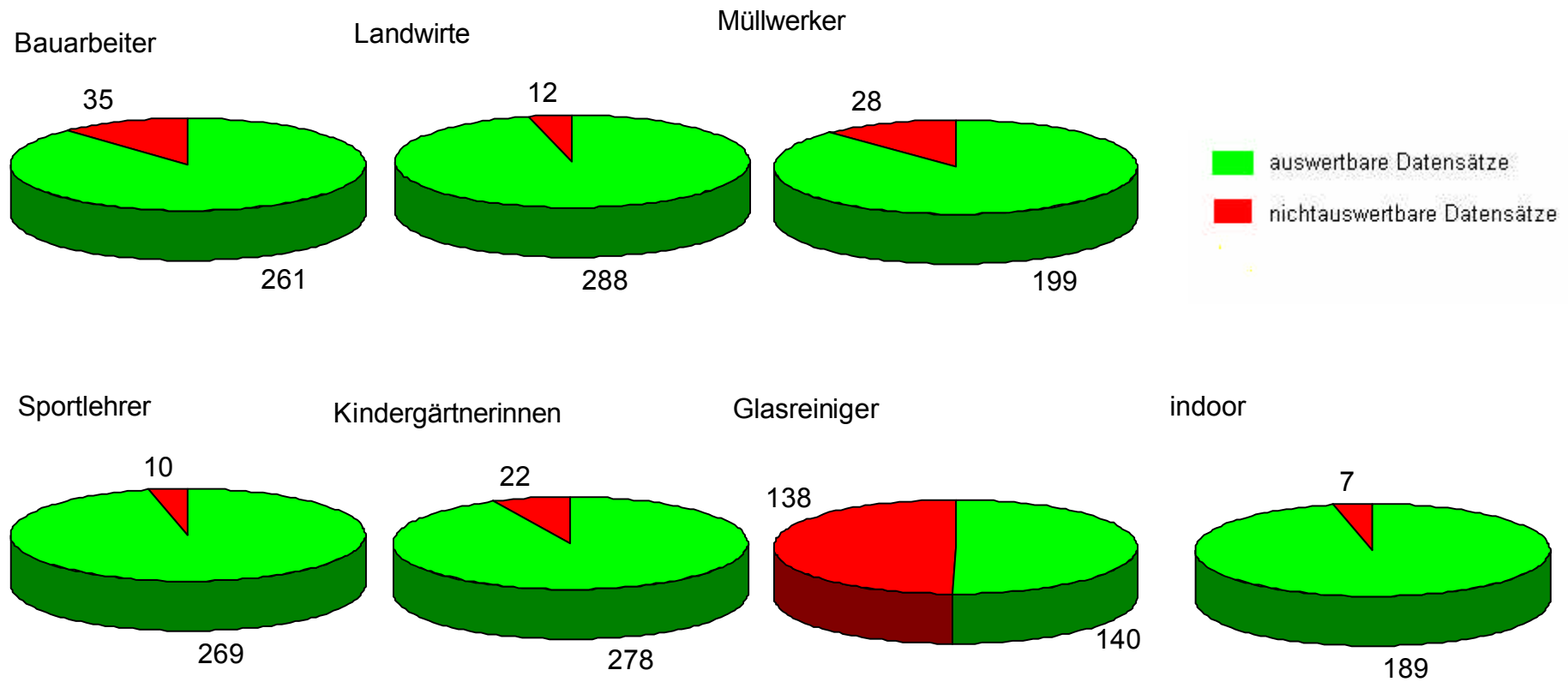
Tagesdosis erythem-effektiver UV-Bestrahlung  $H_{ery}/SED$   
der 38. KW 2003



Anh. 1, Abb. 7 b-d Übersichtsergebnisse zu X2000-Personendosimetrie mit Hilfe der Software „UVgraf“



**Anh. 1, Abb. 8 a** Übersicht zu „verifizierten Datensätzen“ für Werktage (kontinuierliche Jahresmessung); Übereinstimmung von Messwerten der PSF-Dosimeter mit den Protokollangaben



**Anh. 1, Abb. 8 b** Übersicht zu „verifizierten Datensätzen“ für Wochenendtage (kontinuierliche Jahresmessung); Übereinstimmung von Messwerten der PSF-Dosimeter mit den Protokollangaben

Pers.-Nr.

**Liebe Studienteilnehmer/innen,**  
 sicherlich ist Ihnen vieles zum Thema Sonne und Schutz vor Sonnenbrand bekannt. Jedes Jahr zu Beginn des Sommers findet man zudem auch eine Vielzahl von Berichten in den Medien. In Verbindung mit unseren Untersuchungen interessiert uns

**Ihre Meinung zum Thema Sonnenstrahlung !**

Von manchen Fragen wird in der Presse und Informationsbroschüren angenommen, dass es jeder weiß. Das ist keinesfalls so. Scheuen Sie sich also nicht, auch das Feld „weiß nicht“ anzukreuzen. Wir bitten Sie, die folgenden Fragen spontan zu beantworten.

**Die Sonnenstrahlung und ihre Wirkungen**

<b>1.</b> Welche Wirkung(en) hat die Sonnenstrahlung auf den Menschen?	gefährdet ausschließlich <input type="checkbox"/> hat vorrangig positive Effekte <input type="checkbox"/> positive oder negative Effekte, je nach Besonnungszeit <input type="checkbox"/> weiß nicht <input type="checkbox"/>																																							
<b>2.</b> Welche der aufgeführten Strahlen der Sonne können wir nur an der Wirkung spüren, aber nicht mit unserem Augen sehen?	Ultraviolett-Strahlen (UV-Strahlen) <input type="checkbox"/> Infrarot- Strahlen (IR-Strahlen) <input type="checkbox"/> Sichtbare Strahlen (Licht) <input type="checkbox"/> weiß nicht <input type="checkbox"/>																																							
<b>3.</b> Welche der genannten Körperteile kann die UV-Strahlung erreichen? (Mehrfachnennungen möglich)	<table style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Augen</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Haut</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Knochen</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Muskeln</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">innere Organe</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">weiß nicht</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Augen	Haut	Knochen	Muskeln	innere Organe	weiß nicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																											
Augen	Haut	Knochen	Muskeln	innere Organe	weiß nicht																																			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																			
<b>4.</b> Welche der aufgeführten Effekte auf den Menschen durch die Sonnenstrahlung wird durch deren UV-Strahlungsanteil bewirkt? (Bitte links ankreuzen)  Welcher der links ausgewählten <u>UV-Strahlenwirkungen</u> hat eine gesundheitsfördernden Einfluss auf uns. (Bitte rechts ankreuzen)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%; border: 1px solid black;">Ergebnis von UV-Strahlenwirkung</th> <th style="width: 80%; border: 1px solid black;"></th> <th style="width: 10%; border: 1px solid black;">gesundheitsfördernde UV-Strahlenwirkung</th> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Sonnenbrand</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Sehen der Umwelt</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Knochenröntgen</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Hautalterung</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Vitamin D-Produktion</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Wärmewirkung der Sonne</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Verbesserung der Gemütslage</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Sonnenstich</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Schneeblindheit</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">höheres Hautkrebsrisikos</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">Hautbräunung</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td style="border: 1px solid black;">weiß nicht</td> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Ergebnis von UV-Strahlenwirkung		gesundheitsfördernde UV-Strahlenwirkung	<input type="checkbox"/>	Sonnenbrand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sehen der Umwelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Knochenröntgen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hautalterung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vitamin D-Produktion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wärmewirkung der Sonne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Verbesserung der Gemütslage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sonnenstich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Schneeblindheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	höheres Hautkrebsrisikos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hautbräunung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	weiß nicht	<input type="checkbox"/>
Ergebnis von UV-Strahlenwirkung		gesundheitsfördernde UV-Strahlenwirkung																																						
<input type="checkbox"/>	Sonnenbrand	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Sehen der Umwelt	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Knochenröntgen	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Hautalterung	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Vitamin D-Produktion	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Wärmewirkung der Sonne	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Verbesserung der Gemütslage	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Sonnenstich	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Schneeblindheit	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	höheres Hautkrebsrisikos	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	Hautbräunung	<input type="checkbox"/>																																						
<input type="checkbox"/>	weiß nicht	<input type="checkbox"/>																																						
<b>5.</b> Wieviel Sonne brauchen wir (Frühling bis Herbst) für die gesundheitsförderliche Wirkung durch die UV-Strahlung?	a) Körperfläche:- ein Ganzkörperpersonenbad <input type="checkbox"/> kein Ganzkörperpersonenbad <input type="checkbox"/> b) Zeitdauer: täglich 30 min sonnen <input type="checkbox"/> täglich 10 min sonnen <input type="checkbox"/> 2x wöchentlich 15 min im Freien sein <input type="checkbox"/> weiß nicht <input type="checkbox"/>																																							

**Anh. 1, Abb. 9 a** Fragebogen zum Wissen über Wirkungen der solaren UV-Strahlung und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Seite 1)

## Schutz der Haut vor zu intensiver UV-Strahlung der Sonne

6. Die Menschen reagieren unterschiedlich empfindlich auf die UV-Strahlung in Bezug auf Sonnenbrand und Hautbräunung. Welcher der Hauttypen reagiert empfindlicher auf die Sonne?	Hauttyp I <input type="checkbox"/>							
	oder Hauttyp IV <input type="checkbox"/>							
	weiß nicht <input type="checkbox"/>							
7. Welcher Hauttyp sind Sie?	Hauttyp I <input type="checkbox"/>	Hauttyp II <input type="checkbox"/>	Hauttyp III <input type="checkbox"/>	Hauttyp IV <input type="checkbox"/>	weiß nicht <input type="checkbox"/>			
8. Wieviele Minuten können Sie sich im Mai im Freien (ohne Sonnenschutz) aufhalten, ohne einen Sonnenbrand zu bekommen?	10 – 15 min <input type="checkbox"/>	15 – 20 min <input type="checkbox"/>	20 – 25 min <input type="checkbox"/>	25 – 30 min <input type="checkbox"/>	30 – 35 min <input type="checkbox"/>	35 – 40 min <input type="checkbox"/>	weiß nicht <input type="checkbox"/>	
9. In welchem Tageszeitraum ist das Sonnenbrandrisiko (von April bis September) zu beachten?	von 12 bis 14 Uhr <input type="checkbox"/>		von 11 bis 15 Uhr <input type="checkbox"/>		von 10 bis 16 Uhr <input type="checkbox"/>		weiß nicht <input type="checkbox"/>	
10. Woran bemerken Sie, dass Sie nicht länger in der Sonne bleiben dürfen, um keinen Sonnenbrand zu bekommen?	die Haut wird warm <input type="checkbox"/>							
	die Haut rötet sich <input type="checkbox"/>							
	man merkt es gar nicht, frühestens nach drei Std. <input type="checkbox"/>							
	weiß nicht <input type="checkbox"/>							
11. Kreuzen Sie die Reihenfolge (1; 2; 3; 4 od. ungeeignet) von Maßnahmen an, mit denen der Schutz vor zu hoher UV-Strahlung durch die Sonne erfolgen sollte.	Reihenfolge: 1 2 3 4 ungeeignet							
	langärmelige Kleidung und Kopfbedeckung				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Vorbräunen im Solarium				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Vorbräunen durch die Sonne				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sonnenereme mit Lichtschutzsubstanzen				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	weiß nicht				<input type="checkbox"/>			
12. Welche der aufgeführten Körperregionen halten Sie aus Ihrer Erfahrung für empfindlicher und deshalb als stärker zu schützen? (Mehrfachnennungen möglich)?	Stirn <input type="checkbox"/>	Bauch <input type="checkbox"/>						
	Ohren <input type="checkbox"/>	Arme <input type="checkbox"/>						
	Nase <input type="checkbox"/>	Oberschenke <input type="checkbox"/>						
	Lippen <input type="checkbox"/>	Waden <input type="checkbox"/>						
	Hals <input type="checkbox"/>	Schienenbein <input type="checkbox"/>						
	Schultern <input type="checkbox"/>	Nacken <input type="checkbox"/>						
	Rücken <input type="checkbox"/>	Augen <input type="checkbox"/>						
		weiß nicht <input type="checkbox"/>						

## Sonnenschutz durch Lichtschutzmittel

13. Was sagt bei einer Sonnencreme ein LSF 20 (Lichtschutzfaktor 20) aus?	mit Creme: 20 min in der Sonne geschützt <input type="checkbox"/>	
	mit Creme: 20fach besser geschützt als ohne Creme <input type="checkbox"/>	
	weiß nicht <input type="checkbox"/>	
14. Führt zweimaliges Auftragen der Sonnenschutzcreme innerhalb von zwei bis drei Stunden zu doppeltem Lichtschutz?	ja <input type="checkbox"/>	
	nein <input type="checkbox"/>	
	weiß nicht <input type="checkbox"/>	
15. Ist an einem sonnigen Sommertag das einmalige Auftragen einer Lichtschutzcreme mit sehr hohem Lichtschutzfaktor (größer LSF 30) ausreichend?	ja, es sei denn man geht ins Wasser bzw. schwitzt durch körperliche Anstrengung <input type="checkbox"/>	
	ja, reicht generell <input type="checkbox"/>	
	nein, ist nicht für einen Tag ausreichend <input type="checkbox"/>	
	weiß nicht <input type="checkbox"/>	
16. Wie oft können Sie aus einer typischen 200ml-Flasche Sonnencreme bzw. Sonnenmilch, bei vorschriftgemäßer Anwendung für optimalen UV-Schutz, den gesamten Körper eincremen?	ein mal <input type="checkbox"/>	
	fünf mal <input type="checkbox"/>	
	zwanzig mal <input type="checkbox"/>	
	vierzig mal <input type="checkbox"/>	
	weiß nicht <input type="checkbox"/>	

Anh. 1, Abb. 9 b Fragebogen zum Wissen über Wirkungen der solaren UV-Strahlung und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Seite 2)

17. Wie lange vor einem Aufenthalt im Freien muss ein Sonnenschutzmittel aufgetragen werden, damit Sie ausreichend geschützt sind?	1 Stunde vorher <input type="checkbox"/>	20 Minuten vorher <input type="checkbox"/>	unmittelbar vorher <input type="checkbox"/>	weiß nicht <input type="checkbox"/>
18. Welchen Lichtschutzfaktor würden Sie an einem sonnigen Sommertag bei noch sonnenungewöhnlicher Haut verwenden: a) in Deutschland, b) im Mittelmeerraum	a) in Deutschland <input type="checkbox"/>	6 – 10 <input type="checkbox"/>	b) im Mittelmeerraum <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	10 – 20 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	20 – 30 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	größer 30 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	weiß nicht <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Vorhersagen im Wetterbericht zur Sonnenbrandwirksamkeit der Sonnenstrahlung

19. Kennen Sie die Angabe „UV-Index“ aus den Wetterbericht?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
20. Was bedeutet in den Sommermonaten die Angabe UVI 10 (UV-Index 10) im Wetterbericht?	mittags (10– 15 Uhr) Sonnencreme mit LSF 10 auftragen <input type="checkbox"/>	
	mittags (10- 15 Uhr) UV-Intensitätsstufe 10; (Sonnenbrand bei ungeschützter Haut nach 15 min möglich) <input type="checkbox"/>	
	weiß nicht <input type="checkbox"/>	
21. Ist im Mittelmeerraum mit der Sonne des „sonnigen Südens“ mittags bei UV-Index 8 sonnenbrandwirksamer als in unseren „nördlichen Gefilden“ bei UV-Index 8?	ja, im Süden wirksamer <input type="checkbox"/>	nein, gleich wirksam <input type="checkbox"/>
	weiß nicht <input type="checkbox"/>	
22. Ab welcher UV-Index-Stufe würden Sie Ihre Haut bei einem Aufenthalt im Freien von mehr als 10 – 15 Minuten durch Zusatzmaßnahmen schützen?	UV-Index größer 2 <input type="checkbox"/>	UV-Index größer 5 <input type="checkbox"/>
	UV-Index größer 8 <input type="checkbox"/>	weiß nicht <input type="checkbox"/>

### Ihre Einschätzung zur Sonne und zur einer möglichen Gefährdung

23. Gibt es Ihrer Meinung nach Personengruppen, die durch hohe Sonnenbestrahlung gefährdet sein können?	keine Personengruppe ist durch die Sonnenstrahlung gefährdet <input type="checkbox"/>			
	alle Menschen sind gleichermaßen gefährdet <input type="checkbox"/>			
	Kinder <input type="checkbox"/>			
	ständig im Gebäude arbeitende Personen <input type="checkbox"/>			
	ständig im Freien arbeitende Personen <input type="checkbox"/>			
	Personen mit lichtausgelösten Hauterkrankungen <input type="checkbox"/>			
	Personen die bestimmte Medikamente einnehmen <input type="checkbox"/>			
	Kraftfahrer <input type="checkbox"/>			
	Schrebergärtner <input type="checkbox"/>			
	Mittelmeerurlauber/Winterurlauber im Süden <input type="checkbox"/>			
	Hochgebirgsurlauber <input type="checkbox"/>			
	weiß nicht <input type="checkbox"/>			
24. Ist bei ständiger Arbeit im Freien die Haut durch die Gewöhnung an die Sonne:	eher geschützt <input type="checkbox"/>		eher gefährdet <input type="checkbox"/>	
25. Meinen Sie, dass sie sich persönlich ausreichend vor den negativen Wirkungen der Sonne schützen?	ja, ich schütze mich ausreichend <input type="checkbox"/>			
	nein, ich schütze mich nicht ausreichend <input type="checkbox"/>			
	ich weiß nicht, ob mein Schutz ausreichend ist <input type="checkbox"/>			
	ich halte Sonnenschutz für mich nicht für erforderlich <input type="checkbox"/>			
26. Wie schätzen Sie Untersuchungen ein, die sich mit dem Thema UV-Strahlung und Hautkrebs beschäftigen,?	sehr wichtig <input type="checkbox"/>	wichtig <input type="checkbox"/>	weniger wichtig <input type="checkbox"/>	unwichtig <input type="checkbox"/>

### Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Bei Rückfragen rufen Sie uns bitte an:

**Telefon**  
**Fax**

0351-458 3155 / 3552 oder  
351-458 8474 /

**Anh. 1, Abb. 9 c** Fragebogen zum Wissen über Wirkungen der solaren UV-Strahlung und den Schutz vor zu hohen Expositionen (Seite 3)





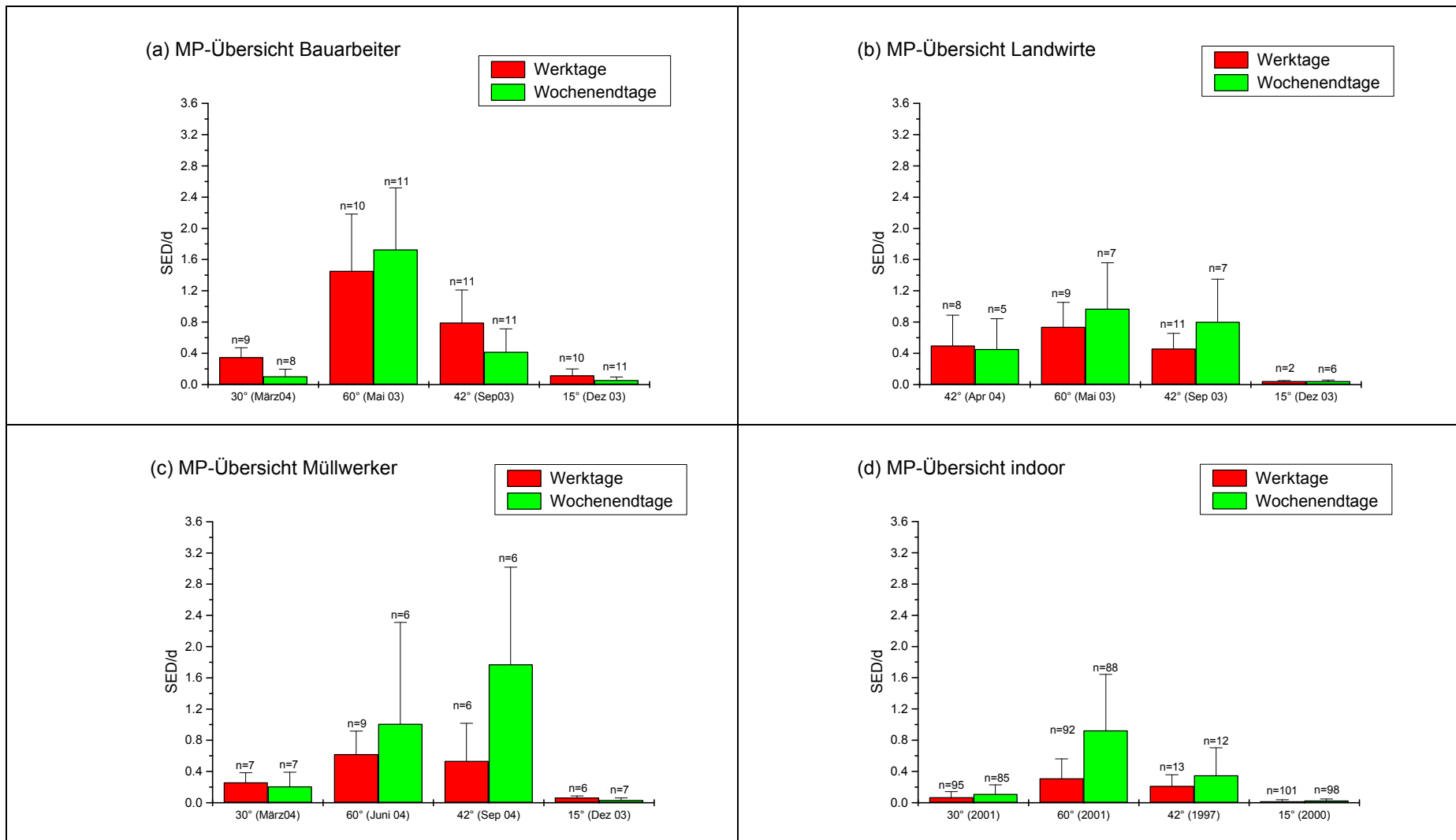
## **15 Anhang 2: Detailergebnisse des UV-Personenmonitorings**

**Anh. 2, Tab. 1a** Mittlere UV-Jahresexpositionen von 19 Körperarealen aus Werktags- und aus Wochenendexpositionen bei Bauarbeitern, Landwirten, Müllwerkern im Vergleich zu Innenbeschäftigten (bei passiver bzw. bei aktiver Freizeit im Freien am Wochenende)

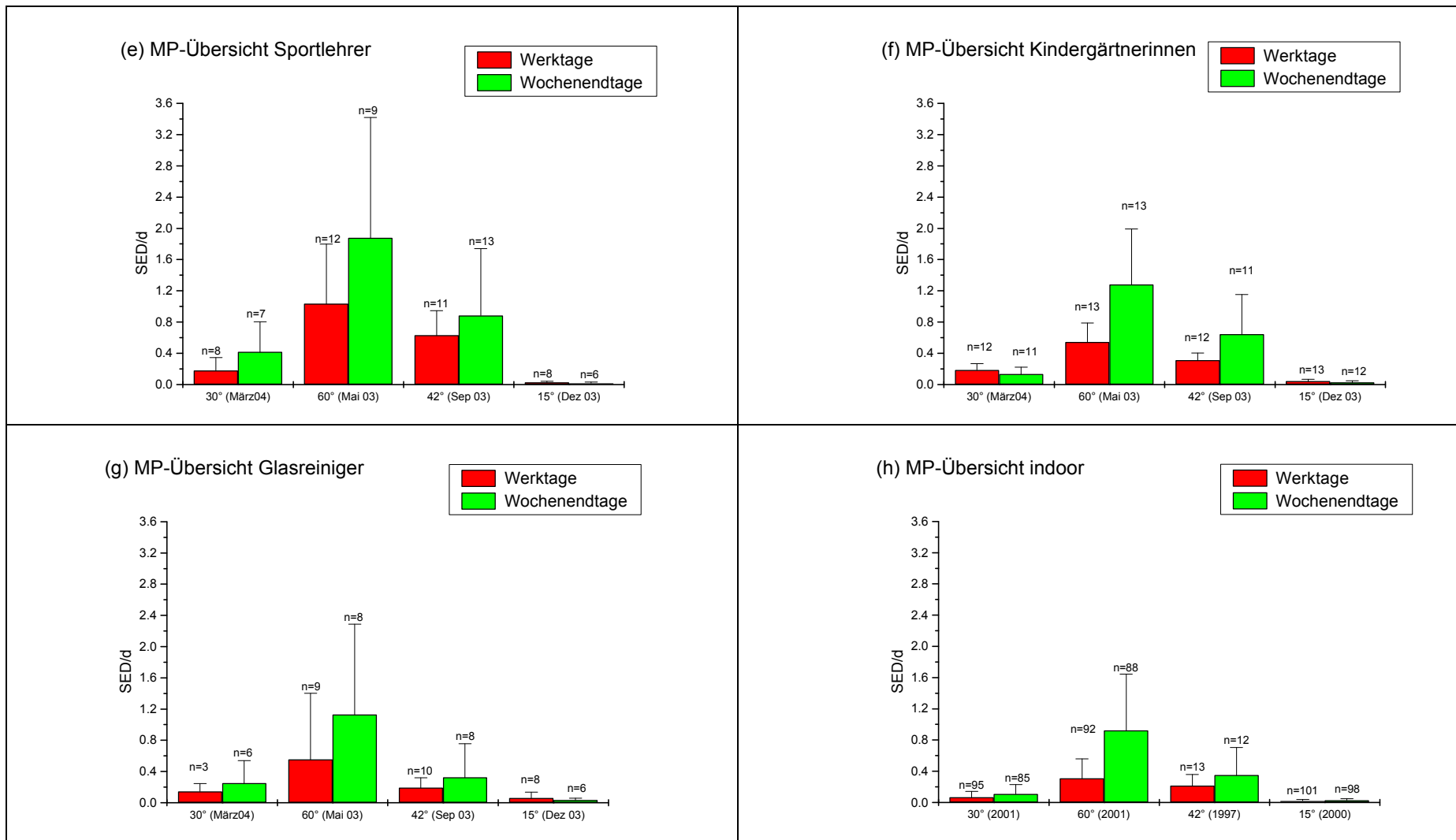
<b>H<sub>ery</sub>(Jahr) / SED Körperareal</b>	<b>Bauarbeiter</b>		<b>Landwirte</b>		<b>Müllwerker</b>		<b>indoor</b>		
	<b>WT</b>	<b>WE</b>	<b>WT</b>	<b>WE</b>	<b>WT</b>	<b>WE</b>	<b>WT</b>	<b>WE_pass</b>	<b>WE_act</b>
Stirn	244	70	212	98	152	132	38	48	120
Haupt / oben	546	150	475	211	340	284	83	104	265
Haupt / hinten	212	63	185	89	132	119	34	44	107
Nacken	278	81	242	114	173	154	44	56	140
Schulter / oben links	244	60	212	85	152	114	35	42	113
Schulter / oben rechts	235	58	205	82	147	110	33	40	109
Rücken / unterer	122	30	106	42	76	57	17	21	57
Brust	166	47	144	66	103	89	26	33	82
Bauch	113	28	98	39	70	53	16	19	52
Oberarm / außen / li	159	39	138	55	99	75	23	27	73
Handgelenk / außen / li	191	55	166	77	119	104	30	38	94
Handgelenk / innen / li	148	46	128	64	92	86	24	32	76
Oberarm / außen / re	169	42	147	59	105	80	24	29	77
Handgelenk / außen / re	213	64	185	90	133	121	34	44	108
Handgelenk / innen / re	117	35	102	48	73	65	19	24	59
Oberschenkel / vorn	167	42	145	59	104	79	24	29	77
Oberschenkel / hinten	83	21	72	30	52	40	12	15	38
Wade / hinten	94	24	82	33	59	45	14	17	43
Fußrücken	309	77	269	108	193	146	44	54	142

**Anh. 2, Tab. 1 b** Mittlere UV-Jahresexpositionen von 19 Körperarealen aus Werktags- und aus Wochenendexpositionen bei Sportlehrern, Kindergärtnerinnen, Glasreinigern im Vergleich zu Innenbeschäftigten (bei passiver bzw. bei aktiver Freizeit im Freien am Wochenende)

<b>H<sub>ery</sub>(Jahr) / SED</b> <b>Körperareal</b>	<b>Sportlehrer</b>		<b>Kiga</b>		<b>Glasreiniger</b>		<b>indoor</b>		<b>indoor</b>	
	<b>WT</b>	<b>WE</b>	<b>WT</b>	<b>WE</b>	<b>WT</b>	<b>WE</b>	<b>WT</b>	<b>WE_pass</b>	<b>WE_act</b>	
Stirn	161	122	109	73	85	64	38	48	120	
Haupt / oben	361	263	245	156	190	137	83	104	265	
Haupt / hinten	140	111	95	66	74	58	34	44	107	
Nacken	184	142	125	85	97	74	44	56	140	
Schulter / oben links	161	106	109	63	85	55	35	42	113	
Schulter / oben rechts	156	102	105	61	82	53	33	40	109	
Rücken / unterer	81	53	55	31	43	28	17	21	57	
Brust	109	83	74	49	58	43	26	33	82	
Bauch	74	49	50	29	39	25	16	19	52	
Oberarm / außen / li	105	69	71	41	55	36	23	27	73	
Handgelenk / außen / li	126	97	86	57	67	50	30	38	94	
Handgelenk / innen / li	98	80	66	48	51	42	24	32	76	
Oberarm / außen / re	112	74	76	44	59	39	24	29	77	
Handgelenk / außen / re	141	112	95	67	74	58	34	44	108	
Handgelenk / innen / re	77	61	52	36	41	31	19	24	59	
Oberschenkel / vorn	110	73	75	44	58	38	24	29	77	
Oberschenkel / hinten	55	37	37	22	29	19	12	15	38	
Wade / hinten	62	42	42	25	33	22	14	17	43	
Fußrücken	204	135	139	80	108	70	44	54	142	

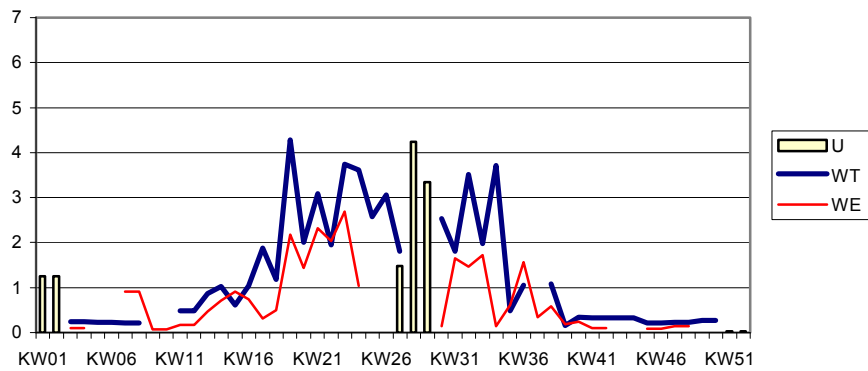


**Anh. 2, Abb. 1 a-d** Mittlere erythem-effektive UV-Tagesexpositionen von Beschäftigten im Hochbau, der Landwirtschaft und der Müllabfuhr in Relation zu Innenbeschäftigten im jahreszeitlichen Vergleich



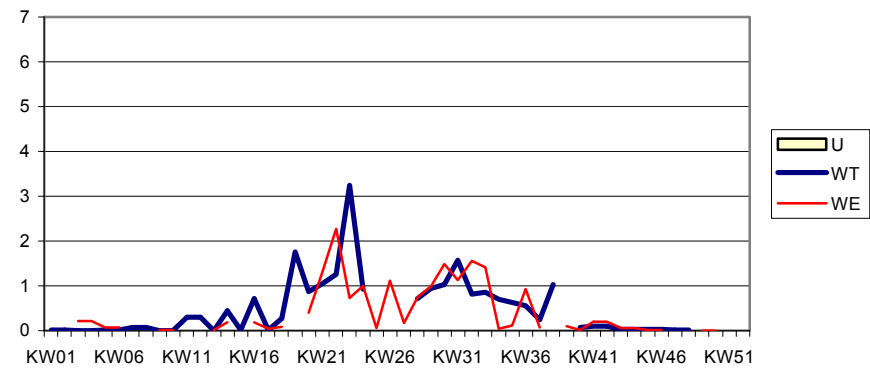
**Anh. 2, Abb. 1 e-h** Mittlere erythem-effektive UV-Tagesexpositionen von Sportlehrern, Kindergärtnerinnen und Glasreinigern in Relation zu Innenbeschäftigten im jahreszeitlichen Vergleich

**Bauarbeiter (PN 9)**



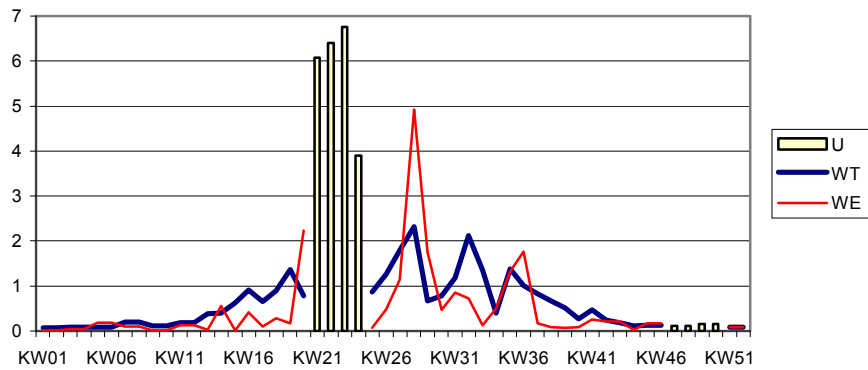
(a)

**Landwirt (PN 51)**



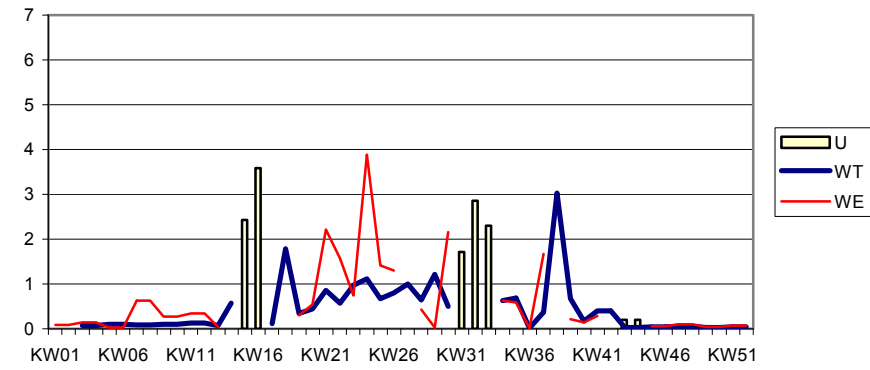
(b)

**Müllwerker (PN 117)**



(c)

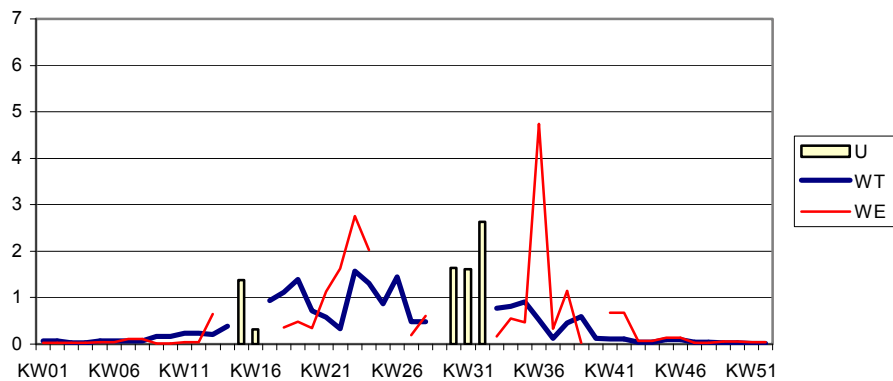
**Sportlehrer (PN 3)**



(d)

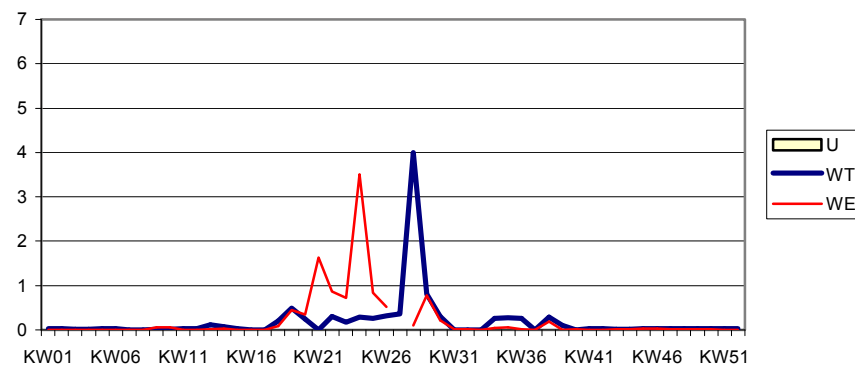
**Anh. 2, Abb. 2 a-d** Individuelle erythem-effektive UV-Expositionen, kontinuierlich über 52 Wochen  
Werktags-, Wochenend-/Freizeit- und Urlaubs-Expositionen gemessen (exemplarisch ein Proband je Gruppe)

**Kindergärtnerin (PN 39)**



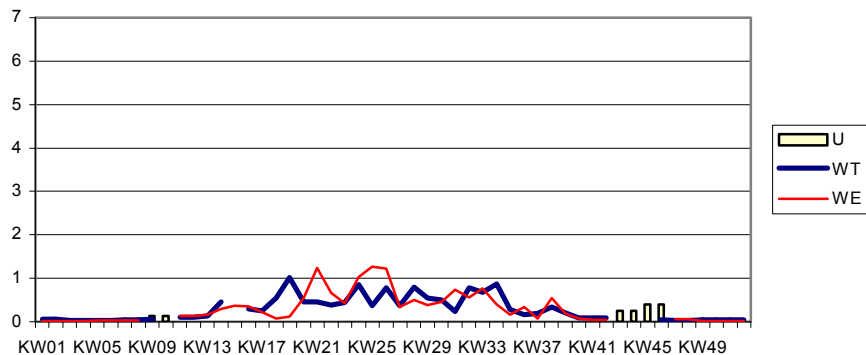
(e)

**Glasreiniger (PN 87)**



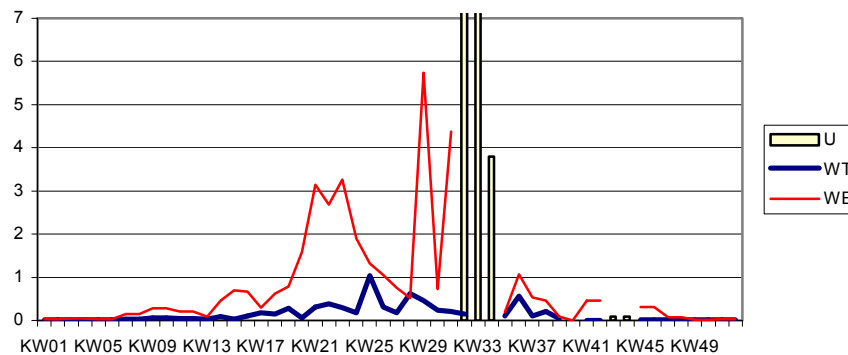
(f)

**Innenbeschäftigter (PN 88)**



(g)

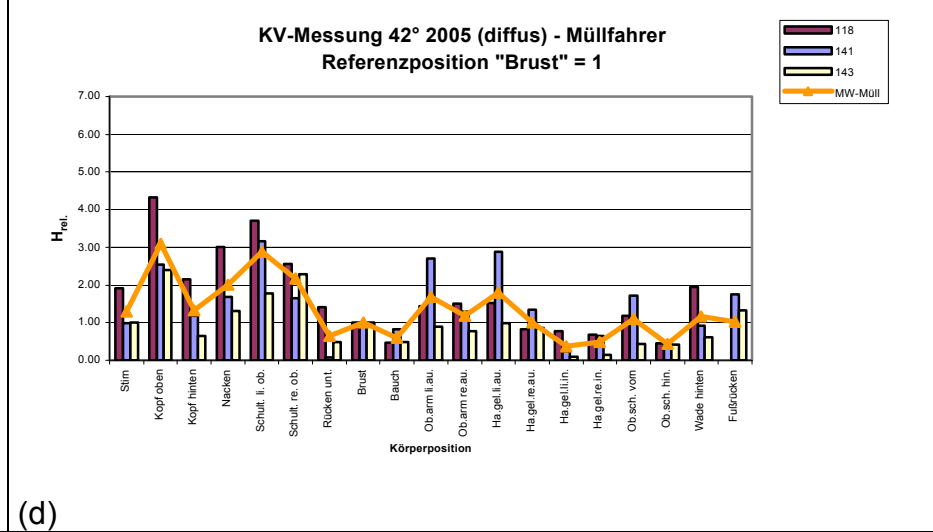
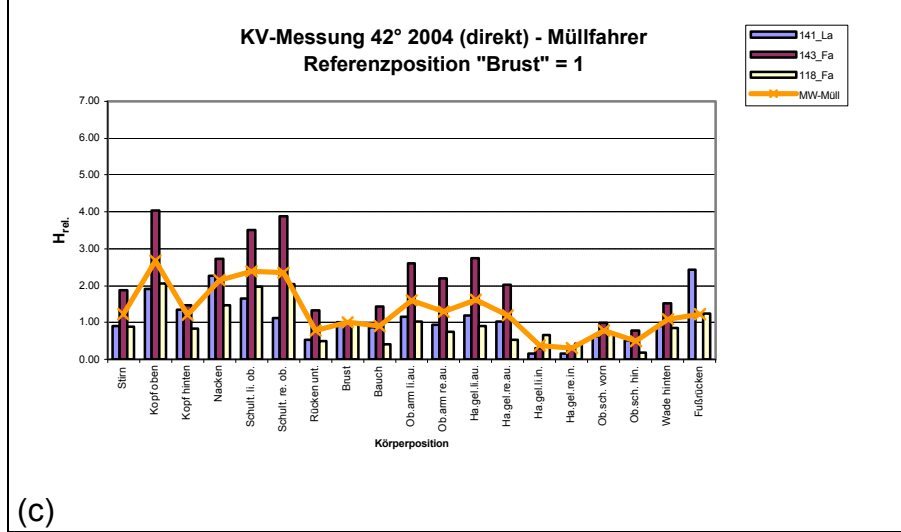
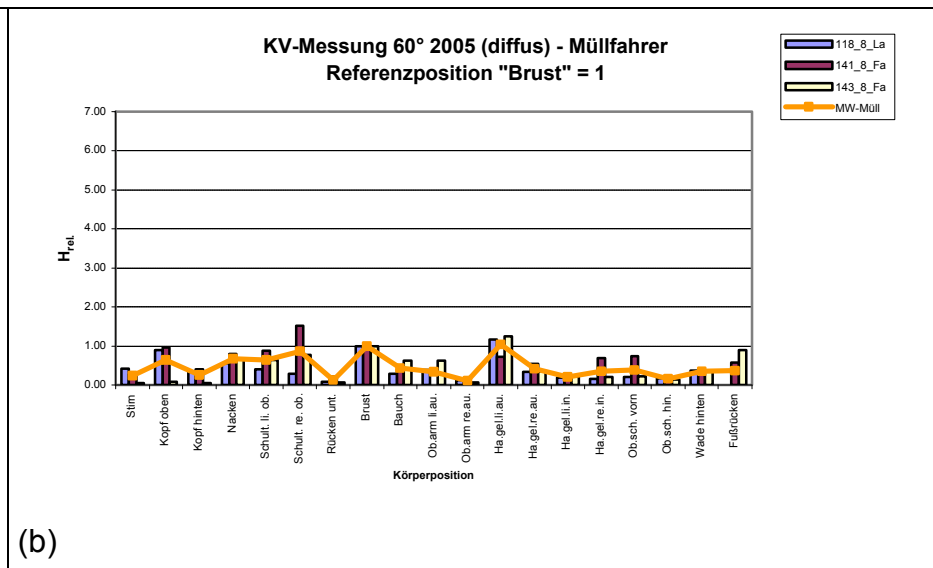
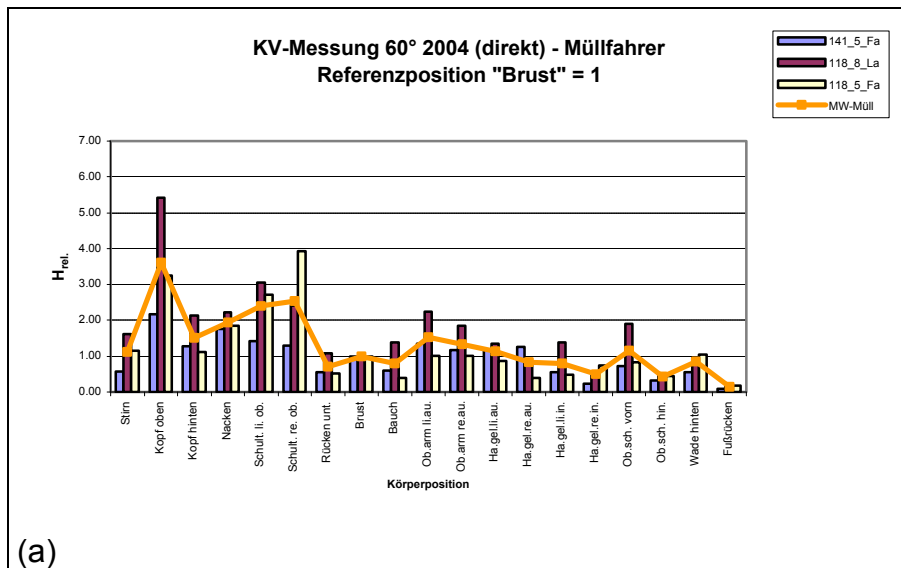
**Innenbeschäftigter (PN 90)**



(h)

**Anh. 2, Abb. 2 e-h** Individuelle erythem-effektive UV-Expositionen, kontinuierlich über 52 Wochen  
Werktags-, Wochenend-/Freizeit- und Urlaubs-Expositionen gemessen (exemplarisch ein Proband je Gruppe)

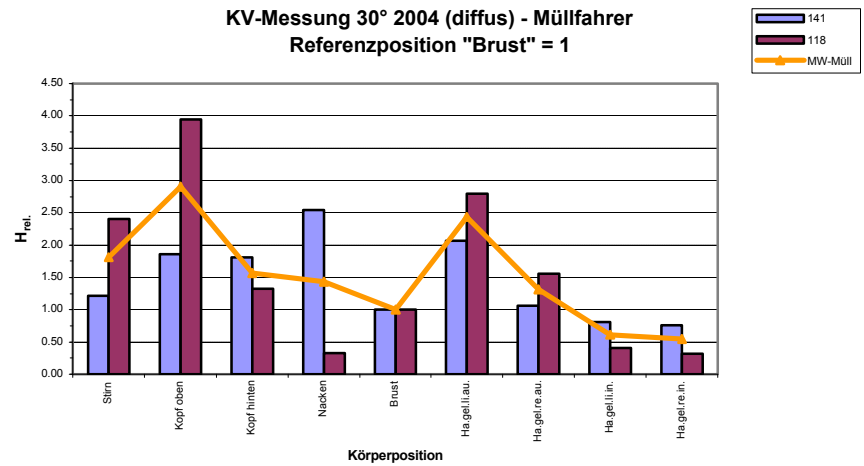




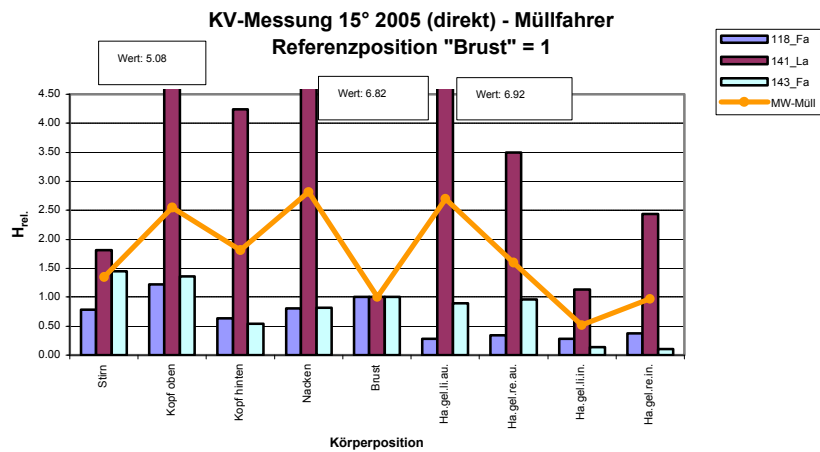
**Anh. 2, Abb. 3 a-d Müllwerker: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 60° bzw. 42°**

n. d.

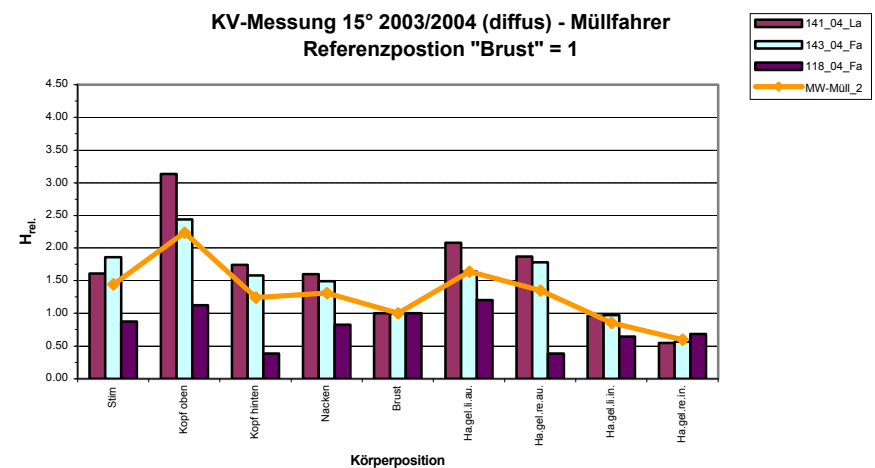
(e)



(f)

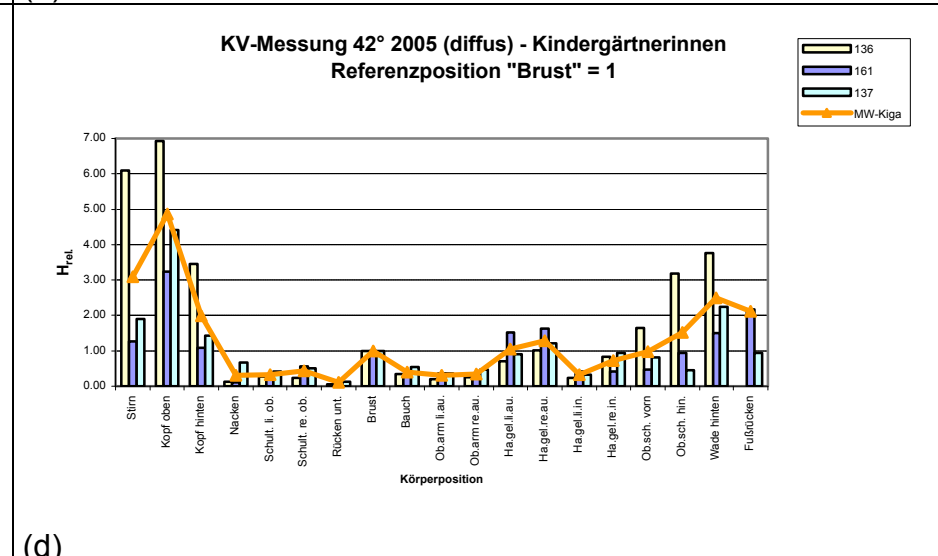
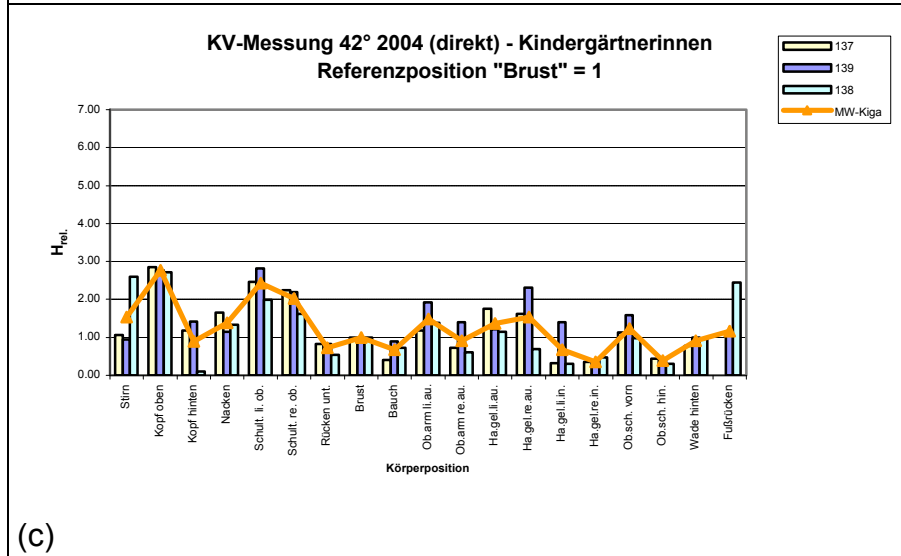
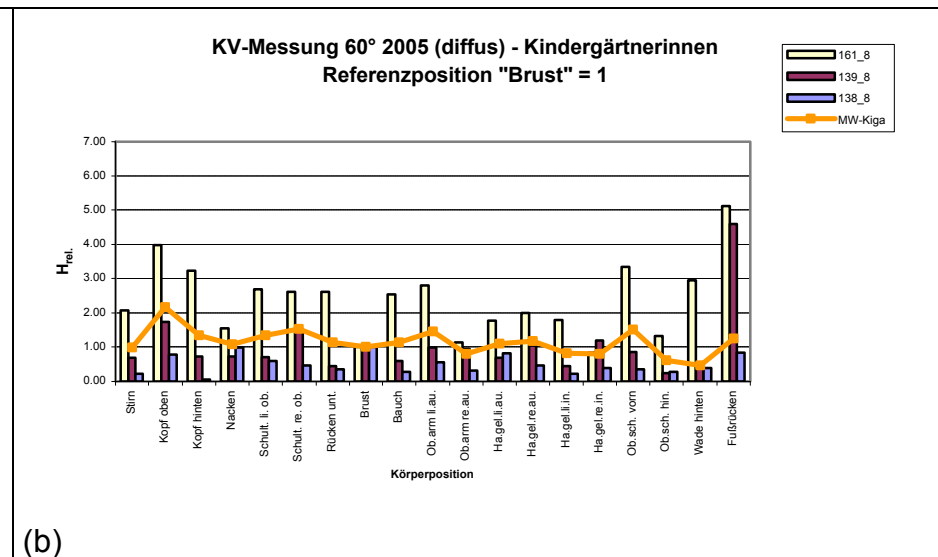
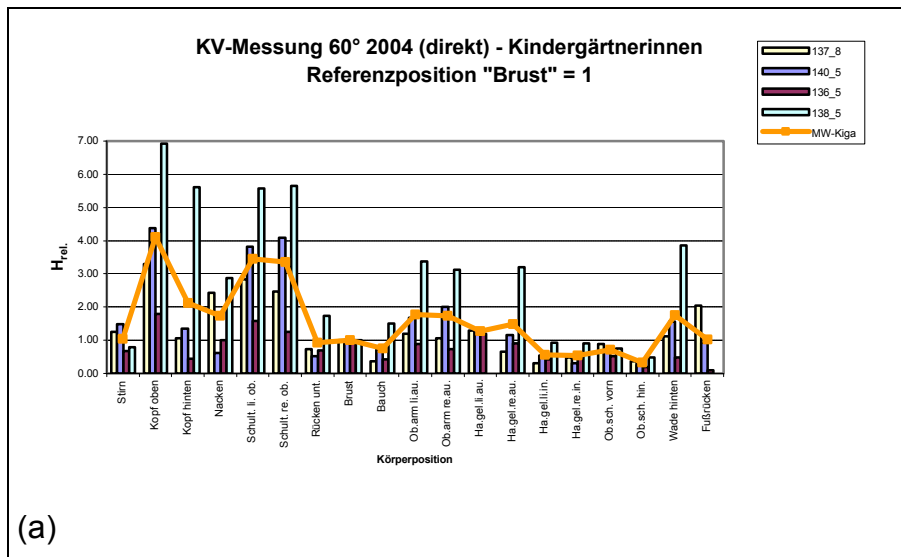


(g)

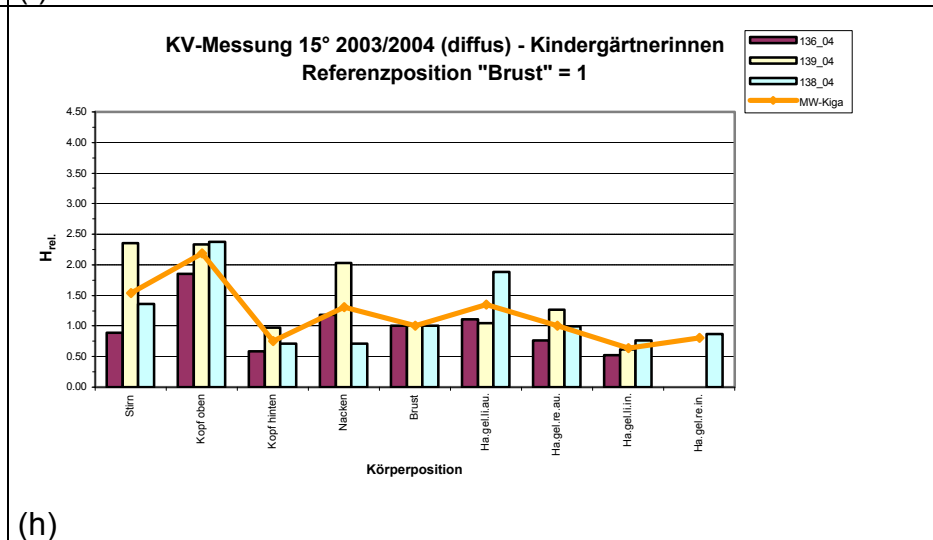
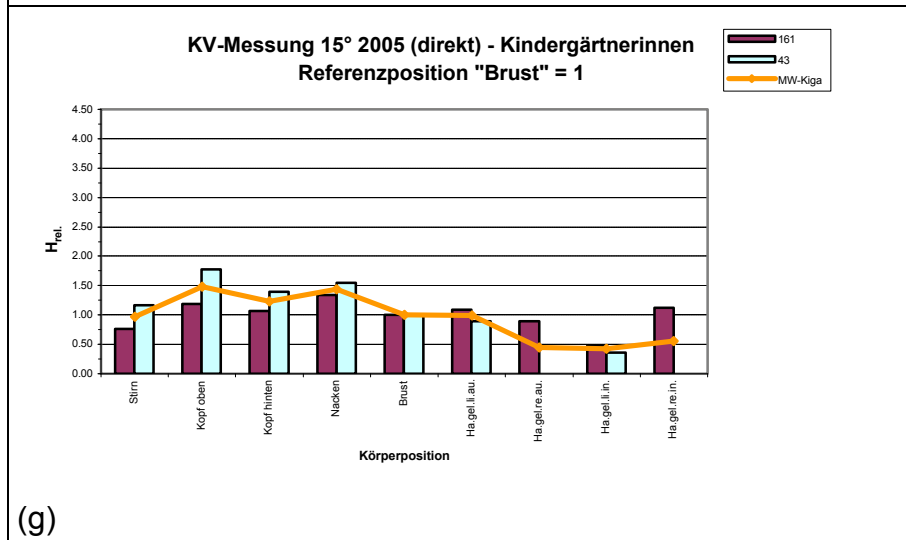
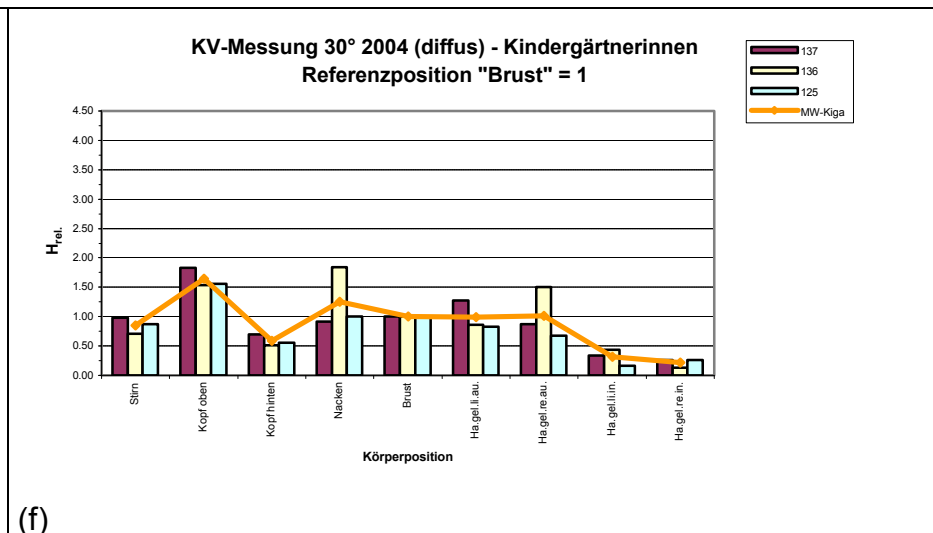
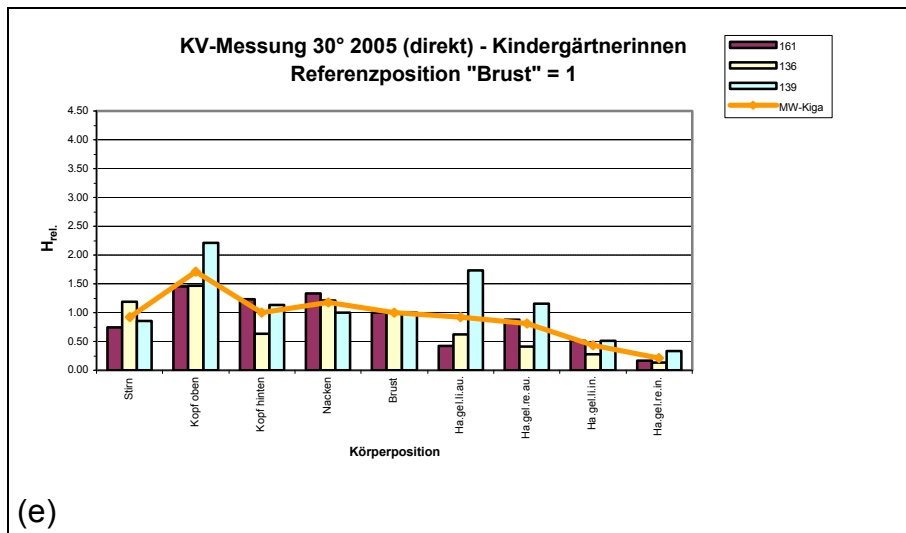


(h)

**Anh. 2, Abb. 3 e-h** Müllwerker: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 30° bzw. 15°



**Anh. 2, Abb. 4 a-d** Kindergärtnerinnen: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 60° bzw. 42°

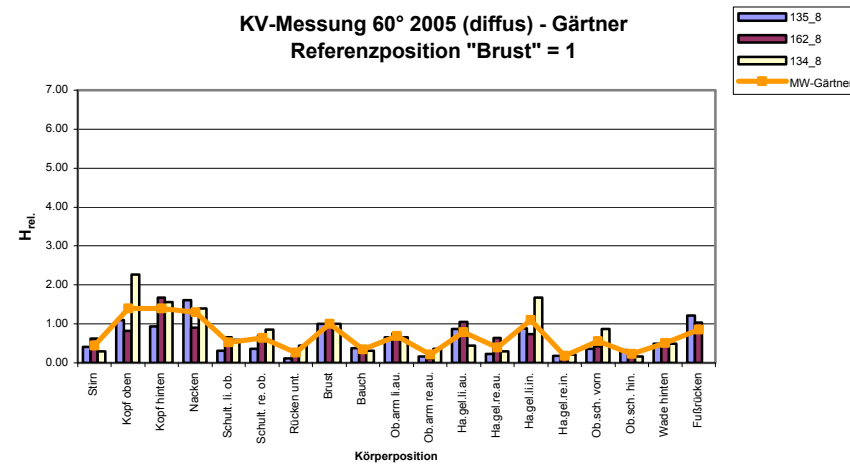


**Anh. 2, Abb. 4 e-h** Kindergärtnerinnen: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 30° bzw. 15°

BmbF 07UV-B54C/3

(a)

KV-Messung 60° 2005 (diffus) - Gärtner  
Referenzposition "Brust" = 1

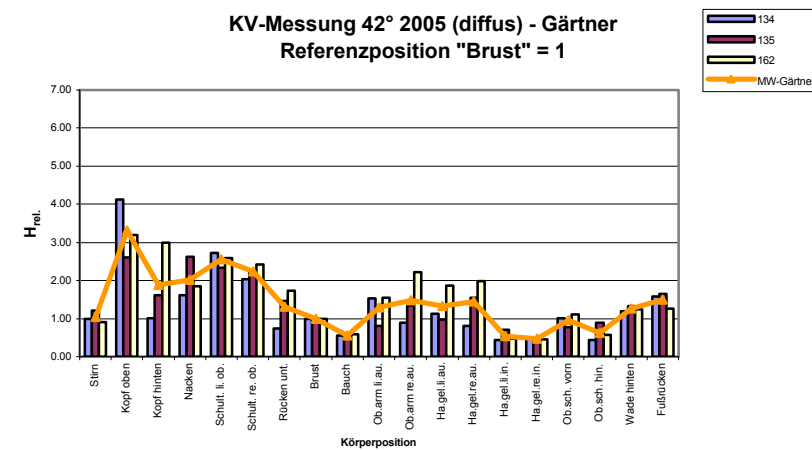


(b)

BmbF 07UV-B54C/3

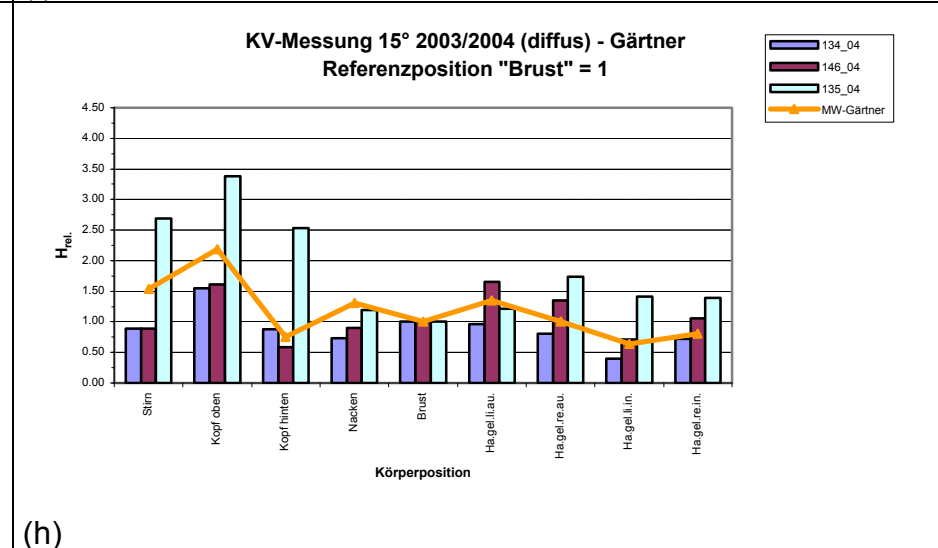
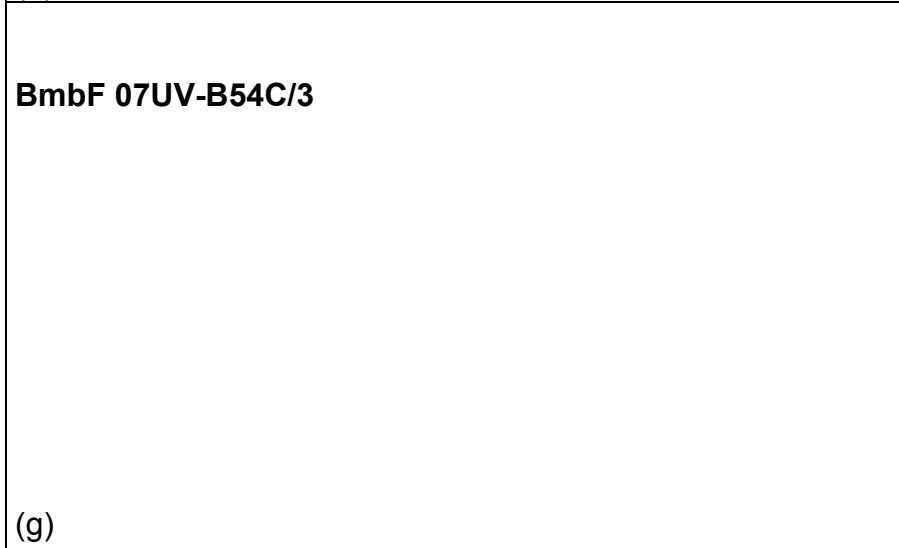
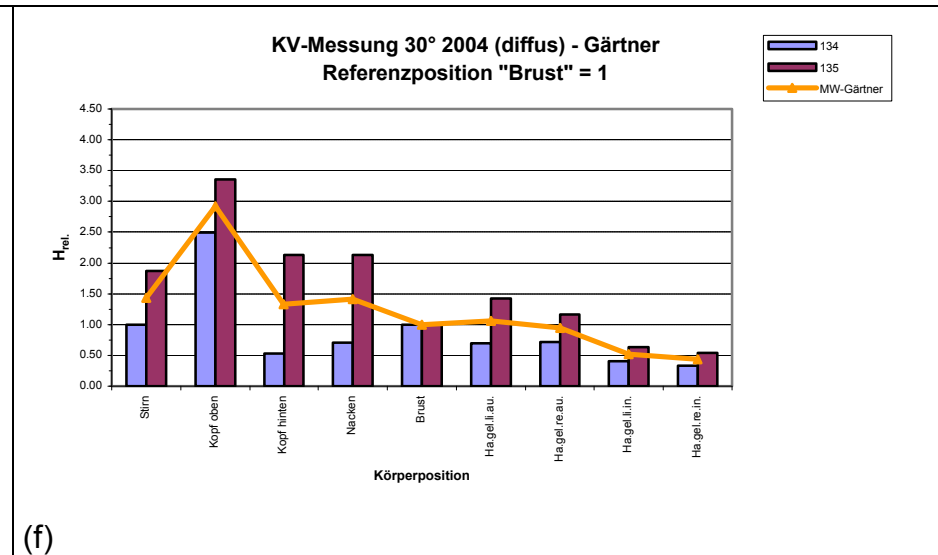
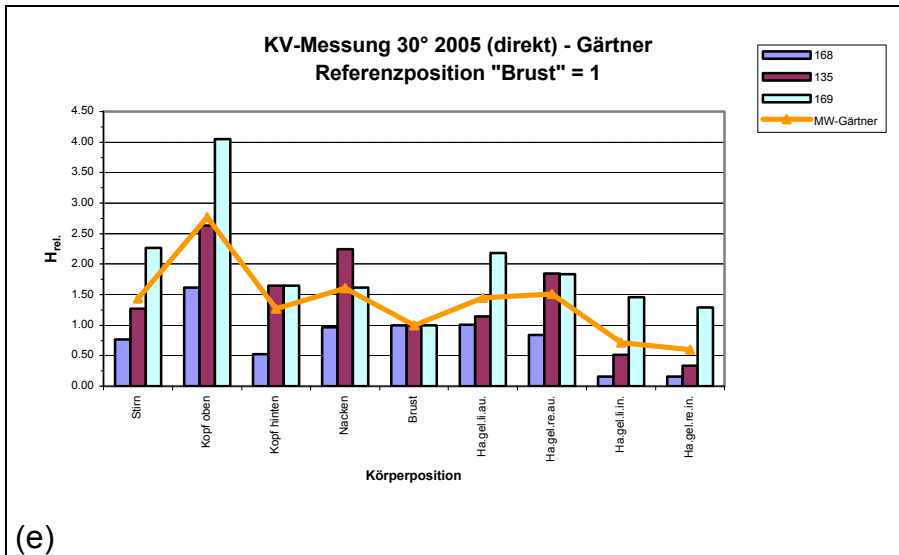
(c)

KV-Messung 42° 2005 (diffus) - Gärtner  
Referenzposition "Brust" = 1

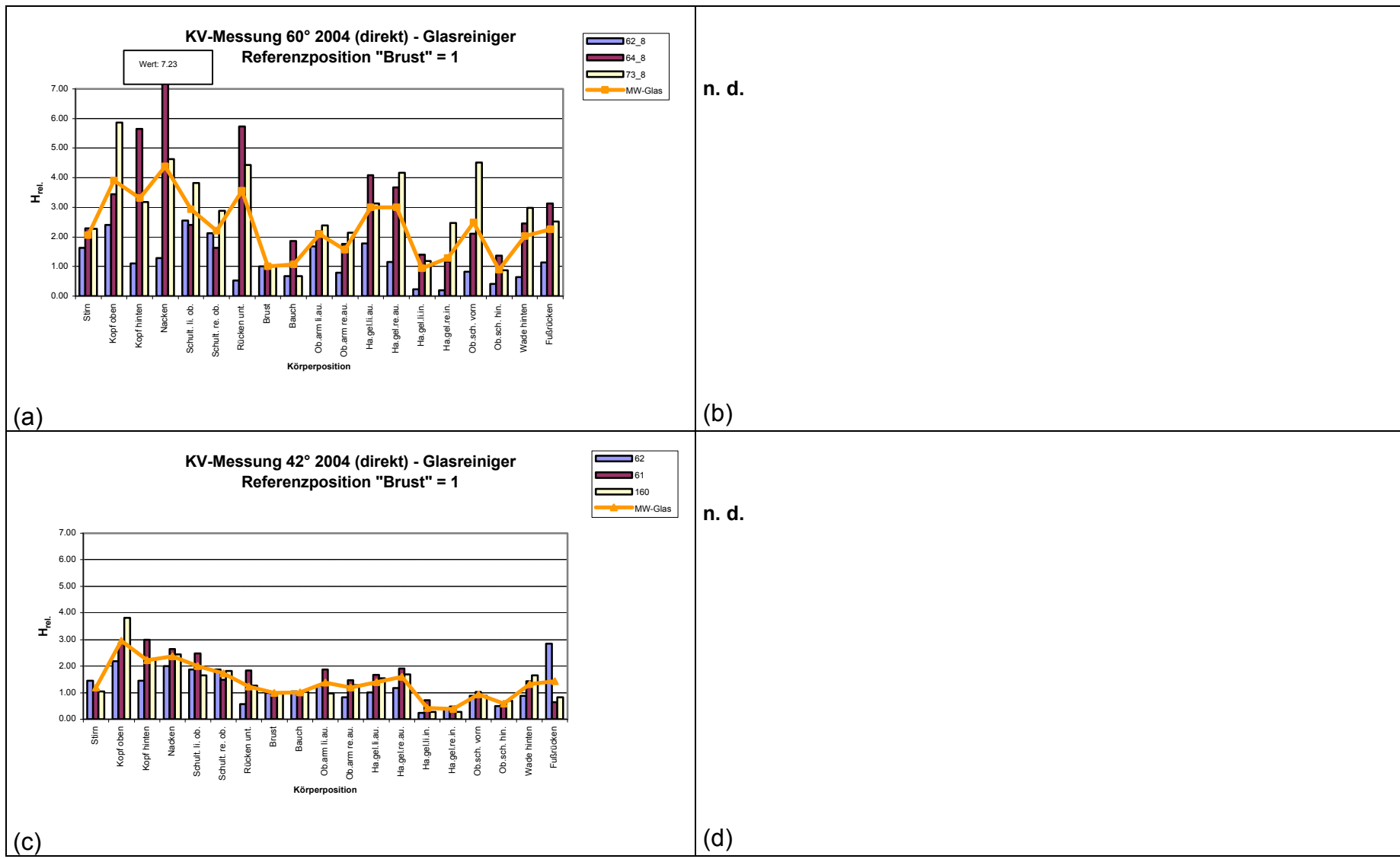


(d)

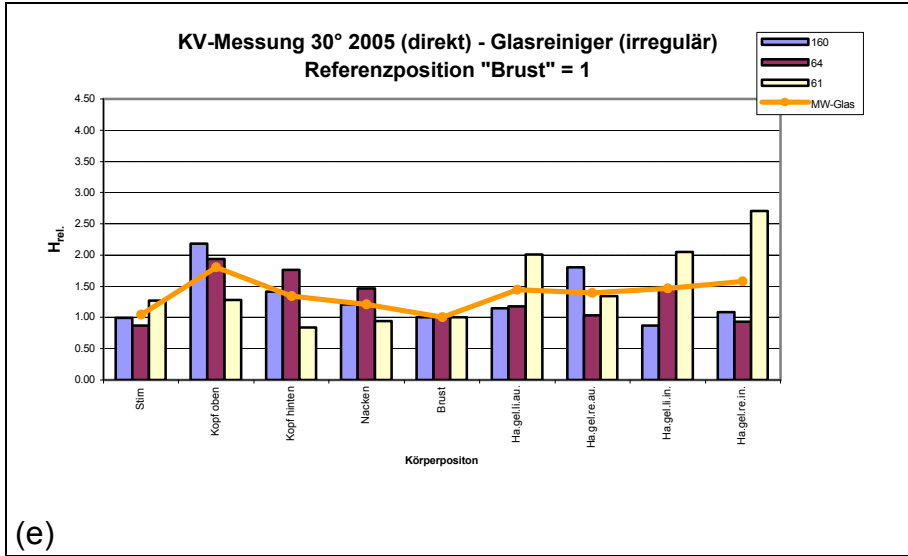
Anh. 2, Abb. 5 a-d Gärtner: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 60° bzw. 42°



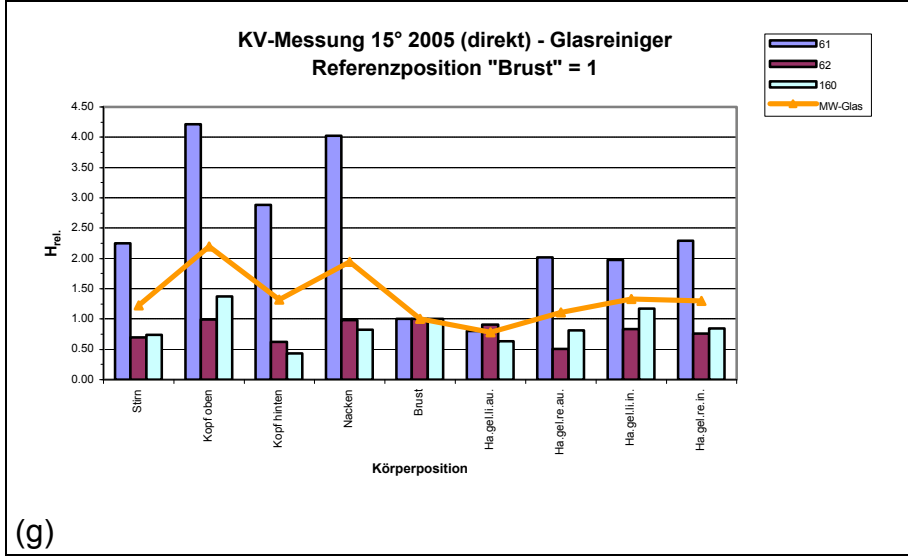
Anh. 2, Abb. 5 e-h Gärtner: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 30° bzw. 15°



Anh. 2, Abb. 6 a-d Glasreiniger: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 60°, 42°, 30° bzw.15°



n. d.

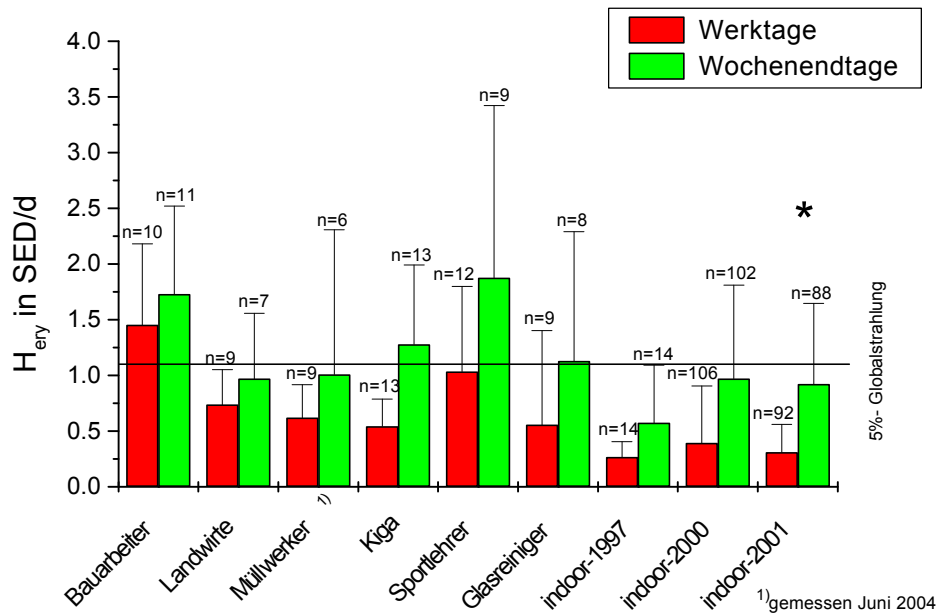


n. d.

**Anh. 2, Abb. 6 e-h** Glasreiniger: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 30° bzw. 15°

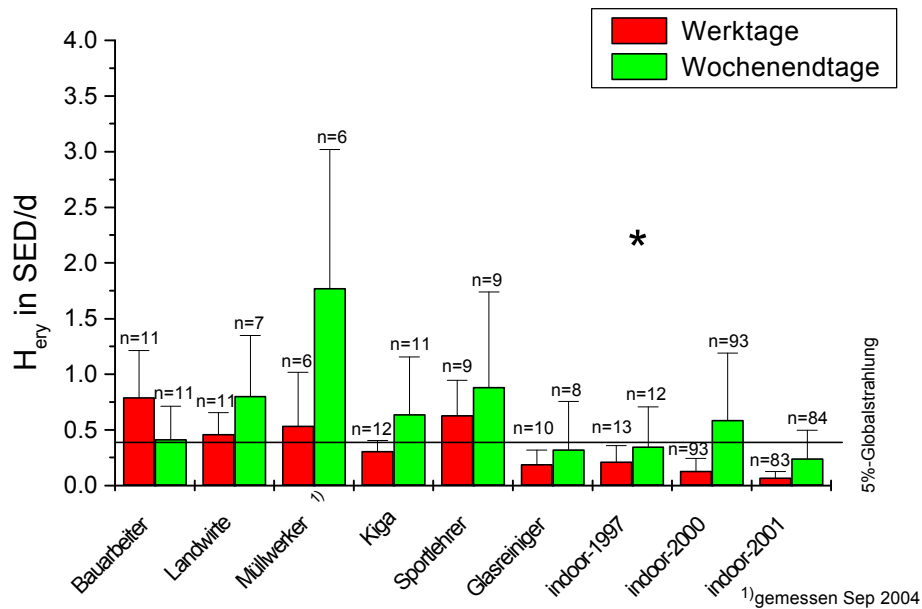


Dresden, Mai 2003/Juni 2004 ( $\gamma_s = 60^\circ$ )



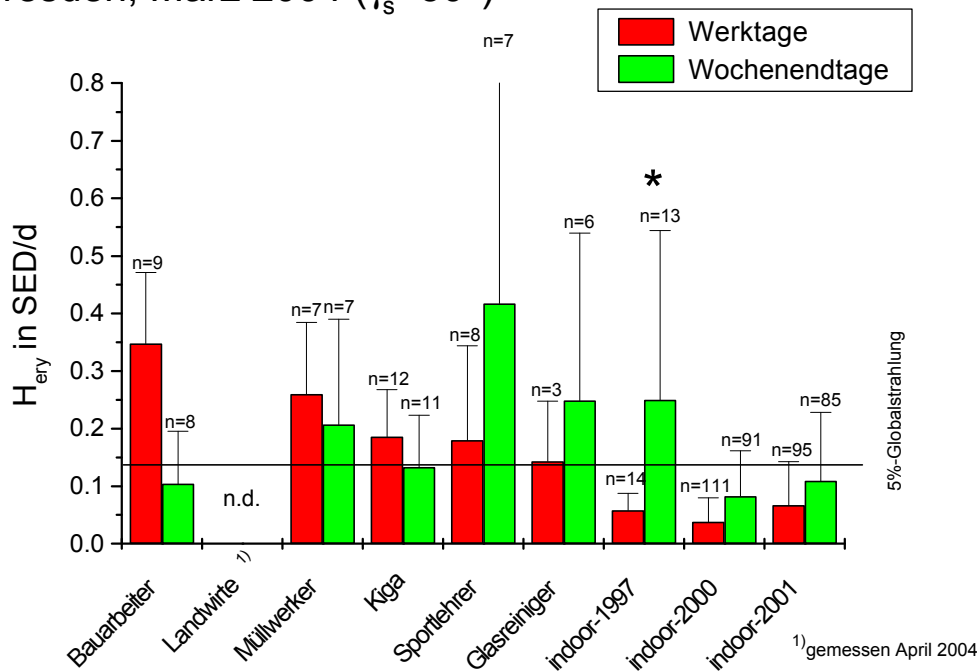
(a)

Dresden, September 2003/2004 ( $\gamma_s = 42^\circ$ )

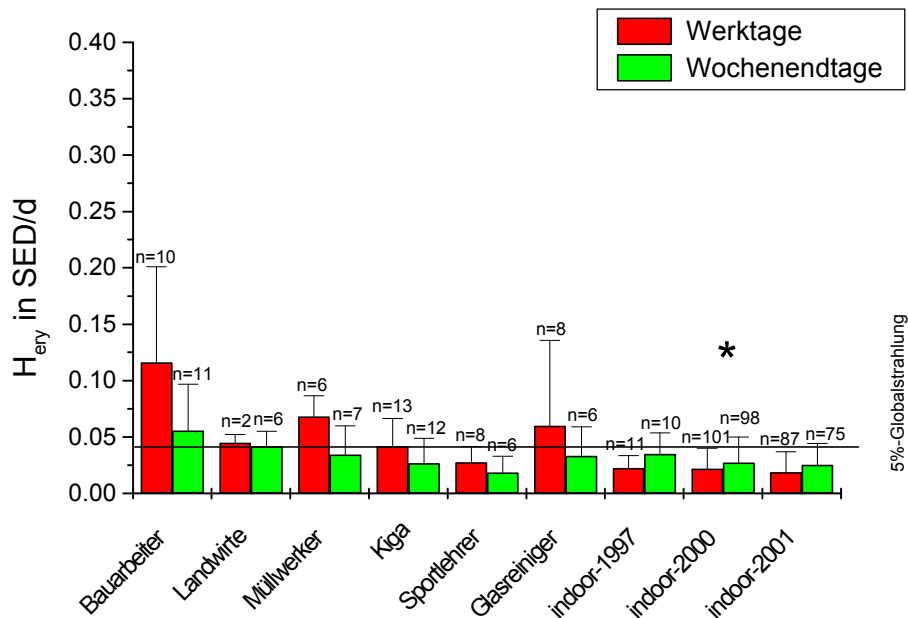


(b)

**Anh. 2, Abb. 7 a-b** Vergleich der UV-Expositionenslevel der untersuchten Beschäftigungsgruppen innerhalb des MZR einer Jahreszeit Mittagssonnenhöhe (a)  $60^\circ$ ; (b)  $42^\circ$ ; Mittlere erythem-effektive Bestrahlungen  $H_{ery}$  pro Werktag bzw. pro Wochenendtag in Relation zur totalen solaren Globalstrahlung

Dresden, März 2004 ( $\gamma_s=30^\circ$ )

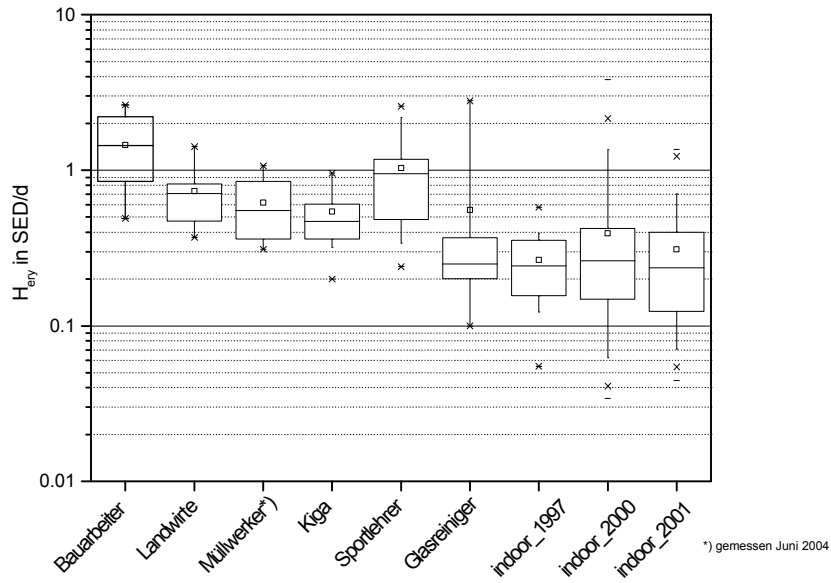
(c)

Dresden, Dezember 2003 ( $\gamma_s=15^\circ$ )

(d)

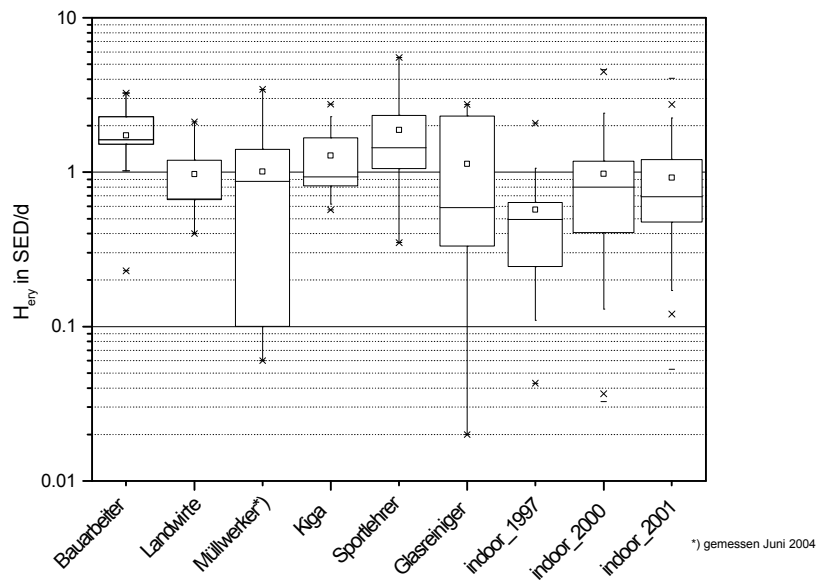
**Anh. 2, Abb. 7 c-d** Vergleich der UV-Expositionenlevel der untersuchten Beschäftigtengruppen innerhalb des MZR einer Jahreszeit Mittagssonnenhöhe (c)  $30^\circ$ ; (d)  $15^\circ$ ; Mittlere erythem-effektive Bestrahlungen  $H_{ery}$  pro Werktag bzw. pro Wochenende in Relation zur totalen solaren Globalstrahlung

## Messzeitraum: Werktage Mai 2003



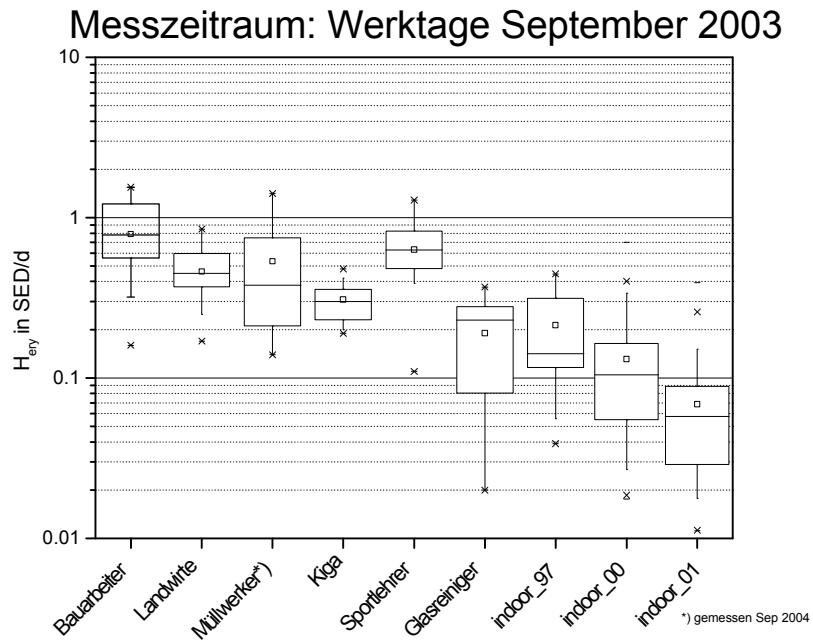
(a)

## Messzeitraum: Wochenende Mai 2003

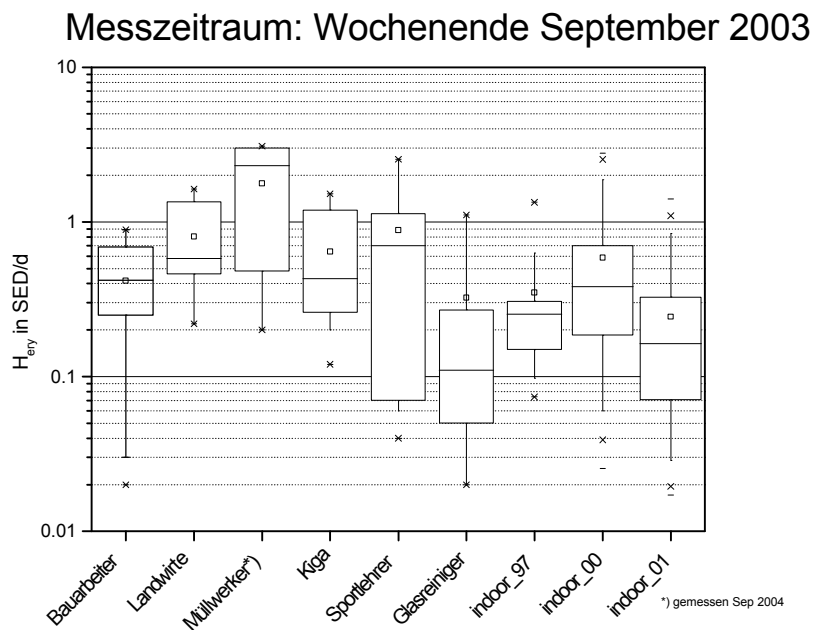


(b)

**Anh. 2, Abb. 8 a-b** Verteilung der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Beschäftigtengruppen im Mai ( $\gamma_s = 60^\circ$ ) für (a) Werktage, (b) Wochenend- und Freizeittage



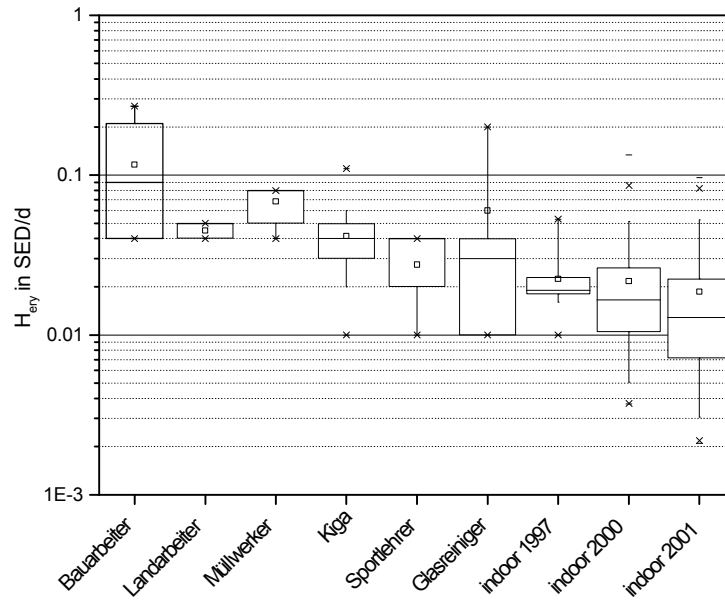
(a)



(b)

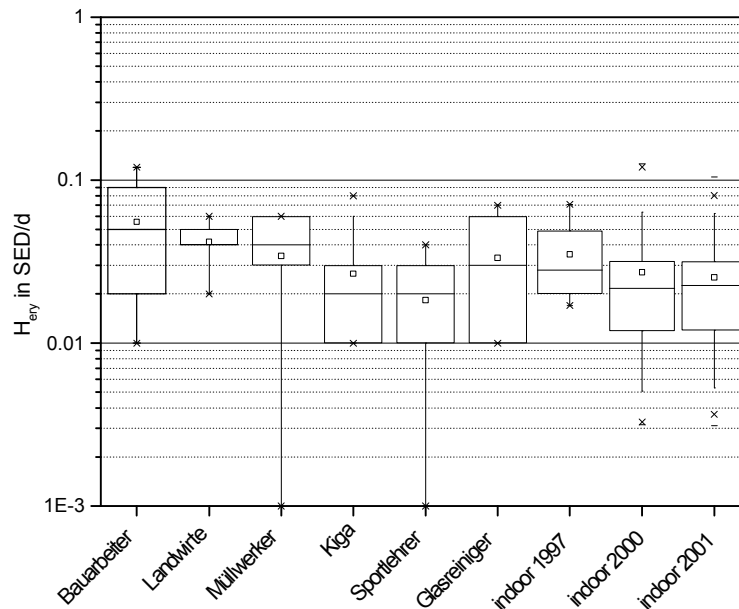
**Anh. 2, Abb. 9 a-b** Verteilung der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Beschäftigtengruppen im September ( $\gamma_s = 42^\circ$ ) für (a) Werktage, (b) Wochenend- und Freizeittage

## Messzeitraum: Werktage Dezember 2003



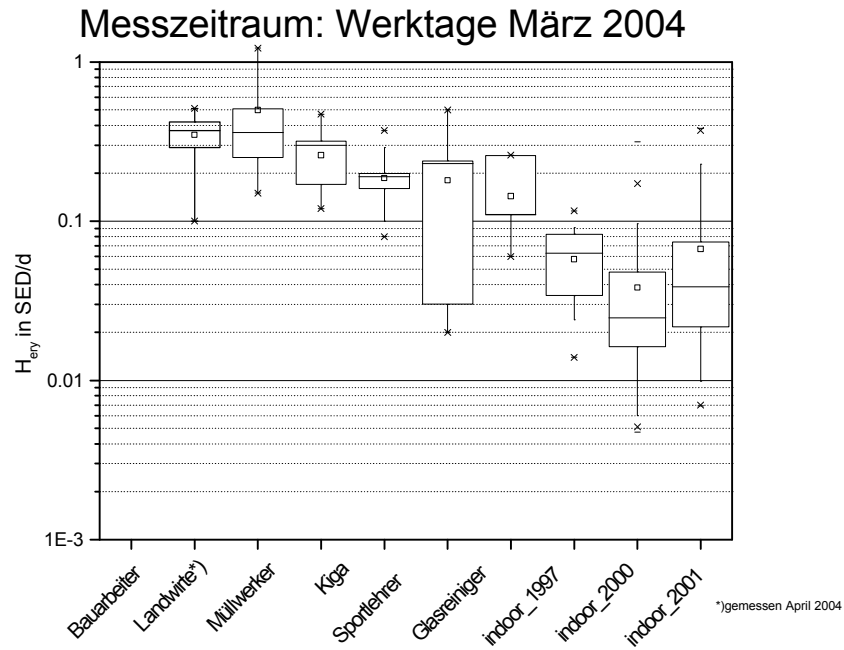
(a)

## Messzeitraum: Wochenende Dezember 2003

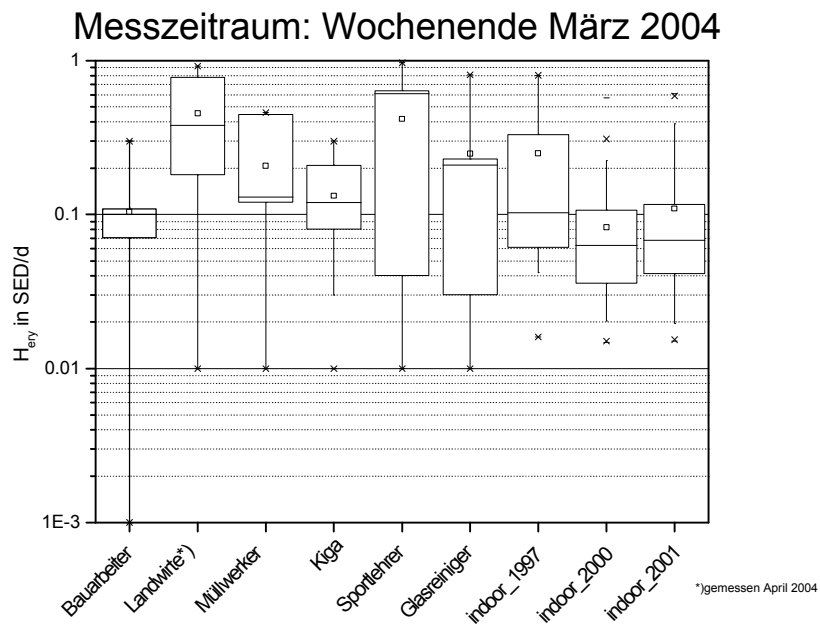


(b)

**Anh. 2, Abb. 10 a-b** Verteilung der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Beschäftigtengruppen im Dezember ( $\gamma_s = 15^\circ$ ) für (a) Werktage, (b) Wochenend- und Freizeittage



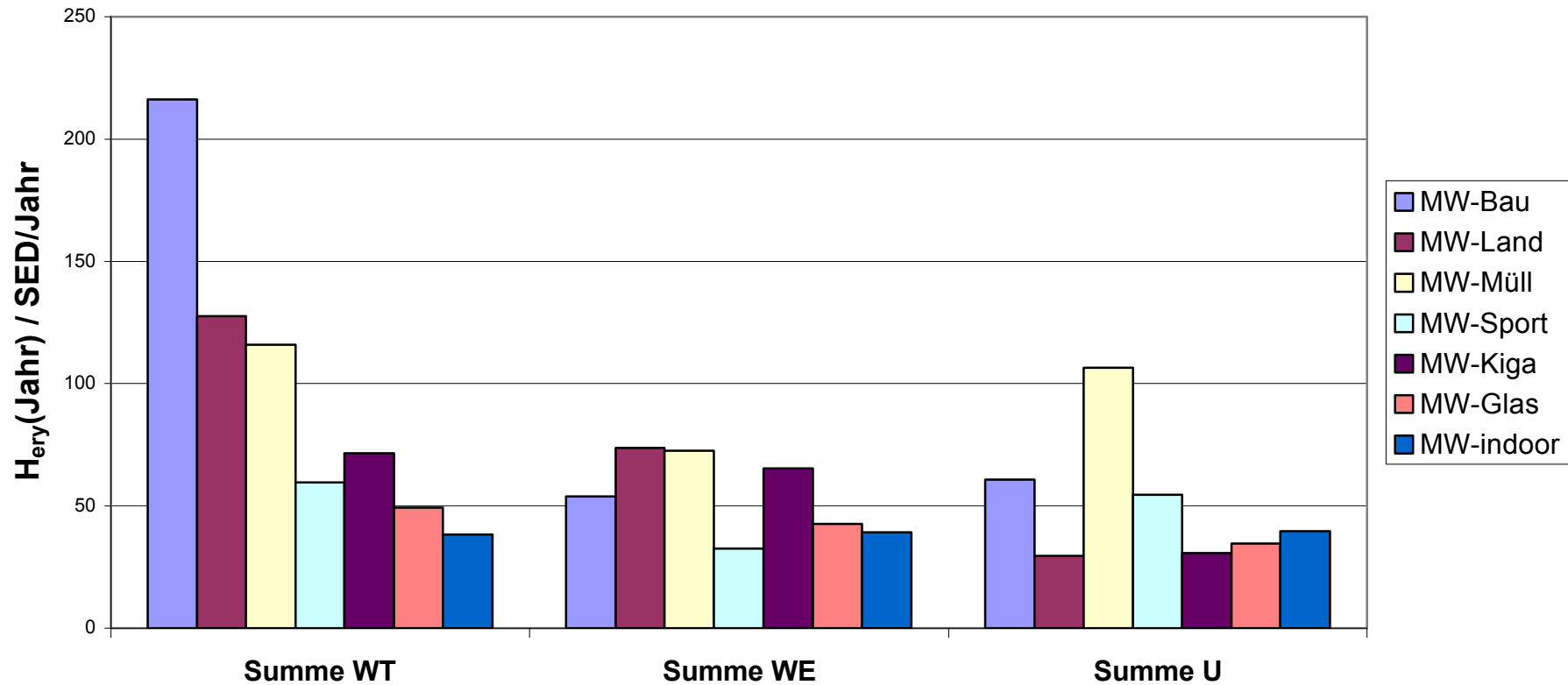
(a)



(b)

**Anh. 2, Abb. 11 a-b** Verteilung der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Beschäftigtengruppen im März ( $\gamma_s = 30^\circ$ ) für (a) Werkzeuge, (b) Wochenend- und Freizeittage

**UV-Jahresdosis  $H_{ery}$ (Jahr) aus 52 KW-Messperioden 2003/2004**  
**n = 5 pro Beschäftigtengruppe (indoor: n = 3)**



**Anh. 2, Abb. 12** Aufteilung der erythem-effektiven UV-Jahresdosen  $H_{ery}$ (Jahr) der untersuchten Beschäftigtengruppen auf Werktagsexpositionen (WT), Wochenend-/Freizeitexpositionen (WE) und Urlaubsexpositionen (U)

**16 Anhang 3:**

**Algorithmus zur Korrektur der Expositionsmesswert-Zuordnung zwischen WT- und WE-Dosis nach falschem Tragen der PSF-Personendosimeter**



**Korrektur der Expositionsmesswert-Zuordnung zwischen WT- und WE-Dosis nach falschem Tragen der PSF-Personendosimeter für PD-Dosi aus MZR  $\neq$  KW\*(7d); U\*, KV\***

**A. Messperioden zu 16 Tagen**

**1. Übersicht Ausgangssituation**

**1.1 Dosi-Trageweise regulär**

- A. Sa/So: WE (rot) zu tragen  
 Mo-Fr: WT (blau) zu tragen  
 B. Sa u./o. So: Arbeit: WT (blau) zu tragen  
 Mo...(u./o.)...Fr: Freizeit: WE (rot) zu tragen

**1.2 Dosi-Trageweise irregulär**

- getragen „G“ (s.u.) aber:
  - Sa u./o. So: gearbeitet: WE (rot) getragen (statt WT/blau)  
 oder regulär Freizeit aber: WT (blau) getragen (statt WE/rot)
  - Mo..(u./o.)..Fr: Freizeit: WT (blau) getragen (statt WE/rot)  
 oder regulär Arbeit aber: WE (rot) getragen (statt WT/blau)
- Problem: Arbeits- und Freizeitexposition auf einem Dosi gemischt!

**1.3 Messwert- und Informationserfassung und Datenverarbeitung bei regulärer Trageweise:**

Formular „Auswertungsbögen“ (16 Tage); Zeitbereich 0

G = Dosimeter an dem Tag getragen

F bei Mo-Fr = - Wochenfeiertag  
 - WE-Dosi getragen (= richtig!)

F bei Sa/So = - am Wochenendtag wurde gearbeitet  
 - WT-Dosi getragen (= richtig!)

Standard-Wert in Dosimeter-Tabelle „wirkliche Tragetage“:

WT-Dosis -10 Tage

WE-Dosis - 6 Tage

„Wirkliche Tragetage“: die Tragetage für WT-Dosi bzw. WE-Dosi !!!  
 Bei richtiger Eingabe aller Korrekturangaben  
 (WT\_getragen bzw. WE\_getragen)  
 Identisch zu berechneten „Gesamtbenutzungstagen“

Hinweis: -Bei Änderung direkt in Tabelle kein Feedback ins Formular ZB0!  
 -Übernahme von Änderungen im Formular ZB0 in Dosi-Tabelle erst nach „Auswertbarkeits-Klick“!

Auswertung der Daten aus ZB0 sowie ZB1-ZB5:

Berechnung der solaren UV-Exposition in MP getrennt für Werktage und  
Wochenendtage (zuzüglich der „verhaltens-inversen“ Tage von „F“)

a.) für alle WT-(gearbeitet) bzw. WE(Freizeit-)Tage der MP

(für tatsächliche Exposition in der MP - auch falls Dosi vergessen zu tragen)

b.) wie a.) aber nur für die Tage, an denen Dosi wirklich getragen wurde („G“)

(für direkten Vergleich mit WT-Dosi bzw. mit WE-Dosi)

Auswertung:  $\Sigma H(RB * t)$  (draußenZBx) (Gesamtsumme aus allen ZB/Tag und alle  
WT bzw. Gesamtsumme aus allen ZB/Tag und allen WE) für Direktvergleich mit  
Exposition aus WT-PSF bzw. WE-PSF

- Zwischensummen abfragbar abgelegt (Join RB\_Daten-Trafo)!

## 2. Zusatzinformationen in DB für korrigierte Expositionszuordnung

Mögliche Varianten der Dosimetertrageweisen und deren Erfassung in der DB

Dos_Korr3a	Wochen- tag	Anmerkung Aktivität:	Getra- gen:	für PSF=ZFBx RBM		für PSF=f(gearbeitet) bzw. =f(Freizeit)	
				G	F	WT_getra- gen	WE_getra- gen
1.1 A. (regulär)	Sa/So	Frei	WE	x			
	Mo-Fr	Arbeit	WT	x			
1.1 B. (regulär)	Sa/So	Arbeit	WT	x	x		
	Mo-Fr	Frei	WE	x	x		
1.2 (falsch)	Sa u./o. So	Arbeit	WE	x			x
	Sa u./o. So	Frei	WT	x	x	x	
	Mo...(u./o.)	Frei	WT	x		x	
	Mo...(u./o.)	Arbeit	WE	x	x		x

### Validitätsprüfung (bei Korrekturen) NEU

Nach Eingaben Prüfung auf:

- „WT\_getragen“ und „WE\_getragen“: pro Tag nie gleichzeitig möglich!
- „F“ und „WT\_getragen“ oder „F“ und „WE\_getragen“ können möglich sein
- Sa/So **nur möglich**: „G“+„WE\_getragen“ **oder** „G“+„F“+„WT\_getragen“
- Mo-Fr **nur möglich**: „G“+„WT\_getragen“ **oder** „G“+„F“+„WE\_getragen“
- Mo-So **nie möglich**: „G“ nicht angeklickt, aber „WT\_getragen“ oder/und  
„WE\_getragen“ angeklickt

### Validitätsprüfung (bei Korrekturen) ALT = Falsch

Nach Eingaben Prüfung auf:

- „WT\_getragen“ und „WE\_getragen“: pro Tag nie gleichzeitig möglich!
- „F“ und „WT\_getragen“ oder „F“ und „WE\_getragen“ können möglich sein
- Sa/So **nur möglich**: „G“+„WT\_getragen“ **oder** „G“+„F“+„WE\_getragen“
- Mo-Fr **nur möglich**: „G“+„WE\_getragen“ **oder** „G“+„F“+„WT\_getragen“

- Mo-So **nie möglich**: „G“ nicht angeklickt, aber „WT\_getragen“ oder/und „WE\_getragen“ angeklickt

Prüfung soll erfolgen mit Klick „Tragetage: vollständig? usw.“

*Fehlermeldung falls Kriterien Validitätsprüfung nicht erfüllt !*

### Zusatzspalten in Dosimeter-Tabelle

Rechts neben Spalte „wirkliche Tragetage“ (des Dosimeters):  
2 neu Spalten zu Differenzierung der (fälschlich gemischten) Tragetage  
- davon\_WT(Arbeit)  
- davon\_WE(Frei)

**Bemerkung:** pro PSF-Dosi nur eine Eingabe für die beiden Spalten erlaubt  
- bei WE-Dosi (Einsatz 3) nur: „davon\_WT/Arbeit“ erlaubt  
(Daten aus Korrektur: „WT\_getragen“!)  
- bei WT-Dosi (Einsatz 3) nur: „davon\_WE/Frei“ erlaubt  
(Daten aus Korrektur: „WE\_getragen“!)

### 3. Symbole und Abkürzungen

HWT - tatsächliche Bestrahlung H an WTs (+ Gearbeitet-Tagen aus WE-Dosi)  
HWE - tatsächliche Bestrahlung H an WEs (+ Frei-Tagen aus WT-Dosi)  
WT<sub>G</sub> - PSF-Expositionswert („Dosis in MED“) auf WT-Dosi von G-Tragetagen  
WE<sub>G</sub> - PSF-Expositionswert („Dosis in MED“) auf WE-Dosi von G-Tragetagen  
G - **Gesamtbenutzungstage** des PSF-Dosis (Standard/MP: WT-Dosi 10 d; WE-Dosi 6 d)

= „wirkliche Tragetage“ TAB Dosimeter

GWT - **Gesamtbenutzungstage** (gemischt) des PSF-WT-Dosis (= „wirkliche Tragetage“)

GWE - **Gesamtbenutzungstage** (gemischt) des PSF-WE-Dosis (= „wirkliche Tragetage“)

dF Tage „davon\_WE/Frei“ in GWT = S **WT\_getragen aus ZB0**

dA Tage „davon\_WT/Arbeit“ in GWE: = S **WE\_getragen aus ZB0**

WT/d mittlere Exposition pro WT-Tag

WE/d mittlere Exposition pro WE-Tag

PN Personen-Nr.

Wert auf dem PSF:

$$\text{WT}_{\text{mix}} = (\text{GWT}-dF) \cdot \text{WT}/d + dF \cdot \text{WE}/d \quad (\text{WT}_{\text{mix}} = \text{WT-Dosi-Wert in Spalte „Dosis in MED“})$$

$$= \text{WT}_{\text{G}}$$

$$\text{WE}_{\text{mix}} = (\text{GWE}-dA) \cdot \text{WE}/d + dA \cdot \text{WT}/d \quad (\text{WE}_{\text{mix}} = \text{WE-Dosi-Wert in Spalte „Dosis in MED“})$$

$$= \text{WE}_{\text{G}}$$

#### 4. Korrekturalgorithmus

Näherung für WT/d und WE/d aus PSF-WT, PSF-WE und ZFB:

##### 4.1 Prüfung auf Spezialfälle

###### 1. Fall

Abfrage: Wenn (in Tab: Dosimeter)

davon\_WT(bzw. \_WE) = Gesamtbenutzungstage (für WE-Dosi (für WT-Dosi))

und

davon\_WE( \_WT) = 0 !!! (für WT-Dosi (für WE-Dosi))

dann

Korr\_Dosis (in Tab\_Dosimeter)

$WT_{Korr}(WE_{Korr}) = \Sigma WT + WE$  (der Werte in Tab: Dosis\_in MED)

und

$WE_{Korr}(WT_{Korr}) = \underline{0}$

**SIND ENDWERTE!**

###### 2. Fall

Fall 2a Abfrage:

Wenn (in Tab: Dosimeter)

davon\_WT = Gesamtbenutzungstage (für WE-Dosi)

und

davon\_WE > 0 !!! (für WT-Dosi)

dann:

$$[1.N(WE/d)] = WT_{mix}/GWT$$

bzw.

Fall 2b Abfrage:

Wenn (in Tab: Dosimeter)

davon\_WE = Gesamtbenutzungstage (für WT-Dosi)

und

davon\_WT > 0 !!! (für WE-Dosi)

dann:

$$[1.N(WT/d)] = WE_{mix}/GWE$$

$$[1.N(WT/d)] = [3.N(WT/d)]$$

$$[1.N(WE/d)] = [3.N(WE/d)]$$

## 4.2 Iterationsschritte zur Näherung der reelle Expositionswerte aus den „Mix-Dosiwerten“

### 4.2.1 Iterationsschritt 1 (1.N(WT/d): erste Näherung für Dosis an gearbeiteten Tagen)

Schritt 1.1

$$[1.N(WT/d)] = WT_{mix}/GWT$$

$$[1.N(WE/d)] = WE_{mix}/GWE$$

Schritt 1.2

$$[2.N(WT/d)] = \{WT_{mix} - (dF * [1.N(WE/d)])\} / (GWT - dF)$$

$$[2.N(WE/d)] = \{WE_{mix} - (dA * [1.N(WT/d)])\} / (GWE - dA)$$

### 4.2.2 Iterationsschritt 2

$$[3.N(WT/d)] = \{WT_{mix} - (dF * [2.N(WE/d)])\} / (GWT - dF)$$

$$[3.N(WE/d)] = \{WE_{mix} - (dA * [2.N(WT/d)])\} / (GWE - dA)$$

## 4.3 Prüfung Homogenität WT/d und WE/d innerhalb des MP mit ggf. Korrekturfaktor

Aus Abfrage „Integral: Join RB\_Daten-Trafo -- Alltag“:

Bemerk.: Abfragen/Berechnungen nur mit Tagen mit Merkmal: G =  $\sqrt{\quad}$

### 4.3.1 Berücksichtigung von GS-Schwankungen (ohne Berücksichtigung von unterschiedlichem Aufenthaltsverhalten im Freien)

#### 4.3.1.1 WT-Dosi-Korrektur

Für PN; MZR:

- Summe der RB-„Dosis (SED)“ aus ZR1-5 je Tag von Freizeit(WE-Tagen:

$$A: \quad \Sigma ZR1-5(Wo 1...3: Tag6; Tag7)$$

außer Tage mit: „F“ oder „WT\_getragen“ =  $\sqrt{\quad}$  oder „WE\_getragen“ =  $\sqrt{\quad}$

und  $\Sigma ZR1-5(Wo 2...3: Tag1...Tag5)$ ; mit „F“ =  $\sqrt{\quad}$

- Summe der RB-„Dosis (SED)“ aus ZR1-5 jeweils für jeden Tag 1...n mit

Fehlermerkmal „WT\_getragen“:

$$B: \quad \Sigma ZR1-5 (Wo 2...3: Tag1...Tag5); \text{ falls „WT_getragen“: } \sqrt{\quad}$$

und  $\Sigma ZR1-5 (Wo 1...3: Tag 6; Tag 7); \text{ falls „F“ = } \sqrt{\quad} \text{ und „WT_getragen“: } \sqrt{\quad}$

- Mittelwert MW von Pkt. A und Standardabweichung STD:

$$MW(A); STD(A)$$

-  $\Sigma ZR1-5$  für B1...Bn (für jeden Tag mit Fehlermerkmal „WT\_getragen“ einzeln bis n-ter Fall)

Prüfung für B1...Bn:

Wenn  $[\sum ZR1-5(B1)] > [MW(A)+STD(A)]$   
oder

$$[\sum ZR1-5(B1)] < [MW(A)-STD(A)]$$

dann Wetter-Anpassungsfaktor X:

$$X1 = [\sum ZR1-5(B1)] / [MW(A)]$$

sonst

$$X1 = 1$$

Prüfen bis Xn

mit Ergebnis

$$Xn = [\sum ZR1-5(Bn)] / [MW(A)] \text{ oder } Xn = 1$$

#### 4.3.1.2 WE-Dosi-Korrektur

Für PN; MZR:

C:  $\sum ZR1-5$  (Wo 2...3: Tag1...Tag5)

außer Tage mit: „F“ oder „WE\_getragen“ =  $\checkmark$  oder „WT\_getragen“ =  $\checkmark$

und  $\sum ZR1-5$  (Wo 1...3: Tag6; Tag7) mit „F“ =  $\checkmark$

D:  $\sum ZR1-5$  (Wo 1...3: Tag6; Tag7); falls „WE\_getragen“:  $\checkmark$

und  $\sum ZR1-5$  (Wo 2...3: Tag1...Tag5); falls „F“ =  $\checkmark$  und „WE\_getragen“:  $\checkmark$

- MW(C); STD(C)

-  $\sum ZR1-5$  für D1...Dn (für jeden Tag mit Fehlermerkmal „WE\_getragen“ einzeln bis n-ter Fall)

Prüfung für D1...Dm:

Wenn  $[\sum ZR1-5(D1)] > [MW(C)+STD(C)]$   
oder

$$[\sum ZR1-5(D1)] < [MW(C)-STD(C)]$$

dann Wetter-Anpassungsfaktor Y:

$$Y1 = [\sum ZR1-5(D1)] / [MW(C)]$$

sonst

$$Y1 = 1$$

Prüfen bis Yn

mit Ergebnis

$$Yn = [\sum ZR1-5(Dn)] / [MW(C)] \text{ oder } Yn = 1$$

### 4.3.2 Berücksichtigung von GS-Schwankungen und Berücksichtigung von unterschiedlichem Aufenthaltsverhalten im Freien

#### 4.3.2.1 WT-Dosi-Korrektur

Für PN; MZR:

- Summe des Produktes  $[0,25h(=Zeiteinheit) \cdot \text{Stunden} \cdot \text{Eery}(MW)]$  aus ZR1-5 je Tag von Wochenendtagen:  
Anmerkung: Am Besten Summe über die 10 Produkte „Woche“, „Tag“, „Zeitraum“, „Sonnen“ pro Tag!? So muss nicht gesucht werden ob 1 Sonne oder 2 Sonnen angegeben sind, der andere Wert ist immer 0 und bringt keinen Beitrag.
- A:  $\Sigma ZR1-5$  (Wo 1...3: Tag6; Tag7)  
außer Tage mit: „F“ oder „WT\_getragen“ =  $\surd$  oder „WE\_getragen“ =  $\surd$   
 $\Sigma ZR1-5$  (Wo 2...3: Tag1...Tag5); mit „F“
- Summe des Produktes  $[0,25h(=Zeiteinheit) \cdot \text{Stunden} \cdot \text{Eery}(MW)]$  aus ZR1-5 jeweils für jeden Tag 1...n mit Fehlermerkmal „WT\_getragen“
- B:  $\Sigma ZR1-5$  (Wo 2...3: Tag1...Tag5); falls „WT\_getragen“:  $\surd$   
und  $\Sigma ZR1-5$  (Wo 1...3: Tag 6; Tag 7); falls „F“ =  $\surd$  und „WT\_getragen“:  $\surd$
- Mittelwert MW von Pkt. A und Standardabweichung STD:  
MW(A); STD(A)
- $\Sigma ZR1-5$  für B1...Bn (für jeden Tag mit Fehlermerkmal „WT\_getragen“ einzeln bis n-ter Fall)

Prüfung für B1...Bn:

Wenn  $[\Sigma ZR1-5(B1)] > [MW(A)+STD(A)]$

oder

$[\Sigma ZR1-5(B1)] < [MW(A)-STD(A)]$

dann Wetter+Verhaltens-Anpassungsfaktor X:

$X1 = [\Sigma ZR1-5(B1)] / [MW(A)]$

sonst

$X1 = 1$

Prüfen bis Xn

mit Ergebnis

$Xn = [\Sigma ZR1-5(Bn)] / [MW(A)]$  oder  $Xn = 1$

#### 4.3.2.2 WE-Dosi-Korrektur

Für PN; MZR:

- C:  $\Sigma ZR1-5$  (Wo 2...3: Tag1...Tag5)  
außer Tage mit: „F“ oder „WE\_getragen“ =  $\surd$  oder „WT\_getragen“ =  $\surd$   
und  $\Sigma ZR1-5$  (Wo 1...3: Tag6; Tag7) mit „F“ =  $\surd$
- D:  $\Sigma ZR1-5$  (Wo 1...3: Tag6; Tag7); falls „WE\_getragen“:  $\surd$   
und  $\Sigma ZR1-5$  (Wo 2...3: Tag1...Tag5); falls „F“ =  $\surd$  und „WE\_getragen“:  $\surd$
- MW(C); STD(C)

-  $\Sigma$  ZR1-5 für D1...Dn (für jeden Tag mit Fehlermerkmal „WE\_getragen“ einzeln bis n-ter Fall)

Prüfung für D1...Dm:

Wenn  $[\Sigma \text{ZR1-5}(D1)] > [\text{MW}(C)+\text{STD}(C)]$

oder  $[\Sigma \text{ZR1-5}(D1)] < [\text{MW}(A)-\text{STD}(C)]$

dann Wetter-Anpassungsfaktor Y:

$$Y1 = [\Sigma \text{ZR1-5}(B1)] / [\text{MW}(A)]$$

sonst

$$Y1 = 1$$

Prüfen bis Yn

mit Ergebnis

$$Yn = [\Sigma \text{ZR1-5}(Bn)] / [\text{MW}(A)] \text{ oder } Yn = 1$$

#### **4.3.3 Ablage Zwischenergebnisse aus 4.3.1 und 4.3.2 für $[\Sigma X1...Xn]$ und $[\Sigma Y1...Yn]$ in DB-Tabelle „Dosiskorrektur“**

Felder: - „Dosis in MED“	aus Tab_Dosimeter
- „Korr-Dosis“	aus Entscheidung zwischen RB_Korr... und RB*t_K...
	Transfer-Klick (Un bzw. Kk)
- „Korr-Dosis/d“ (= 5. N)	aus Entscheidung zwischen RB_Korr... und RB*t_K...
	Transfer-Klick (Un bzw. Kk)
	(ist 5. Näherung nach Hand-Auswahl für 4. Näherung)
- „3te_Näherung“	aus Pkt. 4.2.2
- „4te_Näherung“	für Handauswahl aus RB_Korr-Dosis bzw. RB*t_Korr-Dosis
- RB_Korr-Dosis	aus Pkt. 4.4 (ist 4. Näherung)
- RB*t_Korr-Dosis	aus Pkt. 4.4 (ist 4. Näherung)
- RB_ $\Sigma$ X	aus Pkt. 4.3.1.1
- RB*t_ $\Sigma$ X	aus Pkt. 4.3.2.1
- RB_ $\Sigma$ Y	aus Pkt. 4.3.1.2
- RB*t_ $\Sigma$ Y	aus Pkt. 4.3.2.2

#### **4.4 Iterationsschritt unter Berücksichtigung von GS und Aufenthalt im Freien lt. Protokoll**

##### **Iterationsschritt 3**

Für Fall 2a:

Berechnung für B1...Bn (mit : „WT\_getragen“:  $\sqrt{\quad}$ )

Wenn  $[\Sigma \text{ZR1-5}(B1)] > [\text{MW}(C)+\text{STD}(C)]$  **Frage: Oder  $2*\text{STD}(C)$ ?**

oder



$$[\Sigma ZR1-5(B1)] < [MW(C)-STD(C)]$$

dann GS+Verhaltens-Anpassungsfaktor U:

$$U1 = [\Sigma ZR1-5(B1)] / [MW(C)]$$

sonst

$$U1 = 1$$

$$[4.N(WT/d)] = \{[WT_{mix} - ([\Sigma U1...Un] * [1.N(WE/d)])] + WE_{mix}\} / (GWT + GWE - dF)$$

$$[4.N(WE/d)] = ([\Sigma U1...Un] * [1.N(WE/d)]) / dF$$

Für Fall 2b:

Berechnung für D1...Dn (mit : „WE\_getragen“:  $\sqrt{\quad}$ )

Wenn  $[\Sigma ZR1-5(D1)] > [MW(A)+STD(A)]$  **Frage: Oder  $2*STD(A)$ ?**

oder

$$[\Sigma ZR1-5(D1)] < [MW(A)-STD(A)]$$

dann GS+Verhaltens-Anpassungsfaktor V:

$$V1 = [\Sigma ZR1-5(D1)] / [MW(A)]$$

sonst

$$V1 = 1$$

$$[4.N(WE/d)] = \{[WE_{mix} - ([\Sigma V1...Vn] * [1.N(WT/d)])] + WT_{mix}\} / (GWE + GWT - dA)$$

$$[4.N(WT/d)] = ([\Sigma V1...Vn] * [1.N(WT/d)]) / dA$$

FÜR ALLE ANDEREN FÄLLE:

$$[4.N(WT/d)] = \{WT_{mix} - ([\Sigma X1...Xn] * [3.N(WE/d)])\} / (GWT-dF)$$

$$[4.N(WE/d)] = \{WE_{mix} - ([\Sigma Y1...Yn] * [3.N(WT/d)])\} / (GWE-dA)$$

$$[5.N(WT/d)] = \{WT_{mix} - (dF * [4.N(WE/d)])\} / (GWT-dF)$$

$$[5.N(WE/d)] = \{WE_{mix} - (dA * [4.N(WT/d)])\} / (GWE-dA)$$

## 5. Ergebnis:

$$(WT/d)_{korr} = [5.N(WT/d)] \approx WT/d$$

$$(WE/d)_{korr} = [5.N(WE/d)] \approx WE/d$$

$$WT_{korr} = [5.N(WT/d)] * \text{„Arbeits-Tage“}^1$$

$$WE_{korr} = [5.N(WE/d)] * \text{„Frei-Tage“}^1$$

1 aus Tab\_ Frei-/Arbeit-Tage

Ergebniseintrag in Tabelle „Dosimeter“

**Neue Spalten** - „Korr\_Dosis/d“

- „Korr\_Dosis“

## B. kontinuierliche Jahresmessung (KW-Messung)

Aufgefallene Problemfälle:

- (WT oder) **WE** der zugeordneten KW auch noch in der folgenden KW getragen (→ bisher per DB-Abfragen nicht verwertbar)
  - WT an freien Tagen, WE an Arbeitstagen getragen (analog zu MP-Problemfällen)
  - Wechsel vergessen (1.KW zu hohe Werte; 2.KW leere Dosimeter)
  - im Urlaub oder aus sonstigen Gründen Dosimeter nicht getragen (leere Dosimeter)
  - Dosimeter manipuliert (alle Messfelder wurden gleich exponiert) – Status:6
- 
- bei 14-tägigem Wechsel: WE-Dosimeter auch an Werktagen getragen
  - bei 14-tägigem Wechsel: nur eine Woche Dosi getragen, in der 2. Woche nur Protokoll ausgefüllt (Einzelfall PN14)
  - bei 14-tägigem Wechsel: WE der vorangegangenen 2 Wochen getragen (Einzelfall PN 84)
  - WT und Urlaubstage auf einem Dosimeter

## 17 Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen aus den Anhängen 1 und 2

<b>Anh. 1, Tab. 1</b>	Ausfallzeiten für kontinuierliche, zeitaufgelöste UV-Personendosimetrie	142
<b>Anh. 1, Abb. 1 a</b>	Allgemeine Teilnehmerdaten: Kontaktdaten, Ausbildung, Arbeitsweg	143
<b>Anh. 1, Abb. 1 b</b>	Allgemeine Teilnehmerdaten: Freizeitaktivitäten	144
<b>Anh. 1, Abb. 1 c</b>	Allgemeine Teilnehmerdaten: Einwilligungserklärung Datenschutz	145
<b>Anh. 1, Abb. 2</b>	relevante Personendaten zur UV-Hauttyp-Bestimmung	146
<b>Anh. 1, Abb. 3</b>	Teilnehmerdaten zum Urlaubsjahr 2003 mit Freizeitaktivitäten im Freien und geografischen Angaben zum Urlaubsort	147
<b>Anh. 1, Abb. 4 a</b>	Vorderseite des Protokolls zum Probandentagebuch (Beispiel: Messperioden 04KW31 und 04KW32)	148
<b>Anh. 1, Abb. 4 b</b>	Rückseite des Protokolls zum Probandentagebuch (Beispiel: Messperioden 04KW31 und 04KW32)	149
<b>Anh. 1, Abb. 4 c</b>	Probandentagebuch: Protokoll zum Wetter im Urlaub	150
<b>Anh. 1, Abb. 5</b>	Ergänzung zum Probandentagebuch: Tätigkeitscharakteristik der Landarbeiter	151
<b>Anh. 1, Abb. 6</b>	Übersicht zur jahreszeitlich, mit der Sonnenhöhe variierenden Körperverteilung der solaren UV-Exposition	152
<b>Anh. 1, Abb. 7 a</b>	Datenreduzierendes, makrogesteuertes Excel-Tabellensystem X2000_graf0.xls	153
<b>Anh. 1, Abb. 7 b-d</b>	Übersichtsergebnisse zu X2000-Personendosimetrie mit Software „UVgraf“	154
<b>Anh. 1, Abb. 8 a</b>	Übersicht zu „verifizierten Datensätzen“ für Werktage (kontinuierliche Jahresmessung).	155
<b>Anh. 1, Abb. 8 b</b>	Übersicht zu „verifizierten Datensätzen“ für Wochenendtage (kontinuierliche Jahresmessung).	156
<b>Anh. 1, Abb. 9 a</b>	Fragebogen zum Wissen über Wirkungen der solaren UV-Strahlung und den Schutz vor zu hohen Expositionen (S. 1)	157
<b>Anh. 1, Abb. 9 b</b>	Fragebogen zum Wissen über Wirkungen der solaren UV-Strahlung und den Schutz vor zu hohen Expositionen (S. 2)	158
<b>Anh. 1, Abb. 9 c</b>	Fragebogen zum Wissen über Wirkungen der solaren UV-Strahlung und den Schutz vor zu hohen Expositionen (S. 3)	159
<b>Anh. 2, Tab. 1a</b>	Mittleren UV-Jahresexpositionen von 19 Körperareale aus Werktags- und aus Wochenendexpositionen	162
<b>Anh. 2, Tab. 1 b</b>	Mittleren UV-Jahresexpositionen von 19 Körperareale aus Werktags- und aus Wochenendexpositionen	163

<b>Anh. 2, Abb. 1 a-d</b>	Mittlere erythem-effektive UV-Tagesexpositionen von Beschäftigten im Hochbau, der Landwirtschaft und der Müllabfuhr in Relation zu Innenbeschäftigten im jahreszeitlichen Vergleich	164
<b>Anh. 2, Abb. 1 e-h</b>	Mittlere erythem-effektive UV-Tagesexpositionen von Sportlehrern, Kindergärtnerinnen und Glasreinigern in Relation zu Innenbeschäftigten im jahreszeitlichen Vergleich	165
<b>Anh. 2, Abb. 2 a-d</b>	Individuelle erythem-effektive UV-Expositionen, kontinuierlich über 52 Wochen	166
<b>Anh. 2, Abb. 2 e-h</b>	Individuelle erythem-effektive UV-Expositionen, kontinuierlich über 52 Wochen	167
<b>Anh. 2, Abb. 3 a-d</b>	Müllwerker: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 60° bzw. 42°	168
<b>Anh. 2, Abb. 3 e-h</b>	Müllwerker: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 30° bzw. 15°	169
<b>Anh. 2, Abb. 4 a-d</b>	Kindergärtnerinnen: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 60° bzw. 42°	170
<b>Anh. 2, Abb. 4 e-h</b>	Kindergärtnerinnen: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 30° bzw. 15°	171
<b>Anh. 2, Abb. 5 a-d</b>	Gärtner: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 60° bzw. 42°	172
<b>Anh. 2, Abb. 5 e-h</b>	Gärtner: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 30° bzw. 15°	173
<b>Anh. 2, Abb. 6 a-d</b>	Glasreiniger: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 60°, 42°, 30° bzw. 15°	174
<b>Anh. 2, Abb. 6 e-h</b>	Glasreiniger: Individuelle und mittlere Körperverteilungen durch solare UV-Strahlung an Werktagen; Vergleich für direkte Einstrahlung und diffuse Einstrahlung bei Mittagssonnenhöhe 30° bzw. 15	175
<b>Anh. 2, Abb. 7 a-b</b>	Vergleich der UV-Expositionenslevel der untersuchten Beschäftigtengruppen innerhalb des MZR einer Jahreszeit	176
<b>Anh. 2, Abb. 7 c-d</b>	Vergleich der UV-Expositionenslevel der untersuchten Beschäftigtengruppen innerhalb des MZR einer Jahreszeit	177
<b>Anh. 2, Abb. 8 a-b</b>	Verteilung der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Beschäftigtengruppen im Mai ( $\gamma_s = 60^\circ$ )	178

<b>Anh. 2, Abb. 9 a-b</b>	Verteilung der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Beschäftigtengruppen im September ( $\gamma_s = 42^\circ$ )	179
<b>Anh. 2, Abb. 10 a-b</b>	Verteilung der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Beschäftigtengruppen im Dezember ( $\gamma_s = 15^\circ$ )	180
<b>Anh. 2, Abb. 11 a-b</b>	Verteilung der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Beschäftigtengruppen im März ( $\gamma_s = 30^\circ$ )	181
<b>Anh. 2, Abb. 12</b>	Aufteilung der erythem-effektiven UV-Jahresdosen $H_{ery}(\text{Jahr})$ der untersuchten Beschäftigtengruppen	182