



## Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien

P. Knuschke, I. Unverricht, R. Aschoff, M. Cuevas, M. Janßen,  
E. Koch, A. Krüger, G. Ott, A. Thiele

**Forschung  
Projekt F 1986**

P. Knuschke  
I. Unverricht  
R. Aschoff  
M. Cuevas  
M. Janßen  
E. Koch  
A. Krüger  
G. Ott  
A. Thiele

**Untersuchung des Eigenschutzes  
der Haut gegen solare UV-Strahlung  
bei Arbeitnehmern im Freien**

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ – Projekt F 1986 – im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Dipl.-Phys. Peter Knuschke <sup>1</sup>  
Dipl.-Chem. Ines Unverricht <sup>1</sup>  
Dr. med. Roland Aschoff <sup>1</sup>  
Angela Thiele <sup>1</sup>  
Dipl.-Ing. Maximiliano Cuevas <sup>2</sup>  
Prof. Dr. rer. nat. Edmund Koch <sup>2</sup>  
Dr. rer. nat. Alexander Krüger <sup>2</sup>

Technische Universität Dresden  
Medizinische Fakultät „Carl Gustav Carus“  
<sup>1</sup> Klinik und Poliklinik für Dermatologie  
<sup>2</sup> Klinisches Sensoring und Monitoring  
Fetscherstraße 74, 01307 Dresden

Dipl.-Ing. Marco Janßen  
Dipl.-Ing. Günter Ott  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Uwe Völkner  
Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln  
Dipl.-Phys. Peter Knuschke  
Dr. med. Annette Stein  
Technische Universität Dresden

Umschlaggestaltung: Rainer Klemm  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund  
Telefon 0231 9071-0  
Fax 0231 9071-2454  
poststelle@buaa.bund.de  
www.buaa.de

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

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

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

ISBN 978-3-88261-121-2

# Inhaltsverzeichnis

Kurzreferat	7
Abstract	9
1 Einleitung	11
2 Wissenschaftliche und technische Ausgangssituation	13
3 Projektziele	18
4 Quantifizierung des natürlichen Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung für im Freien beschäftigte Arbeitnehmer im Jahresverlauf – Methodenspektrum	19
4.1 Organisation und Methoden der Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“, „Gruppe 3“	19
4.1.1 Übersicht zum Design der Studien, Ethikkommission, Probandenaufklärung, Einverständniserklärung und Probandenversicherung	19
4.1.2 Aufbau der Probandengruppen und dermatologische Eignungsuntersuchung	20
4.1.3 UV-Mess- und UV-Bestrahlungstechnik	24
4.1.3.1 Solarsimulator-Lichttestung zur Bestimmung der Erythemschwelldosis MED im Jahresverlauf	24
4.1.3.2 Definierte UV-Exposition mit sonnenähnlicher Strahlung	27
4.1.3.3 UV-Personenmonitoring – Erfassung der individuellen solaren UV-Expositionen und der Einflussfaktoren	30
4.1.4 Messverfahren für die Hautparameter	30
4.1.4.1 Optische Kohärenztomografie (OCT)	30
4.1.4.2 Hautfarbparameter	31
4.1.4.3 Fotodokumentation	32
4.2 Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf gegenüber der solaren UV-Strahlung von langjährig ständig im Freien Beschäftigten (Studie „Gruppe 1“)	32
4.2.1 Ausgangsstatus	32
4.2.2 Halbseitige Applikation eines Lichtschutzpräparates am Rücken	34
4.2.3 Monatliche Untersuchungen der Haut	34
4.2.4 Abschlussbefund am Ende der folgenden Wintersaison	35
4.2.5 UV-Personenmonitoring zur solaren UV-Exposition der Probanden von Studie „Gruppe 1“	35
4.3 Eigenschutzreaktion lichtungewöhnter Haut im Jahresverlauf auf künstliche UV-Expositionen (Studie „Gruppe 2“ Innenbeschäftigte: Rückenhautexposition mit mittleren solaren UV-Gesichtsdosen von Außenarbeitern)	36

4.3.1	Anpassung des Studienprotokolls an die unerwarteten Ergebnisse aus Studie „Gruppe 1“	36
4.3.2	Ausgangstatus	38
4.3.3	Halbseitige Applikation der künstlichen UV-Bestrahlung am Rücken	40
4.3.4	Monatliche Untersuchungen der Haut	42
4.3.5	Erhebung des Befundes am Ende der folgenden Wintersaison	42
4.3.6	UV-Personenmonitoring zur solaren UV-Exposition der Probanden von Studie „Gruppe 2“	43
4.4	Verifizierung des Eigenschutzverhaltens der Haut gegen solare UV-Strahlung im Verlauf eines Jahres bei ganzjährig UV-exponierten Körperstellen von im Freien Beschäftigten bezüglich Lichtschwiele und Pigmentierung (Studie „Gruppe 3“)	43
4.4.1	Monatliche Untersuchungen der Haut	43
4.4.2	Erhebung des Befundes am Ende der folgenden Wintersaison	44
4.4.3	UV-Personenmonitoring zur solaren UV-Exposition der Probanden von Studie „Gruppe 3“	44
5	Quantifizierung des zeitlichen Verlaufes von Aufbau und Dauer des Eigenschutzes der Haut gegenüber künstlicher UV-Strahlung nach Einzelexposition sowie nach fünffacher serieller Exposition – Methodenspektrum	45
5.1	Organisation und Methoden der Studien „Gruppe A“ und „Gruppe B“	45
5.1.1	Übersicht zum Design der Studien, Ethikkommission, Probandenaufklärung, Einverständniserklärung und Probandenversicherung	45
5.1.2	Aufbau der Probandengruppen und dermatologische Eignungsuntersuchung	46
5.1.3	UV-Messtechnik, UV-Bestrahlungstechnik und Untersuchungsmethoden für die Hautparameter	47
5.2	Untersuchung der Eigenschutzreaktion der Haut nach fünf seriellen UV-Expositionen – Studie „Gruppe B“	48
5.3	Untersuchung des Eigenschutzes der Haut nach UV-Einzelexposition – Studie „Gruppe A“	50
6	Auswerteverfahren zur Bestimmung der Epidermisdicke aus OCT-Bildern	51
6.1	Manuelle Epidermisdickenbestimmung aus OCT-Bildern mittels Software „OCT-Cursorauswertung“	51
6.2	Automatische Epidermisdickenmessung an OCT-Aufnahmen	52
6.2.1	Algorithmus der automatischen Bilderkennung	52
6.2.2	Auswertung der automatischen Bildverarbeitung	53
6.2.3	Datenbankablage automatischer und manueller OCT-Bildauswertungen	54

6.3	Verfahrensbedingte Unsicherheit der Epidermisdickebestimmung	54
7	Jahresverlauf des natürlichen UV-Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien – Ergebnisse (Teil A)	56
7.1	Ergebnisübersicht zum Teil A – Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“	56
7.2	Detailergebnisse	61
7.2.1	Minimale Erythemdosis MED im Jahresverlauf	61
7.2.1.1	MED – Ständig im Freien Beschäftigte (Studie „Gruppe 1“)	61
7.2.1.2	MED – Innenbeschäftigte (Studie „Gruppe 2“) mit halbseitiger UV-Exposition des Rückens	64
7.2.1.3	MED – nicht-exponierte Gesäßhaut	67
7.2.1.4	Relation von MED und MTD (Schwellwertdosis für bleibende Pigmentierung)	69
7.2.1.5	Fazit zur UV-Erythemreaktion im Jahresverlauf	72
7.2.2	Epidermisdicke im Jahresverlauf	73
7.2.2.1	Ergebnisse zur Epidermisdicke im Jahresverlauf	73
7.2.2.2	Lichtschwielereaktion an der Haut im Freien Beschäftigter	80
7.2.3	Pigmentierungsgrad der Haut im Jahresverlauf – Hautfarbwert +b*	81
7.2.3.1	Ergebnisse zum Pigmentierungsgrad im Jahresverlauf	81
7.2.3.2	Fazit aus den Untersuchungen zum Pigmentierungsgrad	85
7.3	Dosis-Wirkungs-Beziehung der Lichtschwielereaktion	89
7.3.1	Basis der Analyse	89
7.3.2	Signifikanztest	90
7.3.3	Schwellwertdosis der Lichtschwielereaktion	91
8	Aufbau und Beständigkeit des natürlichen Eigenschutzes der Haut gegenüber einzelnen und seriellen UV-Expositionen - Ergebnisse (Teil B)	93
8.1	Zeitverlauf der individuellen minimalen Erythemdosis (MED) nach fünf seriellen bzw. einer einzelnen UV-Exposition – Ergebnisübersicht Studien „Gruppe B“ und „Gruppe A“	93
8.2	Variabilität der individuellen Ausprägung der Kombination von Lichtschwielereaktion und Pigmentierungsvermögen als UV-Eigenschutzkomponenten	95
8.2.1	Subgruppen für die Kombination von Lichtschwiele- und Pigmentierungsfähigkeit nach fünf seriellen sub-erythematösen UV-Expositionen	99
8.2.2	Subgruppen für die Kombination von Lichtschwiele- und Pigmentierungsfähigkeit nach sub-erythematösen UV-Einzelexpositionen	104
8.3	Eigenschutzvermögen der Haut – Fazit für den Schutz vor UV-Expositionen	105
9	Zusammenfassung	107

10	Ausblick	112
11	Literaturverzeichnis	115
12	Abkürzungsverzeichnis	119
13	Tabellenverzeichnis	121
14	Abbildungsverzeichnis	122
15	Danksagung	127
Anhang 1 Organisation und Design der Studien		128
Anhang 2 Detailergebnisse		148
Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen aus den Anhängen 1 und 2		214

# Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien

## Kurzreferat

Epidemiologische Studien belegen einen Zusammenhang von lebenslang kumulierten, aber auch intermittierend hohen UV-Expositionen mit dem Hautkrebsrisiko.

Im BAuA-Forschungsprojekt F 1777 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ konnte das jährlich erhöhte UV-Expositionsniveau für Berufsgruppen im Freien Beschäftigter gegenüber Innenbeschäftigten mittels UV-Personenmonitoring quantifiziert werden.

Es war zwar bekannt, dass die Haut in einem gewissen Umfang einen natürlichen Eigenschutz gegen UV-Strahlung aufzubauen vermag. Ob das Ausmaß dieser UV-Eigenschutzreaktion ausreichend ist, um in Schutzkonzepten für solar UV-exponierte Arbeitsplätze berücksichtigt werden zu können, war jedoch nicht bekannt.

Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes war es, den Gesamteigenschutz (bezüglich des UV-Erythems) und dessen Komponenten Melaninpigmentierung und Lichtschwielereaktion zu quantifizieren.

Im **Teil A** des Projektes wurde im jahreszeitlichen Verlauf die Eigenschutzreaktion der Haut auf solare UV-Strahlung bei Außenbeschäftigten (Gruppe 1: Gärtner, Bauarbeiter; n = 12) bzw. auf solarsimulierte UV-Strahlung bei Innenbeschäftigten (Gruppe 2: n = 12) untersucht. Die an lichtungewöhnter Rückenhaut applizierte solarsimulierte Strahlung entsprach im jahreszeitlichen Verlauf mittleren UV-Gesichtsdosen von Außenbeschäftigten. Zeitgleich zu Gruppe 2 wurde eine Gruppe 3 (Gärtner, Bauarbeiter; n = 12) einbezogen, um die Ergebnisse aus Gruppe 1 und 2 zu Pigmentierungsgrad und Lichtschwielereaktion zu bestätigen.

Übereinstimmend bestätigte sich ein UV-Eigenschutzfaktor  $\leq 2$  durch die Tätigkeit der Außenbeschäftigten im Sommerhalbjahr im Freien. Der Sommerurlaub mit höheren individuellen Sonnenexpositionen führte zu vergleichbaren bis stärkeren UV-Eigenschutzreaktionen.

Im **Teil B** wurde die Eigenschutzreaktion nach einmaliger (Gruppe A) bzw. nach fünf seriellen, sub-erythematösen UV-Expositionen von je 1,8 SED über einen Zeitraum von 8 Wochen untersucht. Während die Einzelexposition keinen nachhaltigen Effekt zeigte, führten die fünf seriellen UV-Expositionen zu einer über 8 Wochen beständigen Eigenschutzerhöhung um 20 %. Mittlere solare Tagesexpositionen im Freien Beschäftigter liegen im Gesichtsbereich im Mittel im Sommer bei 1 SED pro Tag.

Für die Lichtschwielereaktion konnte eine Dosis-Wirkungs-Beziehung ermittelt werden. Signifikante Epidermisverdickung setzen erst bei individuell  $\approx 1,0$  MED (ähnlich wie bei der Melaninphotosynthese) – also deutlich oberhalb von 1 SED ein. Das erklärt die fehlende UV-Eigenschutzreaktion bei den untersuchten Außenbeschäftigten. Fazit dieses Projektes ist, dass für Außenbeschäftigte die UV-Eigenschutzreaktion der Haut nicht als Komponente zum vorbeugenden Gesundheitsschutz an solar-exponierten Arbeitsplätzen herangezogen werden darf.

Neben organisatorischen Maßnahmen zur UV-Expositionsreduktion an diesen Arbeitsplätzen sind Komponenten für den Haut- und Augenschutz unumgänglich. Diese müssen auf ihre Effizienz geprüft werden.



**Schlagwörter:**

UV-Eigenschutz der Haut, MED, Hautpigmentierung, Hautfarbmessung, Epidermisdicke, Lichtschwiele, optische Kohärenztomografie OCT, Außenbeschäftigte, UV-Hauttyp, Hautkrebsrisiko, UV-Personenmonitoring

# Investigation of the natural skin protection against solar UV radiation in outdoor workers

## Abstract

Epidemiological studies have shown a correlation between cumulative life time UV dose, high intermittent UV exposures, and the risk of skin cancer. In the results of the BAuA-research project F 1777 „Personal UV monitoring in outdoor workers” it was possible to quantify the increased annual UV dose of profession groups of outdoor workers compared to indoor workers, caused by the increased workday contribution. Natural skin protection against UV radiation (UVR) is a known fact. But the extent of this effect within the skin of outdoor workers was not known. The question was whether or not this effect could be a possible component for health prevention purposes.

The aim of this project was to quantify the natural skin protection, using the current minimal erythema dose (MED) as an indicator, in the course of a year. Simultaneously, we investigated the time course of the components of the skin protection effect: the melanin pigmentation and the thickness of the epidermis.

In **Part A** of the research project we investigated the skin protection reaction against solar UVR within outdoor workers (“Group 1”: gardeners, construction workers,  $n = 12$ ). We validated the result for un-adapted skin on the back (“Group 2”: indoor workers,  $n = 12$ ) in a left-right intercomparison. From March to September the left side was exposed to simulated solar UV radiation determined by the mean personal UV dose of outdoor workers’ faces. The right side served as unexposed control. Simultaneously, the previous investigation of the components of UV skin protection – pigmentation and epidermis thickness – was carried out again in “Group 3” (gardeners, construction workers,  $n = 12$ ). In all three studies the UV skin protection factor was not higher than a factor of 2. Three weeks of summer holidays for indoor workers led to a comparable increase in UV skin protection in indoor workers as in outdoor workers from March to July.

In **Part B** we investigated the time course of the natural UV skin protection reaction triggered by a single sub-erythema UV exposure of 1.8 SED (“Group A”) and by five serial UV exposures of 5x 1.8 SED (“Group B”) for the 8 weeks. On average, the single sub-erythema UV exposure induced no skin protection reaction. In contrast, after the five sub-erythema UV exposures we observed a persistent increase of the MED of at least 20 % for the observed eight weeks. The mean diurnal personal UV dose of outdoor workers is 1 SED ( $\approx 0.7$  MED of skin type II or  $\approx 0.5$  MED of skin type III) in summer. We found that the dose-response relationship for actinic skin thickening shows that this photoeffect is significantly detectable only for UV exposures of the individual’s minimal erythema dose or higher. Therefore, the mean daily UV exposure levels of outdoor workers in Central Europe do not induce a skin thickening reaction. As a result of the research project we can conclude that there is only a marginal natural skin protection reaction - less than a factor 2. Natural skin protection is not a possible component for health prevention purposes in outdoor workplaces. Effective organizational, technical and personal protective measures are necessary. The efficiency of the measures will have to be validated.

**Key words:**

skin protection, MED, pigmentation, skin colour, epidermal thickness, actinic skin thickening, optical coherent tomography OCT, outdoor worker, UV skin type, skin cancer risk, personal UV monitoring

# 1 Einleitung

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 jedoch 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 ging man von einem sehr hohen Eigenschutz aufbau durch die Haut im Verlauf des Sommerhalbjahres aus und berief sich auf eine Untersuchung von JUNG et al. (1971). In dieser Arbeit wurde jedoch der Maximalwert des natürlichen Eigenschutzes der kaukasischen Haut bezüglich der Akutreaktion UV-Erythem untersucht. Dieser Maximalwert in Höhe eines Schutzfaktors 40 wurde nach täglichen, erythematösen UV-Expositionen über 20 Tage in einem Testareal erreicht, 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. Dieser angenommene Aufbau des natürlichen Eigenschutzes durch die Tätigkeit im Freien würde zu einer zu strengen Anforderung an den maximal zulässigen UV-Expositionslevel führen, weil diesen Grenzwerten 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 entwickelt. Das Ausmaß derartiger individueller UV-Expositionen wurde in einem BAuA-Forschungsprojekt F 1777 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ (KNUSCHKE et al., 2007) sowie einem BMBF-Forschungsprojekt „Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung“ (KNUSCHKE et al., 2004) mittels UV-Personenmonitoring ermittelt.

Im Projekt F 1986 „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ wurde eben dieser natürliche UV-Eigenschutz für ständig im Freien Beschäftigte im Jahresverlauf untersucht. Weiterhin wurde die Eigenschutzreaktion der lichtungewöhnten Haut auf eine bzw. auf fünf serielle UV-Einzelexpositionen in ihrem Ausmaß und zeitlichem Verlauf ermittelt. Diese Expositionssituationen entsprechen denen, wie sie bei den ersten intensiven Sonneneinwirkungen im Frühjahr für im Freien Beschäftigte auftreten, beziehungsweise, wie sie bei Streustrahlungsexpositionen an Arbeitsplätzen mit künstlichen UV-Strahlenquellen auftreten können.

Der natürliche Eigenschutz der Haut gegenüber UV-Strahlung wird im Wesentlichen durch die Lichtschwiele-Reaktion und die Melanin-Pigmentierung der Haut aufgebaut. Einer orientierenden Klassifikation der Eigenschutzfähigkeit dienen die UV-Toleranztypen der Haut. In Mitteleuropa sind das typischerweise die Hauttypen I-IV, mit Schwerpunkt Hauttyp II und III. Wie stark der Eigenschutz – abhängig vom UV-Toleranztyp der Haut – UV-expositionsabhängig im Jahresverlauf aufgebaut wird und im Herbst/Winter wieder zurückgeht, konnte bisher aus verfahrenstechnischen Gründen für größere Probandenzahlen in wissenschaftlichen Studien noch nicht quantitativ untersucht werden. Daher standen derartige Daten bislang für Bewertungen nicht zur Verfügung.

Über ein Jahr hinweg wurden im Rahmen dieses Projektes 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 wurde die Haut von Personen (Innenbeschäftigte als Probanden) untersucht, die noch nie als Außenbeschäftigte tätig waren. Deren Hautbeschaffenheit entspricht der von Berufseinsteigern in Tätigkeiten, die ständig im Freien ausgeführt werden. Im Rahmen der Untersuchungen wurden auf einer Rückenhälfte im Jahresverlauf sonnenähnliche, sub-erythematöse UV-Expositionen appliziert, die jeweils der mittleren UV-Dosis für die Stirn von im Freien Beschäftigten zu diesem Jahreszeitpunkt entsprechen (Dosisdaten gemäß UV-Personenmonitoring aus KNUSCHKE et al., 2007). Der Hautzustand der anderen Rückenhälfte diente als unexponierte Kontrolle.

Der individuelle Einflussfaktor aus Werktags-, Freizeit- und Urlaubsexpositionen wurde in kontinuierlichen Messungen über das Untersuchungsjahr mittels des weitgehend automatisiert laufenden UV-Personenmonitoring (KNUSCHKE et al., 2007) erfasst. Damit konnten die UV-Eigenschutzveränderungen an der Haut im Jahresverlauf in Relation zu den auslösenden UV-Expositionen ausgewertet werden.

Ziel dieses Forschungsprojektes war zum einen die Ermittlung quantitativer Daten zum natürlichen Eigenschutz der Haut gegenüber der solaren UV-Strahlung im Jahresverlauf.

Ein weiteres Ziel war es, den Einfluss von sub-erythematösen Einzel- bzw. (fünf) seriellen UV-Expositionen auf das Eigenschutzverhalten der Haut zu untersuchen. Diese Expositionsbedingungen sollen auch Situationen durch Streustrahlungen simulieren, wie sie an Arbeitsplätzen mit künstlichen UV-Strahlenquellen für dort beschäftigte Arbeitnehmer auftreten können.

Im Ergebnis des BAuA-Forschungsprojektes F 1986 kann das Eigenschutzverhalten der Haut von im Freien beschäftigten Arbeitnehmern mit den Konsequenzen für den Gesundheitsschutz für diese Arbeitsplätze quantifiziert werden.

Auch für Arbeitsplätze mit künstlichen UV-Strahlenquellen liegen Orientierungen für die Hautreaktion auf Streustrahlungsexpositionen vor.

## 2 Wissenschaftliche und technische Ausgangssituation

Um dem Regelungsbedarf Rechnung zu tragen, der aus dem gesundheitlichen Risiko bei zu hohen Expositionen aus künstlichen UV-Strahlenquellen im Arbeitsprozess entsteht, wurde auf europäischer Ebene die EU-Richtlinie 2006/25/EG (EU-Richtlinie, 2006) erlassen. Auf nationaler Ebene wurde die Unfallverhütungsvorschrift BGV B9 „Künstliche optische Strahlung“ (BGV B9, Fachausschussentwurf) ausgearbeitet. Beide Papiere schließen ausdrücklich die natürliche optische Strahlung aus. Das betrifft die Arbeitsplätze mit Beschäftigungsfeld ständig oder teilweise *im Freien* – in Deutschland etwa 2 Millionen. Hier besteht nach wie vor Bedarf für Regelungen zum gesundheitlichen Arbeitsschutz.

Für diese solar UV-exponierten Arbeitsplätze können nicht einfach die von der International Commission for Nonionizing Radiation Protection (ICNIRP) empfohlenen wellenlängenabhängigen Grenzwerte maximaler UV-Bestrahlungen  $H_{ICNIRP}(\lambda)$  für den 8-Stunden-Arbeitstag (ICNIRP 1996; entsprechen Grenzwerten in: EU-Richtlinie, 2006) 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 einer Haut ohne ausgeprägten natürlichen Lichtschutz durch Pigmentierung und Lichtschwiele aus solarer UV-Exposition für die Beschäftigten ausgegangen werden, wie es im Winter oder bei Tätigkeit ausschließlich im Gebäude der Fall ist.

Demgegenüber wird für den ganzjährig im Freien Beschäftigten der Aufbau eines gewissen natürlichen Lichtschutzes der Haut unter der solaren UV-Strahlung angenommen. Eine Anwendung des o. g. Grenzwertsatzes, der keinen Eigenschutz der Haut berücksichtigt, wäre verglichen mit Alltagsgegebenheiten und -erfahrungen ein unangemessener Maßstab: Eine Exposition von länger als 10 Minuten Mittagssonne im Sommer führte dann zu einer Überschreitung des Grenzwertes für den 8-Stunden-Arbeitstag – zumindest für ein Hautareal, das über diese Zeit konstant und senkrecht der Sonnenstrahlung ausgesetzt sein würde.

Eine Untersuchung von JUNG et al. (1971) weist aus, dass die Haut unter extremen Expositionsbedingungen prinzipiell in der Lage ist, einen hohen Eigenschutz gegen UV-Strahlung bis zu einem Schutzfaktor 40 bezogen auf den Ausgangswert der minimalen Erythemdosis aufzubauen. Das führte in der Vergangenheit zu der Annahme, dass die solaren Alltagsexpositionen im Jahresverlauf generell in der Lage seien, einen ähnlich hohen UV-Eigenschutz mit einem Faktor 10...40 aufzubauen und damit einen deutlichen Schutz gegen UV-Strahlung auszubilden.

Eigene Ergebnisse zum Eigenschutzaufbau an hautgesunden Innenbeschäftigten (Hauttypen II-IV) zwischen März und September/Oktober ergaben für den Rücken lediglich ein Verhältnis:  $MED(\text{Sep}) : MED(\text{März}) = 1,37 \pm 0,37$  ( $n = 15$ ) (KNUSCHKE et al., 2005). Für die Solarexpositionen auf die untersuchte Rückenhaut der Innenbeschäftigten kamen die Freizeit und der Urlaub mit Sommertextilien und ggf. mit Badebekleidung in Frage.

Im BAuA-Projekt 1777 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ (KNUSCHKE et al., 2007) und in den BMBF-Projekten (KNUSCHKE et al., 2000; KNUSCHKE et al., 2004) wurden die individuellen UV-Expositionen mittels UV-Personenmonitoring für verschiedene Beschäftigtengruppen im Freien erfasst. Gemessen an der Brust als Referenzmessposition liegen die Messdaten für den jahreszeitlichen Verlauf als (standard)erythem-effektive Bestrahlungen  $H_{er}$  sowie als ICNIRP-effektive Bestrahlungen  $H_{ICNIRP}$  vor. Gleichfalls wurden exemplarische Messungen der jahreszeitlich (und beruflich) variierenden Körperverteilung der solaren UV-Exposition an 19 Körperarealen durchgeführt. Damit lassen sich für die einzelnen Berufsgruppen mittlere kumulative UV-Jahresdosen für diese 19 Körperareale über ein Modell biometrisch abschätzen. Die so bestimmten biologisch-effektiven Daten beziehen sich auf das Wirkungsvermögen der UV-Strahlung auf die ungeschützte, lichtungewöhnte Haut bei minimalem natürlichen Eigenschutz der Haut gegenüber UV-Strahlung. Zusatzinformationen über Bekleidungsstatus und Lichtschutzsubstanznutzung für die tatsächlich exponierten Hautarealen und deren Hautschutz im Tagesverlauf wurden über die Probandentagebücher für die UV-Personenmonitoring-Datenbank erfasst.

Die UV-Personendosimetrie erfasst das Ausmaß der auf die Person einfallenden solaren UV-Exposition. Der Grad des individuellen UV-Eigenschutzes (außer dem erfassten Hauttyp) und dessen Veränderung unter der UV-Exposition kann aus den personendosimetrischen Messungen nicht ermittelt werden.

Das Vermögen der Haut, in gewissem Umfang einen natürlichen Eigenschutz gegenüber UV-Strahlung zu bilden, wird im Wesentlichen durch die sogenannte Lichtschwiele und durch die Melanin-Pigmentierung der Haut gewährleistet.

Die *Pigmentierung* wird durch eine UV-induzierte Stimulierung der Melanozyten bewirkt (Melanogenese/indirekte Pigmentierung: Bereich des Aktionsspektrums 250-400 nm; Maximum um 297 nm). Das dabei gebildete Melanin hat im UV-B-Bereich eine breite Absorptionsbande, die auch in den UV-A-Bereich hinein nur langsam abfällt. Das Melanin lagert sich in der Basalzellschicht und der unteren Stachelzellschicht in den Intrazellulärenräumen schirmartig über den Zellen an. Damit reduziert das Melanin die UV-Exposition von Basalzellschicht und darunter liegender Cutis, nicht aber für die darüber liegenden Schichten der Epidermis.

Die sogenannte Sofortpigmentierung (immediate pigment darkening IPD: Bereich des Aktionsspektrums 300 - 450 nm; Maximum um 340 nm) beruht auf einer Photooxidation von in der Epidermis bereits vorhandenem Melanin. Sie trägt damit nicht zu einer Erhöhung des UV-Absorptionsvermögens bei.

Die *Lichtschwiele* beruht auf einer UV-induzierten erhöhten Zellteilung in der Epidermis, die sich histologisch als Akantose darstellt, gefolgt von einer vermehrten Hornbildung, also Verdickung der Hornschicht (MIESCHER 1930). Durch diese erhöhte Schichtdicke steigt die Absorption von UV-Strahlung bereits in der Hornschicht. Diese UV-induzierte Hyperkeratose bietet den Epidermisschichten oberhalb der Basalzellschicht einen gewissen natürlichen Lichtschutz. Die bei diesem Prozess ebenfalls insgesamt verdickte Epidermis ist neben der Melaninabsorption für Basalzellschicht und darunter befindliche Cutis Teil des natürlichen UV-Eigenschutzes.

Diese UV-relevanten Effekte in der Haut wurden *qualitativ* bereits seit den 1930er Jahren untersucht. Zusammenfassend sind sie in den Standardwerken der Dermatologie dargestellt (z. B. BRAUN-FALCO et al., 1996).

### **Bestimmung der minimalen Erythemdosis an stark pigmentierter Haut**

Für die minimale Erythemdosis als Gesamtcharakteristikum des natürlichen Lichtschutzes war es bisher schwierig bzw. nicht möglich, diese Größe im Jahresverlauf zu bestimmen. Die minimale Erythemdosis ist definiert als „diejenige aktinische Dosis, die ein gerade bemerkbares Erythem an einer normalen, nichtexponierten, ‚weißen‘ Haut erzeugt“ (CIE 1987). Die durch die UV-Exposition getriggerte Entzündung mit nachfolgend erhöhter kapillarer Durchblutung der Haut stellt sich in der Photodiagnostik visuell als zarte durchgängige Rötung gegenüber der unexponierten Umgebungshaut dar. In der dermatologischen UV-Phototherapie bzw. bei der *in vivo*-Bestimmung des Lichtschutzfaktors von Lichtschutzpräparaten erfolgt die MED-Bestimmung routinemäßig. Allerdings erfolgen die Untersuchungen immer an Arealen lichtungewöhnter Haut. Eine zuverlässige MED-Bestimmung ist an pigmentierter Haut visuell – abhängig vom Grad der Pigmentierung – schwierig bis unmöglich. Die Pigmentierung überdeckt die zarte Rötung. Bei stark fortschreitender Pigmentierung im Jahresverlauf wären nur noch deutliche Erythemreaktionen visuell abgrenzbar, diese würden aber erheblich höhere Bestrahlungswerte zur Auslösung erfordern, als für die MED notwendig.

Es gab eine Vielzahl von Untersuchungen, um die MED, die MPD (minimale phototoxische Dosis) oder die MTD (minimal tanning dose) nicht nur subjektiv, visuell zu bewerten, sondern auch durch mehr oder minder aufwendige messtechnische Verfahren wie Reflexionsspektrometrie, 3-Kanal-Farbmessung, 2-Punkt-Erythem-Melanin-Messgeräte, Laser-Doppler-Flowmetrie, Minolta-Chromameter u. a. zu objektivieren (LAHTI et al., 1993; ANDERSEN et al., 1992; KOLIAS et al., 1994). Aufgrund seiner guten Handhabbarkeit wurde insbesondere das Chromameter (Fa. Minolta, Japan) häufig herangezogen. Das in diesem Farbmessgerät verwandte  $L^*a^*b^*$ -Messsystem entspricht weitgehend dem menschlichen Farbempfinden im gesamten Farbraum (CIE 1986). In diesem Farbraum stellen die menschlichen Hautfarben und ihre Änderungen nur einen kleinen Bereich dar. Deutliche Hautfarbänderungen sind damit gut nachweisbar. Bei feineren Abstufungen, wie durch eine photodiagnostische Lichttreppe zur MED-Bestimmung mit z. B. 20 % geometrischer UV-Dosisprogression bewirkt, schwanken die Messergebnisse zwischen den ausgemessenen Hautarealen deutlich. Und während visuell ein Schwellwert ausgemacht werden kann, ist im  $L^*a^*b^*$ -Farbraum eine solche Qualitätsänderung kaum nachweisbar, die Messwerte verlaufen kontinuierlich im Bereich des visuell ausgemachten Schwellwertes. Das konnte auch durch eigene Arbeiten bestätigt werden (DOURMISHEV et al., 1994).

Unter der Zielstellung einer objektivierten, untersucherunabhängigen Bestimmung der minimalen Erythemdosis (MED) für die dermatologische UV-Photodiagnostik und UV-Phototherapie wurde an der Klinik und Poliklinik für Dermatologie/TU Dresden eine Methode auf Basis des Laser-Doppler-Imager-Verfahrens entwickelt (SCHMOLKE et al., 1997). Es konnte weiterhin nachgewiesen werden, dass mit dieser Methode die MED bei bestehender Pigmentierung bestimmt werden kann. Es besteht mit dieser Technik die Möglichkeit, trotz eines sich permanent aufbauenden natürlichen Lichtschutzes mit stetiger Intensivierung der Pigmentierung die minimale Erythemdosis zu bestimmen.



Das Prinzip der Messung der Mikrozirkulation in der Haut mit einem Laser-Doppler-Imager entspricht dem der Laser-Doppler-Flowmetrie (NIAZI et al., 1993; BOGGETT et al., 1985). Eine monochromatische Strahlung erfährt bei der Streuung an den roten Blutkörperchen eine Frequenzverschiebung, deren Intensität von der Konzentration und der Geschwindigkeit der roten Blutkörperchen abhängig ist. Mit dem Laser-Doppler-Imager ist jedoch eine flächenhafte, berührungsfreie, bildgebende Darstellung der Mikrozirkulation der Haut möglich (ESSEX et al., 1991; WARDELL et al., 1993), indem der Strahl eines He-Ne-Lasers (Wellenlänge 632,8 nm; Eindringtiefe um 1 mm) mittels eines motorgetriebenen Spiegels über die zu messende Körperoberfläche rastert. Das frequenzveränderte rückgestreute Licht wird über den Spiegel einem Photodetektor und einer Auswerte-Software zugeführt. Für ein wählbares Flächenelement des abgerasterten Hautareals werden der Mittelwert und die Standardabweichung eines relativen „Flux“ als Messgröße ausgegeben. Durch Ab-rastern des Hautareals vor und nach einer photodermatologischen MED-Testung und nachfolgender Flux-Auswertung der exponierten Testfelder ist die Detektion des Testfeldes möglich, das in der UV-Phototestung mit entsprechend 1 MED exponiert wurde.

### ***Nicht-invasive Bestimmung der UV-ausgelösten Vergrößerung der Epidermisdicke (Lichtschwiele)***

Der Effekt:

Die Lichtschwiele ist als Effekt der UV-Strahlung seit der Beschreibung durch MIESCHER (1930) qualitativ bekannt. Im histologischen Präparat ist der Effekt nachweisbar. Über Untersuchungsreihen zum zeitlichen Verlauf der Lichtschwiele nach UV-Einzelexposition, nach mehreren seriellen UV-Expositionen jeweils unterschiedlicher Bestrahlung oder zum Ausmaß der Lichtschwiele im Jahresverlauf waren in der Literatur keine Daten zu finden. Derartige Untersuchungsreihen mit einer statistisch auswertbaren Anzahl an Probanden hätte ein erhebliches Ausmaß von Hautbiopsien pro Proband bedeutet, was in einem solchen Umfang ethisch fragwürdig wäre.

In der Dermatologie werden zur Darstellung oberflächlicher Strukturen typischerweise 20 MHz-Ultraschallgeräte eingesetzt. Damit sind aber epidermale Änderungen aufgrund der geringen Auflösung des Verfahrens nicht darstellbar (Auflösungsvermögen  $\approx 100 \mu\text{m}$ ; mittlere Epidermisdicke  $\approx 100 \mu\text{m}$ ). Mit der optischen Kohärenztomographie (optical coherence tomography – OCT) steht ein neues Verfahren als Ergänzung zur nicht-invasiven Darstellung morphologischer Strukturen der Haut zur Verfügung. Es ist bei WEZEL (2001) folgendermaßen kurz charakterisiert: „OCT basiert auf dem Prinzip der Michelson-Interferometrie. Infrarotes Licht einer kurzen Kohärenzwellenlänge wird dabei in einen Referenz- und einen Probenstrahl aufgeteilt. Das aus dem Gewebe zurückgestreute Licht wird mit dem gespiegelten Referenzlicht verglichen, wobei es nur dann zu einer Interferenz beider Anteile kommt, wenn diese sich innerhalb der kurzen Kohärenzlänge treffen, die damit die axiale Auslöschung bedingt. Durch den Vergleich beider Lichtanteile erhält man Informationen über die zurückgelegte Weglänge des Probenlichtes und so tiefenabhängig Informationen über die optischen Eigenschaften des Gewebes, wie Streuung und Absorption. Durch laterales Scannen des Signals erhält man, vergleichbar wie zum Ultraschallverfahren, zweidimensionale B-Bilder der Haut.“ Mit dieser Methode können bei einer Eindringtiefe von etwa 1 mm oberflächennahe Veränderungen in Epidermis und Hornschicht sichtbar gemacht werden. Ursprünglich für die Augenheilkunde entwi-

ckelt, musste für die Untersuchung optisch stark streuender Medien, wie es die Haut ist, eine Modifizierung der Technik erfolgen.

Eine Reihe grundlegender dermatologischer Anwendungsmöglichkeiten wurden von der Dermatologie der Medizinischen Universität Lübeck und dem Laserzentrum Lübeck untersucht (WEZEL, 2001; WEZEL et al., 2003).

Die seit März 2003 an der Medizinischen Fakultät der TU Dresden etablierte Forschungsgruppe Klinisches Sensoring und Monitoring (KSM/TU Dresden) arbeitet ebenfalls an der Weiterentwicklung des OCT-Verfahrens.

In Zusammenarbeit von Dermatologie und KSM der Medizinischen Fakultät der TU Dresden wurde erstmals die OCT-Darstellung der Epidermisverdickung nach UV-Exposition untersucht. Sowohl nach einer UV-Einzelexposition als auch nach drei seriellen UV-Expositionen im 24-h-Takt mit 1 MED war die Epidermisverdickung im OCT-Bild in Folge messbar. Die OCT-Aufnahmen 2 Wochen nach den UV-Expositionen – unmittelbar vor je einer Biopsie aus diesen Hautarealen – zeigten ein analoges Verhalten bezüglich der Lichtschwielereaktion, verglichen mit dem Befund aus den angefertigten histologischen Präparaten (KNUSCHKE et al., 2005).

Aus den Erfahrungen dieser Voruntersuchungen wurde ein OCT-Gerät mit speziellem Applikator für die Messung an Haut mit dünner Hornschicht (Rücken als Testareal) optimiert, das mit Start des Forschungsprojektes zur Verfügung stand. Dieses OCT-Gerät kam dann durchgängig an der Dermatologie/TU Dresden für die Untersuchungen zur Lichtschwiele unter den vorgesehenen Bedingungen des Projektes zum Einsatz (POPP et al., 2005; POPP et al., 2006a; POPP et al., 2006b; KRÜGER et al., 2007). Darüber hinaus erfolgten Untersuchungen an verschiedenen Körperregionen Hautgesunder zur Epidermisdicke und deren Verteilung in dieser Personengruppe, sowie für verschiedene medizinische Studien (ASCHOFF et al., 2006; ASCHOFF et al., 2007).

### **Gerätetechnik zur photodiagnostischen MED-Bestimmung und zur gezielten UV-Exposition mit sonnenspektrumähnlicher UV-Strahlung**

Zur photodiagnostischen Bestimmung der minimalen Erythemdosis MED wird im Optimalfall solarsimulierter Strahlung (SSR) genutzt, da man damit den natürlichen Bedingungen, denen die Haut ausgesetzt ist, am nächsten kommt. Es steht ein DERMOLUM UM (Fa. Müller Optik-Elektronik GmbH, Moosinning) zur Verfügung, das in der spezialisierten UV-Photodiagnostik der Klinik routinemäßig eingesetzt wird. Es verfügt über einen Solarsimulator aus 1 kW-Xenonlampe, Schott-Steilkantenfiltern und IR-Filter. Für die Strahlung des Solarsimulators liegen Messungen für den Bereich 220 nm bis 780 nm mittels Doppelmonochromator-Spektroradiometer TDM 300 (Fa. Bentham, UK) vor, die im Rahmen des Projektes durch die BAuA Dortmund erfasst wurden.

Für die definierte UV-Exposition von Hautarealen mit sonnenähnlicher Strahlung standen Phototherapiegeräte zur Verfügung. Als UV-Strahlenquellen wurde die Type Arimed B (Fa. Cosmedico Licht GmbH, Stuttgart) gewählt. Die spektrale Verteilung dieses Strahlertyps stimmt im Spektralbereich 295 nm bis 360 nm sehr gut mit der Solarstrahlung bei einem Sonnenhöhenwinkel von 60° (Mittags Sommersonne in Deutschland) überein.

### 3 Projektziele

Ziel dieses Forschungsprojektes war die Ermittlung quantitativer Daten zum natürlichen Eigenschutz der Haut gegenüber ultravioletter Strahlung.

Im BAuA-Forschungsprojekt F1777 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ (KNUSCHKE et al., 2007) sowie in BMBF-Projekten (KNUSCHKE et al., 2000; KNUSCHKE et al., 2004) wurden mittels UV-Personenmonitoring individuelle UV-Expositionen (erythem-effektiv, ICNIRP-effektiv, NMSC-wirksam) für verschiedene Beschäftigtengruppen im Freien im Jahresverlauf ermittelt und daraus kumulative UV-Jahresdosen bestimmt. Diese biologisch-effektiven Daten beziehen sich auf das Wirkungsvermögen der UV-Strahlung an lichtungewöhnter Haut, die keinen erhöhten UV-Eigenschutz ausgebildet hat.

In diesem Projekt wurde das Eigenschutzverhalten der Haut gegenüber der UV-Strahlung für Arbeitnehmer an solar exponierten Arbeitsplätzen untersucht.

Dazu wurde von ständig im Freien Beschäftigten des UV-Toleranztyps II und orientierend des UV-Toleranztyp III im Jahresverlauf die minimale Erythemdosis (MED) als Maß des Gesamteigenschutzes gegenüber der Akutreaktion UV-Erythem bestimmt. Gleichzeitig wurden als Komponenten des UV-Gesamteigenschutzes das Ausmaß von Lichtschwielereaktion und Melanin-Pigmentierungsgrad der Haut erfasst. Die Untersuchung der Lichtschwielereaktion erfolgte durch die nicht-invasive Messung der Epidermisdicke mittels optischer Kohärenztomografie (OCT). Der Pigmentierungsgrad der Haut wurde über Messungen der Hautfarbparameter qualitativ erfasst.

Simultan zu den Untersuchungen des Jahresverlaufes für den individuellen UV-Eigenschutz wurden die dafür relevanten individuellen UV-Expositionen der untersuchten Probanden und die beeinflussenden Faktoren erfasst. Das erfolgte mittels kontinuierlichem UV-Personenmonitoring.

Ein weiteres Ziel war es, die Ausbildung und zeitliche Beständigkeit des natürlichen Eigenschutzes der Haut nach UV-Einzelexposition und nach fünf seriellen UV-Expositionen zu untersuchen. So konnte der zeitliche Verlauf der Lichtschwielereaktion in Relation zum zeitlichen Verlauf der minimalen Erythemdosis nach sub-erythematöser Einzelexposition bzw. sub-erythematösen, seriellen UV-Expositionen analysiert werden.

Folgende Studien wurden dazu durchgeführt:

- Quantifizierung des natürlichen UV-Eigenschutzes der Haut sowie der Komponenten Melaninpigmentierung und Lichtschwiele im Jahresverlauf:
  - „Gruppe 1 / 3“: Außenbeschäftigte (unter beruflichen Alltagsbedingungen), die die Arbeit im Sommerhalbjahr auch leicht bekleidet ausführen
  - „Gruppe 2“: Innenbeschäftigte, die die Arbeit generell im Gebäude ausüben und keinen ausgeprägten Freizeitaktivitäten im Freien nachgehen; Halbseitenvergleich am Rücken mit und ohne kontinuierlicher UV-Exposition
- Quantifizierung des zeitlichen Verlaufes von Aufbau und Beständigkeit des natürlichen Lichtschutzes der Haut gegenüber UV-Strahlung an lichtungewöhnter Haut:
  - „Gruppe A“: nach Einzelexposition
  - „Gruppe B“: nach fünffacher serieller Exposition

## **4 Quantifizierung des natürlichen Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung für im Freien beschäftigte Arbeitnehmer im Jahresverlauf – Methodenspektrum**

Die Ergebnisse der Eigenschutzuntersuchungen für eine Gruppe langjährig im Freien beschäftigter Arbeitnehmer (s. u. Studie „Gruppe 1“) wiesen durchgängig geringe UV-Eigenschutzreaktionen auf. Um dieses, in dem Maße völlig unerwartete, Ergebnis zu verifizieren und mit größeren Untersuchungszahlen abzusichern, erfolgten zwei Ergänzungen in der Projektplanung. Die Untersuchungen der Studie „Gruppe 2“ erfolgten nun mit dem folgenden Studiendesign: An lichtungewöhnter Haut von Innenbeschäftigten wurden im Sommerhalbjahr auf eine Rückenhälfte regelmäßig künstliche UV-Expositionen appliziert, deren Erythemwirksamkeit der zeitgleichen, mittleren, solaren Gesichtsexposition von Bauarbeitern entsprach. Die zweite Rückenhälfte diente als unbehandelte Kontrolle. Dieses Untersuchungsdesign simuliert auch die Situation von Neueinsteigern bei Tätigkeiten an solarexponierten Arbeitsplätzen. Weiterhin wurde die Projektplanung um die zusätzliche Studie „Gruppe 3“ ergänzt, die simultan zur Studie „Gruppe 2“ ausgeführt wurde. An den langjährig im Freien Beschäftigten Probanden der Studie „Gruppe 3“ wurden die UV-Eigenschutzkomponenten der Haut, Epidermisdicke und Pigmentierungsgrad, im Jahresverlauf untersucht. Diese Untersuchungen in Analogie zur Studie „Gruppe 1“ sollten die gewonnenen Ergebnisse erhärten.

### **4.1 Organisation und Methoden der Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“, „Gruppe 3“**

#### **4.1.1 Übersicht zum Design der Studien, Ethikkommission, Probandenaufklärung, Einverständniserklärung und Probandenversicherung**

##### *Studiendesign*

Das allgemeine Studiendesign war für die Untersuchungen der Probanden in den drei Studien analog.

Zeitablauf:

- monatliche Datenerfassung zum UV-Eigenschutzstatus
  - Ausgangsbefund am Ende des Winters im März
  - April bis Oktober
  - Verifizierung des Ausgangsbefundes nach einem Jahr im Februar des Folgewinters
- pro Monat 4 Untersuchungstermine
- Studie „Gruppe 2“ mit zusätzlich pro Monat drei Sitzungsterminen: UV-Exposition der linken Rückenseite zur simulierten Sonnenexposition mittels UV-Phototherapiegerät (ein Bestrahlungstermin jeweils zeitgleich mit einem Untersuchungstermin pro Monat)

Untersuchungen zum UV-Eigenschutzstatus:

- zwei photodiagnostische Lichttestungen am Rücken pro Monat links und rechts der Wirbelsäule auf einem zuvor nicht lichtgetestetem Hautareal

(nur Gruppe 1 und Gruppe 2)

- eine Rückenseite un behandelter Alltagszustand
  - eine Rückenseite mit Applikation
    - Gruppe 1: Lichtschutzsubstanz
    - Gruppe 2: UV-Bestrahlung
  - MED-Bestimmung: nach 24 h, nach 48 h, ggf. nach 8 d
  - MTD-Bestimmung: nach 8 d und soweit ablesbar in Folgemonaten
- Untersuchung des UV-Eigenschutzes gegen das UV-Erythem im Jahresverlauf
- OCT-Messungen definierter Hautareale zur Bestimmung der Epidermisdicke
  - chromametrische Hautfarbmessung definierter Hautareale
- Untersuchung der Lichtschwielereaktion im Jahresverlauf
- Untersuchung des Verlaufes des Pigmentierungsgrades im Jahresverlauf

#### *Votum der Ethikkommission*

Zu den Studien dieses Forschungsvorhabens liegt ein positives Votum der Ethikkommission vor. Des Weiteren stimmte die Ethikkommission der Prüfplanänderung gegenüber der ursprünglichen Projektplanung für die Studie „Gruppe 2“ und der Erweiterung um die Studie „Gruppe 3“ zu, was sich als Konsequenz aus den nicht erwarteten, niedrigen Eigenschutzreaktionen der untersuchten, außenbeschäftigten Arbeitnehmer in Studie „Gruppe 1“ ergab (Anh. 1, Abb. 1 a/b).

#### *Probandenaufklärung und Einverständniserklärung*

Alle Probanden wurden ausführlich mündlich und schriftlich (Informationsschreiben zum Verbleib beim Probanden) über Zielstellung, Art, Umfang und Datenschutz der Studien, mit der Möglichkeit zu Rückfragen, aufgeklärt.

Die freiwilligen Studienteilnehmer unterzeichneten eine Einwilligungserklärung zum Datenschutz und zur Teilnahme aus freien Stücken (frühestens 24 Stunden nach der mündlichen und schriftlichen Aufklärung).

#### *Probandenversicherung*

Die Probanden waren bezüglich der Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes im öffentlichen Auftrag über die Betriebshaftpflicht des Universitätsklinikums Dresden (UKD) bei der Allianz Versicherungs-Aktiengesellschaft, 20448 Hamburg, Großer Burstah 3, Haftpflichtversicherung GHA 30/0406/3726605/490/Nachtrag225.04 versichert.

### **4.1.2 Aufbau der Probandengruppen und dermatologische Eignungsuntersuchung**

Für ständig im Freien Beschäftigte sollte die UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (März bis Oktober) durch monatliche Bestimmung der minimalen Erythemdosis (MED) als Maß des Gesamteigenschutzes, der Epidermisdicke als Maß der Lichtschwielereaktion und der Hautfarbparameter als Maß für den Pigmentierungsgrad der Haut charakterisiert werden. Es sollte eine Gruppe 1 langjährig im Freien Beschäftigter untersucht werden. Weiterhin sollte eine Gruppe 2 mit lichtungewöhnter Haut untersucht werden. Das entspricht dem UV-Eigenschutzzustand der Haut bei Einsteigern in eine ständige Tätigkeit an solarexponierten Arbeitsplätzen. Zur Simulation dieser Situation sollte die linke Rückenseite mit sonnenähnlicher künstlicher UV-Strahlung von Anfang März bis Ende September bestrahlt werden. Die gewählte Dosis sollte der solaren UV-Gesichtsexposition von Bauarbeitern im Sommerhalbjahr entsprechen. Eine Gruppe 3 weiterer langjährig im Freien Beschäftigter sollte ebenfalls untersucht werden.

tigter diente der Verifizierung der Ergebnisse, wobei hier nur die Epidermisdicke- und Hautfarbmessung angewandt werden sollte.

Die einzubeziehenden Probanden sollten bezüglich der Hautempfindlichkeit nach FITZPATRICK (1988) dem UV-Toleranztyp II sowie für den orientierenden Vergleich dem UV-Toleranztyp III zuzuordnen sein, die sowohl in der Allgemeinbevölkerung als auch bei Außenbeschäftigten in Deutschland die vorherrschenden Hauttypen sind (KNUSCHKE et al., 2007; UNVERRICHT et al., 2007).

*Einschlusskriterien für die Untersuchungsgruppen:*

- Studie „Gruppe 1“
  - Geschlecht: männlich
  - Hauttyp: II (n = 9); III (n = 3)
  - Tätigkeitsbereich: Hochbau, Straßenbau oder Gärtner
  - Bekleidung im Sommer: überwiegend leicht bekleidet oder freier Oberkörper; der Sonnenstrahlung ausgesetzt:
    - Kopfbereich/Hals, Hände/Arme ständig
    - Oberkörper/Beine zeitweilig
  
- Studie „Gruppe 2“
  - Geschlecht: männlich
  - Hauttyp: II (n = 9); III (n = 3)
  - Tätigkeitsbereich: Innenbeschäftigte
  - Freizeit: geringe Freizeitaktivitäten im Freien, kein Solarium
  - Bekleidung im Sommer: alltagsübliche Bekleidung
  
- Studie „Gruppe 3“
  - Geschlecht: männlich
  - Hauttyp: II (n = 9); III (n = 3)
  - Tätigkeitsbereich: Hochbau, Straßenbau oder Gärtner
  - Bekleidung im Sommer: überwiegend leicht bekleidet oder freier Oberkörper; der Sonnenstrahlung ausgesetzt:
    - Kopfbereich/Hals, Hände/Arme ständig
    - Oberkörper/Beine zeitweilig

*Ausschlusskriterien für alle drei Untersuchungsgruppen:*

- bekannte Photodermatosen
- bekannte erhöhte UV-Empfindlichkeit  
bzw. deren Feststellung in der vorangestellten photodiagnostischen Testung
- multiples Naevussyndrom
- Porphyrie
- Solarienbesuche vor oder (geplante) während der Zeit der Studie

*Organisatorische Anforderungen:*

Die freiwilligen Studienteilnehmer mussten neben dem geforderten UV-Toleranztyp auch noch im Arbeitsprozess stehende Beschäftigte sein, die vorrangig während der Arbeitszeit (mehrmals im Monat) für etwa zwei Stunden (Wege- und Untersuchungszeit) den Arbeitsplatz verlassen konnten. Sie mussten also permanent über das Untersuchungs-jahr in der Stadt Dresden beschäftigt sein. Der Arbeitgeber musste einer entsprechenden Arbeitszeitverlagerung auch arbeitsorganisatorisch zustimmen. Damit beschränkten sich die Ansprechpartner weitgehend auf den städtischen öffentli-

chen Sektor. Aufbauend auf Erfahrungen und Kontakten aus vorangehenden Projekten wurde zunächst zu den Geschäftsleitungen relevanter Firmen bzw. mit entsprechenden Behörden Verbindung aufgenommen und das Anliegen des Forschungsprojektes dargelegt. Bei erteilter Genehmigung wurden interessierten Mitarbeitern in persönlichen Gesprächen die Hintergründe der Studie und die Aufgaben und Anforderungen an freiwillige Teilnehmer erläutert.

Für die Untersuchungsgruppen 1 und 3 (Außenbeschäftigte, die die Arbeit im Sommerhalbjahr auch leicht bekleidet ausführen) konnte bei den angesprochenen Institutionen das Interesse geweckt werden. Ein großer Teil der Mitarbeiter zeigte sich der Problematik gegenüber offen. Sehr häufig wurden jedoch die relevanten Außentätigkeiten von Frauen und nicht, wie in den Einschlusskriterien gefordert, von Männern (eher Maschinenführer in Kabinen) ausgeführt. Oft war für die angesprochenen Beschäftigten auch der lange Studien-Zeitraum und die Vielzahl der Termine ein Hinderungsgrund für eine Teilnahme.

Die Rekrutierung der Untersuchungsgruppe 2 (Innenbeschäftigte mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien, die noch nie ein Solarium besucht haben) erfolgte über Informationen am Universitätsklinikum Dresden. Von 75 Interessenten wurden mit 53 Kandidaten in 28 Runden ausführliche Informationsgespräche geführt, um die 12 Teilnehmer mit den geforderten Randbedingungen zu finden.

**Tab. 4.1 a** Probandenstruktur Studie „Gruppe 1“

PN	Alter	Hauttyp	Tätigkeit	Beruf	Firma <sup>*)</sup>
1_13	37	III	Landschaftsgärtner	Landschaftsgärtner	Grünflächenamt Dresden
1_14	35	II	Landschaftsgärtner	Landschaftsgärtner	Grünflächenamt Dresden
1_15	53	II	Gärtner	Gärtner für Zierpflanzenbau	TU Dresden/Botanischer Garten
1_16	44	III	Gärtner	Gärtner	Grünflächenamt Dresden
1_17	40	II	Landschaftsgärtner	Landschaftsgärtner	Grünflächenamt Dresden
1_18	29	II	Maschinist	Landschaftsgärtner	Grünflächenamt Dresden
1_19	42	II	Maschinist, Gärtner	Schienefahrzeugschlosser	Grünflächenamt Dresden
1_20	54	II	Gärtner	Gärtner	Grünflächenamt Dresden
1_21	37	II	Landschaftsgärtner	Gärtner	Grünflächenamt Dresden
1_22	41	II	Straßenbau	FA für Straßenbautechnik	Straßen- und Tiefbauamt Dresden
1_23	39	II	Stahlbauschlosser	Schlosser	Straßen- und Tiefbauamt Dresden
1_24	50	III	Gärtner	Baufacharbeiter	Uni-Klinikum Dresden

**Tab. 4.1 b** Probandenstruktur Studie „Gruppe 2“

PN	Alter	Hauttyp	Tätigkeit	Beruf	Firma <sup>*)</sup>
2_37	28	II	Handel (selbstständig)	Einzelhandelskaufmann	Selbständig
2_38	21	II	Zivildienstleistender		Universitätsklinik Dresden
2_39	33	II	Koordinator Appl. Manag.	Dipl.-Ing. Nachrichtentechnik	Universitätsklinik Dresden
2_40	26	III	Student	Dipl.-Ing. Stahltechnik (BA)	Universitätsklinik Dresden
2_41	44	III	Klinikingenieur	Feinmechaniker	Universitätsklinik Dresden
2_42	34	II	Dispatcher	Feinmechaniker	Universitätsklinik Dresden
2_43	44	II	Dispatcher	Stahlbauer	Universitätsklinik Dresden
2_44	39	II	Krankenpfleger	Krankenpfleger	Universitätsklinik Dresden
2_45	25	II	techn. Angestellter	Dipl.-Ing. Physik	Universitätsklinik Dresden
2_46	36	II	wiss. Mitarbeiter	Dipl.-Ing. Elektrotechnik	Universitätsklinik Dresden
2_47	42	III	Elektriker	Elektriker	Universitätsklinik Dresden
2_48	34	II	Angestellter	Betriebsinformatiker	Universitätsklinik Dresden

**Tab. 4.1 c** Probandenstruktur Studie „Gruppe 3“

PN	Alter	Hauttyp	Tätigkeit	Beruf	Firma <sup>*)</sup>
3_49	37	II	Gärtner	Baumaschinist, Gärtner	Selbständig
3_50	33	II	Baumpfleger	Forstwirt	Grünflächenamt Dresden
3_51	38	II	Landschaftsgärtner	Landschaftsgärtner	Grünflächenamt Dresden
3_52	21	II	Zimmerer	Beton-/Stahlbetonbauer	Dreßler Bau GmbH
3_54	39	III	Baumkontrolleur	Landschaftsgärtner	Grünflächenamt Dresden
3_55	34	II	Vorarbeiter	Landschaftsgärtner	Oevermann GmbH
3_56	50	III	Friedhofsarbeiter	Dreher	Friedhofsverwaltung
3_57	27	II	Friedhofsarbeiter	Maurer	Friedhofsverwaltung
3_58	24	II	Friedhofsgärtner	Landschaftsgärtner	Friedhofsverwaltung
3_59	37	II	Landschaftsgärtner	Landschaftsgärtner	Grünflächenamt Dresden
3_60	42	II	Zimmerer	Zimmerer	Dreßler Bau GmbH
3_62	34	II	Unternehmer	Maurer	Oevermann GmbH

<sup>\*)</sup> Den aufgeführten Firmen gilt unser Dank für die Unterstützung des Anliegens dieses Forschungsprojektes (siehe auch Kap. 14).



Insgesamt konnten für jede Studie die geforderten Probanden gemäß dem geplanten Studien-Design (Hauttyp II n = 9; Hauttyp III n = 3) und den Einschlusskriterien gewonnen werden. Bezüglich der Ausschlusskriterien erfolgte eine dermatologische Eignungsuntersuchung. Alle Probanden erhielten eine mündliche und schriftliche Aufklärung, zu der Fragen gestellt werden konnten.

Die Tabellen 4.1 a-c geben einen Überblick zu den gewonnenen Probanden der Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“.

### 4.1.3 UV-Mess- und UV-Bestrahlungstechnik

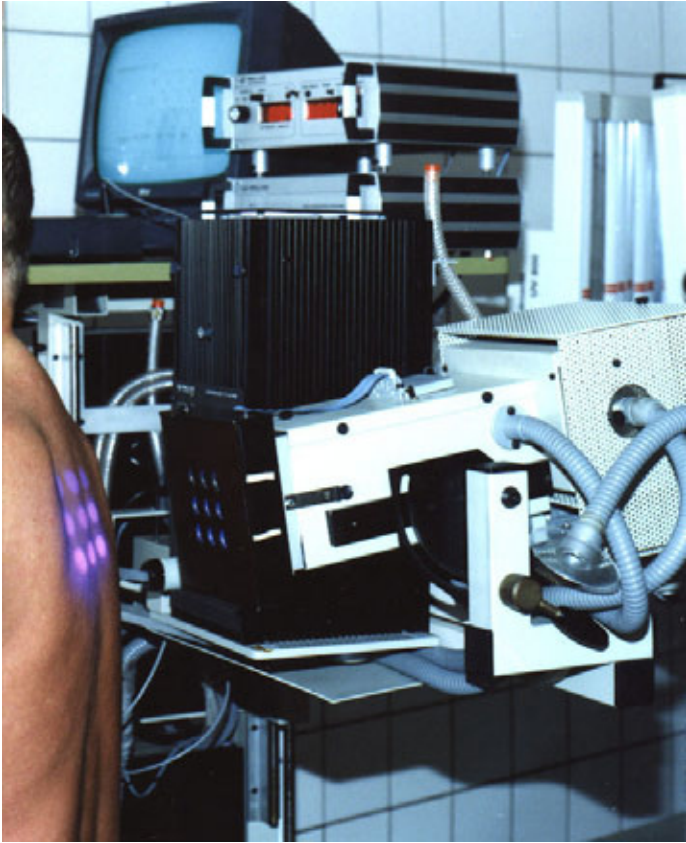
#### 4.1.3.1 Solarsimulator-Lichttestung zur Bestimmung der Erythemschwelldosis MED im Jahresverlauf

Die Bestimmung der Erythemschwelldosis erfolgte durch photodiagnostische Lichttestung mit Solarsimulatorstrahlung (SSR-LT) am DERMOLUM UM (Fa. Müller Optik-Elektronik GmbH, Moosinnig, Abb. 4.1 a):

- 1 kW Xe-Lampe + Schott-Filter WG 305/1 mm + IR-Filter (dichroitischer Spiegel)
- Lichttreppe mit 6 Expositionsspotspots  $\varnothing$  16 mm (Abb. 4.1 b)
- 20%ige Bestrahlungsprogression
- Anfangsdosis der Lichttreppe wählbar  
(anpassbar an individuelle UV-Empfindlichkeit des Probanden)
- Dosis  $H_{er}$ : erythem-effektiv kalibriert (in  $J/m^2$ )
- Messung der Bestrahlungsstärke E für alle 6 Spots vor jeder MED-Testung:  
Thermopile des DERMOLUM UM

Die Messung der spektralen Bestrahlungsstärke  $E_{\lambda}(\lambda)$  der Solarsimulatorstrahlung des DERMOLUM UM (Anh. 1, Abb. 2) sowie die Interkalibrierung der Messtechnik erfolgte in einer gemeinsamen Messkampagne der BAuA Dortmund und der Dermatologie/TU Dresden vom 19.-21.01.2005. Dabei kam ein Doppelmonochromator-Spektroradiometer TDM 300 (Fa. Bentham, UK) der BAuA Dortmund zum Einsatz. Die erythem-effektiven Expositionsparameter für  $H_{er}$  zur MED-Bestimmung (vgl. Tab. 4.2) wurden durch wiederholte Kalibrierungen im Zeitverlauf des Projektes in den Messkampagnen vom 21./22.11.2005 und vom 13./14.12.2006 bestätigt.

Die visuelle Bestimmung der Rötungs- bzw. Pigmentierungsgrade (s. Tab. 4.3) im Zeitverlauf nach der UV-Phototestung und damit auch der MED- und MTD-Bestimmung erfolgte jeweils durch mindestens zwei unabhängige Untersucher (s. Tab. 4.2).



**Abb. 4.1 a** Photodiagnostische MED-Bestimmung am DERMOLUM UM (9 Spots in Patientendiagnostik)



**Abb. 4.1 b** Photodiagnostische MED-Bestimmung: Graduierte Erythemreaktion 24 h nach UV-Testdosen mit 1,2-facher (20%iger) geometrischer Steigerung über 6 (im Projekt F 1986) der 9 SSR-Lichttestfelder des Dermolum UM

**Tab. 4.2** Dokumentation des Intensitätsgrades der UV-Testreaktion nach SSR-LT durch zwei bzw. drei Beobachter. Individuell anpassbare Bestrahlung  $H_{ges}$  (Thermopile) bzw. zugeordnete erythem-effektive Bestrahlung  $H_{er}$  für die sechs Expositionsfelder mit 20%iger geometrischer Dosisprogression

4. SSR-LT Jun mit UVR															PN:														
$H_{ges}$	$H_{er}$	LI-	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un
mJ/cm <sup>2</sup>	J/m <sup>2</sup>	Felder	24 h			48 h			7 d			..... d			..... d			..... d			..... d			..... d			..... d		
417	70																												
500	84																												
600	100																												
720	120																												
864	144	X																											
1037	173	X																											
1244	208	X																											
1493	250	X																											
1792	300	X																											
2150	359	X																											
2580	431																												
3096	518																												
3715	621																												
4458	743																												
5350	892																												
6420	1070																												

4. SSR-LT Jun ohne UVR																																
$H_{ges}$	$H_{er}$	LI-	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un	Kk	Th	Un
mJ/cm <sup>2</sup>	J/m <sup>2</sup>	Felder	24 h			48 h			7 d			..... d			..... d			..... d			..... d			..... d			..... d					
417	70																															
500	84																															
600	100	X																														
720	120	X																														
864	144	X																														
1037	173	X																														
1244	208	X																														
1493	250	X																														
1792	300																															
2150	359																															
2580	431																															
3096	518																															
3715	621																															
4458	743																															
5350	892																															
6420	1070																															

Skala für  
Erythemgrad  
bzw.  
Pigmentierungsgrad

Skala	24h/48h	? 7d
0	-	-
1	((+))	((P))
2	(+)	(P)
3	(+)	(P)
4	+	P)
5	+	P
6	++(+)	P(P)
7	++	PP
8	++(+)	PP(P)
9	+++	PPP

**Tab. 4.3** Skala für visuelle Lichttestbefundung für Erythemgrad bzw. Pigmentierungsgrad in der UV-Photodiagnostik

Skala	Ery (24h/48h)	Beschreibung	Pigment ( $\geq 7d$ )	Beschreibung
0	-	keine Veränderung	-	keine Veränderung
1	((+))	minimale Andeutung	((P))	minimale Andeutung
2	(+)	diffuse Rötung	(P)	diffuse Bräunung
3	(+)	zarte Rötung, diffuser Übergang	(P)	minimale Bräunung, diffuser Übergang
4	+	zarte Rötung, nahezu abgegrenzt	P)	minimale Bräunung, nahezu abgegrenzt
<b>5</b>	<b>MED +</b>	zarte Rötung, deutlich abgegrenzt	<b>MTD P</b>	minimale Bräunung, deutlich abgegrenzt
6	+(+)	leichte Rötung	P(P)	leichte Bräunung
7	++	deutliche Rötung, kein Ödem	PP	deutliche Bräunung
8	++(+)	starke Rötung, kaum Ödem	PP(P)	starke Bräunung
9	+++	Rötung purpur, Ödem	PPP	dunkelbraun

Zusätzlich erfolgte die Messung der kapillaren Durchblutung der Lichttestareale mittels Laser-Doppler-Imager/LDI (MoorLDI V3.0-System, Moor Instrumentes Ltd., Axminster/UK), um im Falle einer stark fortschreitenden Pigmentierung im Sommer die Erythemschwelldosis MED auch unter pigmentierter Haut objektivieren zu können (SCHMOLKE et al, 1997). Dabei wird die kapillare Mikrozirkulation des Blutes gemessen. Nach einer Akklimatisierungsphase von 15 min. wird im abgedunkelten Raum der mikrozirkuläre Blutfluss in einem rechteckigen Messfeld von 6 x 10 cm<sup>2</sup>, das die sechs Testfelder der jeweils zu bewertenden SSR-Lichttreppe einschließt, bestimmt. Unter standardisierten Untersuchungsbedingungen werden die remittierten Strahlungssignale in einem Abstand zwischen LDI-Gerät und Haut von 30 cm erfasst. Sie können mit der Firmware moorLDI V3.0 bzw. V3.09 ausgewertet und in relativen Einheiten ausgegeben werden.

#### 4.1.3.2 Definierte UV-Exposition mit sonnenähnlicher Strahlung

Für die Untersuchungen der Studien „Gruppe 2“, „Gruppe A“ und „Gruppe B“ waren halbseitig auf den Rücken der Probanden definierte, erythem-effektive Bestrahlungen  $H_{er}$  mit sonnenähnlicher Spektralverteilung im UV-Bereich zu applizieren. Messungen der spektralen Bestrahlungsstärke der verwendeten UV-Strahlertypen in den eingesetzten UV-Phototherapiegeräten im angewendeten Bestrahlungsabstand wurden bei den in Kap. 4.3.1 genannten Messkampagnen durchgeführt. Dabei erfolgte auch die Interkalibrierung für ein Präzisionsoptometer mit erythem-effektiv be-

wertendem UV-Sensor, das zur Bestrahlungssteuerung in den o. g. Studien eingesetzt wurde.

- UV-Strahlenquelle: - Arimed-B, Fa. Cosmedico-Licht, Stuttgart
- UV-Phototherapiegeräte: - TK-8 (8x 40 W), Fa. Cosmedico-Licht, Stuttgart
- SwingProfessional 700 (7x 100 W), Fa. Tomesa, Bad Salzschlirf
- UV-Messgerät: - Präzisionsoptometer P9710 mit Erythemsensor UV-3704  
Fa. Gigahertz-Optik GmbH, Puchheim

#### Kalibrierung Präzisionsoptometer P9710 mit Erythemsensor UV-3704:

Kalibrierfaktor für P9710 mit Erythemsensor UV-3704:

$$H_{er}(TDM\ 300) = 1.31 \times H_{er}(P9710) [20.01.2005]$$

$$H_{er}(TDM\ 300) = 1.28 \times H_{er}(P9710) [22.11.2005]$$

#### Bestrahlungsgeräte mit UV-Strahlern vom Typ Arimed-B:

Die Hg-Fluoreszenzstrahler vom Typ Arimed-B weisen im erythem-relevanten Spektralbereich 295 bis 360 nm eine gute Übereinstimmung mit dem mitteleuropäischen Solarspektrum (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 60^\circ$ ) auf (Anh. 1, Abb. 3).

Die im Teilkörperbestrahlungsgerät TK-8 eingesetzten 40W-Strahler realisieren eine homogene Exposition für eine Fläche von 40cm x 40cm (Gruppe B).

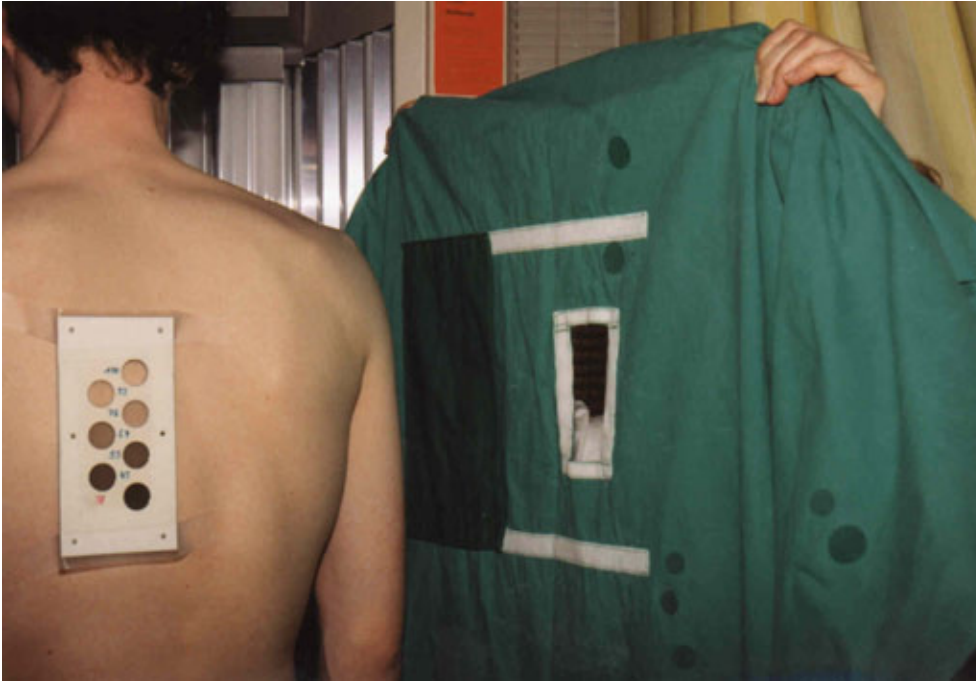
Für das deutlich größer zu bestrahlende Untersuchungsareal vom Schulter- bis zum Hüftbereich bei den Probanden der Studie „Gruppe 2“ war das Teilkörperbestrahlungsgerät zu klein. Weiterhin wäre die Bestrahlungsstärke  $E_{er}$  zu niedrig gewesen, um die UV-Expositionen in vertretbaren Zeiten (sowohl für den Untersuchungsablaufplan als auch für die Probanden) applizieren zu können. Daher kam das Heimbestrahlungsgerät Swing-Professional 700 mit 7 x 100 W Arimed-B (Strahlerlänge 180 cm) über einer Liege zum Einsatz (Gruppe 2 und Gruppe A).

#### Erythemdosis-kontrollierte UV-Exposition der Probanden:

Das Präzisionsoptometer P9710 wurde im Dosis-Mode betrieben:

- Anzeige der momentanen erythem-effektiven Bestrahlungsstärke  $E_{er}$  in  $W/m^2$
- Anzeige der kumulativen erythem-effektiven Bestrahlung  $H_{er}$  in  $J/m^2$  ab Beginn der jeweiligen UV-Exposition
- Positionierung des UV-Sensors mittig auf dem Patientenrücken

Beim Erreichen der laut Studienprotokoll vorgesehenen erythem-effektiven Bestrahlung wurde das Swing 700 abgeschaltet. So konnten exakt definierte, erythem-effektive UV-Expositionen realisiert werden.



**Abb. 4.2 a** Photodiagnostische MED-Bestimmung direkt im UV-Phototherapiegerät: UV-Testset der Dermatologie/TU Dresden (Knuschke et al., 1996) mit Neutralglasfiltertreppe



**Abb. 4.2 b** Photodiagnostische MED-Bestimmung im UV-Phototherapiegerät: Graduierte Erythemreaktion 24 h nach UV-Testdosen mit 1,2-facher (20%iger) geometrischer Steigerung über 7 Lichttestfelder

#### Photodiagnostische MED-Bestimmung der Probanden für Swing-Professional 700:

Aus Gründen der Probandensicherheit war für die Studien zu gewährleisten, dass die zu applizierenden Bestrahlungen von  $H_{er} = 180 \text{ J/m}^2$  (Gruppe A und Gruppe B) sowie die Ausgangsbestrahlungen im ersten Untersuchungsmonat März mit  $H_{er} = 200 \text{ J/m}^2$  (Gruppe 2), die im allgemeinen für den Hauttyp II und III sub-erythematös sind, auch für jeden einzelnen Probanden deutlich unter dessen individueller Erythemschwelle lagen.

Von jedem Probanden der Studien „Gruppe A“, „Gruppe B“ und „Gruppe 2“ wurde die MED(24h) am zu bestrahlenden Rücken für das Phototherapiegerät Swing-Professional 700 (bzw. TK-8) mit Arimed-B-Strahlern ermittelt (Abb. 4.2 b). Eingesetzt wurde das in der Dermatologie/TU Dresden entwickelte photodiagnostische Test-Set mit 7-stufiger Filterlichttreppe (KNUSCHKE et al., 1996; Abb. 4.2 a).

#### Steuerung der Bestrahlungsparameter:

Die erythem-effektive Dosissteuerung der Bestrahlungen zur photodiagnostischen MED-Bestimmung und die seriellen UV-Expositionen wurden über das Präzisionsoptometer P9710 mit Erythem-Messkopf UV3702 (Fa. Gigahertz-Optik GmbH, Puchheim) messtechnisch kontrolliert und protokolliert (Anh. 1, Tab. 1).

#### 4.1.3.3 UV-Personenmonitoring – Erfassung der individuellen solaren UV-Expositionen und der Einflussfaktoren

Das UV-Personenmonitoring erfolgte in gleicher Weise, wie in KNUSCHKE et al., 2007 für die „Kontinuierliche PSF-Messung“ beschrieben.

Zum Einsatz kamen UV-Personendosimeter mit Polysulfonfilm (PSF) als Sensor. Simultan wurde die erythem-effektive Globalstrahlung der Sonne mit einem Breitbandradiometer vom Robertson-Berger-Typ erfasst. Im Rahmen des UV-Personenmonitoring führten alle Probanden ein Probandentagebuch. Registriert wurden die Aufenthaltszeiten im Freien, der Bekleidungsstatus und die Nutzung von Lichtschutzsubstanzen in diesen Zeiten. Sämtliche Daten werden in einer Datenbank recherchierbar gespeichert. Die Untersuchungen erfolgten sowohl für Studie „Gruppe 1“ als auch für Studie „Gruppe 2“ jeweils mit einem PSF-Dosimeter pro Woche für 5 Werktage und einem PSF-Dosimeter pro Woche für 2 Wochenend-/Freizeittage im Zeitraum KW 14 bis KW 43.

#### **4.1.4 Messverfahren für die Hautparameter**

##### 4.1.4.1 Optische Kohärenztomografie (OCT)

Die Bestimmung der Epidermisdicke zur Untersuchung der Lichtschwielereaktion erfolgte mittels Optischer Kohärenztomografie (OCT). In einem gemeinsamen Projekt von Klinischem Sensing und Monitoring (KSM) und Dermatologie der Medizinischen Fakultät der TU Dresden (09/2003 - 04/2005) „Forschungskooperation zur Optimierung der optischen Kohärenz-Tomographie (OCT) als Verfahren zur Objektivierung von Einflussgrößen auf die Hautschichtstruktur“ wurde das Verfahren für dermatologische Fragestellungen, insbesondere auch für die Untersuchung der Lichtschwielereaktion (s. Abb. 4.4 a-e), weiterentwickelt und getestet. Dabei wurde es von vornherein für die Belange eines großen Umfanges an OCT-Bildaufnahmen ausgelegt.

Zur eindeutigen Zuordnung der Vielzahl von OCT-Bildaufnahmen (a) unter verschiedensten Hautzuständen, (b) an den über den Körper verteilten Hautarealen, (c) zu den fortlaufenden Studiensitzungen, (d) pro Proband und (e) der einzelnen Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“, „Gruppe 3“, „Gruppe A“, „Gruppe B“ wurde von der Experimentellen Photobiologie der Dermatologie/TU Dresden ein Kodierungsschema zur Aufnahme dieser Informationen in den Dateinamen zu jedem einzelnen OCT-Bild entwickelt (insgesamt  $\approx 35.000$  OCT-Aufnahmen). Diese Nomenklatur zur Charakterisierung der OCT-Aufnahmebedingungen wurde über die Projektstudien hinaus für Vergleichsmessungen an Innenbeschäftigten erweitert und wurde auch für Patientenuntersuchungen ausgelegt (Anh. 1, Tab. 2). Analog wurde für die Aufnahmen mit dem Laser-Doppler-Imager (LDI: s. Kap. 4.1.3.1) und die digitale Fotodokumentation eine entsprechende Kodierung entwickelt (Anh. 1, Tab. 3). Das erforderte vom Untersucher, pro Proband und Sitzung 18 bzw. 55 OCT-Dateinamen, 2 LDI-Dateinamen, 5 Farbwert-Dateinamen und 2 bzw. 4 Digitalkamera-Dateinamen fehlerfrei zu generieren. Der exakte Dateiname war Voraussetzung für die spätere Auswertung der Messergebnisse über Abfragen aus einer Datenbank, in der alle Messdateien und deren Daten zusammengeführt wurden. Zur Qualitätssicherung der Zuordnung der erfassten Daten wurde die „Protokoll-Datenbank“ entwickelt und für jede Studie angepasst (Anh. 1, Tab. 4 a-d). Diese Datenbank generierte pro Sitzung und Proband alle erforderlichen Dateinamen gemäß der o. g. Kodierungsnomenklatur. In die Datenbank wurden dann zu den entsprechend angelegten Dateinamen die zugehörigen Messdaten importiert. Die Datenbank ist zum einen für die Aufnahmen der Hautfarbmesswerte und LDI-Werte ausgelegt, zum anderen für die automatisierte Datenaufnahme der ausgewerteten OCT-Bilder (s. u.), die unter dem jeweilig angelegten Dateinamen aufgenommen worden waren.

Für eine schnelle, zeiteffektive Handhabung des OCT-Verfahrens bei der Probandenuntersuchung (Anh. 1, Abb. 4 a) wurde das Kodierungsschema (vgl. Anh. 1, Tab. 2) programmtechnisch durch die Arbeitsgruppe KSM/TU Dresden in die Bedienungssoftware zum OCT-Gerät DERMA-840 implementiert (Anh. 1, Abb. 4 b).

Zur Auswertung der OCT-Bilder bezüglich der Epidermisdicke wurde durch die Arbeitsgruppe die Software „OCT-Cursorauswertung“ auf Basis des Programmpaketes LabView 7.1 (Fa. National Instruments, USA) entwickelt. Durch mausgesteuerte Cursorbegrenzung der Epidermis-Luft- sowie der Epidermis-Dermis-Grenze wird die Epidermisdicke per Handauswertung ermittelt (Anh. 1, Abb. 4 c). Mit dieser Methode beträgt der Zeitaufwand für die messtechnische Bewertung eines OCT-Bildes jedoch 60 Sekunden.

Da der zeitliche Aufwand dieser Auswertungsmethode sehr hoch ist, wurde ein automatisches Verfahren zur Auswertung der digitalen Bilder (600 Pixel breit x 400 Pixel hoch) entwickelt. Dabei wird im OCT-Bild die Position der Luft-Haut-Grenze über alle 600 Bildspalten über die deutliche Grauwertänderung bestimmt. In einem speziellen Algorithmus wird dann die Epidermis-Dermis-Grenze analysiert. Für die Bildabschnitte mit erkannter Epidermis-Dermis-Grenze wird die Epidermisdicke errechnet und für das gesamte ausgewertete Bild ein Mittelwert der Epidermisdicke ausgegeben (CUEVAS et al. submitted).

#### 4.1.4.2 Hautfarbparameter

Mittels Chromameter CR200 (Fa. Minolta, Japan) erfolgte zu Zyklusbeginn eines jeden Monats die Messung der Hautfarbparameter am Rücken, der Stirn, der rechten



Wange (nur Gruppe 1), dem rechten Handrücken (nur Gruppe 2 und Gruppe 3) und dem Gesäß (nur Gruppe 1 und Gruppe 2). Die Messdaten wurden sowohl im  $L^*a^*b^*$ -Farbkoordinatensystem, als auch im Yxy-Farbkoordinatensystem erfasst. Im erstgenannten Farbsystem weist die  $+b^*$ -Komponente des Farbvektors den Gelbanteil aus ( $-b^*$  den Blauanteil,  $+a^*$  den Rotanteil,  $-a^*$  den Grünanteil,  $+L^*$  bis  $-L^*$  ist die Helligkeit von weiß über grau zu schwarz). Über den  $b^*$ -Wert kann der Melanin-Pigmentierungsgrad der Haut qualitativ erfasst werden. Der  $+a^*$ -Wert gibt den Rötungsgrad der Haut qualitativ wieder.

#### 4.1.4.3 Fotodokumentation

Zusätzlich erfolgte bei jeder Untersuchung eine digitale Fotodokumentation (PowerShot A95; Fa. Canon, Japan). Damit wurde gleichzeitig das Auffinden von Lichttestfeldern unterstützt bzw. ermöglicht, falls die Markierungen zwischenzeitlich nicht mehr erkennbar waren.

## 4.2 **Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf gegenüber der solaren UV-Strahlung von langjährig ständig im Freien Beschäftigten (Studie „Gruppe 1“)**

### 4.2.1 **Ausgangstatus**

Jeder Proband wurde vor Beginn der Studie im Zuge von Rekrutierung, Aufklärung und der dermatologischen Ganzkörperuntersuchung von drei erfahrenen Beobachtern bezüglich des UV-Toleranztyps der Haut (nach FITZPATRICK, 1988) eingeschätzt.

Der Ausgangsbefund des natürlichen Eigenschutzes nach dem Winter wurde in vier Sitzungen je Proband an der „nichtexponierten Winterhaut“ erhoben (März 2005):

- Lichtoptische Erfassung der Hautparameter, nachfolgend:  
Solarsimulator-Lichttestung (SSR-LT, vgl. Kap. 4.1.3.1)
- MED-Bestimmung nach 24 h
- MED-Bestimmung nach 48 h
- MTD-Bestimmung nach 7 d

Neben der individuellen minimalen Erythemdosis (MED) und der Pigmentierungsschwelldosis (minimal tanning dose: MTD) im Zeitverlauf (s. o.) wurden die Epidermisdicke (als Ausgangsbefund für die Lichtschwielerreaktion) und die Hautfarbeparameter ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  und Y, x, y) mit dem  $+b^*$ -Wert als Relativwert für den Hautpigmentierungsgrad erfasst. Die Erhebung des MED-Ausgangsbefundes erfolgte am Rücken links und rechts etwa in Höhe des 5. Brustwirbels sowie am Gesäß links etwa in Höhe des 2. Lendenwirbels (vgl. Abb. 4.3: Rücken/1.LT/Mrz. und Gesäß/1. LT Mrz).

Kopf / Handrücken					
Region	Areal	Dateiname			
		1	2	3	4
Nacken	Na	li	re	mi	103_XX_32_Na_1...3_1
Stirn	St	li	re	mi	103_XX_32_St_1...3_1
Wange oben	Wa	li	re		103_XX_32_Wa_1...2_1
Wange unten	Wa		li	re	103_XX_32_Wa_3...4_1
Hals	Hs	li	re	mi	103_XX_32_Na_1...3_1
Handrücken	Ha	li	re		103_XX_32_Ha_1...2_1

Rücken																	
o. LSF			LSF 30														
103_XX_32_Rü_30_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	3. LT Mai	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_31_4	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Rü_40_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	4. LT Jun	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_41_4	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Rü_50_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	5. LT Jul	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_51_4	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Rü_10_1...6	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	1. LT Mrz	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_11_1...6	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Rü_10_7...9	<table border="1"><tr><td>9</td><td>8</td><td>7</td></tr></table>	9	8	7	ohne LT	<table border="1"><tr><td>9</td><td>8</td><td>7</td></tr></table>	9	8	7	103_XX_32_Rü_11_7...9							
9	8	7															
9	8	7															
103_XX_32_Rü_80_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	8. LT Okt	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_81_4	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Rü_90_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	9. LT Feb 06	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_91_4	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Rü_20_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	2. LT Apr	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_21_4	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Rü_60_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	6. LT Aug	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_61_4	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Rü_70_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	7. LT Sep	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	103_XX_32_Rü_71_4	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															

Gesäß																	
1. LT (Mrz)	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4		<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	5. LT (Jul)	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
103_XX_32_Ge_10_1...6																	
8. LT (Okt)	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4		<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	9. LT (Feb 06)	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															

- Messpunkte CR-200: 
- Felder 7-9: OCT-Messfelder Jahresverlauf, nie durch LTs beeinflusste Haut 

**Abb. 4.3** Studie „Gruppe 1“: Körperverteilung der Untersuchungsareale für die Abfolge im Jahresverlauf Mrz. bis Okt. 2005 und Feb. 2006 zur  
 - MED-Bestimmung (je 6 LT-Felder),  
 - Epidermisdickebestimmung mittels OCT,  
 - CR200-Hautfarbmessung  
 (Kodierung der Lokalisation und des Zeitpunktes der Messung mittels Dateinamen der OCT-Messung, hier Beispiel: Gruppe 1; 32 = Monat 3/Mrz. am 2. Tag nach LT)

#### 4.2.2 Halbseitige Applikation eines Lichtschutzpräparates am Rücken

Die Probanden erhielten das Lichtschutzpräparat ANTHELIOS W 40 Gel mit LSF 40 (Fa. La Roche-Posay, F) und die Anweisung, diese Lichtschutzsubstanz täglich auf der rechten Rückenhälfte mit etwa 3 g (entspricht etwa 2 mg / cm<sup>2</sup> gemäß DIN 67501) aufzutragen. Die Menge von 3 g wurde jedem Probanden vorgeführt.

Der Lichtschutz wurde vom 01.04.05 bis zum letzten Untersuchungstermin im Oktober 2005 unabhängig von der Witterung täglich appliziert.

Demgegenüber sollten die Probanden mit der linken Rückenseite so verfahren, wie sie es ohne Studienteilnahme getan hätten. Typischerweise war das ohne Verwendung von Lichtschutzsubstanzen. Es wurde den Probanden im Interesse ihrer Sicherheit freigestellt, bei Freizeitaktivitäten am Wochenende zu ihrem persönlichen Schutz auf der linken Rückenseite Lichtschutzsubstanzen zu applizieren. Dies war dann entsprechend im Probandentagebuch des UV-Personenmonitoring zu dokumentieren.

Vor der SSR-LT der monatlichen Untersuchungszyklen sollten die Probanden die Lichtschutzsubstanz von der rechten Rückenhälfte und ggf. von der linken abwaschen.

#### 4.2.3 Monatliche Untersuchungen der Haut

Dieselben Untersuchungsparameter wie bei der Erhebung des Ausgangsbefundes (s. Kap. 4.2.1) waren monatlich von allen Probanden zu erfassen. Dazu erfolgte eine Feinplanung für das Messablaufdesign (Anh. 1, Tab. 5), woraus anschließend die Terminplanung des Projektteams und die der Probanden resultierten. Die engen Randbedingungen der MED-Bestimmung von 24 h ± 0.5 h sowie von 48 h ± 1 h stellten erhebliche Planungsansprüche dar (Anh. 1, Tab. 6), die auch bei Umplanungen durch Krankheitsfälle oder Urlaub zu berücksichtigen waren.

Für die Zuordenbarkeit der Messdaten enthalten die Namen der OCT-Messdateien, LDI-Messdateien und Fotodokumentationsdateien in kodierter Form den jeweiligen Messmonat, die Sitzungsnummer, das Körperareal und die Lichttest-Feldstufe (Anh. 1, Tab. 3). Dieses Dateiensystem berücksichtigt die Anforderungen des entwickelten Messfeld-Layouts für den Rücken sowie die weiteren Körperregionen der Probanden der Studie „Gruppe 1“ (Abb. 4.3). Zur zugeordneten Erfassung von Messdaten und/oder -dateien wurden verschiedene Protokolltypen erstellt. Beispielhaft ist die Bewertungsdokumentation für mehrere unabhängige Untersucher der zeitabhängigen MED sowie MTD dargestellt (s. Tab 4.2).

Die Untersuchung des Eigenschutzes der Haut unter dem Einfluss der solaren UV-Strahlung im Jahresverlauf für die im Freien beschäftigten Probanden erfolgte nach der Erfassung der Ausgangsdaten im März 2005 für die Monate April bis September 2005. Um die Wirkung der solaren September-Expositionen zu erfassen, erfolgten die zugehörigen Probandenuntersuchungen im Oktober.

Die Bestimmung der Erythemschwelldosis MED und der Schwelldosis für die bleibende Pigmentierung MTD als Gesamteigenschutz-Parameter erfolgte durch Lichttestung mit Solarsimulatorstrahlung (SSR-LT) am DERMOLUM UM (vgl. Kap. 4.1.3.1).

Im März, Juli und Oktober 2005 und Februar 2006 wurden zusätzlich am Gesäß – als weitgehend unbestrahlte Referenz – die MED/MTD, Epidermisdicke und Hautfarbe bestimmt.

Zusätzlich erfolgte bei jeder Untersuchung eine digitale Fotodokumentation (Canon PowerShot A95). Damit wurde gleichzeitig das Zuordnen von Lichttestfeldern bei der Bestimmung der MTD nach ein und mehr Monaten unterstützt bzw. ermöglicht, wenn die Markierungen zwischenzeitlich nicht mehr erkennbar waren.

#### **4.2.4 Abschlussbefund am Ende der folgenden Wintersaison**

Zur Verifizierung des Ausgangsbefundes vom Ende des Winters im März 2005 (vgl. Kap. 4.2.1) erfolgte im Februar 2006 eine Abschlussuntersuchung. Die Messwerterfassung für alle Probanden der Studie „Gruppe 1“ erfolgte mit der gleichen Methodik wie im März 2005 und den darauf folgenden Monaten.

Das UV-Personenmonitoring (s. Kap. 4.2.5) war bereits Ende Oktober 2005 eingestellt worden. Zwischen November und Februar liegen die aktinischen Bestrahlungen nur etwa bei einem vierzigstel verglichen mit dem Sommer und liefern nur minimale Beiträge zur UV-Jahresexposition.

#### **4.2.5 UV-Personenmonitoring zur solaren UV-Exposition der Probanden von Studie „Gruppe 1“**

Das UV-Personenmonitoring wurde kalenderwochenweise durchgeführt und erfolgte für die Studie „Gruppe 1“ im Jahr 2005 von KW 14 (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 44,4^\circ$ ) über KW 25 (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 62,5^\circ$ ) bis KW 40 (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 35,7^\circ$ ).

Die 12 Probanden trugen die Polysulfonfilm-Dosimeterplaketten in Brustposition.

Jeder Proband erhielt eine genaue Unterweisung zum Tragen der Dosimeter und für jede Kalenderwoche 2 PSF-Dosimeter – 1 PSF-Dosimeter für die Arbeitstage und 1 PSF-Dosimeter für die Freizeittage. Die tägliche Tragezeit war von 7 bis 19 Uhr MESZ festgelegt.

Im Fall von Wochenfeiertagen, Urlaubstagen oder Krankheit trug der Proband das Wochenenddosimeter an Stelle des Werktagsdosimeters.

Der Dosimeterfilmwechsel wurde von den Teilnehmern – nach Schulung – selbständig durchgeführt.

Auf den optional vorgesehenen Einsatz der elektronischen Datenlogger-UV-Dosimeter vom Typ X2000-4 (Fa. Gigahertz-Optik), zusätzlich zum täglichen Einsatz der PSF-Dosimeterplaketten, musste verzichtet werden, da bei der Überzeugungsarbeit für die Studienteilnahme die Untersuchungsreihen an der Haut zum UV-Eigen-schutzverhalten im Vordergrund standen.

Der Ablauf des UV-Personenmonitoring und die Erfassung der UV-expositionsrelevanten Daten (globale und individuelle Einflussfaktoren) erfolgte im Weiteren in gleicher Weise, wie im Projekt F 1777 für die kontinuierlichen Jahresmessungen ohne X2000-Datenlogger-Dosimeter beschrieben (KNUSCHKE et al., 2007). Übergabe und Rücknahme von PSF-Dosimetern und Zeitfragebögen (Probandentagebuch) erfolgten in Verbindung mit den monatlichen Untersuchungszyklen.

### **4.3 Eigenschutzreaktion lichtungewöhnter Haut im Jahresverlauf auf künstliche UV-Expositionen (Studie „Gruppe 2“ Innenbeschäftigte: Rückenhautexposition mit mittleren solaren UV-Gesichtsdosen von Außenarbeitern)**

#### **4.3.1 Anpassung des Studienprotokolls an die unerwarteten Ergebnisse aus Studie „Gruppe 1“**

Die Haut ist unter extremen Expositionsbedingungen prinzipiell in der Lage, einen hohen Eigenschutz gegen UV-Strahlung bis zum 40-Fachen bezogen auf den Ausgangswert der minimalen Erythemdosis aufzubauen (vgl. Kap. 2; JUNG et al. 1971). Das führte in der Vergangenheit zu der Annahme, dass die solaren Alltagsexpositionen im Jahresverlauf in der Lage sind, einen ähnlich hohen UV-Eigenschutz mit einem Faktor 10-fach oder gar bis 40-fach aufzubauen und damit einen deutlichen Schutz gegen UV-Strahlung auszubilden.

Eigene Ergebnisse zum Eigenschutzaufbau an hautgesunden Innenbeschäftigten (Hauttypen II-IV; n = 15) zwischen März und September/Oktobre ergaben für den Rücken lediglich ein Verhältnis: MED(Sep) : MED(März) =  $1,37 \pm 0,37$  (KNUSCHKE et al., 2005). Für die Solarexpositionen auf die untersuchte Rückenhaut der Innenbeschäftigten kamen die Freizeit und der Urlaub mit Sommertextilien und ggf. mit Badebekleidung in Frage.

Bei der Konzipierung dieses Projektes wurde daher nicht von einem Wert für den UV-Eigenschutz von 10...40-fach durch die UV-Arbeitsplatzexpositionen der im Freien Beschäftigten ausgegangen, sondern von einem Eigenschutzfaktor  $\approx 5$ -fach.

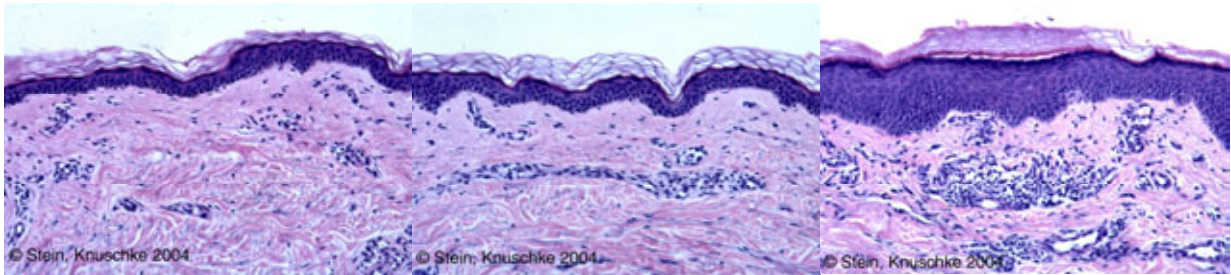
Wider Erwarten zeigten für im Freien Beschäftigte (Gruppe 1) die Ergebnisse der Messungen zum UV-Gesamteigenschutz an der Rückenhaut nur eine geringe Zunahme der MED im Jahresverlauf (Mittelwert: 1,5; Maximalwert: 2,5). Eine messbare Zunahme der Epidermisdicke  $> 10\%$  war weder am (vorrangig bekleideten) Rücken, noch an Händen, Gesicht, Hals, Nacken nachweisbar. Auch die Zunahme der Pigmentierung (farbmetrische Untersuchungen) war in den meisten Fällen minimal.

Demgegenüber zeigte sich jedoch in Vorversuchen, dass an lichtungewöhnter Haut UV-Expositionen von 1-malig 1,4 MED bzw. 3-malig 1,4 MED eine Epidermisverdickung um 20 % bzw. um 50...100 % bewirken (Abb. 4.4 a-e). Derartig deutliche Lichtschwielereaktionen (Epidermisdickezuwachs auf 150 % ... 200 %) waren auch in anderen Untersuchungen nach UV-Expositionen oberhalb der individuellen MED mittels OCT nachweisbar (vgl. Kap. 7.3).

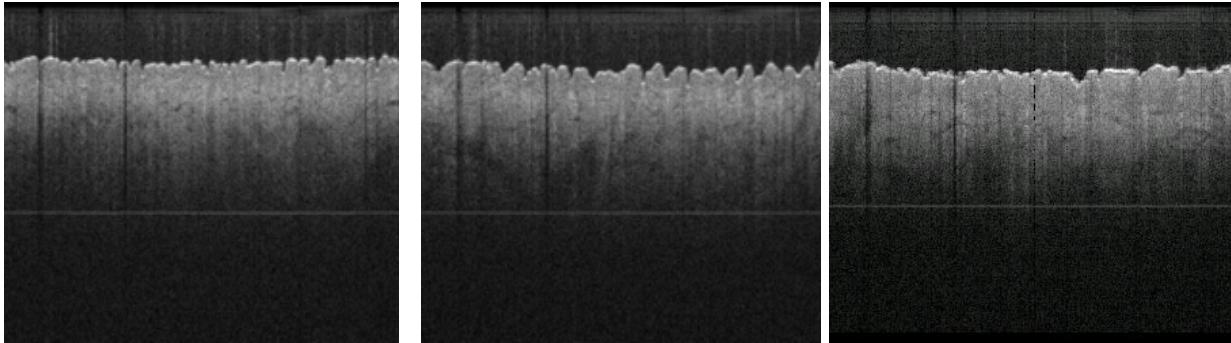
Die mittlere Epidermisdicke der langjährig Außenbeschäftigten lag am Ende des Winters für den Handrücken bei etwa 150 % und für den Rücken bei etwa 120 % bezogen auf die mittlere Epidermisdicke im Sommer bei hautgesunden Personen, die keine Außenbeschäftigten sind (Aschoff et al., 2007).

Die erste Annahme einer permanenten Lichtschwiele als Ursache bestätigte sind im Weiteren nicht. Eher handelt es sich, wie am inneren Unterarm, vermutlich um eine mechanische Schwielereaktion der Haut (vgl. Kap. 7.2.2.1).

## Histologische Präparate



## OCT-Bilder



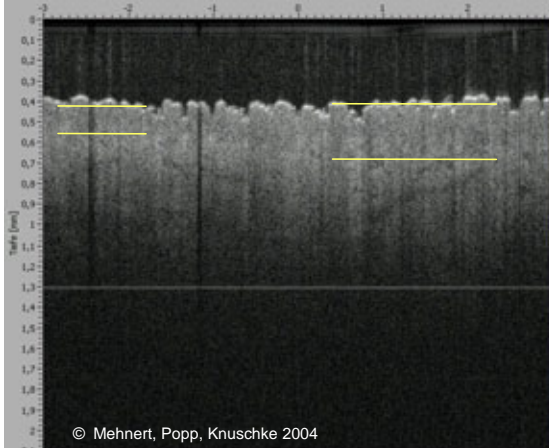
(a) unbestrahlt

(b) 1x 1,4 MED

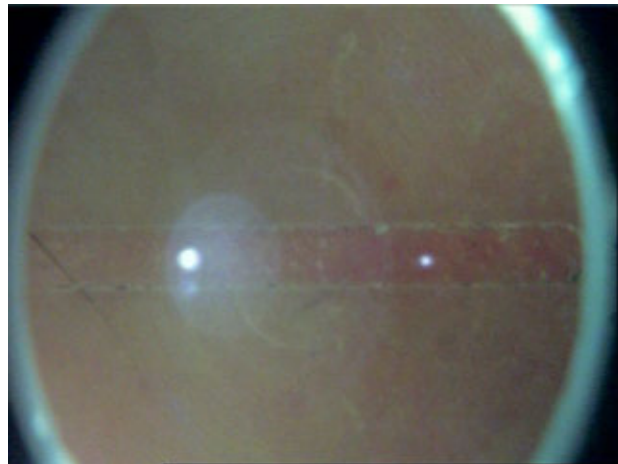
(c) 3x 1,4 MED

**Abb. 4.4 a-c** Lichtschwielereaktion am inneren Unterarm 14 Tage nach UV-Exposition mit einmalig 1 MED (b) sowie an drei aufeinander folgenden Tagen mit je 1 MED (c) im Vergleich zu unbestrahlter Haut (a) im histologischen Präparat und im OCT-Bild

unbestrahlt | 3 x 1.4 MED



(d) OCT-Bild



(e) Auflicht-Aufnahme durch den Applikator

**Abb. 4.4 d-e** Lichtschwielereaktion am inneren Unterarm 14 Tage nach UV-Exposition: Aufnahme des Überganges von unbestrahlter Haut (innerer Unterarm) zu 3 x mit 1,4 MED an drei aufeinander folgenden Tagen bestrahltem Areal im OCT-Bild (d) und abklingende Erythemreaktion um Messfeld in der Auflichtaufnahme über den OCT-Applikator (e)

Basierend auf den Ergebnissen aus der Studie „Gruppe 1“ wurde in Abstimmung mit der BAuA Dortmund das ursprüngliche Studiendesign für die Studie „Gruppe 2“ der Verifizierung des unerwarteten Resultates bei den Außenbeschäftigten angepasst.

An Stelle von den ursprünglich geplanten „im Freien Beschäftigten, die ständig geschlossen bekleidet sind“ (z. B. Postboten, Kindergärtnerinnen) wurde dazu Übergang, die lichtungewöhnte Rückenhaut von Innenbeschäftigten zu untersuchen. Die lichtungewöhnte Rückenhaut sollte einseitig von März bis September mit UV-Expositionen analog der mittleren UV-Personendosen im Gesicht von Außenbeschäftigten exponiert werden. Die andere Rückenhälfte sollte als nichtexponierter Vergleich dienen. Damit sollten die Ergebnisse der Studie „Gruppe 1“ verifiziert werden.

Die Epidermisdicke und deren Änderung im Jahresverlauf für Gesicht, Hals, Nacken und Handrücken dieser Innenbeschäftigten würden ausschließlich aus den Solarexpositionen von Freizeit und Urlaub resultieren. Diese könnten im Vergleich zu ständig im Freien Beschäftigten (Gruppe 1 / Ergebnisse aus 2005) auf abweichendes Eigenschutzverhalten im Jahresverlauf untersucht werden. Geklärt werden sollten die Fragen:

- Führen UV-Expositionen (vergleichbarer Größe) bei lichtungewöhnter Haut (Gruppe 2) zu einer stärkeren Lichtschwielereaktion als bei über Jahre permanent erhöht UV-exponierter Haut (Gruppe 1)?
- Steigt der natürliche UV-Eigenschutz ebenfalls nur um Faktor  $\leq 2$ ?

Voraussetzung für die einzuschließenden Probanden war es, dass diese Teilnehmer weder ausgeprägte Freizeitaktivitäten im Freien ausübten, noch in den letzten sechs Monaten vor Studienbeginn einen Aufenthalt südlich der Alpen hatten, noch jemals ein Solarium besucht hatten. Es sollte zum Untersuchungsbeginn im März 2006 eine weitgehend lichtungewöhnte Haut vorliegen.

Aufgrund der Ergebnisse mit deutlich geringerem Aufbau des UV-Eigenschutzes der Haut wurden die am Rücken halbseitig zu applizierenden UV-Bestrahlungen (gemäß der mittleren UV-Monatsexpositionen auf der Stirn im Freien Beschäftigter) von – im ursprünglichen Design zwei – auf drei Fraktionen pro Monat verteilt.

Die Ethikkommission billigte die beantragte Änderung des Studiendesigns.

#### **4.3.2 Ausgangsstatus**

Jeder Proband der Studie „Gruppe 2“ wurde vor Beginn der Untersuchungen von drei erfahrenen Beobachtern bezüglich des UV-Toleranztyps der Haut (nach FITZPATRICK, 1988) eingeschätzt. Wegen der in der Studie geplanten UV-Expositionen einer Rückenhälfte wurde bei der dermatologischen Ganzkörperuntersuchung besonders nach Hinweisen auf Photodermatosen sowie Risikofaktoren für Hautkrebs gesucht. Das wären Ausschlusskriterien für eine Studienteilnahme gewesen.

Vor Studienbeginn erfolgte an der in Folge zu bestrahlenden Rückenhälfte eine dermatologische Photodiagnostik zur Bestimmung der MED für das verwendete UV-Bestrahlungsgerät, etwa in Höhe des 5. Brustwirbels (Abb. 4.2 b). Damit wurde sichergestellt, dass die individuelle Erythemschwelldosis deutlich über der geplanten Anfangsdosis pro Einzelexposition im März von  $H_{er} = 200 \text{ J/m}^2$  lag.

Kopf / Arm / Hand					
Region	Areal	1 2 3 4			Dateiname
		Nacken	Na		
Stirn	St	li	re	mi	203_XX_32_St_1...3_1
Wange oben	Wa	li	re		203_XX_32_Wa_1...2_1
Wange unten	Wa			li re	203_XX_32_Wa_3...4_1
Hals	Hs			mi	203_XX_32_Hs_3_1
Handrücken	Ha	li	re		203_XX_32_Ha_1...2_1
Unterarm innen	UA	li	re		203_XX_32_UA_1...2_1
Unterarm außen	UA			li re	203_XX_32_UA_3...4_1

Rücken																		
UV-Bestrahlung			ohne UVR															
203_XX_32_Rü_30_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	3. LT Mai	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_31_4		
3	2	1																
6	5	4																
3	2	1																
6	5	4																
203_XX_32_Rü_40_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	4. LT Jun	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_41_4		
3	2	1																
6	5	4																
3	2	1																
6	5	4																
203_XX_32_Rü_50_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	5. LT Jul	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_51_4		
3	2	1																
6	5	4																
3	2	1																
6	5	4																
Swing700_LT	<table border="1"><tr><td>6</td><td>4</td><td>2</td></tr><tr><td>7</td><td>5</td><td>3</td><td>1</td></tr></table>	6	4	2	7	5	3	1	1. LT Mrz	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_11_1...6 = 203_XX_32_Rü_10_1...6	
6	4	2																
7	5	3	1															
3	2	1																
6	5	4																
203_XX_32_Rü_10_7...9	<table border="1"><tr><td>9</td><td>8</td><td>7</td></tr></table>	9	8	7	ohne LT	<table border="1"><tr><td>9</td><td>8</td><td>7</td></tr></table>	9	8	7	203_XX_32_Rü_11_7...9								
9	8	7																
9	8	7																
203_XX_32_Rü_80_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	8. LT Okt	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_81_4		
3	2	1																
6	5	4																
3	2	1																
6	5	4																
203_XX_32_Rü_90_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	9. LT Feb 06	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_91_4		
3	2	1																
6	5	4																
3	2	1																
6	5	4																
203_XX_32_Rü_20_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	2. LT Apr	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_21_4		
3	2	1																
6	5	4																
3	2	1																
6	5	4																
203_XX_32_Rü_60_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	6. LT Aug	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_61_4		
3	2	1																
6	5	4																
3	2	1																
6	5	4																
203_XX_32_Rü_70_4	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	7. LT Sep	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	203_XX_32_Rü_71_4		
3	2	1																
6	5	4																
3	2	1																
6	5	4																

Gesäß																	
1. LT (Mrz)	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4		<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	5. LT (Jul)	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															
203_XX_32_Ge_10_1...6																	
8. LT (Okt)	<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4		<table border="1"><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table>	3	2	1	6	5	4	9. LT (Feb 06)	
3	2	1															
6	5	4															
3	2	1															
6	5	4															

- Messpunkte CR-200:

- Felder 7-9: OCT-Messfelder Jahresverlauf,  
nie durch LTs beeinflusste Haut



**Abb. 4.5** Studie „Gruppe 2“: Körperverteilung der Untersuchungsareale für die Abfolge im Jahresverlauf Mrz. bis Okt. 2006 und Feb. 2007 zur  
 - MED-Bestimmung (je 6 LT-Felder),  
 - Epidermisdickebestimmung mittels OCT,  
 - CR200-Hautfarbmessung  
 (Kodierung der Lokalisation und des Zeitpunktes der Messung mittels Dateinamen der OCT-Messung,  
 hier Beispiel: Gruppe 2; 32 = Monat 3/Mrz. am 2. Tag nach LT)



Der Ausgangsbefund des natürlichen Eigenschutzes nach dem Winter wurde in vier Sitzungen je Proband an der „nichtexponierten Winterhaut“ erhoben (März 2006):

- Lichtoptische Erfassung der Hautparameter, nachfolgend:  
Solarsimulator-Lichttestung (SSR-LT, vgl. Kap. 4.1.3.1)
- MED-Bestimmung nach 24 h
- MED-Bestimmung nach 48 h
- MTD-Bestimmung nach 7 d

Vergleichbar zu Studie „Gruppe 1“ (Kap. 4.2.1) wurden die individuelle minimale Erythemdosis (MED) und die Pigmentierungsschwellendosis (MTD) im Zeitverlauf (s. o.), die Epidermisdicke (als Ausgangsbefund für die Lichtschwielereaktion) und die Hautfarbparameter ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  und  $Y$ ,  $x$ ,  $y$ ) mit dem  $+b^*$ -Wert als Relativwert für den Hautpigmentierungsgrad erfasst. Die Erhebung des MED-Ausgangsbefundes erfolgte am Rücken rechts etwa in Höhe des 5. Brustwirbels sowie am Gesäß links etwa in Höhe des 2. Lendenwirbels (vgl. Abb. 4.5: Rücken/1.LT/Mrz. und Gesäß/1. LT Mrz).

### 4.3.3 Halbseitige Applikation der künstlichen UV-Bestrahlung am Rücken

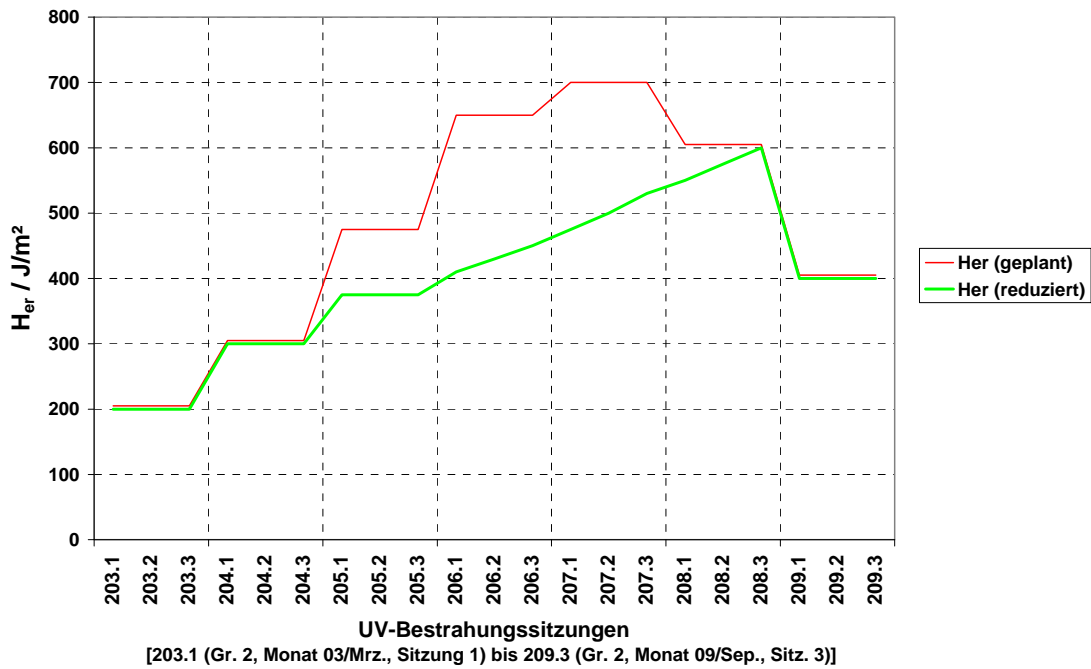
Die Probanden wurden mit einer mehrlagigen Leinenabdeckung mit Öffnung für die linke Rückenhälfte UV-strahlendicht (Transmission  $T < 0,002 = \text{LSF } 500+$ ) geschützt. Zusätzlich trugen die Probanden Patienten-UV-Schutzbrillen.

Die Dosierung der zu applizierenden erythem-effektiven Bestrahlung  $H_{er}$  für die jeweilige UV-Bestrahlungssitzung erfolgte über das Präzisionsoptometer P9710 mit Erythemsensor. Das Messgerät wurde im Dosis-Mode betrieben. Der UV-Sensor wurde bei den Probanden jeweils auf dem mittleren Rücken platziert. Beim Erreichen der laut Studienprotokoll geplanten erythem-effektiven Bestrahlung  $H_{er}$  wurde das Phototherapiegerät Swing-Professional 700 abgeschaltet.

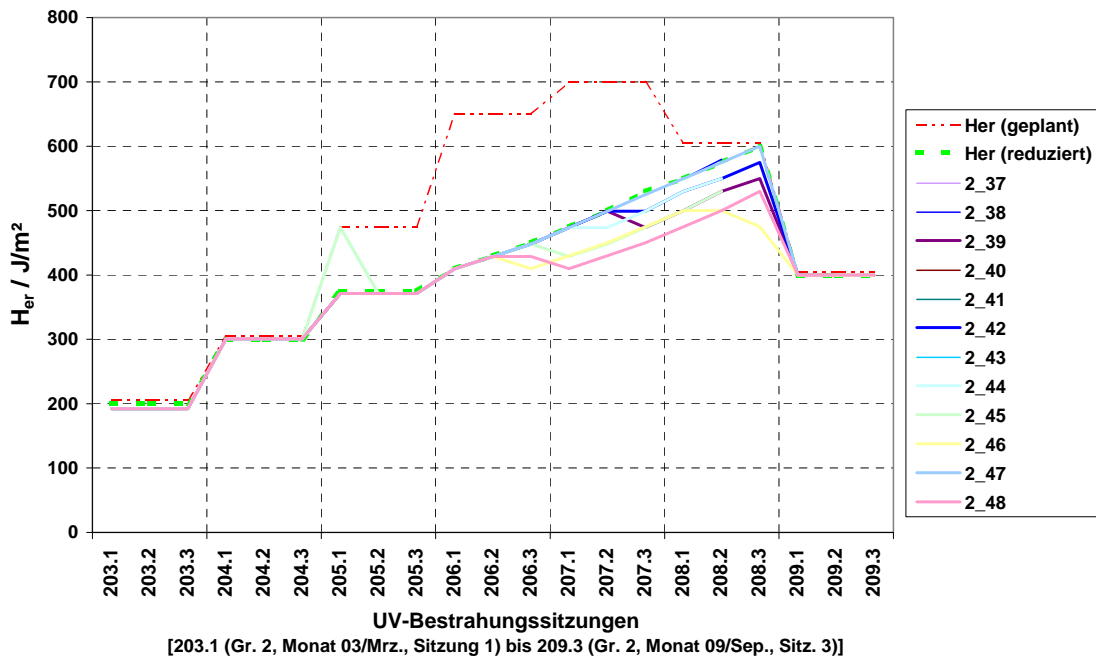
Die gewählten kumulativen erythem-effektiven Bestrahlungen  $H_{er}$ /Monat entsprachen mittleren Monatsdosen für den Gesichtsbereich ständig im Freien Beschäftigter (Datenbasis: UV-Personenmonitoring BAuA-F1777 / KNUSCHKE et al., 2007 sowie UV-Personenmonitoring BMBF-07UVB54C/3 / KNUSCHKE et al., 2004).

Aufgrund der Erkenntnisse aus der Studie „Gruppe 1“ bezüglich der geringen UV-Eigenschutzreaktion wurde die Monatsdosis auf drei (statt, wie ursprünglich geplant, auf zwei) Einzelbestrahlungen pro Monat verteilt. Die Sitzungen erfolgten im Abstand von 5 bis 7 Tagen (Abb. 4.6 a).

Die im März und April applizierten UV-Dosen, deren Einzeldosis der mittleren kumulativen Gesichtsdosis für Außenbeschäftigte über 10 Tage in dieser Jahreszeit entsprach, bewirkten auf der linken Rückenhälfte nur eine geringe UV-Eigenschutzreaktion, sodass für jeden Probanden individuell die UV-Dosis pro Sitzung gegenüber der Planung reduziert werden musste. Das betraf die Monate Mai, Juni, Juli, August. Die Reduktion der geplanten erythem-effektiven Bestrahlung  $H_{er}$  je Sitzung erfolgte, um nicht die Erythemschwelle bei den Probanden zu erreichen (Abb. 4.6 b).



**Abb. 4.6 a** Halbseitige UV-Bestrahlung des Rückens Innenbeschäftigter (Gr. 2)  
 - *geplant*: UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter in 3 Sitzungen pro Monat  
 - *reduziert*: UV-Bestrahlungsprogramm mit abgesenkter UV-Dosierung



**Abb. 4.6 b** Individuell realisiertes Bestrahlungsprogramm im sub-erythematischen Bereich für den einzelnen Probanden

Der erste Bestrahlungstermin je Untersuchungsmonat wurde mit dem Untersuchungstermin zur Ablesung der Pigmentierungsschwelldosis MTD am 7. Tag nach der SSR-Lichttestung gekoppelt. Damit hatten die Studienteilnehmer insgesamt 6 Termine im Monat wahrzunehmen, die in definierten, engen Zeitfenstern zueinander standen (Anh. 1, Tab. 7).

(Anmerkung: Eine Verteilung der UV-Expositionen auf mehr als drei Bestrahlungssitzungen hätte die Einzeldosis pro Sitzung zwar gesenkt, wäre aber mit sieben oder mehr Sitzungen pro Proband und Monat nicht mehr im bereits von 7.30 bis 19.00 täglich ausgelasteten Zeitfond möglich gewesen.)

#### **4.3.4 Monatliche Untersuchungen der Haut**

Die Untersuchung des Eigenschutzes der lichtungewöhnten Haut unter dem Einfluss künstlicher UV-Expositionen im Jahresverlauf, die den solaren Gesichtsexpositionen von im Freien Beschäftigten entspricht, erfolgte nach der Erfassung der Ausgangsdaten im März 2006 für die Monate April bis September. Um die Wirkung der September-Expositionen zu erfassen, erfolgten die zugehörigen Probandenuntersuchungen im Oktober 2006.

Das Untersuchungsprogramm von Studie „Gruppe 2“ war analog zu Studie „Gruppe 1“ (vgl. Kap. 4.2.1). In den Ablaufplan für Studie „Gruppe 2“ waren jedoch zusätzlich die Termine für die Halbseitenbestrahlung des Rückens einzuarbeiten (Anh. 1, Tab 3).

Erfasst wurden jeweils die minimale Erythemdosis (MED) und die minimale Pigmentierungsdosis (MTD) und deren zeitlicher Verlauf. Weiterhin wurden die Hautfarbparameter  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (sowie  $Y$ ,  $x$ ,  $Y$ ) zur Charakterisierung des Pigmentierungsgrades (ggf. des Hautrötungsgrades) und die Epidermisdicke mittels optischer Kohärenztomografie (OCT) zur Untersuchung der Lichtschwielerreaktion erfasst. Auch in Studie „Gruppe 2“ erfolgte bei jeder Untersuchung eine digitale Fotodokumentation (Canon PowerShot A95). Damit wurde gleichzeitig das Zuordnen von Lichttestfeldern bei der Bestimmung der MTD nach ein und mehr Monaten unterstützt bzw. ermöglicht, wenn die Markierungen zwischenzeitlich nicht mehr erkennbar waren.

Im März, Juli und Oktober 2006 und Februar des Folgejahres wurden zeitgleich zu den Untersuchungen am Rücken die MED/MTD, die Hautfarbe und die Epidermisdicke an der Gesäßhaut als weitgehend unbestrahlte Referenz bestimmt.

#### **4.3.5 Erhebung des Befundes am Ende der folgenden Wintersaison**

Zur Verifizierung des Ausgangsbefundes an „lichtentwöhnter Winterhaut“ vom März 2006 (vgl. Kap. 4.3.2) erfolgte im Februar 2007 eine Abschlussuntersuchung. Zur Messdatenerfassung aller Probanden der Studie „Gruppe 2“ kam die gleiche Methodik wie im März 2006 sowie den Folgemonaten zum Einsatz.

Das UV-Personenmonitoring (s. Kap. 4.3.6) war Ende Oktober 2006 eingestellt worden. Zwischen November und Februar liegen die aktinischen Bestrahlungen bei nur etwa einem Vierzigstel verglichen mit dem Sommer und liefern nur minimale Beiträge zur UV-Jahresexposition.

#### **4.3.6 UV-Personenmonitoring zur solaren UV-Exposition der Probanden von Studie „Gruppe 2“**

Das UV-Personenmonitoring erfolgte für die Studie „Gruppe 2“ analog zur Studie „Gruppe 1“ (s. Kap. 4.2.5) im Jahr 2006 von KW 14 (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 44,4^\circ$ ) bis KW 40 (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 35,7^\circ$ ).

##### Anmerkung zur UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden:

Während des UV-Personenmonitorings in Studie „Gruppe 2“ wurde die UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden vom Flachdach des Hauses 19 auf das Flachdach des Hauses 70 des Uniklinikums umgesetzt. Hintergrund war der Beginn einer Komplettsanierung inklusive Dachbereich des Hauses 19, auf dem sich die Messstation seit November 1996 befand.

Die Umsetzung wurde vom 01.06. bis 02.06.2006 durchgeführt.

#### **4.4 Verifizierung des Eigenschutzverhaltens der Haut gegen solare UV-Strahlung im Verlauf eines Jahres bei ganzjährig UV-exponierten Körperstellen von im Freien Beschäftigten bezüglich Lichtschwiele und Pigmentierung (Studie „Gruppe 3“)**

Das Projekt wurde um die zusätzliche Studie „Gruppe 3“ erweitert. Damit sollten die Messdaten an der Haut zum Pigmentierungsverlauf und zum Verlauf der Epidermisdicke über das Jahr im Vergleich zur Studie „Gruppe 1“ und zur Studie „Gruppe 2“ verifiziert werden. Gleichzeitig konnte damit der Messdatenumfang zur Pigmentierung und die Epidermisdicke im Jahresverlauf an Kopf, Händen und Rücken von 12 Probanden auf 24 vergrößert werden, u. a. zur Klärung der Fragestellung, ob bei über Jahre ständig im Freien Beschäftigten eine chronisch verdickte Epidermis vorliegt, wie sie sich in ersten Auswertungen der Studie „Gruppe 1“ angedeutet hatte. Da zeitgleich die Untersuchungen der Studie „Gruppe 2“ liefen, waren aus Kapazitätsgründen keine MED-Bestimmungen bei Gruppe 3 möglich.

Analog zur Studie „Gruppe 1“ wurden 12 männliche Außenbeschäftigte der Berufsgruppen Hochbau, Straßenbau und Gärtner untersucht, die während der Arbeit im Sommerhalbjahr ständig sonnenexponierte Körperareale haben. Diese Areale sind: Kopf, Hals, Arme und Hände. Oberkörper und Beine sind nur zeitweilig sonnenexponiert.

##### **4.4.1 Monatliche Untersuchungen der Haut**

Lichtschwielereaktion und Pigmentierungsgrad im Jahresverlauf wurden gemäß dem Messprogramm (s. Anh. 1, Tab. 8) monatlich an den in Abbildung 4.6 angegebenen Hautregionen von März bis Oktober 2006 erfasst.

Für die Bestimmung der Lichtschwielereaktion erfolgten OCT-Untersuchungen an den aufgeführten Hautarealen zur Epidermisdickebestimmung. Der Pigmentierungsgrad der Haut im Jahresverlauf wurde mittels Cromameter CR-200 im  $L^*, a^*, b^*$ - sowie  $Y, x, y$ -System an Stirn, Handrücken und Rücken erfasst und dokumentiert.

Weiterhin wurden Gesicht, Unterarme/außen und Handrücken in einem Bild bei jeder Untersuchung fotodokumentiert.

#### 4.4.2 Erhebung des Befundes am Ende der folgenden Wintersaison

Im Februar 2007 erfolgte die Kontrolluntersuchung zum Ausgangsbefund im März 2006 mit dem gleichen Untersuchungsdesign, wie in Kapitel 4.4.1 dargestellt.

Region	Areal	Areal				Dateiname
		1	2	3	4	
Nacken	Na	li	re	mi		303_XX_30_Na_1...3_1
Stirn	St	li	re	mi		303_XX_30_St_1...3_1
Wange oben	Wa	li	re			303_XX_30_Wa_1...2_1
Wange unten	Wa			li	re	303_XX_30_Wa_3...4_1
Hals	Hs	li	re	mi		303_XX_30_Hs_1...3_1
Handrücken	Ha	li	re			303_XX_30_Ha_1...2_1
Unterarm innen	UA	li	re			303_XX_30_UA_1...2_1
Unterarm außen	UA			li	re	303_XX_30_UA_3...4_1
Rücken	Rü	li	re			303_XX_30_Rü_1...2_1

Messpunkte CR-200:



**Abb. 4.7** Studie „Gruppe 3“: Körperverteilung der Untersuchungsareale für die Abfolge im Jahresverlauf Mrz. bis Okt. 2006 und Feb. 2007 zur  
 - Epidermisdickebestimmung mittels OCT,  
 - CR200-Hautfarbmessung  
 (Kodierung der Lokalisation und des Zeitpunktes der Messung mittels Dateinamen der OCT-Messung, hier Beispiel = für Gruppe 3, 30 = Monat 3/Mrz.)

#### 4.4.3 UV-Personenmonitoring zur solaren UV-Exposition der Probanden von Studie „Gruppe 3“

Das UV-Personenmonitoring für die Studie „Gruppe 3“ erfolgte zeitgleich mit dem von Studie „Gruppe 2“. In Methode und Design war die Ausführung analog zu Studie „Gruppe 1“ (vgl. Kap. 4.2.4) von KW 14 (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 44,4^\circ$ ) bis KW 40 (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 35,7^\circ$ ).

## **5 Quantifizierung des zeitlichen Verlaufes von Aufbau und Dauer des Eigenschutzes der Haut gegenüber künstlicher UV-Strahlung nach Einzelexposition sowie nach fünffacher serieller Exposition – Methodenspektrum**

### **5.1 Organisation und Methoden der Studien „Gruppe A“ und „Gruppe B“**

#### **5.1.1 Übersicht zum Design der Studien, Ethikkommission, Probandenaufklärung, Einverständniserklärung und Probandenversicherung**

##### *Studiendesign*

Das allgemeine Studiendesign war für die Untersuchungen der Probanden in den Studien „Gruppe A“ und „Gruppe B“ analog:

Zeitablauf:

- UV-Einzelexposition bzw. über 5 Tage UV-Expositionen mit je  $H_{er} = 1,8$  SED
- Datenerfassung zum UV-Eigenschutzstatus
  - Ausgangsbefund an „lichtungewöhnter Winterhaut“ vor UV-Exposition
  - an Tag 1, 2, 8, 21 und 56 nach UV-Exposition
  - Vergleichsbefund nach 56 Tagen an unbestrahlter Haut zum Ausgangsbefund

Untersuchungen zum UV-Eigenschutzstatus:

- photodiagnostische Lichttestungen bezüglich MED im Phototherapiegerät vor UV-Exposition
- photodiagnostische SSR-LT am Rücken je Untersuchungstermin je auf einem zuvor nicht lichtgetestetem Hautareal
  - MED-Bestimmung: nach 24 h (teilweise möglich: 48 h, 8 d)
- OCT-Messungen zur Bestimmung der Epidermisdicke im Verlaufskontrollfeld und im unexponierten Kontrollareal
- chromametrische Hautfarbmessung im Verlaufskontrollfeld und im unexponierten Kontrollareal  
(vor UV-Exposition, nach UV-Exposition an Tag 1 und 56)

##### *Votum der Ethikkommission*

Die Studien „Gruppe A“ und „Gruppe B“ wurden gemeinsam mit den Studien „Gruppen 1“, „Gruppen 2“ und „Gruppen 3“ als Gesamtprojekt der Ethikkommission vorgelegt. Die Angaben unter Kapitel 4.1.1 zum positiven Votum der Ethikkommission und zur Probandenversicherung treffen auch für die Studien „Gruppen A“ und „Gruppe B“ zu.

##### *Probandenaufklärung und Einverständniserklärung*

Alle Probanden wurden ausführlich mündlich und schriftlich (Informationsschreiben zum Verbleib beim Probanden) über Zielstellung, Art, Umfang und Datenschutz der Studien, mit der Möglichkeit zu Rückfragen, aufgeklärt.

Die freiwilligen Studienteilnehmer unterzeichneten eine Einwilligungserklärung zum Datenschutz und zur Teilnahme aus freien Stücken (frühestens 24 Stunden nach der mündlichen und schriftlichen Aufklärung).

*Probandenversicherung*

Die Probandenversicherung (vgl. Kap. 4.1.1) gilt für das gesamte Projekt, einschließlich der Studien „Gruppe A“ und „Gruppe B“.

### 5.1.2 Aufbau der Probandengruppen und dermatologische Eignungsuntersuchung

*Einschlusskriterien:*

Die Einschlusskriterien gemäß der Studienplanung waren für „Gruppe A“ und „Gruppe B“ gleichermaßen zutreffend:

- Geschlecht: männlich
- Hauttyp: II (n = 9); III (n = 3)
- Tätigkeitsbereich: Innenbeschäftigte

*Ausschlusskriterien:*

Die Ausschlusskriterien entsprachen denen der Studien „Gruppe 1“, „Gruppen 2“ und „Gruppen 3“ (vgl. 4.1.2):

- bekannte Photodermatosen
- bekannte erhöhte UV-Empfindlichkeit  
bzw. deren Feststellung in der vorangestellten photodiagnostischen Testung
- multiples Naevussyndrom
- Porphyrie
- Solarienbesuche vor oder (geplante) während der Zeit der Studie

zusätzlich wurde gefordert:

- kein Urlaub südlich der Alpen im Herbst und Winter vor Studienbeginn im Januar 2006 (Gruppe A) bzw. Februar 2005 (Gruppe B)

*Dermatologische Eignungsuntersuchung*

Jeder Proband der Studie „Gruppe A“ und der Studie „Gruppe B“ wurde vor Beginn des Studien-Programms einer dermatologischen Ganzkörperuntersuchung unterzogen. Es wurde der UV-Toleranztyp der Haut (nach FITZPATRICK, 1988) eingeschätzt. Wie auch bei Studie „Gruppe 2“ wurden die Probanden vor den künstlichen UV-Expositionen insbesondere hinsichtlich Hinweise auf Photodermatosen sowie Risikofaktoren für Hautkrebs als Ausschlusskriterien untersucht.

Weiterhin erfolgte eine dermatologische Photodiagnostik zur Bestimmung der individuellen MED jedes einzelnen Probanden in Bezug auf die UV-Strahler vom Typ Arimed B, die in beiden Phototherapiegeräten, sowohl Swing-Professional 700 (Gruppe A), als auch TK8 (Gruppe B) zum Einsatz kamen. Damit wurde sichergestellt, dass die individuelle Erythemschwelldosis deutlich über der geplanten UV-Exposition von 1,8 SED pro Sitzung lag.

Bemerkung: Für den mittleren Hauttyp II (1 MED  $\approx$  2,5 SED) ist eine erythem-effektive Bestrahlung lt. Studienplan von  $H_{er} = 1,8$  SED sub-erythematös.

*Probandenstruktur der Studiengruppen*

Die Tabellen 5.1 a und 5.1 b geben einen Überblick über die gewonnenen Probanden der Studie „Gruppe A“ (UV-Einzelexposition) und der Studie „Gruppe B“ (fünffache serielle UV-Expositionen).

**Tab. 5.1 a** Übersicht zur Probandenstruktur der Studie „Gruppe A“

PN	Alter	Hauttyp	Tätigkeit
A_25	26	III	Student
A_26	25	II	Student
A_27	24	II	Student
A_28	61	II-III	Rentner
A_29	26	II-	Student
A_30	22	-III	Student
A_31	26	II-III	Student
A_32	26	II	Student
A_33	21	II	Student
A_34	33	II	Student
A_35	27	II	Student
A_36	24	II	Student

**Tab. 5.1 b** Übersicht zur Probandenstruktur der Studie „Gruppe B“

PN	Alter	Hauttyp	Tätigkeit
B_1	45	II	ohne
B_2	41	III	Dipl.-Ing.
B_3	36	II	Schlosser
B_4	22	II	Student
B_5	25	II	Student
B_6	23	II	Student
B_7	26	III	Student
B_8	24	II	Student
B_9	25	II	Student
B_10	29	II	Krankenpfleger
B_11	26	III	Student
B_12	25	II	Student

### 5.1.3 UV-Messtechnik, UV-Bestrahlungstechnik und Untersuchungsmethoden für die Hautparameter

Die angewandten Untersuchungsmethoden für die Hautparameter einschließlich der photodiagnostischen Verfahren zur MED-Bestimmung sowie die eingesetzte UV-Mess- und UV-Bestrahlungstechnik entsprachen denen für die Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe 2“. Deshalb soll für Details auf Kapitel 4.1 verwiesen werden.

*UV-Expositionen des Rückens (vgl. Kap. 4.1.3.2)*

- Abstand d = 20 cm
- Strahlenquellentyp Arimed B  
(sonnenähnlicher Spektralverlauf im UV-Bereich)
- Bestrahlungsgerät  
  - Studie „Gruppe A“ Ganzkörper-Liegegerät Swing-Professional 700
  - Studie „Gruppe B“ Teilkörper-Bestrahlungsgerät TK 8
- UV-Messtechnik Präzisionsoptometer P 9710 mit Erythemsensor:  
Dosismode zur Applikation von  $H_{er} = 1,8$  SED
- MED-Bestimmung  
  - im UV-Bestrahlungsgerät MED-Testset der Dermatologie/TU Dresden



### *Untersuchungsmethoden für die Hautparameter*

- Individuelle MED und deren Verlauf  
nach UV-Einzelexposition bzw. nach fünf seriellen UV-Expositionen:  
SSR-LT am DERMOLUM UM (vgl. Kap. 4.1.3.1)
- relativer Pigmentierungsgrad der Haut (+b\*-Wert):  
Farbparameter L\*, a\*, b\* und Y, x, y an der Haut mit dem Chromameter CR-200  
(vgl. Kap. 4.1.4.2)
- Epidermisdicke vor UV-Exposition und im zeitlichen Verlauf danach:  
OCT-Verfahren (vgl. Kap. 4.1.4.1)
- Digitale Fotodokumentation (vgl. Kap. 4.1.4.3)

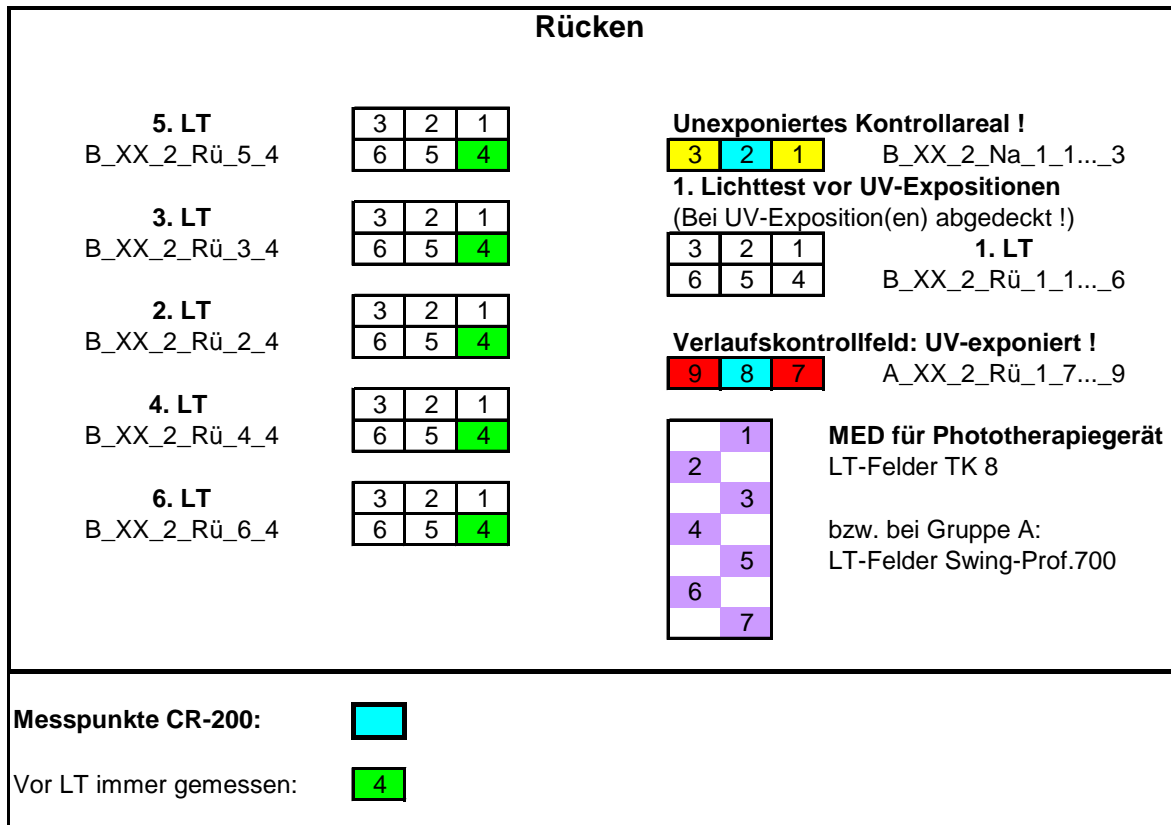
## **5.2 Untersuchung der Eigenschutzreaktion der Haut nach fünf seriellen UV-Expositionen – Studie „Gruppe B“**

Die Hautparameter zur Charakterisierung der UV-Eigenschutzreaktion der Haut nach fünf seriellen UV-Expositionen im zeitlichen Verlauf wurden zur Ausgangsbefunderhebung an der „lichtungewöhnten Winterhaut“ vor den UV-Expositionen und danach zu den weiteren Messterminen des Ablaufplanes (Anh. 1, Tab. 9) erfasst. Bestimmt wurden jeweils:

- die minimale Erythemdosis (MED) und die Pigmentierungsschwelldosis (minimal tanning dose: MTD) im Zeitverlauf als Gesamteigenschutzcharakteristikum mittels SSR-Lichttestung (für jeden Untersuchungszeitpunkt war ein separates Hautareal auf dem Rücken festgelegt – siehe Abb. 5.1).
- die Epidermisdicke mittels OCT-Messungen zur Untersuchung der Lichtschwielereaktion jeweils an drei definierten Punkten des unexponierten Kontrollfeldes und des Verlaufskontrollfeldes (s. Abb. 5.1).
- der relative Hautpigmentierungsgrad aus dem Farbwert +b\*. Der Hautpigmentierungsgrad wurde im nichtexponierten Kontrollfeld und im seriell UV-exponierten Verlaufskontrollfeld (s. Abb. 5.1) bestimmt. Die Messungen erfolgten vor und nach den seriellen UV-Bestrahlungen sowie am Tag 56 nach den UV-Bestrahlungen.

Bei allen Untersuchungssitzungen erfolgte die digitale Fotodokumentation des Rückens.

Das Messfeldlayout (Abb. 5.1) war für die Studien „Gruppe A“ und „Gruppe B“ identisch.



**Abb. 5.1** Studie „Gruppe B“ (02/05-03/05) und Studie „Gruppe A“ (01/06-02/06): Untersuchungsareale am Rücken für die Abfolge über 56 Tage

- MED-Bestimmung (je 6 LT-Felder),
- Epidermisdickebestimmung mittels OCT,
- CR200-Hautfarbmessung

(Kodierung der Lokalisation und des Zeitpunktes der Messung mittels Dateinamen der OCT-Messung, hier Beispiel = für Gruppe B, Proband XX zur Sitzung-Nr. 2)

Die photodiagnostische Lichttestung zur Bestimmung der Probanden-MED für das Phototherapiegerät mit Arimed-B-Strahlern (vgl. Kap. 5.1.3) erfolgte 24 h vor der Ausgangsbefunderhebung.

Zur Ausgangsbefunderhebung und der unmittelbar folgenden ersten UV-Exposition lag somit das Testergebnis bezüglich der MED(24h) von jedem Probanden für das Bestrahlungsgerät vor.

Bei den UV-Bestrahlungen des Rückens wurde das stets unexponierte Kontrollareal (15 x 5 cm<sup>2</sup>) lichtdicht abgedeckt. Auch das Untersuchungsareal der ersten SSR-Lichttestung (zur Bestimmung des Ausgangswertes der MED) wurde während der fünf UV-Expositionen lichtdicht abgedeckt, um deren Auswertung nicht zu verfälschen.

Die UV-Expositionen erfolgten an drei bzw. vier aufeinander folgenden Tagen im 24-h-Abstand unterbrochen von zwei Wochenendtagen, gefolgt von den verbleibenden zwei UV-Bestrahlungen wieder im 24-h-Abstand bzw. der einen noch verbleibenden UV-Bestrahlung.

Die UV-Expositionen wurden mit  $H_{er} = 1,8$  SED (bzw. 1,3 SED s. u.: Anmerkung) homogen auf den gesamten Rücken appliziert – ausgenommen die beiden o. g. Hautareale. Diese UV-Exposition entspricht einer mittleren arbeitstäglichen Personendosis der Rücken-Schulter-Partie (oder 150...180 % der Gesichtsdosis) im Freien Beschäftigter Mitte Mai bei einer Mittagssonnenhöhe von  $\gamma_s \approx 60^\circ$ .

Die Erfassung der Hautparameter (MED, Epidermisdicke, Hautfarbwerte) im Zeitverlauf nach der letzten der fünf seriellen UV-Expositionen erfolgte am Tag 1 (24 h  $\pm$  0,5 h), Tag 2 (48 h  $\pm$  1 h), Tag 8, Tag 21 und Tag 56.

Nach Abschluss der Hautparametermessungen am Tag 56 erfolgte im bis dahin nichtexponierten Kontrollareal eine SSR-Lichttestung. Das Ableseergebnis der MED nach 24 h am Tag 57 dokumentierte, inwieweit der Eigenschutzzustand der Haut dem Ausgangsbefund acht Wochen zuvor, am Tag 0 ohne UV-Exposition, entsprach.

*Anmerkung: Für drei Probanden musste nach der ersten UV-Exposition mit 1,8 SED die Bestrahlung auf  $H_{er} = 1,3$  SED abgesenkt werden. Hier waren 1,8 SED zwar  $\leq 0,8$  MED(24h) [Proband B\_6: 0,8 MED(24h); Proband B\_10: 0,8 MED(24h); Proband B\_12: 0,55 MED(24h)]. Jedoch zum typischen Maximum der UV-Erythemreaktion 6 - 8 h nach UV-Applikation wurde der Bereich 1 MED erreicht bzw. in einem Fall mit untypischem Dosis-Zeit-Verlauf überschritten.*

### **5.3 Untersuchung des Eigenschutzes der Haut nach UV-Einzelexposition – Studie „Gruppe A“**

Der Untersuchungsablauf (Anh. 1, Tab. 10) für die Studie „Gruppe A“ entsprach dem Design von Studie „Gruppe B“. Im Unterschied zur Studie „Gruppe B“ erfolgte bei Studie „Gruppe A“ jedoch an Stelle der fünf seriellen UV-Expositionen nur eine UV-Einzelexposition.

Entsprechend dem Untersuchungsprogramm wurden der Ausgangsbefund der Hautparameter von jedem Probanden erhoben, sowie dessen MED für die Arimed-B-Strahler im Bestrahlungsgerät Swing-Professional 700 bestimmt. Die UV-Einzelexposition wurde flächenhomogen mit  $H_{er} = 1,8$  SED am Rücken appliziert. Das als nichtexponiertes Kontrollfeld vorgesehene Hautareal wurde lichtdicht abgedeckt (s. Abb. 5.1). Das Hautareal, in dem der 1. SSR-Lichttest für den Ausgangswert zuvor ausgeführt worden war, wurde ebenfalls lichtdicht abgedeckt.

Die Erfassung der Hautparameter im Zeitverlauf nach der UV-Einzelexposition erfolgte am Tag 1 (24 h  $\pm$  0,5 h), am Tag 2 (48 h  $\pm$  1 h), am Tag 8, am Tag 22 und am Tag 56. Nach Abschluss der Hautparametermessungen am Tag 56 erfolgte im bis dahin nichtexponierten Kontrollareal eine SSR-Lichttestung. Wie bei Studie „Gruppe B“ dokumentierte das Ableseergebnis der MED nach 24 h am Tag 57, inwieweit der Eigenschutzzustand der Haut dem Ausgangsbefund acht Wochen zuvor, am Tag 0 ohne UV-Exposition, entsprach.

## 6 Auswerteverfahren zur Bestimmung der Epidermisdicke aus OCT-Bildern

Für die nicht-invasive Bestimmung der Epidermisdicke zur Untersuchung der Lichtschwielereaktion der Haut nach UV-Exposition(en) kam die Optische Kohärenztomografie (OCT) zum Einsatz. In einem Projekt „Forschungskooperation zur Optimierung der optischen Kohärenz-Tomographie (OCT) als Verfahren zur Objektivierung von Einflussgrößen auf die Hautschichtstruktur“ zwischen dem Klinischen Sensoring und Monitoring (KSM) und der Dermatologie der Medizinischen Fakultät der TU Dresden (09/03 - 04/05) wurde das Verfahren für dermatologische Fragestellungen weiterentwickelt und getestet. Dabei wurde auch im Vorfeld des Projektes nachgewiesen, dass das OCT-Verfahren zum messtechnischen Nachweis von epidermalen Lichtschwielereaktionen der Haut nach UV-Expositionen geeignet ist (s. Abb. 4.4 a-e; KNUSCHKE et al., 2005).

### 6.1 Manuelle Epidermisdickenbestimmung aus OCT-Bildern mittels Software „OCT-Cursorauswertung“

Für die Auswertung der OCT-Aufnahmen bezüglich der Epidermisdicke wurde auf Basis der Software LabView 7.1 (Fa. National Instruments Co., USA) das Programm „OCT-Cursorauswertung“ durch das KSM/TU Dresden entwickelt (vgl. Kap. 4.1.4.1). Die OCT-Aufnahme wird in der „Breite“ aus 600 A-Scans zu einem B-Scan-Bild gebildet. Ein A-Scan hat eine „Höhe“ von 400 Bildpixeln. (Anmerkung: Der Kalibrierfaktor zur Schichtdickenbestimmung für das eingesetzte OCT-Gerät DERMA SR 840 betrug: 1 Bildpixel = 2,81 µm.)

Zur Bildauswertung wird zuerst der breiteste repräsentative Bildabschnitt mit visuell deutlich abgegrenztem Luft-Epidermis-Übergang und Dermis-Epidermis-Übergang in X-Richtung (laterale Hautausdehnung) mittels zweier Cursorlinien markiert. Im Weiteren wird in diesem Bildabschnitt je ein Y-Cursor mit der Luft-Epidermis-Grenze sowie dem Dermis-Epidermis-Übergang durch visuellen Abgleich zur Deckung gebracht (s. Anh. 1, Abb. 4 c). Bei jeder Bildauswertung werden in einer Wertetabelle automatisch zur OCT-Bildnummer und den Hautcharakteristika des OCT-Bildes (kodiert im Dateinamen, vgl. Kap. 4.1.4.1) die Y-Koordinaten und deren Differenz (= die Epidermisdicke in Bildpixeln), die X-Koordinaten des zur Messung herangezogenen Bildabschnitts sowie das Signum des Bildauswerterers abgelegt.

Da die visuelle Überdeckung von Luft-Epidermis-Grenze und von Dermis-Epidermis-Übergang mit jeweils einer Cursorlinie subjektiv vom Bildauswerter beeinflusst ist, erfolgte – nach Beratung durch das Institut für Medizinische Informatik und Biometrie der TU Dresden – der folgende Auswertungsmodus für die mit dem Cursorverfahren bezüglich Epidermisdicke ausgewerteten OCT-Aufnahmen:

- die OCT-Bilder werden von drei Auswertern unabhängig voneinander ausgemessen
- jedes OCT-Bild wird dreimalig von jedem Auswerter vermessen; zwischen den dieser Messungen liegt jeweils mehr als eine Stunde

Diese Verfahrensweise sollte gewährleisten, dass individuelle und intraindividuelle Abweichungen ausgeglichen werden.

Ein geübter Auswerter benötigt im Mittel pro OCT-Bildauswertung 60 Sekunden. Bei einem Gesamtmessumfang von rund 35.000 OCT-Aufnahmen bedeutet das bei 3 x 3 Auswertungen je Bild 5250 Stunden effektive Bildauswertzeit. Das wäre nicht realisierbar gewesen. Deshalb wurde durch das KSM/TU Dresden eine automatische Bilderkennung zur Bestimmung der Epidermisdicke initiiert.

## 6.2 Automatische Epidermisdickenmessung an OCT-Aufnahmen

Im Rahmen einer Praktikumsarbeit am Institut für künstliche Intelligenz der Fakultät Informatik der TU Dresden wurde mit dem KSM/TU Dresden gemeinsam an einem ersten Schritt zu einer automatischen Bilderkennung und -auswertung gearbeitet (POPP et al., 2006a; POPP et al., 2006b).

In einem zweiten Schritt verbesserte das KSM/TU Dresden die automatische Bilderkennung und Bildauswertung (KRÜGER et al., 2007; CUEVAS et al., 2009 submitted). Das Entwicklungsergebnis wurde in der Software „OCT-automess“ (Basis: Mat-Lab 6.5, Fa. The MathWorks Inc./USA) umgesetzt.

### 6.2.1 Algorithmus der automatischen Bilderkennung

Für die automatische Bildverarbeitung wurden die Ergebnisse von verschiedenen automatischen Segmentierungsalgorithmen mit denen der von Experten durchgeführten manuellen Segmentierung – der Abschnitteinteilung innerhalb eines A-Scans – verglichen (KRÜGER et al., 2007; CUEVAS et al., 2009 submitted). Dabei wurde das Verfahren „conv“, ein Schwellenwert-basierter Algorithmus, gewählt, welches die ähnlichsten Ergebnisse liefert (Abb. 6.1 b).

#### *Luft-Haut-Segmentierung:*

Das ursprüngliche OCT-Bild (Abb. 6.1 a) wird zweimal mit verschiedenen Kernen gefiltert, um den Übergang zwischen Luft und Haut zu erkennen.

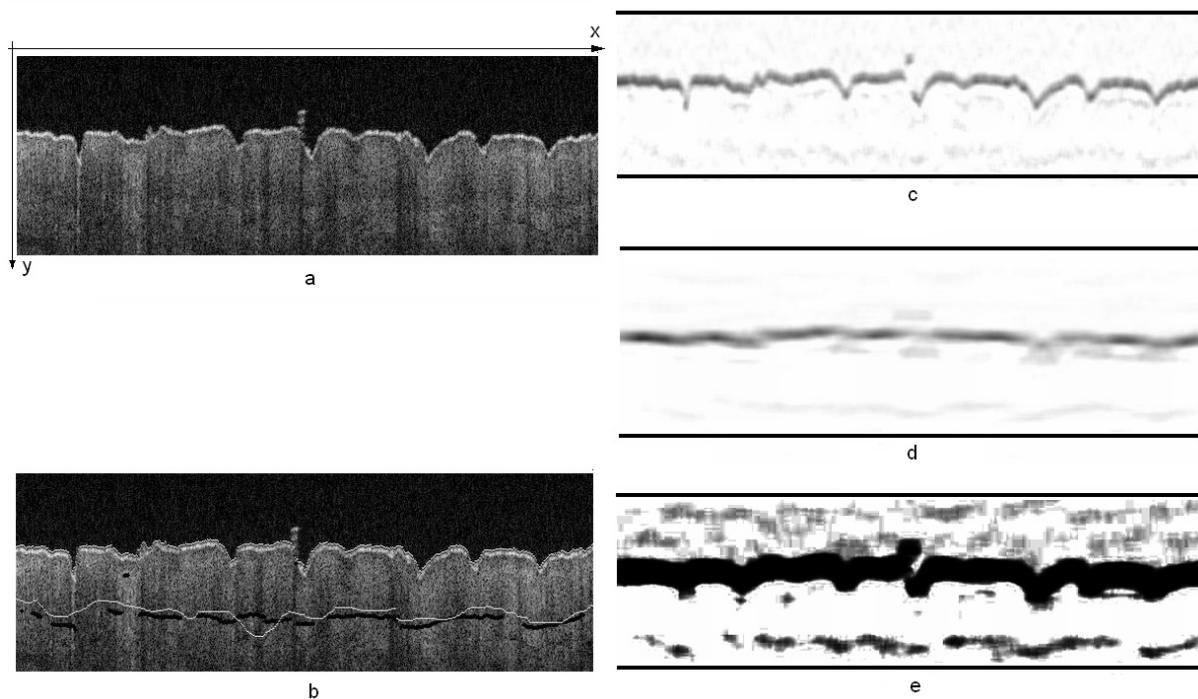
Für die erste feine Filterung wird eine 2-D Sprungfunktion als Kern verwendet. Seine Größe (Höhe x Breite) ist 20x6 Pixel. Die oberen zehn Reihen dieser Sprungfunktion werden auf 1 und die unteren zehn auf -1 gesetzt. In dem daraus resultierenden Bild ist der Luft-Haut-Übergang als maximale Intensität zu erkennen. In Abb. 6.1 c ist dieses gefilterte OCT-Bild invertiert dargestellt. Dabei sind Hautfalten und störende Artefakte aufgrund von Haaren sichtbar.

Mit Hilfe der zweiten groben Filterung des originalen OCT-Bildes werden die Artefakte durch Haare entfernt. Dafür wird ein größerer Kern mit einer Größe von 20x40 Pixel verwendet. Auf diese Weise wird ein neuer Luft-Haut-Übergang gefunden, der Haare nicht wiedergibt, allerdings auch Falten in der Haut ignoriert (Abb. 6.1 d).

Anschließend werden beide Segmentierungen kombiniert, um abrupte Veränderungen im Luft-Haut-Übergang zu erhalten, jedoch Einflüsse durch Haare, die aus der Hautoberfläche herausragen, zu entfernen. Dies wird erreicht, indem für jeden A-Scan jeweils aus der groben und feinen Segmentierung diejenige ausgewählt wird, deren Segmentierung die niedrigste y-Koordinate ausweist.

### *Dermis-Epidermis-Kreuzung-Segmentierung:*

Das originale OCT-Bild wird mit einem  $20 \times 30$  Pixel großen Sprungfunktions-Kern gefiltert, bei dem die oberen zehn Reihen auf 1 und die unteren zehn Reihen auf -1 gesetzt sind. In jeder Spalte des resultierenden Bildes erhält man mehrere lokale Maxima (Abb. 6.1 e), wobei sich das markanteste Maximum im Inneren der Haut als das der Position der Dermis-Epidermis-Kreuzung DEK erweist. Dieses Maximum wird anhand eines Schwellwertes gefunden, welcher empirisch ermittelt wurde und für jedes Bild dynamisch angepasst wird.



**Abb. 6.1 a-e** Links: (a) Original OCT-Bild, (b) manuelle DEK (schwarz) vs. automatische (weiß) Segmentierung  
Rechts: gefilterte Bilder des originalen OCT-Bildes mit (c)  $20 \times 40$  Kern, (d)  $20 \times 6$  Kern, (e)  $20 \times 30$  Kern

### **6.2.2 Auswertung der automatischen Bildverarbeitung**

Im Optimalfall liegen für ein OCT-Bild aus 600 A-Scans 600 Segmentierungswerte der Lage des Luft-Haut-Übergangs und des Dermis-Epidermis-Übergangs vor, deren Abstand die Epidermisdicke repräsentiert. Es können aber auch Bildabschnitte vorliegen, in denen der Grauwertkontrast keine Segmentierung zulässt. Diese Bildabschnitte werden für die Auswertung zurückgewiesen und ausgespart.

Ausgegeben werden Median, Mittelwert und Standardabweichung der Epidermisdicke (in Bildpixel), bestimmt aus allen nichtzurückgewiesenen A-Scan-Auswertungen. Weiterhin wird die Anzahl der auswertbaren A-Scans (maximal  $n = 600$ ) und ein Histogramm der Epidermisdickenverteilung je OCT-Bild im Datensatz abgelegt.

### 6.2.3 Datenbankablage automatischer und manueller OCT-Bildauswertungen

Liegen für ein OCT-Bild neben der automatischen Epidermisdickebestimmung mittels „OCT-automess“ auch Auswertedaten aus der manuellen „OCT-Cursorauswertung“ vor, so extrahiert die Software „OCT-automess“ diese Daten aus der zugehörigen Datentabellendatei. In einem Datensatz liegen dann jeweils gepaart je OCT-Bild das automatische Auswertergebnis und das manuell ausgewertete Ergebnis vor. Gibt es keine manuelle „OCT-Cursorauswertung“ zu dem OCT-Bild, enthält der Datensatz nur die Werte der automatischen Auswertung. Die Ergebnistabelle, die durch „OCT-automess“ generiert wird, wurde kompatibel zu der entsprechenden Datentabelle in der MS-Access-Datenbank „Protokoll-Datenbank“ (für ProtokollDB\_GR1.mdb, ProtokollDB\_GR2.mdb, ProtokollDB\_GR3.mdb, ProtokollDB\_GR\_A.mdb bzw. ProtokollDB\_GR\_B.mdb; vgl. Kap. 4.1.4.1 und Anh. 1, Tab. 4 a-d) ausgelegt. Das gestattet die Datensätze direkt zu importieren. Die im OCT-Dateinamen zusammengefassten Lokalisations-, Hautzustands- und Messzeitpunktverschlüsselungen werden einzeln – recherchierbar für Datenbankabfragen – neben dem vollständigen Bilddateinamen und den Epidermisdickenauswertedaten abgelegt.

Damit ist über einen Datenbankabruf eine vergleichende biostatistische Bewertung zwischen den Verfahren zur Epidermisdickebestimmung aus automatischer Auswertung mittels „OCT-automess“ versus Auswertung durch Experten mittels „OCT-Cursorauswertung“ möglich.

## 6.3 Verfahrensbedingte Unsicherheit der Epidermisdickebestimmung

Im Rahmen der Arbeiten von KSM/TU Dresden und Dermatologie/TU Dresden zur Etablierung der OCT als Verfahren zur nicht-invasiven Epidermisdickebestimmung (vgl. Kap. 4.1.4.1) wurden auch Reproduzierbarkeitsuntersuchungen zur Zuverlässigkeit der Methode durchgeführt. Dazu wurden bei drei Probanden von sechs markierten Hautstellen (Wange, Handrücken, Rücken, jeweils linke und rechte Körperseite) fünfmal täglich an fünf aufeinanderfolgenden Tagen OCT-Bilder erfasst. Die Bilder wurden von drei geschulten Auswertern vermessen. In die gesamte Schwankungsbreite für eine Hautposition geht ein:

- Individuelle physiologische Variationen der Haut des Probanden im fünftägigen Untersuchungszeitraum
- Reproduzierbarkeit der Messposition an der definierten Hautstelle
- Qualität des zur Abspeicherung gewählten OCT-Bildes
- Individuelle Überdeckung durch den Auswerter von Luft-Epidermis-Grenze mit einer Cursorlinie und der Epidermis-Dermis-Grenze mit einer zweiten im OCT-Programm „Cursor-Auswertung“ zur Epidermisdickebestimmung.

Über die genannten Einflussfaktoren ergab sich eine Schwankungsbreite von  $\pm 8\%$  (Handrücken),  $\pm 16\%$  (Wange) und  $\pm 18\%$  (Rücken).

Weiterhin waren Vergleichswerte für die Epidermisdicke der untersuchten Hautareale von 67 hautgesunden, sich vorrangig in Gebäuden aufhaltenden Personen unterschiedlichen Alters erfasst worden. Damit wurde eine Vergleichsbasis zur dermatologischen Nutzung geschaffen, die auch im Rahmen dieses Projektes genutzt werden konnte (ASCHOFF et al., 2006; ASCHOFF et al., 2007).

Wie für die manuelle PC-gestützte Epidermisdickebestimmung („Cursor-Auswertung“) ist auch für die automatische Auswertung mittels der Software „OCT-automess“ die Bildqualität bei der OCT-Bilderfassung an der Haut ausschlaggebend. Die Schwankungsbreiten beider Verfahren für die Epidermisdickebestimmung liegen in vergleichbarer Größe. Das Verhältnis der Absolutwerte aus der manuellen „Cursor-Auswertung“ zur automatischen Bildauswertung „OCT-automess“ lag über die Messwerte aus allen Sitzungen der Probanden der Studie „Gruppe 1“ für den Rücken bei  $1,01 \pm 0,13$ , für die Stirn bei  $0,93 \pm 0,13$  und den Handrücken bei  $0,89 \pm 0,36$ .

Die Gesamtheit der o. g. Einflussfaktoren auf die Epidermisdickebestimmung mit diesem OCT-Verfahren führt zu einer verfahrensbedingten Unsicherheit von  $\pm 10 \%$ .



## 7 Jahresverlauf des natürlichen UV-Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien – Ergebnisse (Teil A)

### 7.1 Ergebnisübersicht zum Teil A – Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“

In den Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“ wurde der Jahresverlauf des Eigenschutzverhaltens der Haut gegenüber solarer UV-Strahlung bei ständig im Freien beschäftigten Arbeitnehmern untersucht.

In den Abbildungen 7.1 bis 7.4 ist ein Überblick der Ergebnisse zum UV-Eigenschutzverhalten der Haut zusammengestellt:

Abb. 7.1	Ständig im Freien Beschäftigte (Gruppe 1: Bau, Gärtner)
Abb. 7.2	Ständig im Freien Beschäftigte (Gruppe 3: Bau, Gärtner)
Abb. 7.3	Validierung der unerwarteten Ergebnisse aus Studie „Gruppe 1“ Innenbeschäftigte, linke Rückenseite künstlich UV-exponiert, Expositionen (März – September) gemäß mittlerer solarer UV-Personendosis an der Stirn von Bauarbeitern an Werktagen (Gruppe 2); sonst: normale Alltagsexpositionen aus Beruf, Freizeit, Urlaub
Abb. 7.4	Typische Innenbeschäftigte: im Vergleich zu Abb. 7.3 (Gruppe 2: rechte Rückenseite ohne künstliche UV-Bestrahlung)

In den Abbildungen sind jeweils pro Studiengruppe für die folgenden Größen der monatliche Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (MW  $\pm$  SD) dargestellt:

MED_rel	minimale Erythemdosis am Rücken als Charakteristikum des UV-Gesamteigenschutzes, normiert auf den Ausgangswert der MED im März (nicht für Gruppe 3 – hier keine photodiagnostische Lichttestung)
Hautfarbwert +b*	qualitativer Pigmentierungsgrad für: Stirn (ständig solar UV-exponiert) und Rücken
Epidermisdicke	Untersuchung der Lichtschwielereaktion: Rücken (Gruppe 1 und 3: vorrangig textil geschützt, selten frei; Gruppe 2 Rücken links: entspricht Stirnexposition Bau; Gruppe 2 Rücken rechts: Alltag Innenbeschäftigter) Stirn (Gruppen 1, 2, 3: ständig solar UV-exponiert)
Personendosis	in Brustposition gemessene erythem-effektive Bestrahlung $H_{er}$ , die die UV-Eigenschutzreaktionen bewirkten: WT-, WE-: aus <u>W</u> erk <u>t</u> agen sowie aus <u>W</u> ochen <u>e</u> ndtagen (Gr.1+3) UV-: kumulativ aus Werktagen und Wochenendtagen (Gr. 2)
UVR-Rü_li / +UV	kumulative erythem-effektive Bestrahlung $H_{er}$ (in SED/Monat) aus je 3 künstlichen UV-Expositionen pro Monat (Mrz. bis Sep.) der linken Rückenseite (Gruppe 2)

Globalstrahlung erythem-effektive solare Gesamtstrahlung des gesamten, nicht abgeschatteten Himmels; als kumulative UV-Monatsdosis

Für den Gesamt-UV-Eigenschutz der untersuchten Außenbeschäftigten (Gruppe 1) zeigte sich bis Juni ein Anstieg auf  $117,5 \% \pm 50,5 \%$  der MED vom März. Bis zum Oktober verblieb der Gesamteigenschutz auf diesem Niveau von rund  $+ 120 \%$ . Selbst die höchsten Werte einzelner Probanden überschritten dabei eine Verdoppelung der Ausgangs-MED nicht, die am Ende des vorangegangenen Winters im März gemessen worden war. Auf diesen Ausgangswert ging die MED bis Februar des Folgewinters wieder zurück.

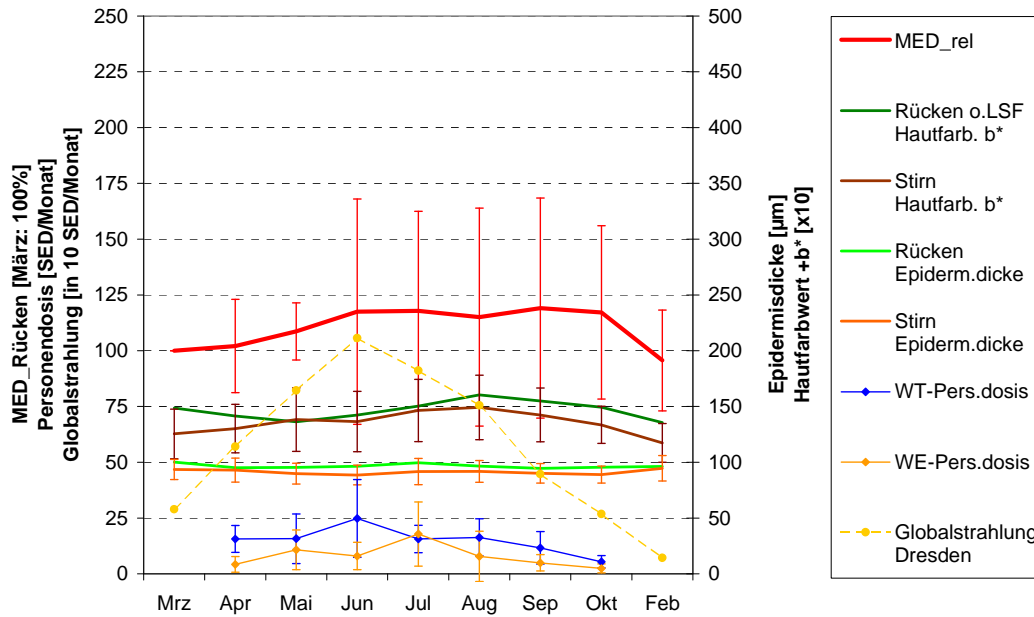
Der unerwartet niedrige Aufbau des UV-Eigenschutzes der Haut am Rücken der Außenbeschäftigten warf die Frage nach dem monatlichen Verlauf der Komponenten des Eigenschutzes auf, insbesondere auch für ständig der natürlichen UV-Strahlung ausgesetzte Hautregionen (Beispielregion in den Abb. 7.1 bis 7.4: Stirn). Jedoch weder am Rücken noch an der Stirn (oder den anderen, hier nicht gezeigten Hautarealen), konnte eine messbare Lichtschwielereaktion im Jahresverlauf festgestellt werden.

Die Wiederholung dieser Untersuchungen an weiteren 12 Außenbeschäftigten (Gruppe 3) bestätigte, dass die solaren UV-Expositionen bei Außenbeschäftigten im Sommerhalbjahr zu keinem Zuwachs der Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion)  $> 10 \%$ , bezogen auf den Ausgangswert am Ende des Winters, führten. Die verfahrensbedingte Streubreite für die Epidermisdickebestimmung mit dem angewendeten OCT-Verfahren und der nachfolgenden Bildauswertung liegt bei  $\pm 10 \%$ .

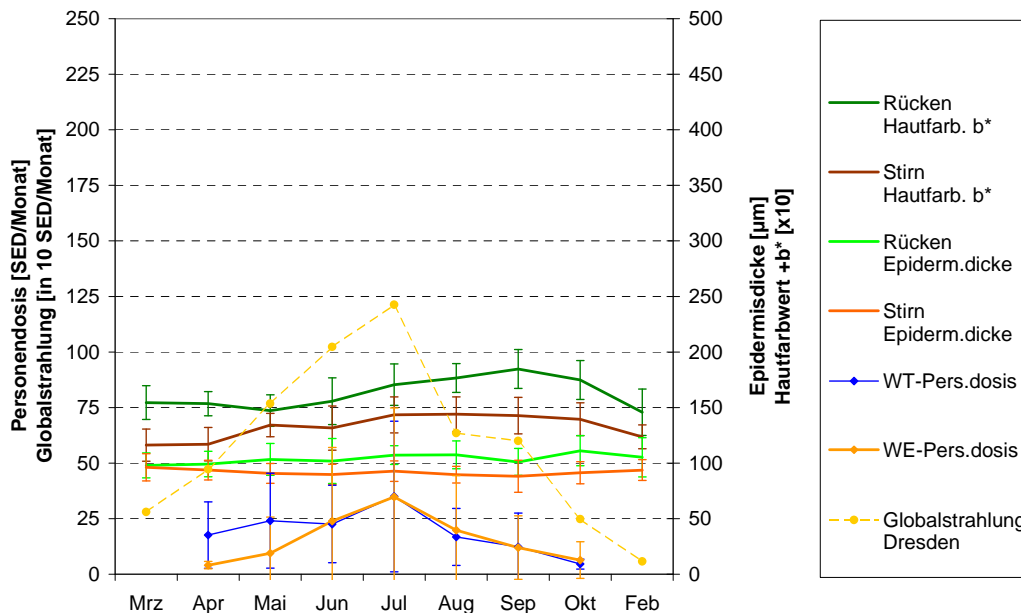
Demgegenüber zeigte der Pigmentierungsgrad der ständig im Alltag solar UV-exponierten Stirn einen leichten Zuwachs von März bis Juli (vgl. meteorologische Bedingungen: Sonnenstunden für Gr. 1 in Abb. 7.18 b, für Gr. 2 und Gr. 3 in Abb. 7.19 b). Nach einer Plateauphase begann der Pigmentierungsgrad zum Oktober hin wieder abzusinken. Bis zum Februar des Folgewinters ging der Pigmentierungsgrad in den Bereich des Ausgangswertes (März) zurück.

Die Rückenhaut war jahreszeitlich bedingt durch dickere Kleidung vor solarer UV-Strahlung abgeschirmt (vgl. Höchsttemperaturen während Studie „Gruppe 1“ in Abb. 7.18 a, für Gr. 2 und Gr. 3 in Abb. 7.19 a). So zeigte die nicht solar UV-exponierte Rückenhaut einen Rückgang der Melanin-Pigmentierung vom Vorjahr noch bis in den Mai. Erst mit der dünneren Sommerkleidung nahm zum Juli, August, September auch der Pigmentierungsgrad der Rückenhaut zu (Abb. 7.1, Abb. 7.2). Das Arbeiten mit freiem Oberkörper war dabei die Ausnahme; nur  $10 \%$  bis  $22 \%$  taten dies an vereinzelt Tagen (UNVERRICHT et al., 2007). Zum Februar des Folgewinters gingen auch die Werte für den Pigmentierungsgrad des Rückens zurück. Bei der typischerweise permanent textil abgedeckten Haut würde der Pigmentierungsgrad wiederum erst am Ende des Frühjahrs das Minimum erreichen.

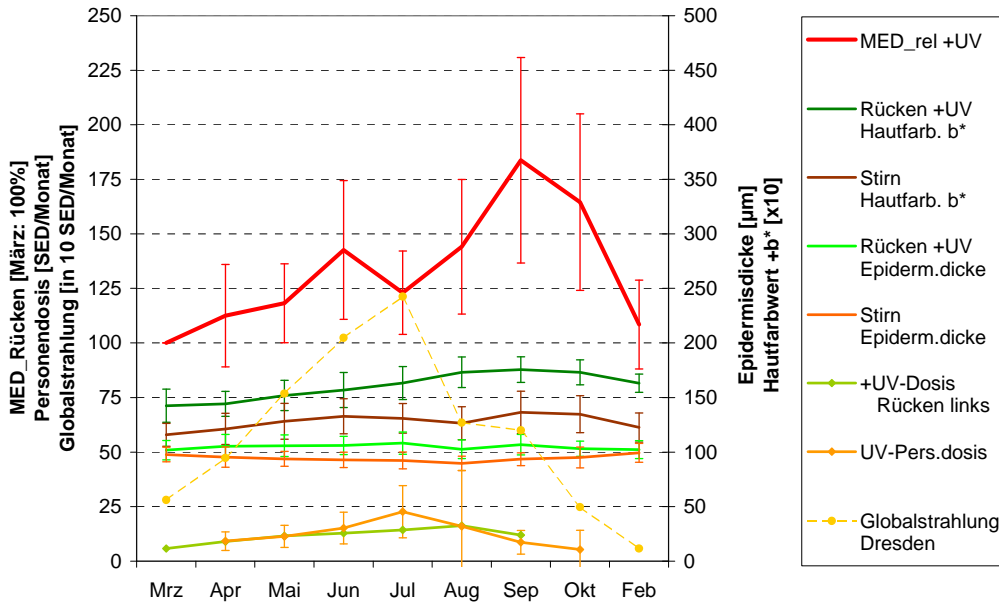
Für die Außenbeschäftigten beider Studien („Gruppe 1“ und „Gruppe 3“) wurden vergleichbare Resultate bezüglich des Jahresverlaufes der UV-Eigenschutzkomponenten Hautpigmentierung und Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) an der Rücken- haut, aber auch an ständig solar exponierter Haut wie der Stirn und der Hände (hier nicht gezeigt) festgestellt. Trotz gewisser meteorologischer Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsjahren (Abb. 7.18 a-c und Abb. 7.19 a-c) bestätigten die Daten der Studie „Gruppe 3“ die Ergebnisse zum UV-Eigenschutzverlauf über das Jahr aus Studie „Gruppe 1“.



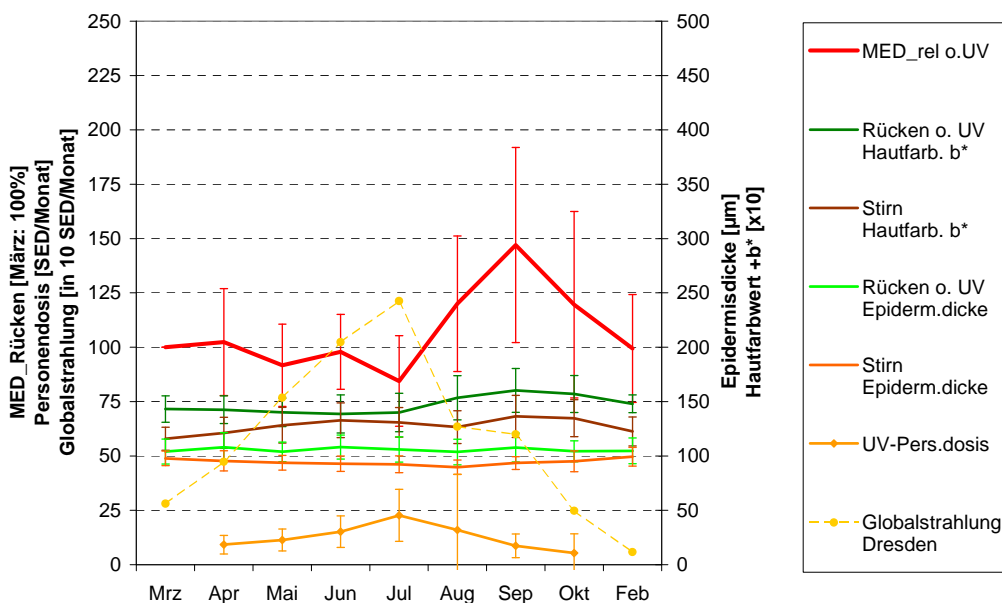
**Abb. 7.1** Jahresverlauf der UV-Eigenschutzreaktion der Haut von März bis Februar bei im Freien Beschäftigten (Gruppe 1: Gärtner, Bau) [jeweils: MW  $\pm$  SD]: Minimale Erythemdosis MED am Rücken ohne Lichtschutzsubstanz; Epidermisdicke, Pigmentierung (Hautfarbwert +b\*) an Rücken und Stirn; UV-Personendosis an Werktagen (WT) und Wochenendtagen (WE); solare Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum



**Abb. 7.2** Jahresverlauf der UV-Eigenschutzreaktion der Haut von März bis Februar bei im Freien Beschäftigten (Gruppe 3: Gärtner, Bau) [jeweils: MW  $\pm$  SD]: Epidermisdicke, Pigmentierung (Hautfarbwert +b\*) an Rücken und Stirn; UV-Personendosis an Werktagen (WT) und Wochenendtagen (WE); solare Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum



**Abb. 7.3** Jahresverlauf der UV-Eigenschutzreaktion der Haut von März bis Februar bei Innenbeschäftigten (Gruppe 2 – Rücken links +UV: mit künstlicher UV-Exposition gemäß solarer UV-Gesichtsexposition im Freien Beschäftigter): Minimale Erythemdosis MED am Rücken; Epidermisdicke, Pigmentierung (Hautfarbwert +b\*) an Rücken und Stirn UV-Dosis Rücken links, UV-Personendosis gesamt (WT+WE); solare Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum



**Abb. 7.4** Jahresverlauf der UV-Eigenschutzreaktion der Haut von März bis Februar bei Innenbeschäftigten unter Alltagsbedingungen (Gruppe 2): Minimale Erythemdosis MED am Rücken (ohne UV-Bestrahlung); Epidermisdicke, Pigmentierung (Hautfarbwert +b\*) an Rücken und Stirn; UV-Personendosis gesamt (WT+WE); solare Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum

Um eine Aussage bezüglich der UV-Eigenschutzreaktion für ständig solar UV-exponierte Hautareale zu erhalten, die nicht, wie der Rücken, mehr oder weniger textil abgedeckt waren (Rücken/Gruppe 1), wurde die Studie „Gruppe 2“ durchgeführt. Hier wurden Innenbeschäftigte mit weitgehend „lichtungewöhnter“ Haut untersucht: Dabei entsprachen die untersuchten Hautareale, einschließlich der rechten (unbehandelten) Rückenseite, denen von Innenbeschäftigten unter normalen Alltagsbedingungen an Werktagen, Freizeit-/Wochenendtagen und Urlaubstagen. Die linke Hälfte des gering pigmentierten Rückens der Innenbeschäftigten wurde im Jahresverlauf gezielt künstlich UV-exponiert. Die Dosierung der sonnenähnlichen Strahlung (vgl. Kap. 4.1.3.2) wurde orientiert an mittleren solaren UV-Personendosen für das Gesicht von Bauarbeitern durchgeführt (Daten aus: KNUSCHKE et al., 2007). Die UV-Erythemempfindlichkeit der Rückenhaut ist gut vergleichbar mit der der Gesichtshaut. Epidermisdicke und Pigmentierungsgrad vom Rücken sind geringfügig höher als im Gesichtsbereich (s. Abb. 7.11 a-c bis Abb. 7.13 a-c). Das Verhältnis der mittleren MED zwischen Rücken- und Gesichtshaut beträgt 1,2 (OLSON et al., 1966). Diese bezüglich des UV-Erythems für die verschiedenen anatomischen Regionen für gefundenen Relationen bestätigten sich auch für photobiologische Prozesse ähnlichen Aktionsspektrums, so für die UV-induzierte Vitamin-D-Synthese (KNUSCHKE et al., 2009).

Für die UV-bestrahlte linke Rückenseite erhöhte sich die MED im Mittel in den Monaten Mai auf  $118,2 \% \pm 18,1 \%$ , Juni auf  $142,6 \% \pm 31,8 \%$  und Juli auf  $123,0 \% \pm 19,1 \%$  gegenüber der Ausgangs-MED im März. Bis September wurde ein Zuwachs des Gesamteigenschutzes auf  $183,8 \% \pm 47,1 \%$  bezogen auf die Ausgangs-MED erreicht. Aber selbst dieser Zuwachs entspricht lediglich einem (knappen) Lichtschutzfaktor 2. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den Monaten August und September der Urlaub der meisten innenbeschäftigten Probanden der Studie „Gruppe 2“ lag. Die MED der unbestrahlten, unter Alltagsbedingungen Innenbeschäftigter beobachteten rechten Rückenseite stieg auf  $147,1 \% \pm 44,8 \%$  gegenüber dem Märzwert (Abb. 7.4). Die der solaren UV-Exposition von Bauarbeitern vergleichbare künstliche UV-Exposition bewirkte damit eine Erhöhung des UV-Eigenschutzes auf etwa das 1,5-Fache am Ende des Sommers (Abb. 7.6 a und b).

Der monatliche Verlauf des Pigmentierungsgrades der bestrahlten linken Rückenseite war vergleichbar mit den an der Stirn gemessenen Werten der im Freien Beschäftigten aus Studie „Gruppe 1“ und „Gruppe 3“. Jedoch lagen die  $+b^*$ -Werte für die regelmäßig ab März bestrahlte linke Rückenseite etwas höher als die an der Stirn der Außenbeschäftigten, die teilweise durch Kopfbedeckungen abgeschattet wurde. Der Pigmentierungsgrad der rechten, nichtbestrahlten Rückenhaut der Innenbeschäftigten (Gruppe 2) war in den Werten etwas niedriger, aber im monatlichen Verlauf vergleichbar mit dem Pigmentierungsgrad am Rücken der Außenbeschäftigten. Für die, außer im Urlaub, weitgehend lichtungewöhnte Rückenhaut war auch im Urlaub kein Zuwachs der Epidermisdicke nachzuweisen, der über + 10 % hinausging.

Der geringe bzw. fehlende Zuwachs bei den UV-Eigenschutzkomponenten Pigmentierungsgrad bzw. Epidermisdicke/Lichtschwielerreaktion bestätigte den ermittelten niedrigen Zuwachswert für die minimale Erythemdosis als UV-Gesamteigenschutzcharakteristikum.

Alle Ergebnisse der Untersuchungen zur UV-Eigenschutzreaktion der Haut unter den Bedingungen für ständig im Freien beschäftigte Arbeitnehmer aus den Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“ wiesen übereinstimmend aus:

Unter den UV-Expositionsbedingungen an solarexponierten Arbeitsplätzen in mittleren geografischen Breitengraden (Deutschland/Mitteleuropa) baut die Haut nur einen geringfügigen UV-Eigenschutz gegen das UV-Erythem als Akutreaktion auf.

Der UV-Eigenschutz steigt im Sommerhalbjahr um nicht mehr als 100 % bezogen auf den Wert am Ende des Winters. Das ist ein UV-Eigenschutzfaktor 2 – vergleichbar einer Lichtschutzsubstanz mit LSF 2.

## 7.2 Detailergebnisse

Die minimale Erythemdosis MED stellt ein Charakteristikum für den individuellen UV-Eigenschutz der Haut bezüglich der Akutreaktion UV-Erythem dar.

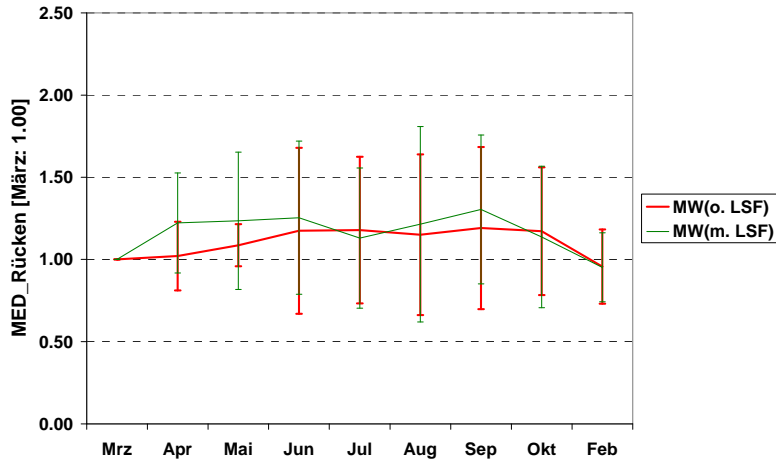
Es erfolgten Untersuchungen des Jahresverlaufes der minimalen Erythemdosis MED am Rücken sowie der Komponenten des UV-Eigenschutzes der Haut – der Lichtschwielereaktion (Epidermisdicke) und des Pigmentierungsgrades (qualitativ mittels Hautfarbwert +b\*) an verschiedenen Körperarealen. Die Durchführung dieser Untersuchungen erfolgte im Rahmen der Studien „Gruppe 1“ (ständig im Freien Beschäftigte) und „Gruppe 2“ (sonnenlichtungewöhnte Innenbeschäftigte, deren linke Rückenseite von Anfang April bis Ende September mit UV-Dosen künstlich exponiert wurde, die den solaren Gesichtsexpositionen von Bauarbeitern in diesem Zeitraum entsprach). Die Studie „Gruppe 3“ (ständig im Freien Beschäftigte) diente der Verifizierung der Ergebnisse aus den Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe 2“ anhand der Jahresverläufe für die Epidermisdicken und die Hautfarbwerte +b\*.

### 7.2.1 Minimale Erythemdosis MED im Jahresverlauf

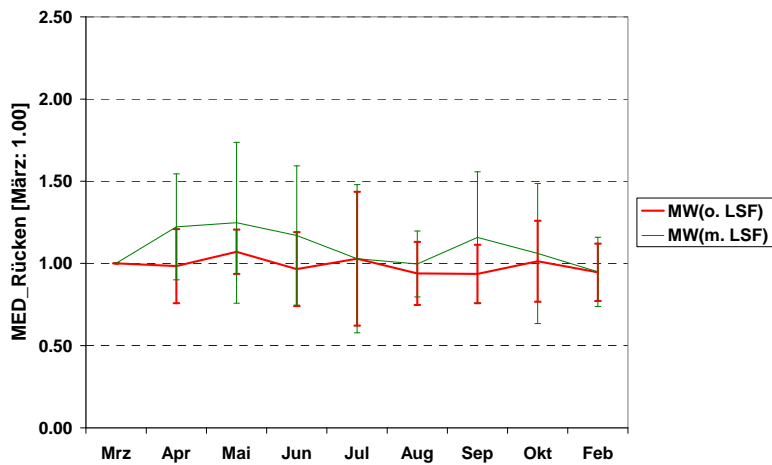
#### 7.2.1.1 MED – Ständig im Freien Beschäftigte (Studie „Gruppe 1“)

Die ständig im Freien beschäftigten Probanden applizierten an den Arbeitstagen vom 1. April bis zum letzten Untersuchungstermin im Oktober desselben Jahres auf der rechten Rückenhälfte eine Lichtschutzsubstanz mit LSF 40. Die linke Rückenhälfte blieb während der Arbeitszeit ohne Lichtschutzsubstanzbehandlung (vgl. Kap. 4.2.2). Aus den Angaben der Probanden in den Probandentagebüchern und auch aus direkten Befragungen der Probanden ging hervor, dass an den Arbeitsplätzen im Umfeld der Probanden und für die Probanden selbst das Arbeiten mit freiem Oberkörper die Ausnahme darstellt (vgl. Kap. 7.1). Damit erfolgte jeweils die MED-Bestimmung an einem Rücken mit textilem Lichtschutz während der Arbeitszeit. Der Lichtschutz durch ein Baumwoll-T-Shirt ist mit einem UPF 4 - 8 anzusetzen.

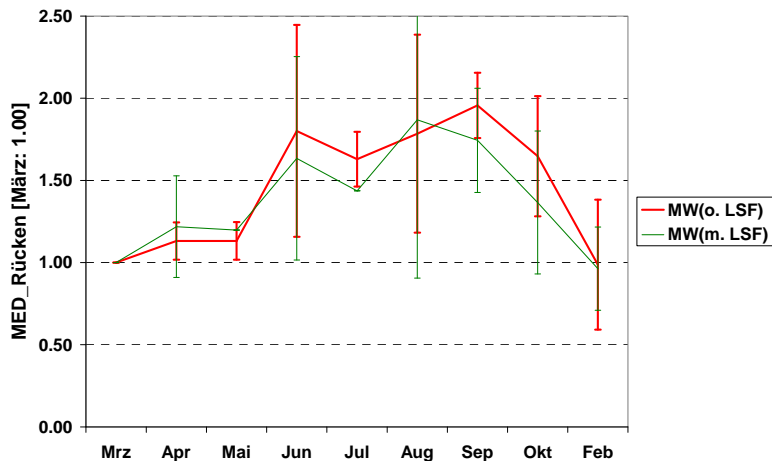
Der Gruppenmittelwert für den Jahresverlauf der minimalen Erythemdosis der linken Rückenseite ohne Lichtschutzsubstanz (o. LSF) im Vergleich zur rechten Rückenseite mit an Arbeitstagen regelmäßig applizierter Lichtschutzsubstanz (m. LSF) ist in Abb. 7.5 a dargestellt. In den Monaten März bis Mai mit Tageshöchsttemperaturen von  $\leq 20$  °C (s. Abb. 7.18 b) war erst Schritt für Schritt dünnere Kleidung am Arbeitsplatz möglich. Über diesen Zeitraum stieg die MED an und erreichte im Juni im Mittel 120 % der Ausgangs-MED vom März. Dieses Niveau blieb bis Oktober bestehen.



(a) Studie „Gruppe 1“ Mittelwert aus Hauttyp II und Hauttyp III (n = 12; PN: alle)



(b) Studie „Gruppe 1“ Hauttyp II und III gering pigmentiert (n = 9; PN: 13, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 24)



(c) Studie „Gruppe 1“ Hauttyp III stark pigmentiert (n = 3; PN: 16, 19, 22)

**Abb. 7.5 a-c** Jahresverlauf der minimalen Erythemdosis (MW  $\pm$  SD) bezogen auf März am Rücken im Freien Beschäftigter unter solarem UV-Einfluss (Gruppe 1) in Abhängigkeit von deren Hauttyp und Pigmentierungsgrad  
 - linke Rückenhälfte ohne Lichtschutzsubstanz (o. LSF)  
 - rechte Rückenhälfte mit Lichtschutzsubstanz LSF 40 (m. LSF)

Demgegenüber stieg die MED für die rechte, Lichtschutzsubstanzbehandelte Rückenseite bereits Anfang April auf 122 %. Zu diesem Zeitpunkt lagen die Tageshöchsttemperaturen bei 10 °C bis 18 °C. Die diesen Temperaturen angepasste Kleidung konnte keine solare UV-Strahlung auf den Rücken einwirken gelassen haben. Vermutlich verblieb trotz des Abduschens/Abwaschens der Lichtschutzcreme nach der täglichen Arbeit und vor der Studienuntersuchung ein gewisser Rest durch die permanente Applikation auf der Haut, beispielsweise die Titandioxid-Mikropigmente. Das würde die permanent im Bereich 25 % bis 30 % erhöhte MED zwischen April und Oktober erklären.

(Anmerkung: Am Untersuchungstag wurde die Lichtschutzsubstanz erst nach abgeschlossenen photodiagnostischen Bestrahlungen zur MED-Bestimmung aufgetragen.)

Zu erwarten wäre bei regelmäßiger Anwendung von Lichtschutz, dass die MED unverändert bleibt bzw. bezogen auf das Vorjahresniveau ggf. noch absinkt (vgl. Gruppe 2, Kap. 7.2.1.2). Das konnte nicht nachgewiesen werden. Jedoch ist der Lichtschutzeffekt – analog einem LSF 0,3 – marginal.

Eine Differenzierung der neun Hauttyp-II-Probanden und drei Hauttyp-III-Probanden nach dem Ausmaß der Hautpigmentierung im untersuchten Sommerhalbjahr ergab: Drei Probanden bauten eine deutlichere Pigmentierung auf. Einer dieser drei war im Winter vor Studienbeginn als UV-Hauttyp III, die beiden anderen als UV-Hauttyp II(-III) (dunkelblond, blaugraue Augen, mit Restpigmentierung) klassifiziert worden. Die zwei Probanden, die ebenfalls als UV-Hauttyp III (nach FITZPATRICK, 1988) klassifiziert worden waren, setzten sich im Untersuchungszeitraum wenig der Sonne aus, sodass ihre Haut nur gering pigmentierte.

(Anmerkung: Das Pigmentierungsvermögen war aber stark ausgeprägt: Proband PN 13 hatte zwar – obwohl Hauttyp III – die niedrigste MED nach 24 h [ $H_{er}(1 \text{ MED}(24 \text{ h})) = 173 \text{ J/m}^2$ ], jedoch konnte anhand der März-Testung mit sehr tiefbrauner Pigmentierung noch im Oktober nach 6 Monaten die minimale Pigmentierungsdosis MTD bestimmt werden. In Fällen sehr empfindlicher UV-Erythemreaktion von Personen der Hauttypen III oder IV nach 24 h folgt zu 48 h hin ein sehr schneller Rückgang der Erythemreaktion, wie es auch für Proband PN 13 zu verzeichnen war (s. Anh. 2, Abb. 1a)).

Betrachtet man die Probanden des Hauttyps II und die zwei gering pigmentierten Probanden des Hauttyps III der ständig im Freien Beschäftigten ( $n = 9$  von 12), so war im Sommerhalbjahr zwischen März und Oktober im Mittel keine Änderung der minimalen Erythemdosis festzustellen. Für die erhöhten Werte der rechten Rückenseite mit Lichtschutzsubstanz fanden sich die analogen Relationen, wie schon für die gesamte Studie „Gruppe 1“ oben beschrieben (Abb. 7.5 b).

Demgegenüber wies der mittlere 24h-MED-Wert der drei deutlicher pigmentierten Probanden PN 16, 19, 22 bis September einen Anstieg auf  $1,96 \pm 0,20$  bezogen auf die Ausgang-MED im März aus. Der MED-Wert der rechten Rückenseite stieg, wenn auch etwas geringer, ebenfalls an. Das heißt, die Probanden hatten offensichtlich an den Wochenenden, an denen die Lichtschutzmittelnutzung für den gesamten Rücken persönlich freigestellt war, kein Lichtschutzmittel appliziert, sich aber der Sonne ausgesetzt. So wurde vom Probanden PN 16 angegeben, dass die Freizeit am Wochenende mit Gartenarbeit und am Swimmingpool mit freiem Oberkörper verbracht wurde. Das erklärt die deutliche Pigmentierung, die visuell und messtechnisch registriert wurde. Verglichen mit den anderen Probanden äußerte sich das auch in einem deut-



lichen Anstieg der MED. Die MED stieg von  $H_{er}(1 \text{ MED}(24 \text{ h})) = 300 \text{ J/m}^2$  im März bis auf  $H_{er}(1 \text{ MED}(24 \text{ h})) = 570 \text{ J/m}^2$  im Oktober. Doch selbst unter diesen Bedingungen wurde nur ein UV-Eigenschutzfaktor von  $< 2$  verzeichnet (Abb. 7.5 c).

In allen drei, nach Hauttyp und Pigmentierungsgrad differenzierten Jahresverläufen der relativen MED war für die Monate Juli und August (Abb. 7.5 a-b) bzw. August (Abb. 7.5 c), in denen mehrheitlich der Urlaub der Probanden lag, festzustellen, dass die MED-Werte der linken Rückenseite (o. LSF) und der rechten Rückenseite (m. LSF) im Mittel gleich waren. Das deutet darauf hin, dass im Urlaub nicht täglich und im erforderlichen hohen Maße ( $2 \text{ mg/cm}^2$ ) Lichtschutzsubstanz auf dem Rücken appliziert wurde (vgl. oben rechte Rückenseite April).

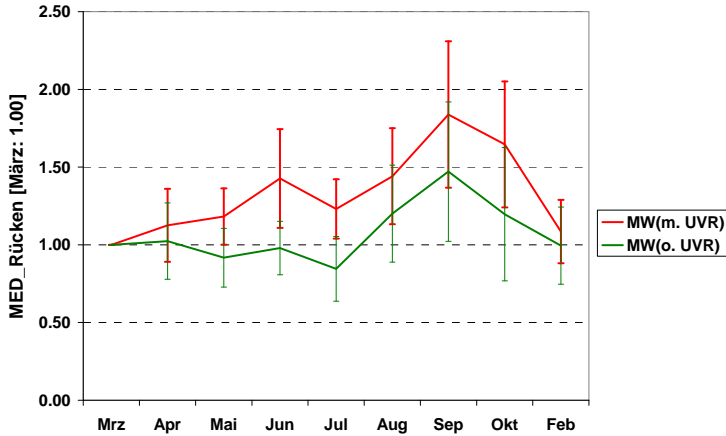
Im Verlauf des Winters, bis Februar des Folgejahres, wurde für beide Rückenseiten der Ausgangswert der MED vom März des Vorjahres wieder erreicht. Es zeigte sich kein Unterschied zwischen der über eine Sommersaison durch Lichtschutz de facto geringer exponierten Rückenhälfte verglichen mit der anderen. Es hatte sich also kein Links-/Rechtsunterschied am Rücken ausgebildet. Dies wäre zu erwarten gewesen, wenn die linke Rückenhälfte ohne Lichtschutz eine höhere Lichtschwiele ausgebildet und damit eine höhere MED im Februar ausgewiesen hätte.

Sämtliche individuellen Schwellwerte für das UV-Erythem (MED nach 24 h und nach 48 h) sowie für die bleibende Pigmentierung (MPD nach 7 d) wurden im Anhang 2 in den Abbildungen 1 a-f zusammengestellt.

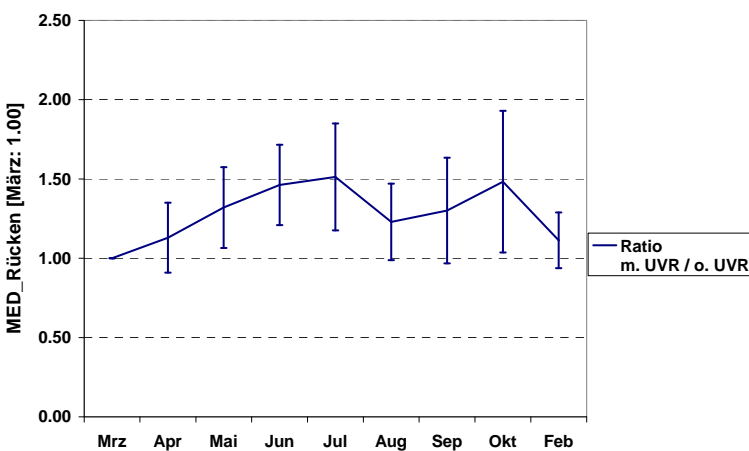
#### 7.2.1.2 MED – Innenbeschäftigte (Studie „Gruppe 2“) mit halbseitiger UV-Exposition des Rückens

Entgegen der weit verbreiteten Annahme, im Freien Beschäftigte wie Bauarbeiter im Hochbau, Garten- und Landschaftsbau oder Gärtner würden im Sommer sehr häufig mit freiem Oberkörper arbeiten, musste festgestellt werden, dass dies zur Ausnahme gehört. Einerseits wird Oberbekleidung als mechanischer Verletzungsschutz getragen, andererseits aber auch als Schutz gegen Sonnenbrand. Die Gefährdung dafür wird von diesen Berufsgruppen im gesamten Sommerhalbjahr gesehen. Durch den überlagerten textilen Lichtschutz am Rücken der untersuchten im Freien beschäftigten Arbeitnehmer (Gruppe 1) könnte der geringe gemessene Anstieg des Gesamteigenschutzes (Anstieg der MED) auf weniger als 200 % der Ausgangs-MED im März als nicht schlüssig angesehen werden. Um den Einfluss einer permanenten arbeitstäglichen solaren UV-Exposition auf das UV-Eigenschutzverhalten der Haut im Jahresverlauf nachzuweisen, wurde die lichtungewöhnte Haut der linken Rückenseite bei ständig innenbeschäftigten Probanden mit einer künstlichen, sonnenähnlichen UV-Strahlung von Anfang März bis Ende September bestrahlt. Die Dosierung wurde von mittleren UV-Personendosen für den Gesichtsbereich von Bauarbeitern abgeleitet. Die kumulativen Monatsdosen wurden in drei Fraktionen pro Monat appliziert (vgl. Kap. 4.3.3). In dieser Untersuchung waren damit textiler Lichtschutz und Lichtschutzsubstanzen definitiv ausgeschlossen.

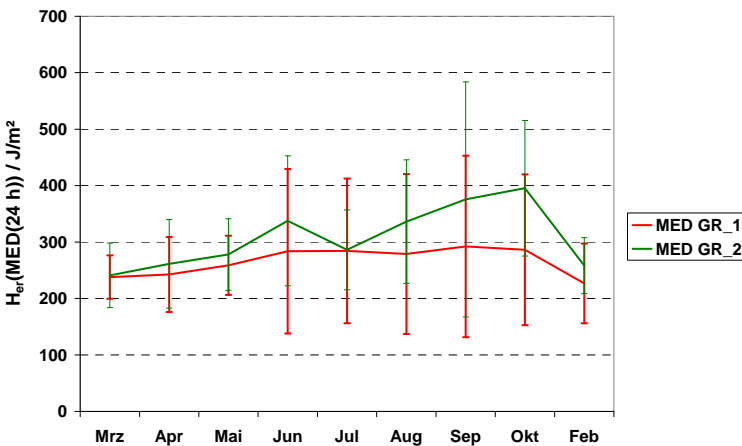
Vergleichend wurden die ansonsten nicht beruflich solar UV-exponierten Körperareale einschließlich der nicht künstlich exponierten rechten Rückenseite untersucht. Betonte Freizeitaktivitäten im Freien waren ein Ausschlusskriterium bei der Rekrutierung der Probanden für die Studie „Gruppe 2“. Urlaubsort und Urlaubsverhalten im Untersuchungsjahr waren den Probanden allerdings freigestellt (vgl. Kap. 4.2.1).



(a) Studie „Gruppe 2“: UV-Simulation Außenbeschäftigte (m. UVR) und Innenbeschäftigte (o. UVR)



(b) Studie „Gruppe 2“ Eigenschutzverhältnis mit UV-Exposition vs. ohne UV-Exposition



(c) Studie „Gruppe 1“ und Studie „Gruppe 2“

**Abb. 7.6 a-c** (a) Jahresverlauf der minimalen Erythemdosis ( $MW \pm SD$ ) bezogen auf März am Rücken von Innenbeschäftigten (Gruppe 2)  
 - rechte Rückenseite mit UV-Exposition (m. UVR)  
 gemäß mittlerer UV-Personendosis im Gesicht von Bauarbeitern  
 - linke Rückenseite von Innenbeschäftigten unter solarer Alltagsexposition  
 (b) Verhältnis Rücken-MED (Gr. 2 mit künstlicher UV-Exposition und ohne)  
 (c) Rücken-MED Außenbeschäftigter mit textilem Lichtschutz (Gr. 1) und ohne Lichtschutz (Gr. 2 mit UV-Exposition auf rechter Rückenseite)

Die Auswertung der Studie „Gruppe 2“ ergab:

Die Rückenhaut von Innenbeschäftigten (rechte, nicht künstlich UV-exponierte Seite) wies bis Juli keinen Zuwachs des UV-Eigenschutzes auf. Die MED-Werte gingen im Mittel bis Juli auf  $0,84 \pm 0,21$  gegenüber März zurück. Dieser Rückgang bis in das späte Frühjahr bzw. in den Frühsommer korrespondierte mit den Messergebnissen des Pigmentierungsgrades und auch mit den Messergebnissen von den im Freien Beschäftigten der Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe 3“ (vgl. Kap. 7.2.3, Abb. 7.15 a-c, Abb. 7.16 a-b).

Es folgte dann ein Anstieg der MED über  $1,20 \pm 0,31$  im August auf  $1,47 \pm 0,45$  im September. Zum Oktober sank die mittlere MED auf  $1,20 \pm 0,43$  und war im Februar des Folgewinters mit  $0,99 \pm 0,25$  auf dem Winterniveau des Vorjahres (Abb. 7.6 a).

Eine frühere Untersuchung für die dermatologische UV-Photodiagnostik zum Verhältnis von MED(September) zu MED(März) am Rücken von 15 hautgesunden Innenbeschäftigten zeigte mit  $1,37 \pm 0,37$  ein vergleichbares Ergebnis (KNUSCHKE et al., 2005).

Die regelmäßig künstlich UV-exponierte Rückenhaut (linke Rückenseite) wies einen ansteigenden Eigenschutz auf. Im August betrug dieser  $1,44 \pm 0,31$  der März-MED. Zum September erfolgte ein deutlicher Anstieg auf  $1,84 \pm 0,47$ . Mit  $1,65 \pm 0,41$  sank der UV-Eigenschutz im Oktober nur gering. Im Februar des Folgejahres befand sich die mittlere MED für die von Anfang März bis Ende September UV-exponierte linke Rückenseite der Innenbeschäftigten mit  $1,09 \pm 0,20$  noch etwa 10 % über dem Februarwert der rechten nicht zusätzlich UV-bestrahlten Rückenseiten und über der Ausgangs-MED des Vorjahres (Abb. 7.6 a).

Das Verhältnis der minimalen Erythemdosiswerte zwischen linker, UV-bestrahlter Rückenseite und rechter, nicht zusätzlich bestrahlter Rückenseite der Innenbeschäftigten gibt den Eigenschutzfaktor wieder, der sich in Folge einer UV-Exposition – entsprechend der mittleren UV-Personendosis für den Gesichtsbereich von Bauarbeitern – aufbaut (Abb. 7.6 b). Bis Juli stieg der Eigenschutzfaktor bezüglich des UV-Erythems auf  $1,51 \pm 0,34$ , den etwa gleichen Wert wie im Oktober mit  $1,48 \pm 0,45$ . Wie bereits gezeigt, ging der Eigenschutz der zusätzlich UV-exponierten Rückenseite nach Absetzen der UV-Exposition Ende September bis zum Februar auf  $1,11 \pm 0,18$  der MED der nicht UV-exponierten Rückenseite zurück. Dieser Rückgang wird sich dann noch bis in das späte Frühjahr fortgesetzt haben (s. o.).

Der Rückgang des MED-Verhältnisses zwischen künstlich UV-bestrahlter und nicht künstlich UV-bestrahlter Rückenseite im August und September erklärte sich aus dem Urlaubszeitraum der Probanden. Der Probandenurlaub erfolgte mehrheitlich im Juli und August, z. T. im September (vgl. Anh. 2, Abb. 2 a-f). Während außerhalb der Urlaubszeit Freizeitaktivitäten im Freien eher gering waren, sind sie im Urlaub deutlich höher. Durch solare Expositionen beider Rückenseiten im Urlaub – also auch der zuvor im Alltag gering exponierten rechten Rückenseite – erfolgte auf beiden Rückenseiten ein Eigenschutzaufbau. Der sich aufgrund des Verhaltens im Urlaub in den rund 3 Wochen aufbauende UV-Eigenschutz ist im Ausmaß vergleichbar mit dem Eigenschutz, der sich an der Haut ständig im Freien Beschäftigter in der Zeit von März bis Juli aufbaut. Im Links-Rechts-Vergleich der MED bei Studie „Gruppe 2“ sank deshalb das Verhältnis im August und September. Aber selbst eine lineare Extrapolation des Eigenschutzanstiegs, wie er von März bis Juni vorlag, ergäbe für den September das 1,9-Fache der Ausgangs-MED im März.

### 7.2.1.3 MED – nicht-exponierte Gesäßhaut

Die Gesäßregion wurde als typischerweise nicht UV-exponiertes Vergleichsareal ausgewählt. Die MED-Messungen erfolgten bei der Ausgangsuntersuchung im März, im Weiteren im Juli, Oktober und Februar des Folgewinters. Die Ergebnisse wurden für die Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe 2“ in den Abbildungen 7.7 und 7.8 in analoger Form dargestellt.

Untersucht wurde der Jahresverlauf der Gesäß-MED bezogen auf den Ausgangswert im März. Die drei Säulen in der linken Box der Abbildungen zeigen den mittleren Jahresverlauf der Gesäß-MED bezogen auf den Ausgangswert im März. In den vier weiteren Boxen ist für die vier Untersuchungsmonate (s. o.) jeweils das MED-Verhältnis von linker Rückenseite zu Gesäß sowie rechter Rückenseite zu Gesäß dargestellt.

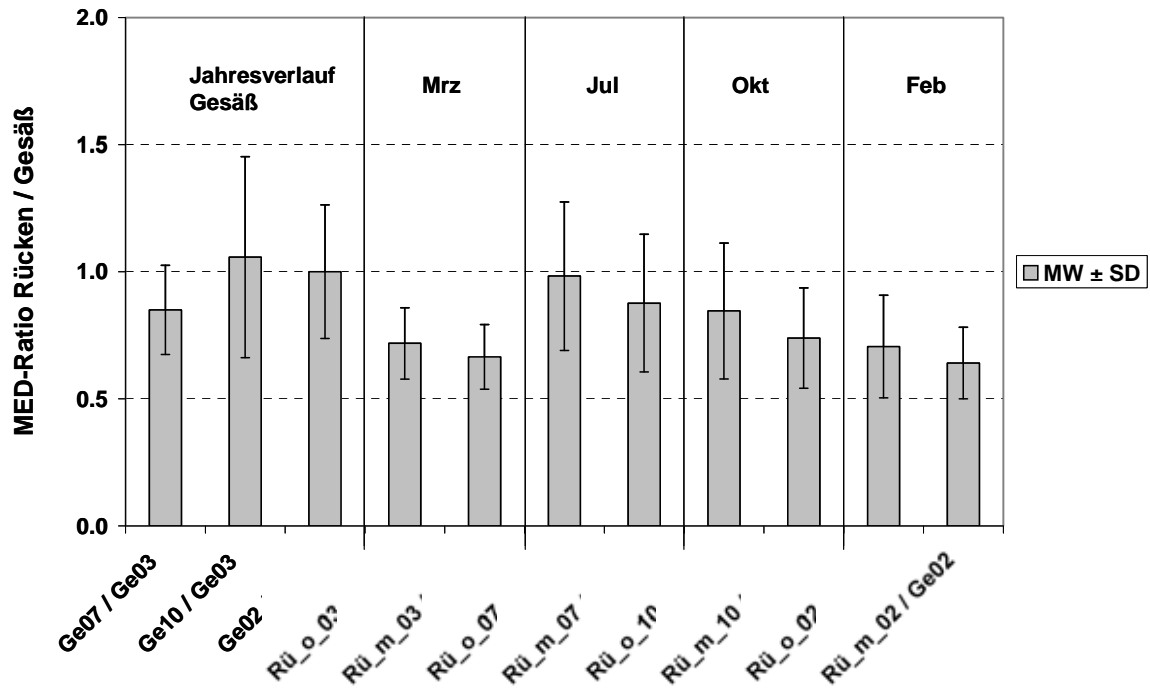
Die Ausgangswerte der minimalen Erythemdosis MED ( $H_{er}$  in  $J/m^2$ ) im März für die Rückenhaut und die Gesäßhaut sowie deren Verhältnis sind für die Probanden der Studie „Gruppe 1“ in Anh. 2, Tab. 1 und „Gruppe 2“ in Anh. 2, Tab. 2 angegeben. In Studie „Gruppe 1“ ergab sich ein Verhältnis von  $0,71 \pm 0,17$  aus der mittleren MED am Rücken mit  $H_{er} = 249 \pm 62 J/m^2$  und  $364 \pm 96 J/m^2$  am Gesäß. In Studie „Gruppe 2“ ergab sich ein Verhältnis von  $0,75 \pm 0,19$  aus der mittleren MED am Rücken mit  $H_{er} = 241 \pm 57 J/m^2$  und  $343 \pm 139 J/m^2$  am Gesäß.

Die typischerweise nicht UV-exponierte Gesäßregion war verglichen mit nicht UV-exponierter Rückenhaut im März weniger empfindlich. Zwar ist die Pigmentierung der Gesäßhaut minimal, aber die Epidermis war deutlich dicker als die der Rückenhaut (vgl. Kap. 7.2.2). Das Verhältnis lag im Februar und März sowohl für ständig im Freien Beschäftigte (Gruppe 1) als auch für Innenbeschäftigte im Bereich 0,65 bis 0,75. Die UV-Erythemempfindlichkeit des Rückens war 1,5-fach höher als die des Gesäßes.

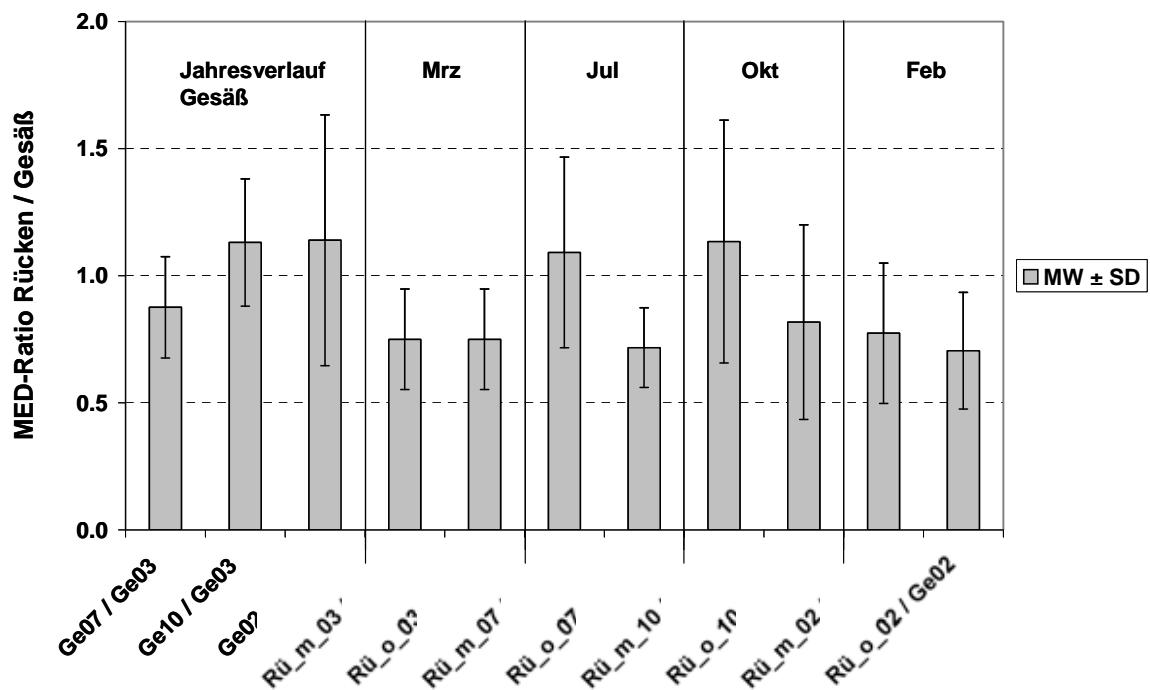
Dieses Verhältnis verschob sich im Sommerhalbjahr durch den leichten UV-Eigenschutz zuwachs am Rücken der Außenbeschäftigten. Noch deutlicher war die Änderung für die linke, regelmäßig künstlich UV-exponierte Rückenseite der Innenbeschäftigten (Gruppe 2) im Verhältnis zum Gesäß zu erkennen. Der Eigenschutzaufbau – an dieser Rückenseite im Juli und Oktober  $\approx 1,5$ -fach – kompensierte die sonst höhere UV-Empfindlichkeit des Rückens. Auch die nicht künstlich UV-exponierte rechte Rückenseite der Innenbeschäftigten zeigte im Oktober, nach der Urlaubsexposition des Rückens, einen gewissen Eigenschutzaufbau. Damit verschob sich auch hier das MED-Verhältnis von Rücken zu Gesäß zu höheren Werten, verglichen mit dem Winterzustand.

Prinzipiell fand sich ein analoger Jahresverlauf der Rücken-MED bezogen auf die des nicht-exponierten Gesäßes bei Außenbeschäftigten im Vergleich zu den Innenbeschäftigten, deren linke Rückenseite zusätzlich künstlich UV-exponiert wurde.

Für beide Gruppen war auch derselbe interessante Fakt zu vermerken, dass die Gesäßhaut im Juli um etwa 15 % empfindlicher ist als im März. Diese Beobachtung korrelierte mit einer geringfügig höheren Epidermisdicke in den Wintermessungen. Hier sind noch weitergehende Analysen vorgesehen.



**Abb. 7.7** Verhältnis von MED(Rücken ohne bzw. mit LSF) zu MED(Gesäß) in Abhängigkeit von der Jahreszeit – Mrz., Jul., Okt., Feb. (Gr. 1: Ständig im Freien Beschäftigte)



**Abb. 7.8** Verhältnis von MED(Rücken mit bzw. ohne UV-Expos.) zu MED(Gesäß) in Abhängigkeit von der Jahreszeit – Mrz., Jul., Okt., Feb. (Gr. 2: Innenbeschäftigte, linke Rückenhälfte künstlich UV-bestrahlt, analog Außenarbeiter-Gesichtsexposition)

#### 7.2.1.4 Relation von MED und MTD (Schwellwertdosis für bleibende Pigmentierung)

Die minimale Erythemdosis MED wird aus pragmatischen Gründen 24 h nach der diagnostischen UV-Exposition abgelesen. Für ein mildes UV-Erythem wird das Maximum der UV-Erythemreaktion bereits nach 6 - 10 Stunden erreicht (FARR et al., 1988).

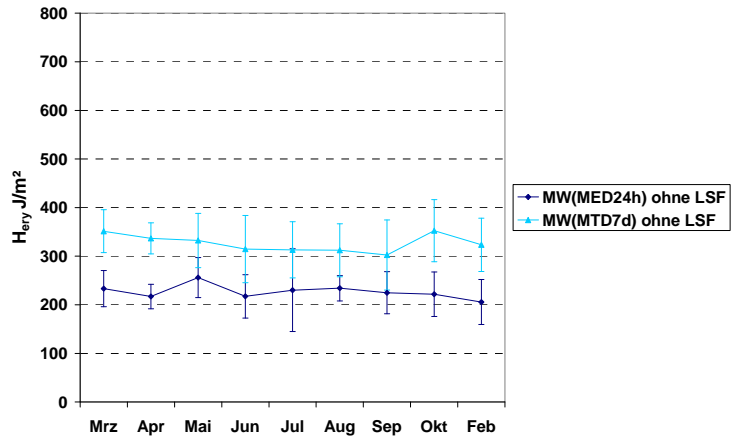
In den Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe 2“ wurde die Dosis für ein minimales UV-Erythem nach 24 Stunden (kurz: MED(24h)) und nach 48 Stunden (kurz: MED(48h)) bestimmt. Im weiteren Zeitverlauf wurde 7 Tage nach der photodiagnostischen Lichttestung die Dosis für die minimale bleibende Pigmentierung, die minimal tanning dose (kurz: MTD(7d); vgl. Kap. 4.2.1 und 4.3.2) ermittelt.

In den Abbildungen 7.9 a-d sind für Studie „Gruppe 1“ MW  $\pm$  SD der MED(24h) und der MTD(7d) im Jahresverlauf dargestellt. Der Vergleich der Werte für die linke Rückenseite ohne Lichtschutzsubstanz (Abb. 7.9 a) mit denen der rechten Rückenseite mit Lichtschutz (Abb. 7.9 b; vgl. Kap. 4.2.2) zeigte eine höhere MTD für die rechte Rückenseite. Analog zum Befund für die MED (vgl. Kap. 7.2.1.1) wird angenommen, dass oberflächlich Reste der täglich applizierten Lichtschutzsubstanz auf der Haut waren, die nicht vollständig abgeduscht/abgewaschen werden konnten. So wurde die MTD ab April erst bei einer höheren erythem-effektiven Bestrahlung  $H_{er}$  erzielt verglichen mit der linken Rückenseite ohne Lichtschutzsubstanz. Die erforderliche erythem-effektive Bestrahlung zur Erzielung einer minimalen Pigmentierung durch eine einzelne UV-Exposition betrug im Mittel sowohl ohne als auch mit Lichtschutzsubstanz das 1,5-Fache der minimalen Erythemdosis.

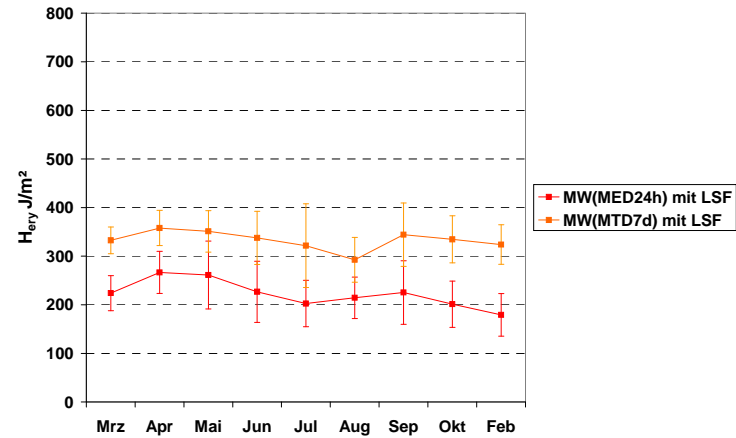
Das heißt, um durch eine einmalige solare UV-Exposition eine minimale Bräunung (gemäß 1 MTD) auf der Haut zu realisieren, wäre die Exposition, die zu einem mäßigen Sonnenbrand führt (UV-Erythem nach 1,5 MED), erforderlich.

Die analoge Auswertung des mittleren Jahresverlaufes von MED und MTD erfolgte für die Daten von den innenbeschäftigten Probanden der Studie „Gruppe 2“.

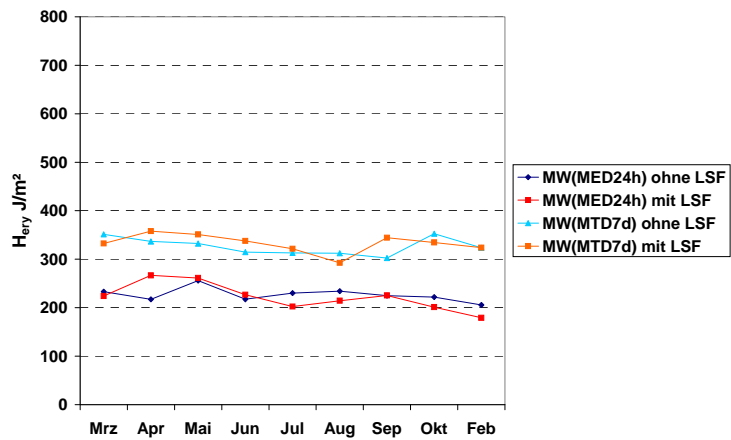
Der Jahresverlauf von MED und MTD der linken Rückenseite (Gruppe 2) war vergleichbar mit einer Bauarbeiterhaut ohne Schutz durch Textilien oder Lichtschutzmittel (Abb. 7.10 a). (Diese Rückenseite der Innenbeschäftigten wurde von Anfang März bis Ende September regelmäßig gemäß den mittleren UV-Personendosen im Gesicht von Bauarbeitern in diesem Zeitraum künstlich UV-exponiert – vgl. Kap. 4.3.3). Der Zeitverlauf von MED und MTD der rechten Rückenseite (Abb. 7.10 b) gibt die Verhältnisse für einen typischen Innenbeschäftigten mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien wieder (Die Aktivitäten im Urlaub unterscheiden sich davon deutlich.). Für die rechte Rückenseite ohne künstliche UV-Exposition ging die MED(24h) bis zum Juli für die untersuchten Innenbeschäftigten zurück. Parallel ging der Pigmentierungsgrad der Haut in diesem Zeitraum leicht zurück (s. Kap. 7.2.3, Abb. 7.16 b). Um eine Pigmentierung gemäß 1 MTD(7d) zu realisieren, stieg die erforderliche erythem-effektive Bestrahlung  $H_{er}$  beginnend ab Mai/Juni bis Oktober stetig an. Sie war im Oktober um 25 % höher als im Mai.



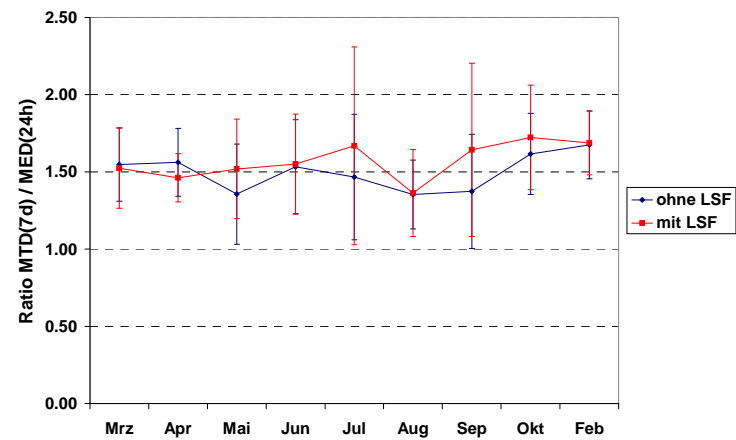
(a) Gruppe 1 Rücken ohne Lichtschutzsubstanz: MED und MTD [MW ± SD]



(b) Gruppe 1 Rücken mit Lichtschutz LSF 40: MED und MTD [MW ± SD]



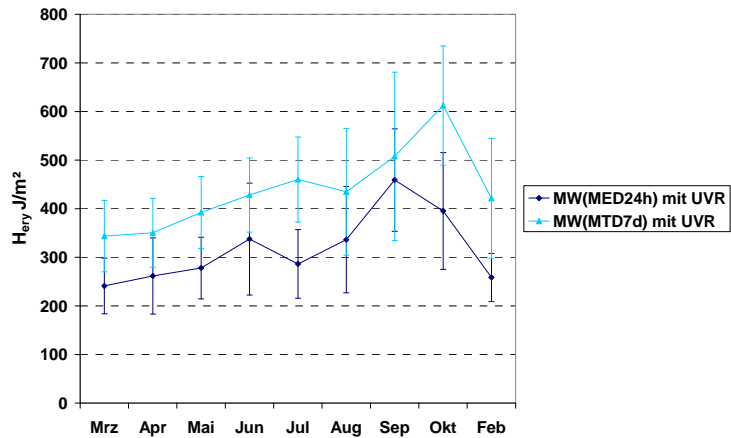
(c) Gruppe 1 MED und MTD am Rücken: ohne LSF und mit LSF 40



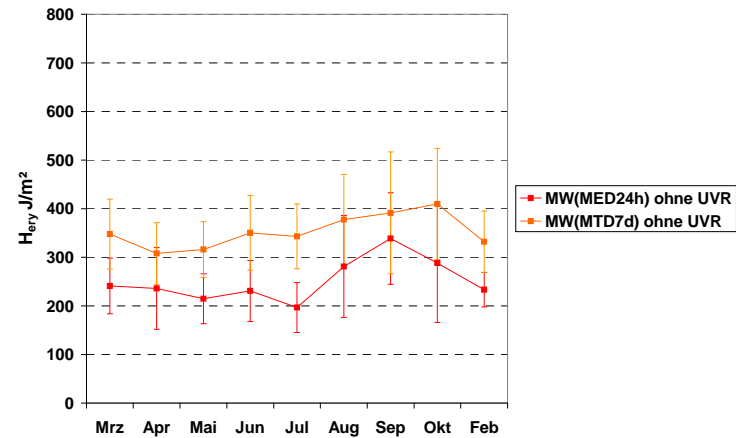
(d) Gr. 1: Verhältnis MTD / MED [MW±SD] von Rücken o. LSF und m. LSF 40

**Abb. 7.9 a-d** Minimale Erythemdosis MED(24h) und Minimal Tanning Dose MTD(7d) (für PPD persinstant pigment darkening = bleibende Pigmentierung) am Rücken im Freien Beschäftigter (Gruppe 1):

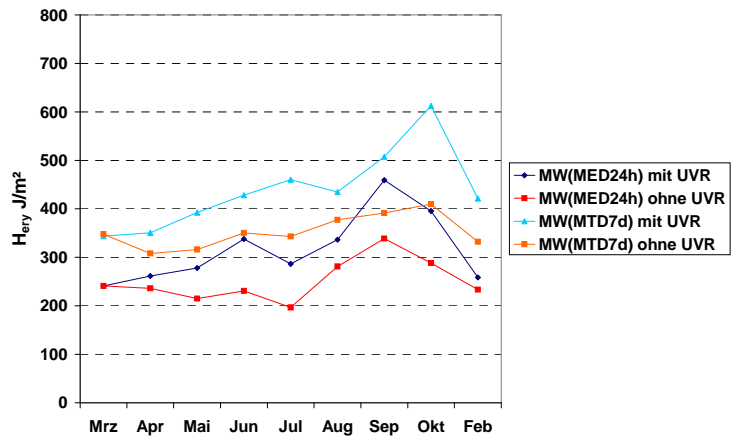
- ohne Lichtschutzsubstanz (ohne LSF); Rücken bei der Arbeit meist textil lichtgeschützt (UPF ≈ 4 bis 8)
- mit Lichtschutzsubstanz LSF 40 (mit LSF); Rücken bei der Arbeit meist textil lichtgeschützt (UPF ≈ 4 bis 8)



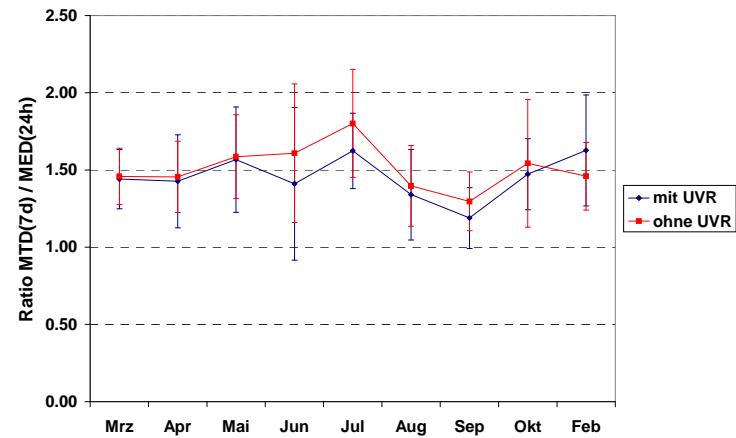
(a) Gruppe 2 Rücken mit künstl. UV-Exposition: MED und MTD [MW ± SD]



(b) Gruppe 2 Rücken von Innenbeschäftigten: MED und MTD [MW ± SD]



(c) Gruppe 2 MED und MTD am Rücken: mit UV-Exposition und ohne



(d) Gr. 2: Verhältnis MTD / MED [MW±SD] von Rücken mit UVR und ohne

**Abb. 7.10 a-d** Minimale Erythemdosis MED(24h) und Minimal Tanning Dose MTD(7d) (für PPD persinstant pigment darkening = bleibende Pigmentierung) am Rücken Innenbeschäftigter (Gruppe 2):  
 - rechte Rückenseite mit künstlicher UV-Exposition (mit UVR, entsprechend UV-Personendosis Bauarbeiter)  
 - linke Rückenseite ohne künstliche UV-Expositon (ohne UVR, Innenbeschäftigte unter solaren UV-Alltagsexpositionen)



Eine Erklärung wäre der Rückgang des im Vorsommer in der Haut gebildeten Melanins unter der stets textil UV-geschützten Haut der Innenbeschäftigten. Die UV-Testexpositionen der Photodiagnostik entsprechen 1,5 bis 2 MED(24h). Melanin, das photooxidativ durch die UV-Strahlung gedunkelt werden kann, ist nach dem Winterhalbjahr wenig in der Epidermis vorhanden. So kann nur neu photosynthetisiertes Melanin zum visuellen und messtechnischen Ergebnis beitragen, was sich in einer zu diesem Zeitpunkt höheren erforderlichen UV-Dosis niederschlägt.

Die hohen Urlaubsexpositionen der Innenbeschäftigten führen ab August bis Oktober zu einer verstärkten Melaninbildung (s. Entwicklung Hautfarbwert +b\*: Abb. 7.16 b). Damit wird die untere Epidermis in gewissem Maße vor UV-Strahlung abgeschirmt. Das schlägt sich in einer geringeren UV-Erythemempfindlichkeit mit steigender MED nieder. In den darüber liegenden Zellschichten kann bei ähnlicher effektiver Bestrahlung Melanin gebildet werden. In Folge geht das Verhältnis MTD/MED von 1,75 im Juli auf 1,25 im September zurück. Mit Rückgang der erhöhten UV-Expositionen im Hochsommer und im Urlaub stellen sich ab Oktober wieder die Relationen wie im März, ausgangs des Winters, mit MTD/MED  $\approx 1,5$  ein.

Für die Rückenhaut (Gruppe 2, linke Rückenseite), an der durch künstliche UV-Expositionen die solaren Bauarbeiterexpositionen von Anfang März bis Ende September simuliert wurden, entsprach der Jahresverlauf des Verhältnisses aus MTD(7d) und MED(24h) etwa dem Jahresverlauf bei den Außenbeschäftigten für den Rücken ohne Lichtschutz (Gruppe 1, linke Rückenseite). Von März bis Juli ergab sich ein Verhältnis MTD/MED  $\approx 1,5$ . Die zusätzlichen deutlichen solaren UV-Expositionen im Urlaub führten im August und September zu ähnlichen Veränderungen in der Reaktion auf UV-Exposition MTD/MED (Gruppe 1: Rücken links ohne LSF; Gruppe 2: Rücken links mit künstlicher UVR) wie für den Rücken der Innenbeschäftigten (Gruppe 2: Rücken rechts ohne künstliche UVR) für den Urlaubseinfluss beschrieben.

#### 7.2.1.5 Fazit zur UV-Erythemreaktion im Jahresverlauf

Die arbeitstäglichen, photobiologisch wirksamen solaren UV-Expositionen ständig im Freien Beschäftigter sind zwar 3-fach bis 10-fach höher als von Innenbeschäftigten (KNUSCHKE et al., 2007), trotzdem führen diese UV-Personenexpositionslevel nicht zur Auslösung der natürlichen UV-Eigenschutzreaktionen der Haut.

Die MED ständig im Freien Beschäftigter (Gruppe 1) erhöhte sich unter der solaren UV-Exposition am Arbeitsplatz im Mittel um einen Schutzfaktor von 1,2, maximal 2 (vgl. Kap. 7.2.1.1). Die untersuchte Rückenhaut war jedoch weitgehend textil geschützt.

Vergleichbare erythem-effektive UV-Expositionen im Jahresverlauf auf Rückenhaut ohne textilen oder medizinisch-kosmetischen Lichtschutz (Gruppe 2, linke Rückenseite) führten aber ebenfalls maximal zu einem UV-Eigenschutzfaktor 2. Das bestätigte sich auch in der Darstellung der mittleren (absoluten) MED der Studien „Gruppe 1“ (linke Rückenseite ohne LSF) und Studie „Gruppe 2“ (linke Rückenseite mit künstlicher UVR) in Abbildung 7.6 c. Selbst in individuellen Einzelfällen stieg der Eigenschutz nur unwesentlich über das 2-Fache.

Zu intensiveren Eigenschutzreaktionen führten die solaren UV-Expositionen in der Urlaubszeit (Abb. 7.5 c und Abb. 7.6 a). Ungewollt oder gewollt kommt es in der Zeit zu grenzwertigen, die Erythemschwelldosis (Sonnenbrandschwelle) gegebenenfalls sogar überschreitenden UV-Expositionen. Die etwa dreiwöchige Urlaubszeit im Sommer zog eine vergleichbar große UV-Eigenschutzreaktion nach sich (Abb. 7.6. a:

ohne UVR) wie die UV-Exposition Außenbeschäftigter von März bis Juli (Abb. 7.6. a: mit UVR).

Ein UV-Reiz an der lichtungewöhnten, nicht UV-adaptierter Haut führte zu keiner merklich intensiveren Eigenschutzreaktion an der Haut als an der Haut ständig im Freien Beschäftigter.

Für Personen der Hauttypen II-III und III, die neben einem deutlichen Pigmentierungsvermögen eine stärkere Vorbräunung mitbrachten und – vorrangig durch UV-Expositionen im Freizeitbereich – weiter ausbauten, konnte ein UV-Eigenschutzfaktor bis 2 festgestellt werden. Ansonsten bauten Außenbeschäftigte des Hauttyps III unter den arbeitstäglichen Solarexpositionen, vergleichbar zu den untersuchten Probanden des Hauttyps II, nur einen UV-Eigenschutz mit einem Schutzfaktor  $\leq 1,5$  auf (Abb. 7.5 b und Abb. 7.6 b).

## 7.2.2 Epidermisdicke im Jahresverlauf

### 7.2.2.1 Ergebnisse zur Epidermisdicke im Jahresverlauf

Für den Gesamt-UV-Eigenschutz im Jahresverlauf konnte nur ein geringer Anstieg der minimalen Erythemdosis auf  $< 200$  % des Ausgangswertes im März ( $<$  Schutzfaktor 2) festgestellt werden (vgl. Kap. 7.2.1).

Mit der Auswertung der Epidermisdicke zur Untersuchung der Lichtschwielereaktion sollte der Anteil dieser Komponente am natürlichen UV-Eigenschutz analysiert werden.

Dazu wurde die Rückenhaut in den drei Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“ mittels OCT-Verfahren (vgl. Kap. 4.1.4.1) im Jahresverlauf untersucht. In den Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe 2“ war an der Rückenhaut auch die MED-Bestimmung im Jahresverlauf erfolgt (vgl. Kap. 7.2.1).

Für die Bewertung der Ergebnisse war von einer Rückenhaut unter textilem Lichtschutz eines UPF 4 – 8 auszugehen. Das traf aber nicht auf die künstlich UV-exponierte, linke Rückenseite der Innenbeschäftigten (Gruppe 2) zu. Hier wurde die Hautsituation ständig Außenbeschäftigter simuliert, die der solaren UV-Exposition ohne textilen oder medizinisch-kosmetischen Lichtschutz ausgesetzt wären.

Weiterhin waren auch ständig solar UV-exponierte Hautregionen in die Untersuchung zur Epidermisdicke einbezogen worden. Das waren für den Kopfbereich Stirn, Wange, Hals, Nacken (in Abbildungen kurz: St\_Wa\_Hs\_Na). An den Extremitäten wurden der Handrücken sowie die (innere) Beuge- und die (äußere) Streckseite des Unterarms untersucht (Unterarm-Untersuchung nur für Gruppe 2 und Gruppe 3).

Das Messdesign in seiner räumlichen Verteilung über den Körper und seinem zeitlichen Verlauf je monatlichem Messzyklus über das Jahr ist in den Abbildungen 4.3, 4.5 und 4.7 zusammengefasst.

Für die Einschätzung möglicher Epidermisdickeänderungen im Jahresverlauf ist die Auswertegenauigkeit des OCT-Verfahrens zu berücksichtigen. Die verfahrensbedingte Unsicherheit beträgt  $\pm 10$  %. (vgl. Kap. 6.3).

Der Jahresgang der mittleren Epidermisdickewerte pro Studie („Gruppe 1“, „Gruppe 2“, „Gruppe 3“) für die untersuchten Hautareale am Körper ist in den Abbildungen 7.11 bis 7.14 dargestellt. Im Vergleich dazu sind in den Grafiken die Mittelwerte der simultan gemessenen Verläufe der Hautfarbwerte  $+b^*$  für den Pigmentierungsgrad, die Monatssummen der erythem-wirksamen solaren Globalstrahlung für Dresden (vgl. Kap. 4.1.3.3) sowie die individuellen UV-Expositionswerte abgebildet. Für letz-

tere sind im Fall der Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe 3“ die Monatssummen der Werktags(WT)-UV-Personendosis und der Wochenend(WE)-UV-Personendosis angegeben. Für Studie „Gruppe 2“ ist einerseits die Monatssumme der UV-Personendosis (aus WT + WE) und die Monatssumme der künstlichen UV-Exposition der linken Rückenseite eingefügt. Die individuellen Daten je Proband der drei Studien sind in gleicher Form in Anhang 2, Abb. 3.1 a-d bis 3.12 a-d (Gruppe 1), Anhang 2, Abb. 4.1 a-d bis 4.12 a-d (Gruppe 2), Anhang 2, Abb. 5.1 a-d bis 5.12 a-d (Gruppe 3) ersichtlich.

#### *Rückenhaut:*

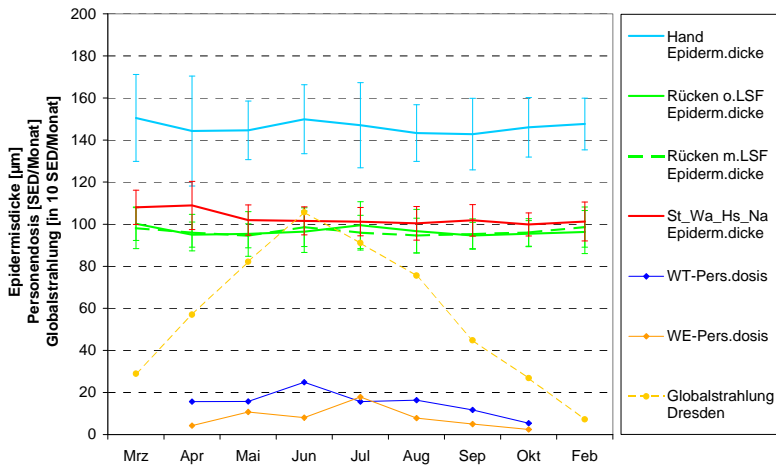
Übereinstimmend für die Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“ konnten für die Gruppenmittelwerte im gesamten Jahresverlauf keine signifikanten Änderungen der Epidermisdicke der Rückenhaut festgestellt werden. Die Änderungen bewegen sich in einem Bereich  $\pm 5\%$  (Abb. 7.11 a-c).

Für die linke und rechte Rückenseite, die je nach Studie bestimmten Untersuchungsprotokollen unterworfen waren, ergab sich im Vergleich:

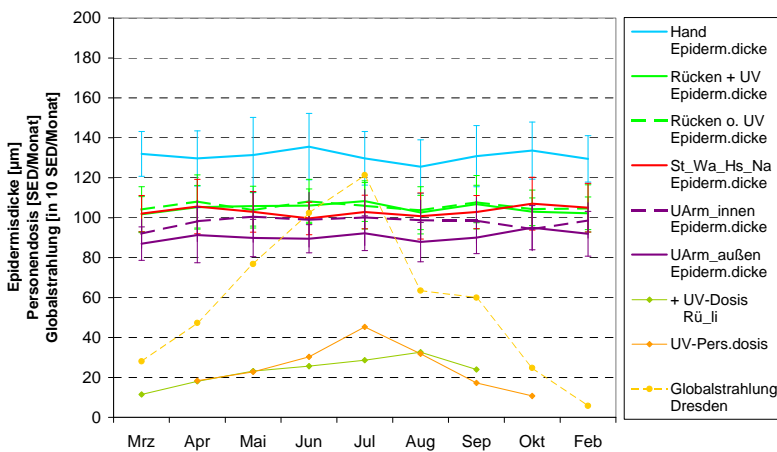
- Es waren keine Unterschiede zwischen Rückenhaut ohne und Rückenhaut mit Lichtschutzsubstanzapplikation für den Jahresverlauf der Epidermisdicke bei ständig im Freien Beschäftigten (Gruppe 1, Abb. 7.11 a) zu verzeichnen. Es muss hier aber vom mehrheitlich angewendeten textilen Lichtschutz (UPF 4 - 8) ausgegangen werden.
- Es waren keine Unterschiede in der Epidermisdicke im Jahresverlauf zwischen der Haut der unbehandelten Rückenseite von innenbeschäftigten Probanden zu verzeichnen im Vergleich zur regelmäßig künstlich UV-exponierten anderen Rückenseite (Gruppe 2, Abb. 7.11 b).
- Die Wiederholung der Untersuchung von ständig im Freien Beschäftigten (Gruppe 3) zeigte für den Jahresverlauf der Epidermisdicke von links und rechts gleichermaßen unbehandelten Rückenseiten für beide einen weitgehend deckungsgleichen Verlauf. Auch hier waren für die Epidermisdicke der Rückenhaut keine Änderungen im Jahresverlauf zu verzeichnen, die einen Bereich  $\pm 5\%$  überschritten (Abb. 7.11 c).
- Ständig der solaren UV-Exposition ausgesetzte Hautareale, wie die Hände und der Kopfbereich (MW der Epidermisdicken pro Proband aus den Hautarealen im Kopfbereich St\_Wa\_Hs\_Na) zeigten ebenfalls keine Änderung der Epidermisdicke. Es wurden also keine Lichtschwielereaktionen ausgelöst, trotz des deutlichen Anstieges der solaren Globalstrahlung und der individuellen UV-Expositionen, die registriert wurden (Abb. 7.11 a-c).
- Photobiologisch wirksame solare UV-Strahlung erreichte nachweislich die Rückenhaut trotz textilen Lichtschutzes. Während die UV-Expositionen nicht ausreichend waren, um eine Lichtschwielereaktion auszulösen, wiesen die +b\*-Farbwerte vom Rücken einen Anstieg des Pigmentierungsgrades in allen drei Studien aus (Abb. 7.12 a-c).

#### *Haut im Kopfbereich:*

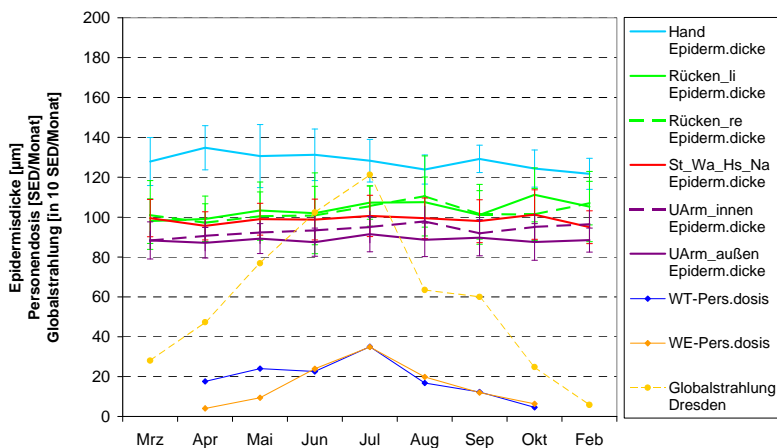
- Der Mittelwert der Epidermisdicken von Stirn, Wange, Hals und Nacken als ganzjährig solar UV-exponierte Hautareale zeigte keine saisonale Veränderung  $> \pm 5\%$  (Abb. 7.11 a-c).



(a) Gruppe 1 (im Freien Beschäftigte - Rücken links ohne und Rücken rechts mit Lichtschutzsubstanz)

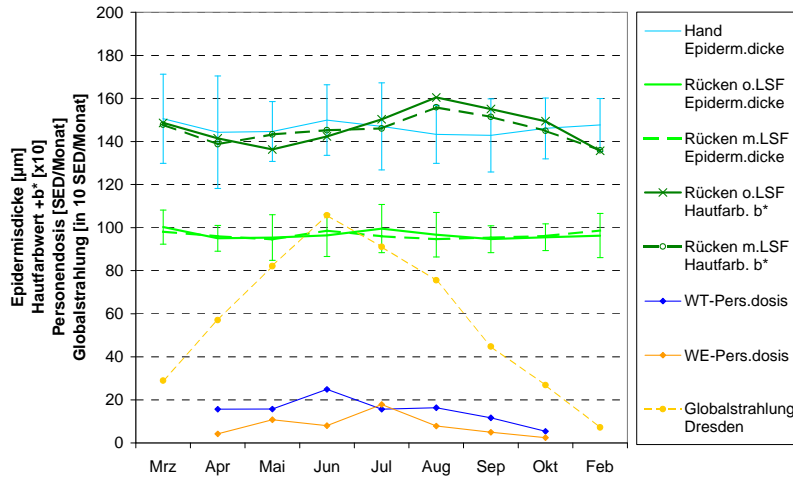


(b) Gruppe 2 (Innenbeschäftigte - Rücken links mit UV-Gesichtsdosis wie Außenbeschäftigte - Rücken rechts unbehandelt = Alltagsexposition)

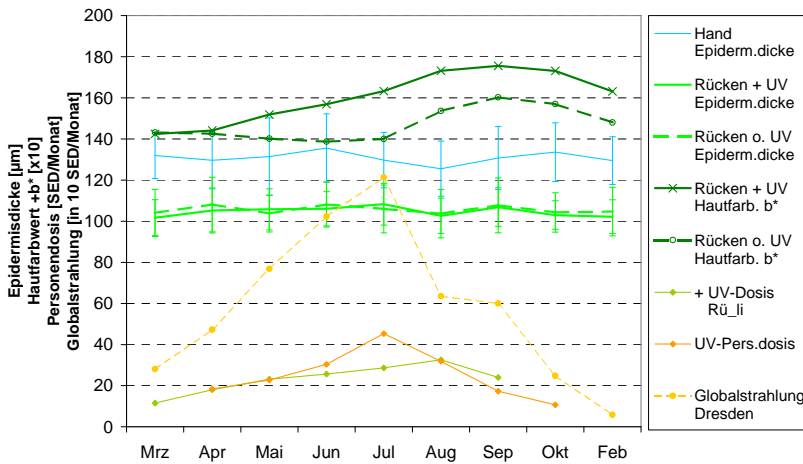


(c) Gruppe 3 (im Freien Beschäftigte - Rücken ohne Lichtschutzsubstanz)

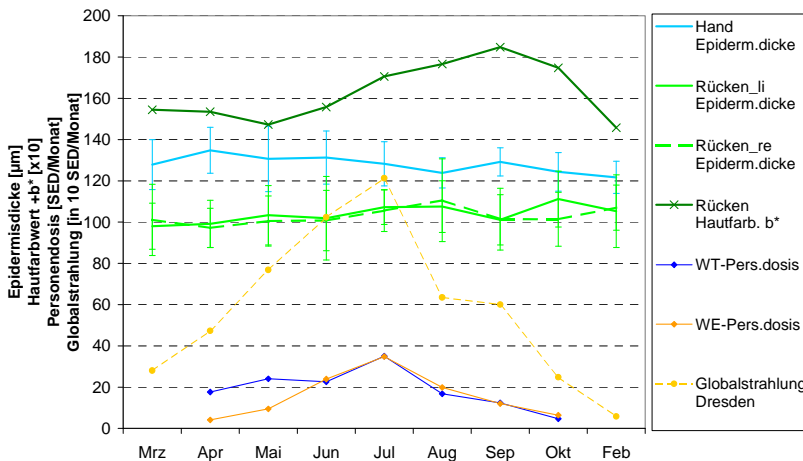
**Abb. 7.11 a-c** Jahresverlauf der Epidermisdicke ( $MW \pm SD$ ) solarexponierter Haut  
 - Rücken (meist textil bedeckt; unbehandelt bzw. verschieden behandelt)  
 - ständig der Sonnenstrahlung ausgesetzt:  
 Kopfbereich (MW der Epidermisdicke von **Stirn\_Wange\_Hals\_Nacken**),  
 Handrücken, Unterarm außen sowie Unterarm innen



(a) Gruppe 1 (im Freien Beschäftigte - Rücken links ohne und Rücken rechts mit Lichtschutzsubstanz)

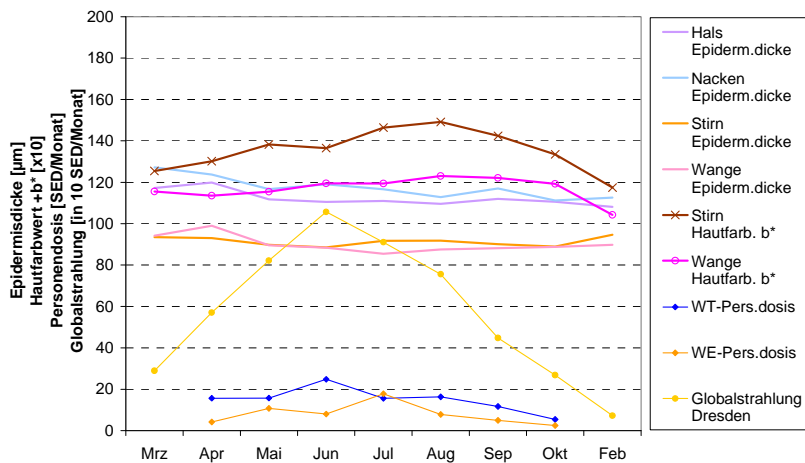


(b) Gruppe 2 (Innenbeschäftigte - Rücken links mit UV-Gesichtsdosis wie Außenbeschäftigte - Rücken rechts unbehandelt = Alltagsexposition)

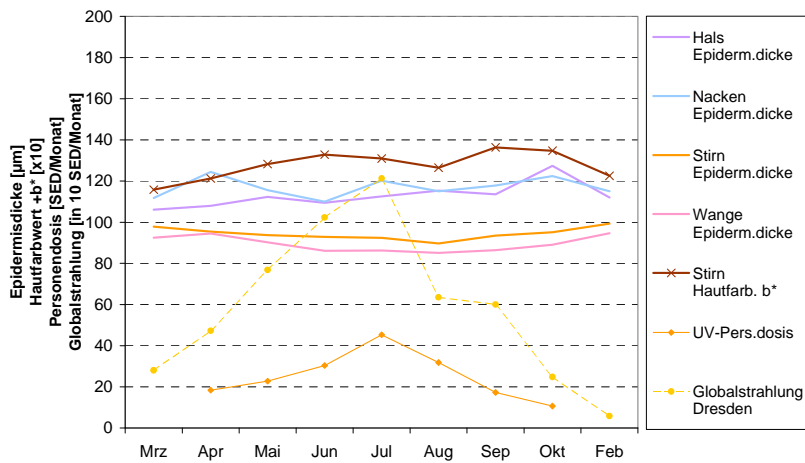


(c) Gruppe 3 (im Freien Beschäftigte - Rücken ohne Lichtschutzsubstanz)

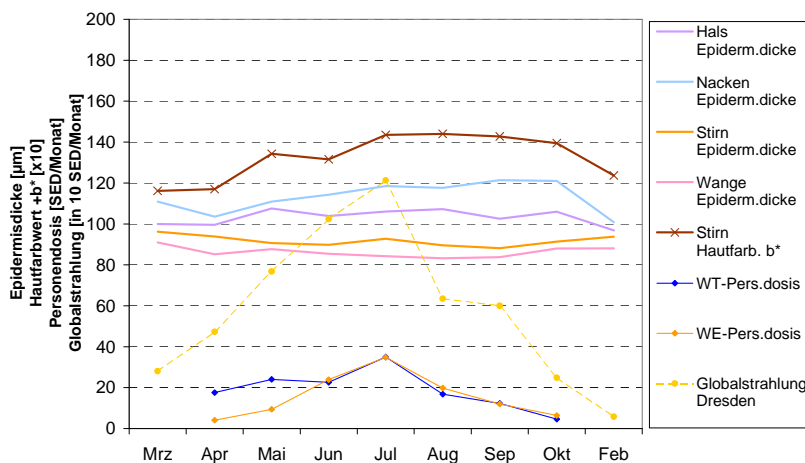
**Abb. 7.12 a-c**Jahresverlauf der Epidermisdicke ( $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) von Rückenhaut sowie der zeitgleiche Verlauf des relativen Pigmentierungsgrades bei unterschiedlichen Vorbedingungen: Studie „Gruppe 1“ bis „Gruppe 3“



(a) Gruppe 1 (im Freien Beschäftigte - Rücken links ohne und Rücken rechts mit Lichtschutzsubstanz)

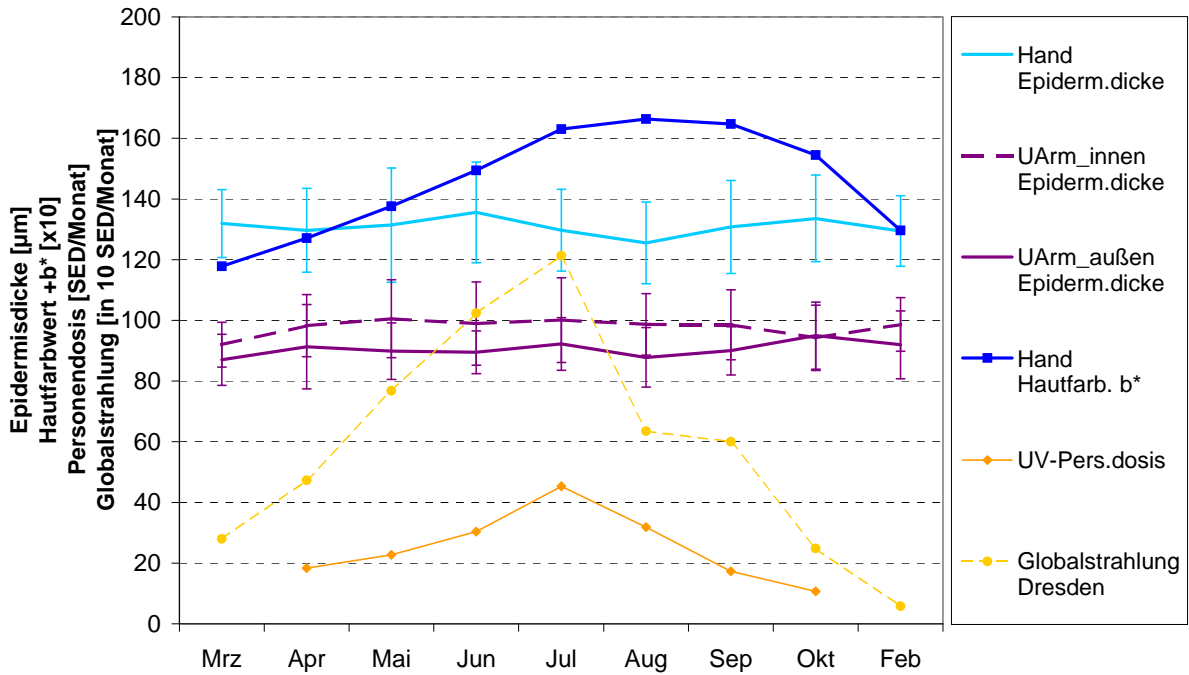


(b) Gruppe 2 (Innenbeschäftigte - Rücken links mit UV-Gesichtsdosis wie Außenbeschäftigte - Rücken rechts unbehandelt = Alltagsexposition)

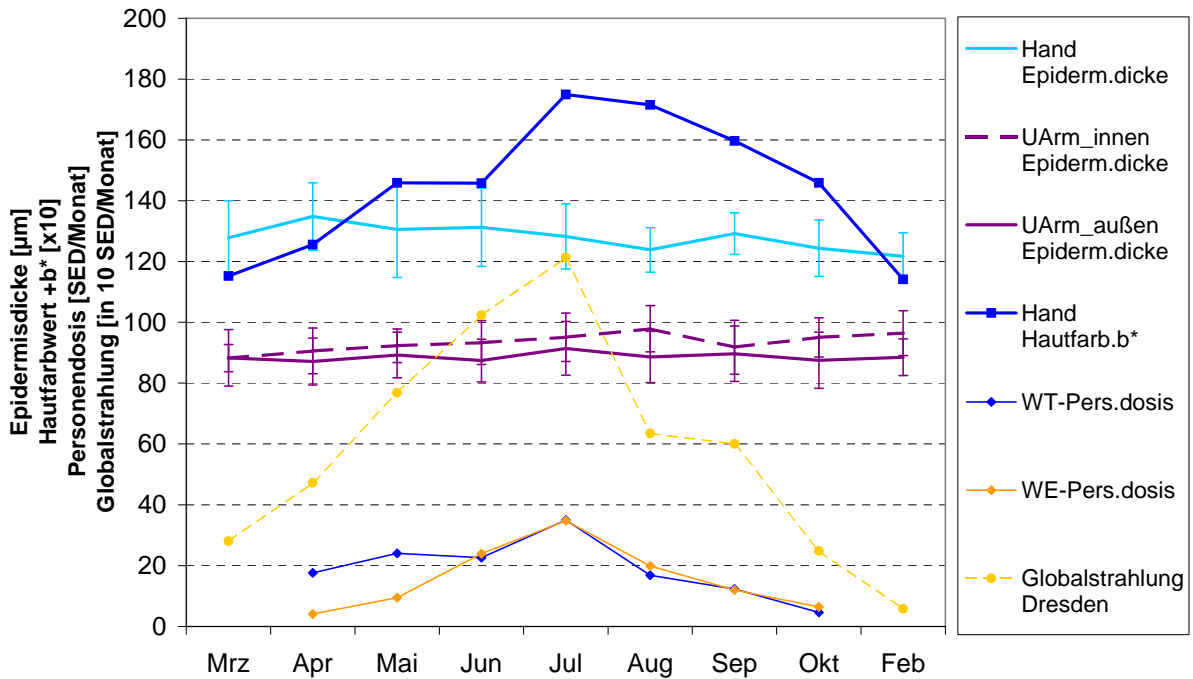


(c) Gruppe 3 (im Freien Beschäftigte - Rücken ohne Lichtschutzsubstanz)

**Abb. 7.13 a-c** Jahresverlauf der Epidermisdicke (MW  $\pm$  SD) im Kopfbereich für: Stirn, Wange, Hals, Nacken sowie der zeitgleiche Verlauf des relativen Pigmentierungsgrades der Stirn (Hautfarbwert +b\*) unter solarem UV-Einfluss



(a) Gruppe 2 (Innenbeschäftigte)



(b) Gruppe 3 (im Freien Beschäftigte)

**Abb. 7.14 a-b** Jahresverlauf der Epidermisdicke ( $MW \pm SD$ ) von Handrücken und äußerem Unterarm in Relation zum inneren Unterarm sowie relativer Pigmentierungsgrad (Hautfarbwert  $+b^*$ ) des Handrückens für die ständig bzw. häufig sonnenexponierten Hautareale

- Auch in der differenzierten Betrachtung für jedes einzelne Hautareal (Abb. 7.13 a-c) zeigten sich keine Epidermisdickeänderungen  $> \pm 10 \%$ .  
(Anmerkung: Für die mittlere Epidermisdicke am Nacken (Gruppe 3) wurde zwischen April und September ein Zuwachs von  $+ 17,5 \%$  mittels automatischer OCT-Bildauswertung bestimmt. Die Verifizierung mit dem Cursor-Auswertungsverfahren (vgl. Kap. 6.1 und Kap. 6.2) ergab eine Epidermisdickenzunahme um  $+ 3 \%$  von April zu September.)

#### *Haut von Handrücken und Unterarm:*

- Analog zum Kopfbereich zeigte auch die Haut vom Handrücken sowie innerem und äußerem Unterarm keine Epidermisdickeänderung von  $> \pm 10 \%$  im Jahresverlauf (Abb. 7.14 a-b).  
(Anmerkung: In der Studie „Gruppe 1“ war als zweites Hautareal, das ständig solar UV-exponiert war, die Wange gewählt worden. Daher liegen keine Daten für den Handrücken vor.)
- Eine wichtige Erkenntnis brachte die Bestimmung der Epidermisdicke am inneren und am äußeren Unterarm:  
Die Epidermis war generell (wider Erwarten!) an der Beugeseite, dem inneren Unterarm, dicker als an der Streckseite, dem äußeren Unterarm. Dieser Befund war unabhängig davon, ob es sich um Innenbeschäftigte oder Außenbeschäftigte handelte. Das war auch individuell durchgängig zu beobachten (Anh. 2, Abb. 4.1 c bis 4.12 c und Anh. 2, Abb. 5.1 c bis 5.12 c). Da der innere Unterarm generell erheblich geringer der solaren UV-Exposition ausgesetzt ist, scheidet eine Lichtschwiele-reaktion als Ursache aus. Wesentlich wahrscheinlicher ist eine mechanische Schwiele-reaktion der mehr oder weniger häufig durch Tischflächen und -kanten belasteten inneren Unterarme.

#### *Gesäß*

- Die Epidermisdicke der oberen Gesäßregion betrug im Mittel über die vier OCT-Messtermine März, Juli, Oktober und Februar des Folgejahres bei den Probanden der Studie „Gruppe 1“  $136 \mu\text{m} \pm 19 \mu\text{m}$  und für „Gruppe 2“  $139 \mu\text{m} \pm 22 \mu\text{m}$ . Die Epidermisdicke der Gesäßregion lag etwa im gleichen Bereich wie die Epidermisdicke des Handrückens. Jedoch war die Gesäßregion weitgehend unpigmentiert. Im Vergleich zur Stirn (mit rund  $90 \mu\text{m} - 95 \mu\text{m}$ ) war die Epidermis in der Gesäßregion etwa  $50 \%$  dicker. Gegenüber dem Rücken (mit rund  $95 \mu\text{m} - 105 \mu\text{m}$ ) war die Epidermis in der Gesäßregion etwa  $33 \%$  dicker. Die Epidermisdicke der Gesäßhaut war im Juli bzw. Oktober etwas geringer. Das wurde sowohl für die Studie „Gruppe 1“, als auch im Folgejahr für „Gruppe 2“ registriert. Über Ursachen könnte momentan nur spekuliert werden.
- Die deutlich höhere Epidermisdicke ( $\approx + 33 \%$ ) gegenüber der Rückenhaut schlug sich in der etwa  $50 \%$  höheren MED am Gesäß nieder. Der leichte Rückgang der Epidermisdicke der Haut in der Gesäßregion könnte auch den leichten Anstieg der MED im Juli erklären.

#### *Lichtschwiele – mechanische Schwiele*

Am Unterarm wurde für die im Sommer regelmäßig solar UV-exponierte Streckseite durchgängig eine niedrigere Epidermisdicke, verglichen mit den Werten der deutlich geringer UV-exponierten Beugeseite des Unterarms, gemessen. Es liegt die Vermutung nahe, dass es sich hier um eine mechanische Schwiele-reaktion der Epidermis der Unterarm-Innenseite handelt. Das regelmäßige Auflegen der Unterarme auf



Tischkanten und Tischplatten scheint den Reiz zu befördern, der zu einer Epidermisverdickung von etwa 10 µm gegenüber der Streckseite führt.

Gleichermaßen würde die mechanische Schwiele eine permanent höhere Epidermisdicke am Handrücken von ständig im Freien manuell Beschäftigten (Bauarbeiter, Gärtner, GaLaBau) erklären: Die Epidermisdicke dieser Berufsgruppen war gegenüber hautgesunden Personen (n = 70, Alter: 1...90 a; ASCHOFF et al., 2006), die nicht im Freien beschäftigt sind, um + 20 % am Rücken und um + 50 % an den Handrücken höher. Hier handelte es sich offensichtlich nicht um einen Lichtschwieleffekt, sondern um eine mechanische Schwiele, eine mechanisch bedingte Verdickung der Epidermis.

#### 7.2.2.2 Lichtschwielereaktion an der Haut im Freien Beschäftigter

Nach MIESCHER 1930 würde ein Anwachsen der Hornschichtdicke von 12 µm auf 17 µm (auf 142 %) in Folge einer Lichtschwielereaktion einen UV-Eigenschutzanstieg um 60 % und ein Anwachsen auf 50 µm Hornschichtdicke einen Eigenschutzanstieg auf das 20-Fache (oder 2000 %) bewirken. Das steht auch in Einklang mit den Untersuchungen zur prinzipiell möglichen UV-Eigenschutzhöhung um einen Faktor 40 nach täglich wiederholter UV-Exposition bis zum UV-Erythem über 20 Tage (JUNG et al., 1971) und den eigenen (orientierenden) Untersuchungen zum Ausmaß der Lichtschwielereaktion nach 3x 1,4 MED mit mehr als einer Verdoppelung von Epidermis- und Hornschichtdicke (Abb. 4.4 a-e; KNUSCHKE 2005).

Die mittels UV-Personenmonitoring bestimmten mittleren erythem-effektiven Personendosen für den Brust-, Gesichts- bzw. Handrückenbereich liegen für den Sommer (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 60^\circ$ ) im Mittel bei 1 SED pro Tag (KNUSCHKE et al., 2004 und 2007). Das entspräche für das Gesicht einer Person mit mittlerem Hauttyp II einer UV-Exposition von 0,4 MED, für den Hauttyp III von 0,3 MED. Aufgrund der Unterschiede der UV-Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der anatomischen Lokalisation erfordert 1 MED für den Handrücken die vierfache Bestrahlung  $H_{er}$  im Vergleich zu 1 MED für das Gesicht (OLSON et al., 1966). Das bedeutet für eine Person mit mittlerem Hauttyp II, dass die Handrücken durchschnittlich mit 0,1 MED pro Tag exponiert werden (Hauttyp III: 0,075 MED pro Tag). Diese UV-Expositionen liegen deutlich unter dem Schwellwert von 0,9...1,1 MED für die Auslösung einer Lichtschwielereaktion mit signifikantem Epidermisdickenanstieg (s. Kap. 7.3).

#### *Fazit:*

- UV-Expositionen im Bereich 1 MED und höher lösen nachweislich deutliche Lichtschwielereaktionen aus (Kap. 7.3).
- Typische UV-Personendosen im Alltag von 1 SED/d, denen im Freien Beschäftigte am Arbeitsplatz ausgesetzt sind, initiieren keine merkliche Lichtschwielereaktion an der Haut.
- Die Lichtschwielereaktion entfällt als UV-Eigenschutzkomponente für ständig im Freien beschäftigte Arbeitnehmer.
- Die unterschiedliche Epidermisdicke der Haut verschiedener Körperregionen spielt eine wesentliche Rolle für die Höhe der minimalen Erythemdosis.

## 7.2.3 Pigmentierungsgrad der Haut im Jahresverlauf – Hautfarbwert +b\*

### 7.2.3.1 Ergebnisse zum Pigmentierungsgrad im Jahresverlauf

Wie in Kapitel 7.2.2 für die Lichtschwiele, sollte der Anteil der Melanin-Pigmentierung am UV-Gesamteigenschutz analysiert werden. Die minimale Erythemdosis wies, bezogen auf den Ausgangswert im März, nur einen Anstieg auf  $< 200\%$  ( $<$  Schutzfaktor 2; vgl. Kap. 7.2.1) aus. Das wurde an der Rückenhaut der Probanden der Studie „Gruppe 1“ ermittelt. Jedoch war für die untersuchte Rückenhaut der ständig im Freien beschäftigten Probanden von einem textilen Lichtschutz (etwa UPF 4 – 8) auszugehen. Der geringe UV-Eigenschutz zuwachs traf aber auch für die künstlich UV-exponierte linke Rückenseite ohne textilen Lichtschutz zu (Gruppe 2).

An dieser zuvor lichtungewöhnten, nicht UV-adaptierten Rückenhaut von Innenbeschäftigten wurden durch regelmäßige künstliche UV-Expositionen die Bedingungen der solaren UV-Gesichtsexposition von Außenbeschäftigten im Jahresverlauf simuliert. Die rechte Rückenseite entsprach der eines Innenbeschäftigten mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien (Gruppe 2). In einer zusätzlichen Studie (Gruppe 3) wurden weitere ständig im Freien Beschäftigte untersucht, um die Messwerte zu den UV-Eigenschutzkomponenten aus den o. g. Studien zu verifizieren.

Das Messdesign in seiner räumlichen Verteilung über den Körper und der zeitliche Verlauf je monatlichem Messzyklus im Jahresverlauf sind in den Abbildungen 4.3, 4.5 und 4.7 zusammengefasst.

Zur Analyse des Pigmentierungsgrades als Komponente im UV-Eigenschutz erfolgte die Auswertung der Hautfarbmessungen im  $L^*a^*b^*$ -System (vgl. Kap. 4.1.4.2). Der Hautwert +b\* (Gelbkomponente) ist eine Messgröße, mit welcher der Pigmentierungsgrad der Haut wiedergegeben werden kann.

Der Jahresgang des mittleren Pigmentierungsgrades (Hautfarbwert +b\*) für die untersuchten Hautareale am Körper ist pro Studie (Gruppe 1, Gruppe 2, Gruppe 3) in den Abbildungen 7.15 bis 7.17 dargestellt.

Der Hautfarbwert +L\* (Farbhelligkeit) ist ebenfalls ein Maß für den Pigmentierungsgrad, verhält sich aber umgekehrt proportional. Der Rot-Farbwert +a\* gibt Auskunft über die Hautrötung. Im Jahresgang kann analysiert werden, inwieweit eventuell eine regelmäßige grenzwertige UV-Exposition vorlag. Die Übersicht zu den +L\*- und +a\*-Analysen ist in Anh. 2, Abb. 6 und 7 zusammengestellt.

#### *Rücken*

- *der Sonnenstrahlung ausgesetzt mit textilem Schutz (Gruppe 1 und Gruppe 3) bzw.*
- *definiert UV-exponiert – ohne Lichtschutz (Gruppe 2: Rücken links)*

Für die im Freien Beschäftigten (Gruppe 1, Gruppe 3) ging der Grad der Pigmentierung noch bis Mai zurück. Das korrespondierte mit den Ergebnissen der UV-Empfindlichkeit am unbestrahlten Rücken der Probanden von Studie „Gruppe 2“ (vgl. Kap. 7.2.1.2). Der Pigmentierungsgrad des ab Anfang März definiert UV-exponierten Rückens (Gruppe 2, Rücken links) nahm stetig zu. Aufgrund der Außentemperaturen von März bis Mai war bei den Arbeiten im Freien noch dicke Kleidung notwendig, sodass kaum solare UV-Strahlung den Rücken erreichte (vgl. Abb. 7.18 und Abb. 7.19 für die meteorologischen Daten 2005 und 2006). Ab Juni war dann ein Anstieg des Pigmentierungsgrades bis August/September zu verzeichnen. Bis zum Februar des Folgejahres ging der Pigmentierungsgrad am Rücken der Außenbeschäftigten (Gruppe 1 und Gruppe 3) wieder auf den Ausgangswert vom vorjährigen März zurück.

Ab Oktober, nach Absetzen der künstlichen UV-Exposition für die linke Rückenseite der Probanden der Studie „Gruppe 2“, ging der Pigmentierungsgrad wieder zurück. Die Pigmentierung an der vor der Bestrahlung nicht UV-adaptierten Rückenhaut der Innenbeschäftigten blieb zu einem Teil über den Winter bestehen. Der Hautfarbwert +b\* lag für jeden Probanden mehr oder minder deutlich über dem Vergleichswert des Vorjahreswinters.

### *Rücken*

- mit Lichtschutzpräparat der Sonnenstrahlung ausgesetzt (Gruppe 1) bzw.
- Innenbeschäftigter, unbestrahlte Kontrolle (Gruppe 2: Rücken rechts)

Der Verlauf des Pigmentierungsgrades der mit Lichtschutzpräparat versehenen Rückenhälfte wich nur unbedeutend von der unbehandelten Seite ab (Gruppe 1). Für die linke unbestrahlte Rückenseite, in gleicher Weise aber auch für Studie „Gruppe 3“ und für „Gruppe 2“/unbestrahlte Kontrolle ging der Pigmentierungsgrad bis Mai bzw. gar bis Juli zurück. Demgegenüber, für die rechte Rückenseite mit Lichtschutzsubstanzzaplikation an den Werktagen, blieb der Pigmentierungsgrad weitgehend unverändert. Da der Pigmentierungsgrad der rechten Rückenseite analog bis Mai zurückgehen sollte, ist zu vermuten, dass es sich hier um eine Beeinflussung des Farbwertes +b\* durch eventuelle Rückstände von der Lichtschutzsubstanz handeln könnte. Eine Beeinflussung durch derartige Rückstände wurde auch schon für die MED-Messwerte dieser rechten Rückenseite in diesem Zeitraum vermutet (vgl. Kap. 7.2.1.1). Durch den an den Arbeitstagen permanenten UV-Schutz erreichte der Pigmentierungsgrad im August trotz der Urlaubsexpositionen ein etwas niedrigeres Niveau für den Farbwert +b\* verglichen mit der linken, nicht lichtschutzbehandelten Rückenseite (Abb. 7.16 a).

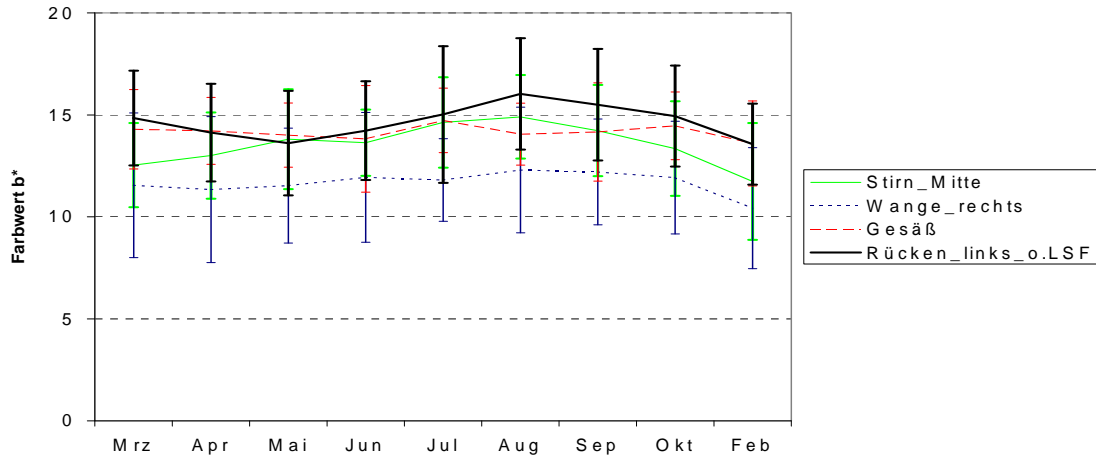
Die unbestrahlte rechte Rückenhälfte der Innenbeschäftigten (Gruppe 2) zeigte, wie oben erwähnt, bis Juli einen Rückgang des Pigmentierungsgrades. Die Rückenhaut der Innenbeschäftigten mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien war bis zum Sommerurlaub fast ausnahmslos textil lichtgeschützt. Nach Rückkehr der Probanden aus dem Urlaub (vorrangige Urlaubszeit: Juli/August) war ein deutlicher Anstieg des Pigmentierungsgrades dieser Rückenseite zu verzeichnen. Auch die regelmäßig bestrahlte linke Rückenseite zeigte zu dem kontinuierlichen Anstieg des Pigmentierungsgrades durch die künstliche UV-Exposition eine zusätzliche Erhöhung nach dem Urlaub (Abb. 7.16 b). Dieser deutliche Anstieg der Melanin-Pigmentierung in Folge der solaren Urlaubsexpositionen schlug sich im MED-Anstieg in diesem Zeitraum nieder (vgl. Abb. 7.3, Abb. 7.4). Der erhöhte Pigmentierungsgrad der unbestrahlten Kontrollseite des Rückens der Innenbeschäftigten ging bis zum Februar nahezu auf den Ausgangswert vom März zurück.

### *Gesäß*

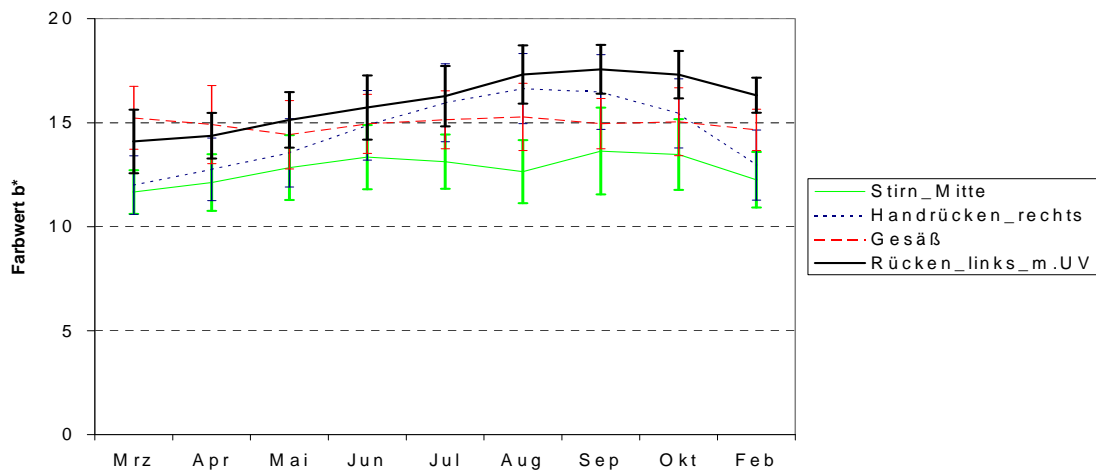
Analog zur bis Juli unbestrahlten, mit Kleidung geschützten Rückenhälfte (Gruppe 2) zeigte sich für das unbestrahlte Gesäß (Gruppe 1 und Gruppe 2) ein weitgehend unveränderter Verlauf bezüglich der Pigmentierung (Abb. 7.15 a und b).

### *Handrücken*

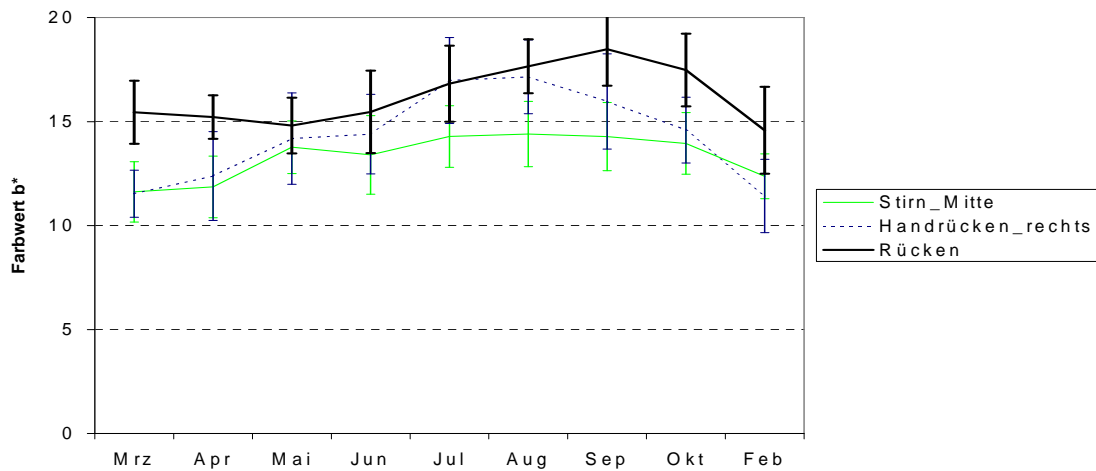
Der Handrücken als ständig sonnenexponiertes Hautareal zeigte nicht nur bei den im Freien Beschäftigten (Gruppe 3) bis in den August einen deutlichen Anstieg des Pigmentierungsgrades. In vergleichbar starkem Maße stieg der Pigmentierungsgrad des Handrückens auch bei den Innenbeschäftigten (Abb. 7.15 b und c).



(a) Gruppe 1 (im Freien Beschäftigte - Rücken links ohne Lichtschutzsubstanz)



(b) Gruppe 2 (Innenbeschäftigte – Rücken links mit UV-Gesichtsdosis wie Außenbeschäftigte)

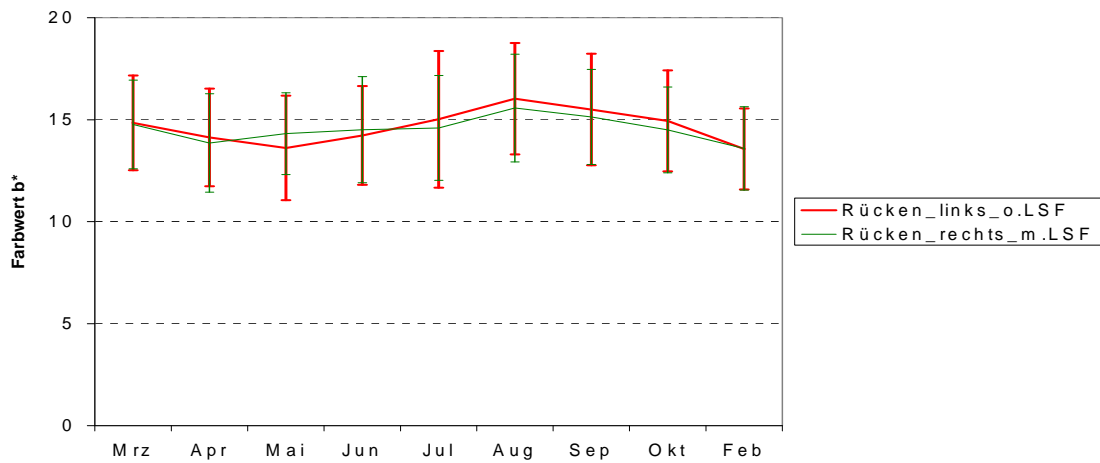


(c) Gruppe 3 (im Freien Beschäftigte - Rücken ohne Lichtschutzsubstanz)

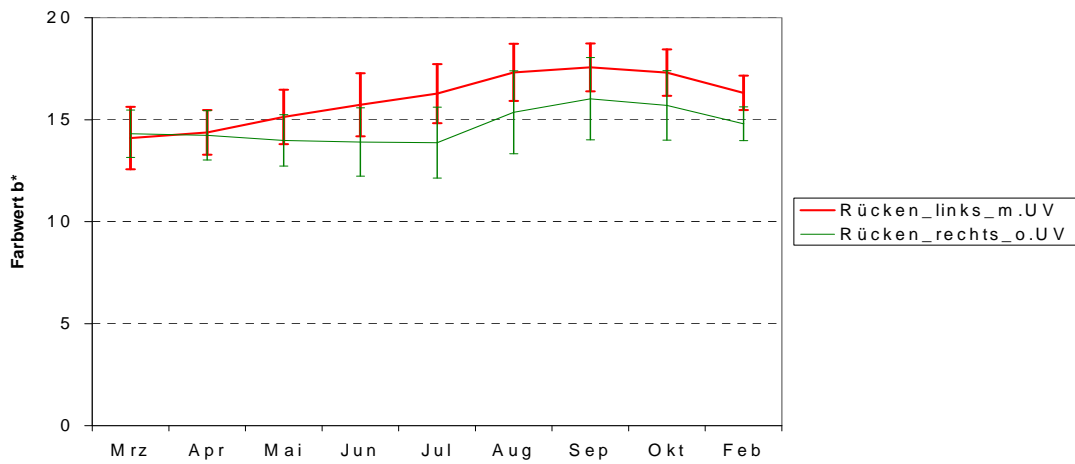
**Abb. 7.15 a-c**Jahresverlauf des Pigmentierungsgrades der Haut

Farbwert +b\*:

- linke Rückenseite (Gruppe 1, 3): solare UV-Alltagsexposition
- linke Rückenseite (Gruppe 2): definierte UV-Exposition  
(entsprechend solarer UV-Gesichtsexposition Beschäftigter im Freien)



(a) Gruppe 1 im Freien Beschäftigte – Rücken links ohne LSF mit textilem UPF  $\approx$  4-8  
 – Rücken rechts mit LSF 40 mit textilem UPF  $\approx$  4-8



(b) Gruppe 2 Innenbeschäftigte – Rücken links mit definierter UV-Exposition März bis September wie Außenbeschäftigte ohne textilen bzw. Schutz durch LSF  
 – Rücken links typischer Innenbeschäftigter

**Abb. 7.16 a-b** Jahresverlauf des Pigmentierungsgrades der Haut (Farbwert +b\*)

(a) Studie „Gruppe 1“

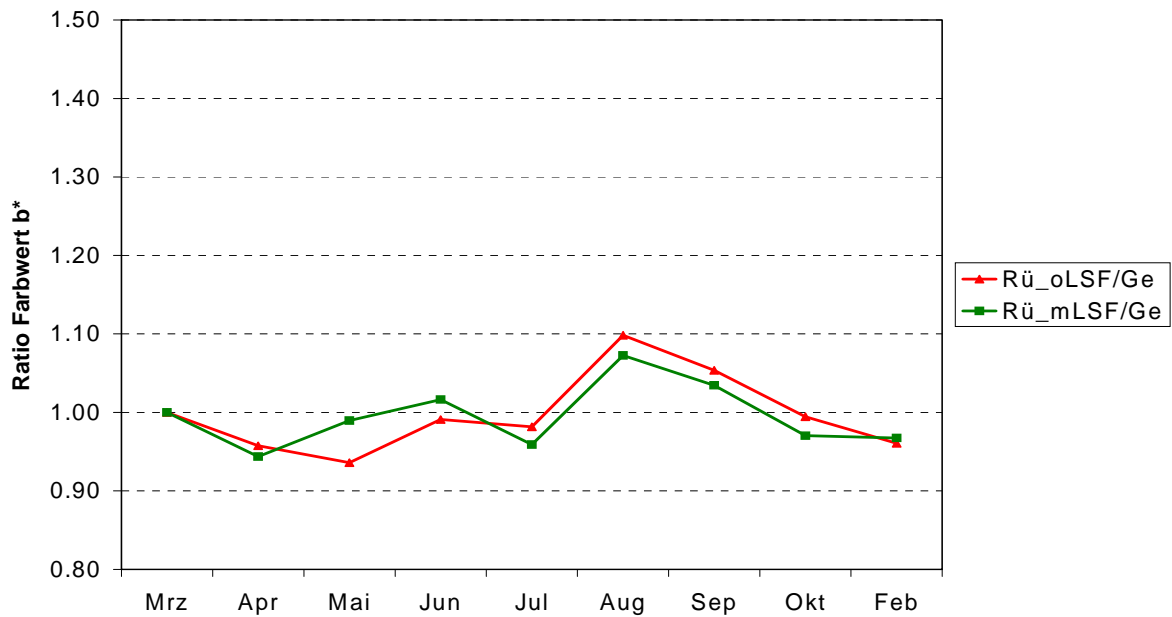
(b) Studie „Gruppe 2“

*Stirn*

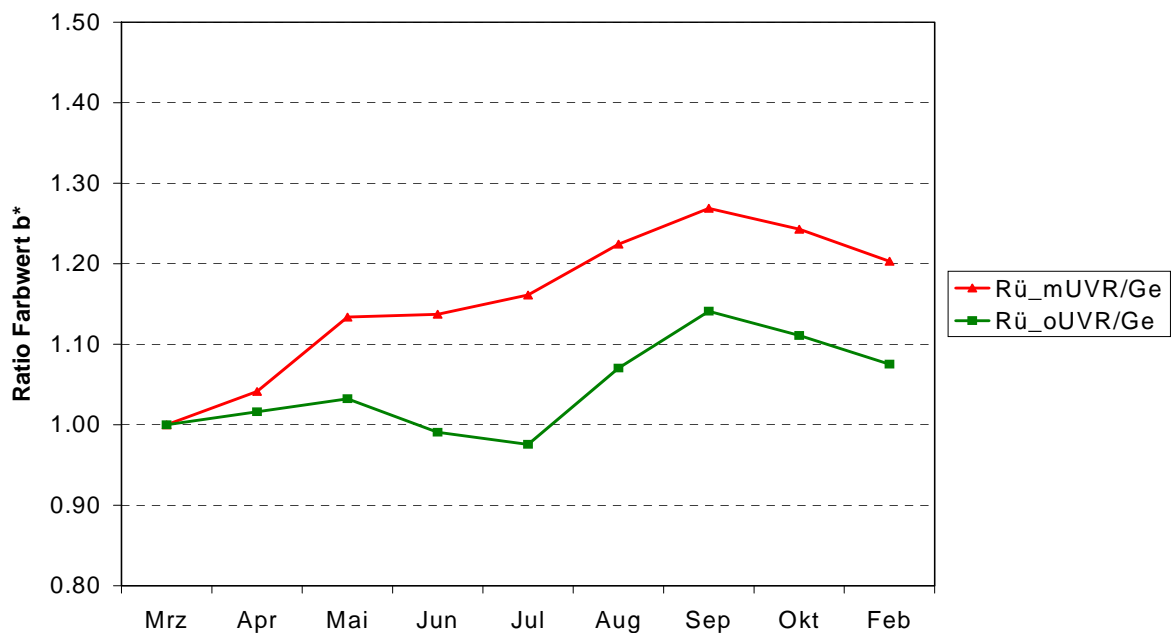
Obwohl ständig der solaren UV-Strahlung ausgesetzt, wies die Stirn der Probanden der Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“ nur einen moderaten Anstieg des Pigmentierungsgrades aus, im Vergleich zur starken Zunahmen am Handrücken (Abb. 7.15 a-c).

### 7.2.3.2 Fazit aus den Untersuchungen zum Pigmentierungsgrad

- Der Pigmentierungsgrad der außerhalb der Urlaubszeit weitgehend lichtgeschützten Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2, Rücken rechts) im Vergleich zur nie solar UV-exponierten Gesäßhaut wies für die rund 3 Wochen Urlaub einen sehr hohen Zuwachs aus. Die etwa drei Wochen Sommerurlaub mit verändertem Verhalten im Freien bewirkten eine Zunahme im Pigmentierungsgrad, wie sie durch den ständigen beruflichen Aufenthalt im Freien von März bis Juli (Gruppe 2, UV-exponierter Rücken links) bewirkt würde (Abb. 7.17 b).
- Der in gewissem Umfang textil geschützte Oberkörper (Rücken) von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1) wurde bis Juli vergleichsweise so gering UV-exponiert, dass die wesentlichen Anteile einer Zunahme des Pigmentierungsgrades auf die Urlaubszeit zurückzuführen sind (Abb. 7.17 a).
- UV-Personendosen an Stirn und Handrücken sind im Sommerhalbjahr nahezu gleich (Körperverteilungsmessungen KNUSCHKE et al., 2004, 2007). Da die Erythemempfindlichkeit der Stirn gegenüber der vom Handrücken etwa viermal höher ist (OLSON et al., 1966), müsste damit die Stirn viermal effektiver pigmentieren (vgl. Kap. 7.2.1.4). (Anmerkung: Das Aktionsspektrum für die verzögerte, persistierende Pigmentierung ist ähnlich dem des UV-Erythems.) Es war aber eine deutlich schwächere Zunahme der Pigmentierung des Stirnbereiches im Sommerhalbjahr für die Probanden aller drei Studien zu verzeichnen.  
Das lässt die Vermutung zu, dass der betriebene Lichtschutz, der häufig angegeben wird, vor allem das Gesicht betrifft, kaum Hände und Arme.



(a) Gruppe 1 (Außenbeschäftigte)



(b) Gruppe 2 (Innenbeschäftigte)

**Abb. 7.17 a-b** Jahresverlauf des relativen Pigmentierungsgrades/Hautfarbwert +b\* von Rückenhaut bezogen auf nicht UV-exponierte Gesäßhaut

(a) Außenbeschäftigte (Gruppe 1)

- linke Rückenseite ohne Lichtschutzsubstanz (o. LSF)

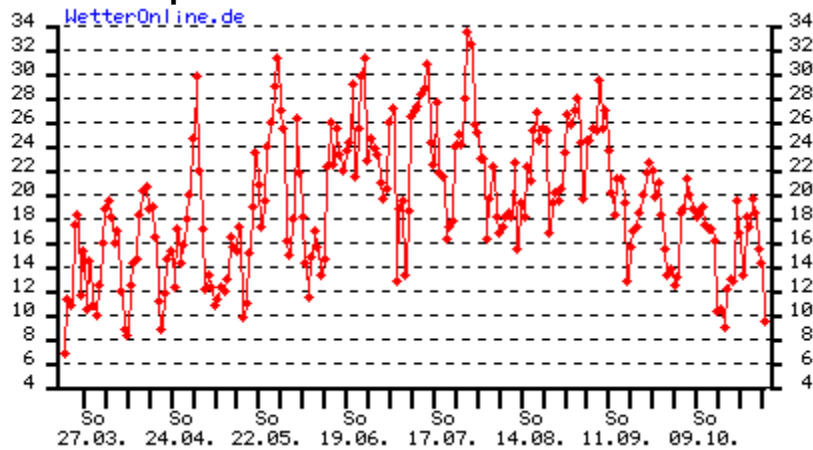
- rechte Rückenseite mit Lichtschutzsubstanz (m. LSF)

(b) Innenbeschäftigte

- linke Rückenseite mit UV-Exposition (m. UVR) gemäß mittlerer UV-Personendosis im Gesicht von Bauarbeitern

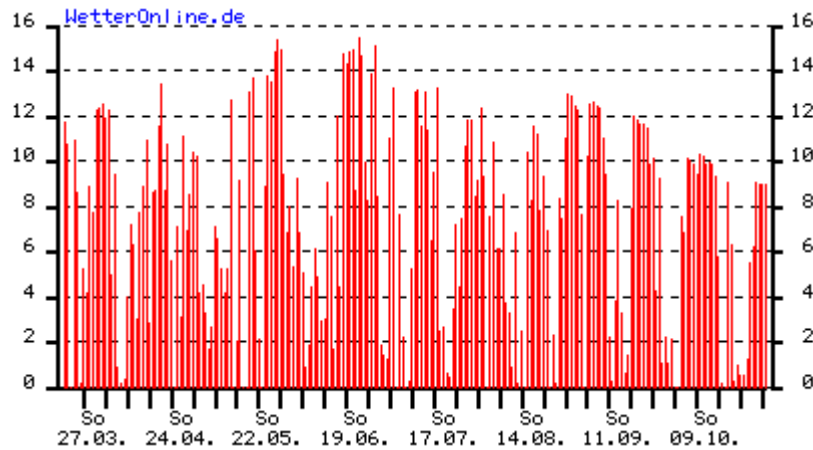
- rechte Rückenseite gemäß Innenbeschäftigten unter solarer UV-Alltagsexposition

### Höchsttemperatur °C 21.03.2005 - 31.10.2005



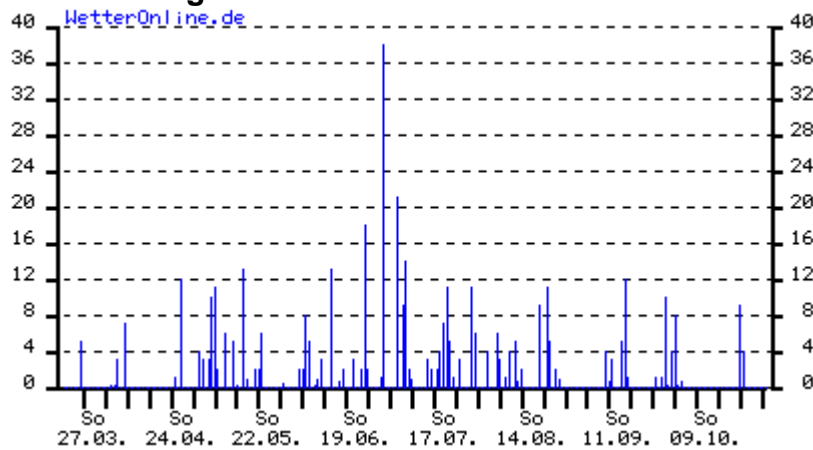
(a) Höchsttemperatur

### Sonnenstunden 21.03.2005 - 31.10.2005



(b) Sonnenscheindauer

### Niederschlag mm 21.03.2005 - 31.10.2005



(c) Niederschlag

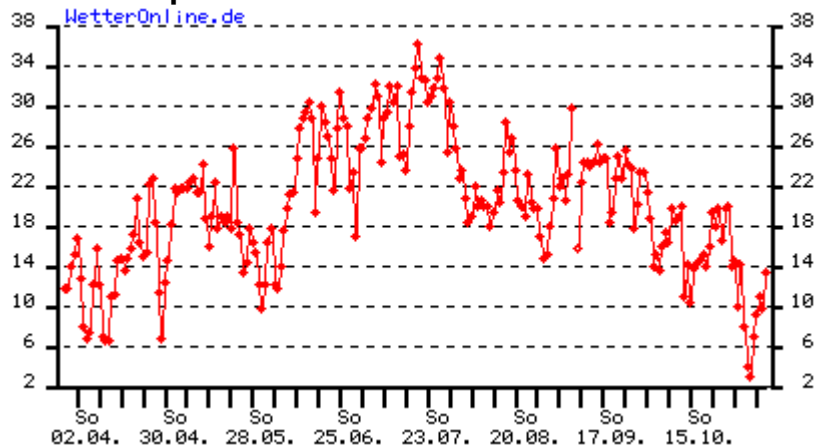
Quelle: <http://www.wetteronline.de/Sachsen/Dresden.htm>

**Abb. 7.18 a-c** Meteorologische Bedingungen zu Studie „Gruppe 1“

- Dresden-Klotzsche
- Messperiode 14. KW bis 43. KW 2005

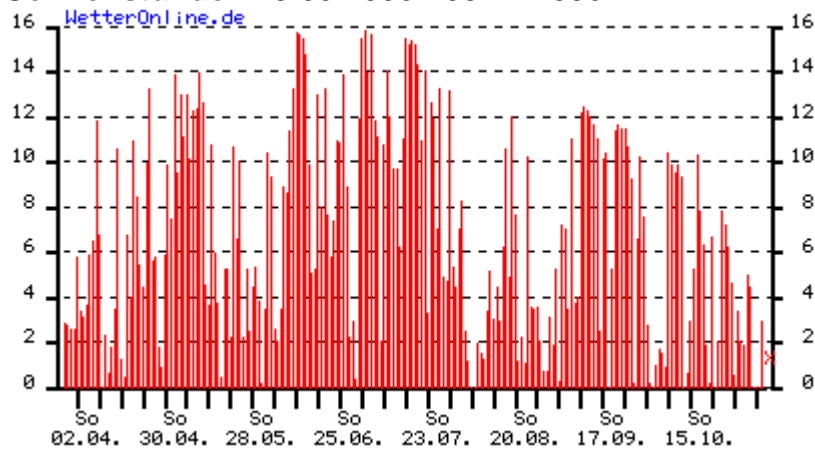


### Höchsttemperatur °C 29.03.2006 - 08.11.2006



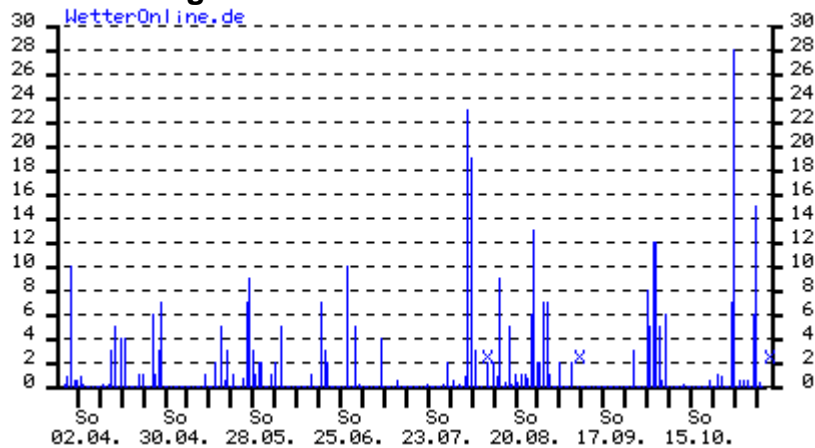
(a) Höchsttemperatur

### Sonnenstunden 29.03.2006 - 08.11.2006



(b) Sonnenscheindauer

### Niederschlag mm 29.03.2006 - 08.11.2006



(c) Niederschlag

Quelle: <http://www.wetteronline.de/Sachsen/Dresden.htm>

**Abb. 7.19 a-c** Meteorologische Bedingungen zu Studie „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“

- Dresden-Klotzsche
- Messperiode 14. KW bis 43. KW 2006

## 7.3 Dosis-Wirkungs-Beziehung der Lichtschwielereaktion

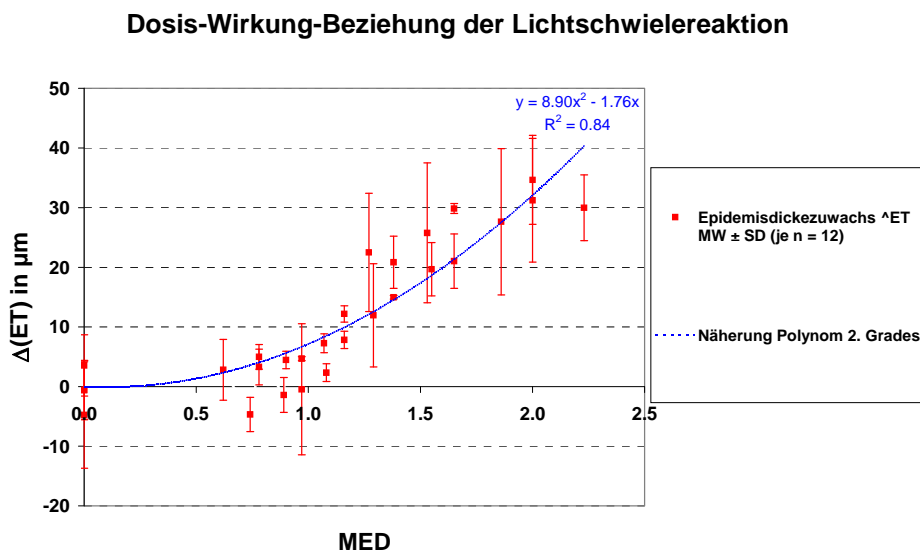
### 7.3.1 Basis der Analyse

In den Voruntersuchungen bezüglich der Nutzbarkeit des OCT-Verfahrens für die nicht-invasive Messung der Epidermisdicke zur Bewertung der Lichtschwielereaktion konnte letztere, nach einmalig oder mehrfach applizierten UV-Testexpositionen von  $\geq 1$  MED, eindeutig nachgewiesen werden (Kap. 4.3.1 und Abb. 4.4 a-e).

Demgegenüber erbrachten die Auswertungen der Epidermisdicke der Rückenhaut unter den solaren Alltagsexpositionen keine Änderung  $> 10\%$ , die sich aus der Nachweisgenauigkeit des Verfahrens von  $\pm 10\%$  heraushob. Es konnte keine merkliche Lichtschwielereaktion nachgewiesen werden, weder für die ständig im Freien Beschäftigten (Gruppe 1, Gruppe 3), noch an der Rückenhaut der Innenbeschäftigten, die von März bis September regelmäßig künstlich bestrahlt wurden, entsprechend der mittleren UV-Personendosis des Gesichts von Bauarbeitern (Gruppe 2).

Vor diesem Hintergrund sollte analysiert werden, unter welchen Bedingungen sich die Lichtschwielereaktion mit signifikanter Epidermisverdickung manifestiert. Es sollte die Dosis-Wirkungs-Beziehung ermittelt werden.

Zur monatlichen Bestimmung der MED mittels Solarsimulator-Lichttestung (vgl. Kap. 4.1.3.1) bei den Probanden der Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe 2“ waren jeweils sechs  $\varnothing$  16 mm Hautareale mit definierten, 20%ig aufsteigenden erythem-effektiven Bestrahlungen  $H_{er}$  exponiert worden. In diesen jeweils sechs Hautarealen pro Monat wurden vor SSR-Lichttest und nach 24 h, 48 h, und 7 d OCT-Messungen zur Epidermisdickebestimmung durchgeführt (Abb. 4.3, Abb. 4.5).



**Abb. 7.20** Dosis-Wirkungs-Beziehung der Lichtschwielereaktion: Differenz aus Epidermisdicke (ET) 7 Tage nach UV-Exposition zum Ausgangswert; UV-Dosis in MED der Probanden (Gruppe 1; n = 12); Epidermisdicke Rücken, Ausgangswert (MW  $\pm$  SD): Mrz:  $102.9 \pm 5.8 \mu\text{m}$ ; Sep:  $113,8 \pm 4.7 \mu\text{m}$ ; Okt:  $93.2 \pm 2.1 \mu\text{m}$ ; Feb:  $98.0 \pm 1.5 \mu\text{m}$

Der Ausgangszustand der Haut variierte in mehreren Parametern: Es liegen die Messdaten der Epidermisdicke von 24 Probanden der Hauttypen II und III vor. Die sechs Lichttestfelder wurden mit einer 20%igen Progression der Bestrahlung  $H_{er}$  UV-exponiert. Die biologische Wirksamkeit lag im Bereich 0,6 bis 2,25 MED (Sie wurde an die jeweils momentane individuelle UV-Empfindlichkeit des Probanden angepasst.). Weiterhin variierte der Hautzustand bezüglich der solaren bzw. künstlichen UV-Vorexposition über die monatlichen Untersuchungen von gering vorexponierter Haut im Winter (März, Februar des Folgejahres) zu mehr oder minder stark UV-exponierter Rückenhaut zwischen April und Oktober.

Die grafische Übersicht (Abb. 7.20) zeigt nach anfänglichen Epidermisdickedifferenzen  $\Delta(ET)$  um den Wert 0 mit steigender UV-Dosis (in MED) eine zunehmende Verdickung der Epidermis (Lichtschwiele).

In diese erste Analyse wurden die Daten vom Winterausgang März und Februar/Folgejahr und vom Ende des Sommers September und Oktober der linken Rückenseite ohne Lichtschutzsubstanz der Probanden der Studie „Gruppe 1“ einbezogen.

### 7.3.2 Signifikanztest

#### *Fragestellung:*

Durch eine Reihe gepaarter T-Tests sollte geprüft werden, ob eine Abhängigkeit der Epidermisdicke von der Bestrahlung  $H_{er}$  bereits bei schwachen UV-Expositionen nachgewiesen werden kann.

#### *Durchführung:*

Herangezogen wurden dazu die sechs Lichttestfelder, die jeweils mit einer Dosisprogression von 20 % mit solarsimulierter Strahlung exponiert wurden (s. o.).

Dabei weist das Lichttestfeld, für dessen Hautareal es nach 24 Stunden zu einem gerade beginnenden, aber abgegrenzten Erythem kommt, die minimale Erythemdosis (MED) aus. Für die übrigen Lichttestfelder wurde die applizierte erythem-effektive Bestrahlung  $H_{er}$  in Bruchteilen bzw. Vielfachen der MED (im Weiteren: Vielfache der MED) bestimmt. Die MED ist eine individuelle Größe für die Empfindlichkeit bezüglich des UV-Erythems. Sie ist aber durchaus (u. a. im Jahresverlauf) veränderlich.

Für diese sechs Felder je Proband (Gruppe 1,  $n = 12$ ) und Monat wurde vor und jeweils 24 h, 48 h und 7 d nach der Bestrahlung die Epidermisdicke bestimmt. Auf Grundlage der Messwerte vor Bestrahlung und nach 7 Tagen wurde für die Monate März, September, Oktober und den darauf folgenden Februar eine Reihe von Signifikanztests durchgeführt.

Die UV-Dosen in Vielfachen der MED aus den Lichttestfeldern aller Probanden wurden für jeden Monat in sechs möglichst gleichgroße Klassen von Dosisintervallen unterteilt (vgl. Abb. 7.21 a-d). Da die MED-Werte aber erst nach der Bestrahlung bestimmt werden konnten und individuellen Verschiebungen zwischen den Monaten unterlagen, war es nicht möglich, konstante Klassengrößen herzustellen. War ein Proband mehrmals in einer Klasse vertreten, so wurde nur der erste Datensatz mit der niedrigeren UV-Dosis beachtet, um Verzerrungen zu vermeiden.

Für diese unterschiedlichen Klassen von Vielfachen der MED (MED-Klassen) wurde nun getestet, ob eine Differenz zwischen der Epidermisdicke vor und nach der UV-Bestrahlung bestand.

#### *Ergebnisse:*

Ein Test über alle Klassen konnte in allen untersuchten Monaten auf einem Signifikanzniveau von 1 % bestätigen, dass die Epidermisdicke sich durch UV-Bestrahlung vergrößert.

Führte man den Test allerdings für die einzelnen Klassen durch, so zeigte sich, dass der Effekt erst in höheren MED-Klassen nachgewiesen werden konnte. Für März wurde er ab 1,2 MED auf 5 %-Niveau signifikant, im Oktober ab 0,9 MED und im Februar ab 1,1 MED. Für den September konnte der Effekt von 1 MED aufwärts auf 5 %-Niveau nachgewiesen werden.

Es lässt sich schlussfolgern, dass die Lichtschwielereaktion auf UV-Exposition erst ab mindestens 0,9 MED ein Niveau erreicht, das im Verhältnis zu den OCT-Messschwankungen von ca.  $\pm 10\%$  ins Gewicht fällt.

### 7.3.3 Schwellwertdosis der Lichtschwielereaktion

In Auswertung der statistischen Analysen von 4 Dosis-Wirkungsuntersuchungen (im März, September, Oktober, Februar) bei je zwölf ausgewerteten Probanden der UV-Toleranztypen II und III zeigte sich:

Eine signifikante Lichtschwielereaktion ( $p < 0,05$ ) setzte oberhalb einer UV-Exposition ein, die 0,9 bis 1,2 der individuellen minimalen Erythemdosis MED der Person entsprach (Abb. 7.21 a-d).

Die Ergebnisse bestätigten sich sowohl für die Jahreszeit mit etwas niedrigerem UV-Eigenschutz (Ende des Winters: Februar und März) als auch für die Jahreszeit mit höherem Eigenschutz (Ende des Sommers: September und Oktober), in der die individuelle minimale Erythemdosis MED auf etwa 120 % bis 180 % steigt (Kap. 7.1).

Die geringe Irrtumswahrscheinlichkeit insbesondere für die Untersuchungsmonate Oktober sowie Februar des Folgejahres (Abb. 7.21 c-d) weist darauf hin, dass das Einsetzen der Lichtschwielereaktion mit signifikanten Epidermisdickezuwachsen ab dem Dosisbereich 0,9 - 1,2 MED relativ unabhängig davon ist, ob die Person dem UV-Hauttyp II oder UV-Hauttyp III zuzurechnen ist. Das wurde bisher an Haut mit geringem bis mäßig ausgeprägtem UV-Eigenschutz untersucht.

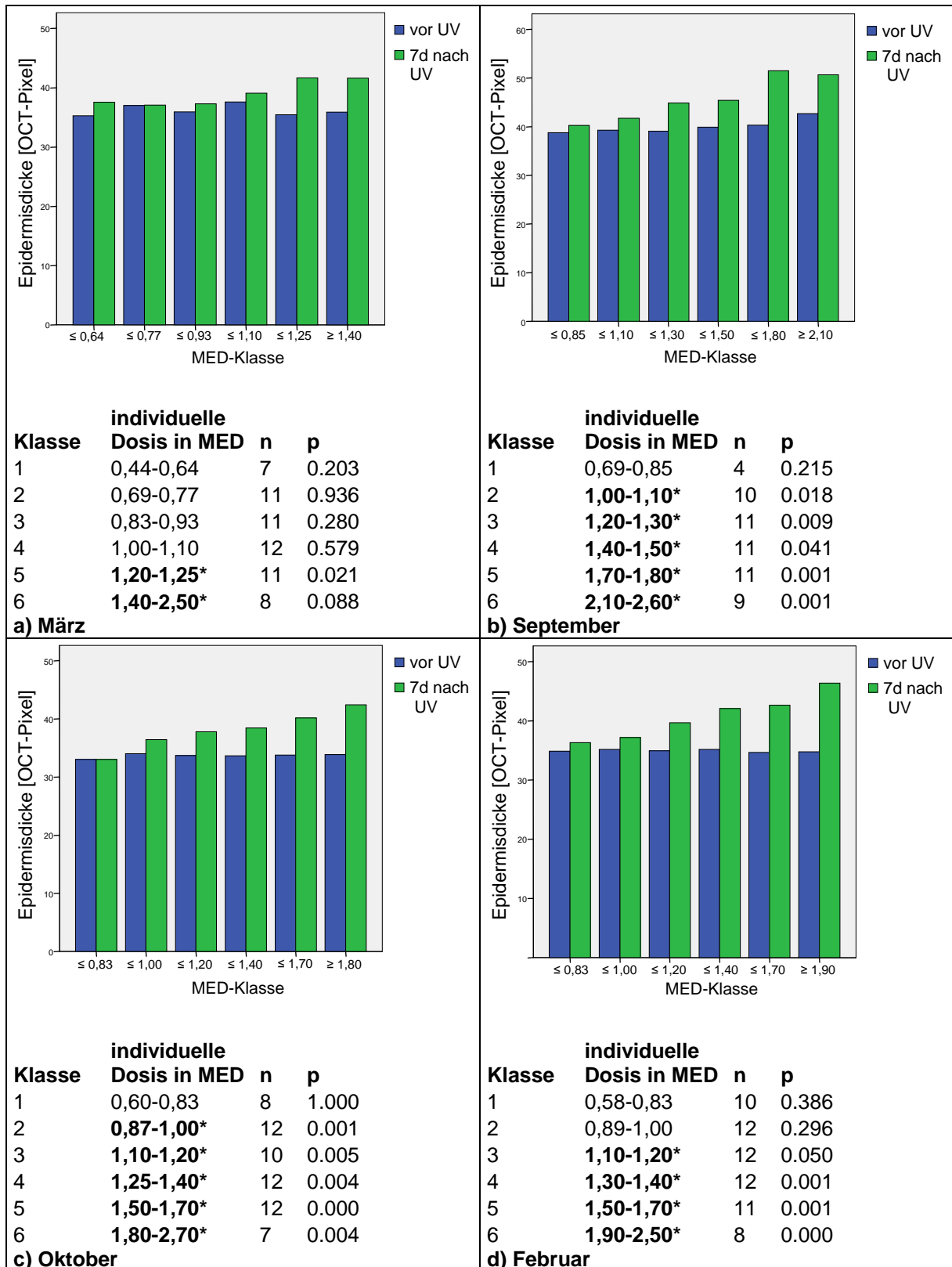
Ob diese Ergebnisse für sehr stark UV-vorexponierter Haut mit bereits deutlichem UV-Eigenschutz zutreffend sind, wird in einer separaten Studie mit Probanden entsprechender Hautcharakteristik untersucht.

UV-Expositionen von weniger als 90 % der individuellen minimalen Erythemdosis MED bewirkten nur geringe Lichtschwieleeffekte von  $< 10\%$  Epidermisdickezuwachs. Der Effekt lag unterhalb der derzeitigen Nachweisgrenze des eingesetzten OCT-Verfahrens.

Die typischen Werktagsexpositionen ständig solar UV-exponierter Hautareale, wie Gesichtsbereich, Hände oder Unterarme, bewegen sich mit 1 SED/d (KNUSCHKE et al. 2004, KNUSCHKE et al. 2007) im Bereich von 0,4 MED (für mittleren Hauttyp II) bzw. von 0,3 MED (für mittleren Hauttyp III). Diese Werktagsexpositionen liegen deutlich unter der hier nachgewiesenen Schwellwertdosis für eine signifikante Lichtschwielereaktion von  $> 0,9$  MED.

#### *Fazit:*

Dieses Resultat erklärt das Ausbleiben der Lichtschwielereaktion bei den untersuchten Außenbeschäftigten. Die UV-Eigenschutzkomponente wird bei ständig im Freien Beschäftigten unter typischen Werktagsbedingungen nicht initialisiert.



**Abb. 7.21 a-d** Dosis-Wirkungs-Beziehung der Lichtschwielereaktion

Signifikanztest (\*  $p < 5\%$ ) bezüglich der Erhöhung der Epidermisdicke in Folge von UV-Exposition (Lichtschwiele). UV-Exposition in Vielfachen der individuellen minimalen Erythemdosis MED (pro Klasse MW über alle Probanden), Epidermisdicke in OCT-Pixeln (1 Pixel = 2,81  $\mu\text{m}$ )

## **8 Aufbau und Beständigkeit des natürlichen Eigenschutzes der Haut gegenüber einzelnen und seriellen UV-Expositionen – Ergebnisse (Teil B)**

### **8.1 Zeitverlauf der individuellen minimalen Erythemdosis (MED) nach fünf seriellen bzw. einer einzelnen UV-Exposition – Ergebnisübersicht Studien „Gruppe B“ und „Gruppe A“**

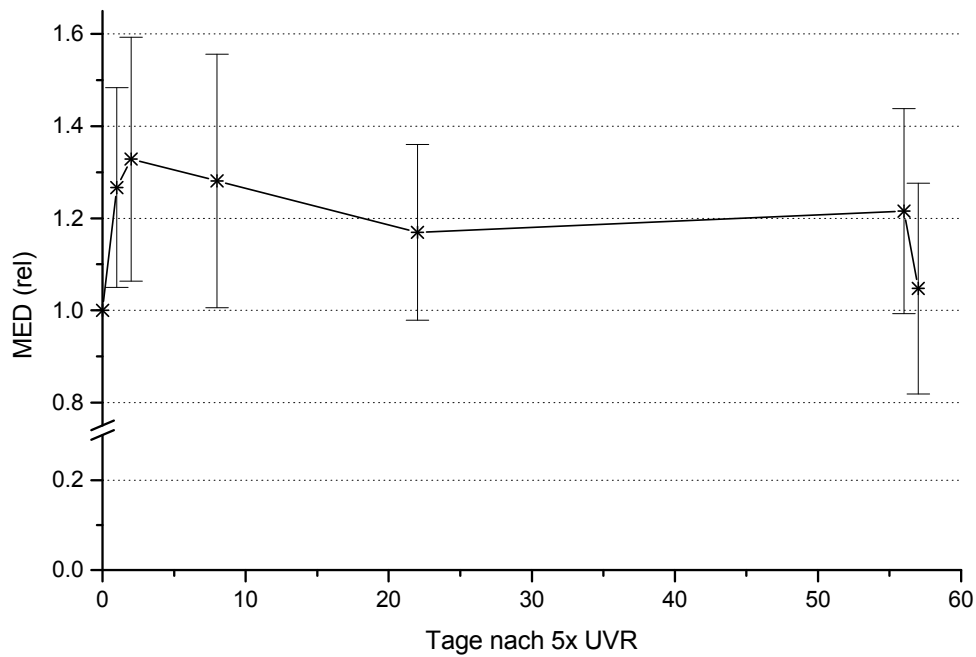
Die minimale Erythemdosis stellt ein Charakteristikum für den natürlichen Gesamteigenschutz der Haut gegenüber dem UV-Erythem als Akutreaktion auf UV-Strahlung dar. Ihren zeitlichen Verlauf nach seriellen sub-erythematischen UV-Bestrahlungen auf die Rückenhaut mit je  $H_{er} = 1,8$  SED über fünf Tage (Gruppe B, s. Kap. 5.2) gibt Abbildung 8.1 relativ zur Ausgangs-MED wieder. In Abbildung 8.2 ist der entsprechende relative MED-Verlauf dargestellt, jedoch nach nur einer sub-erythematischen UV-Einzelexposition auf die Rückenhaut mit  $H_{er} = 1,8$  SED (Gruppe A).

Ende April und im Mai, an den ersten warmen Tagen, die kurzärmelige und auch dünne Kleidung für ständig im Freien Beschäftigte erlauben, liegt die UV-Personendosis der freien Hautareale Gesicht, Arme, Hände an einem wolkenlosen Tag um  $H_{er} = 1,8$  SED. Diese Werte wurden bei Körperverteilungsmessungen unter „clear-sky“-Bedingungen personendosimetrisch im Rahmen zweier Forschungsprojekte bei verschiedenen Berufsgruppen Außenbeschäftigter gemessen (KNUSCHKE et al., 2004, KNUSCHKE et al., 2007). Sie bildeten die Grundlage für die Wahl dieses erythem-effektiven Bestrahlungswertes in den Studien „Gruppe A“ und „Gruppe B“. Für die Mehrheit von Arbeitnehmern sind 1,8 SED eine sub-erythematische UV-Exposition (typischer UV-Hauttyp II: 1 MED  $\approx$  2,5 SED).

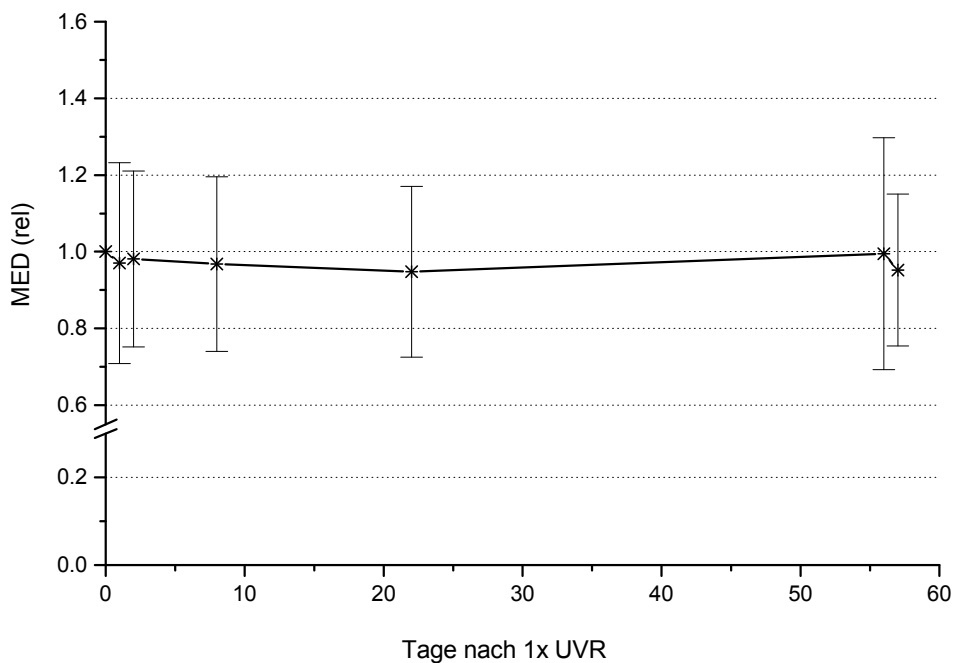
(Anmerkung: Der UV-Expositionswert 1,8 SED/d liegt mit etwa 0,7 MED für einen mittleren UV-Hauttyp II und 0,5 MED für einen mittleren Hauttyp III nahezu doppelt so hoch wie die über längere, meteorologisch beeinflusste Zeitabschnitte  $\geq 14$  Tage gemittelte UV-Personendosis pro Tag, die bei einem Wert von 1 SED/d liegt.)

Die Wahl von 1,8 SED war auch sinnvoll für die Analysen des gesundheitlichen Risikos der Haut an Arbeitsplätzen mit künstlichen UV-Strahlenquellen. Falls an derartigen Arbeitsplätzen das Risiko von ein- oder mehrmaliger Überschreitung der zulässigen 8-Stunden-Grenzwerte besteht, die Überschreitung jedoch im sub-erythematischen und damit unbemerkten UV-Expositionsbereich für die Haut bleibt, gibt eine Untersuchung mit 1,8 SED als Testexposition einen guten Hinweis auf die Hautreaktion in ein solchen Fällen.

Im Rahmen der Studien „Gruppe B“ und „Gruppe A“ wurde die durch fünfmalige bzw. einmalige UV-Exposition ausgelöste UV-Eigenschutzreaktion bei den Probanden über 56 Tage nachbeobachtet. Der in beiden Abbildungen jeweils letzte Messpunkt der Kurve (56 d – nie UVR) ist das Ergebnis der MED-Bestimmung am Tag 56 für das stets unbestrahlte Vergleichsareal der Rückenhaut (Es war während der UV-Expositionen immer abgedeckt!). Dieser Wert müsste im Wesentlichen dem Ausgangswert entsprechen. Die Probanden hatten, gemäß der Studienanweisung, den Rücken immer textil bedeckt zu halten, damit es im Fall von sonnenreichem Wetter im April zu keinen Verfälschungen kommt.



**Abb. 8.1** Mittlere UV-Eigenschutzreaktion von Rückenhaut im Zeitverlauf nach fünf seriellen, sub-erythematischen UV-Expositionen (5 x 1,8 SED) [n = 12; MED normiert auf MED(Tag 0: vor UV-Bestrahlungsbeginn)]



**Abb. 8.2** Mittlere UV-Eigenschutzreaktion von Rückenhaut im Zeitverlauf nach sub-erythematischer UV-Einzelexposition mit 1 x 1,8 SED [n = 12; MED normiert auf MED(Tag 0: vor UV-Bestrahlungsbeginn)]

Nach 5 UV-Expositionen von 1,8 SED pro Tag war bereits 24 Stunden nach Abschluss der Bestrahlungsserie ein Anstieg des UV-Eigenschutzes um rund 30 %, bezogen auf den Ausgangswert vor den Expositionen, zu verzeichnen. In Abbildung 8.1 ist der zeitliche Verlauf der relativen MED als  $MW \pm SD$  für Studie „Gruppe B“ von Tag 0 vor der UV-Bestrahlungsserie bis 56 Tage nach UV-Expositionsende dargestellt. Das Niveau von 130 % der Ausgangs-MED blieb im Mittel für die ersten zwei Wochen nach der Expositionsserie erhalten. Am Ende der Nachbeobachtungszeit von acht Wochen lag die mittlere MED noch immer auf 120 % des Ausgangswertes (Abb. 8.1).

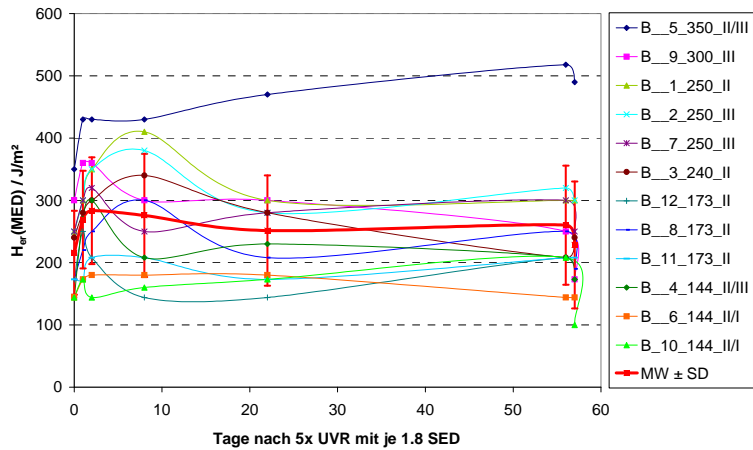
Demgegenüber bewirkte eine UV-Einzelexposition von 1,8 SED im Mittel für die Probanden des Hauttyps II ( $n = 9$ ) und Hauttyps III ( $n = 3$ ) im Wesentlichen keine Veränderung im Verlauf der MED über die acht Wochen der Nachbeobachtung (Abb. 8.2).

Eine Analyse der individuellen Verläufe des natürlichen UV-Eigenschutzes wies jedoch Subgruppen für das Reaktionsvermögen der Haut bezüglich Gesamteigenschutz (MED) und Eigenschutzkomponenten Lichtschwiele und Pigmentierungsvermögen nach einzelner bzw. serieller UV-Exposition aus.

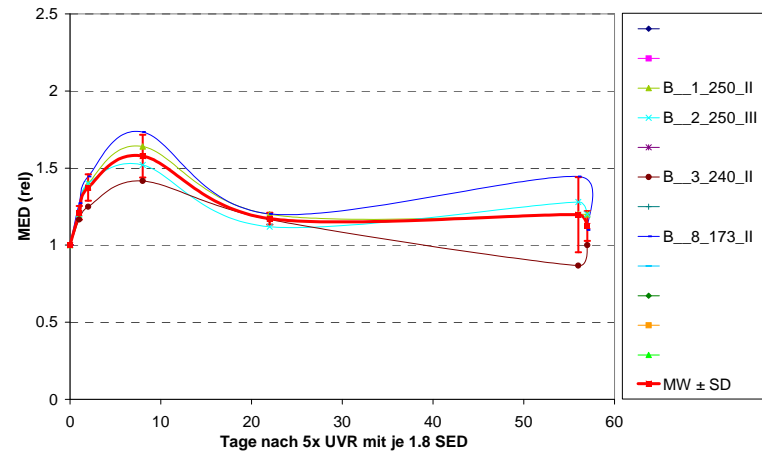
## **8.2 Variabilität der individuellen Ausprägung der Kombination von Lichtschwielereaktion und Pigmentierungsvermögen als UV-Eigenschutzkomponenten**

In der Analyse der individuellen Zeitverläufe der MED der Probanden (Gruppe B und Gruppe A) als Charakteristikum des jeweiligen UV-Gesamteigenschutzvermögens sowie der Eigenschutzkomponenten Lichtschwielereaktion und Pigmentierungsvermögen deuteten sich Untergruppen im UV-Eigenschutzverhalten der Haut an. Trotz der geringen Probandenzahlen waren derartige Subgruppen sowohl in Studie „Gruppe B“ ( $n = 12$ ; Abb. 8.3 a-d bis Abb. 8.5 a-d) als auch in Studie „Gruppe A“ ( $n = 12$ ; Abb. 8.6 a-d bis Abb. 8.8 a-d) zu erkennen. Diese Untergruppen waren primär nicht mit dem zuvor für jeden Probanden bestimmten Hauttyp oder dem Ausgangswert der individuellen MED zu erklären. In gleiche Richtung gehende Ergebnisse berichteten SELEGRADE et al. (2001). Bei Untersuchungen in Bezug auf die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen UV-Exposition und Ausmaß der immunsuppressiven Wirkung waren ebenfalls Subgruppen festgestellt worden, die nicht mit der Hauttypcharakterisierung nach Fitzpatrick einerseits und der Ausgangs-MED andererseits übereinstimmten. Auch nach unseren Analysen waren in den Subgruppen sowohl Vertreter des empfindlicheren Hauttyps II, als auch vom unempfindlicheren Hauttyp III eingeschlossen. Es waren sowohl Probanden mit höherer minimaler Erythemdosis (bestimmt jeweils nach 24 Stunden) als auch mit niedrigen MED-Werten derselben Untergruppe zuzuordnen. In den Legenden (Abb. 8.3 a-d – Abb. 8.8 a-d) sind die Probandennummern B\_1 bis B\_12 sowie A\_25 bis A\_36 angegeben, gefolgt von der Ausgangs-MED (in  $J/m^2$ ) und dem im Vorfeld eingeschätzten UV-Hauttyp nach FITZPATRICK (1988).

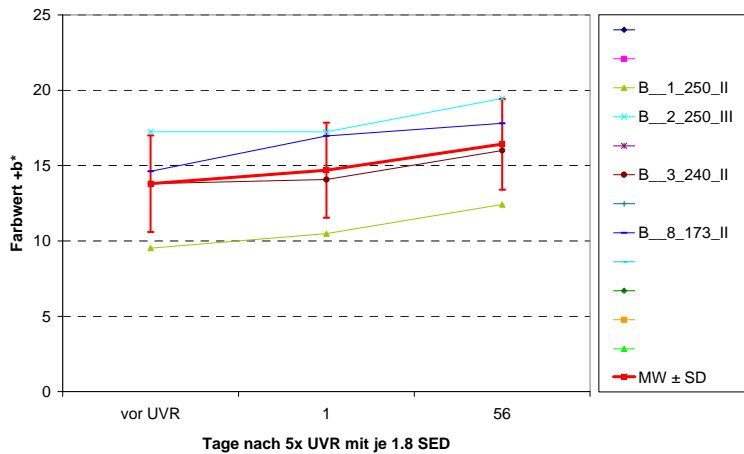




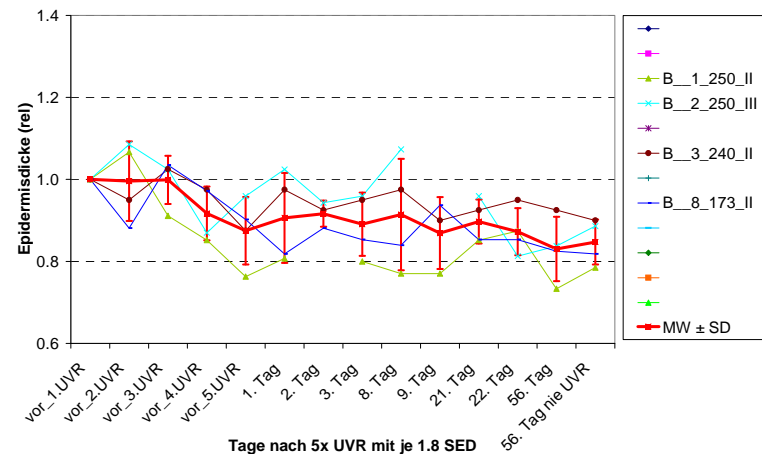
(a) MED und Zeitverlauf nach fünfmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED/d}$ )



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 1 (B1/2/3/8)

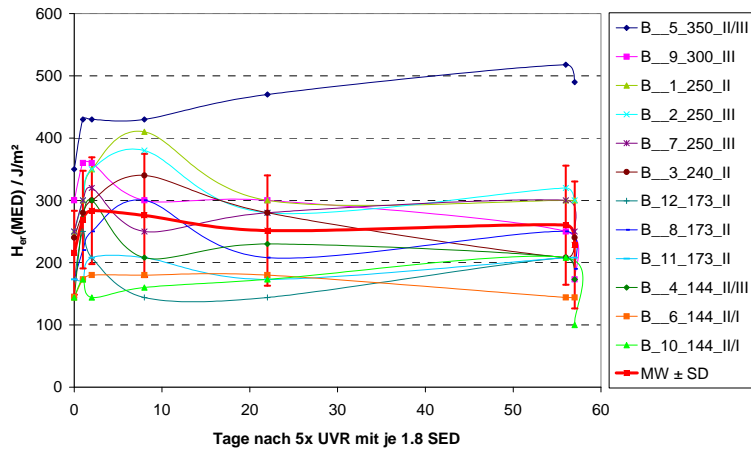


(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 5x 1,8 SED/d (B1/2/3/8)

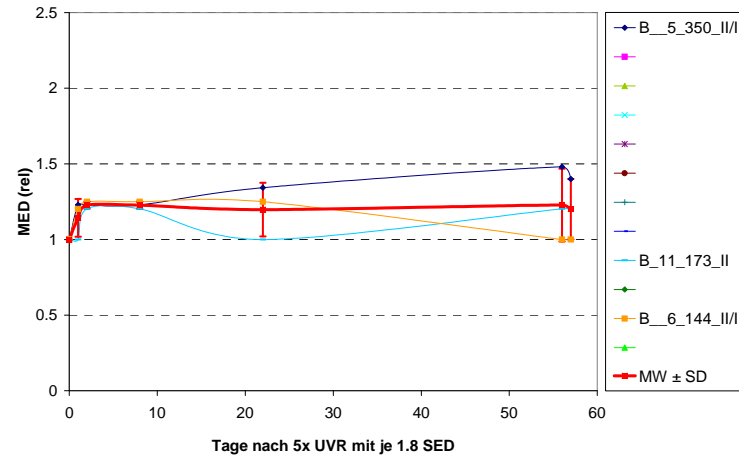


(d) Relativer Epidermisdickeverlauf der Subgruppe 1 (B1/2/3/8)

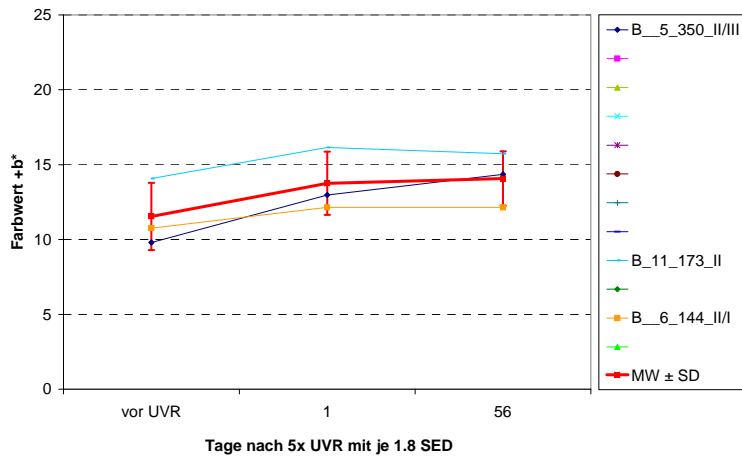
**Abb. 8.3 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) an fünf aufeinander folgenden Tagen – Studie „**Gruppe B**“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 1** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (**PN: B1/2/3/8**); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 1 (B1/2/3/8) im Zeitverlauf



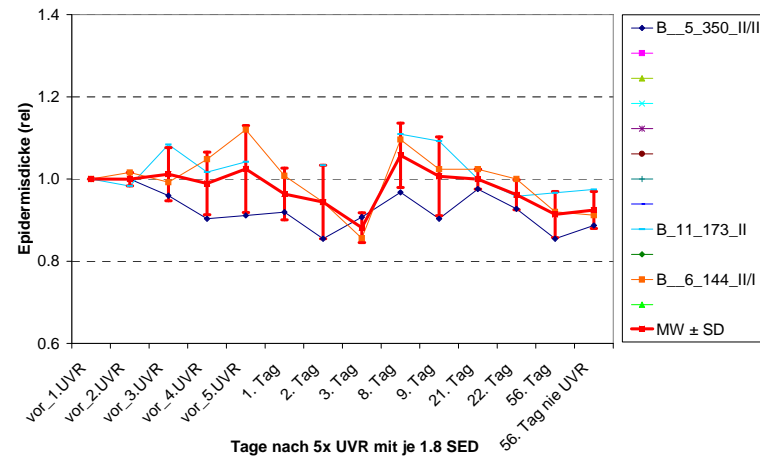
(a) MED und Zeitverlauf nach fünfmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED/d}$ )



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 2 (B5/6/11)

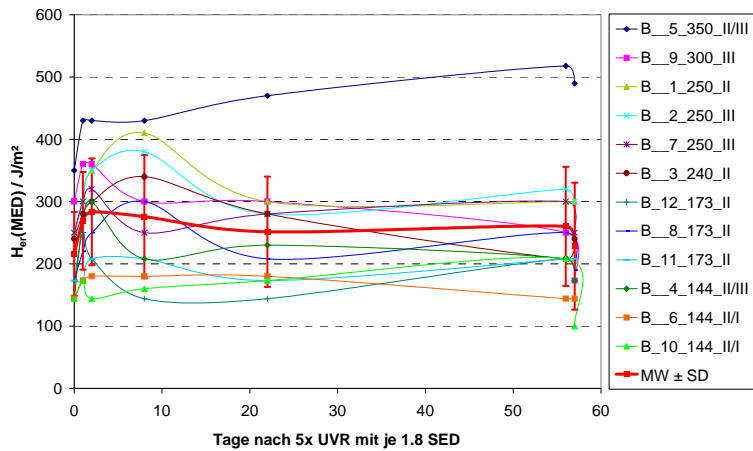


(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 5x 1,8 SED/d (B5/6/11)

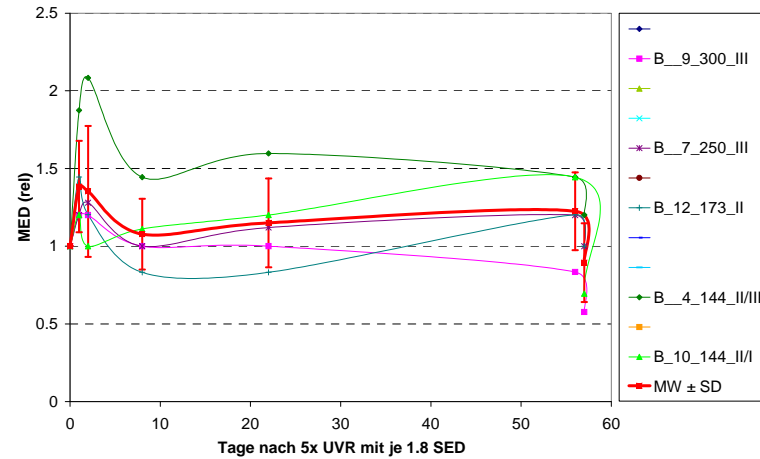


(d) Relativer Epidermisdickeverlauf der Subgruppe 2 (B5/6/11)

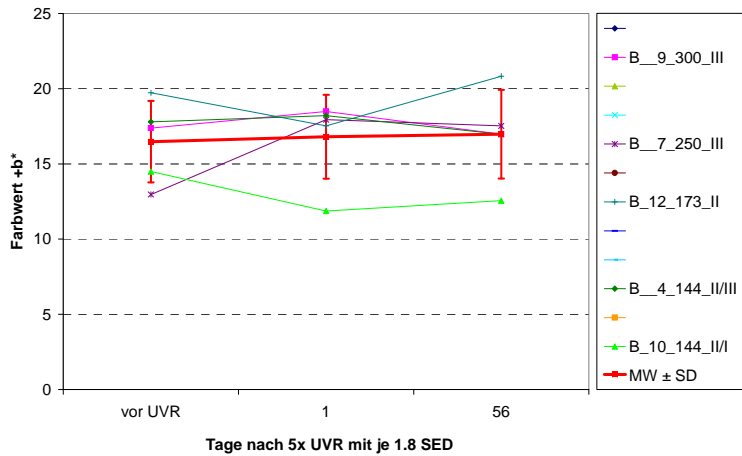
**Abb. 8.4 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) an fünf aufeinander folgenden Tagen – Studie „**Gruppe B**“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 2** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (**PN: B5/6/11**); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 2 (B5/6/11) im Zeitverlauf



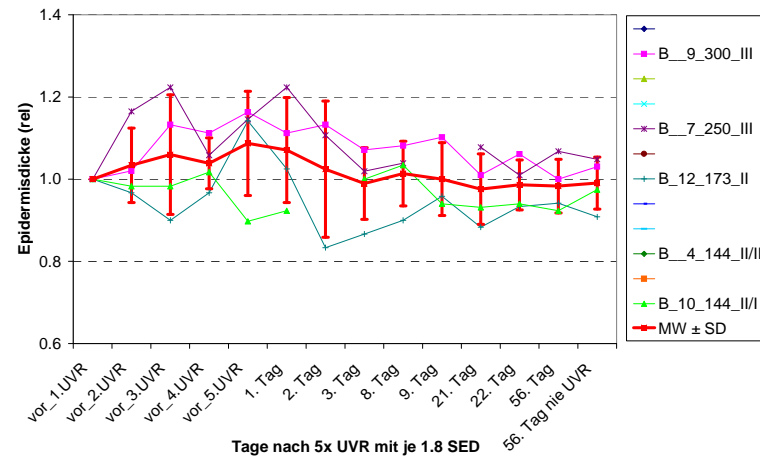
(a) MED und Zeitverlauf nach fünfmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED/d}$ )



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 3 (B4/7/9/10/12)



(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 5x 1,8 SED/d (B4/7/9/10/12)



(d) Relativer Epidermisdickeverlauf der Subgruppe 3 (B4/7/9/10/12)

**Abb. 8.5 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) an fünf aufeinander folgenden Tagen – Studie „Gruppe B“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 3** ähnlichen relat. MED-Verlaufes (PN: B4/7/9/10/12); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 3 (B4/7/9/10/12) im Zeitverlauf

### 8.2.1 Subgruppen für die Kombination von Lichtschwiele- und Pigmentierungsfähigkeit nach fünf seriellen sub-erythematischen UV-Expositionen

Aus der Zusammenstellung der individuellen MED im Zeitverlauf bezogen auf die Ausgangs-MED ließ sich im Mittel ein über die acht Wochen Beobachtungszeit beständig erhöhter UV-Eigenschutz (Gruppe B) nachweisen. Die große Standardabweichung (vgl. Abb. 8.1) weist aber darauf hin, dass insgesamt kein einheitlicher Trend für die MED im Zeitverlauf erkennbar war (Abb. 8.3 a und Anh. 2, Abb. 8 a).

Im Ergebnis der Analysen in Studie „Gruppe B“ (Eigenschutzreaktion der Haut nach UV-Exposition von je 1,8 SED an fünf aufeinander folgenden Tagen, beobachtet über 56 Tage) deuteten sich drei Subgruppen des UV-Eigenschutzverlaufes an, deren minimale Erythemdosis am Rücken bezogen auf die jeweilige Ausgangs-MED einen vergleichbaren Zeitverlauf zeigten (Abb. 8.3 a-d, 8.4 a-d, 8.5 a-d).

Die drei unterschiedlichen zeitlichen Verlaufsformen sind folgendermaßen charakterisiert:

- **Subgruppe 1:**

UV-Eigenschutzanstieg (MED) auf rund 120 % bzw. 130 % nach 24 h bzw. 48 h; innerhalb der ersten Woche weiterer Anstieg bis rund 160 % am Tag 8; bis Tag 22 Rückgang der relativen MED auf 120 % und dann verbleibend auf dem Niveau über die weitere Nachbeobachtungszeit von insgesamt 8 Wochen (Abb. 8.3 b).

- **Subgruppe 2:**

Sofortiger UV-Eigenschutzanstieg (MED) auf rund 120 % bis nach 48 h und langfristiger Verbleib auf diesem Niveau über die gesamte weitere Nachbeobachtungszeit; in einem Fall (B11) erst 24 h nach Expositionsende Beginn des Eigenschutzanstiegs bis nach 48 h auf rund 120 % (Abb. 8.4 b).

- **Subgruppe 3:**

Sofortiger UV-Eigenschutzanstieg (MED) auf rund 140 % innerhalb der ersten 24 h nach Ende der UV-Expositionsserie; bereits zwischen 48 h und 8 Tage Rückgang der relativen MED etwa in den Bereich des Ausgangswertes und Verbleib für die weitere Beobachtungszeit auf diesem Niveau (Abb. 8.5 b).

Betrachtet man im Vergleich die gemessenen Daten zu den UV-Eigenschutzkomponenten Lichtschwielereaktion (Epidermisdicke) und Pigmentierungsgrad (Hautfarbwert +b\*), so könnte das unterschiedliche individuelle Eigenschutzverhalten wie folgt interpretiert werden:

**Subgruppe 1:**

Die Personen reagierten mit einer Lichtschwielereaktion, die bereits in den ersten 24 h bis 48 h einsetzte. Jedoch erfolgten zeitgleich noch die weiteren der fünf UV-Expositionen mit 1,8 SED. Deren Wirksamkeit fiel damit etwas geringer aus. Das bestätigte sich im Prinzip auch so, betrachtet man den Verlauf der Epidermisdicke individuell (Anh. 2, Abb. 8 d). Die UV-Expositionen mit 1,8 SED entsprachen für die in Subgruppe 1 zusammengefassten Probanden etwa 0,7 bis 1,0 MED.

Zusätzlich zur Lichtschwielereaktion kam es im Fall der Subgruppe 1 zur Pigmentbildung. Die photosynthetische Melaninneubildung ist nach fünf bis sieben Tagen abgeschlossen. Nach den fünf Tagen mit UV-Expositionen ist am sechsten Tag (MED-Bestimmung 24 h nach letzter UV-Exposition) bereits ein gewisser Anstieg des Pigmentierungsgrades über den gemessenen Farbwert +b\* festzustellen (Abb. 8.3 c). Es war keine Farwerterfassung am Tag 8 nach Ende der UV-Expositionsserie er-

folgt. Als nächster Messpunkt lagen die Daten von Tag 56 nach Bestrahlungsende vor. Da bei der Untersuchung Anfang Februar bis Anfang April keine Solarexposition die untersuchte Rückenhaut beeinflusste, geben diese Hautfarbwerte den Pigmentierungsgrad nach Abschluss der Photosynthese wieder, wie sie an Tag 8 zu finden gewesen wären. Von Tag 8 bis Tag 56 wäre der Hautfarbwert +b\* im Wesentlichen auf seinem Niveau geblieben, ggf. etwas zurückgegangen.

So dokumentiert Abbildung 8.3 c, dass innerhalb der Subgruppe 1 auf die fünf seriellen UV-Expositionen mit je 1,8 SED neben einer geringen Lichtschwielereaktion mit einer gewissen Melaninpigmentierung als UV-Eigenschutzkomponente reagiert worden war.

Da innerhalb des epidermalen Zellzyklus von etwa 30 Tagen (z. B. BRAUN-FALCO et al., 1996) kein weiterer, eine Lichtschwielereaktion auslösender UV-Reiz mehr erfolgte, befand sich die Epidermis bezüglich der Dicke wieder im Ausgangszustand. Für den verbleibenden UV-Eigenschutz von etwa + 20 % gegenüber der Ausgangs-MED bis zum Ende der Beobachtungszeit war das gebildete Melanin verantwortlich. Die MED-Bestimmung in einem Rückenhautareal, das während der UV-Expositionen abgedeckt gehalten wurde, zeigte gut vergleichbare Werte zur Ausgangs-MED, was so erwartet worden war.

### **Subgruppe 2:**

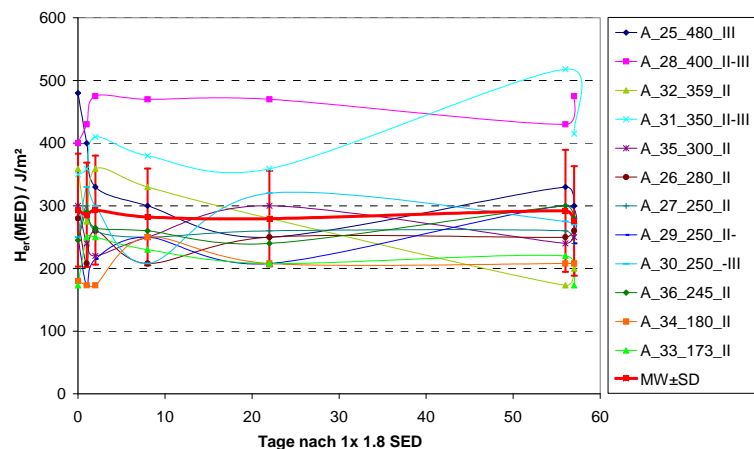
Bereits 24 Stunden nach der letzten der fünf UV-Expositionen wurde eine MED in Höhe von etwa 125 % des Ausgangswertes erreicht. In Fall des Probanden B11 erfolgte der MED-Anstieg auf 125 % erst zwischen 24 h und 48 h nach der letzten UV-Exposition. Für diese Subgruppe wiesen die Epidermisdickemessungen keine Lichtschwielereaktion aus. (Anmerkung: Der Relativwert mit < 1.0 (Abb. 8.4 d) bzw. der niedrige Mittelwert (Anh. 2, Abb. 9 d) der Epidermisdicke für den Tag 3 ist Folge eines fehlenden Wertes wegen nichtauswertbarem OCT-Bild bei von Proband B6.)

Für diese Subgruppe 2 war eine deutliche Zunahme des Pigmentierungsgrades bis zum Ende der fünf seriellen UV-Expositionen charakteristisch (Abb. 8.4 c). Danach war nur noch bei Proband B5 bis zum Tag 22 ein leichter Eigenschutzzuwachs durch eine gewisse Zunahme der Pigmentierung zu registrieren.

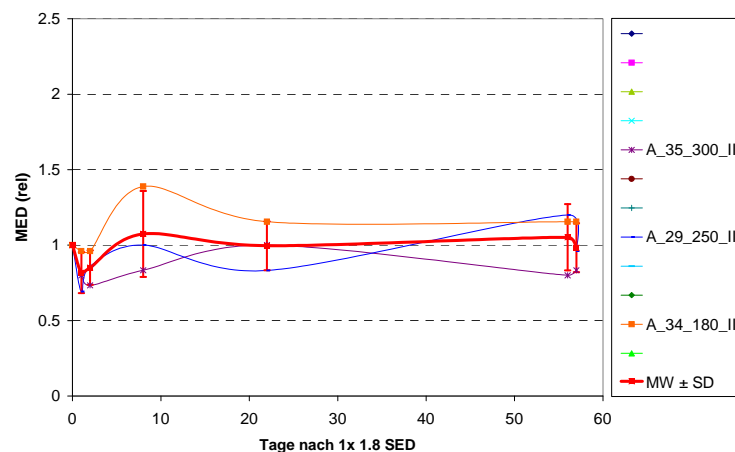
(Anmerkung zu Proband B5: Der Eigenschutzanstieg von Tag 21 zu Tag 56 ist darauf zurückzuführen, dass dieser Proband sich nicht an die Vorgabe hielt, den Rücken im Untersuchungszeitraum generell textil abgedeckt zu halten. Das Wochenende unmittelbar vor der Untersuchung „Tag 56“ war wolkenlos und mit 30 °C für die erste Aprilwoche untypisch heiß. Das unexponiert gehaltene Rückenhautareal wies nahezu das gleiche Eigenschutzverhalten wie die restliche Rückenhaut auf.)

### **Subgruppe 3:**

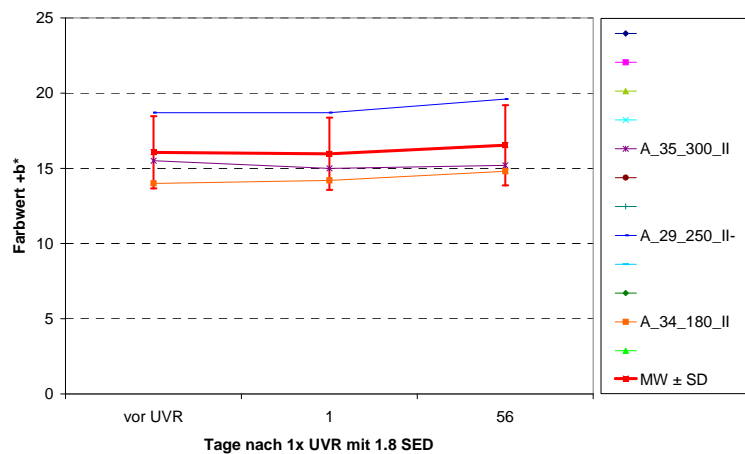
Charakteristisch für diese Subgruppe war eine deutliche Lichtschwielereaktion. Diese setzte im Mittel bereits nach der ersten UV-Exposition ein und verstärkte sich über die folgenden vier Bestrahlungen. Bis zum Tag 3 nach der letzten UV-Exposition war die erhöhte Epidermisdicke im Wesentlichen wieder zurückgegangen. Es war für Tag 1 und Tag 2 nach den fünf seriellen UV-Expositionen ein Anstieg auf im Mittel 140 % der Ausgangs-MED zu verzeichnen. Dieser ging danach auf ein Niveau von 120 % bis 110 % zurück. Lediglich für Proband B7 war eine Erhöhung des Pigmentierungsgrades während der Bestrahlungen zu verzeichnen, im Anschluss nicht mehr. Für diese Subgruppe war über die gesamte Untersuchungszeit im Wesentlichen keine Änderung im Pigmentierungsgrad zu registrieren. Demzufolge war, anders als bei den anderen beiden Subgruppen, längerfristig nur ein UV-Eigenschutz auf niedrigem Niveau festzustellen.



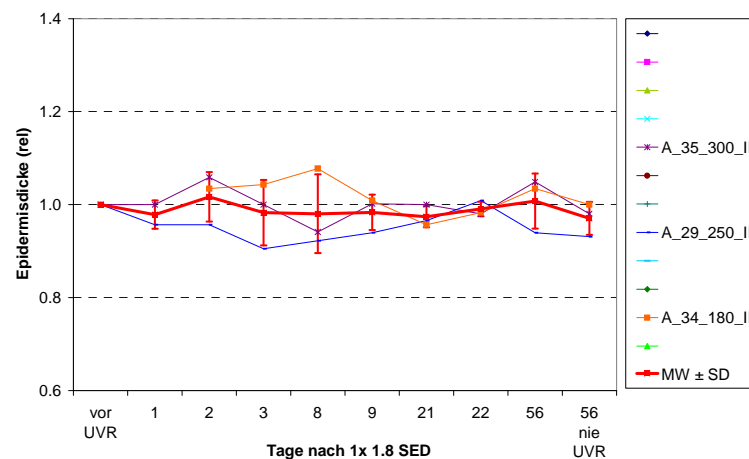
(a) MED und Zeitverlauf nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ )



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 1 (A29/34/35)

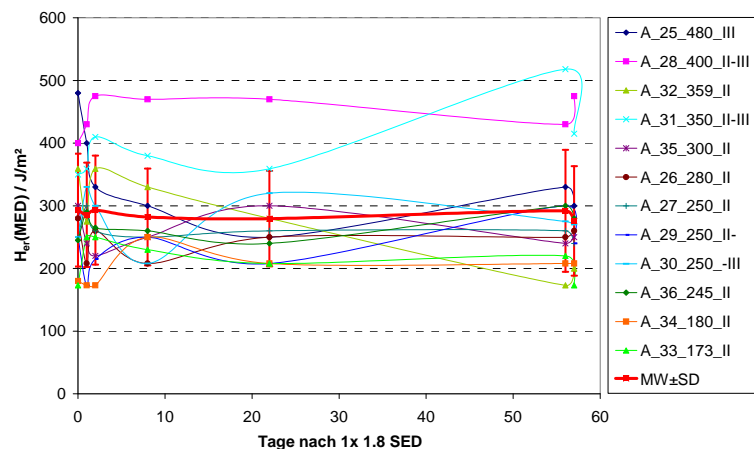


(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 1x 1,8 SED (A29/34/35)

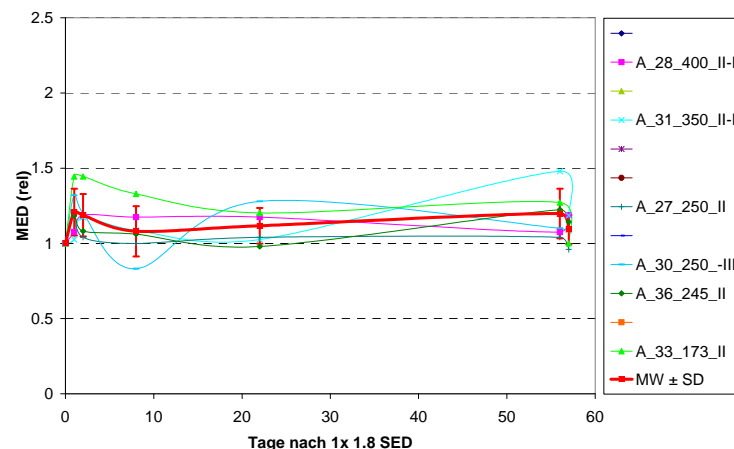


(d) Relativer Epidermisdickeverlauf der Subgruppe 1 (A29/34/35)

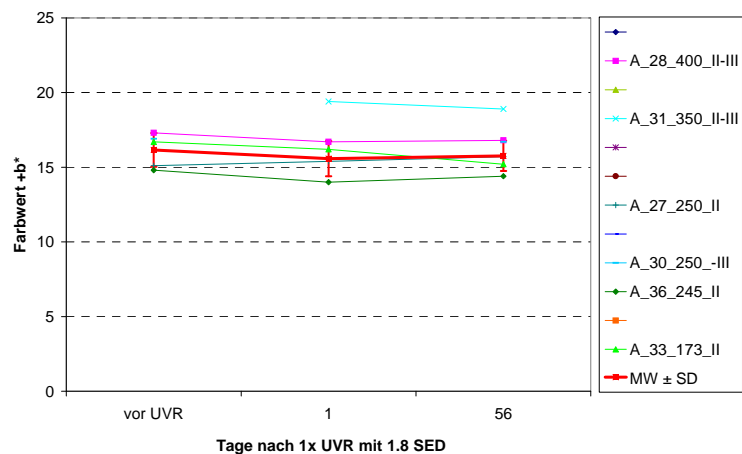
**Abb. 8.6 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 1** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: A29/34/35); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 1 (A29/34/35) im Zeitverlauf



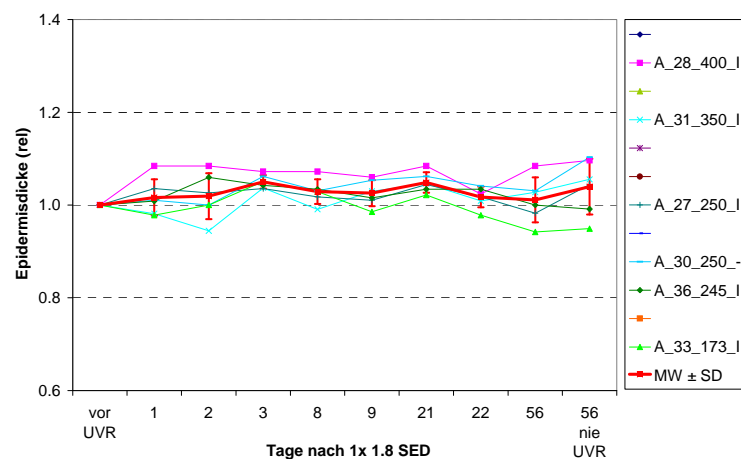
(a) MED und Zeitverlauf nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8$  SED)



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 2 (A27/28/30/31/33/36)

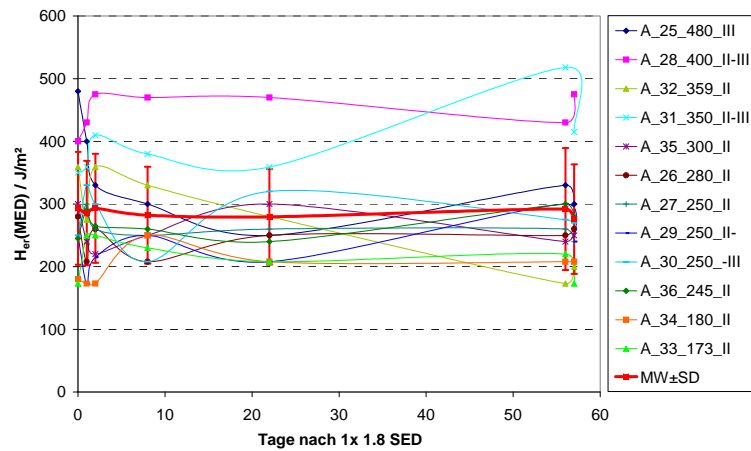


(c) Pigmentierungsgrad (Farbw. +b\*) vor und nach 1x 1,8 SED (A27/28/30/31/33/36)

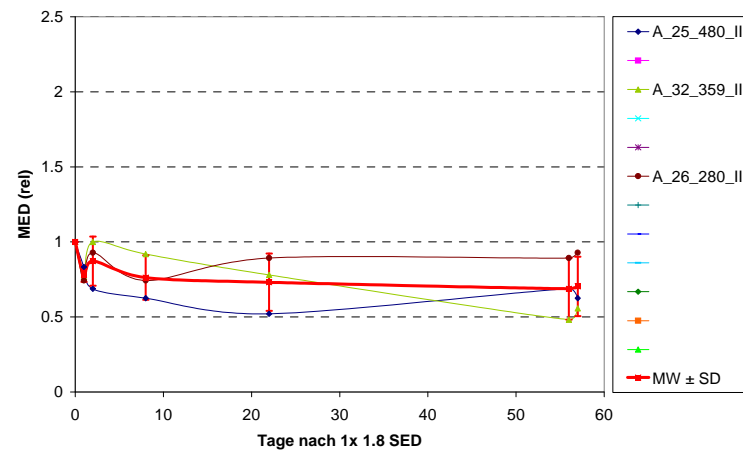


(d) Relativer Epidermisdickeverlauf der Subgruppe 2 (A27/28/30/31/33/36)

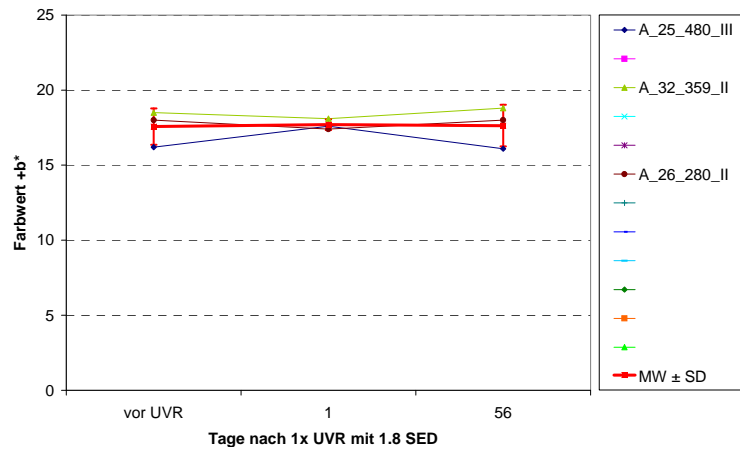
**Abb. 8.7 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8$  SED) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 2** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: A27/28/30/31/33/36); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert +b\* (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 2 (A27/28/30/31/33/36) im Zeitverlauf



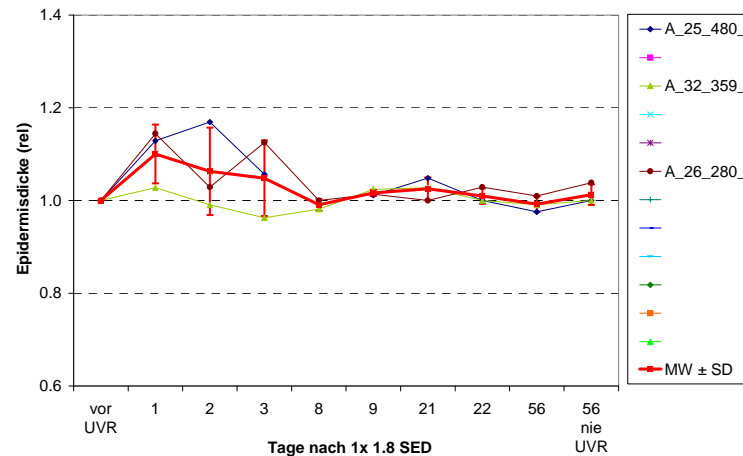
(a) MED und Zeitverlauf nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ )



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 3 (A25/26/32)



(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 1x 1,8 SED (A25/26/32)



(d) Relativer Epidermisdickeverlauf der Subgruppe 3 (A25/26/32)

**Abb. 8.8 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 3** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (**PN: A25/26/32**); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 3 (A25/26/32) im Zeitverlauf



### 8.2.2 Subgruppen für die Kombination von Lichtschwiele- und Pigmentierungsfähigkeit nach sub-erythematösen UV-Einzelexpositionen

Nach einmaliger UV-Exposition mit 1,8 SED zeichneten sich, wenn auch weniger deutlich, analoge Subgruppen ab.

#### *Subgruppe 1:*

In Andeutung des Verlaufes wie bei Subgruppe 1 (nach fünfmaliger UV-Exposition – Studie „Gruppe B“) zeichnete sich ab 24 h/48 h nach Ende der Exposition ein Anstieg im mittleren MED-Wert während der ersten Woche ab. Auf dem Niveau verblieb der UV-Eigenschutz in der weiteren Beobachtungszeit. Nach nur einer Bestrahlung mit einem UVAB-Strahler mit sonnenähnlichem Spektrum unterhalb 360 nm (vgl. Anh. 1, Abb. 3) war durch 1,8 SED weder eine PPD-Reaktion (erst nach 5 - 7 Tagen abgeschlossen) noch eine IPD-Reaktion (UVA-Anteil im UV-Strahlerspektrum bezogen auf den erythem-wirksamen Anteil zu gering) zu erwarten. Die geringe Pigmentreaktion nach einer Woche dokumentierte sich in der minimalen Erhöhung des Farbwertes +b\*. Häufigere Expositionen in dieser Höhe hätten wahrscheinlich zu vergleichbaren Verhältnissen wie bei Subgruppe 1 der Studie „Gruppe B“ geführt. Weiterer Abklärung bedarf die Beobachtung, dass die relative minimale Erythemdosis 24 h nach der UV-Einzelexposition um etwa 20 % zurückging (Abb. 8.6 b). Die Erythemreaktion fiel intensiver aus als vor der UV-Einzelexposition. Ein Effekt, der auch für Subgruppe 3 (Gruppe A) zu verzeichnen war. Während im letzteren Fall die MED auf dem abgesenkten Niveau verblieb (Abb. 8.8 b), stieg sie für Subgruppe 1 wieder in den Bereich des Ausgangswertes.

#### *Subgruppe 2:*

In Subgruppe 2 stieg die MED analog zu Subgruppe 2 (Studie „Gruppe B“) innerhalb der ersten 24 h nach der UV-Exposition, um dann nach 48 h wieder zurückzugehen. Die UV-Eigenschutzerklärung blieb im Bereich 110 % bis 120 % der Ausgangs-MED (Abb. 8.7 b). Jedoch weder der Epidermisdickeverlauf noch der des Hautfarbwertes +b\* deuteten nachweislich auf eine Lichtschwielereaktion bzw. ein Melaninsynthese hin (Abb. 8.7 c-d).

#### *Subgruppe 3:*

Wie oben bereits ausgeführt, kam es bei Subgruppe 3 in den ersten 24 h nach der einmaligen UV-Exposition zu einer Erhöhung der Erythemempfindlichkeit. Die MED sank auf etwa 80 %. Im Weiteren verblieb die MED auf diesem erniedrigten Niveau (Abb. 8.8 b). Da keine Änderung im Pigmentierungsgrad nachgewiesen wurde (Abb. 8.8 c), wäre das Ergebnis verständlich. Der Verlauf der Epidermisdicke (sowohl relativ in Abb. 8.8 d, als auch absolut in Anh. 2, Abb. 13 d) würde auf eine Lichtschwielereaktion hindeuten.

Welche Einflussfaktoren für den Effekt des Ansteigens der Erythemreaktion und damit einer geringeren MED nach UV-Einzelexposition von 1,8 SED von Bedeutung sind, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. Offensichtlich treten diese Faktoren in ihrer Wirkung nach mehrfachen UV-Expositionen gegenüber den Effekten durch Pigmentierung und Lichtschwielereaktion in den Hintergrund. Es war festzustellen, dass dieses Absinken der MED sowohl bei Probanden des Hauttyps II mit geringer MED (A34 mit 180 J/m<sup>2</sup>) als auch mit relativ hoher MED (A32 mit 359 J/m<sup>2</sup>, A35 mit 300 J/m<sup>2</sup>) auftrat, aber auch beim Hauttyp III (A25 mit 480 J/m<sup>2</sup>).

Gleichermaßen war diese Hauttyp- und MED-Charakterisierung in der Subgruppe 1, die einen gewissen Anstieg des Eigenschutzes präsentierte, ebenso in dieser Breite zu finden.

Das in der Studie „Gruppe A“ für die Hauttyp- und MED-Charakterisierungen innerhalb der Subgruppen 1 bis 3 Gefundene war analog auch für die den Subgruppen der Studie „Gruppe B“ zugeordneten Probanden festgestellt worden.

Insgesamt war in der Studie „Gruppe A“ nach nur einmaliger sub-erythematöser UV-Einzelexposition mit 1,8 SED nach einem Tag erwartungsgemäß nur im Ausnahmefall (A25/26/34) eine Zunahme des Pigmentierungsgrades nachzuweisen. Auch die Messung nach 56 Tagen (8 Wochen) zeigte für die mittlere Farbwertdifferenz  $\Delta+b^*$  zwischen der UV-exponierten Rückenhaut und einem nichtexponierten Areal der Rückenhaut keine Änderung (Anh. 2, Abb. 14 b). Individuell waren aber die oben beschriebenen verschiedenen Verläufe zu erkennen. Obwohl es sich um eine sub-erythematöse UV-Bestrahlung handelte, zeigte sich einen Tag nach der Exposition durchgängig eine Verschiebung des Hautfarbparameters  $+a^*$  in Rotrichtung, jedoch unterschiedlich starker Ausprägung (Anh. 2, Abb. 14 a).

Demgegenüber fiel in Studie „Gruppe B“ die Rotverschiebung des Hautfarbparameters  $+a^*$  am Tag nach der fünften seriellen, sub-erythematösen UV-Bestrahlung mit je 1,8 SED geringer aus (Anh. 2, Abb. 15 a), was sich mit dem bereits zu diesem Zeitpunkt bestehenden UV-Eigenschutzzuwachs von im Mittel + 30 % erklären lässt. Aus dem Hautfarbwert  $+b^*$  ließ sich nach fünf sub-erythematösen UV-Expositionen mit 1,8 SED ein etwas deutlicherer Trend zu höherem Pigmentierungsgrad verglichen mit der UV-Einzelexposition ableiten (Anh. 2, Abb. 15 b).

### **8.3 Eigenschutzvermögen der Haut – Fazit für den Schutz vor UV-Expositionen**

Auf eine UV-Einzelexposition von  $H_{er} = 1,8$  SED, ob sie als sub-erythematöse Streustrahlung durch künstliche UV-Strahlung am Arbeitsplatz auftritt (diese UV-Exposition entspräche für die Haut – abhängig vom Spektrum der Strahlenquelle – etwa der zweifachen Grenzwertdosis für den 8-Stunden-Arbeitstag), oder ob als solare Tagesdosis für Gesicht, Hände, Arme (an den ersten warmen, aber bereits sonnenintensiven Nachwintertagen Ende April, Anfang Mai) reagiert die Haut:

- im Mittel ohne Eigenschutzreaktion.
- mit einer individuellen Spannbreite, angefangen von geringfügiger UV-Eigenschutzreaktion (+ 10 % der MED vor UV-Exposition), über weitgehend unveränderte Hautreaktion, bis zu geringfügig erhöhter Erythemempfindlichkeit mit einem Absinken der MED um etwa 20 %.

Erfolgt eine derartige UV-Exposition von  $H_{er} = 1,8$  SED seriell an fünf aufeinander folgenden Tagen, reagiert die Haut:

- kurzfristig im Mittel mit einem UV-Eigenschutzaufbau von + 30 % gegenüber der Ausgangs-MED.  
(Das entspricht aber lediglich einem LSF 1,3 oder einer Erhöhung der Schwellzeit für einen Sonnenbrand (UV-Erythem) von 25 min. auf 32 min. in Deutschland für Hauttyp II.)
- mittelfristig (nach 3 bis 8 Wochen) mit einem UV-Eigenschutzniveau von + 20 %.

- mit individueller UV-Eigenschutzreaktion, deren Ausmaß nicht primär vom Hauttyp oder der individuellen MED abhängt.

Beitrag der Komponenten des UV-Eigenschutzes der Haut auf das Schutzvermögen:

- individuell verschieden
- korreliert primär nicht mit UV-Hauttyp (nach FITZPATRICK) bzw. der individuellen MED
- 3 Subtypen der UV-Eigenschutzreaktion im Ergebnis der Studie „Gruppe B“, aber auch „Gruppe A“ (Eigenschutzangaben für 5 x 1,8 SED):
  - *Subgruppe 1* – Lichtschwielerreaktion und Pigmentierungsreaktion, UV-Eigenschutz: MED mittelfristig + 50 %, längerfristig + 20 %
  - *Subgruppe 2* – Pigmentierungsreaktion, kaum Lichtschwielerreaktion UV-Eigenschutz: MED mittel- und längerfristig + 25 %
  - *Subgruppe 3* – Lichtschwielerreaktion, kaum Pigmentierungsreaktion UV-Eigenschutz: MED kurzfristig +40 %, längerfristig 10 % bis 20 %

Insgesamt ist der Zuwachs zum natürlichen UV-Eigenschutz mit etwa + 30 % nach wiederholten sub-erythematösen UV-Expositionen durch Streustrahlung künstlicher UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz oder an extrem sonnigen Frühjahrstagen minimal.

Sub-erythematöse UV-Expositionen von 1,8 SED bewirken mit einem UV-Eigenschutzfaktor 1,3 an der Haut keine Schutzfunktion.

## 9 Zusammenfassung

Ziel des Forschungsprojektes war es, Aussagen zu den natürlichen Eigenschutzreaktionen der Haut auf UV-Strahlung zu gewinnen. Hintergrund war die Frage nach dem Einfluss von solaren UV-Expositionen auf die Haut und deren Eigenschutzverhalten bei ständig im Freien beschäftigten Arbeitnehmern im Verlauf des Jahres, insbesondere des Sommerhalbjahres. Inwieweit ist für diese Beschäftigtengruppen von einem veränderten UV-Eigenschutz der Haut gegenüber der lichtungsgewöhnten Haut von Innenbeschäftigten auszugehen? Für die nicht UV-adaptierte Haut von Innenbeschäftigten an Arbeitsplätzen mit dem Risiko einer UV-Exposition durch künstliche UV-Strahlenquellen existieren für den 8-Stunden-Arbeitstag wellenlängenabhängige Grenzwertdosen. Für die Haut von ständig im Freien Beschäftigten war das Ausmaß der Hautadaptation bezüglich der solaren UV-Strahlung im Sommerhalbjahr nicht bekannt. Deshalb fanden und finden diese Grenzwerte hier keine Anwendung.

Darüber hinaus bestand die Frage nach dem UV-Eigenschutzvermögen nichtadaptierter Haut auf eine sub-erythematöse UV-Einzelexposition bzw. auf eine Serie von sub-erythematösen UV-Expositionen an fünf aufeinander folgenden Tagen. Das entspricht der Situation von Außenbeschäftigten an den ersten warmen Tagen im Frühjahr mit aber bereits sehr erythemwirksamer Sonnenstrahlung bzw. der Situation für die Haut von Einsteigern in eine berufliche Tätigkeit ständig im Freien. Darüber hinaus entspricht es aber auch der Situation einer UV-Streustrahlungsexposition an Arbeitsplätzen mit künstlichen UV-Quellen, falls die Grenzwerte überschritten werden, aber noch unterhalb der UV-Erythemschwelldosis bleiben und so vom Beschäftigten die Grenzwertüberschreitung als solche nicht wahrgenommen wird. Unter diesem Gesichtswinkel erfolgten die Studien zu den UV-Eigenschutzreaktionen auf eine sub-erythematöse UV-Einzelexposition sowie auf serielle sub-erythematöse UV-Expositionen von 1,8 SED über einen Zeitverlauf von acht Wochen nach der Exposition.

Das UV-Eigenschutzverhalten der Haut und deren wesentlichen Komponenten Melaninpigmentierung und Lichtschwielereaktion wurden bezüglich der Akutreaktion UV-Erythem untersucht. Aussagen zu chronischen Effekten durch die UV-Strahlung sind daraus nur begrenzt möglich.

Als Charakteristikum für den UV-Eigenschutz diente die minimale Erythemdosis MED. Sie wurde photodiagnostisch mittels solarsimulierter Strahlung (UV-VIS-IR) ermittelt.

Der Pigmentierungsgrad der Haut wurde qualitativ chromametrisch über den Hautfarbwert  $+b^*$  erfasst.

Für die Untersuchung des Ausmaßes der Lichtschwielereaktion erfolgten nicht-invasive Bestimmungen der Epidermisdicke mittels Optischer Kohärenztomografie OCT. In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Klinisches Monitoring und Sensoring / TU Dresden konnte das OCT-Verfahren für den Routineeinsatz von Epidermisbewertung und automatisierter Dickenmessung weiterentwickelt und durch die AG KSM in der Dermatologie/TU Dresden zum Einsatz gebracht werden.

Die individuellen UV-Expositionen, welche die Eigenschutzreaktionen bei den untersuchten Probanden bewirkten, wurden personendosimetrisch im Rahmen eines kontinuierlichen UV-Personenmonitoring erfasst. Simultan wurde die solare Globalstrahlung gemessen. Dazu wurde die UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden um ein Doppelmonochromator-Spektralradiometer und aktinische Breitbandradiometer der BAuA Dortmund erweitert.

Mittels Spektralradiometertechnik der BAuA Dortmund wurden auch die Phototherapiegeräte und das Präzisionsoptometer mit Erythemsensor für die definierten Applikationen der sub-erythematischen UV-Exposition von 1,8 SED gemessen und kalibriert.

Zu den UV-Eigenschutzreaktionen der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern mit ständiger Tätigkeit im Freien im Verlauf des Jahres ergaben sich folgende Resultate:

- Die solaren UV-Expositionslevel unter Alltagsbedingungen bilden bei den ganzjährig im Freien Beschäftigten der UV-Toleranztypen II und III (zu diesen Hauttypen sind rund 90 % der deutschen Bevölkerung zu rechnen) keinen deutlichen UV-Eigenschutz gegen das UV-Erythem aus!!!  
(weder durch die Pigmentierung noch durch die Lichtschwiele und somit im UV-Gesamteigenschutz)
- Eigenschutzanstieg: etwa 1,5-fach (vergleichbar: LSF 1,5).
- Die bisherige Annahme, dass sich ein UV-Eigenschutz im Bereich 10 – 40-fach aufbauen würde, beruht offensichtlich auf der Fehlinterpretation einer Forschungsarbeit.

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

- Es besteht trotz regelmäßigen Aufenthaltes im Freien immer ein latentes Sonnenbrandrisiko.
- Ständig im Freien beschäftigte Arbeitnehmer arbeiten weitgehend mit textil geschütztem Oberkörper.
- **Unter dem textilen Lichtschutz (etwa UPF 4 bis 8) wird kein UV-Eigenschutz aufgebaut.**

Die MED bleibt im Jahresverlauf weitgehend unverändert.

- Die Haut, auf die jeden Arbeitstag Lichtschutzmittel mit LSF 40 aufgetragen wurde, und die sich unter dem textilen Schutz befand, müsste ebenfalls auf dem Ausgangsniveau der MED Ende des Winters verbleiben. Der zu den Untersuchungsterminen ermittelte Anstieg auf etwa 125 % des Ausgangswertes ist vermutlich auf verbleibende Reste der Lichtschutzsubstanz auf der Haut nach dem Abwaschen, insbesondere auf die Titandioxid-Mikropigmente, zurückzuführen.
- **Bei vorhandenem Pigmentierungsvermögen (Hauttyp II-III, III) und Sonnenexposition auf den Rücken (besonders in der Freizeit) ist ein Eigenschutzzuwachs auf etwa 200 % möglich (entspricht Lichtschutzfaktor LSF 2).**
- Für den geringfügigen Zuwachs des UV-Eigenschutzes der ständig im Freien Beschäftigten ist die Erhöhung des Pigmentierungsgrades verantwortlich.
- **Typischerweise bildet sich keine Lichtschwiele aus.**

Es wurden sowohl im Durchschnitt als auch individuell keine Erhöhungen der Epidermisdicke um mehr als 5 % bis 10 % festgestellt.

- In zwei Ausnahmefällen deutete sich eine Lichtschwielereaktion durch höhere UV-Expositionen (insbesondere aus Freizeitexpositionen) an. Es handelte sich um zwei der drei Probanden mit Eigenschutzzuwachs bis zu 200 % der Ausgangs-MED bei stärkerer Pigmentierung. Die beiden Probanden mit UV-Hauttyp II-III wiesen Epidermisverdickungen von +10 % bis + 15 % aus.
- In einer weiteren Studie mit 12 Probanden ständig im Freien Beschäftigter des Hauttyps II (n = 9) und des Hauttyps III (exemplarisch n = 3) wurde die weitgehend fehlende Lichtschwielereaktion bestätigt. Der geringe bis moderate Anstieg des Pigmentierungsgrades entsprach in zeitlichem Verlauf und Ausmaß im Wesentli-

chen den Ergebnissen der erstgenannten Gruppe ständig im Freien beschäftigter Arbeitnehmer.

Es bestätigten sich die geringen UV-Eigenschutzreaktionen für ständig im Freien Beschäftigte, die nur zu einem Eigenschutzfaktor  $< 2$  führen.

- **Auch Haut ohne textilen Lichtschutz bzw. ohne Lichtschutzcreme entwickelt keinen UV-Eigenschutz mit einem Faktor  $> 2$ , sondern von durchschnittlich 1,5**, wenn sie den werktäglichen solaren UV-Expositionen von ständig im Freien Beschäftigten ausgesetzt ist.

Zu diesem Ergebnis führten UV-Eigenschutzuntersuchungen an nichtadaptierter Haut von Innenbeschäftigten. Deren Rückenhaut wurde auf einer Seite regelmäßig mit solarsimulierter UV-Strahlung in einer Dosierung exponiert, die den mittleren Personendosen im Gesicht von Bauarbeitern im Verlauf von Anfang März bis Ende September entsprach. Die zweite Rückenhälfte wurde als nichtexponierte Kontrolle untersucht und entsprach einem Innenbeschäftigten.

- **Der typische Sommerurlaub eines Innenbeschäftigten über drei Wochen baut einen vergleichbaren UV-Eigenschutz an der Haut auf, wie er sich bei ständig im Freien Beschäftigten von März bis Juli aufbaut.**

Im Urlaub werden von den Menschen bewusst oder unbewusst höhere UV-Expositionen zugelassen, die bis an die Grenze zum UV-Erythem reichen, ggf. sogar darüber liegen. Das führt zu dem deutlich schnelleren und höheren UV-Eigenschutzzuwachs (s. o.), verglichen mit der Situation bei Arbeitstätigkeit im Freien.

- Die Daten aus der Simulation der Bedingungen für die Haut im Freien Beschäftigter stimmen mit denen der beiden Studien an tatsächlich ständig im Freien Beschäftigten bezüglich der Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke und Pigmentierungsgrad in Zeitverlauf und Ausmaß über das Jahr überein.

Damit können die Ergebnisse als übertragbar angesehen werden.

- Das gilt auch für den Bezug der Ergebnisse vom Rücken auf den Eigenschutz der nichtexponierten Gesäßregion. Ohne Melaninpigmentierung führt eine etwa 33 % höhere Epidermisdicke am Gesäß zu einer 0,65-fachen UV-Erythemempfindlichkeit. Die mittlere MED liegt um das 1,5-Fache höher. Das gilt sowohl für Innen- als auch für Außenbeschäftigte.

- Um am Rücken eine geringfügige bleibende Melaninpigmentierung gemäß 1 MTD (= 1 minimale Bräunungsdosis: erzeugt ein minimales, gleichmäßiges, gegenüber den benachbarten Hautarealen deutlich abgegrenztes pigmentiertes Hautareal) durch eine UV-Einzelexposition zu generieren, muss zuvor im Mittel eine erythemwirksame Bestrahlung entsprechend 1,5 MED appliziert werden.

Bei bereits in der Epidermis vorhandenem Melanin, das durch den UVA-Anteil der Solarstrahlung photooxidativ gedunkelt werden kann, ist der Pigmentierungsgrad für 1 MTD bereits bei niedrigeren erythem-effektiven Bestrahlungen mit 1,2...1,3 MED im Sommer(-urlaub) erreicht.

- Die von den Probanden angegebene Verwendung von Lichtschutzsubstanzen betrifft offensichtlich vorrangig das Gesicht, kaum Hände und Arme. Obwohl Stirn und Handrücken im Sommerhalbjahr nahezu den gleichen Anteil biologisch-wirksamer Solarstrahlung als UV-Personendosis akkumulieren und die Stirn etwa viermal effektiver pigmentieren müsste, ist eine deutlich schwächere Zunahme der Pigmentierung im Sommerhalbjahr für alle außen- und innenbeschäftigten Probanden für das Gesicht gegenüber dem Handrücken zu verzeichnen.

- Permanente Verdickungen der Epidermis können offensichtlich auch durch mechanische Schwielereaktionen ausgelöst werden. Die deutlich geringer solarexponierte Epidermis der inneren Unterarm-Beugeseite zeigte für alle Probanden – Innenbe-

schäftigte wie auch Außenbeschäftigte – durchgängig eine höhere Dicke gegenüber der im Sommerhalbjahr ständig solarexponierten äußeren Unterarm-Streckseite. Grund könnte das regelmäßige Auflegen der Unterarme auf Tischkanten und -flächen sein.

Derartige mechanische Schwielen erklärten auch die permanent höhere Epidermisdicke der Handrücken ( $\approx +50\%$ ) von ständig im Freien manuell beschäftigten Arbeitnehmern (Bauarbeiter, Gärtner, GaLaBau) im Vergleich zu den Werten der Untersuchung an hautgesunden, sich vorrangig nicht im Freien aufhaltenden Probanden ( $n = 70$ ).

- Bisher wurde für die Lichtschwielereaktion angenommen, dass diese Komponente des UV-Eigenschutzes bereits bei UV-Expositionen weit unter der minimalen Erythemdosis einsetzt.

**Es konnte eine Dosis-Wirkungs-Beziehung für die Lichtschwielereaktion ermittelt werden.**

**Im Ergebnis wurde festgestellt, dass eine Lichtschwielereaktion erst bei individuell 0,9...1,1 MED mit signifikantem Epidermisdickezuwachs einsetzt.**

Dieses Ergebnis ist für die untersuchten Probanden der Hauttypen II und III geprüft worden. Es gilt sowohl für schwach vorexponierte „Winterhaut“ im Februar bzw. März als auch für die stärker exponierte Haut am Ende des Sommers im September bzw. Oktober.

- Durch UV-Expositionen unterhalb der individuellen Sonnenbrandschwelle (1 MED) wird die Lichtschwielereaktion als UV-Eigenschutzreaktion nicht ausgelöst. Das erklärt, weshalb sie nicht an der Haut der Probanden, die den UV-Expositionsbedingungen von Arbeitsplätzen im Freien ausgesetzt waren, nachgewiesen werden konnte:
  - Mittlere arbeitstägliche Personendosen für Gesicht, Hände, Unterarme liegen bei 1 SED/d.
  - 1 SED/d entspricht für das Gesicht eines typischen Hauttyps II etwa 0,4 MED, für das eines typischen Hauttyps III etwa 0,3 MED, also deutlich unter 1,0 MED.
  - 1 SED/d entspricht für die Handrücken (diese sind viermal unempfindlicher als das Gesicht) eines typischen Hauttyps II etwa 0,1 MED, für die eines typischen Hauttyps III etwa 0,075 MED.

**Die mittleren UV-Personendosen für Gesicht und Handrücken von Außenbeschäftigten liegen also deutlich unter 0,9-1,1 MED, der Auslöseschwelle für eine signifikante Lichtschwielereaktion.**

- **Einzelne und wiederholte UV-Expositionen im Bereich 1 MED und höher lösen nachweislich deutliche Lichtschwielereaktionen aus.**
- Jeder einzelne Sonnenbrand am Arbeitsplatz (und generell) ist zu vermeiden und die im Freien Beschäftigten sind bestrebt Sonnenbrände zu vermeiden. Damit setzt, wie in den Studien ermittelt, keine Lichtschwielereaktion für die im Freien Beschäftigten in mitteleuropäischen Breitengraden ein.
- **Die Lichtschwielereaktion entfällt als UV-Eigenschutzkomponente für ständig im Freien beschäftigte Arbeitnehmer.**

Für Aufbau und Beständigkeit des natürlichen UV-Eigenschutzes der Haut gegenüber einzelnen und seriellen sub-erythematösen UV-Expositionen wurde ermittelt:

- **Eine UV-Einzelexposition von  $H_{er} = 1,8$  SED löste im Mittel über die untersuchte Probandengruppe keine UV-Eigenschutzreaktion der Haut aus.**
- 1,8 SED sind vergleichbar mit der mittleren UV-Personendosis, die auf Gesicht, Hände, oder Arme von im Freien Beschäftigten an einem Sonnentag Ende April,

Anfang Mai einwirkt. Die Haut ist noch nicht UV-adaptiert, die Sonnenstrahlung aber bereits deutlich erythem-wirksam.

1,8 SED sind auch vergleichbar mit der Situation an einem Arbeitsplatz mit Streustrahlung durch eine künstliche UV-Quelle, die den zulässigen 8-Stunden-Grenzwert für die Haut etwa zweifach überschreitet (abhängig vom Spektrum der UV-Quelle), aber noch unter der UV-Erythemschwelle liegt und damit vom Arbeitnehmer unbemerkt bleibt.

- Individuell ließen sich drei Reaktionstypen gruppieren, die sich im Ansprechen der UV-Eigenschutzkomponenten unterscheiden, was bei den seriellen UV-Expositionsuntersuchungen noch deutlicher zu Tage trat.
- **Auf UV-Expositionen von je  $H_{er} = 1,8$  SED über fünf Tage** reagiert die Haut innerhalb der ersten zwei Tage nach Ende der Expositionen im Mittel mit einem **UV-Eigenschutz Aufbau von + 30 %** gegenüber der Ausgangs-MED vor der ersten Bestrahlung.  
(Das ist vergleichbar mit lediglich einem LSF 1,3 oder einer Erhöhung der Schwellzeit für einen Sonnenbrand (UV-Erythem) bei Personen des Hauttyps II von 25 min. auf 32 min. in Deutschland.)
- Mittelfristig (nach 3 bis 8 Wochen) verbleibt das UV-Eigenschutzniveau auf + 20 %.
- Innerhalb der untersuchten Probandengruppe wurden drei Eigenschutzreaktionstypen bezüglich zeitlichem Verlauf und Intensität des Eigenschutzes und seiner Komponenten festgestellt.
- Die Zuordnung zu diesen Subgruppen korreliert primär nicht mit dem Hauttyp (nach Fitzpatrick) bzw. der individuellen MED.
- **3 Subtypen der UV-Eigenschutzreaktion** zeichneten sich im Ergebnis der Studie „Gruppe B“, aber auch „Gruppe A“, wie folgt ab (Eigenschutzangaben gelten für seriell 5x 1,8 SED):
 

<b>- Subgruppe 1</b>	<b>Lichtschwielereaktion und Pigmentierungsreaktion</b>
UV-Eigenschutz:	<b>MED mittelfristig + 50 %, längerfristig + 20 %</b>
<b>- Subgruppe 2</b>	<b>Pigmentierungsreaktion, kaum Lichtschwielereaktion</b>
UV-Eigenschutz:	<b>MED mittel- und längerfristig + 25 %</b>
<b>- Subgruppe 3</b>	<b>Lichtschwielereaktion, kaum Pigmentierungsreaktion</b>
UV-Eigenschutz:	<b>MED kurzfristig + 40 %, längerfristig 10 % bis 20 %</b>
- **Sub-erythematöse UV-Expositionen von 1,8 SED, auch mehrfach, bewirken mit einem UV-Eigenschutzfaktor 1,3 an der Haut keine nennenswerte Schutzfunktion.**

Es sei aber noch einmal darauf hingewiesen, dass die hier untersuchten UV-Eigenschutzreaktionen sich auf den nachfolgenden Schutz vor dem Akuteffekt UV-Erythem richten.

Bis sich der Eigenschutz durch die erhöhten UV-Expositionen im Bereich der minimalen Erythemdosis oder darüber ausgebildet hat, kommt es zu erheblichen DNA-Schäden. Das Ausmaß der DNA-Schäden wäre abzuklären.

Ob es nach ausgebildetem, deutlichem Erythem-Eigenschutz durch Lichtschwiele und Pigmentierung auch nachfolgend zu geringeren DNA-Schäden käme, war nicht Gegenstand dieser Untersuchungen. Dieser Punkt ist aber eine wesentliche Fragestellung für die Effektivität des UV-Eigenschutzes auf lebenslange Sicht der im Freien Beschäftigten.

Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf zum UV-Schutz gegen langfristige UV-Schäden.



## 10 Ausblick

Die solaren UV-Expositionen, denen die Haut ständig im Freien beschäftigter Arbeitnehmer ausgesetzt ist, bewirken im Verlauf des Sommerhalbjahres durch den natürlichen UV-Eigenschutz der Haut mit einem Faktor lediglich  $\leq 2$  nur einen minimalen Schutz. Das Fazit aus diesem BAuA-Forschungsprojekt trifft auf die untersuchten, typischen Außenbeschäftigten der UV-Hauttypen II und III zu (definitiv auch auf den Hauttyp I). Etwa 80 % - 90 % der ständig im Freien beschäftigten Arbeitnehmer sind den Hauttypen II und III zuzurechnen.

Bisher ging man von einem weit höheren Eigenschutzaufbau durch die Haut im Verlauf des Sommerhalbjahres aus (dabei handelte es sich jedoch um eine Fehlannahme, vgl. Kap. 2.). Die existierenden Grenzwerte für den 8-Stunden-Arbeitstag bezüglich künstlicher UV-Strahlenquellen wurden deshalb für die Tätigkeit im Freien als zu strenge Anforderung gesehen, weil für diese Grenzwerte der lichtungewöhnte Winterzustand der Haut zugrunde gelegt worden war.

Die derzeit gültige EU-Richtlinie 2006/25/EC „...über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung)“ und der Entwurf einer Unfallverhütungsvorschrift BGV B9 „Künstliche Optische Strahlung“ beinhalten derzeit ausschließlich Richtlinien für den gesundheitlichen Schutz vor künstlicher optischer Strahlung. Arbeitsplätze, an denen Arbeitnehmer der solaren UV-Exposition ausgesetzt sind, sind darin nicht eingeschlossen.

Das zentrale Ergebnis dieses BAuA-Forschungsprojektes ist, dass die Haut von ständig im Freien beschäftigten Arbeitnehmern keinen bedeutsamen Eigenschutz gegen die solare UV-Strahlung ausbildet. Vor diesem Hintergrund müsste der Gesundheitsschutz für solarexponierte Arbeitsplätze sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene wieder in den Fokus gerückt werden. Voraussetzung dafür ist eine entsprechende wissenschaftliche Basis. Einen gewissen Betrag dazu konnten die BAuA-Projekte F 1777 und F 1986 leisten.

Im BAuA-Forschungsprojekt F 1777 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ konnte das durch die solare Exposition erhöhte Ausmaß der UV-Jahresdosis bei ständig im Freien beschäftigten Arbeitnehmern nachgewiesen werden.

- Ständig im Freien Beschäftigte werden im Jahr mehr als doppelt so stark solar UV-exponiert verglichen mit dem mittleren Wert von der übrige Bevölkerung, der durch deren sehr hohe Urlaubsexpositionen bestimmt ist.
- Das arbeitstägliche UV-Expositionsniveau von ständig im Freien Beschäftigten beträgt 300 % bis 1000 % von dem der Innenbeschäftigten.
- Die arbeitstäglichen UV-Expositionen bilden anteilig den Schwerpunkt für die UV-Jahresexposition.

Die Ergebnisse des hier vorgestellten BAuA-Forschungsprojektes F 1986 weisen aus, dass die o. g. hohen arbeitstäglichen UV-Personendosen von Außenbeschäftigten keinen nennenswerten UV-Eigenschutz an der Haut bewirken. Diese natürliche Schutzreaktion der Haut setzt erst signifikant mit der Sonnenbrandschwelle ein.

Sie stellt damit keine Schutzkomponente dar.

**Diese Forschungsergebnisse belegen, dass ein effektiver Schutz der Haut, aber auch der Augen, an solar UV-exponierten Arbeitsplätzen unumgänglich ist.**

Für die Gewährleistung des gesundheitlichen Schutzes der Arbeitnehmer an Arbeitsplätzen im Freien mit solarer UV-Exposition besteht weiterer Forschungsbedarf.

Es sollten pragmatische, technische und organisatorische Schutzkonzepte entwickelt bzw. weiterentwickelt werden. Bestehende Schutzmaßnahmen sollten daraufhin überprüft werden, inwieweit sie effizient für den Außenbeschäftigten sind. Die Arbeitsfähigkeit darf nicht beeinträchtigt werden. Es ist die Akzeptanz am Arbeitsplatz zu prüfen. Weiterhin müssten diese Konzepte auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten vertretbar sein.

Es sollte eine praktische Untersuchung der Wirksamkeit der Bekleidung als „persönliche Schutzausrüstung“ vor solarer UV-Exposition erfolgen.

In den beiden BAuA-Forschungsprojekten konnte bereits als Ergebnis aus den Verhaltensanalysen auf einen positiven Ansatzpunkt verwiesen werden: Mehrheitlich wird von den Außenbeschäftigten nicht nur wegen der mechanischen Verletzungsgefahr, sondern auch wegen der Sonnenbrandgefahr über das ganze Sommerhalbjahr mit bekleidetem Oberkörper gearbeitet. Hier wäre u. a. anzusetzen, textilen Sonnenschutz herkömmlicher Materialien auf ausreichende Schutzfunktion an diesen Arbeitsplätzen zu untersuchen. Alternativ stehen neue Materialien mit hoher UV-Schutzwirkung zur Verfügung. Es muss die Effektivität der Kleidung unter praktischen Bedingungen mittels UV-Personenmonitoring (auf der Kleidung, unter der Kleidung am Körper) geprüft werden, aber ebenso der Tragekomfort bei körperlicher Arbeit.

Analoge Untersuchungsanforderungen bestehen für Kopfbedeckungen mit optimalem Schutz der Gesichts- und Nackenhaut sowie einem Blendschutz der Augen. Für den direkten Schutz der Augen vor zu hohen Einwirkungen solarer UV-Strahlung und Strahlung im sichtbaren Bereich sind auch Untersuchungen zu einem optimalen Augenschutz durch Sonnenbrillen durchzuführen.

Es sollten neue Schutzkonzepte entwickelt werden. Komponenten zum Schutz vor zu hohen solaren UV-Expositionen am Arbeitsplatz sollten auf ihre Effizienz untersucht werden. Das Verständnis für derartige erforderliche Maßnahmen zum Schutz von Haut und Augen vor gesundheitlichen Akutschäden, aber auch vor Spätschäden, muss vor der Einführung der Schutzkonzepte stehen – bei Arbeitgebern und Arbeitnehmern gleichermaßen. Den Stand dieses Wissens bundesweit zu ermitteln und auf dieser Basis Schulungsangebote zu erarbeiten ist ein weiterer wesentlicher Punkt in der Entwicklung des Gesundheitsschutzes für Arbeitsplätze, die der solaren UV-Strahlung ausgesetzt sind.

Zusammengefasst besteht der folgende Forschungs- und Entwicklungsbedarf für den Gesundheitsschutz solar UV-exponierter Arbeitsplätze:

- Weiterbildungskonzepte und -maßnahmen als UV-Schutzkomponente
- Effizienz von technischen Maßnahmen zur UV-Expositionsvermeidung
- Effizienz organisatorischer Maßnahmen zur Vermeidung erhöhter solarer UV-Expositionen
- „Persönliche Schutzausrüstung“ – Untersuchungen von Bekleidung zur Reduktion individueller UV-Expositionen von Haut und Augen

- Untersuchungsmethode zur Effektivität von textilem Hautschutz gegen solare UV-Strahlung – „in vitro“ und „in vivo“
- Textilgewebe-Transmission unter Tragebedingungen im (beruflichen) Alltag – Akzeptanz von UPF-Kleidung an solar exponierten Arbeitsplätzen im Langzeiteinsatz
- Messung der Schutzwirkung von Kopfbedeckung zum Haut- und Augenschutz
- Augenschutz durch Sonnenbrillen gegen solare UV-Strahlung und Blendung
- Anzeigedisplay mit dem momentanen UV-Index an Arbeitsstätten – Informationsbasis für individuelle UV-Schutzmaßnahmen vor Ort
- Natürlicher Eigenschutz
  - Bei welcher UV-Dosis setzt er verstärkt und in welchem Maße ein?
  - In welchem Umfang werden dabei DNA-Schäden gesetzt?

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

Resultate aus derartigen weiterführenden Untersuchungen zu den UV-Wirkungen auf Arbeitnehmer an solar UV-exponierten Arbeitsplätzen sind ebenso dringend erforderlich wie Untersuchungen zur Effizienz von Schutzkonzepten für diese Arbeitsplätze. Gemeinsam mit den hier vorgestellten Forschungsergebnissen wären sie Teil einer Basis, um zukünftige Richtlinien zum Gesundheitsschutz solarexponierter Arbeitsplätze wissenschaftlich zu untermauern.

## 11 Literaturverzeichnis

**Andersen, Ph., Abrams, K., Maibach, H.:** Ultraviolet B dose-dependent inflammation in humans: a reflectance spectroscopic and laser Doppler flowmetric study using topical pharmacologic antagonists on irradiated skin. *Photoderm. Photoimmunol. Photomed.* 9 (1992), 17-23

**Aschoff, R., Koch, E., Meurer, M., Knuschke, P.:** Optical biopsies in dermatology by Optical Coherent Tomography (OCT). 36th Annual European Society for Dermatological Research (ESDR) Meeting, Paris/F, 07.-09.09.2006, *J. Invest. Dermatol.* 126 (2006) 113

**Aschoff, R., Knuschke, P., Meurer, M. F.:** Optical Coherence Tomography – a new and highly sensitive non-invasive method for the determination of epidermal thickness. *J. Invest. Dermatol.* 127 (2007), Suppl. 1, 73

**BGV B9 Unfallverhütungsvorschrift:** Künstliche optische Strahlung (Abgestimmter Fachausschussentwurf Januar 2003)

**Boggett, D., Blond, J., Rolfe, P.:** Laser Doppler Measurements of blood flow in skin tissue. *J. Biomed. Eng.* 7 (1985), 225-232

**Braun-Falco, O., Plewig, G., Wolff, H.H.:** *Dermatologie und Venerologie*, Springer-Verlag Berlin. (1996), 495 ff.

**CIE Publication:** Colorimetry. Uniform colour space. (1986), 29-32

**CIE Publication 1987:** Internationales Wörterbuch der Lichttechnik – IEC Publication 50, chapter 845: Lichttechnik

**Cuevas, M., Knuschke, P., Krüger, A., Koch, E.:** UV-induced skin thickening in outdoor workers throughout the year analyzed by automatic OCT image segmentation. *Skin Res. Technol.* (2009), submitted

**DIN 67501:** Experimentelle Bewertung des Erythemschutzes von externen Sonnenschutzmitteln für die menschliche Haut. (1999)

**Dourmishev, L., Knuschke, P., Barth, J.:** Colour measurement of immediate darkening phenomenon. *Dermatol. Venerol.* 33 (1994), 8-12

**Essex, T.J.H., Byrne, P.O.:** A laser Doppler scanner for imaging blood flow in skin. *J. Biomed. Eng.* 13 (1991), 189-194

**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

**Farr, P.M., Besag, J.E., Diffey, B.L.:** The time course of UVB and UVC erythema. *J. Invest. Dermatol.* 91 (1988) 5, 454-457

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

**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., Pinzer, B.:** Prospective Documentation of UV-Exposure in Phototherapy. Environmental UV-Radiation, Risk of Skin Cancer and Primary Prevention, Hamburg, 6.-8.5.1996. In: Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 34, Environmental UV-Radiation, Risk of Skin Cancer and Primary Prevention, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm, 1996, Gustav Fischer, 376

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

**Knuschke, P., Unverricht, I., Ott, G., Janssen, M.:** Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Dortmund/Berlin/Dresden: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2007, Forschung F 1777; ISBN 978-3-88261-060-4

**Knuschke, P., Bauer, A., Lehmann, B., Loos, A., Meurer, M.:** Effectiveness of the UV-induced vitamin-D-production in the epidermis of different anatomical locations. *Dermatol. Estet.* 11 (2009) 5, 434-435

**Kolias N, Baqer A, Sadiq I.:** Minimum erythema dose determination in individuals of skin type V and VI with diffuse reflectance spectroscopy. *Photoderm. Photoimmunol. Photomed.* 10 (1994), 249-254

**Krüger, A., Schwabe, T., Cuevas, M., Knuschke, P., Koch, E.:** Measurement of the Epidermal Thickness with Fourier Domain Optical Coherence Tomography in an Occupational Health Study on Natural Sun Protection of the Human Skin, in: *Advances in Medical Engineering*, Editors: T.M. Buzug, D. Holz, S. Weber, J. Bongartz, M Kohl-Bareis, U. Haltmann, Springer Proceedings in Physics 114 (2007), 349-353, ISBN 978-3-540-68763-4

**Lahti, A., Kopola, H., Harila, A., Myllylä, R., Hannuksela, M.:** Assessment of skin erythema by eye, laser Doppler flowmeter, spectroradiometer, two-channel erythema meter and Minolta Chromameter. *Arch. Dermatol. Res.* 285 (1993), 278-282

**Miescher, G.:** Das Problem des Lichtschutzes und der Lichtgewöhnung. *Strahlentherapie* 35 (1930), 403-443

**Niazi, Z. B. M., Essex, T. J. H., Papini, R., Scott, D., McLean, N. R., Black, M. J. M.:** New laser Doppler scanner, valuable adjunct in burn depth assessment. *Burns* 19 (1993), 485-489

**Olson, R. L., Sayre, R. M., Everett, M. A.:** Effect of anatomic location and time on the ultraviolet erythema. *Arch. Dermatol.* 93 (1966), 211-215

**Popp, A., Schwabe, G., Knuschke, P., Koch, E.:** Markov chain based algorithm for measuring epidermal thickness in optical coherence tomography images of the human skin. *Biomedizinische Technik* 51 (2006a)

**Popp, A., Schwabe, G., Knuschke, P., Koch, E.:** Optische Kohärenztomographie der Haut zur Bestimmung der Epidermisverdickung als Eigenschutz gegen UV-Strahlung. In: *Dresdner Beiträge zur Medizintechnik: 1. Dresdner Medizintechnik-Symposium*, R. Poll, J. Füssel, Ed., TUDpress, Dresden. (2006b), 108-112

**Popp, A., Wendel, M., Knels, L., Knuschke, P., Mehner, M., Koch, T., Boller, D., Koch, P., Koch, E.:** Common-path Fourier domain optical coherence tomography of irradiated human skin and ventilated isolated rabbit lungs. *Proceedings SPIE*, 5861 (2005), 145-153 (ISSN 1605-7422)

**Schmolke, B., Aschoff, R., Knuschke, P., Richter, G.:** Objektivierung der Bestimmung der minimalen Erythemdosis. 39. Tagung Deutsche Dermatologische Gesellschaft, Karlsruhe, 23.04.-26.04.1997, *Hautarzt* 48 [Suppl 1] (1997), 103

**Selgrade, M. J. K., Smith, M. J., Oberhelman-Bragg, L. J., LeVee, G. J., Koren, H. S., Cooper, K. D.:** Dose Response for UV-induced Immune Suppression in People of Color: Differences Based on Erythematous Reactivity Rather than Skin pigmentation. *Photochem. Photobiol.* 74 (2001), 88-95

**Unverricht, I., Knuschke, P.:** Verhalten von im Freien Beschäftigten gegenüber solarer UV-Strahlung in Beruf und Alltag. *Dermatol. Beruf Umwelt* 55 (2007), 159-166

**Wardell, K., Jakobsson, A., Nilsson, G. E.:** Laser Doppler perfusion imaging by dynamic light scattering. *IEEE Trans Biomed. Eng.* 40 (1993), 309-316

**Wezel, J., Bruhns, M., Wolf, H. H.:** Optical coherence tomography in contact dermatitis and psoriasis. Arch. Dermatol. Res. 295 (2003), 50-55

**Wezel, J.:** Optical coherence tomography in dermatology: a review. Skin Res. Technol. 7 (2001), 1-9

**Wezel, J.:** Optische Kohärenztomographie – ein neues nicht-invasives Verfahren zur morphologischen Darstellung der Haut. Akt. Dermatol. 26 (2001), 174-177

## 12 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AG	Arbeitsgruppe
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CIE	Internationale Beleuchtungskommission ((frz.:) Commission Internationale de l'Éclairage)
FA	Facharbeiter
Fa.	Firma
GaLaBau	Garten- und Landschaftsbau
Gr.	Gruppe (für Studien „Gruppe 1“, „Gruppe 2“, „Gruppe 3“, „Gruppe A“ und „Gruppe B“)
GS	Globalstrahlung
ICNIRP	International Committee for Non-Ionisation Radiation Protection
IPD	immediate pigment darkening (Sofortpigmentierung, vorrangig durch UV-A-Strahlung)
IR	Infrarot-Strahlung
Kap.	Kapitel
KSM	Klinisches Sensing und Monitoring
KW	Kalenderwoche
li	links
LDI	Laser-Doppler-Imager
LSF	Lichtschutzfaktor (gleichbedeutend mit SPF: sun protection factor)
LT	Lichttest (photodermatologische Lichttestung)
LT-Feld	Lichttestfeld – Feld für definierte UV-Applikation zur MED/MTD-Bestimmung
MED	Minimale Erythemdosis
MED(24h)	Dosiswert der MED 24 Stunden nach LT-Bestrahlung bestimmt (andere Zeitpunkte analog)
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
Mon.	Monat
MPD	minimale phototoxische Dosis
MS	Microsoft
MTD	minimal tanning dose (minimale Hautbräunungsdosis)
MTD(8d)	Dosiswert der MTD 8 d nach LT-Bestrahlung (andere Zeitpunkte analog)
MW ± SD	Mittelwert ± Standardabweichung
NMSC	Non Melanoma Skin Cancer (Nicht-Melanom-Hautkrebs)
OCT	Optische Kohärenztomographie (optical coherent tomography)
o. g.	oben genannt
PN	Personennummer
PPD	persistent pigment darkening (verzögert auftretende, bleibende Melaninpigmentierung; vorrangig durch UV-B-Strahlung)
PSF	Polysulfonfilm
re	rechts
s.	siehe
Sitz.	Durchnummerierte Untersuchungssitzung einer Studie
SSR	solar simulated radiation – Solarsimulatorstrahlung



SSR-LT	Solarsimulator-Lichttestung
Tab.	Tabelle
TU	Technische Universität
u. a.	und andere[s]
UK	United Kingdom
UPF	UV-protection factor (UV-Schutzfaktor von Kleidung)
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)
UVR	ultraviolet radiation; hier auch als Abkürzung für: UV-Exposition
VIS	visible optical radiation, sichtbare optische Strahlung
vgl.	vergleiche
WE	Wochenendtag
WT	Werktag/Arbeitstag
ZR od. ZB	Fünf Zeiträume oder Zeitbereiche für die Erfassung und Auswertung der UV-expositionsrelevanten Daten und UV-Expositionen

### Größen und Maßeinheiten:

a	Jahre
a*	+a* Rot-Komponente -a* Grün-Komponente
b*	+b* Gelb-Komponente -b Grün-Komponente
d	Tage
E <sub>er</sub>	erythem-effektive Bestrahlungsstärke
h	Stunden
H <sub>ICNIRP</sub>	effektive Bestrahlung bezüglich der gesundheitsschädigenden UV-Wirkung auf den Menschen
H <sub>er</sub>	erythem-effektive Bestrahlung
L*	Farbhelligkeit
L* a* b*	Farbmaßsystem
n	Anzahl
Pixel	Längenmaß auf OCT-Bild in Y-Richtung bezogen auf 400 Pixel der gesamten Bildhöhe
SED	Standard-Erythemdosis (H <sub>er</sub> = 1 SED = 100 J/m <sup>2</sup> erythem-effektiv)
T	Temperatur
Δ	Differenz
γ <sub>s</sub>	Sonnenhöhenwinkel
λ	Wellenlänge der optischen Strahlung

## 13 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 4.1 a</b>	Probandenstruktur Studie „Gruppe 1“ .....	22
<b>Tab. 4.1 b</b>	Probandenstruktur Studie „Gruppe 2“ .....	23
<b>Tab. 4.1 c</b>	Probandenstruktur Studie „Gruppe 3“ .....	23
<b>Tab. 4.2</b>	Dokumentation des Intensitätsgrades der UV-Testreaktion nach SSR-LT durch zwei bzw. drei Beobachter. Individuell anpassbare Bestrahlung $H_{ges}$ (Thermopile) bzw. zugeordnete erythem-effektive Bestrahlung $H_{er}$ für die sechs Expositionsfelder mit 20%iger geometrischer Dosisprogression.....	26
<b>Tab. 4.3</b>	Skala für visuelle Lichttestbefundung für Erythemgrad bzw. Pigmentierungsgrad in der UV-Photodiagnostik.....	27
<b>Tab. 5.1 a</b>	Übersicht zur Probandenstruktur der Studie „Gruppe A“ .....	47
<b>Tab. 5.1 b</b>	Übersicht zur Probandenstruktur der Studie „Gruppe B“ .....	47

## 14 Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 4.1 a</b>	Photodiagnostische MED-Bestimmung am DERMOLUM UM (9 Spots in Patientendiagnostik).....	25
<b>Abb. 4.1 b</b>	Photodiagnostische MED-Bestimmung: Graduierte Erythemreaktion 24 h nach UV-Testdosen mit 1,2-facher (20%iger) geometrischer Steigerung über 6 (im Projekt F 1986) der 9 SSR-Lichttestfelder des Dermolum UM .....	25
<b>Abb. 4.2 a</b>	Photodiagnostische MED-Bestimmung direkt im UV-Phototherapiegerät: UV-Testset der Dermatologie/TU Dresden (Knuschke et al., 1996) mit Neutralglasfiltertreppe.....	29
<b>Abb. 4.2 b</b>	Photodiagnostische MED-Bestimmung im UV-Phototherapiegerät: Graduierte Erythemreaktion 24 h nach UV-Testdosen mit 1,2-facher (20%iger) geometrischer Steigerung über 7 Lichttestfelder.....	29
<b>Abb. 4.3</b>	Studie „Gruppe 1“: Körperverteilung der Untersuchungsareale für die Abfolge im Jahresverlauf Mrz. bis Okt. 2005 und Feb. 2006 zur – MED-Bestimmung (je 6 LT-Felder), – Epidermisdickebestimmung mittels OCT, – CR200-Hautfarbmessung (Kodierung der Lokalisation und des Zeitpunktes der Messung mittels Dateinamen der OCT-Messung, hier Beispiel: Gruppe 1; 32 = Monat 3/Mrz. am 2. Tag nach LT).....	33
<b>Abb. 4.4 a-c</b>	Lichtschwielereaktion am inneren Unterarm 14 Tage nach UV-Exposition mit einmalig 1 MED (b) sowie an drei aufeinander folgenden Tagen mit je 1 MED (c) im Vergleich zu unbestrahlter Haut (a) im histologischen Präparat und im OCT-Bild.....	37
<b>Abb. 4.4 d-e</b>	Lichtschwielereaktion am inneren Unterarm 14 Tage nach UV-Exposition: Aufnahme des Überganges von unbestrahlter Haut (innerer Unterarm) zu 3 x mit 1,4 MED an drei aufeinander folgenden Tagen bestrahltem Areal im OCT-Bild (d) und abklingende Erythemreaktion um Messfeld in der Auflichtaufnahme über den OCT-Applikator (e) .....	37
<b>Abb. 4.5</b>	Studie „Gruppe 2“: Körperverteilung der Untersuchungsareale für die Abfolge im Jahresverlauf Mrz. bis Okt. 2006 und Feb. 2007 zur - MED-Bestimmung (je 6 LT-Felder), - Epidermisdickebestimmung mittels OCT, - CR200-Hautfarbmessung (Kodierung der Lokalisation und des Zeitpunktes der Messung mittels Dateinamen der OCT-Messung, hier Beispiel: Gruppe 2; 32 = Monat 3/Mrz. am 2. Tag nach LT).....	39
<b>Abb. 4.6 a</b>	Halbseit. UV-Bestrahlung des Rückens Innenbeschäftigter (Gr. 2) – <i>geplant</i> : UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter in 3 Sitzungen pro Monat – <i>reduziert</i> : UV-Bestrahlungsprogr. mit abgesenkter UV-Dosierung ....	41
<b>Abb. 4.6 b</b>	Individuell realisiertes Bestrahlungsprogramm im sub-erythematösen Bereich für den einzelnen Probanden .....	41

<b>Abb. 4.7</b>	Studie „Gruppe 3“: Körperverteilung der Untersuchungsareale für die Abfolge im Jahresverlauf Mrz. bis Okt. 2006 und Feb. 2007 zur – Epidermisdickebestimmung mittels OCT, – CR200-Hautfarbmessung (Kodierung der Lokalisation und des Zeitpunktes der Messung mittels Dateinamen der OCT-Messung, hier Beispiel = für Gruppe 3, 30 = Monat 3/Mrz.) .....44	44
<b>Abb. 5.1</b>	Studie „Gruppe B“ (02/05-03/05) und „Gruppe A“ (01/06-02/06): Untersuchungsareale am Rücken für die Abfolge über 56 Tage – MED-Bestimmung (je 6 LT-Felder), – Epidermisdickebestimmung mittels OCT, - CR200-Hautfarbmessung (Kodierung der Lokalisation und des Zeitpunktes der Messung mittels Dateinamen der OCT-Messung, hier Beispiel = für Gruppe B, Proband XX zur Sitzung-Nr. 2) .....49	49
<b>Abb. 6.1 a-e</b>	Links: (a) Original OCT-Bild, (b) manuelle DEK (schwarz) vs. automatische (weiß) Segmentierung Rechts: gefilterte Bilder des originalen OCT-Bildes mit (c) 20x40 Kern, (d) 20x6 Kern, (e) 20x30 Kern .....53	53
<b>Abb. 7.1</b>	Jahresverlauf der UV-Eigenschutzreaktion der Haut von März bis Februar bei im Freien Beschäftigten (Gruppe 1: Gärtner, Bau) [jeweils: MW ± SD]: Minimale Erythemdosis MED am Rücken ohne Lichtschutzsubstanz; Epidermisdicke, Pigmentierung (Hautfarbwert +b*) an Rücken und Stirn; UV-Personendosis an Werktagen (WT) und Wochenendtagen (WE); solare Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum .....58	58
<b>Abb. 7.2</b>	Jahresverlauf der UV-Eigenschutzreaktion der Haut von März bis Februar bei im Freien Beschäftigten (Gruppe 3: Gärtner, Bau) [jeweils: MW ± SD]: Epidermisdicke, Pigmentierung (Hautfarbwert +b*) an Rücken und Stirn; UV-Personendosis an Werktagen (WT) und Wochenendtagen (WE); solare Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum .....58	58
<b>Abb. 7.3</b>	Jahresverlauf der UV-Eigenschutzreaktion der Haut von März bis Februar bei Innenbeschäftigten (Gruppe 2 – Rücken links +UV: mit künstlicher UV-Exposition gemäß solarer UV-Gesichtsexposition im Freien Beschäftigter): Minimale Erythemdosis MED am Rücken; Epidermisdicke, Pigmentierung (Hautfarbwert +b*) an Rücken und Stirn UV-Dosis Rücken links, UV-Personendosis gesamt (WT+WE); solare Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum .....59	59
<b>Abb. 7.4</b>	Jahresverlauf der UV-Eigenschutzreaktion der Haut von März bis Februar bei Innenbeschäftigten unter Alltagsbedingungen (Gr. 2): Minimale Erythemdosis MED am Rücken (ohne UV-Bestrahlung); Epidermisdicke, Pigmentierung (Hautfarbwert +b*) an Rücken und Stirn; UV-Personendosis gesamt (WT+WE); solare Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum .....59	59

- Abb. 7.5 a-c** Jahresverlauf der minimalen Erythemdosis (MW  $\pm$  SD) bezogen auf März am Rücken im Freien Beschäftigter unter solarem UV-Einfluss (Gruppe 1) in Abhängigkeit von deren Hauttyp und Pigmentierungsgrad  
 – linke Rückenhälfte ohne Lichtschutzsubstanz (o. LSF)  
 – rechte Rückenhälfte mit Lichtschutzsubstanz LSF 40 (m. LSF) .....62
- Abb. 7.6 a-c** (a) Jahresverlauf der minimalen Erythemdosis (MW  $\pm$  SD) bezogen auf März am Rücken von Innenbeschäftigten (Gruppe 2)  
 – rechte Rückenseite mit UV-Exposition (m. UVR) gemäß mittlerer UV-Personendosis im Gesicht von Bauarbeitern  
 – linke Rückenseite von Innenbeschäftigten unter solarer Alltagsexposition (b) Verhältnis Rücken-MED (Gr. 2 mit künstlicher UV-Exposition und ohne) (c) Rücken-MED Außenbeschäftigter mit textilem Lichtschutz (Gr. 1) und ohne Lichtschutz (Gr. 2 mit UV-Exposition auf rechter Rückenseite).....65
- Abb. 7.7** Verhältnis von MED(Rücken ohne bzw. mit LSF) zu MED(Gesäß) in Abhängigkeit von der Jahreszeit – Mrz., Jul., Okt., Feb. (Gr. 1: Ständig im Freien Beschäftigte) .....68
- Abb. 7.8** Verhältnis von MED(Rücken mit bzw. ohne UV-Expos.) zu MED(Gesäß) in Abhängigkeit von der Jahreszeit – Mrz., Jul., Okt., Feb. (Gr. 2: Innenbeschäftigte, linke Rückenhälfte künstlich UV-bestrahlt, analog Außenarbeiter-Gesichtsexposition).....68
- Abb. 7.9 a-d** Minimale Erythemdosis MED(24h) und Minimal Tanning Dose MTD(7d) (für PPD persinstant pigment darkening = bleibende Pigmentierung) am Rücken im Freien Beschäftigter (Gruppe 1):  
 – ohne Lichtschutzsubstanz (ohne LSF); Rücken bei der Arbeit meist textil lichtgeschützt (UPF  $\approx$  4 bis 8)  
 – mit Lichtschutzsubstanz LSF 40 (mit LSF); Rücken bei der Arbeit meist textil lichtgeschützt (UPF  $\approx$  4 bis 8) .....70
- Abb. 7.10 a-d** Minimale Erythemdosis MED(24h) und Minimal Tanning Dose MTD(7d) (für PPD persinstant pigment darkening = bleibende Pigmentierung) am Rücken Innenbeschäftigter (Gruppe 2):  
 – rechte Rückenseite mit künstlicher UV-Exposition (mit UVR, entsprechend UV-Personendosis Bauarbeiter)  
 – linke Rückenseite ohne künstliche UV-Exposition (ohne UVR, Innenbeschäftigte unter solaren UV-Alltagsexpositionen) .....71
- Abb. 7.11 a-c** Jahresverlauf der Epidermisdicke (MW  $\pm$  SD) solarexponierter Haut – Rücken (meist textil bedeckt; unbehandelt bzw. verschieden behandelt) - ständig der Sonnenstrahlung ausgesetzt: Kopfbereich (MW der Epidermisdicke von Stirn\_Wange\_Hals\_Nacken), Handrücken, Unterarm außen sowie Unterarm innen.....75
- Abb. 7.12 a-c** Jahresverlauf der Epidermisdicke (MW  $\pm$  SD) von Rückenhaut sowie der zeitgleiche Verlauf des relativen Pigmentierungsgrades bei unterschiedlichen Vorbedingungen: Studie „Gruppe 1“ bis „Gruppe 3“ .....76

- Abb. 7.13 a-c** Jahresverlauf der Epidermisdicke (MW  $\pm$  SD) im Kopfbereich für: Stirn, Wange, Hals, Nacken sowie der zeitgleiche Verlauf des relativen Pigmentierungsgrades der Stirn (Hautfarbwert +b\*) unter solarem UV-Einfluss.....77
- Abb. 7.14 a-b** Jahresverlauf der Epidermisdicke (MW  $\pm$  SD) von Handrücken und äußerem Unterarm in Relation zum inneren Unterarm sowie relativer Pigmentierungsgrad (Hautfarbwert +b\*) des Handrückens für die ständig bzw. häufig sonnenexponierten Hautareale.....78
- Abb. 7.15 a-c** Jahresverlauf des Pigmentierungsgrades der Haut Farbwert +b\*:  
 – linke Rückenseite (Gruppe 1, 3): solare UV-Alltagsexposition  
 – linke Rückenseite (Gruppe 2): definierte UV-Exposition (entsprechend solarer UV-Gesichtsexposition Beschäftigter im Freien) ....83
- Abb. 7.16 a-b** Jahresverlauf des Pigmentierungsgrades der Haut (Farbwert +b\*) (a) Studie „Gruppe 1“ (b) Studie „Gruppe 2“ .....84
- Abb. 7.17 a-b** Jahresverlauf des relat. Pigmentierungsgrades/Hautfarbwert +b\* von Rückenhaut bezogen auf nicht UV-exponierte Gesäßhaut  
 (a) Außenbeschäftigte (Gruppe 1)  
 – linke Rückenseite ohne Lichtschutzsubstanz (o. LSF)  
 – rechte Rückenseite mit Lichtschutzsubstanz (m. LSF)  
 (b) Innenbeschäftigte  
 – linke Rückenseite mit UV-Exposition (m. UVR) gemäß mittlerer UV-Personendosis im Gesicht von Bauarbeitern  
 – rechte Rückenseite gemäß Innenbeschäftigten unter solarer UV-Alltagsexposition .....86
- Abb. 7.18 a-c** Meteorologische Bedingungen zu Studie „Gruppe 1“  
 - Dresden-Klotzsche - Messperiode 14. KW bis 43. KW 2005 .....87
- Abb. 7.19 a-c** Meteorologische Bedingungen zu Studie „Gruppe 2“ u. „Gruppe 3“ - Dresden-Klotzsche - Messperiode 14. KW bis 43. KW 2006 .....88
- Abb. 7.20** Dosis-Wirkungs-Beziehung der Lichtschwielereaktion: Differenz aus Epidermisdicke (ET) 7 Tage nach UV-Exposition zum Ausgangswert; UV-Dosis in MED der Probanden (Gruppe 1; n = 12); Epidermisdicke Rücken, Ausgangswert (MW  $\pm$  SD): Mrz: 102.9  $\pm$  5,8  $\mu$ m; Sep: 113,8 $\pm$ 4.7  $\mu$ m; Okt: 93.2 $\pm$ 2.1  $\mu$ m; Feb: 98.0 $\pm$  1.5  $\mu$ m .....89
- Abb. 7.21 a-d** Dosis-Wirkungs-Beziehung der Lichtschwielereaktion  
 Signifikanztest (\* p < 5 %) bezüglich der Erhöhung der Epidermisdicke in Folge von UV-Exposition (Lichtschwiele). UV-Exposition in Vielfachen der individuellen minimalen Erythemdosis MED (pro Klasse MW über alle Probanden), Epidermisdicke in OCT-Pixeln (1 Pixel = 2,81  $\mu$ m).....92
- Abb. 8.1** Mittlere UV-Eigenschutzreaktion von Rückenhaut im Zeitverlauf nach fünf seriellen, sub-erythematösen UV-Expositionen (5 x 1,8 SED) [n = 12; MED normiert auf MED(Tag 0: vor UV-Bestrahlungsbeginn)] .....94
- Abb. 8.2** Mittlere UV-Eigenschutzreaktion von Rückenhaut im Zeitverlauf nach sub-erythematöser UV-Einzelexposition mit 1 x 1,8 SED [n = 12; MED normiert auf MED(Tag 0: vor UV-Bestrahlungsbeginn)] .....94

- Abb. 8.3 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8$  SED) an fünf aufeinander folgenden Tagen – Studie „Gruppe B“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 1 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: B1/2/3/8); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 1 (B1/2/3/8) im Zeitverlauf .....96
- Abb. 8.4 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8$  SED) an fünf aufeinander folgenden Tagen – Studie „Gruppe B“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 2 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: B5/6/11); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 2 (B5/6/11) im Zeitverlauf .....97
- Abb. 8.5 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8$  SED) an fünf aufeinander folgenden Tagen – Studie „Gruppe B“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 3 ähnlichen relat. MED-Verlaufes (PN: B4/7/9/10/12); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 3 (B4/7/9/10/12) im Zeitverlauf .....98
- Abb. 8.6 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8$  SED) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 1 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: A29/34/35); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 1 (A29/34/35) im Zeitverlauf .....101
- Abb. 8.7 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8$  SED) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 2 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: A27/28/30/31/33/36); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 2 (A27/28/30/31/33/36) im Zeitverlauf .....102
- Abb. 8.8 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Haut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8$  SED) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 3 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: A25/26/32); Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwielereaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad) dieser Subgruppe 3 (A25/26/32) im Zeitverlauf .....103

## 15 Danksagung

Die Autoren danken den Herren Dipl.-Ing. G. Ott und Dipl.-Ing. M. Janßen für die sehr gute fachliche Zusammenarbeit einschließlich der Vermessung der eingesetzten UV-Bestrahlungstechnik mit der Präzisionsmesstechnik der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund sowie den Herren Dr. R. Pipke und Dr. E. Romanus (BAuA, Dortmund) für die ebenfalls sehr gute Betreuung und Unterstützung während der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Der Klinik und Poliklinik für Dermatologie, namentlich Herrn Direktor Prof. Dr. M. Meurer, danken die Autoren für die Förderung der Arbeiten des Forschungsprojektes. Frau Dr. U. Boashie übernahm dankenswerterweise die Durchführung der dermatologischen Hautchecks der 60 Probanden vor deren Einschluss in die Studien. Frau OÄ Dr. A. Stein übernahm den histologischen Part beim vergleichenden Nachweis mit dem OCT-Verfahren für die Lichtschwielereaktion.

Herr Dipl.-Ing. (FH) M. Mehner stellte die ständige Einsatzbereitschaft des OCT-Gerätes über zwei Jahre bei nahezu täglicher Nutzung sicher.

Des Weiteren danken die Autoren den studentischen Hilfskräften D. Ackermann, Y. Donau, L. Fransecky, M. Kissig, J. Matz, B. Singh, M. Storch und R. Pelz, die durch das Vermessen tausender OCT-Bilder, durch die Datenbankeingaben, durch die Aufbereitung der Untersuchungsdaten zur Auswertung, der Endredaktion dieses Berichtes oder der Software-Entwicklung zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

Hervorgehoben sei der Anteil von Frau Dipl.-Soziologin H. Rönsch, die neben den o. g. Arbeiten als damalige studentische Hilfskraft die statistischen Analysen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung der Lichtschwiele übernahm.

Frau Dipl.-Ing. (FH) A. Loos besorgte parallel zu den Aufgaben des laufenden Forschungsprojektes einen großen Teil der einheitlichen Formatierung der Ergebnisabbildungen. Frau Dipl.-Bibl. (FH) A. Fetter unterstützte bei der Erstellung des Literaturverzeichnisses. Die exakte Abschlussdurchsicht des Manuskriptes besorgte Frau A. Seese (BAuA Dortmund). Als Muttersprachler übernahm Mister Andrew Pearson (HPA Radiation Protection Division, Oxon, UK) die Kontrolle des Abstracts.

Den Mitarbeitern des Geschäftsbereichs Technik des Universitätsklinikums sei für die engagierte Unterstützung bei Vorbereitung und Realisierung der erforderlichen Umsetzung der UV-Messstation der Dermatologie/TU Dresden auf ein anderes Gebäude bei vernachlässigbarem Messwertausfall von wenigen Stunden gedankt.

An dieser Stelle sei auch noch einmal der Dank an die Firmenleitungen und Institutionen ausgesprochen, die der Durchführung der Probandenuntersuchungen bei Mitarbeitern zustimmten und arbeitsorganisatorisch ermöglichten:

- Regiebetrieb Zentrale Technische Dienstleistungen, Dresden:
  - Abt. Grünflächenunterhaltung und Abt. Straßen, Brücken und Beleuchtung
- Oevermann GmbH & Co. KG
- Universitätsklinikum Dresden
- TU Dresden, Institut für Botanik, Botanischer Garten

Der größte Dank der Autoren gilt allen freiwilligen Studienteilnehmern für die zuverlässige Zusammenarbeit.



## **Anhang 1**

### **Organisation und Design der Studien**

**Anh. 1, Tab. 1** Protokoll für UV-Bestrahlung (Gruppe 2)

**BAuA-Projekt F1986 GRUPPE 2**  
**UV-Exposition:** Rücken links  
 UV-Strahlenquelle: Arimed B 100W  
 Gerät: Swing-Professional 700 (7x 100 W)  
 Messgerät (Dosismodus): GHz 9710ery / Gigahertz Optik GmbH  
 Kalibrierfaktor: 1.28 [E<sub>ery</sub>(TDM300/Bentham) / E<sub>ery</sub>(GHz9710ery)]

**PN: 2\_39**

Monat	MRZ			APR			MAI			JUN		
Termin	203.1	203.2	203.3	204.1	204.2	204.3	205.1	205.2	205.3	206.1	206.2	206.3
Datum:												
H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	200	200	200	300	300	300	475	475	475	650	650	650
GHz9710ery-Anzeige												
H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	150	150	150	235	235	235	370	370	370	500	500	500
GHz9710ery-Anzeige	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>
nach - 0 min												
- 3 min												
- 7 min												
t <sub>exp</sub> / s												
d / cm												
Appliziert (GHz9710ery) H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup> :												

**Anh. 1, Tab. 1** Fortsetzung

**BAuA-Projekt F1986 GRUPPE 2**  
**UV-Exposition:** Rücken links  
 UV-Strahlenquelle: Arimed B 100W  
 Gerät: Swing-Professional 700 (7x 100 W)  
 Messgerät (Dosismodus): GHz 9710ery / Gigahertz Optik GmbH  
 Kalibrierfaktor: 1.28[E<sub>ery</sub>(TDM300/Bentham) / E<sub>ery</sub>(GHz9710ery)]

**PN: 2\_39**

Monat	JUL			AUG			SEP		
Termin	207.1	207.2	207.3	208.1	208.2	208.3	209.1	209.2	209.3
Datum:									
H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	700	700	700	600	600	600	400	400	400
GHz9710ery-Anzeige									
H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	550	550	550	470	470	470	310	310	310
GHz9710ery-Anzeige	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>	E <sub>ery</sub> /W/m <sup>2</sup>
nach - 0 min									
- 3 min									
- 7 min									
t <sub>exp</sub> / s									
d / cm									
Appliziert (GHz9710ery) H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup> :									

**Anh. 1, Tab. 2**

**Dateinomenklatur zur Charakterisierung der Untersuchungsbedingungen einer OCT-Aufnahme im Projekt bzw. für andere Untersuchungen**

**Kodierung OCT-Messfelder (für: Vergleich zu Innenbeschäftigten bzw. nicht BAuA-Projekt)**

Stand: 28.10.05

		Kopf															
Region		Areal								Lichttestfeld			Dateiname				
		1	2	3	4	5	6	7	8	0	1	2		3			
Kopfhaut (behaart/ohne)	Ko	ob_zentr	hi_zentr	li	re									nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Ko_1...4_0
Stirn	St	li	re	mi										nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_St_1...3_0...2
Wange (über Jochbein)	Wa	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Wa_1...2_0...2
Wange (zentral)	Wa			li	re									nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Wa_3...4_0...2
Ohr	Or	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Or_1_2_0...2
Nase	Ns	li	re	mi										nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Ns_1...3_0...2
Lippe	Li	li oben	re oben	li unten	re unten	mi oben	mi unten							nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Li_1...6_0...2
Hals	Hs	li	re	mi										nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Hs_1...3_0...2
Nacken	Na	li	re	mi										nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Na_1...3_0...2

		Körper															
Region		Areal								Lichttestfeld			Dateiname				
		1	2	3	4	5	6	7	8	0	1	2		3			
Brust	Br	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg.	TD_XXX_01_Br_1...2_0...2
Bauch	Ba	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg.	TD_XXX_01_Ba_1...2_0...2
Rücken(unter Schulterblatt)	Rü	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg.	TD_XXX_01_Rü_1...2_0...2
Flanken (6. Rippe)	Rü			li	re									nativ	Läs/Präp	Überg.	TD_XXX_01_Rü_3...4_0...2
Gesäß	Ge	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg.	TD_XXX_01_Ge_1...2_0...2

		Extremitäten															
Region		Areal								Lichttestfeld			Dateiname				
		1	2	3	4	5	6	7	8	0	1	2		3			
Oberarm (innen/mittig)	OA	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg.	TD_XXX_01_OA_1...2_0...2
(außen/mittig)	OA			li	re									nativ	Läs/Präp	Überg.	TD_XXX_01_OA_3...4_0...2
Unterarm innen/mittig	UA	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_UA_1...2_0...2
(außen/mittig)	UA			li	re									nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_UA_3...4_0...2
Handrücken 2.-3. Strahl	Ha	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Ha_1...2_0...2
Oberschenkel (vorn)	OS	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_OS_1...2_0...2
(hinten)	OS			li	re									nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_OS_3...4_0...2
Obersch.-Seite Aussen	OS					li	re							nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_OS_5...6_0...2
Obersch.-Seite Innen	OS							li	re					nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_OS_7...8_0...2
Unterschenkel (Schienbein)	US	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_US_1...2_0...2
(Wade)	US			li	re									nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_US_3...4_0...2
Untersch.-Seite Außen	US					li	re							nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_US_5...6_0...2
Untersch.-Seite Innen	US							li	re					nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_US_7...8_0...2
Fuß (Fußrücken)	Fu	li	re											nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Fu_1...2_0...2
(i-Fußgelenke)	Fu			li	re									nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Fu_3...4_0...2
(a-Fußgelenke)	Fu					li	re							nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Fu_5...6_0...2
(Fußsohle)	Fu							li	re					nativ	Läs/Präp	Überg	TD_XXX_01_Fu_7...8_0...2

XXX = Nr. Proband/Patient

**Anh. 1, Tab. 3**      Kodierung der SSR-LT-/OCT-Messfelder (Beispiel: Gruppe 1)

**Kodierung GR 1: OCT-Dateinamen**

allgemein:

- |          |                        |   |
|----------|------------------------|---|
| 1. Feld: | Gruppe/Monat:          | 103...111   |
| 2. Feld: | PN:                    | 13...24   |
| 3. Feld: | Nr. OCT-Sitzung:       | 30/31/32/37...110/111/112/117   |
| 4. Feld: | Körperregion:          | Rü / Na / St / Wa / Hs / Ha / Ge / .....[Ra]<br>Rü/Rücken; Na/Nacken; St/Stirn; Wa/Wange; Hs/Hals;<br>Ha/Handrücken; Ge/Gesäß; [Ra/Radiergummi] |
| 5. Feld: | Areal in Körperregion: | 10...90 (= 1. ...9. LT ohne LSF) / 11...91 (= 1. ...9. LT mit LSF)<br>bzw. Kopf/Hand-Messungen: li re mi usw.                                   |
| 6. Feld: | Messposition:          | 0; 1...6; 7...9      (0: Nativmessung)  |

**Beispiel:**
**103\_18\_32\_Ge\_10\_1...6**

(Proband 18 aus der Gruppe 1 im Monat 03=März, OCT-Messung 2 Tage nach SSR-LT, am Gesäß ohne LSF.)

**Messfeld-Kodierung**

(und Messreihenfolge)

**0. Foto am Rücken ohne Anzeichnung**

18\_Rü\_0313

1. Visuelle LT-Ablesung [jeweils nach 24 h, 48 h; 7 d; 28 d; je Monat]
2. Verlaufskontroll-Feld unbehandelter / behandelter Haut (je3 Felder)  
103\_18\_32\_Rü\_10\_7...9 / 103\_18\_32\_Rü\_11\_7...9
3. Verlaufskontroll-Felder (Feld 4) zukünftiger LT-Areale  
103\_18\_32\_Rü\_10...90\_4 sowie 103\_18\_32\_Rü\_11...90\_4

**! Warten bis mindestens 15 min seit Pkt. 1. vergangen ist !**

4. LDI-Messung im SSR-LT-Areal (Feld 1-6) vor LT bzw. nach 24 h bzw./und 48 h bzw./und 7 d

**5. SSR-LT**
**6. OCT-Messung:**

A. Im SSR-LT-Felder 1-6 nach LT

Rü/li ohne LSF: 103\_18\_32\_Rü\_10\_1...\_Rü\_10\_1...6

Rü/li mit LSF: 103\_18\_32\_Rü\_11\_1...\_Rü\_11\_1...6

B. Verlaufskontroll-Felder Kopf/Hände:

103\_18\_32\_St\_1...3\_1

**7. Foto Rücken mit Anzeichnung**

18\_Rü\_0314 (ggf. 18\_Ge\_0315)

8. CR-200 Farbmessung (am ersten Tag im Monatszyklus)

**Kodierung GR 1: LDI-Dateinamen**

analog OCT-Kodierung:

- |          |                       |  |
|----------|-----------------------|--|
| 1. Feld: | PN:                   | 13...24  |
| 2. Feld: | Körperregion:         | 30...117 (bei 2x bzw 3x LDI pro Sitzung: OCT + 0/1/2;<br>mit 0 - Rü/li ohne LSF; 1- Rü/re mit LSF; 2 - Ge) |
| 3. Feld: | Zuordnung zum SSR-LT: | 00...07<br>(00=vor LT; 01=1d nach LT; 02=2d nach LT; 07=7d nach LT)  |

**Beispiel:**
**18\_3002**

(Proband 18 der Gruppe 1 im März zur OCT-Sitzung 30 mit LDI-Messung des 1. SSR-LT-Areals mit Feld 1-6 nach 48 h = 02 d)

Bemerkung:

Gemessen wird mit Firmware moorLDI V3.0.

Vom 08.02.05 und 09.02.05 liegen zur Prüfung der Vergleichbarkeit auch Dateien der Version moorLDI V2.0 vor. Beispiel: B02\_03v2

**Kodierung Foto: Feld :PN**
**OCT-Sitzung**
**Inhalt: \_0 ohne Markierung; \_1 mit Markierung;**
**Kamera-Bildnummer**
**Beispiel: 18\_32\_0\_xxxx**

**Anh. 1, Tab. 4 a** Protokoll-Datenbank am Beispiel der Studie „Gruppe 2“:  
 Protokoll für Messungen am **Rücken** in SSR-Lichttest-Feldern  
 (OCT-, LDI- und Fotodokumentationsdateien)

Microsoft Access - [LT-Rücken : Formular]

SSR-LT-Daten (OCT-Dateien) UVR

Hges	Hery	OCT_0h	OCT_24h	OCT_48h	OCT_6d	OCT_1M	OCT_2M	OCT_3M
500	83	14.03.2006	15.03.2006	16.03.2006	20.03.2006			
864	144	203_38_30_Rü_10_1	203_38_31_Rü_10_1	203_38_32_Rü_10_1	203_38_37_Rü_10_1			
1037	173	_2	_2	_2	_2			
1244	207	_3	_3	_3	_3			
1493	249	_4	_4	_4	_4			
1792	299	_5	_5	_5	_5			
2150	358	_6	_6	_6	_6			

vor SSR-LT      24h nach SSR-LT      48h nach SSR-LT      7d nach SSR-LT  
**LDI-Dateien**                       

---

SSR-LT-Daten (OCT-Dateien) Vergleich

Hges	Hery	OCT_0h	OCT_24h	OCT_48h	OCT_6d	OCT_1M	OCT_2M	OCT_3M
300	83	14.03.2006	15.03.2006	16.03.2006	20.03.2006			
417	4	203_38_30_Rü_11_1	203_38_31_Rü_11_1	203_38_32_Rü_11_1	203_38_37_Rü_11_1			
500	3	_2	_2	_2	_2			
600	3							
720	7	_3	_3	_3	_3			
864	9	_4	_4	_4	_4			
1037	9	_5	_5	_5	_5			
1244	9	_5	_5	_5	_5			
1493	8	_6	_6	_6	_6			

vor SSR-LT      24h nach SSR-LT      48h nach SSR-LT      7d nach SSR-LT  
**LDI-Dateien**                       

**Kamera**

vor Markierung	<input type="text" value="38_30_0_"/>	<input type="text" value="38_31_0_"/>	<input type="text" value="38_32_0_"/>	<input type="text" value="38_37_0_"/>
nach Markierung	<input type="text" value="38_30_1_"/>	<input type="text" value="38_31_1_"/>	<input type="text" value="38_32_1_"/>	<input type="text" value="38_37_1_"/>

Datensatz: 1 von 1

Formularansicht

Windows Taskbar: Start, ProtokollDB\_GR2 : D..., DB Übersicht : Form..., Microsoft Excel - 2\_T..., Dokument1 - Microso..., LT-Rücken : Form..., 21:14

**Anh. 1, Tab. 4 b** Protokoll-Datenbank am Beispiel der Studie „Gruppe 2“:  
 Protokoll für Messungen am **Gesäß** in SSR-Lichttest-Feldern  
 (OCT-, LDI- und Fotodokumentationsdateien)

Microsoft Access - [LT-Gesäß] : Formular

SSR-LT-Daten (OCT-Dateien) UVR

Hges	Hery	OCT_0h	OCT_24h	OCT_48h	OCT_6d	OCT_1M	OCT_2M	OCT_3M
300	100	14.03.2006	15.03.2006	16.03.2006	20.03.2006			
1037	173	203_38_30_Ge_10_1	203_38_31_Ge_10_1	203_38_32_Ge_10_1	203_38_37_Ge_10_1			
1244	207	_2	_2	_2	_2			
1493	249	_3	_3	_3	_3			
1792	299	_4	_4	_4	_4			
2150	358	_5	_5	_5	_5			
2580	430	_6	_6	_6	_6			

	38_30_2_	38_31_2_	38_32_2_	38_37_2_	Kamera
vor Markierung	38_30_2_	38_31_2_	38_32_2_	38_37_2_	
nach Markierung	38_30_3_	38_31_3_	38_32_3_	38_37_3_	

Formular schließen

Datensatz: 1 von 1

Formularansicht

Windows Command... ProtokollDB\_GR2 : D... DB Übersicht : Form... Microsoft Excel - 2\_T... Dokument1 - Microso... LT-Gesäß : Formular 21:15

Anh. 1, Tab. 4 c

Protokoll-Datenbank am Beispiel der Studie „Gruppe 2“:  
Messungen an **Arealen ohne SSR-Lichttest** 1./2. Untersuchungstermin des Monats  
(OCT-, LDI- und Fotodokumentationsdateien)

Microsoft Access - [Ohne-LT : Formular]

PersNr 38 OCT-Sitzung 30 GRUPPE 203 Datum 14.03.2006

Verlauf 14.03.2006 15.03.2006

	Feld_7_0	Feld_8_0	Feld_9_0	Feld_7_1	Feld_8_1	Feld_9_1
UVR	203_38_30_Ru_10_7	203_38_30_Ru_10_8	203_38_30_Ru_10_9	203_38_31_Ru_10_7	203_38_31_Ru_10_8	203_38_31_Ru_10_9
Vergleich	203_38_30_Ru_11_7	203_38_30_Ru_11_8	203_38_30_Ru_11_9	203_38_31_Ru_11_7	203_38_31_Ru_11_8	203_38_31_Ru_11_9

	Areal 1	Areal 2	Areal 3	Areal 4
Nacken			203_38_30_Na_3_1	
Stirn	203_38_30_St_1_1	203_38_30_St_2_1	203_38_30_St_3_1	
Wange oben	203_38_30_Wa_1_1	203_38_30_Wa_2_1		
Wange unten			203_38_30_Wa_3_1	203_38_30_Wa_4_1
Hals			203_38_30_Hs_3_1	
Handrücken	203_38_30_Ha_1_1	203_38_30_Ha_2_1		
Unterarm innen	203_38_30_UA_1_1	203_38_30_UA_2_1		
Unterarm außen			203_38_30_UA_3_1	203_38_30_UA_4_1

LTs Feld 4 ohne LSF Feld 4 mit LSF Feld 4

3.	203_38_30_Ru_30_4	203_38_30_Ru_31_4
4.	203_38_30_Ru_40_4	203_38_30_Ru_41_4
5.	203_38_30_Ru_50_4	203_38_30_Ru_51_4
1.		
8.	203_38_30_Ru_80_4	203_38_30_Ru_81_4
9.	203_38_30_Ru_90_4	203_38_30_Ru_91_4
2.	203_38_30_Ru_20_4	203_38_30_Ru_21_4
6.	203_38_30_Ru_60_4	203_38_30_Ru_61_4
7.	203_38_30_Ru_70_4	203_38_30_Ru_71_4

Farbwerte	Y	x	y	L*	a*	b*
Ru_10_8						
Ru_11_8						
Stirn_mi						
Handrücken_re						
Gesäß (Ge_1_2)						

Formular schließen

---

PersNr 38 OCT-Sitzung 30 GRUPPE 203 Datum 14.03.2006

Verlauf 16.03.2006 20.03.2006

	Feld_7_2	Feld_8_2	Feld_9_2	Feld_7_7	Feld_8_7	Feld_9_7
	203_38_32_Ru_10_7	203_38_32_Ru_10_8	203_38_32_Ru_10_9	203_38_37_Ru_10_7	203_38_37_Ru_10_8	203_38_37_Ru_10_9
	203_38_32_Ru_11_7	203_38_32_Ru_11_8	203_38_32_Ru_11_9	203_38_37_Ru_11_7	203_38_37_Ru_11_8	203_38_37_Ru_11_9

	Areal 1	Areal 2	Areal 3	Areal 4
Nacken			203_38_37_Na_3_1	
Stirn	203_38_37_St_1_1	203_38_37_St_2_1	203_38_37_St_3_1	
Wange oben	203_38_37_Wa_1_1			
Wange unten			203_38_37_Wa_3_1	203_38_37_Wa_4_1

Datensatz: 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | von 1

Formularansicht

Windows Commande... ProtokollDB\_GR2 : D... DB Übersicht : Form... Microsoft Excel - 2... Dokument1 - Micro... Ohne-LT : Formular 21:16

Anh. 1, Tab. 4 d

Protokoll-Datenbank am Beispiel der Studie „Gruppe 2“:  
Messungen an **Arealen ohne SSR-Lichttest** 3./4. Untersuchungstermin des Monats  
(OCT-, LDI- und Fotodokumentationsdateien)

Microsoft Access - [Ohne-LT : Formular]

9. 203\_38\_30\_Rü\_90\_4 203\_38\_30\_Rü\_91\_4  
 2. 203\_38\_30\_Rü\_20\_4 203\_38\_30\_Rü\_21\_4  
 6. 203\_38\_30\_Rü\_60\_4 203\_38\_30\_Rü\_61\_4  
 7. 203\_38\_30\_Rü\_70\_4 203\_38\_30\_Rü\_71\_4

Farbwerte      y      x      y      L\*      a\*      b\*

Rü_10_8						
Rü_11_8						
Stirn_mi						
Handrücken_re						
Gesäß (Ge_1_2)						

Formular schließen

---

PersNr 38    OCT-Sitzung 30    GRUPPE 203    Datum 14.03.2006

Verlauf 16.03.2006    20.03.2006

Feld_7_2	Feld_8_2	Feld_9_2	Feld_7_7	Feld_8_7	Feld_9_7
203_38_32_Rü_10_7	203_38_32_Rü_10_8	203_38_32_Rü_10_9	203_38_37_Rü_10_7	203_38_37_Rü_10_8	203_38_37_Rü_10_9
203_38_32_Rü_11_7	203_38_32_Rü_11_8	203_38_32_Rü_11_9	203_38_37_Rü_11_7	203_38_37_Rü_11_8	203_38_37_Rü_11_9

	<b>Areal 1</b>	<b>Areal 2</b>	<b>Areal 3</b>	<b>Areal 4</b>
Nacken			203_38_37_Na_3_1	
Stirn	203_38_37_St_1_1	203_38_37_St_2_1	203_38_37_St_3_1	
Wange oben	203_38_37_Wa_1_1	203_38_37_Wa_2_1		
Wange unten			203_38_37_Wa_3_1	203_38_37_Wa_4_1
Hals			203_38_37_Hs_3_1	
Handrücken	203_38_37_Ha_1_1	203_38_37_Ha_2_1		
Unterarm innen	203_38_37_UA_1_1	203_38_37_UA_2_1		
Unterarm außen			203_38_37_UA_3_1	203_38_37_UA_4_1

	<b>LTs Feld 4</b>	<b>ohne LSF Feld 4</b>	<b>mit LSF Feld 4</b>
3.		203_38_37_Rü_30_4	203_38_37_Rü_31_4
4.		203_38_37_Rü_40_4	203_38_37_Rü_41_4
5.		203_38_37_Rü_50_4	203_38_37_Rü_51_4
1.			
8.		203_38_37_Rü_80_4	203_38_37_Rü_81_4
9.		203_38_37_Rü_90_4	203_38_37_Rü_91_4
2.		203_38_37_Rü_20_4	203_38_37_Rü_21_4
6.		203_38_37_Rü_60_4	203_38_37_Rü_61_4
7.		203_38_37_Rü_70_4	203_38_37_Rü_71_4

Farbwerte      y      x      y      L\*      a\*      b\*

Rü_10_8						
Rü_11_8						
Stirn_mi						
Handrücken_re						
Gesäß (Ge_1_2)						

Formular schließen

Datensatz: 1 von 1

Formularansicht

Start | Windows Commands... | ProtokollDB\_GR2 : D... | DB Übersicht : Form... | Microsoft Excel - 2\_T... | Dokument1 - Micro... | Ohne-LT : Formular | 21:17



Anh. 1, Tab. 5 Messablauf Studie „Gruppe 1“

Termin	OCT-Sitzungs-Nr.	LDI-Sitzungs-Nr.		Arbeitsaufgaben	Effektivzeit	gesamt:
					31.5	31.5
<b>103.1</b>			1.SSR-LT	Foto / Rückeneinteilung / Markieren Messfelder	0.25	
	<b>30</b>			OCT	0.25	
		<b>3000 / 3100 / 3200</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(vor LT)	0.25	
				<b>3x SSR-LT: Rü_li o. LSF / Rü_re m. LSF / Ge</b>	0.25	
				Foto/ CR200	0.25	1.25
<b>103.2</b>			1. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>31</b>			OCT	0.25	
		<b>3001 / 3101 / 3201</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(24h) / Foto	0.25	0.75
<b>103.3</b>			2. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>32</b>			OCT	0.25	
		<b>3002 / 3102 / 3202</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(48h) / Foto	0.25	0.75
<b>103.4</b>			7. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>37</b>			OCT	0.25	
		<b>3007 / 3107 / 3207</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(7d) / Foto	0.25	0.75
<b>104.1</b>			2.SSR-LT	Foto / Ablesen 28d / Markieren Messfelder	0.25	
	<b>40</b>			OCT	0.25	
		<b>4000 / 4100</b>		Ruhen (15min) / 2x LDI(vor LT)	0.25	
				<b>2x SSR-LT: Rü_li o. LSF / Rü_re m. LSF</b>	0.25	
				Foto/ CR200	0.25	1.25
<b>104.2</b>			1. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>41</b>			OCT	0.25	
		<b>4001 / 4101</b>		Ruhen (15min) / 2x LDI(24h) / Foto	0.25	0.75
<b>104.3</b>			2. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>42</b>			OCT	0.25	
		<b>4002 / 4102</b>		Ruhen (15min) / 2x LDI(48h) / Foto	0.25	0.75
<b>104.4</b>			7. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>47</b>			OCT	0.25	
		<b>4007 / 4107</b>		Ruhen (15min) / 2x LDI(7d) / Foto	0.25	0.75
<b>USW.</b>						
<b>111.1</b>			9.SSR-LT	Foto / Ablesen 28d / Markieren Messfelder	0.25	
	<b>110</b>			OCT	0.25	
		<b>110_0 / 111_0 / 112_0</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(vor LT)	0.25	
				<b>3x SSR-LT: Rü_li o. LSF / Rü_re m. LSF / Ge</b>	0.25	
				Foto/ CR200	0.25	1.25
<b>111.2</b>			1. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>111</b>			OCT	0.25	
		<b>110_1 / 111_1 / 112_1</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(24h) / Foto	0.25	0.75
<b>111.3</b>			2. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>112</b>			OCT	0.25	
		<b>110_2 / 111_2 / 112_2</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(48h) / Foto	0.25	0.75
<b>111.4</b>			7. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>117</b>			OCT	0.25	
		<b>110_7 / 111_7 / 112_7</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(7d) / Foto	0.25	0.75

**Anh. 1, Tab. 6**

Terminplanung auf eine Untersuchungsgenauigkeit von 24 h±0,5 h sowie 48 h±1 h über 9 Monate  
(Ausschnitt für Probandenuntersuchungen der Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe B“)

10.04.05	11.04.05	12.04.05	13.04.05	14.04.05	15.04.05	16.04.05	17.04.05	18.04.05	19.04.05	20.04.05	21.04.05	22.04.05	23.04.05
8:30	1 13(044)		B 1(13)	B 1(14)			8:30	1 17(044)		B 5(13)	B 5(14)		
8:45							8:45						
9:00			SSR-LT				9:00			SSR-LT			
9:15							9:15						
9:30	1 14(044)		B 2(13)	B 2(14)			9:30	1 18(044)		B 6(13)	B 6(14)		
9:45							9:45						
10:00			SSR-LT				10:00			SSR-LT			
10:15							10:15						
10:30		1 15(044)		B 3(13)	B 3(14)		10:30				B 7(13)	B 7(14)	
10:45							10:45						
11:00				SSR-LT			11:00				SSR-LT		
11:15							11:15						
11:30		1 16(044)		B 4(13)	B 4(14)		11:30		1 21(041)	1 21(042)	B 8(13)	B 8(14)	
11:45							11:45						
12:00				SSR-LT			12:00				SSR-LT		
12:15							12:15		SSR-LT				
12:30		1 17(041)	1 17(042)	1 17(043)			12:30			1 23(041)	1 21(043)		
12:45							12:45						
13:00							13:00						
13:15		SSR-LT					13:15			SSR-LT			
13:30			1 19(041)	1 19(042)			13:30		1 22(041)		1 23(042)	1 23(043)	
13:45					1 19(043)		13:45						
14:00							14:00						
14:15			SSR-LT				14:15		SSR-LT				
14:30		1 18(041)					14:30			1 22(042)			
14:45							14:45						
15:00				1 18(043)			15:00						
15:15		SSR-LT			1 20(043)		15:15						
15:30			1 18(042)				15:30		1 19(044)	1 24(041)	1 22(043)		
15:45							15:45						
16:00				1 20(042)			16:00						
16:15							16:15			SSR-LT			
16:30			1 20(041)				16:30		1 20(044)		1 24(042)	1 24(043)	
16:45							16:45						
17:00							17:00						
17:15			SSR-LT				17:15						
17:30							17:30						
17:45							17:45						
18:00							18:00						
18:15							18:15						
18:30							18:30						

Anh. 1, Tab. 7 Messablauf Studie „Gruppe 2“

Termin	OCT-Sitzungs-Nr.	LDI-Sitzungs-Nr.		Arbeitsaufgaben	Zeit	ge-
					42	42
<b>203.0</b>				Swing700-LT (HT_II / HT_III: 350 J/m <sup>2</sup> / 450 J/m <sup>2</sup> )	0.5	0.5
<b>203.1</b>			1.SSR-LT	Foto / Rückeneinteilung / Markieren Messfelder	0.25	
	<b>30</b>			OCT(außer: LT; Kopf/Hand) / CR200	0.25	
		<b>3000 / 3100 / 3200</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(vor LT)	0.25	
				<b>3x SSR-LT: Rü_li m. UVR / Rü_re o. UVR / Ge</b>	0.25	
			1. UVR	UVR 03.1 : 200 J/m <sup>2</sup> ( <b>GHz 9710: 150 J/m<sup>2</sup></b> )	0.5	
				Foto/ OCT(in LT/ Na, Ge, St, Wa, Hs, Ha, UA)	0.25	1.75
<b>203.2</b>			1. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>31</b>			OCT	0.25	
		<b>3001 / 3101 / 3201</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(24h) / Foto	0.25	0.75
<b>203.3</b>			2. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>32</b>			OCT	0.25	
		<b>3002 / 3102 / 3202</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(48h) / Foto	0.25	0.75
<b>203.4</b>			7. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>37</b>			OCT	0.25	
		<b>3007 / 3107 / 3207</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(7d) / Foto	0.25	
			2. UVR	UVR 03.2 : 200 J/m <sup>2</sup> ( <b>GHz 9710: 150 J/m<sup>2</sup></b> )	0.5	1.25
<b>203.5</b>	-		3. UVR	UVR 03.3 : 200 J/m <sup>2</sup> ( <b>GHz 9710: 150 J/m<sup>2</sup></b> )	0.5	0.5
<b>204.1</b>			2.SSR-LT	Foto / Ablesen 21d / Markieren Messfelder	0.25	
	<b>40</b>			OCT(außer: LT; Kopf/Hand) / CR200	0.25	
		<b>4000 / 4100</b>		Ruhen (15min) / 2x LDI(vor LT)	0.25	
				<b>2x SSR-LT: Rü_li m. UVR / Rü_re o. UVR</b>	0.25	
				Foto/ OCT(in LT/ Na, St, Wa, Hs, Ha, UA)	0.25	1.25
<b>204.2</b>			1. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>41</b>			OCT	0.25	
		<b>4001 / 4101</b>		Ruhen (15min) / 2x LDI(24h) / Foto	0.25	0.75
<b>204.3</b>			2. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>42</b>			OCT	0.25	
		<b>4002 / 4102</b>		Ruhen (15min) / 2x LDI(48h) / Foto	0.25	0.75
<b>204.4</b>			7. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>47</b>			OCT	0.25	
		<b>4007 / 4107</b>		Ruhen (15min) / 2x LDI(7d) / Foto	0.25	
			1. UVR	UVR 04.1 : 300 J/m <sup>2</sup> ( <b>GHz 9710: 235 J/m<sup>2</sup></b> )	0.5	1.25
<b>204.5</b>	-		2. UVR	UVR 04.2 : 300 J/m <sup>2</sup> ( <b>GHz 9710: 235 J/m<sup>2</sup></b> )	0.5	0.5
<b>204.6</b>	-		3. UVR	UVR 04.3 : 300 J/m <sup>2</sup> ( <b>GHz 9710: 235 J/m<sup>2</sup></b> )	0.5	0.5
<b>USW.</b>						
<b>211.1</b>			9.SSR-LT	Foto / Ablesen 28d / Markieren Messfelder	0.25	
	<b>110</b>			OCT(außer: LT; Kopf/Hand) / CR200	0.25	
		<b>110_0 / 111_0 / 112_0</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(vor LT)	0.25	
				<b>3x SSR-LT: Rü_li m. UVR / Rü_re o. UVR / Ge</b>	0.25	
				Foto/ OCT(in LT/ Na, Ge, St, Wa, Hs, Ha, UA)	0.25	1.25
<b>211.2</b>			1. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>111</b>			OCT	0.25	
		<b>110_1 / 111_1 / 112_1</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(24h) / Foto	0.25	0.75
<b>211.3</b>			2. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>112</b>			OCT	0.25	
		<b>110_2 / 111_2 / 112_2</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(48h) / Foto	0.25	0.75
<b>211.4</b>			7. Tag	Foto / Ablesen SSR-LT / Markieren	0.25	
	<b>117</b>			OCT	0.25	
		<b>110_7 / 111_7 / 112_7</b>		Ruhen (15min) / <b>3x</b> LDI(7d) / Foto	0.25	0.75

Anh. 1, Tab. 8 Messablauf Studie „Gruppe 3“

Termin	OCT-Sitzungs-Nr.	Monat		Arbeitsaufgaben	Zeit	gesamt:
					3.15	3.15
<b>303</b>	<b>30</b>	März		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35
<b>304</b>	<b>40</b>	April		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35
<b>305</b>	<b>50</b>	Mai		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35
<b>306</b>	<b>60</b>	Juni		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35
<b>307</b>	<b>70</b>	Juli		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35
<b>308</b>	<b>80</b>	August		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35
<b>309</b>	<b>90</b>	September		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35
<b>310</b>	<b>100</b>	Oktober		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35
<b>302</b>	<b>110</b>	Februar		OCT ( Na, St, Wa, Hs, Ha, UA, Rü)	0.25	
				CR200 (St, Ha, Rü) / Foto	0.1	0.35

**Anh. 1, Tab. 9 Messablauf Studie „Gruppe B“**
**Messablauf Gruppe B**

Termin	OCT-Sitzungs-Nr.	LDI-Sitzungs-Nr.		Arbeitsaufgaben	Zeit	gesamt:
					13.5	13.5
0				TK8-LT (HT_II/HT_III: 3,5 SED/4,5 SED)	0.5	0.5
1			1. UVR	TK8-LT(24h) / Foto	-	
				Markieren Messfelder/ OCT(vor:LT/UV)	0.5	
	1	0100		Ruhen (15min) / LDI(vor LT) / <b>2x CR200</b>	0.25	
				<b>1.SSR-LT(vor 1. UVR) / UV(1.8 SED)</b>	0.5	
	2			OCT(nach UV)	0.25	1.5
2	3		2. UVR	AbleSEN SSR-LT / Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
		0101		Ruhen (15min) / LDI(24h)	0.25	
				<b>UV(1.8SED)</b>	0.25	
	4			OCT(nach)	0.25	1
3	5		3. UVR	AbleSEN SSR-LT / Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
		0102		Ruhen (15min) / LDI(48h)	0.25	
				<b>UV(1.8SED)</b>	0.25	
	6			OCT(nach)	0.25	1
4	7		4. UVR	AbleSEN SSR-LT / Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
				<b>UV(1.8SED)</b>	0.25	
	8			OCT(nach)	0.25	0.75
5	9		5. UVR	AbleSEN SSR-LT / Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
				<b>UV(1.8SED)</b>	0.25	
	10			OCT(nach)	0.25	0.75
6	11		1. Tag	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
		0107		Ruhen (15min) / LDI(vor24h/0h)+LDI(1.LT/7d) / <b>2x CR200</b>	0.25	
		1100		<b>2.SSR-LT(24h/0h)</b>	0.25	
	12			OCT(nach)	0.25	1
7	13		2. Tag	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
		1101		Ruhen (15min) / LDI(24h/24h) / LDI(48h/0h))	0.25	
		1300		<b>3.SSR-LT(48h/0h)</b>	0.25	
	14			OCT(nach)	0.25	1
8	15		3. Tag	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)		
		1102		Ruhen (15min)	0.5	
		1301		LDI(24h/48h) / LDI(48h/24h)	0.25	0.75
9	16		8. Tag	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
		1107		Ruhen (15min) / LDI(vor8d/0h) / LDI(24h/7d)	0.25	
		1600		<b>4.SSR-LT(8d/0h)</b>	0.25	
	17			OCT(nach)	0.25	1
10	18	1307	8.Tag+24h	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.5	
		1601		Ruhen (15min)/ LDI(vor8d/24h) / LDI(48h/7d)	0.25	0.75
11	19		21. Tag	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
		1900		Ruhen (15min) / LDI(vor21d/0h)	0.25	
				<b>5.SSR-LT(8d/0h)</b>	0.25	
	20			OCT(nach)	0.25	1
12	21		21.Tag+24h	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.5	
		1901		Ruhen (15min) / LDI(vor21d/24h)	0.25	0.75
13	22		56. Tag	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
		2200		Ruhen (15min) / LDI(vor63d/0h) / <b>2x CR200</b>	0.25	
		2300		<b>6.SSR-LT(63d/0h)+SSR-LT(o.UV: Feld Nacker</b>	0.25	
	23			OCT(nach)	0.25	1
14	24	2201	56.Tag+24h	AbleSEN SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.5	
		2301		Ruhen (15min) / LDI(63d/24h)/LDI(o.UV))	0.25	0.75

## Anh. 1, Tab. 10 Messablauf Studie „Gruppe A“

## Messablauf Gruppe A

Termin	OCT-Sitzungs-Nr.	LDI-Sitzungs-Nr.		Arbeitsaufgaben	Zeit	gesamt:
					9.5	10
<b>0</b>				TK8-LT (HT_II/HT_III: 3,5 SED/4,5 SED)	0.5	0.5
<b>1</b>			1. UVR	TK8-LT(24h) / Foto	-	
		<b>0100</b>		Ruhen (15min) / LDI(0h/0h) / <b>2x CR200</b>	0.25	
				<b>1.SSR-LT(vor 1. UVR) / UV(1.8 SED)</b>	0.5	
	1			OCT(nach UV)	0.25	1.5
<b>2</b>			1. Tag	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren	0.25	
		<b>0101</b>		Ruhen (15min) / LDI(0h/24h)+LDI(24h/0h) / <b>2x CR200</b>	0.25	
		<b>0200</b>		<b>2.SSR-LT(24h/0h)</b>	0.25	
	2			OCT	0.25	1
<b>3</b>			2. Tag	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren / OCT(vor)	0.25	
		<b>0102; 0201</b>		Ruhen (15min) / LDI(0h/48h)+LDI(24h/24h)+LDI(48h/0h))	0.25	
		<b>0300</b>		<b>3.SSR-LT(48h/0h)</b>	0.25	
	3			OCT	0.25	1
<b>4</b>			3. Tag	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren		
		<b>0202</b>		Ruhen (15min)	0.25	
		<b>0301</b>		LDI(24h/48h) / LDI(48h/24h)	0.25	
	4			OCT	0.25	0.75
<b>5</b>			8. Tag	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren	0.25	
		<b>0108; 0207</b>		Ruhen (15min) / LDI(0h/8d) / LDI(24h/7d) /LDI(8d/0h)	0.25	
		<b>0500</b>		<b>4.SSR-LT(8d/0h)</b>	0.25	
	5			OCT	0.25	1
<b>6</b>	6	<b>0307</b>	8.Tag+24h	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren	0.25	
		<b>0501</b>		Ruhen (15min) / LDI(48h/7d) / LDI(8d/24h)	0.25	
				OCT	0.25	0.75
<b>7</b>			21. Tag	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren	0.25	
		<b>0700</b>		Ruhen (15min) / LDI(21d/0h)	0.25	
				<b>5.SSR-LT(8d/0h)</b>	0.25	
	7			OCT	0.25	1
<b>8</b>			21.Tag+24h	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren	0.25	
		<b>0701</b>		Ruhen (15min) / LDI(21d/24h)	0.25	
	8			OCT	0.25	0.75
<b>9</b>			56. Tag	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren	0.25	
		<b>0900</b>		Ruhen (15min) / LDI(63d/0h) /LDI(o. UV: 63d//0h) / <b>2x CR200</b>	0.25	
		<b>1000</b>		<b>6.SSR-LT(63d/0h)+SSR-LT(o.UV: Feld Nacker</b>	0.25	
	9			OCT	0.25	1
<b>10</b>	10	<b>0901</b>	56.Tag+24h	Ablesen SSR-LT/ Foto / Markieren	0.25	
		<b>1001</b>		Ruhen (15min) / LDI(56d/24h)/LDI(o.UV/24h))	0.25	
				OCT	0.25	0.75



**Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus**  
Reformfakultät des Stifterverbandes  
für die Deutsche Wissenschaft  
Harvard Medical International Associated Institution



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

**Ethik-Kommission**

Vorsitzender: Prof. Dr.med. Dr.med. dent. W. Kirch

10 Dresden-Medizinische Fakultät - Fetscherstraße 74 - 01307 Dresden

Herr  
Dr. Aschoff  
Klinik und Poliklinik für Dermatologie  
Universitätsklinikum Dresden

Tel.: (0351) 458 2962

Fax: (0351) 458 4369

Internet:

<http://www.ethikkommission.med.tu-dresden.de>

[ethikkommission@mailbox.tu-dresden.de](mailto:ethikkommission@mailbox.tu-dresden.de)

- Hauspost -

07.02.2005

**Studie: Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien**

Bearbeitungs-Nr. (bitte stets angeben): EK257122004

Antragsteller: **Klinik und Poliklinik für Dermatologie** des Universitätsklinikums Dresden,  
Fetscherstr. 74, 01307 Dresden

**Eingangsbestätigung**

- überarbeiteter Antrag an die Ethik-Kommission
- Einschätzung zur Konformitätsbewertung OCT-Derma 930 vom 28.01.2005
- Versicherungsbestätigung der Allianz vom 16.12.2004
- überarbeiteter Prüfplan
- Dokumentationsbögen
- überarbeitete Probandeninformation
- Nachweis, dass Herr Dr. Aschoff die Voraussetzungen für die Übernahme der Funktion des LKP's erfüllt

Sehr geehrter Herr Dr. Aschoff,

hiermit bestätigen wir Ihnen Erhalt und Kenntnisnahme der aufgeführten Unterlagen zu o. g. Studie und bedanken uns für Ihr Schreiben vom 28.01.2005.

Den Auflagen der Ethik-Kommission gemäß unserem Votum der Sitzung vom 12/14/2004 wurde vollständig nachgekommen. Gegen die Durchführung der vorgenannten Studie bestehen von Seiten der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Technischen Universität Dresden keine Bedenken.

Unabhängig vom Beratungsergebnis macht die Ethik-Kommission Sie darauf aufmerksam, dass die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung der Studie bei allen teilnehmenden Ärzten liegt.

*Änderungen in Organisation und Ablauf der klinischen Prüfung (einschließlich Änderungen des Versicherungsschutzes) sind der Ethikkommission umgehend mitzuteilen und die*

Postanschrift:

Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus  
Technische Universität Dresden  
Fetscherstraße 74  
01307 Dresden

Hausadresse:

Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus  
Technische Universität Dresden  
Fiedlerstraße 27  
01307 Dresden

Besuchsadresse:

Fiedlerstraße 27  
Dekanatsgebäude  
Haus 40  
Raum 110

Seite 2 des Schreibens an Herrn Dr. Aschoff  
Vom 04.02.2005, EK 257122004

**geänderten Passagen müssen deutlich kenntlich gemacht werden, da sich das Votum der Sitzung vom 12/14/2004 nur auf die bisher vorgelegten Unterlagen bezieht.**

Mit freundlichen Grüßen

Privatdozent Dr.med. H. Theilen  
2. stellv. Vorsitzender der Ethik-Kommission

**Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, Ethikkommission**

TU Dresden, Medizinische Fakultät  
Fetscherstraße 74, 01307 Dresden

Herr  
Dr. Aschoff  
Klinik und Poliklinik für Dermatologie  
Universitätsklinikum Dresden  
**- Hauspost -**

Prof. Dr. med. Dr. med. dent.  
**Wilhelm Kirch**  
Vorsitzender der Ethikkommission

Bearbeiterin: Annett Schulze  
Telefon: 0351 458-2592  
Telefax: 0351 458-4369  
E-Mail: ethikkommission@mailbox.tu-dresden.de

Dresden, 03.04.2006

**Studie:** Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien  
**Bearbeitungs-Nr.:** EK257122004 (bitte stets angeben)  
**Antragsteller:** Klinik und Poliklinik für Dermatologie des Universitätsklinikums Dresden, Fetscherstr. 74, 01307 Dresden

**Eingangsbestätigung**

- Anschreiben an die Ethikkommission
- Anlage - Ergänzungen/Änderungen des Prüfplanes zu EK 257122004
- Geändertes Antragsformular
- Anlage 5 – Prüfplan
- Anlage 7 – Probandeninformation

Sehr geehrter Herr Dr. Aschoff,

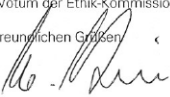
hiermit bestätigen wir Ihnen Erhalt und Kenntnisnahme der aufgeführten Unterlagen zu o. g. Studie und bedanken uns für Ihr Schreiben vom 28.02.2006.

Nach Durchsicht der Unterlagen teilen wir Ihnen mit, dass seitens der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Technischen Universität Dresden gegen die vorgenommenen Veränderungen bzw. Ergänzungen keine ethischen Bedenken bestehen.

Die von Ihnen genannte Anlage 2 a – OCT-Gerätes Derma 930 - liegt uns leider nicht vor. Bitte reichen Sie diese noch nach.

Das Votum der Ethik-Kommission der Sitzung vom 12/14/2004 bleibt unberührt.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. Kirch  
Vorsitzender der Ethik-Kommission

**Postanschrift**  
Technische Universität Dresden  
Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus  
Ethikkommission  
Fetscherstr. 74  
01307 Dresden

**Besucheradresse**  
Sekretariat: Fiedorzi: 27  
Dekanatsgebäude, Haus 40  
Zi.: 110

**Internet**  
http://www.ok.med.tu-dresden.de/

**Klinik und Poliklinik für Dermatologie**

Direktor: Prof. Dr. med. M. Meurer

**Experimentelle Photobiologie**  
TU Dresden • Med. Fakultät • Dermatologie • Fetscherstraße 74 • 01307 Dresden

Tel.: (0351) 458 2497  
Fax: (0351) 458 4338  
email: knuschke@rs.urz.tu-dresden.de  
Tel.: (0351) 458 3552  
Fax: (0351) 458 8474

Ethikkommission  
der Medizinischen Fakultät  
Carl Gustav Carus  
der Technischen Universität Dresden.

**Im Hause**

28.05.2007

**EK257122004 – Status: Probandenuntersuchungen abgeschlossen**

Studie „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Personen mit ständigem Arbeitsfeld im Freien“

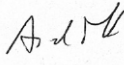
Sehr geehrter Dr. Siegert,

wir möchten die Ethikkommission in Kenntnis setzen, dass die Probandenuntersuchungen zu o. g. Studie im März 2007 abgeschlossen wurden. Das Gesamtprojekt mit sämtlichen Auswertungen endet nach kostenneutraler Verlängerung am 31.12.2007.

Mit freundlichen Grüßen



Dipl.-Phys. P. Knuschke  
Projektleiter



OA Dr. med. R. Aschoff  
Leiter der klinischen Prüfung

**Anlagen**

- Bedienungsanleitung OCT-Derma-840

*In Verbindung mit der geänderten Bezeichnung des OCT-Gerätes von Derma SR 930 zu Derma SR 840 (vgl. unser Schreiben vom 28.02.06/Schreiben der Ethikkommission vom 03.04.06) war eine Bedienungsanleitung mit der geänderten Gerätebezeichnung erstellt worden, die dem Schreiben nicht beigelegt worden war. Sie wird hiermit nachgereicht.*

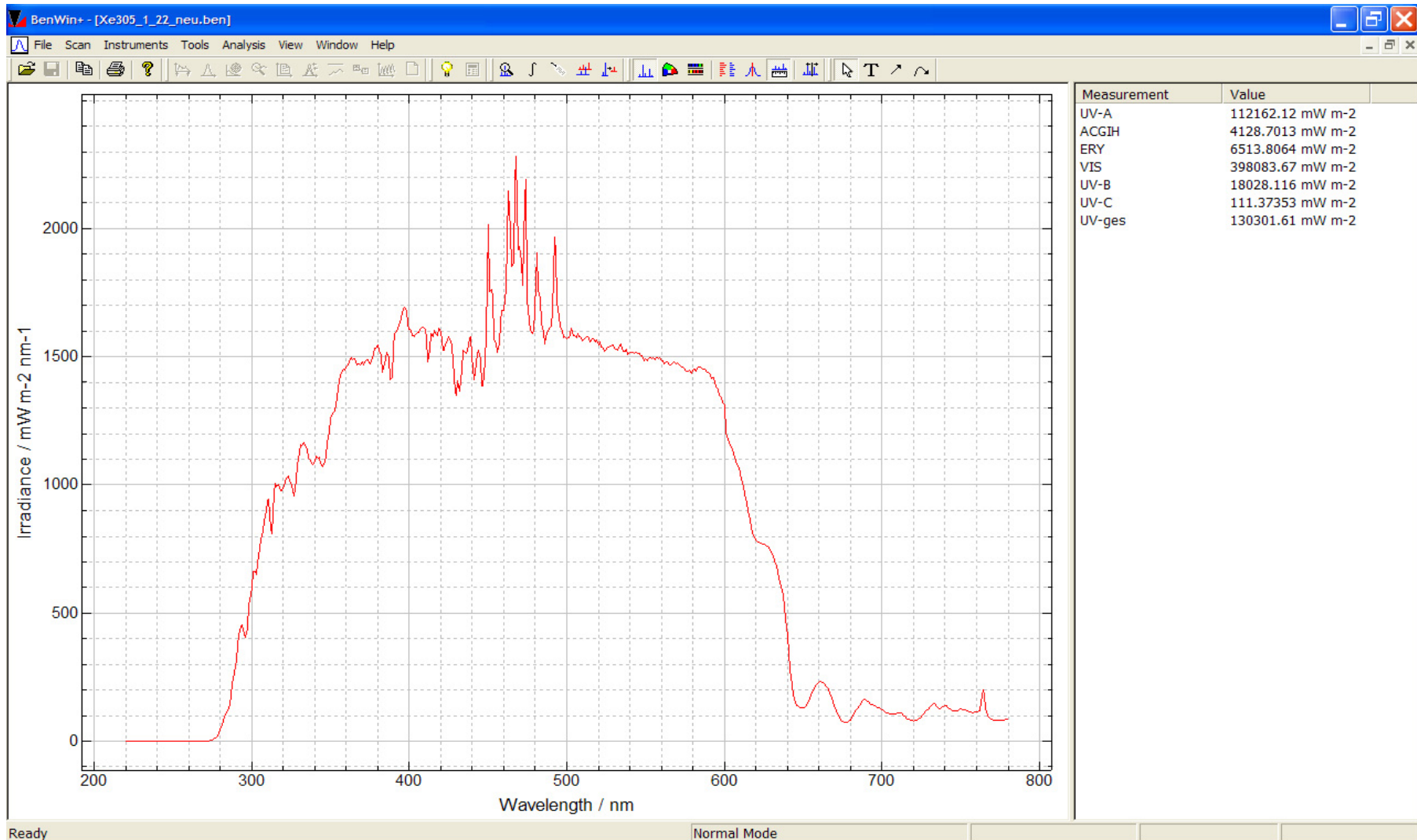
- Prüfprotokoll zu OCT Derma SR 840

*Weiterhin wird ein zusätzliches Prüfprotokoll zur Gerätesicherheit beigelegt, dass in Verbindung mit dem Rücktausch der Superlumineszenzdiode von Mittenwellenlänge 930 nm auf Mittenwellenlänge 840 nm bei der Abt. Medizintechnik des GB Einkauf erbeten worden war.*

**Postanschrift:**  
Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus  
Technische Universität Dresden  
Klinik und Poliklinik für Dermatologie  
Experimentelle Photobiologie  
Fetscherstraße 74  
01307 Dresden

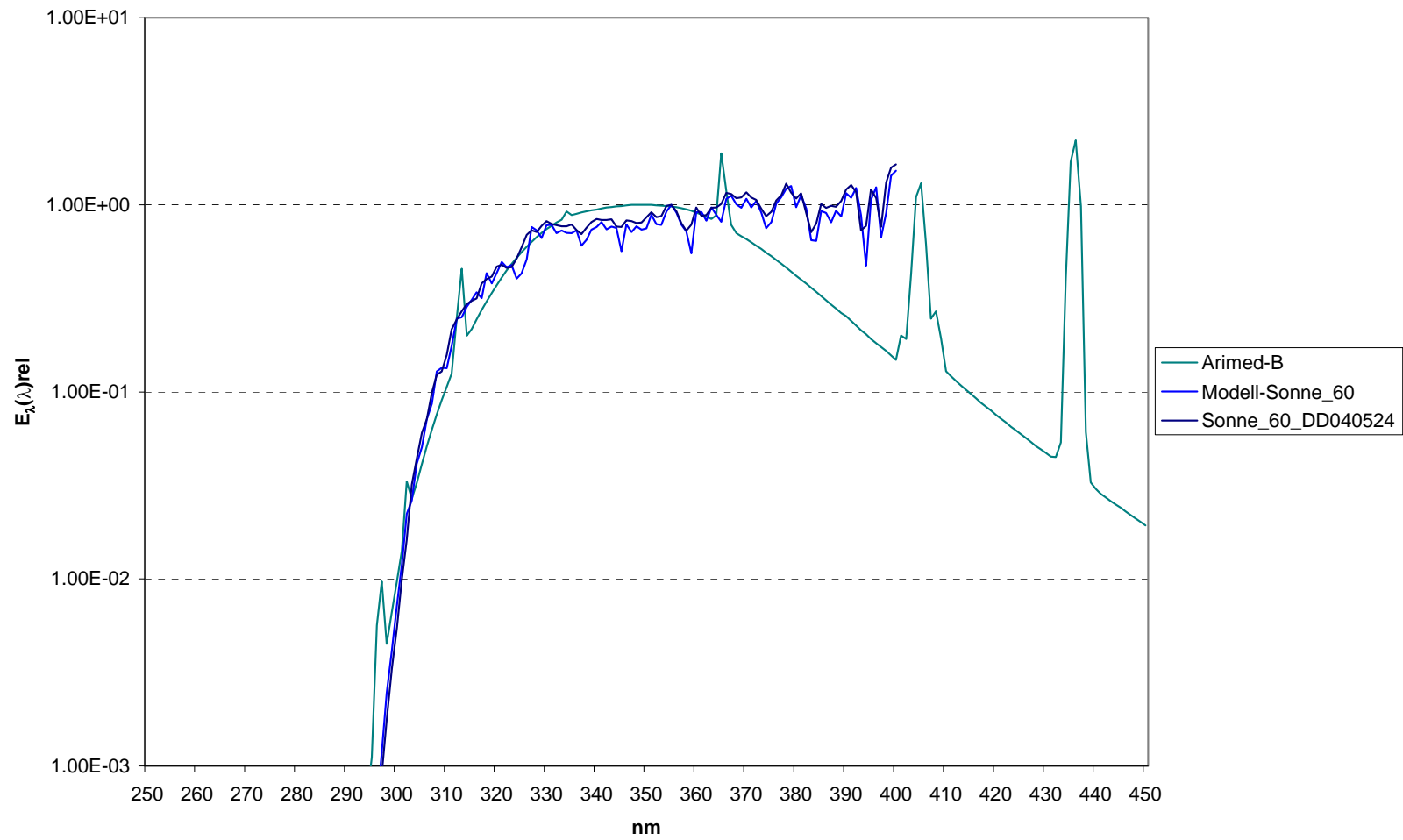
**Besuchsadresse:**  
Universitätsklinikum  
Fetscherstr. 74  
Haus 46, Raum 313b





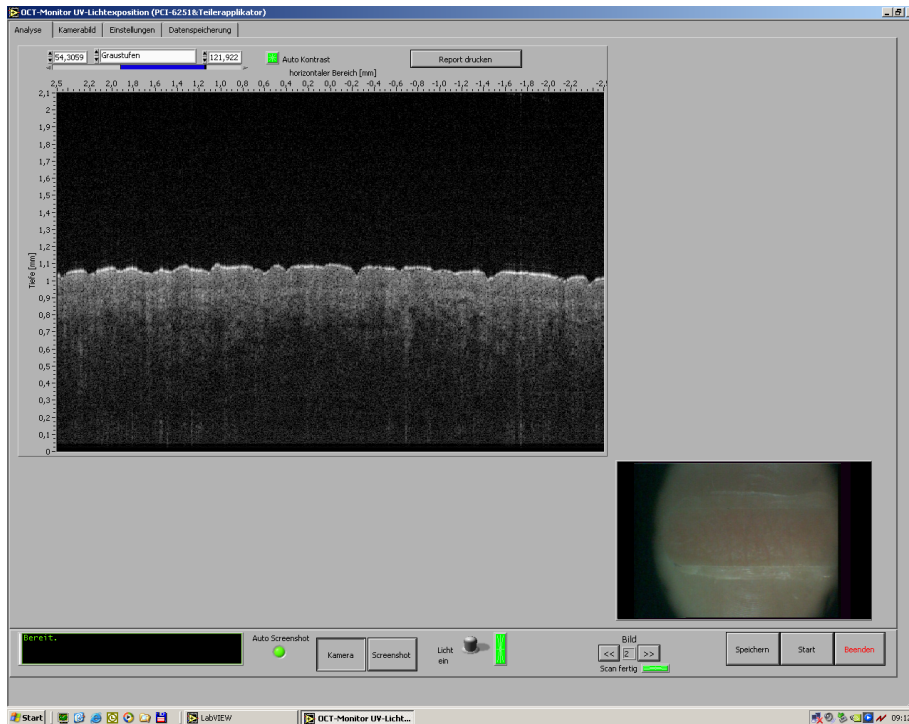
Anh. 1, Abb. 2

Spektrale Bestrahlungsstärke  $E_{\lambda}(\lambda)$  der Solarsimulatorstrahlung des DERMOLUM UM



Anh. 1, Abb. 3

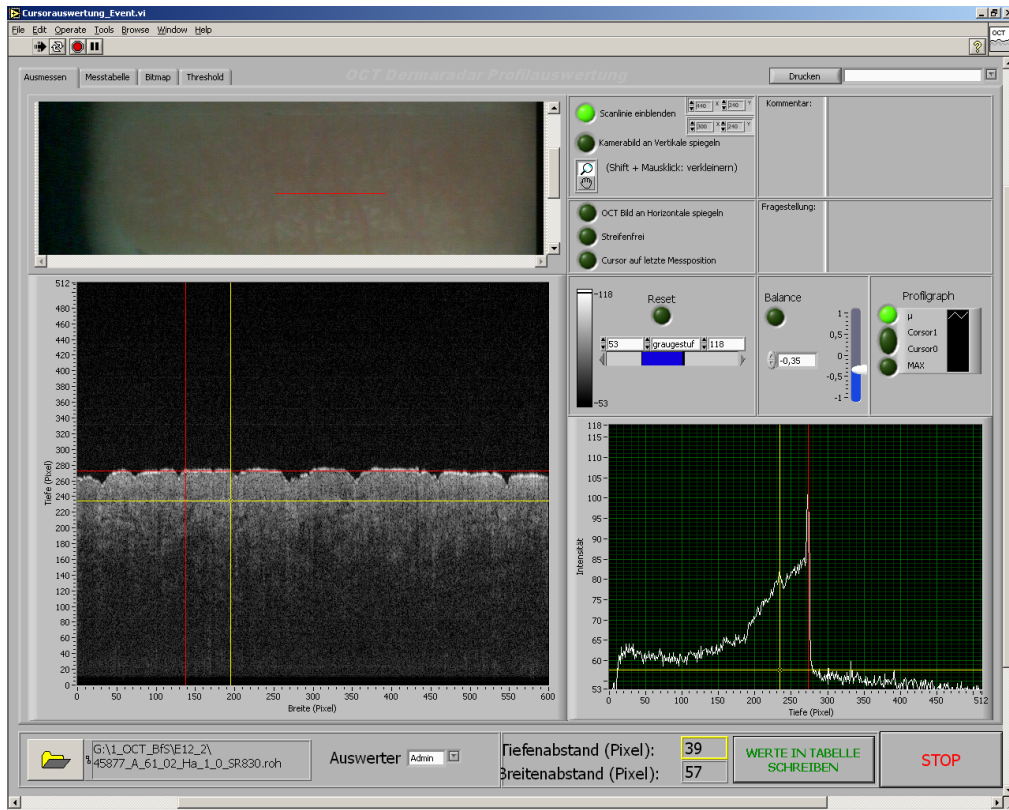
Relative spektrale UV-Bestrahlungsstärke  $E_{\lambda}(\lambda)$  von Arimed-B-Strahler und Solarstrahlung (Mittagssonnenhöhe  $\gamma_s = 60^\circ$ , Modell-Spektrum bzw. Messung in Dresden am 24.05.04)



**Anh. 1, Abb. 4 a** OCT-Monitor zur Aufnahme von B-Scanbildern der Epidermis (obere dunkelgraue Schicht) und darunter liegender oberer Dermis; unten rechts: Aufsicht-Videobild des untersuchten Hautareals



**Anh. 1, Abb. 4 b** Speichermodul für OCT-Aufnahmen zur Generierung von Dateinamen, die das OCT-Bild vollständig charakterisieren: Studie/Untersuchungsmonat/Probanden-Nr./Sitzungs-Nr. im Monat/ Körperregion/Areal in Körperregion/Lichttest-Feld



Anh. 1, Abb. 4 c

Software „Cursorauswertung“ der AG KSM zur cursorbasierten Auswertung der Epidermisdicke von OCT-Aufnahmen

## **Anhang 2**

### **Detailergebnisse**

**Anh. 2, Tab. 1** Studie „Gruppe 1“ – Probandencharakteristik mit Hauttyp und MED

PN	Alter	Tätigkeit	Hauttyp	MED(24h)		
				Rücken H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	Gesäß H <sub>ery</sub> / J/m <sup>2</sup>	Ratio Rü / Ge
1_13	37	Landschaftsgärtner	III	173	250	0.69
1_14	35	Landschaftsgärtner	II	208	518	0.40
1_15	53	Gärtner	II	275	300	0.92
1_16	44	Gärtner	II(III)	413	430	0.96
1_17	40	Landschaftsgärtner	II	191	300	0.64
1_18	19	Gärtner, Maschinist	II	243	300	0.81
1_19	42	Krafffahrer, Maschinist, Gärtner	II(III)	243	405	0.60
1_20	54	Gärtner	II	229	250	0.92
1_21	37	Landschaftsgärtner	II	212	300	0.71
1_22	41	Straßenbau	II(III)	300	518	0.58
1_23	39	Stahlbauschlosser	II	250	431	0.58
1_24	50	Gärtner	III	250	370	0.68
<b>MW</b>				249	364	0.71
<b>SD</b>				62	96	0.17

**Anh. 2, Tab. 2** Studie „Gruppe 2“ – Probandencharakteristik mit Hauttyp und MED

PN	Alter	Tätigkeit	Hauttyp	MED(24h)		
				Rücken H <sub>er</sub> / J/m <sup>2</sup>	Gesäß H <sub>er</sub> / J/m <sup>2</sup>	Ratio Rü / Ge
2_37	28	Handel (selbständig)	II	208	300	0.69
2_38	21	Zivildienstleistender	II	180	250	0.72
2_39	33	Betriebsinformatiker	II	300	320	0.94
2_40	26	Student	III	270	431	0.63
2_41	44	Klinikingenieur	III	300	743	0.40
2_42	34	Dispatcher	II	173	208	0.83
2_43	44	Dispatcher	II(-III)	359	300	1.20
2_44	39	Krankenpfleger	II	250	359	0.70
2_45	25	techn. Angestellter	II	240	359	0.67
2_46	36	wiss. Mitarbeiter	II	208	300	0.69
2_47	42	Elektriker	III	220	300	0.73
2_48	34	Betriebsinformatiker	II	185	250	0.74
<b>MW</b>				241	343	0.75
<b>SD</b>				57	139	0.19

**Anh. 2, Tab. 3** Studie „Gruppe 3“ – Probandencharakteristik mit Hauttyp

PN	Alter	Tätigkeit	Hauttyp
3_49	37	Gärtner	II
3_50	35	Baumpfleger	II
3_51	53	Landschaftsgärtner	II
3_52	44	Zimmerer	II
3_54	40	Baumkontrolleur	III
3_55	19	Vorarbeiter	II
3_56	42	Friedhofsarbeiter	III
3_57	54	Friedhofsarbeiter	III
3_58	37	Friedhofsgärtner	II
3_59	41	Landschaftsgärtner	-II
3_60	39	Zimmerer	II
3_61	50	Unternehmer / Maurer	II

**Anh. 2, Tab. 4** Studie „Gruppe A“ - Probandencharakteristik mit Hauttyp und MED

PN	Alter	Tätigkeit	Hauttyp	MED(24h)
				Rücken $H_{ey} / J/m^2$
A_25	26	Student	III	480
A_26	25	Student	II	280
A_27	24	Student	II	250
A_28	61	Rentner	III	780
A_29	26	Student	II	250
A_30	22	Student	III	250
A_31	26	Student	II(-III)	350
A_32	26	Student	II	359
A_33	21	Student	II	173
A_34	33	Student	II	180
A_35	27	Student	II	300
A_36	24	Student	II	245
			<b>MW</b>	325
			<b>SD</b>	166

**Anh. 2, Tab. 5** Studie „Gruppe B“ – Probandencharakteristik mit Hauttyp und MED

PN	Alter	Tätigkeit	Hauttyp	MED(24h)
				Rücken $H_{er} / J/m^2$
B_1	45	z. Z. ohne	II	250
B_2	41	Klinkingenieur	III	250
B_3	36	Schlosser	II	240
B_4	22	Student	II	144
B_5	25	Student	II(-III)	350
B_6	23	Student	-II	144
B_7	26	Student	III	250
B_8	24	Student	II	173
B_9	25	Student	III	300
B_10	29	Krankenpfleger	-II	144
B_11	26	Student	II	173
B_12	25	Student	II	173
			<b>MW</b>	216
			<b>SD</b>	68

Übersicht zu Anh. 2, Abb. 1 a-f

UV-Eigenschutzreaktion der Rückenhaut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1; Probanden 1\_13 bis 1\_24)

- ohne Lichtschutzsubstanz auf der Rückenhaut (linke Abbildungen)

- mit Lichtschutzsubstanz auf der Rückenhaut (rechte Abbildungen)

Jahresverlauf: - Epidermisdicke

- rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

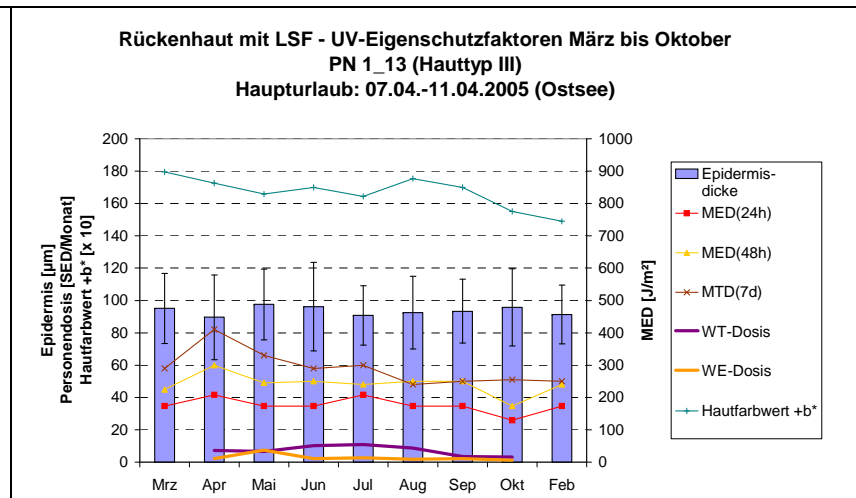
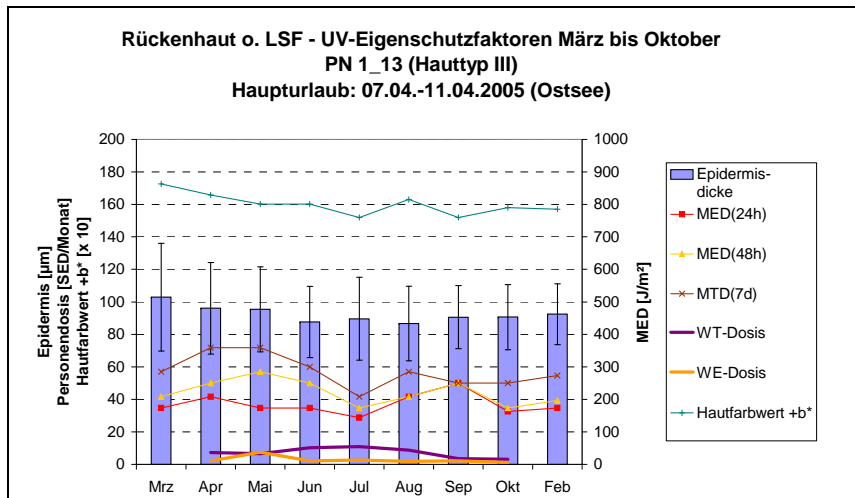
- minimale Erythemdosis MED(24h, 48h)

- minimale Pigmentierungsdosis MTD(7d);

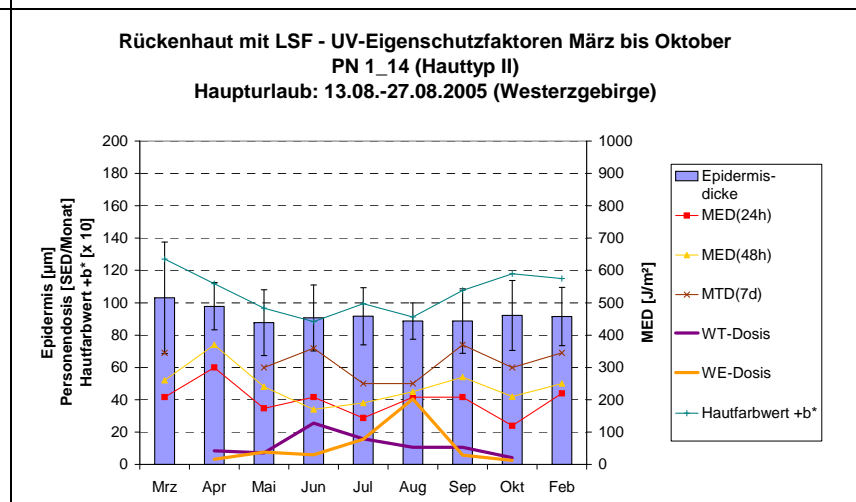
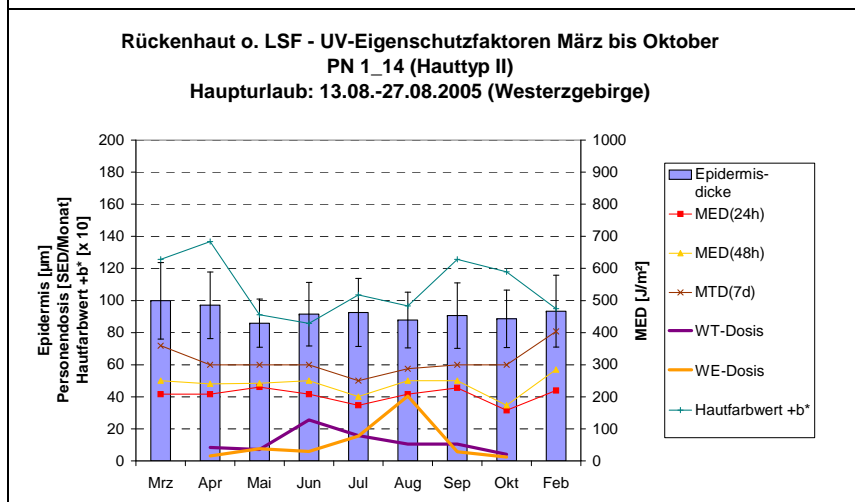
- kumulative erythem-effektive UV-Personendosis pro Monat (WT: Werk-, WE: Wochenendtage)



Gr. 1: 1\_13



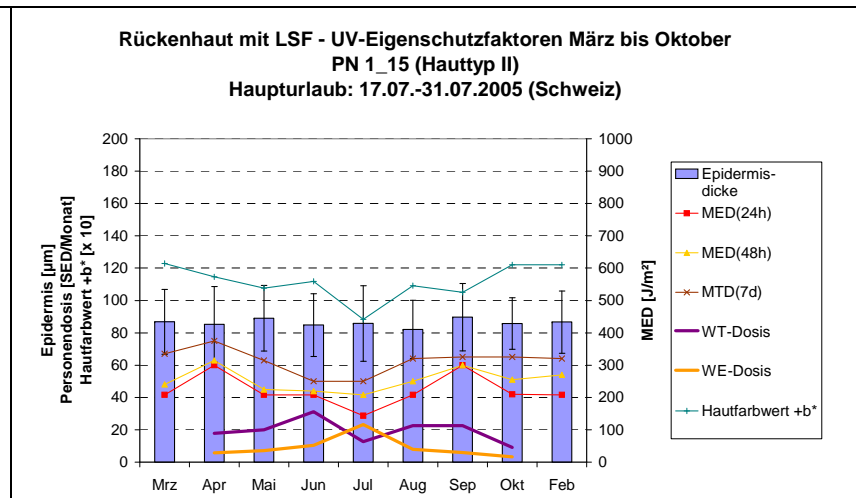
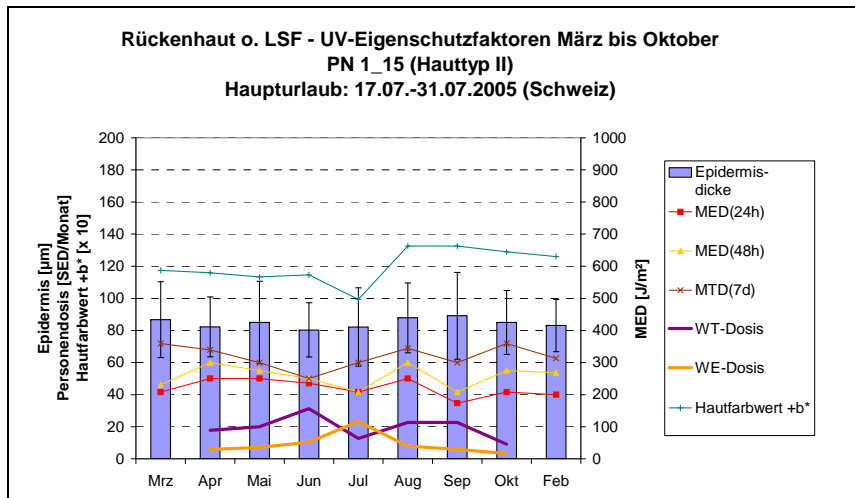
Gr. 1: 1\_14



Anh. 2, Abb. 1 a

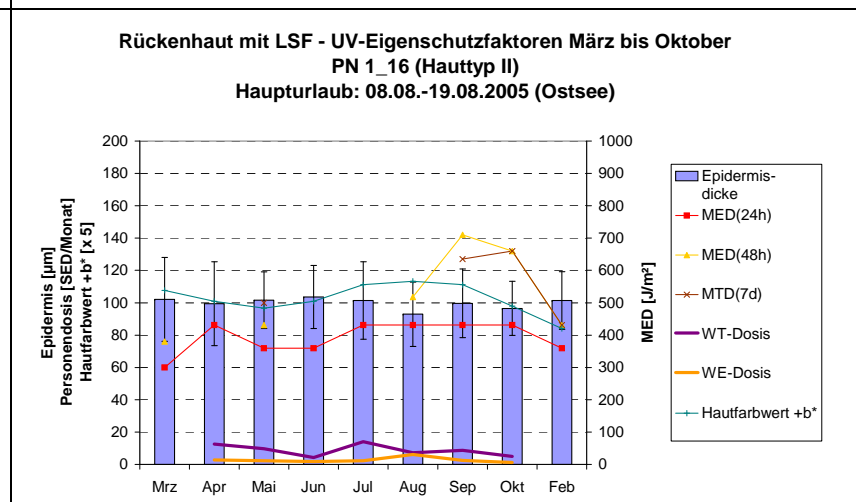
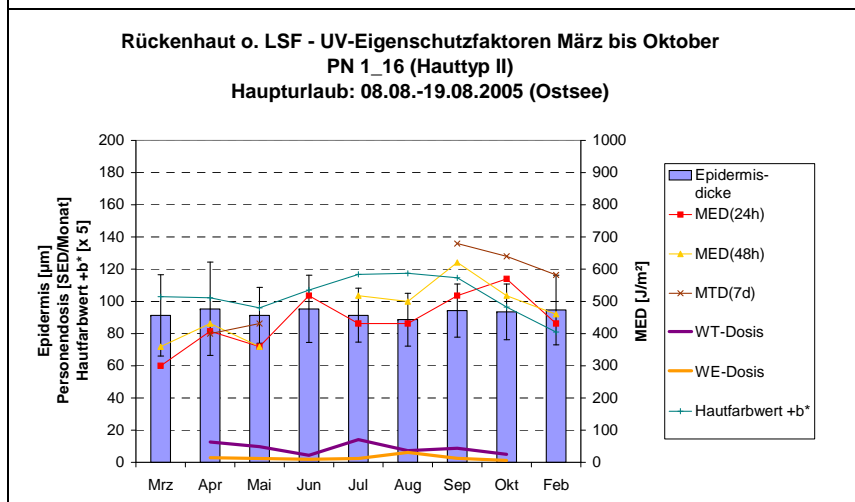
Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage); - ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)

Gr. 1: 1\_15



Gr. 1: 1\_16

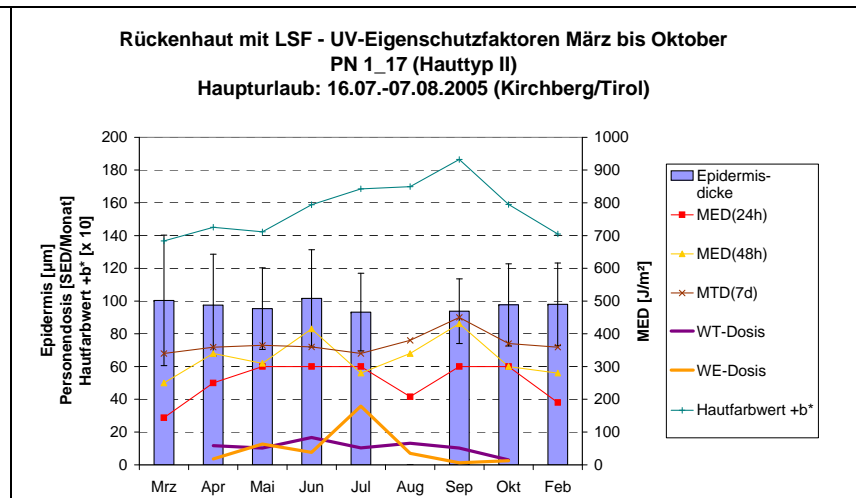
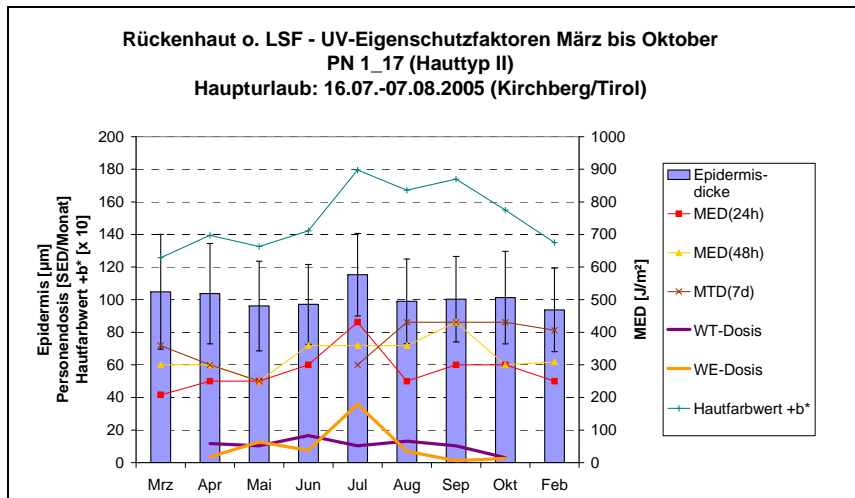
Achtung:  
b\*-Skalier.:  
x5 statt x10!



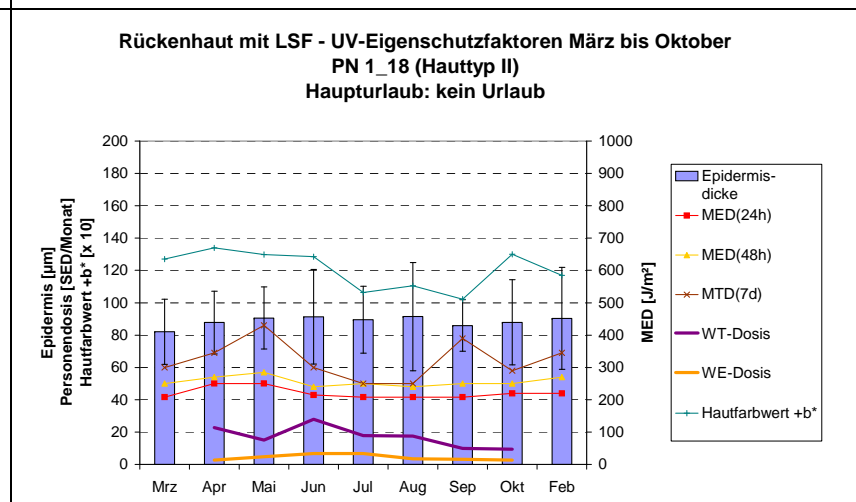
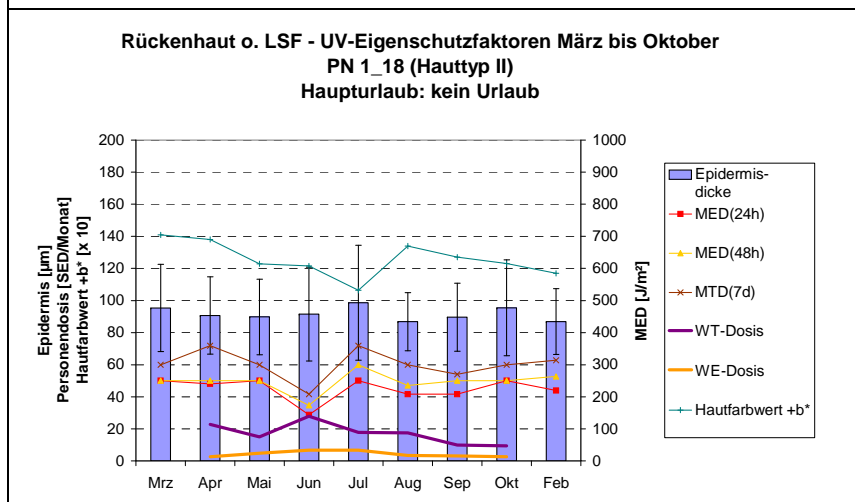
Anh. 2, Abb. 1 b

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage); - ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)

Gr. 1: 1\_17



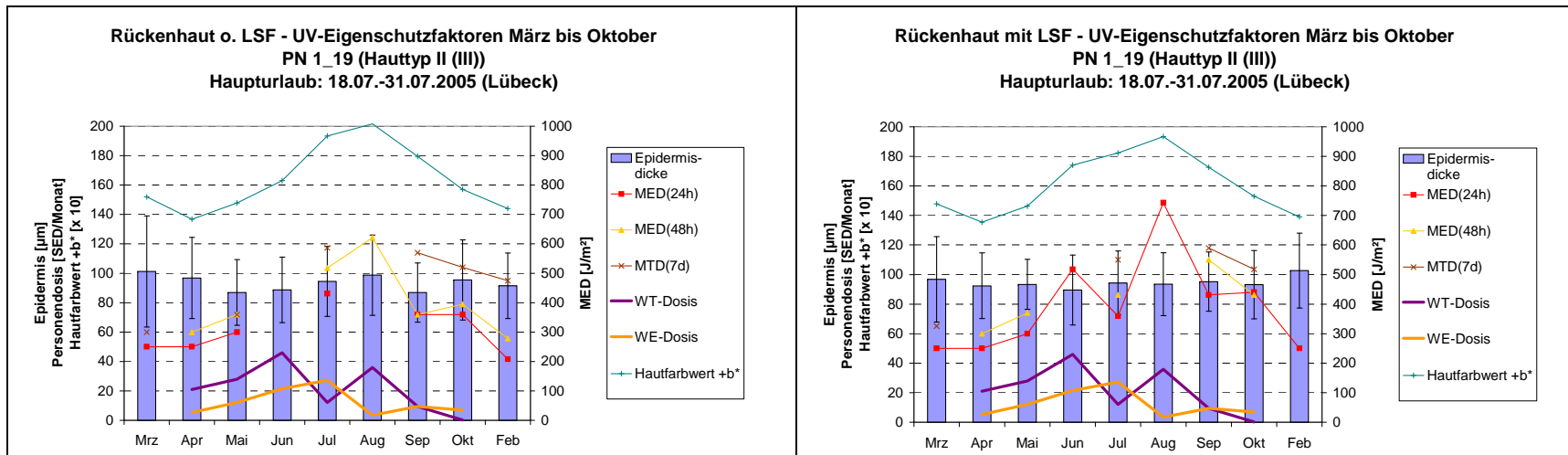
Gr. 1: 1\_18



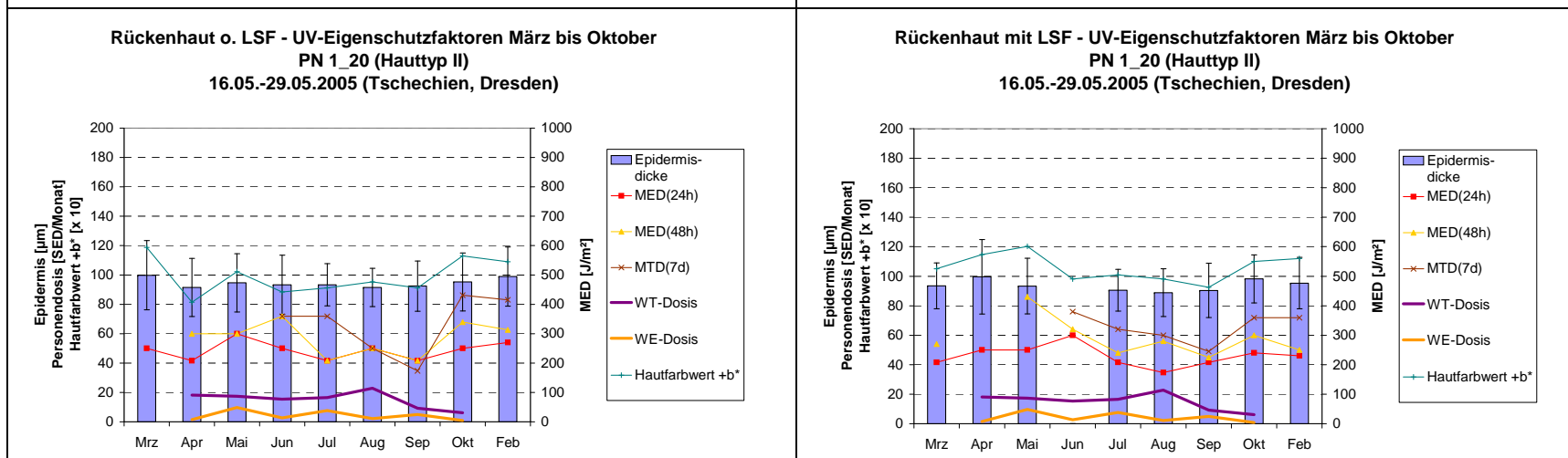
Anh. 2, Abb. 1 c

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage); - ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)

Gr. 1: 1\_19



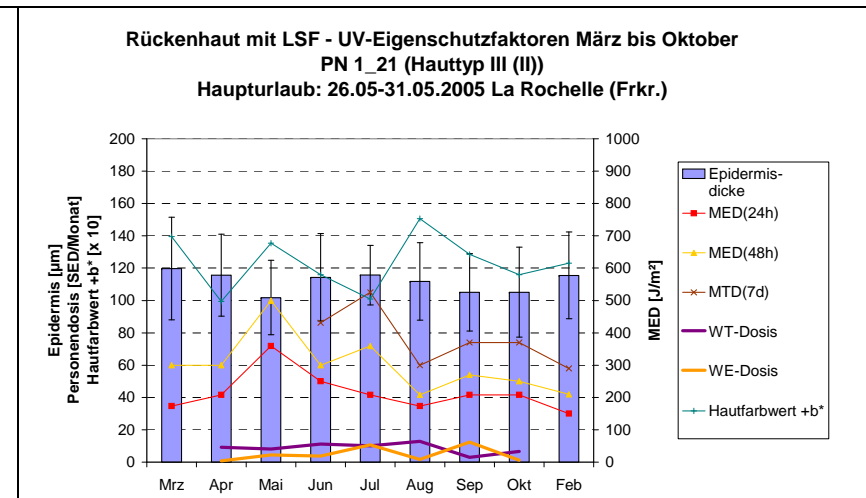
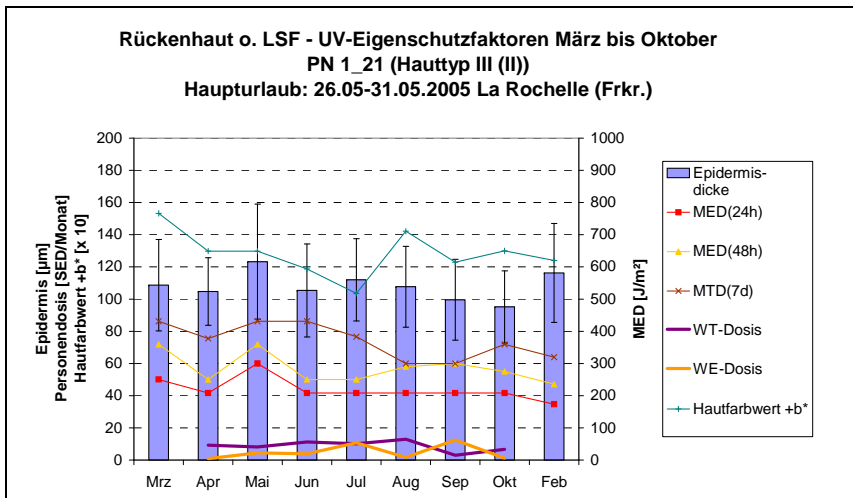
Gr. 1: 1\_20



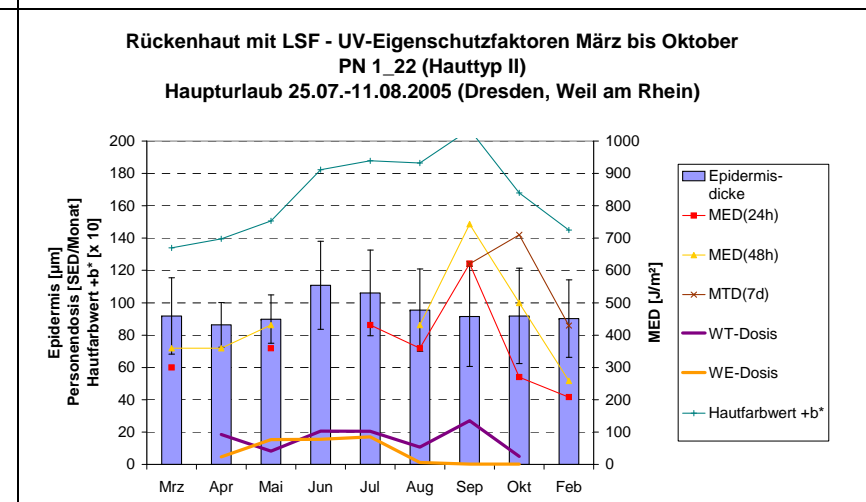
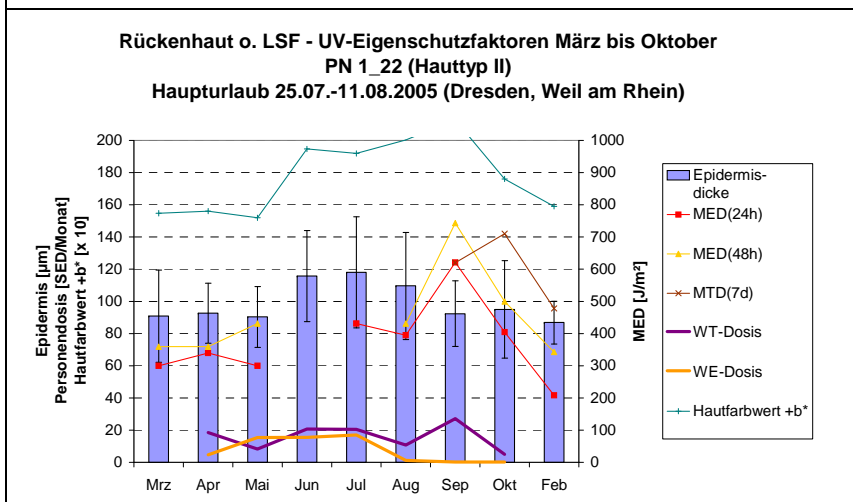
Anh. 2, Abb. 1 d

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage); - ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)

Gr. 1: 1\_21



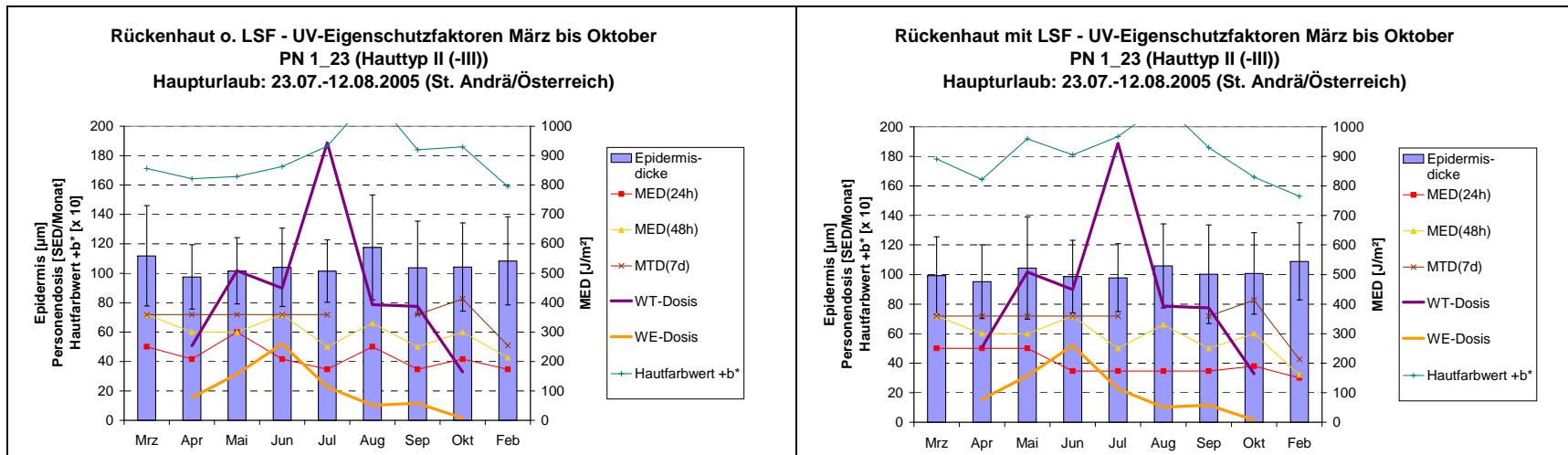
Gr. 1: 1\_22



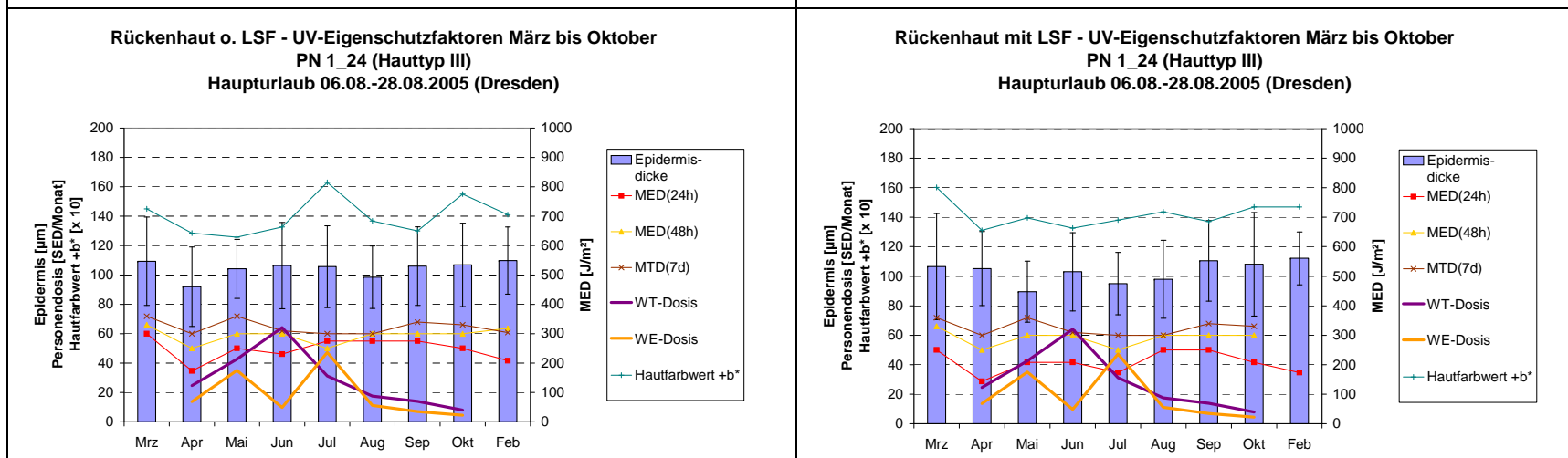
Anh. 2, Abb. 1 e

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage); - ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)

Gr. 1: 1\_23



Gr. 1: 1\_24



Anh. 2, Abb. 1 f

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage); - ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)

Übersicht zu Anh. 2, Abb. 2 a-f

UV-Eigenschutzreaktion der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2; Probanden 2\_37 bis 2\_48)

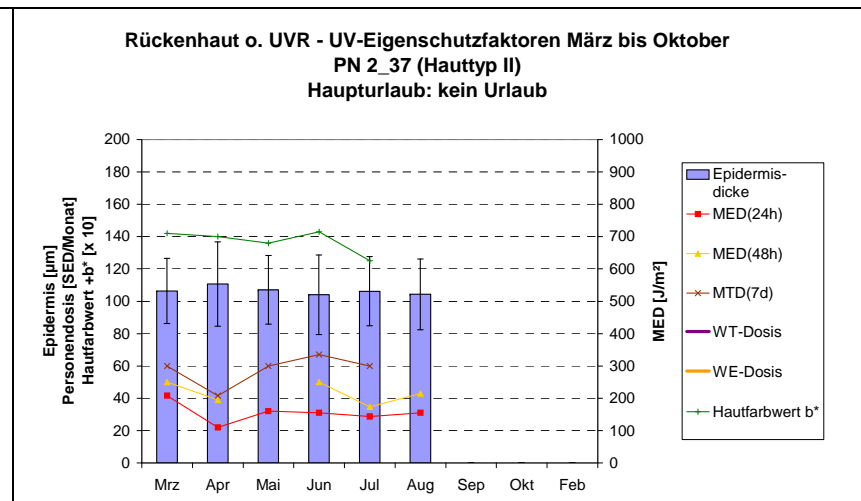
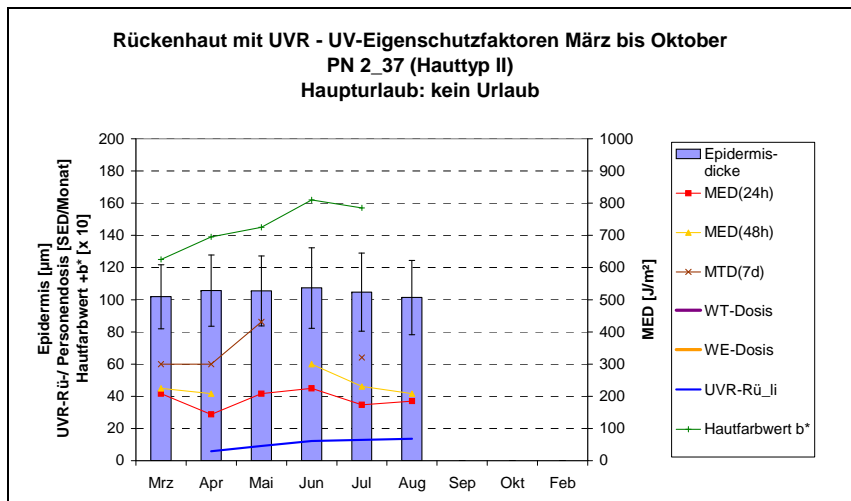
- bei Alltagsexpositionen (rechte Abbildungen)
- bei künstlicher UV-Bestrahlung (linke Abbildungen)

(UV-Dosis entsprechend Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter)

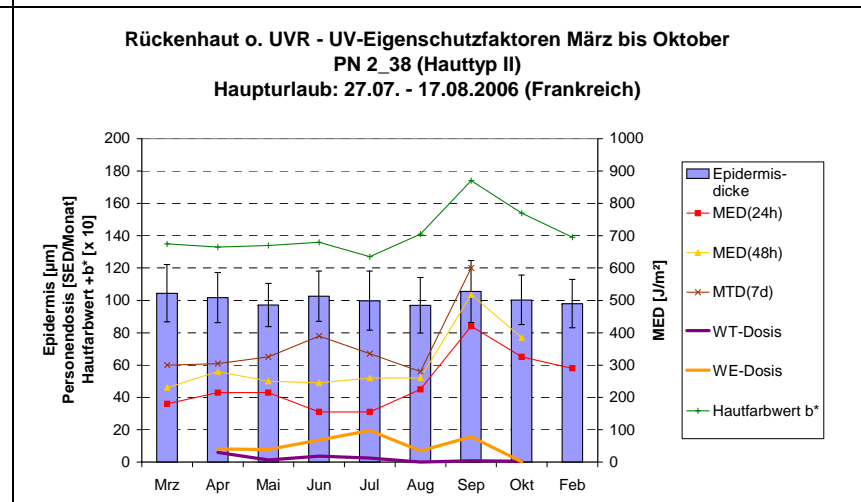
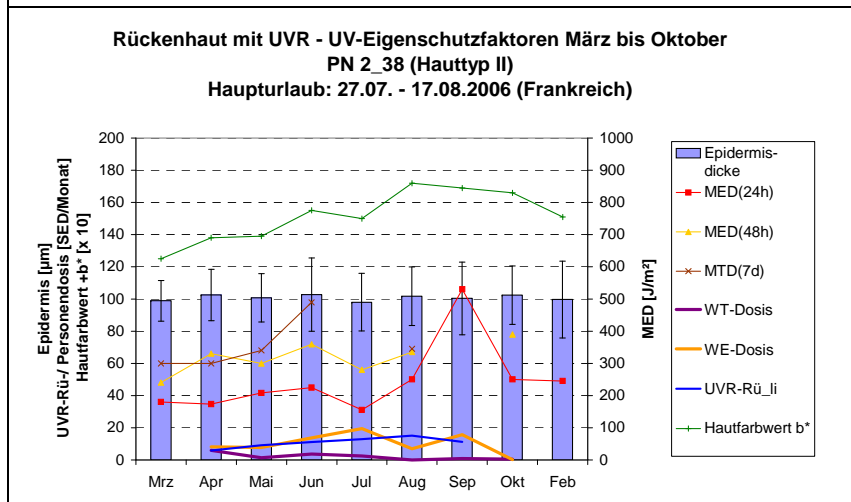
- Jahresverlauf:
- Epidermisdicke
  - rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)
  - minimale Erythemdosis MED(24h, 48h)
  - minimale Pigmentierungsdosis MTD(7d);
  - kumulative erythem-effektive UV-Dosis der Bestrahlungen auf die linken Rückenseite,
  - kumulative erythem-effektive UV-Personendosis pro Monat (WT: Werk-, WE: Wochenendtage)

Gr. 2: 2\_37

(Aug. 2006: ausgewandert)



Gr. 2: 2\_38



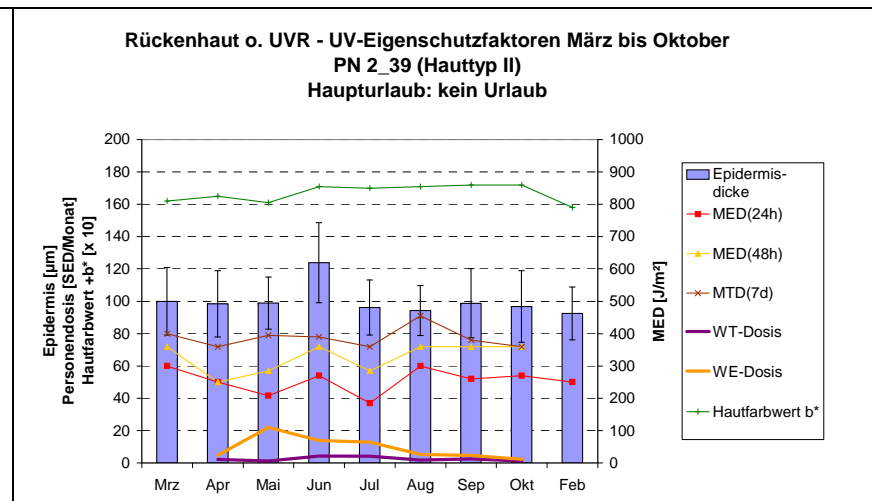
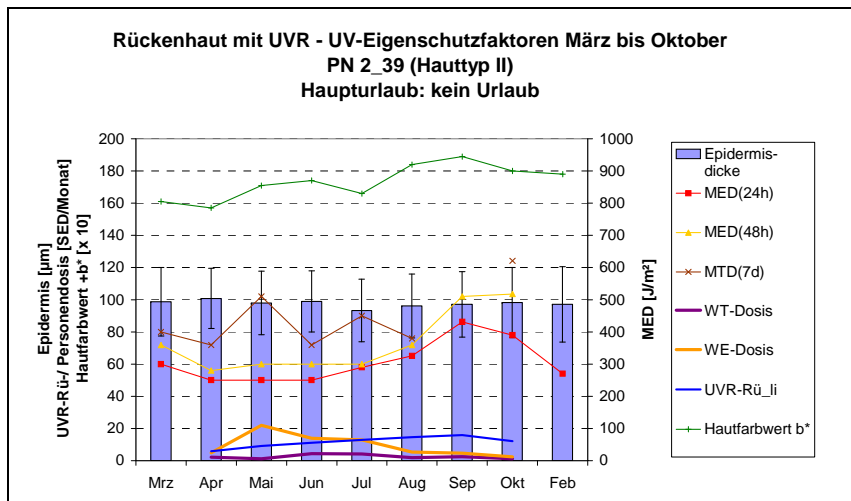
Anh. 2, Abb. 2 a

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage)

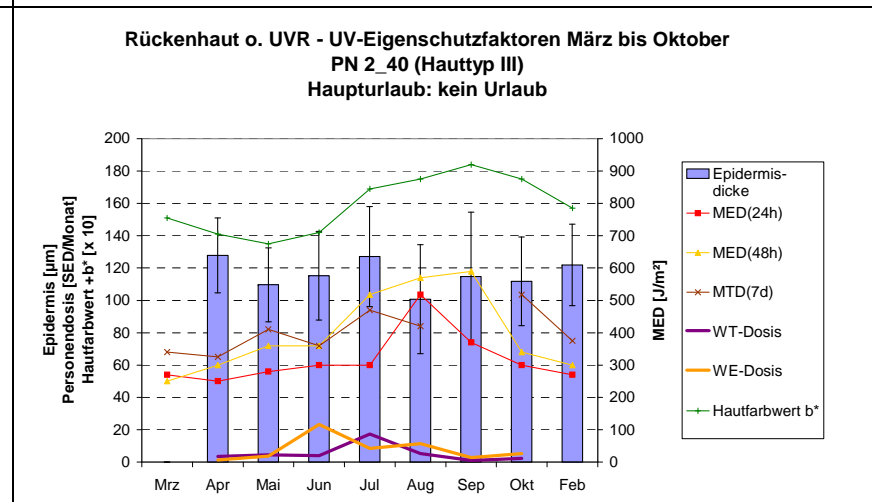
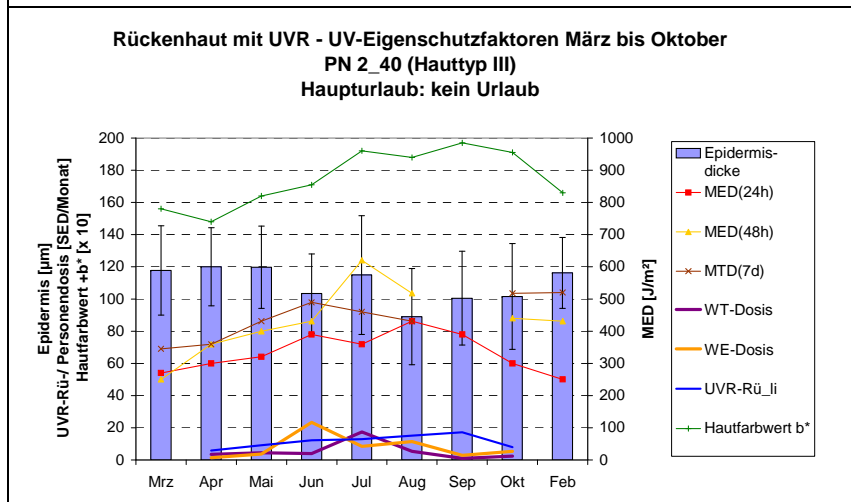
- Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter)
- Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten



Gr. 2: 2\_39



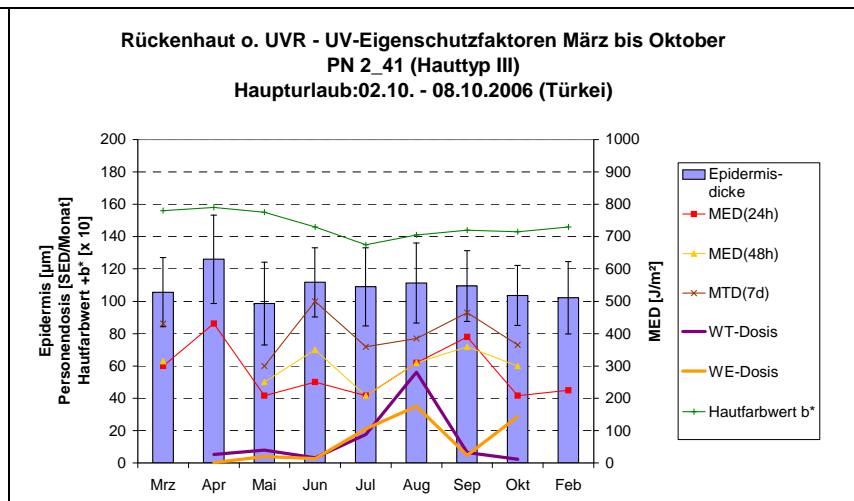
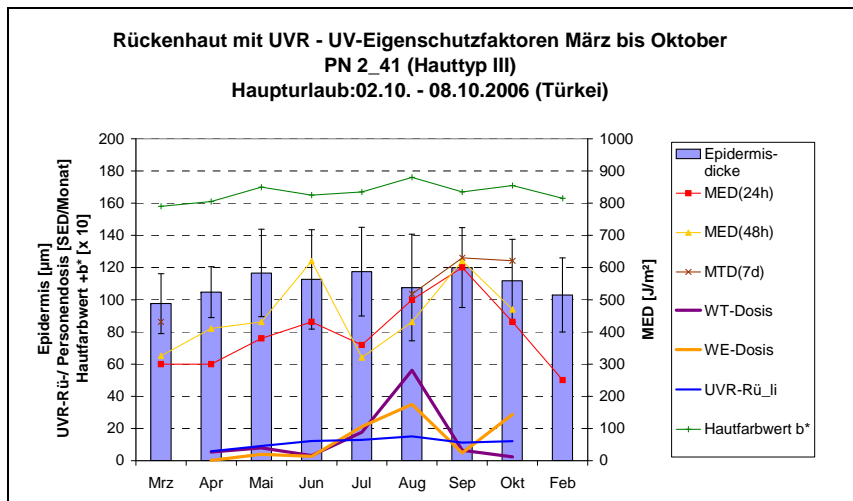
Gr. 2: 2\_40



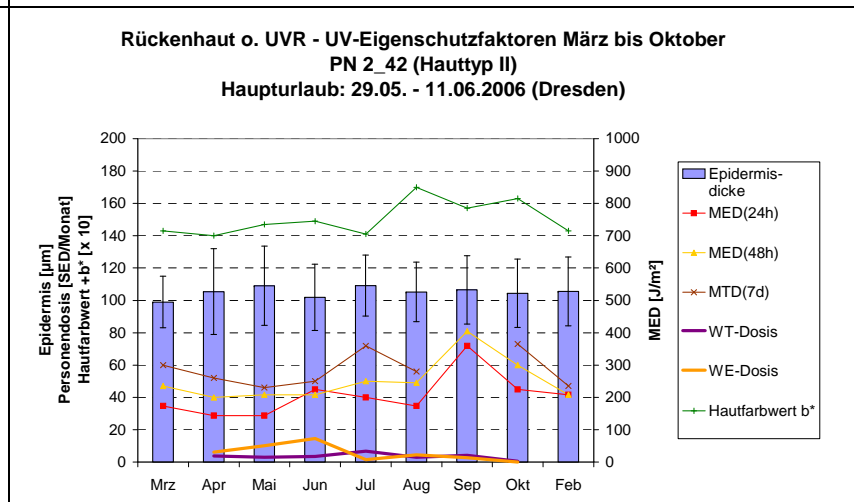
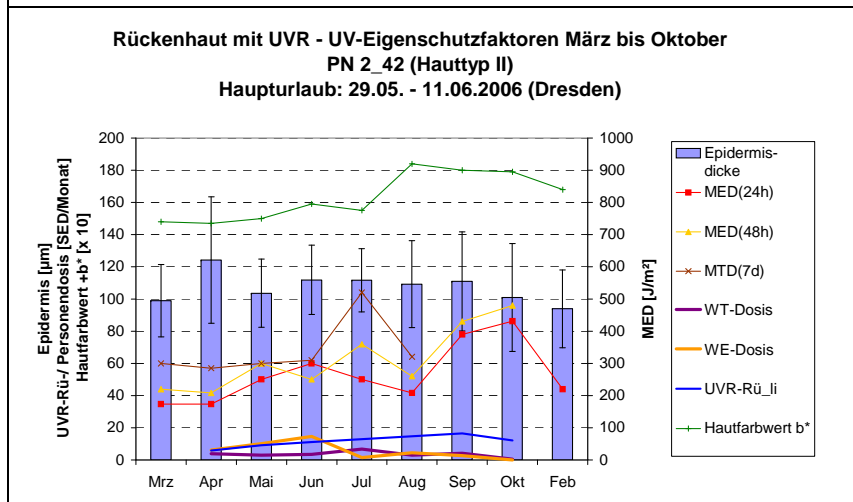
Anh. 2, Abb. 2 b

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2):  
 Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d),  
 erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage)  
 - Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter)  
 - Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten

Gr. 2: 2\_41



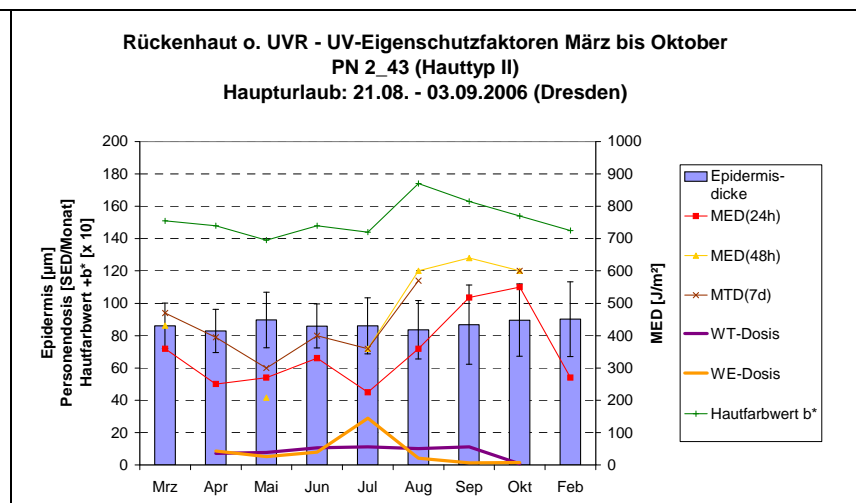
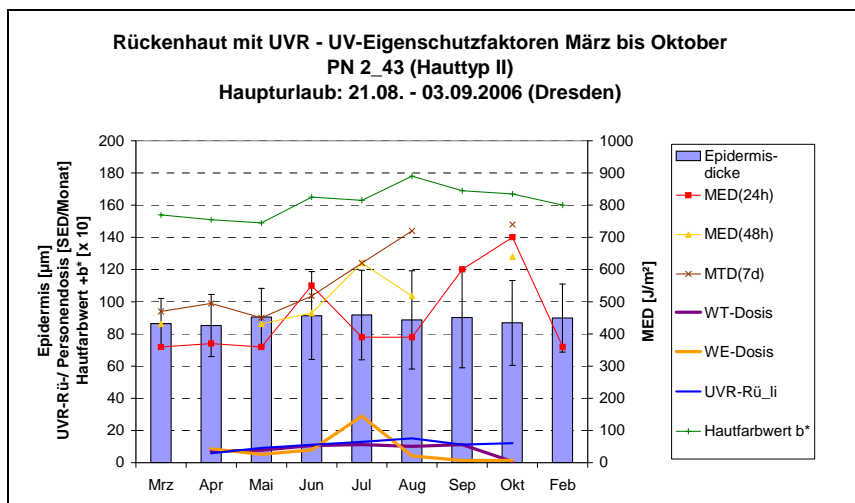
Gr. 2: 2\_42



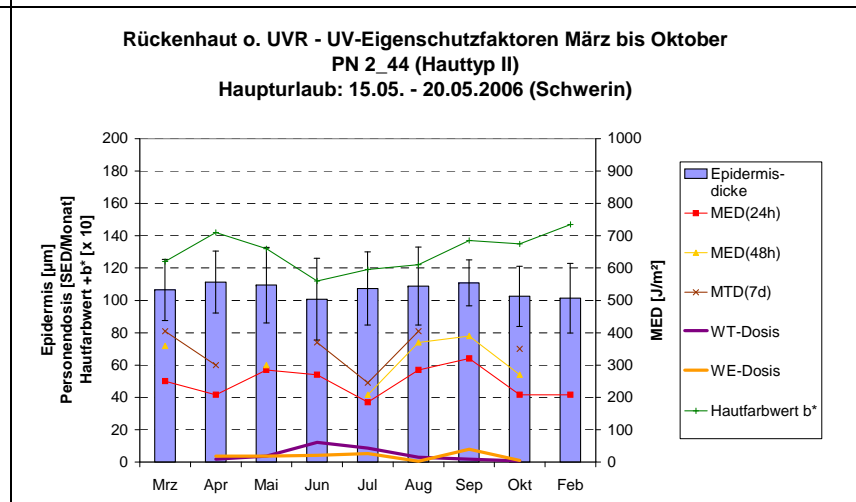
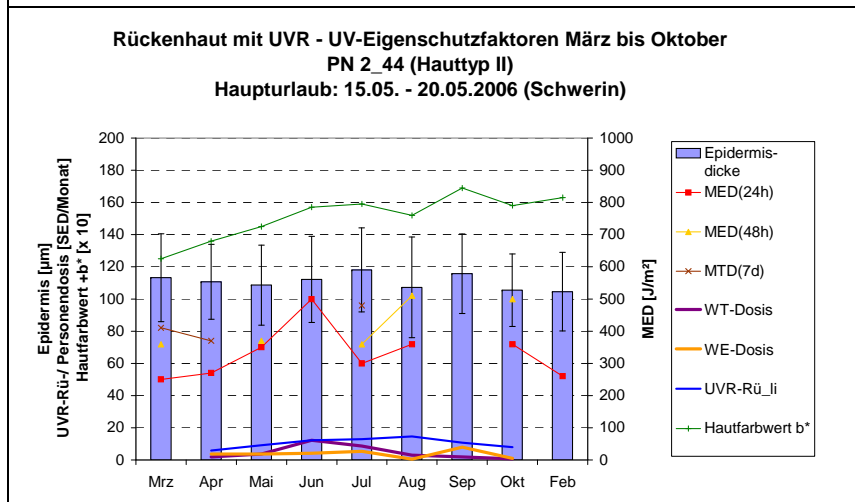
Anh. 2, Abb. 2 c

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2):  
 Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d),  
 erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage)  
 - Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter)  
 - Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten

Gr. 2: 2\_43



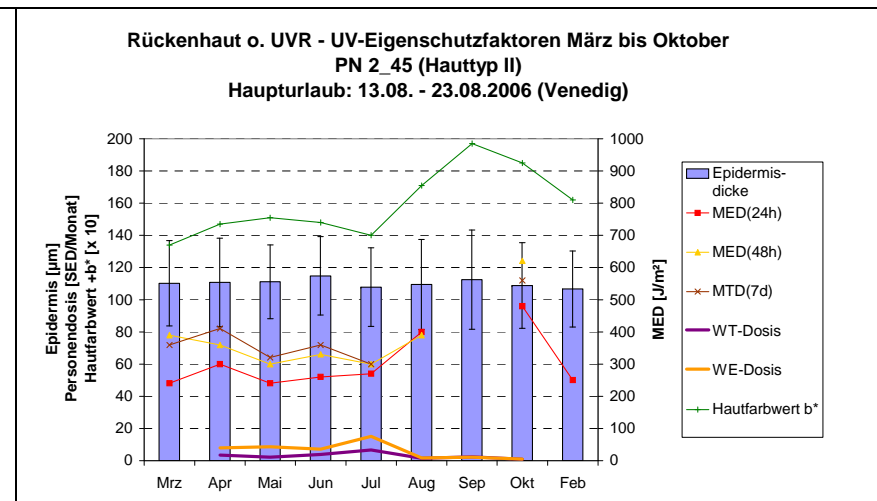
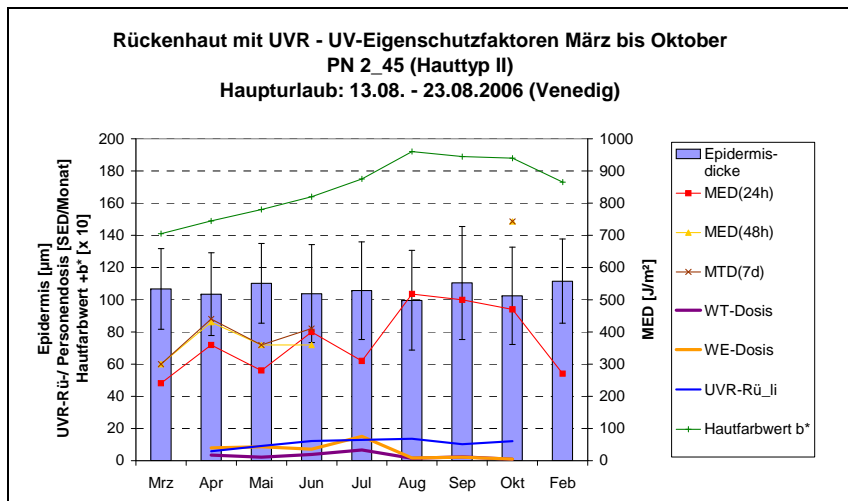
Gr. 2: 2\_44



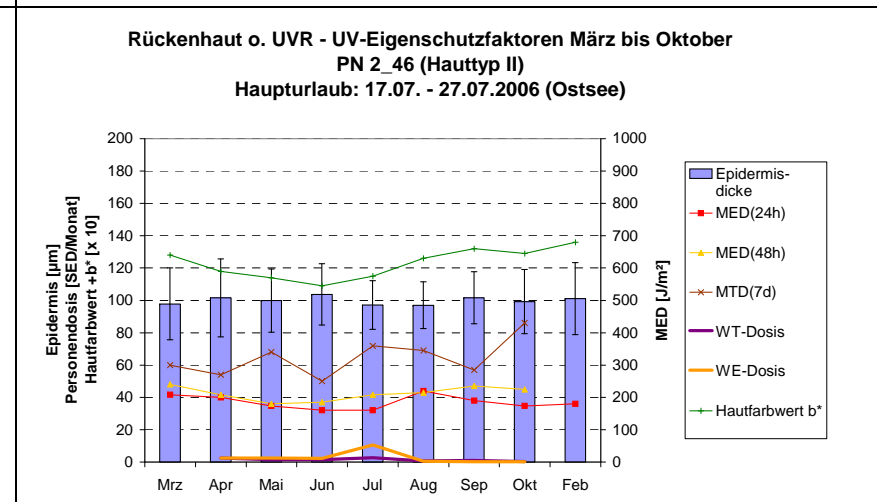
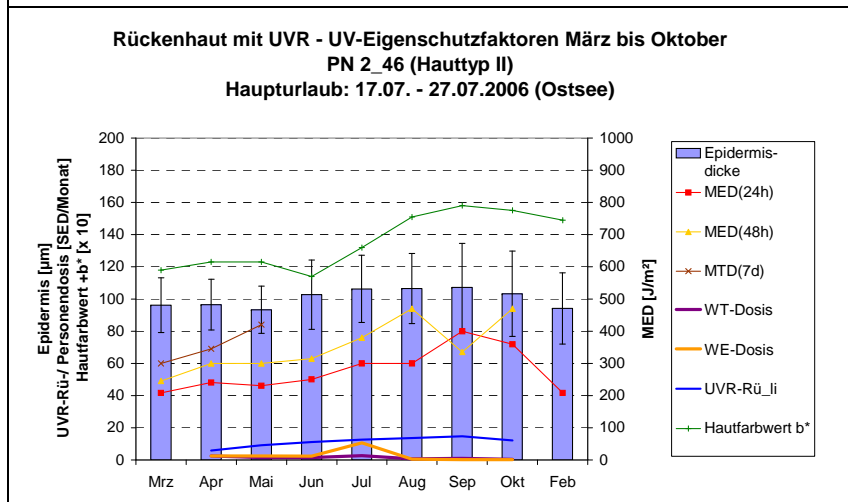
Anh. 2, Abb. 2 d

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2):  
 Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d),  
 erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage)  
 - Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter)  
 - Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten

Gr. 2: 2\_45



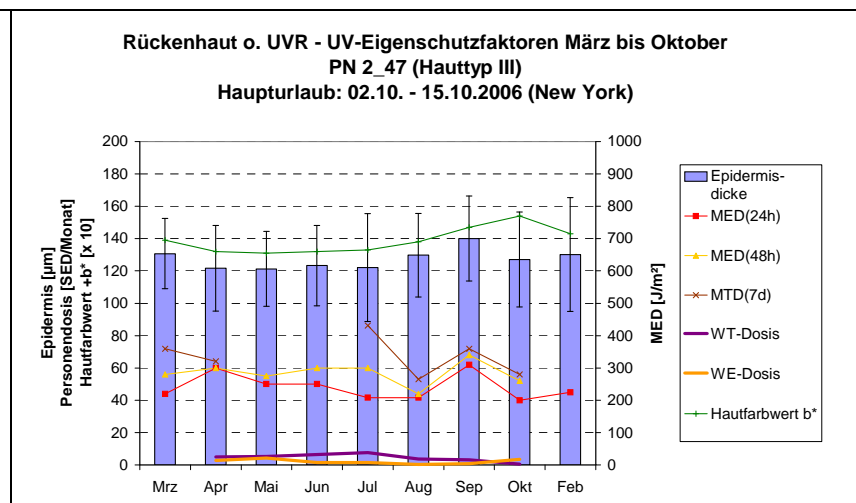
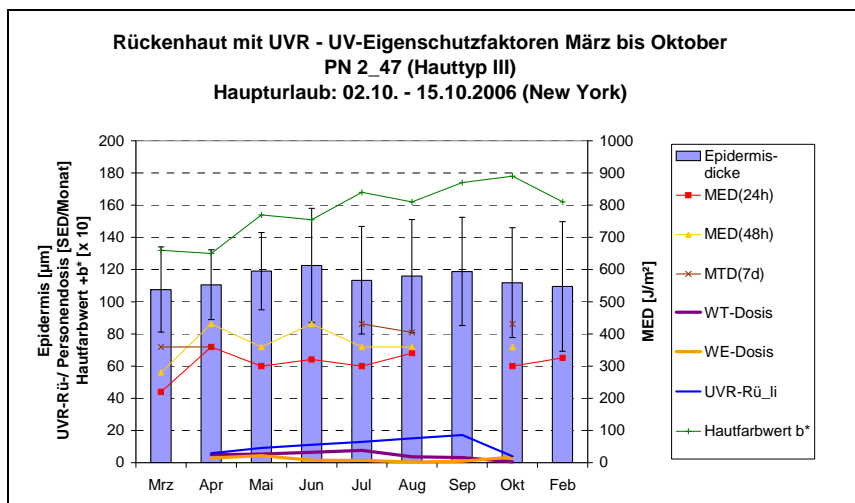
Gr. 2: 2\_46



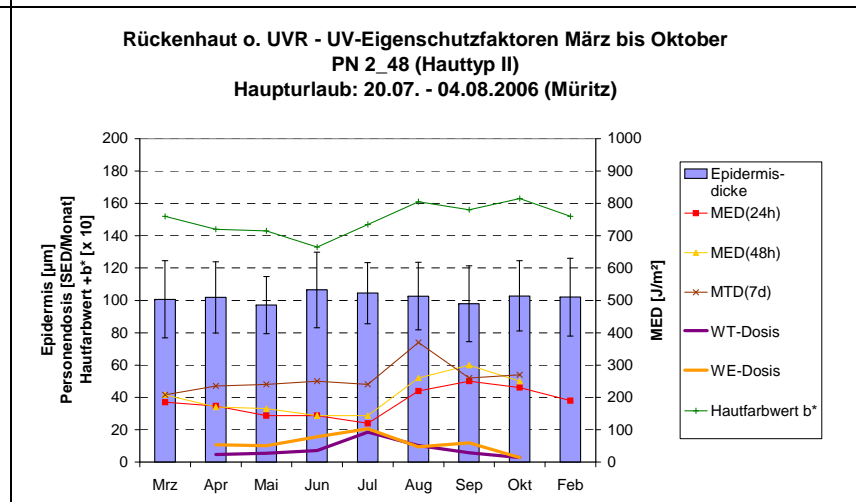
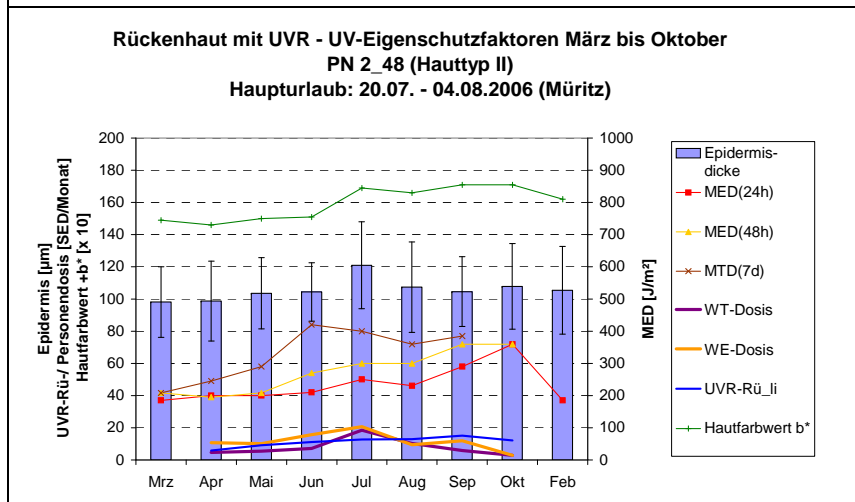
Anh. 2, Abb. 2 e

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2):  
 Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d),  
 erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage)  
 - Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter)  
 - Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten

Gr. 2: 2\_47



Gr. 2: 2\_48



Anh. 2, Abb. 2 f

Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2):  
 Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b\*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d),  
 erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werkzeuge; WE: Wochenendtage)  
 - Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter)  
 - Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten

Übersicht zu Anh. 2, Abb. 3.1 - 3.12

Individueller Jahresverlauf der UV-Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwiele) und Hautpigmentierung bei ständig im Freien Beschäftigten (Gruppe 1; Probanden 1\_13 bis 1\_24)

(a) am Rücken,

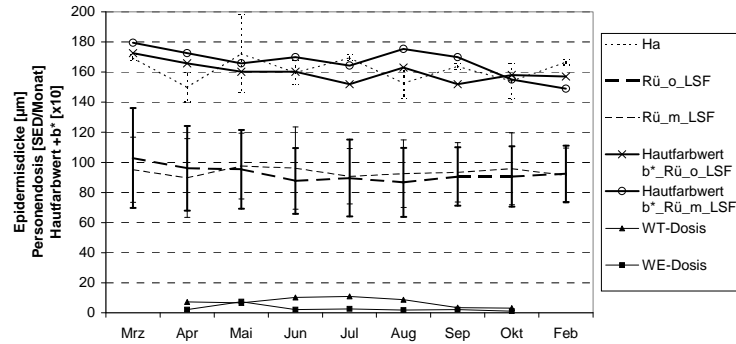
(b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt,

(c) an Handrücken

(d) für die einzelnen Areale des Kopfbereiches

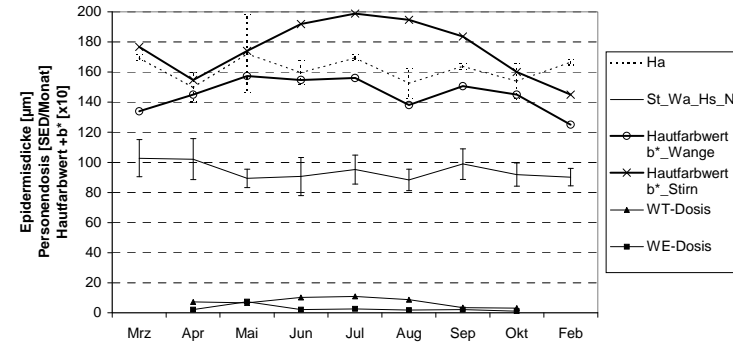
in Relation zur werktäglichen UV-Personendosis (WT-Dosis) und zur Wochenend-/Freizeit-UV-Personendosis (WE-Dosis)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_13 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 07.04. - 11.04.2005 (Ostsee)



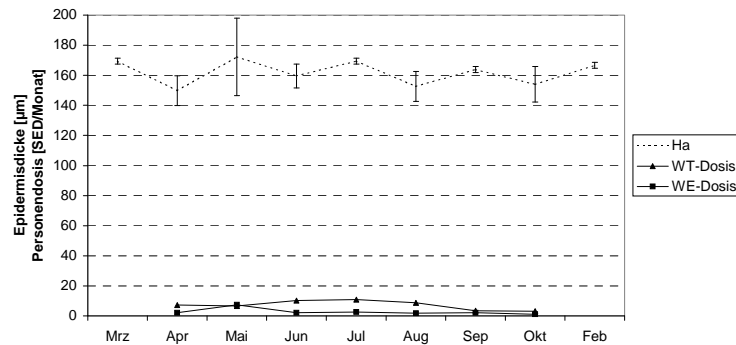
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_13 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 07.04. - 11.04.2005 (Ostsee)



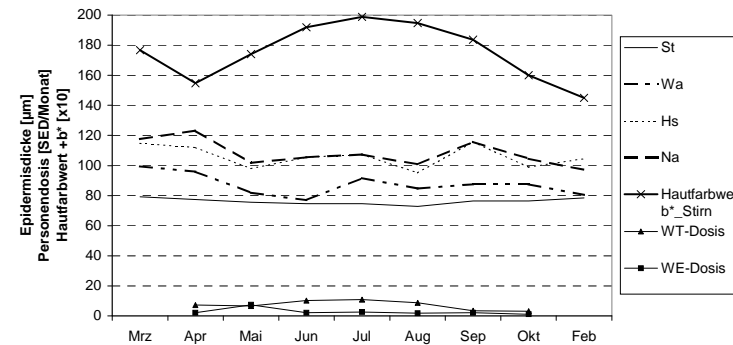
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_13 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 07.04. - 11.04.2005 (Ostsee)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_13 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 07.04. - 11.04.2005 (Ostsee)

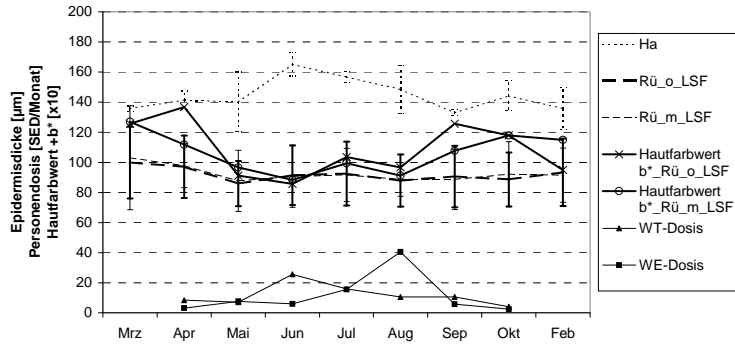


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 3.1

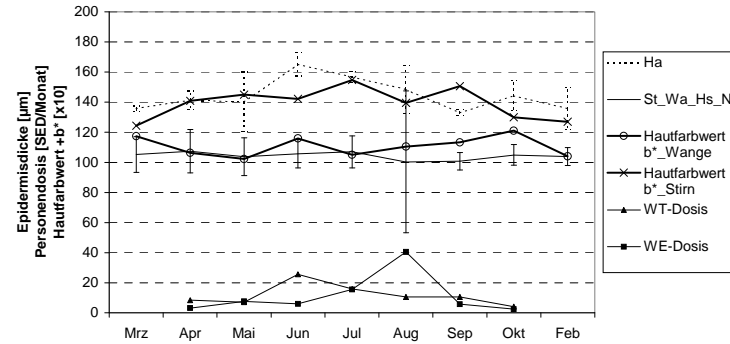
Gr. 1/PN13 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_14 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 13.08. - 27.08.2005 (Westerzgebirge)



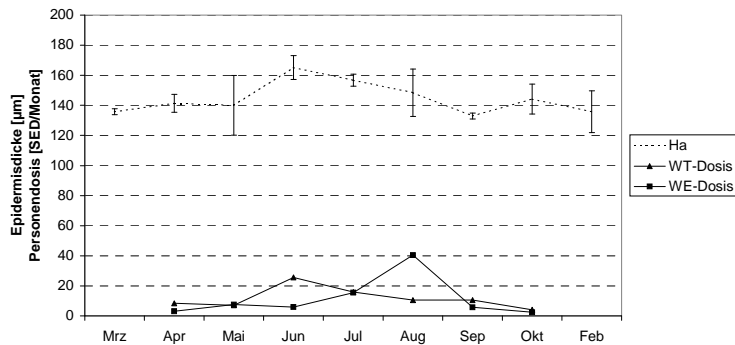
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_14 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 13.08. - 27.08.2005 (Westerzgebirge)



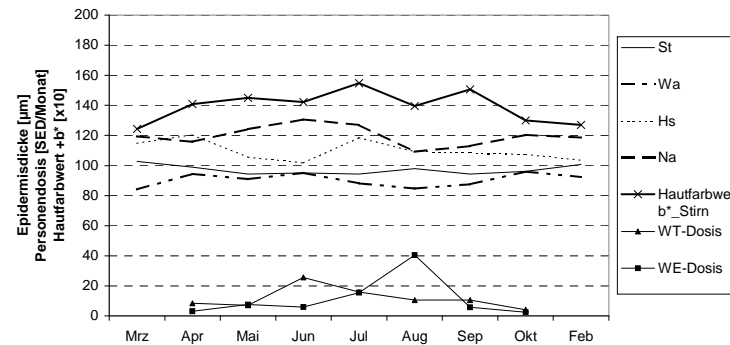
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_14 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 13.08. - 27.08.2005 (Westerzgebirge)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_14 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 13.08. - 27.08.2005 (Westerzgebirge)



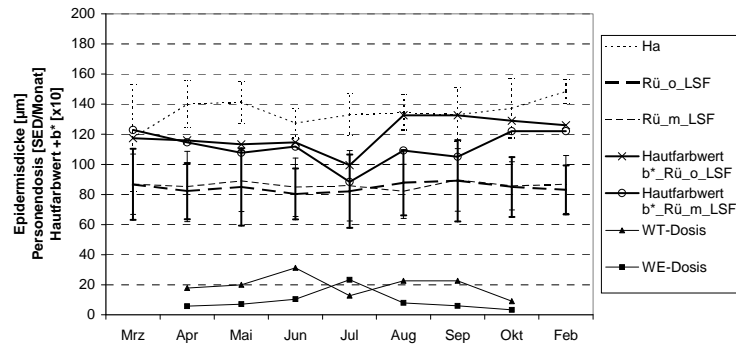
(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 3.2

Gr. 1/PN14 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

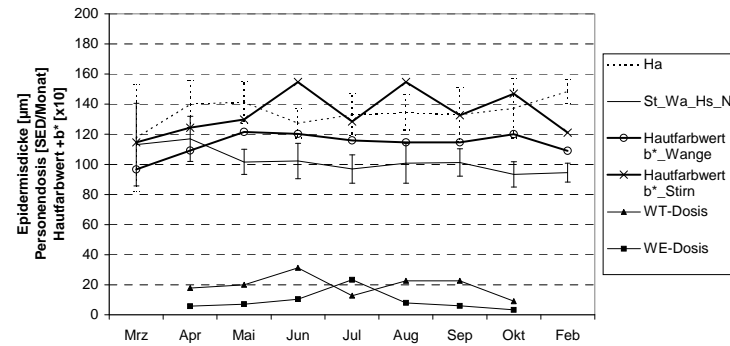


UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_15 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.07. - 31.07.2005 (Schweiz)



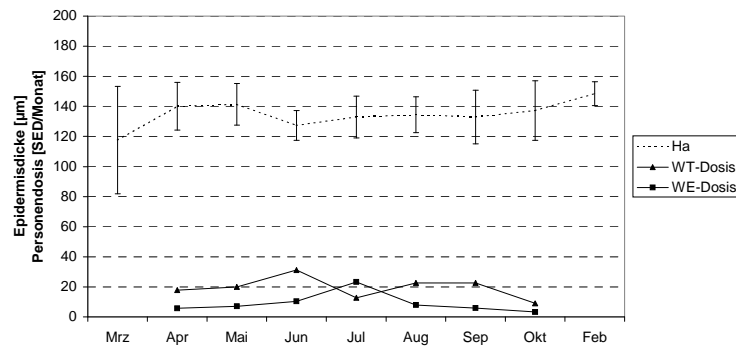
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_15 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.07. - 31.07.2005 (Schweiz)



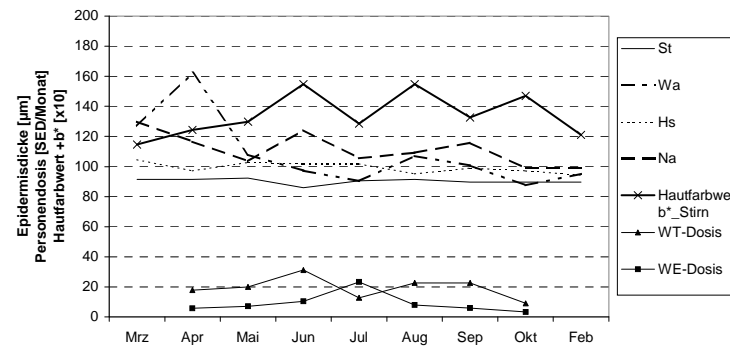
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_15 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.07. - 31.07.2005 (Schweiz)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_15 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.07. - 31.07.2005 (Schweiz)

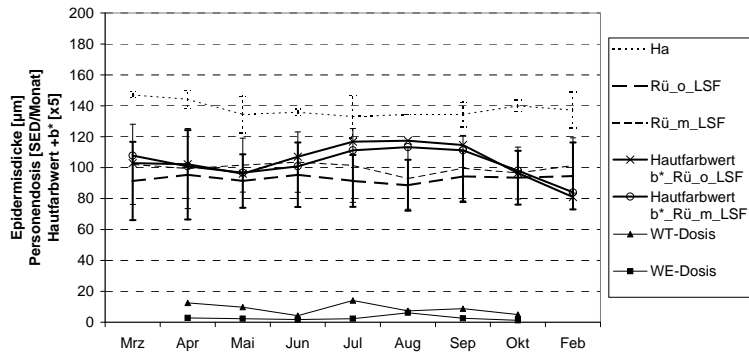


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 3.3**

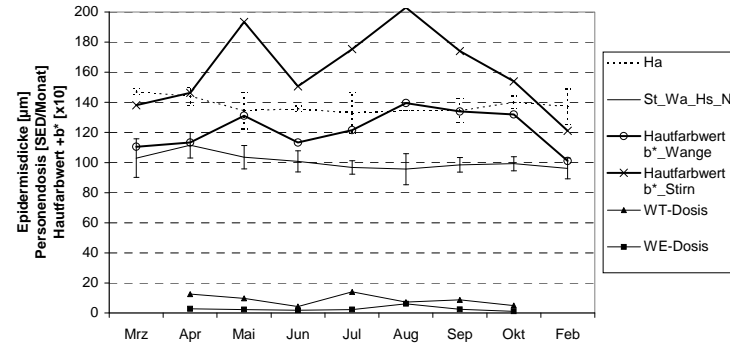
Gr. 1/PN15 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_16 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 08.08. - 19.08.2005 (Ostsee)



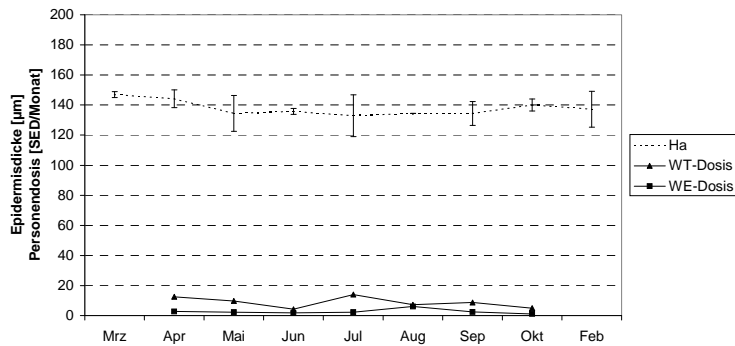
(a) Epidermidicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken [Achtung:b\*-Skalier.:x5 statt x10!]

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_16 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 08.08. - 19.08.2005 (Ostsee)



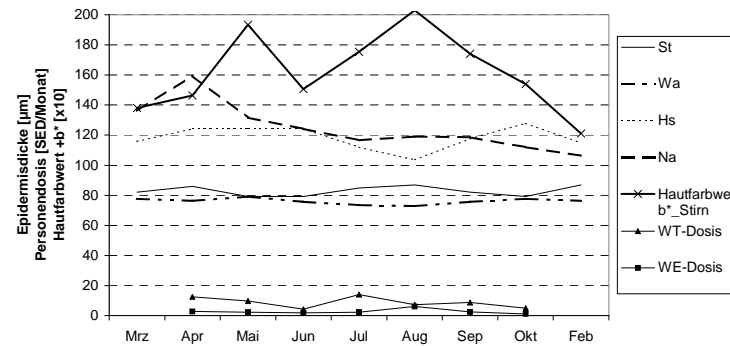
(b) Mittlere Epidermidicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_16 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 08.08. - 19.08.2005 (Ostsee)



(c) Epidermidicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_16 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 08.08. - 19.08.2005 (Ostsee)

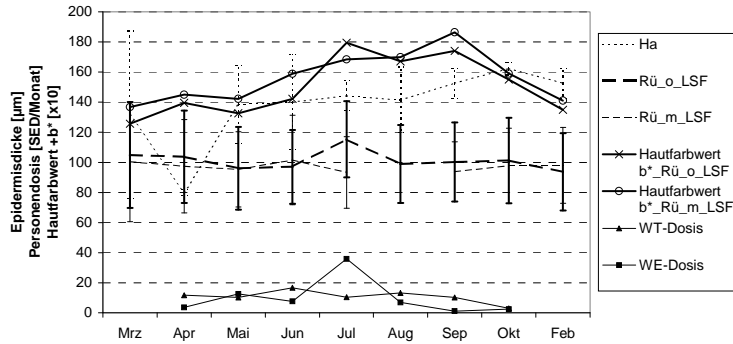


(d) Epidermidicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 3.4

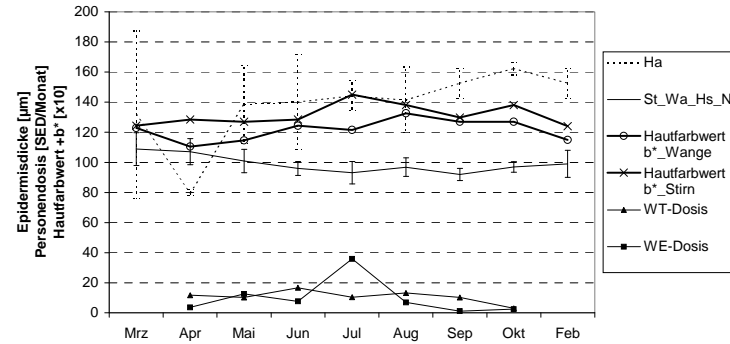
Gr. 1/PN16 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_17 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 16.07. - 07.08.2005 (Kirchberg/Tirol)



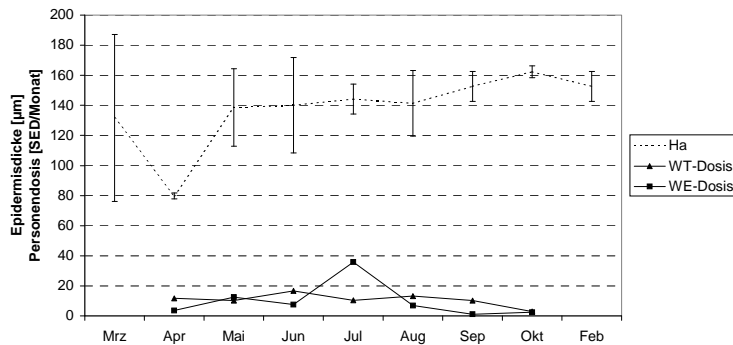
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_17 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 16.07. - 07.08.2005 (Kirchberg/Tirol)



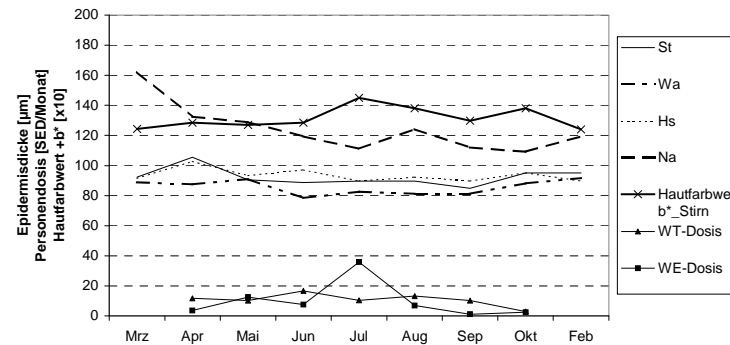
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_17 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 16.07. - 07.08.2005 (Kirchberg/Tirol)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_17 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 16.07. - 07.08.2005 (Kirchberg/Tirol)

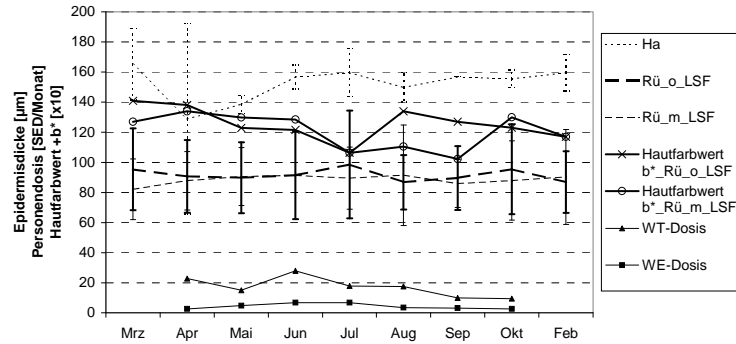


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 3.5

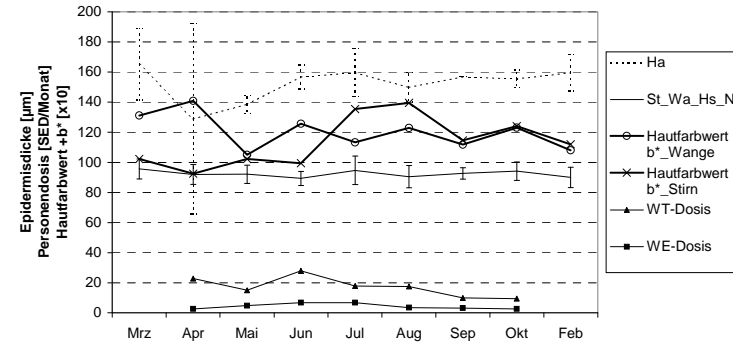
Gr. 1/PN17 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_18 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



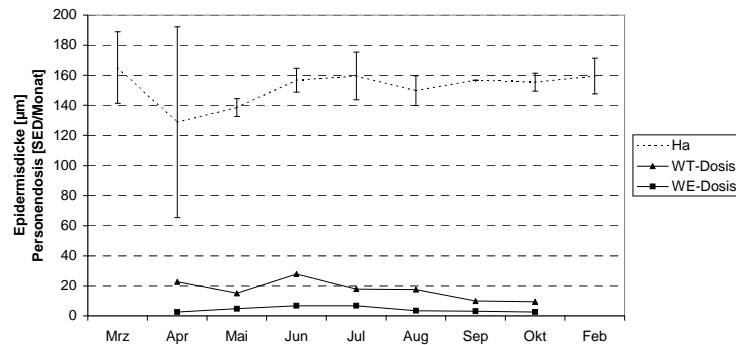
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_18 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



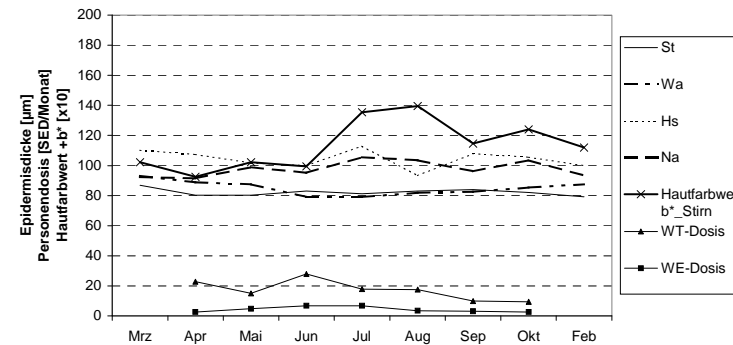
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_18 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_18 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub

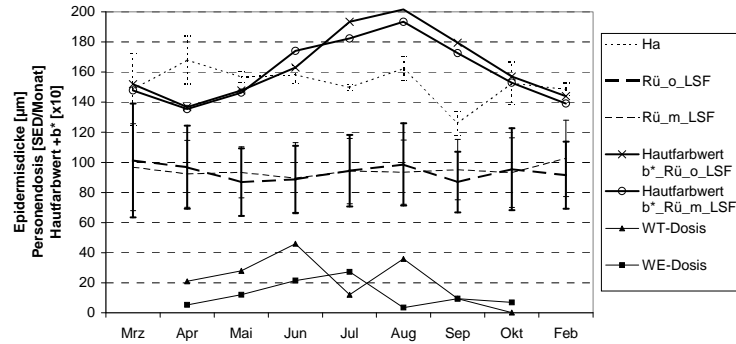


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 3.6

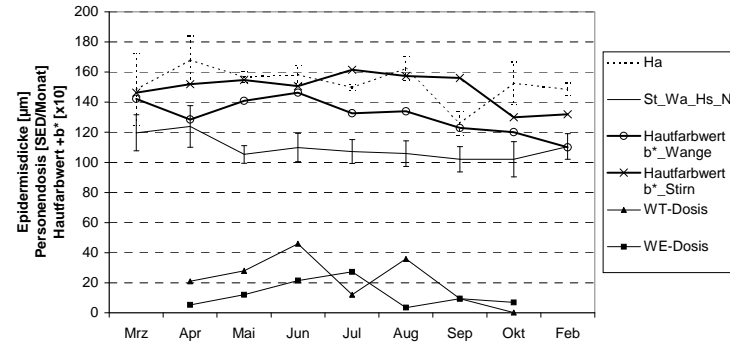
Gr. 1/PN18 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_19 (Hauttyp II (III))  
Haupturlaub: 18.07. - 31.07.2005 (Lübeck)



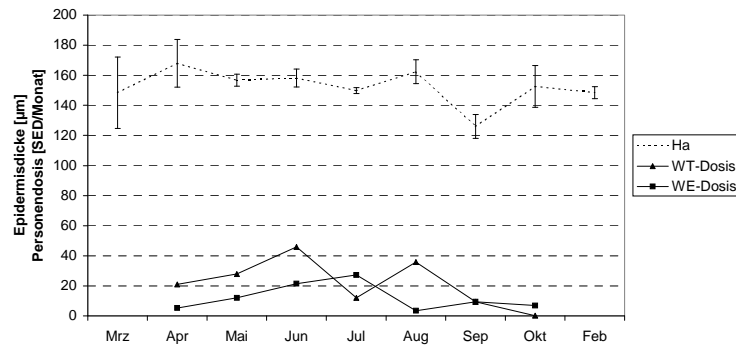
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_19 (Hauttyp II (III))  
Haupturlaub: 18.07. - 31.07.2005 (Lübeck)



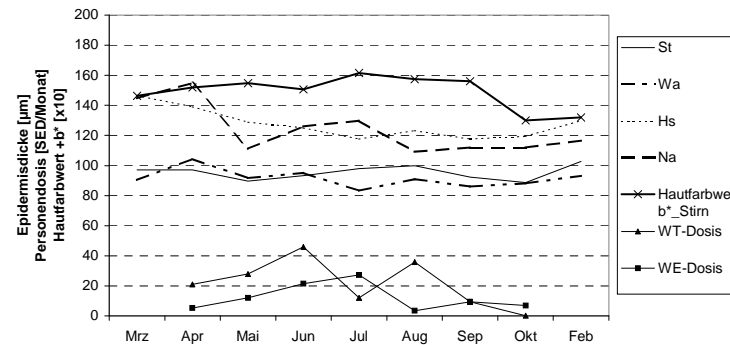
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_19 (Hauttyp II (III))  
Haupturlaub: 18.07. - 31.07.2005 (Lübeck)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_19 (Hauttyp II (III))  
Haupturlaub: 18.07. - 31.07.2005 (Lübeck)

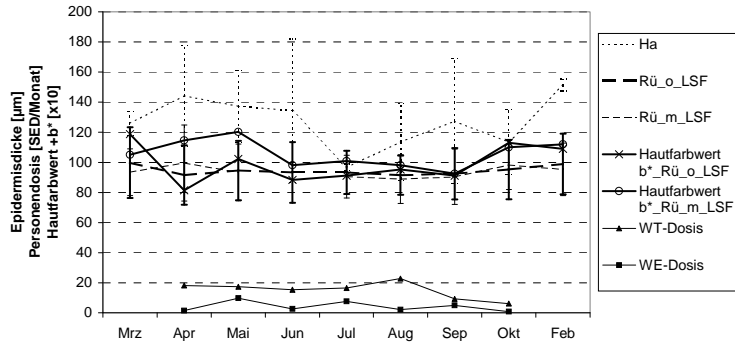


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 3.7**

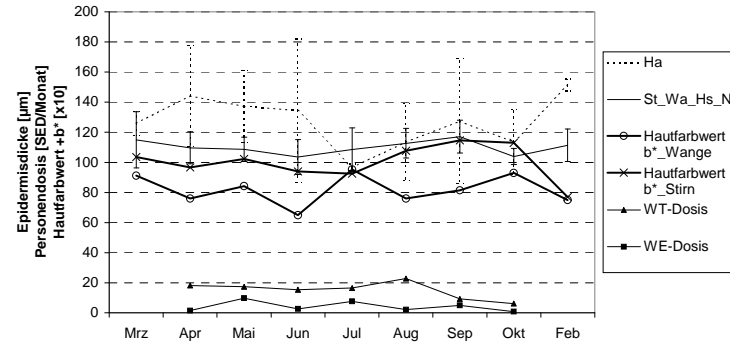
Gr. 1/PN19 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_20 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 16.05. - 29.05.2005 (Tschechien)



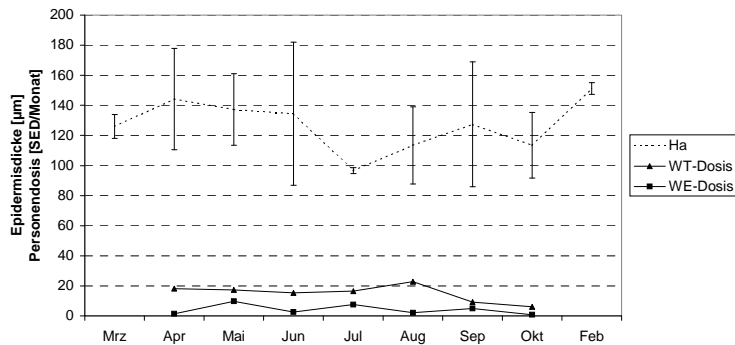
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_20 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 16.05. - 29.05.2005 (Tschechien)



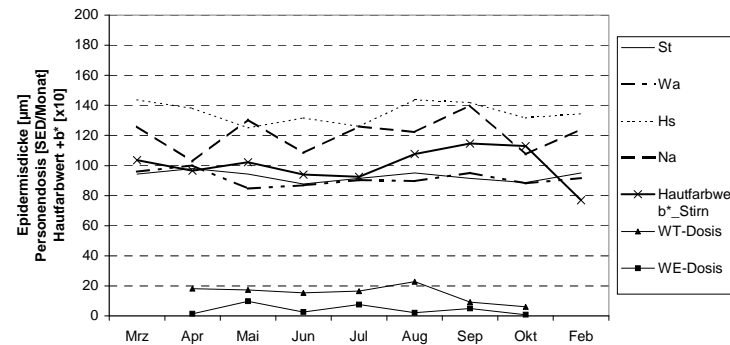
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_20 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 16.05. - 29.05.2005 (Tschechien)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_20 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 16.05. - 29.05.2005 (Tschechien)

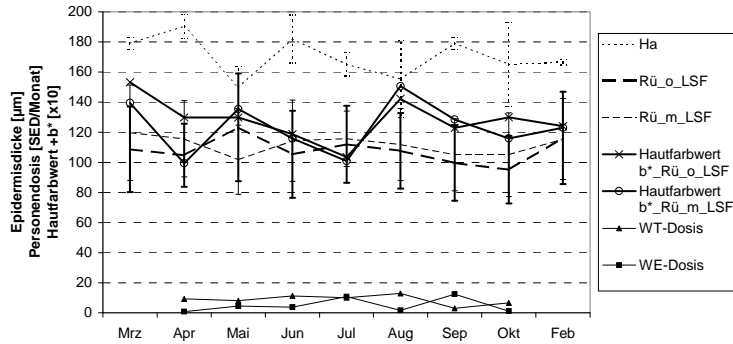


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 3.8

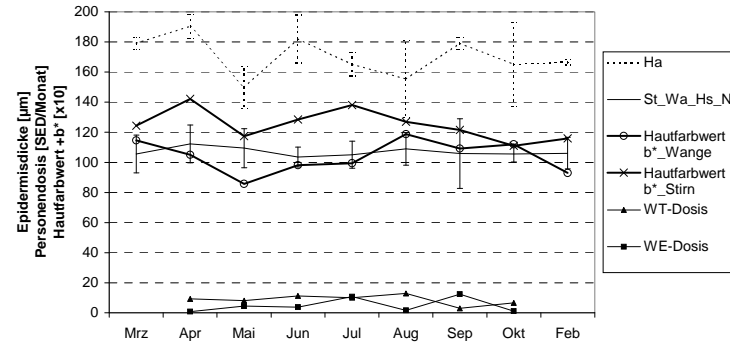
Gr. 1/PN20 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
 PN 1\_21 (Hauttyp III (II))  
 Haupturlaub: 26.05. - 31.05.2005 (La Rochelle/Frankreich)



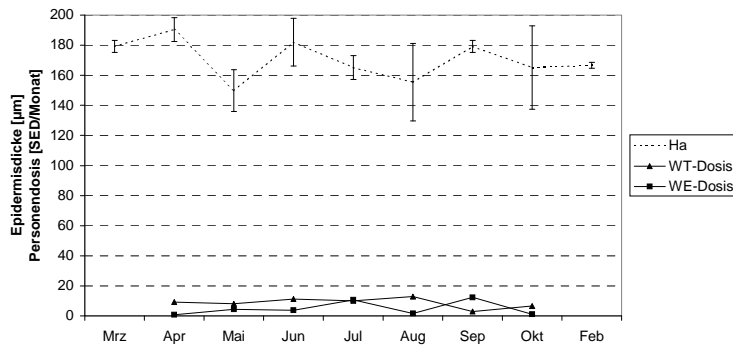
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
 PN 1\_21 (Hauttyp III (II))  
 Haupturlaub: 26.05. - 31.05.2005 (La Rochelle/Frankreich)



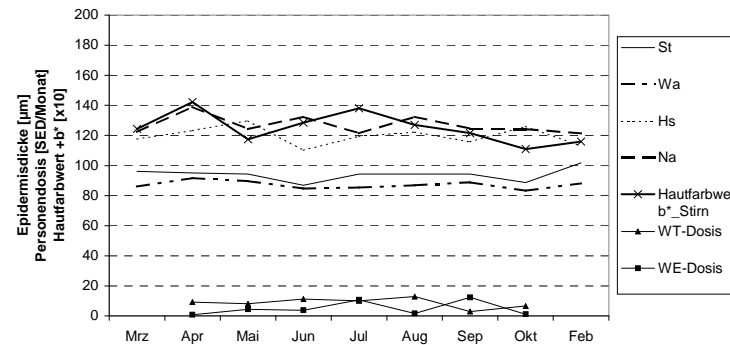
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
 PN 1\_21 (Hauttyp III (II))  
 Haupturlaub: 26.05. - 31.05.2005 (La Rochelle/Frankreich)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
 PN 1\_21 (Hauttyp III (II))  
 Haupturlaub: 26.05. - 31.05.2005 (La Rochelle/Frankreich)

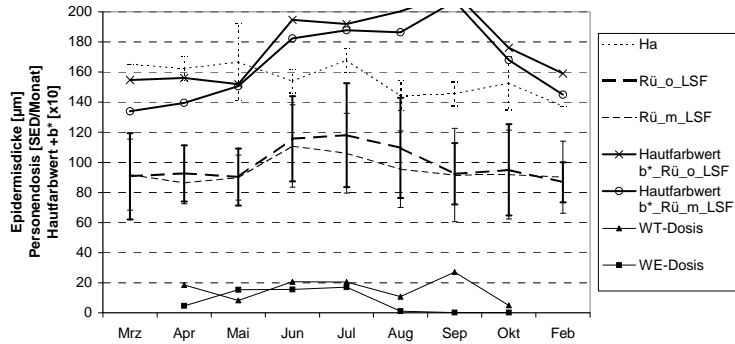


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 3.9**

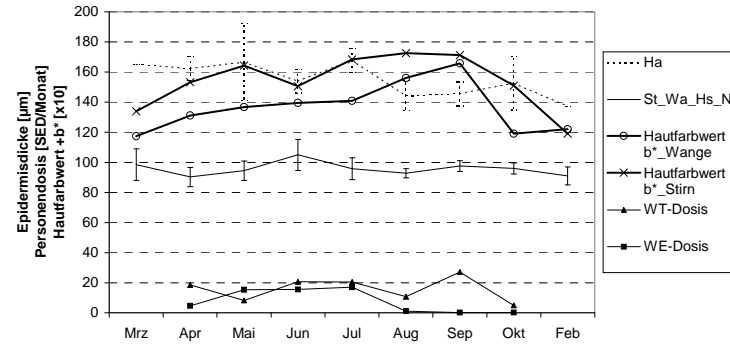
Gr. 1/PN21 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_22 (Hauttyp II)  
Haupturlaub 25.07. - 11.08.2005 (Weil am Rhein)



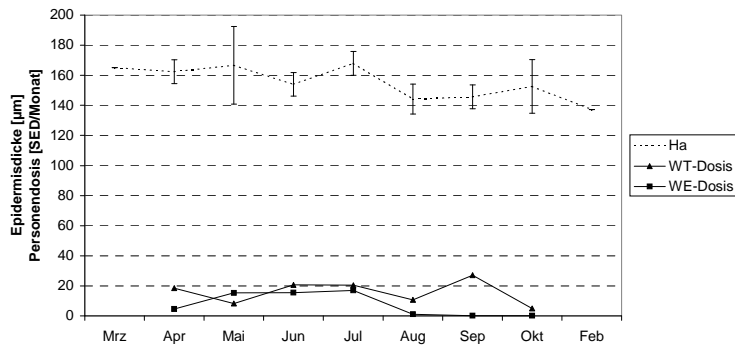
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_22 (Hauttyp II)  
Haupturlaub 25.07. - 11.08.2005 (Weil am Rhein)



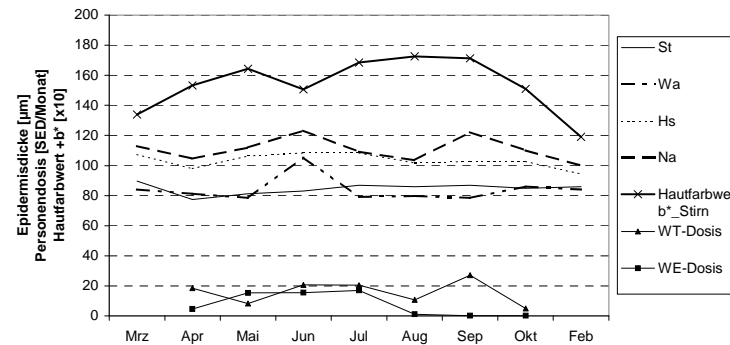
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_22 (Hauttyp II)  
Haupturlaub 25.07. - 11.08.2005 (Weil am Rhein)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_22 (Hauttyp II)  
Haupturlaub 25.07. - 11.08.2005 (Weil am Rhein)



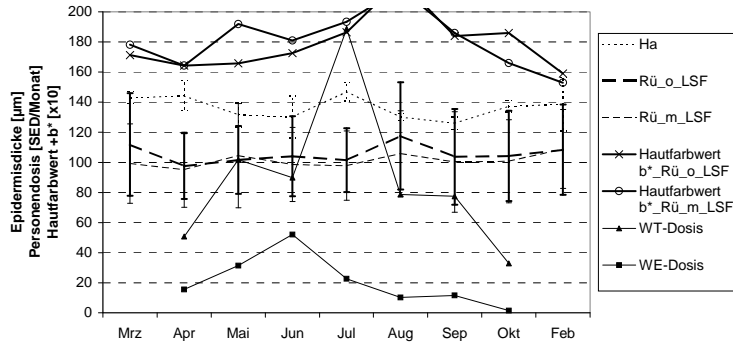
(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 3.10**

Gr. 1/PN22 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

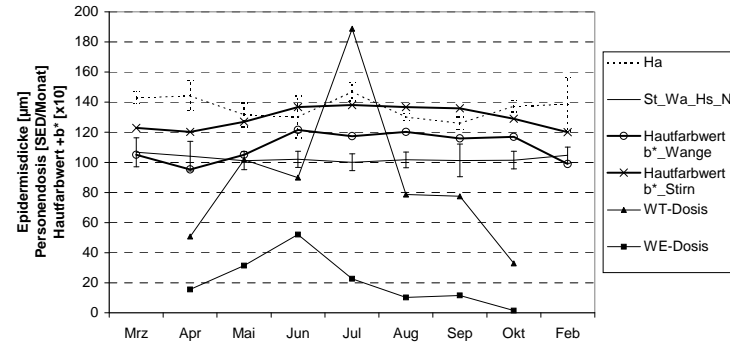


UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
 PN 1\_23 (Hauttyp II (-III))  
 Haupturlaub: 23.07. - 12.08.2005 (St. Andrä/Österreich)



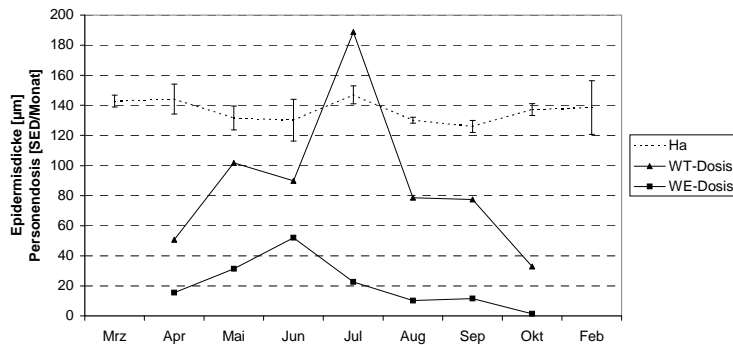
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
 PN 1\_23 (Hauttyp II (-III))  
 Haupturlaub: 23.07. - 12.08.2005 (St. Andrä/Österreich)



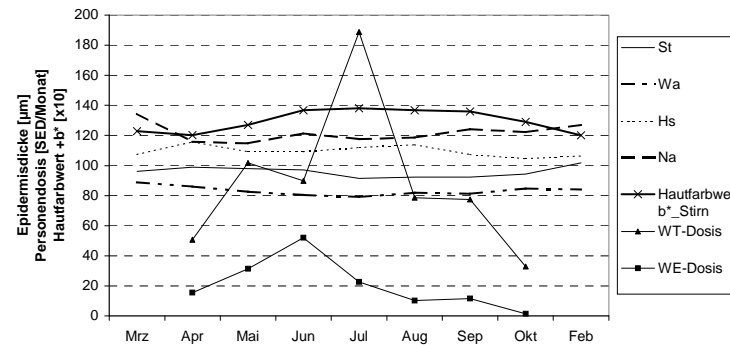
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
 PN 1\_23 (Hauttyp II (-III))  
 Haupturlaub: 23.07. - 12.08.2005 (St. Andrä/Österreich)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
 PN 1\_23 (Hauttyp II (-III))  
 Haupturlaub: 23.07. - 12.08.2005 (St. Andrä/Österreich)

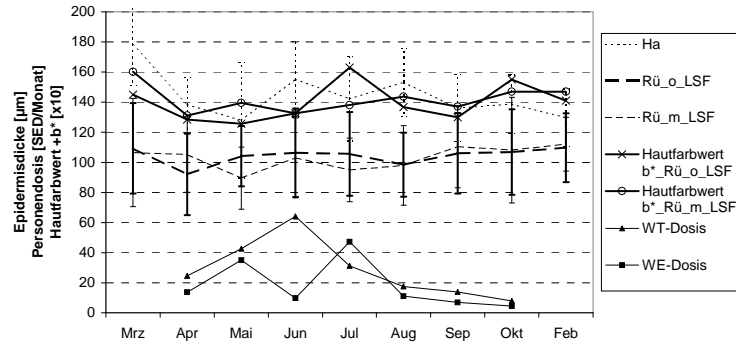


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 3.11**

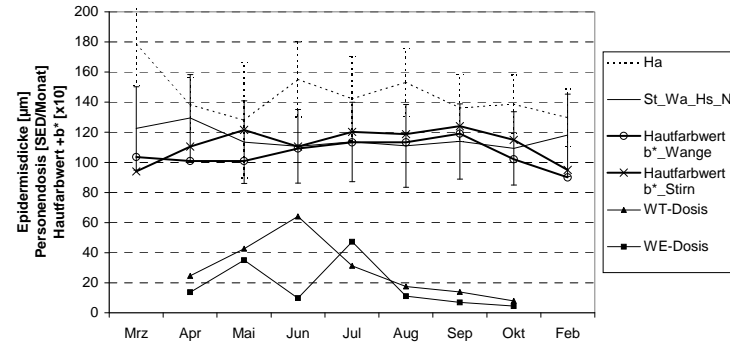
Gr. 1/PN23 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_24 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 06.08. - 28.08.2005 (Dresden)



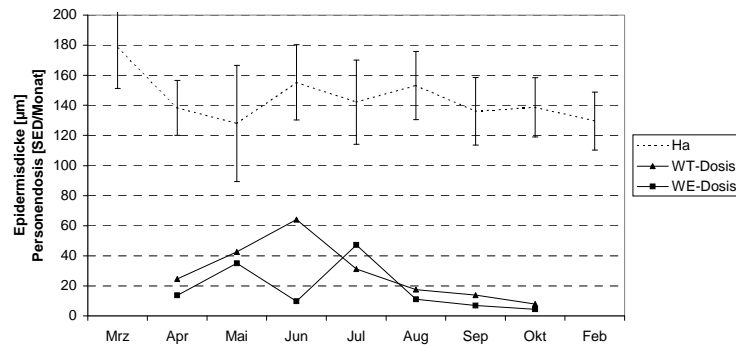
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_24 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 06.08. - 28.08.2005 (Dresden)



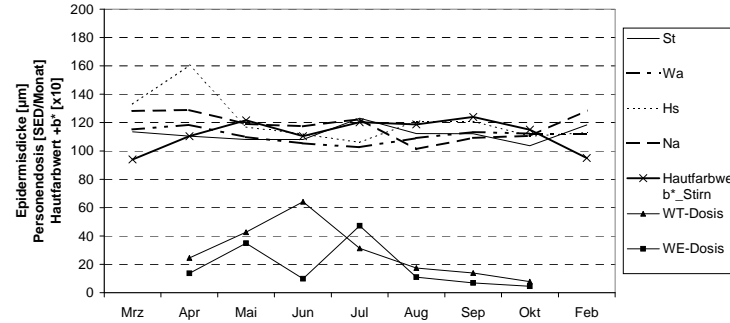
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_24 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 06.08. - 28.08.2005 (Dresden)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 1\_24 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 06.08. - 28.08.2005 (Dresden)



(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 3.12**

Gr. 1/PN24 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

Übersicht zu Anh. 2, Abb. 4.1 - 4.12

Individueller Jahresverlauf der UV-Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwiele) und Hautpigmentierung von Innenbeschäftigten (Gruppe 2; Probanden 2\_37 bis 2\_48)

(a) am Rücken (Rü\_m\_UVR: linke UV-exponierte Rückenseite;

Rü\_o\_UVR: rechte Rückenseite ohne UV-Bestrahlung, nur solare Alltagsexposition)

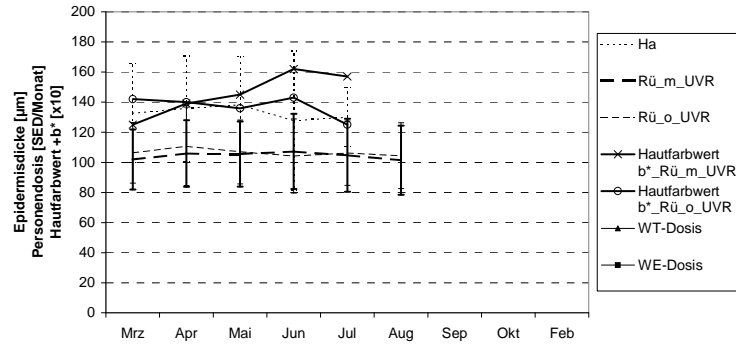
(b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt

(c) an Handrücken/Unterarm

(d) für die einzelnen Areale des Kopfbereiches

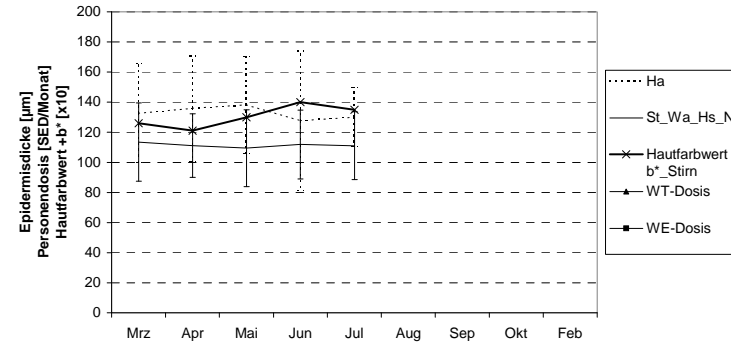
in Relation zur werktäglichen UV-Personendosis (WT-Dosis) und zur Wochenend-/Freizeit-UV-Personendosis (WE-Dosis)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_37 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



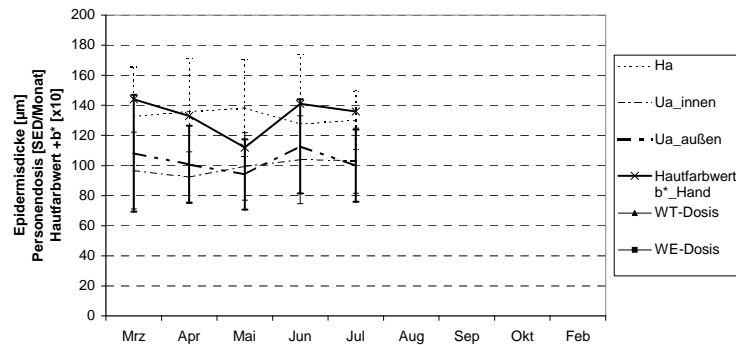
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_37 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



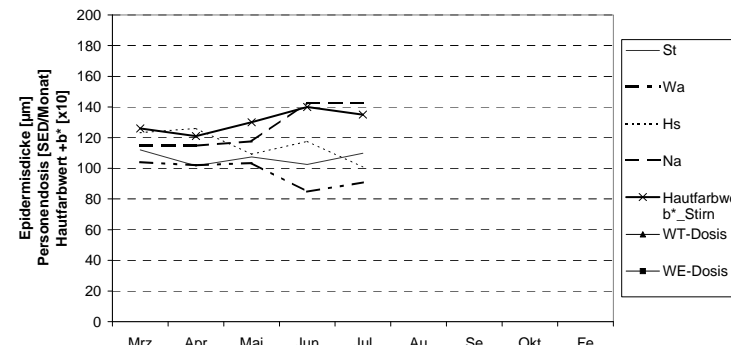
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_37 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_37 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub

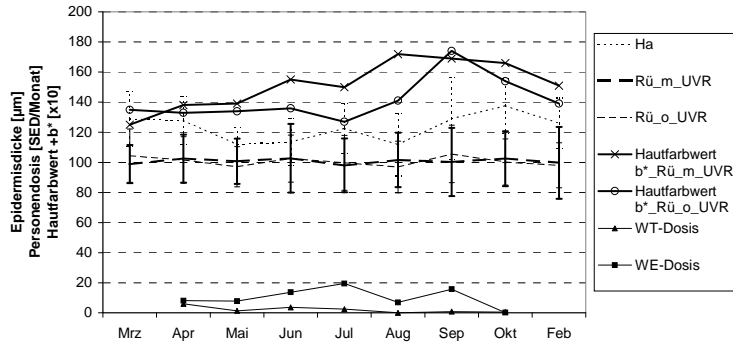


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 4.1

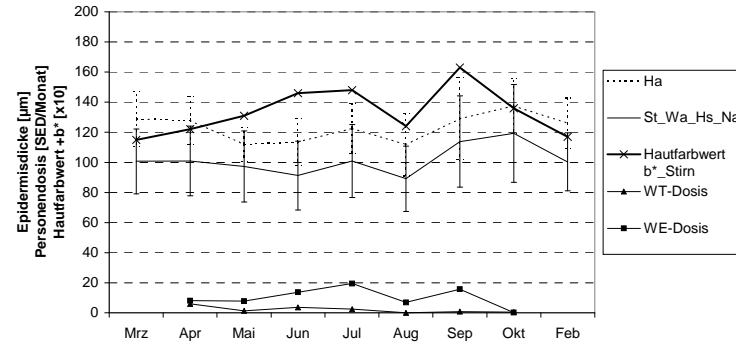
Gr. 2/PN37 (Innenbeschäftigter/Studienabbruch): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_38 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 27.07. - 17.08.2006 (Frankreich)



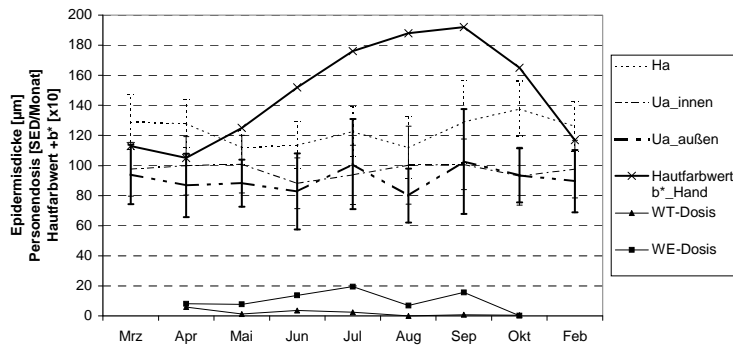
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_38 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 27.07. - 17.08.2006 (Frankreich)



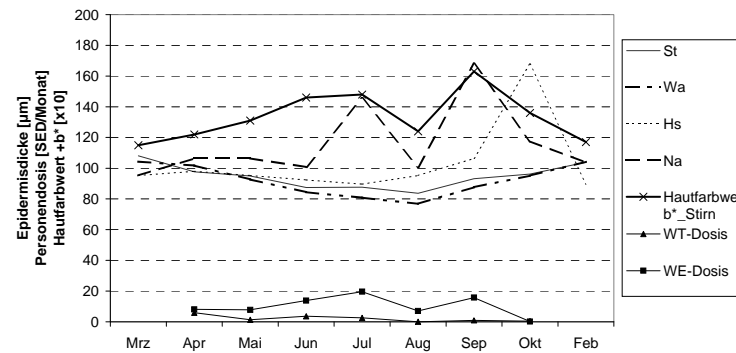
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_38 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 27.07. - 17.08.2006 (Frankreich)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_38 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 27.07. - 17.08.2006 (Frankreich)

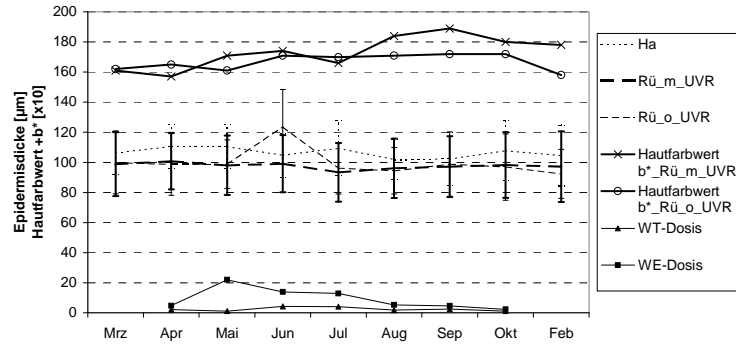


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 4.2

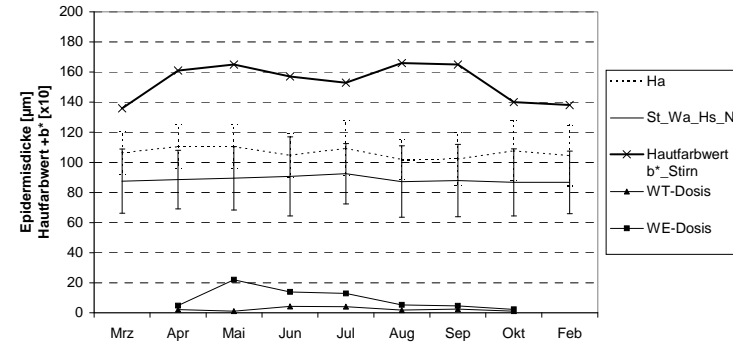
Gr. 2/PN38 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_39 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



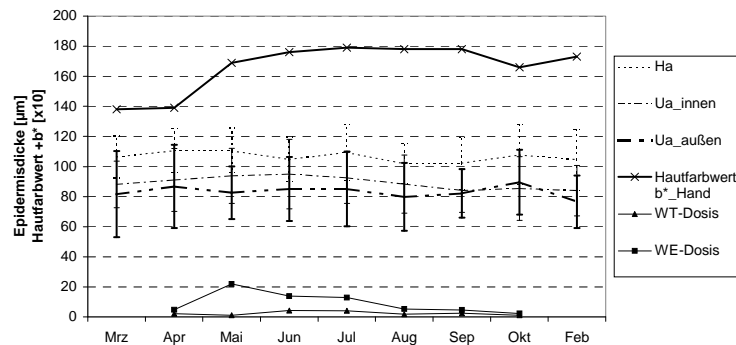
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_39 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



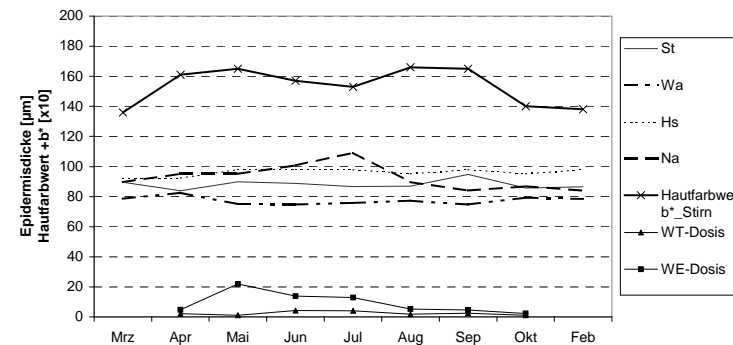
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_39 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_39 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: kein Urlaub

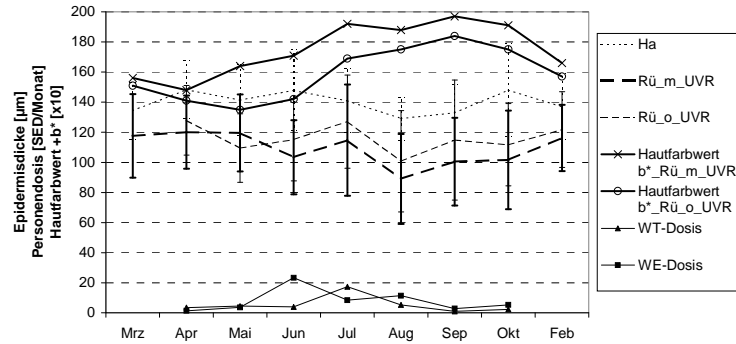


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 4.3

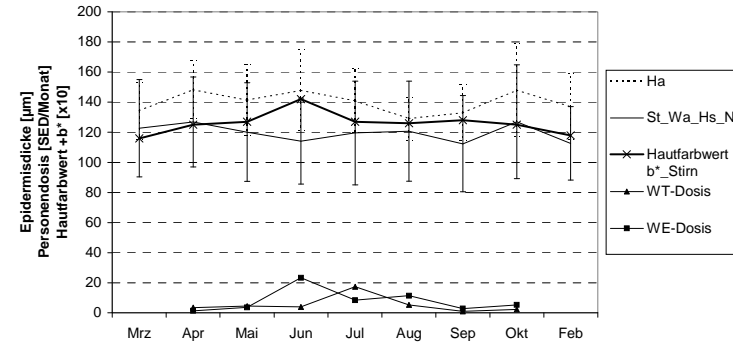
Gr. 2/PN39 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_40 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: kein Urlaub



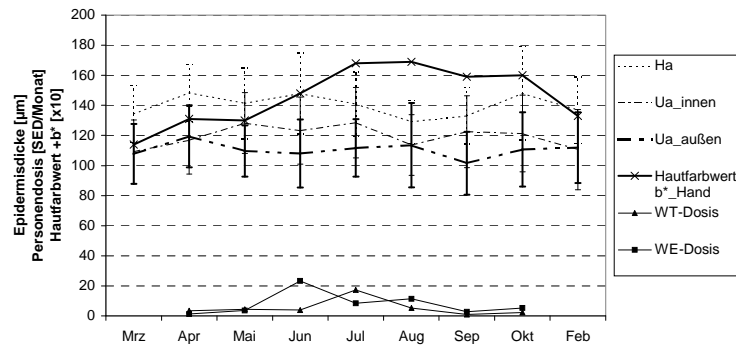
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_40 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: kein Urlaub



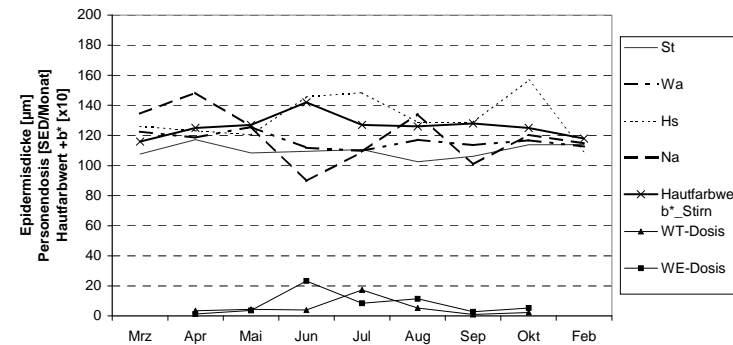
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_40 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: kein Urlaub



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_40 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: kein Urlaub

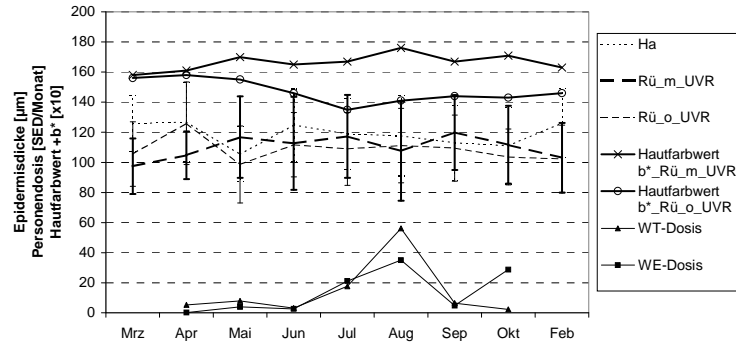


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 4.4

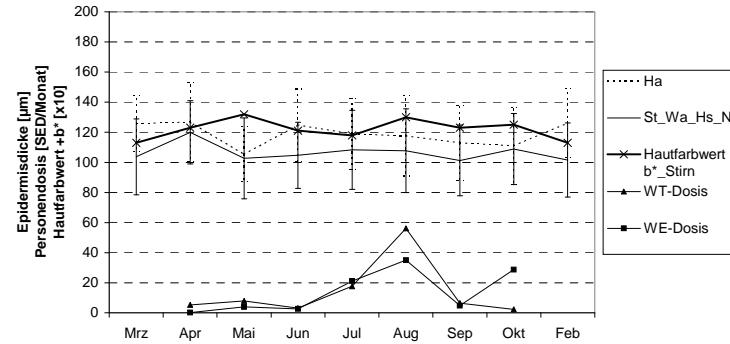
Gr. 2/PN40 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_41 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.10. - 08.10.2006 (Türkei)



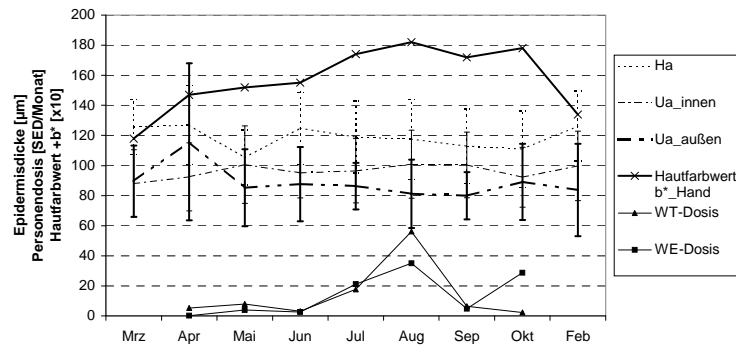
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_41 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.10. - 08.10.2006 (Türkei)



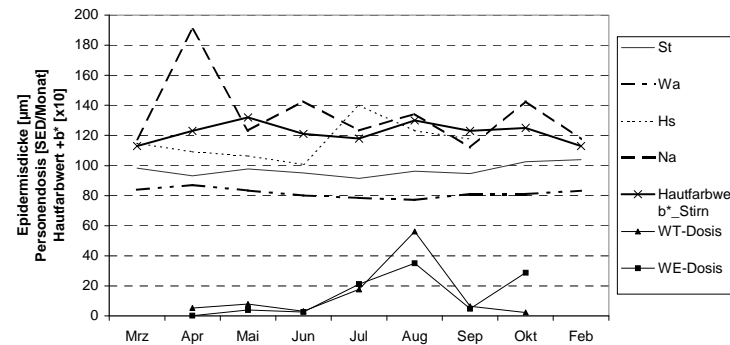
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_41 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.10. - 08.10.2006 (Türkei)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_41 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.10. - 08.10.2006 (Türkei)



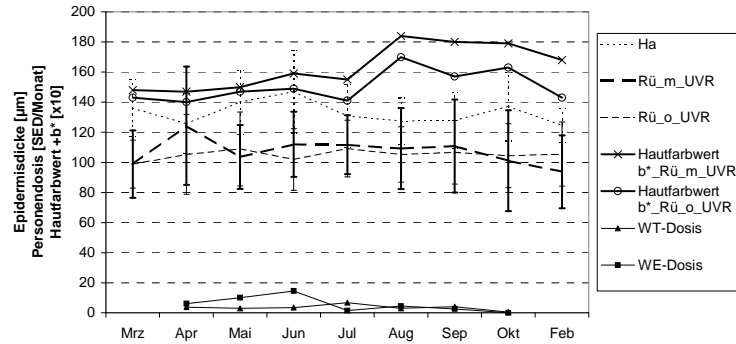
(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 4.5**

Gr. 2/PN41 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

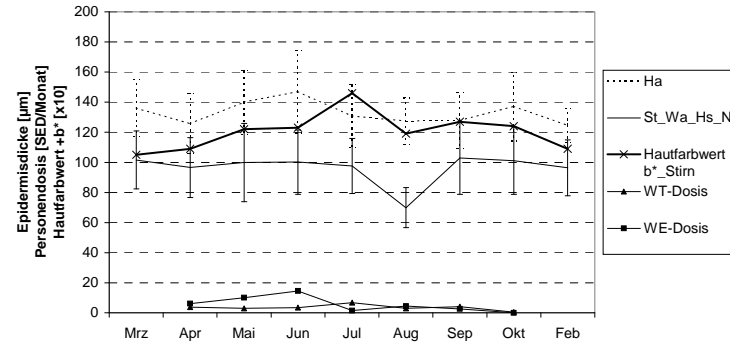


UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_42 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 29.05. - 11.06.2006 (Dresden)



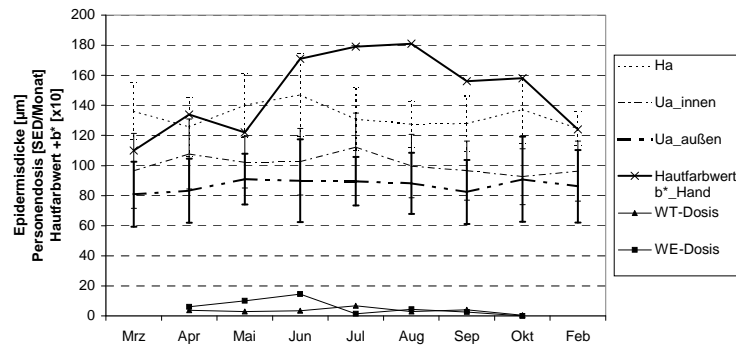
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_42 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 29.05. - 11.06.2006 (Dresden)



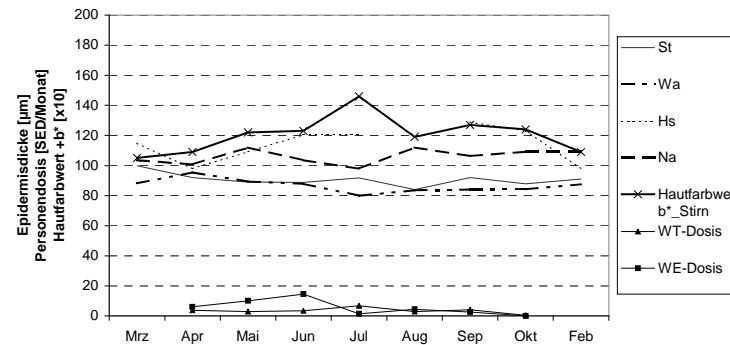
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_42 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 29.05. - 11.06.2006 (Dresden)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_42 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 29.05. - 11.06.2006 (Dresden)

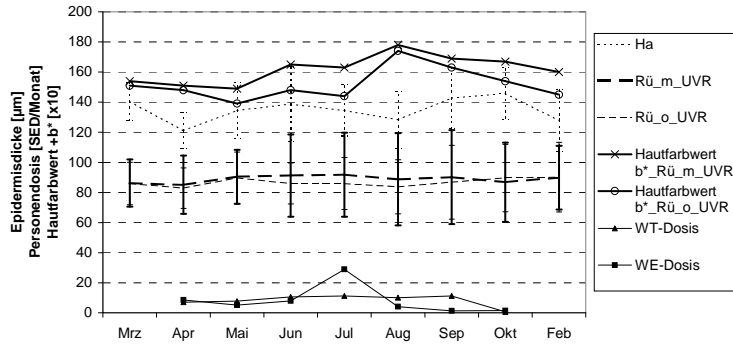


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 4.6**

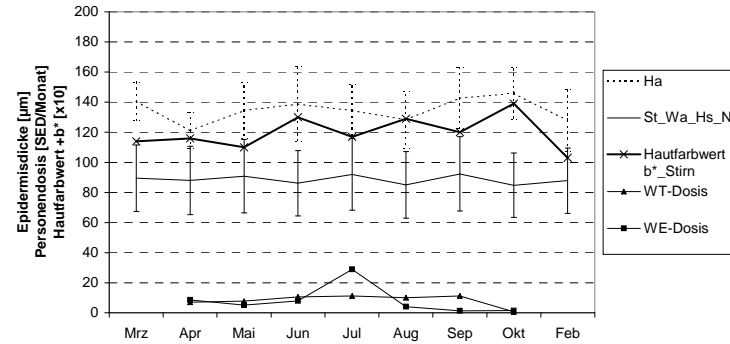
Gr. 2/PN42 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_43 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 21.08. - 03.09.2006 (Dresden)



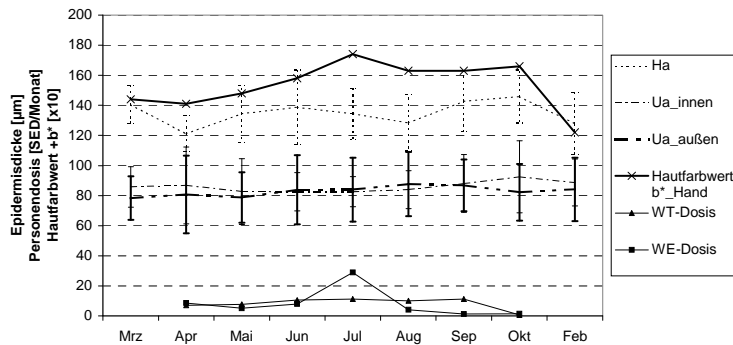
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_43 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 21.08. - 03.09.2006 (Dresden)



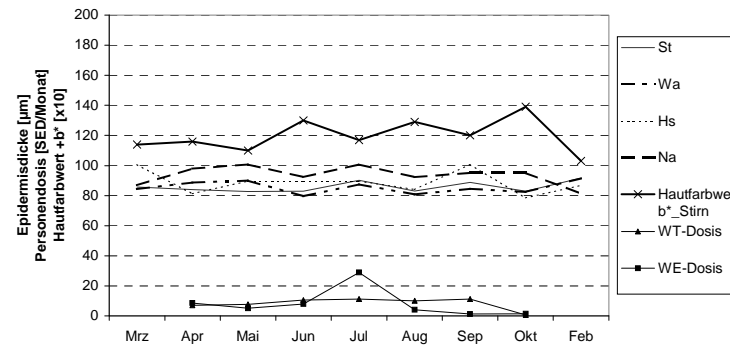
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_43 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 21.08. - 03.09.2006 (Dresden)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_43 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 21.08. - 03.09.2006 (Dresden)

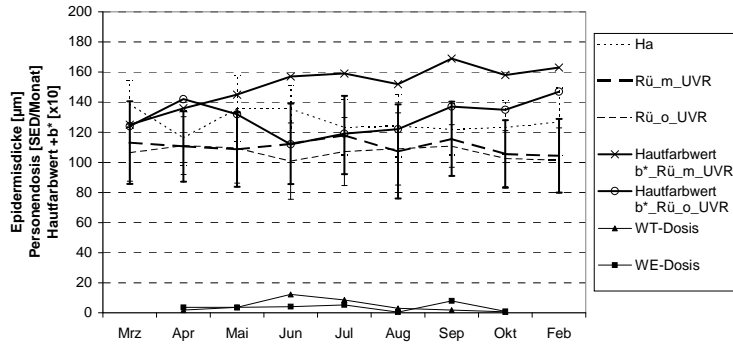


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 4.7

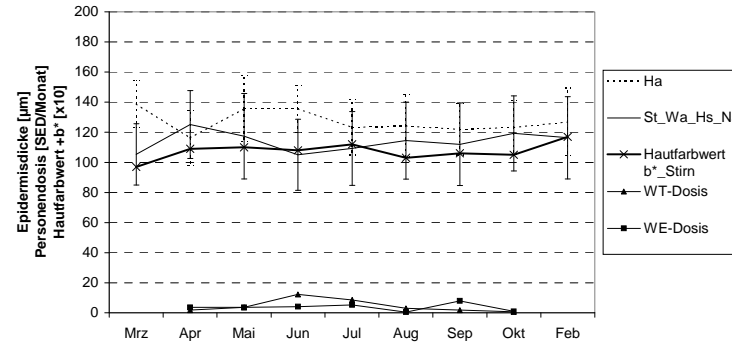
Gr. 2/PN43 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_44 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 15.05. - 20.05.2006 (Schwerin)



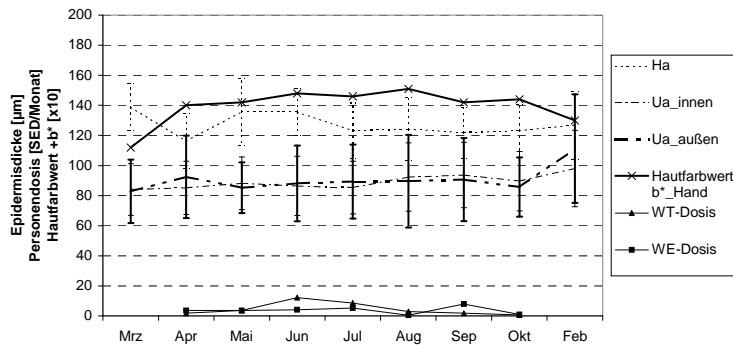
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_44 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 15.05. - 20.05.2006 (Schwerin)



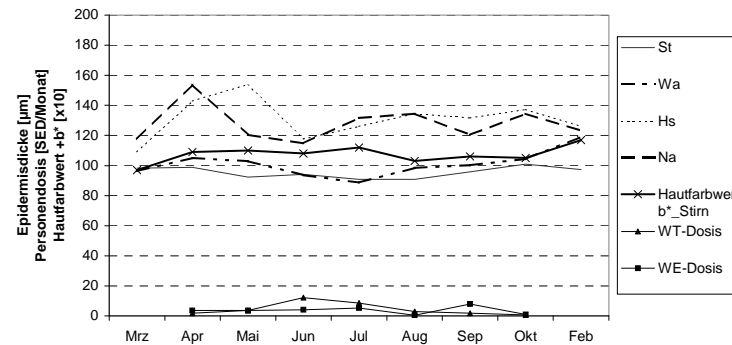
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_44 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 15.05. - 20.05.2006 (Schwerin)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_44 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 15.05. - 20.05.2006 (Schwerin)

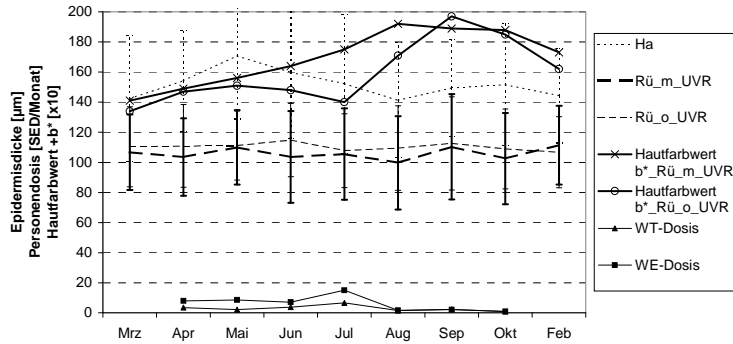


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 4.8

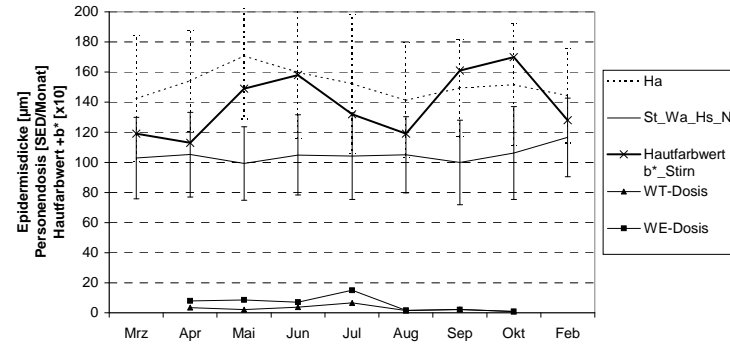
Gr. 2/PN44 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_45 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 13.08. - 23.08.2006 (Venedig)



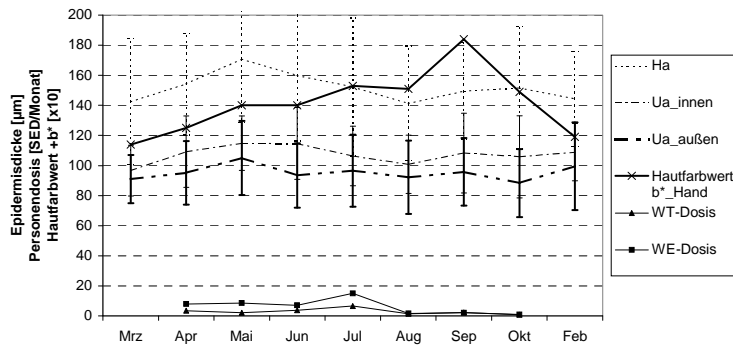
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_45 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 13.08. - 23.08.2006 (Venedig)



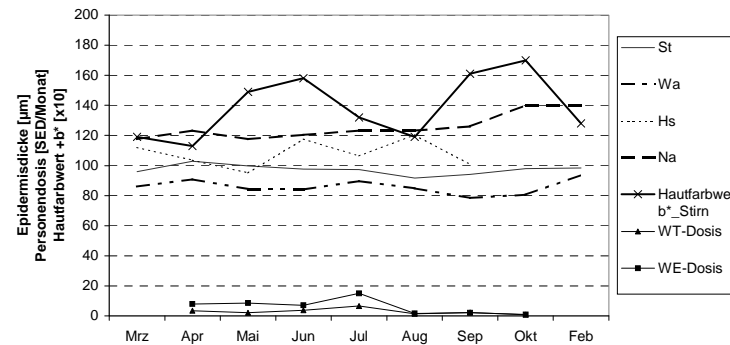
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_45 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 13.08. - 23.08.2006 (Venedig)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_45 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 13.08. - 23.08.2006 (Venedig)

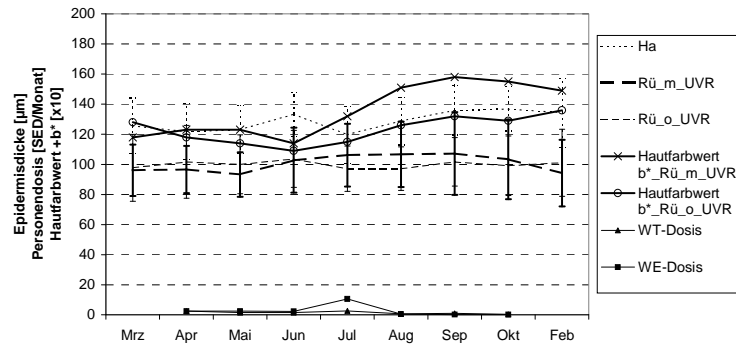


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 4.9

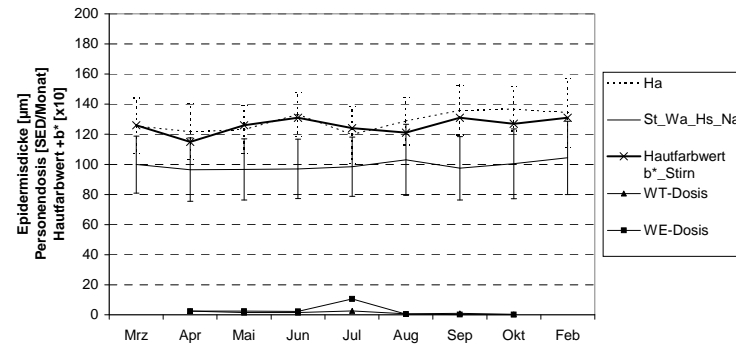
Gr. 2/PN45 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_46 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.07. - 27.07.2006 (Ostsee)



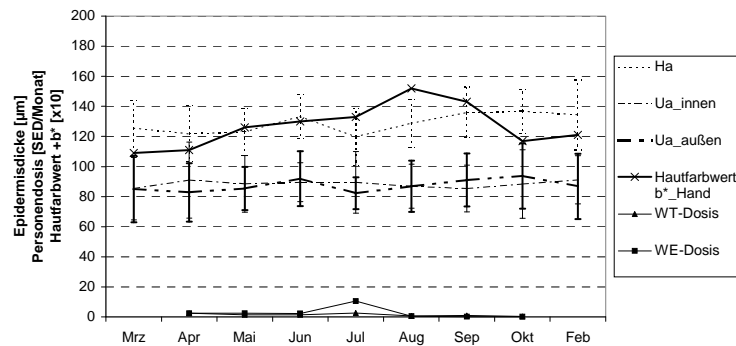
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_46 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.07. - 27.07.2006 (Ostsee)



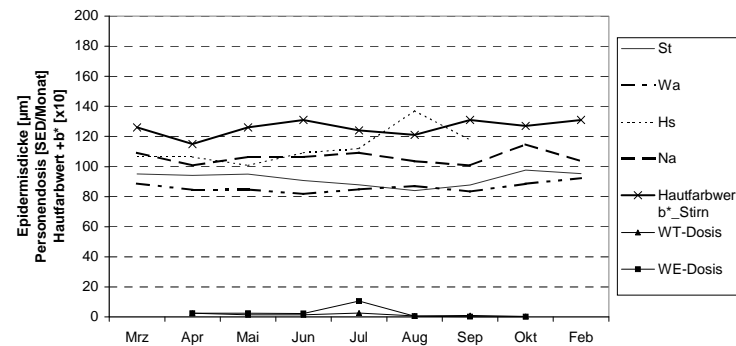
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_46 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.07. - 27.07.2006 (Ostsee)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_46 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.07. - 27.07.2006 (Ostsee)

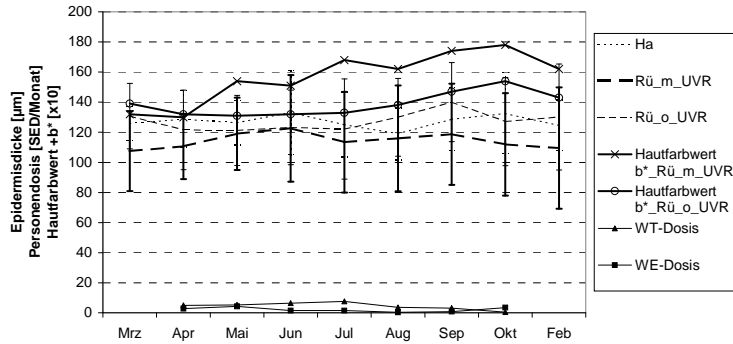


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 4.10**

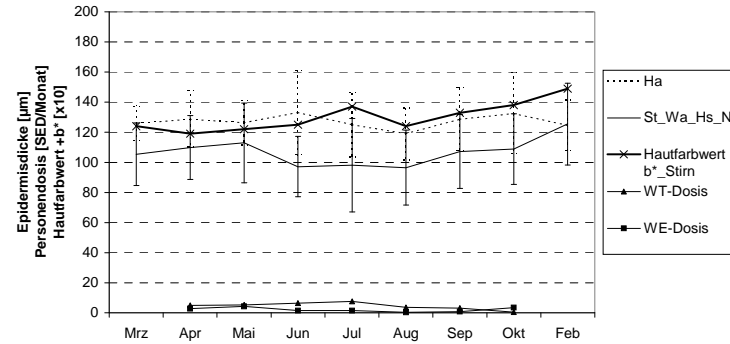
Gr. 2/PN46 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_47 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.10. - 15.10.2006 (New York)



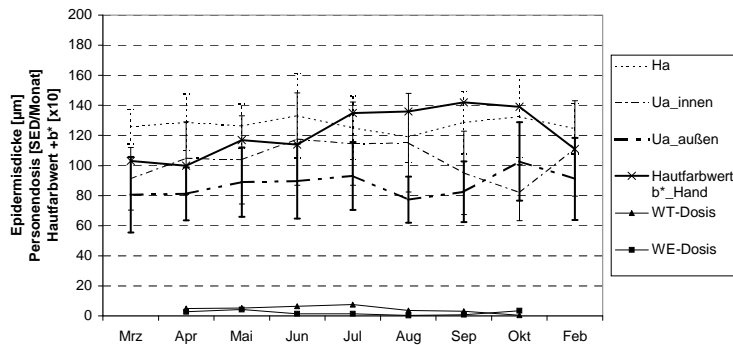
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_47 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.10. - 15.10.2006 (New York)



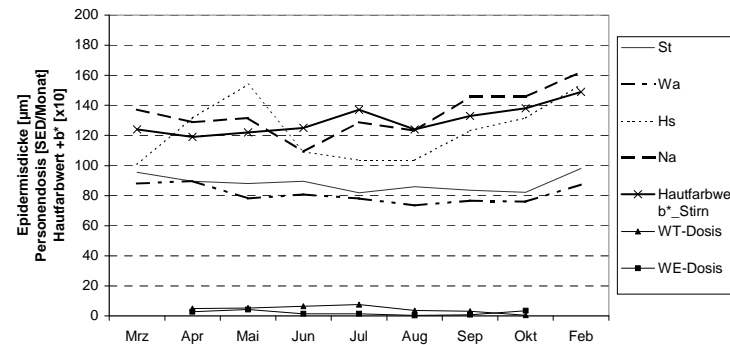
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_47 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.10. - 15.10.2006 (New York)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_47 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.10. - 15.10.2006 (New York)

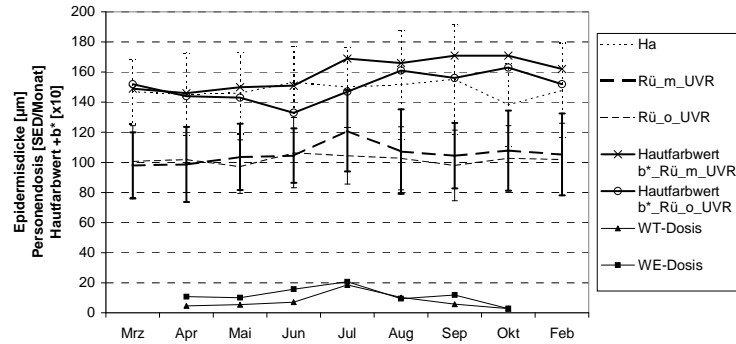


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 4.11**

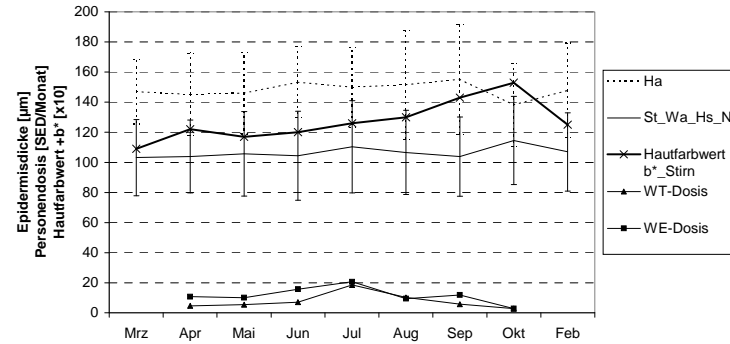
Gr. 2/PN47 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_48 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 20.07. - 04.08.2006 (Müritz)



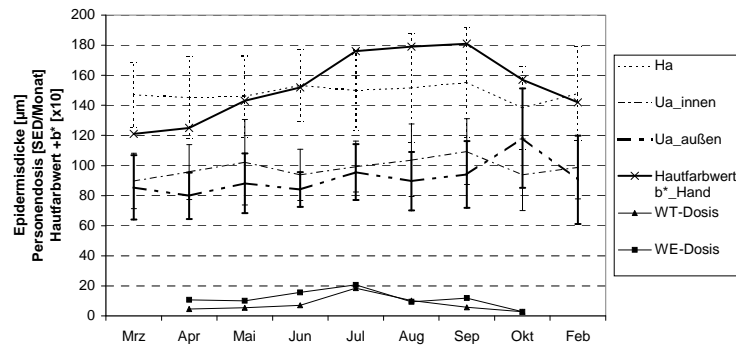
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_48 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 20.07. - 04.08.2006 (Müritz)



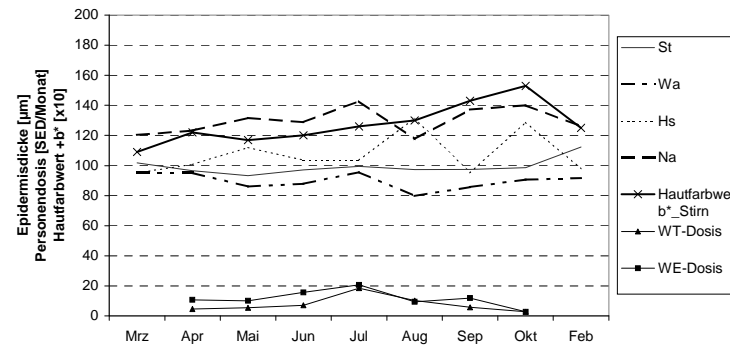
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_48 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 20.07. - 04.08.2006 (Müritz)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 2\_48 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 20.07. - 04.08.2006 (Müritz)



(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 4.12**

Gr. 2/PN48 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

Übersicht zu Anh. 2, Abb. 5.1 - 5.12

Individueller Jahresverlauf der UV-Eigenschutzkomponenten Epidermisdicke (Lichtschwiele) und Hautpigmentierung bei ständig im Freien Beschäftigten (Gruppe 3; Probanden 3\_49 bis 3\_61)

(a) am Rücken

(b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt

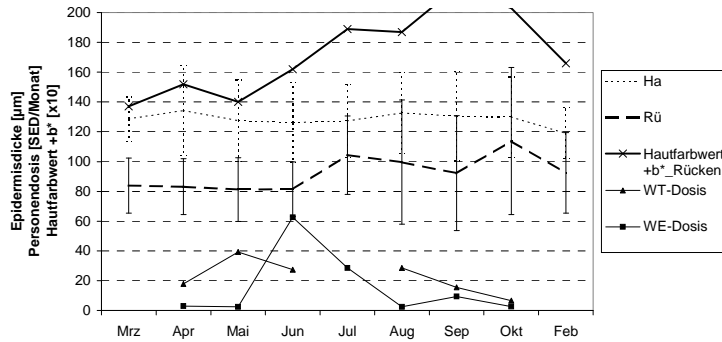
(c) an Handrücken

(d) für die einzelnen Areale des Kopfbereiches

in Relation zur werktäglichen UV-Personendosis (WT-Dosis) und zur Wochenend-/Freizeit-UV-Personendosis (WE-Dosis)

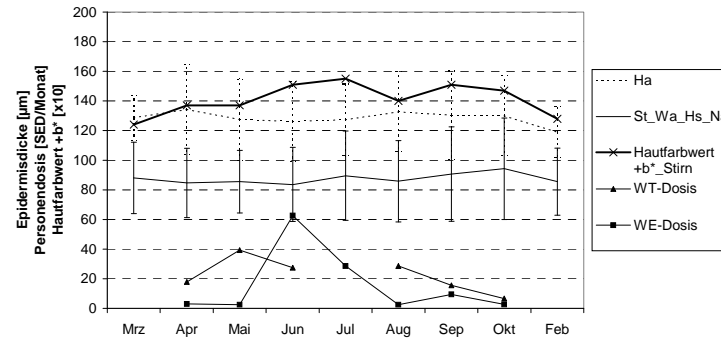


UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_49 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 23.09. - 01.10. (Ostsee)



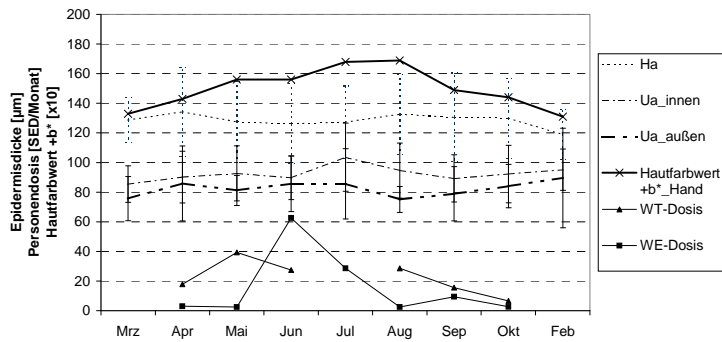
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_49 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 23.09. - 01.10. (Ostsee)



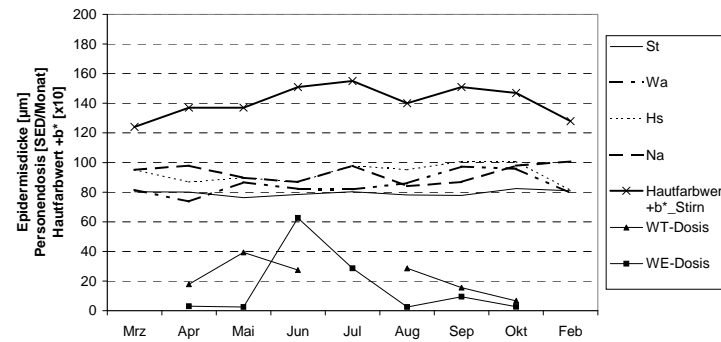
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_49 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 23.09. - 01.10. (Ostsee)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_49 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 23.09. - 01.10. (Ostsee)

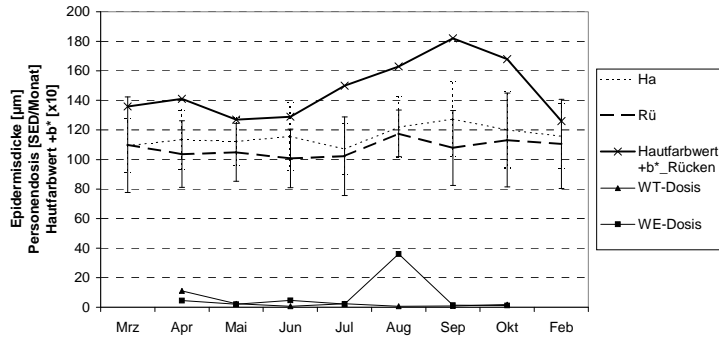


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.1

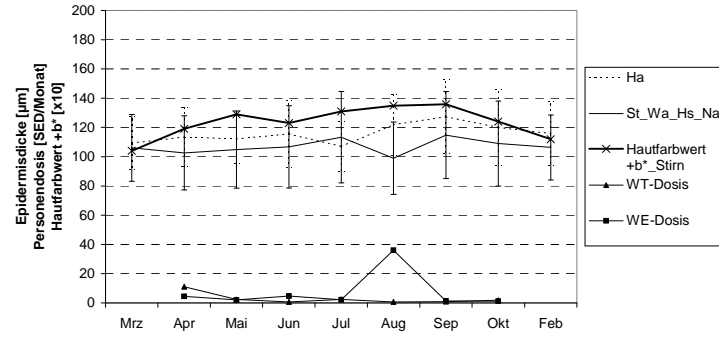
Gr. 3/PN49 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_50 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.08. - 30.08.(Rhodos)



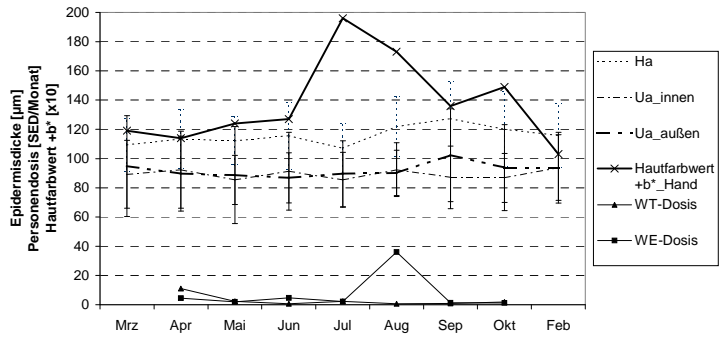
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_50 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.08. - 30.08.(Rhodos)



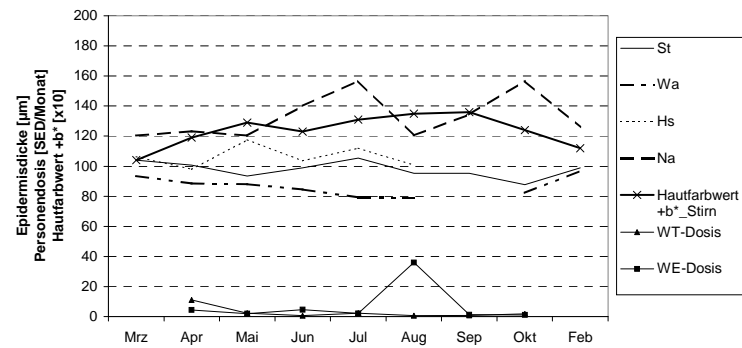
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_50 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.08. - 30.08.(Rhodos)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_50 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.08. - 30.08.(Rhodos)

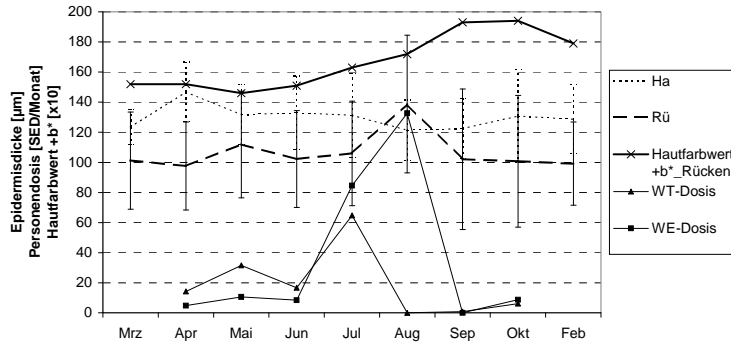


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 5.2**

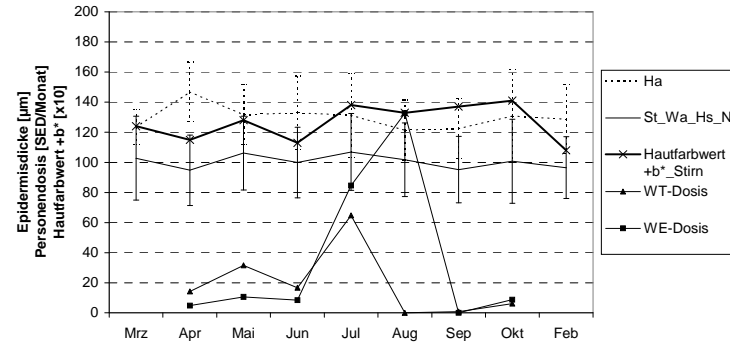
Gr. 3/PN50 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_51 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 28.07. - 20.08.(Spanien)



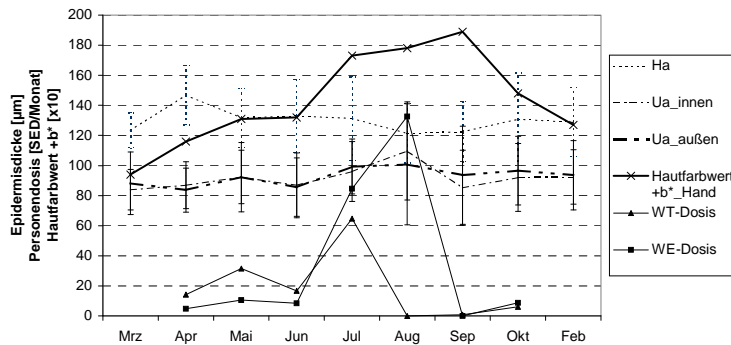
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_51 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 28.07. - 20.08.(Spanien)



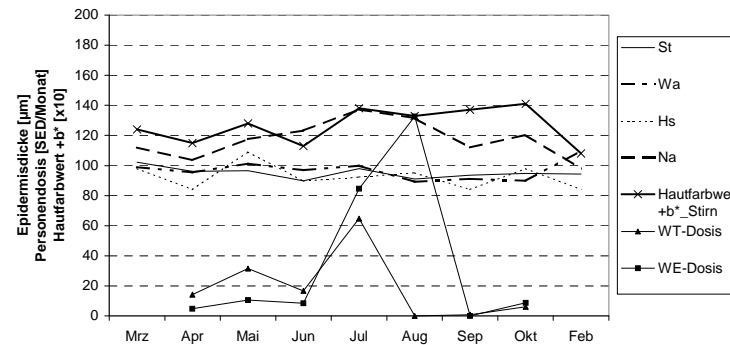
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_51 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 28.07. - 20.08.(Spanien)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_51 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 28.07. - 20.08.(Spanien)

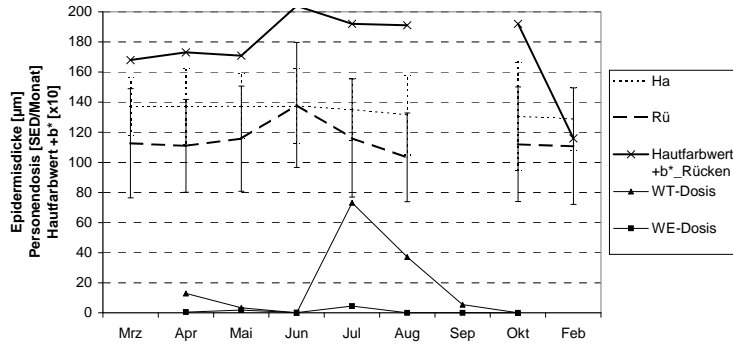


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.3

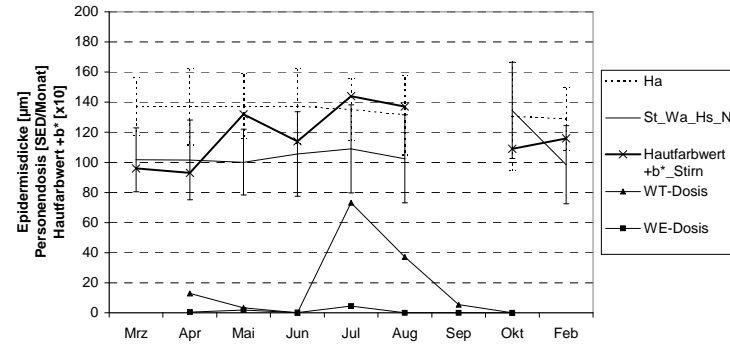
Gr. 3/PN51 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_52 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 14.08. - 01.09.(Dresden), 11.09. - 17.09.(Dresden)



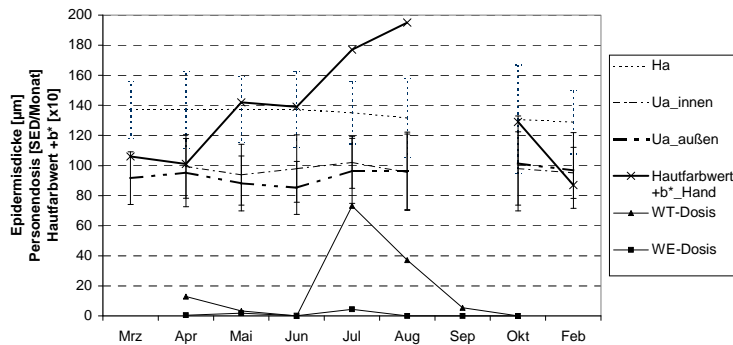
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_52 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 14.08. - 01.09.(Dresden), 11.09. - 17.09.(Dresden)



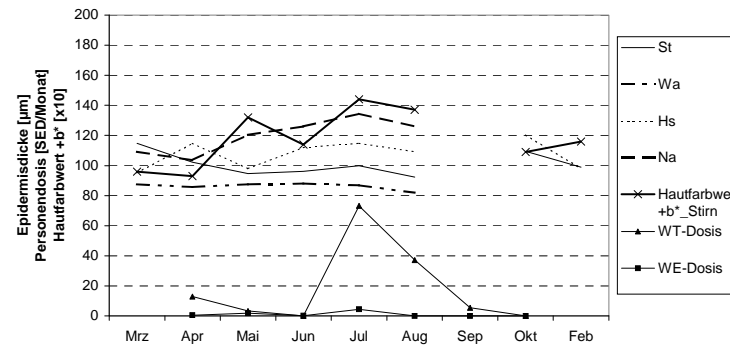
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_52 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 14.08. - 01.09.(Dresden), 11.09. - 17.09.(Dresden)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_52 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 14.08. - 01.09.(Dresden), 11.09. - 17.09.(Dresden)

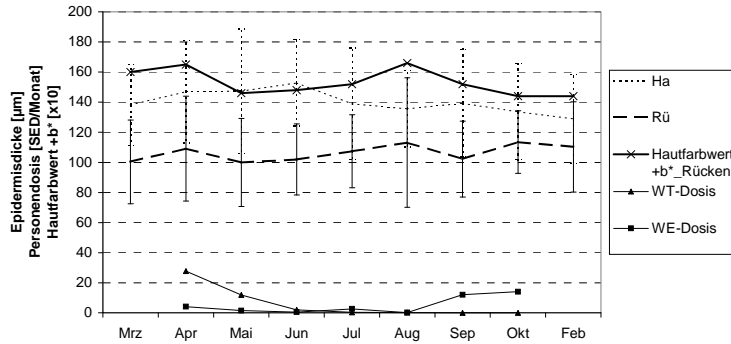


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.4

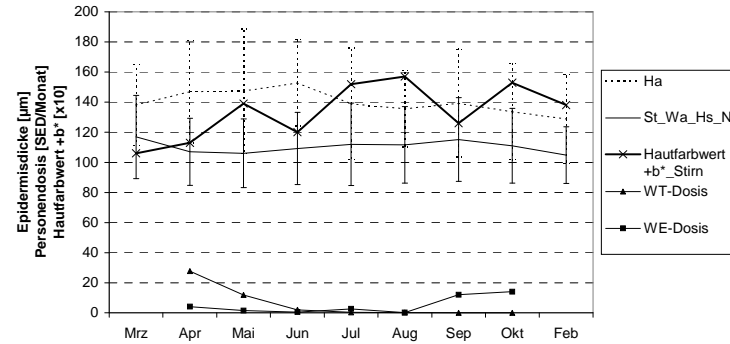
Gr. 3/PN52 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_54 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 18.09. - 15.10.(Kanada)



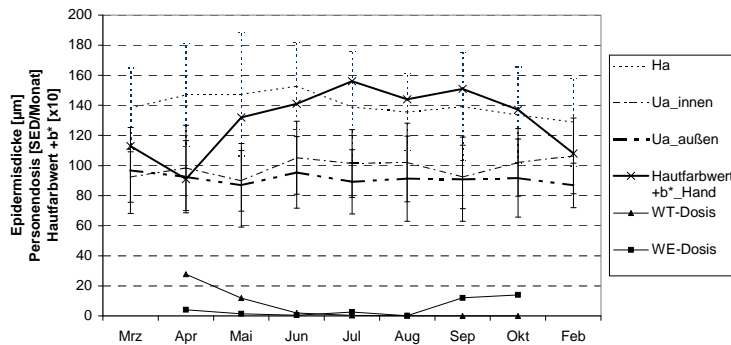
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_54 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 18.09. - 15.10.(Kanada)



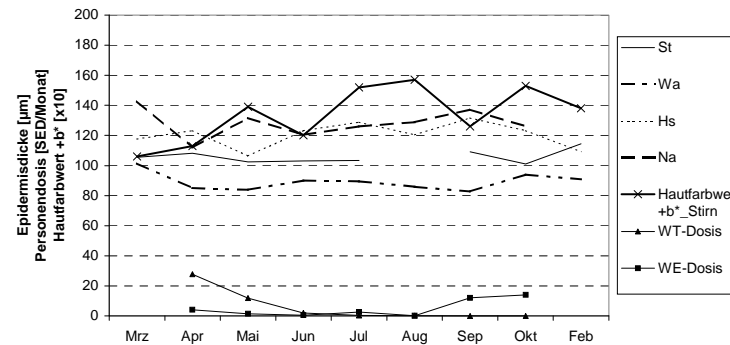
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_54 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 18.09. - 15.10.(Kanada)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_54 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 18.09. - 15.10.(Kanada)

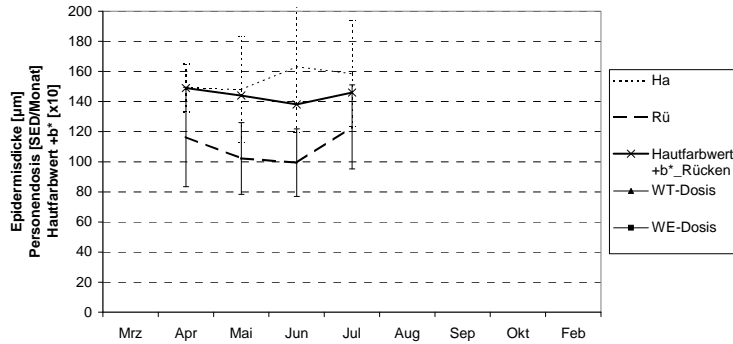


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 5.5**

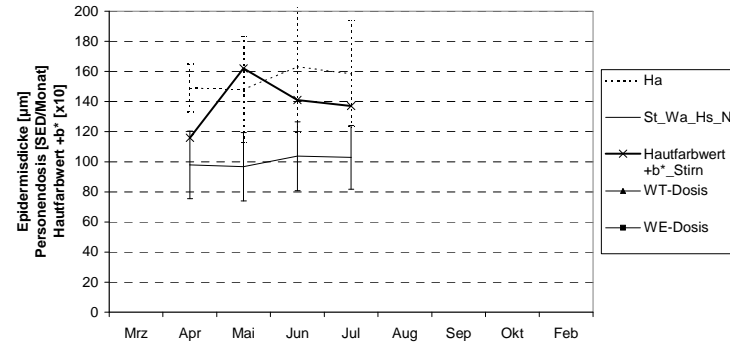
Gr. 3/PN54 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_55 (Hauttyp II)  
Haupturlaub:



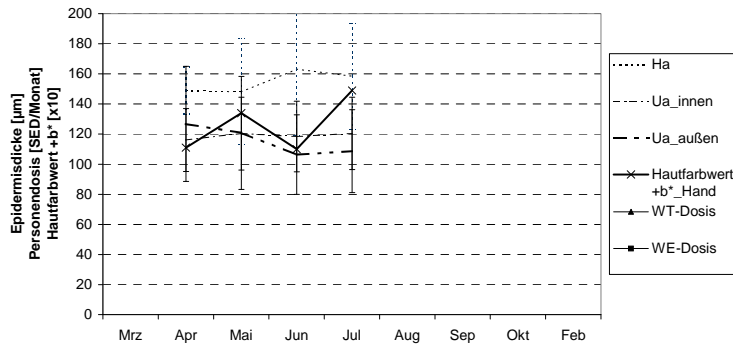
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_55 (Hauttyp II)  
Haupturlaub:



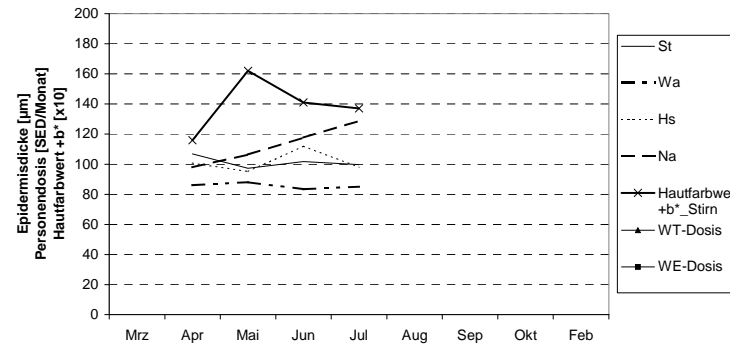
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_55 (Hauttyp II)  
Haupturlaub:



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_55 (Hauttyp II)  
Haupturlaub:

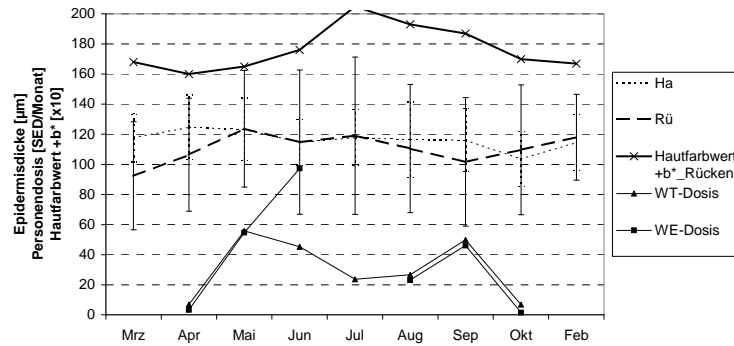


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.6

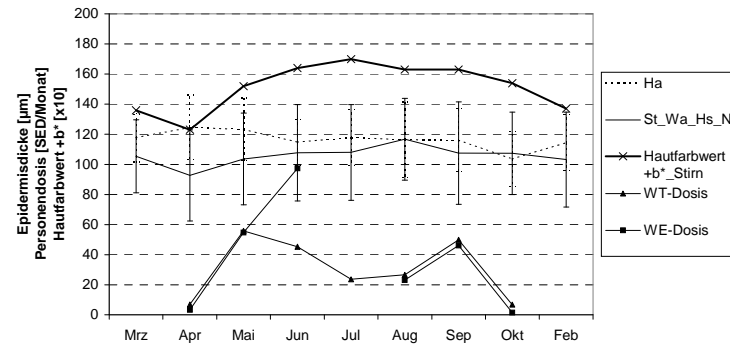
Gr. 3/PN55 (im Freien Beschäftigter – Studienabbruch): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_56 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.07. -23.07. (Ungarn)



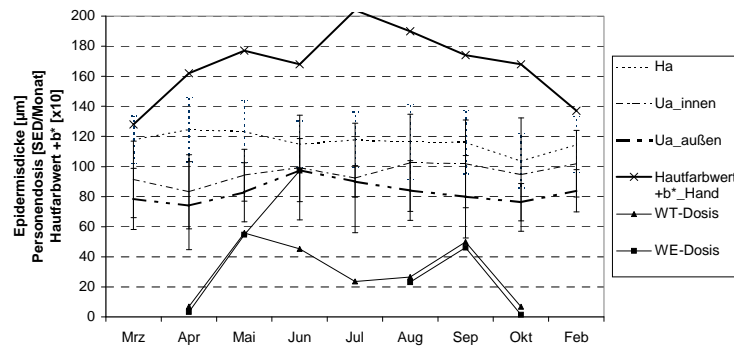
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_56 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.07. -23.07. (Ungarn)



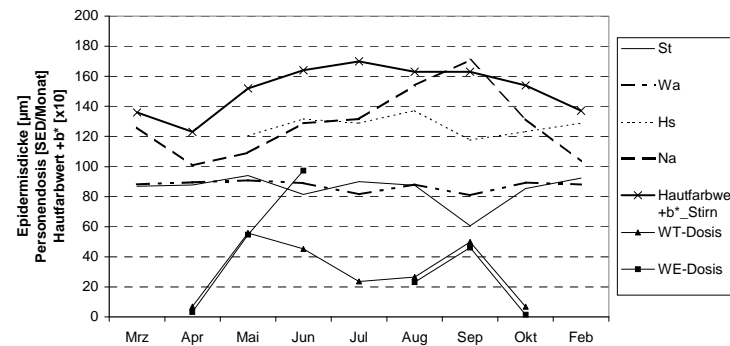
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_56 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.07. -23.07. (Ungarn)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_56 (Hauttyp III)  
Haupturlaub: 02.07. -23.07. (Ungarn)

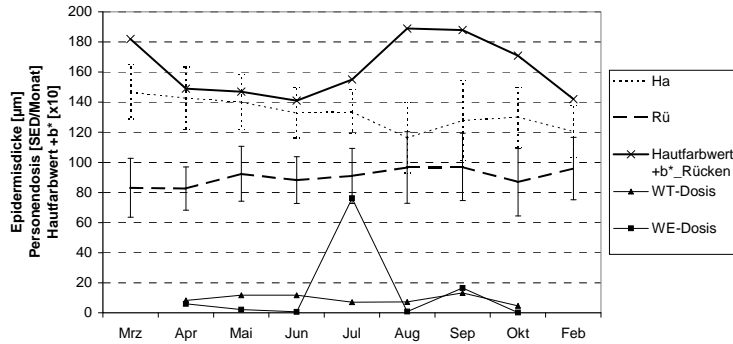


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.7

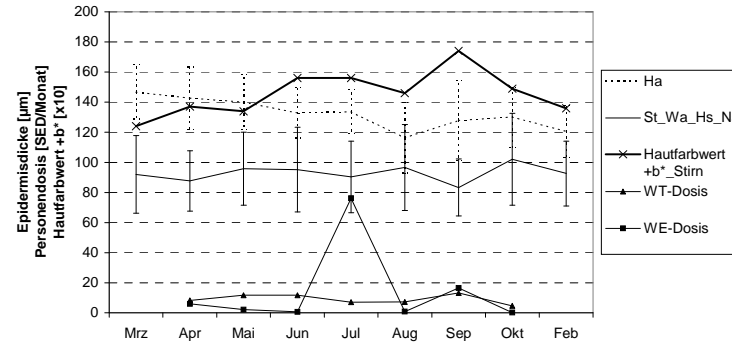
Gr. 3/PN56 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_57 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.08. - 30.08.(Rhodos)



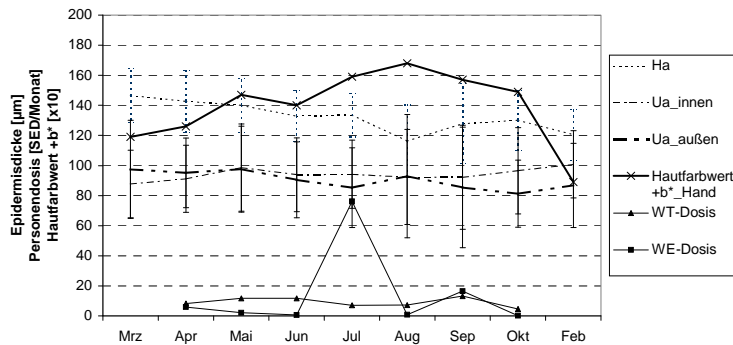
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_57 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.08. - 30.08.(Rhodos)



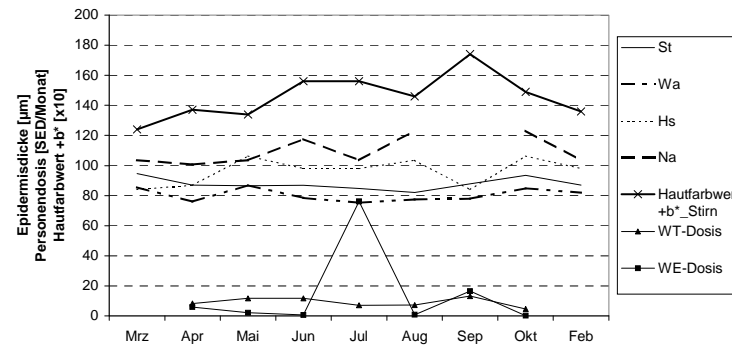
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_57 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.08. - 30.08.(Rhodos)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_57 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.08. - 30.08.(Rhodos)



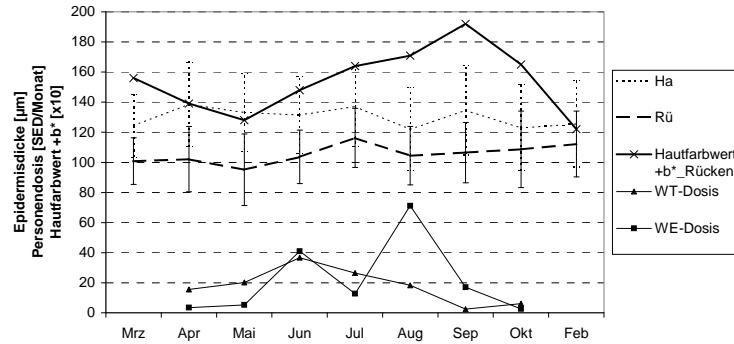
(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.8

Gr. 3/PN57 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

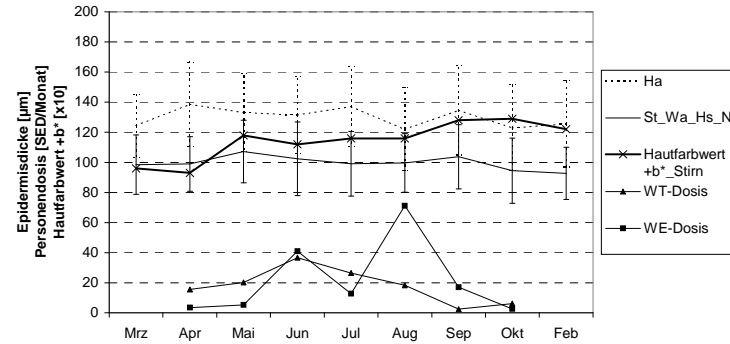


UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_58 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 02.09. - 17.09.(Interlaken)



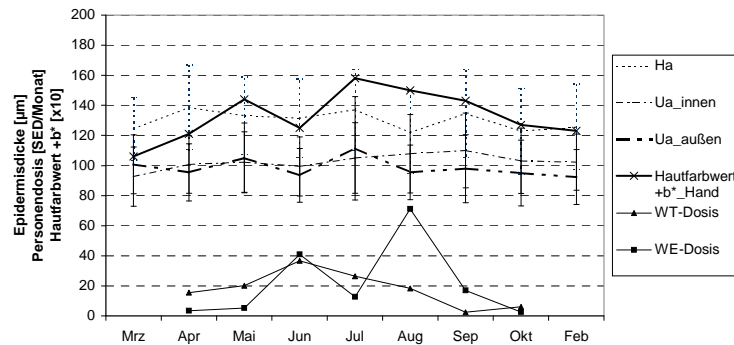
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_58 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 02.09. - 17.09.(Interlaken)



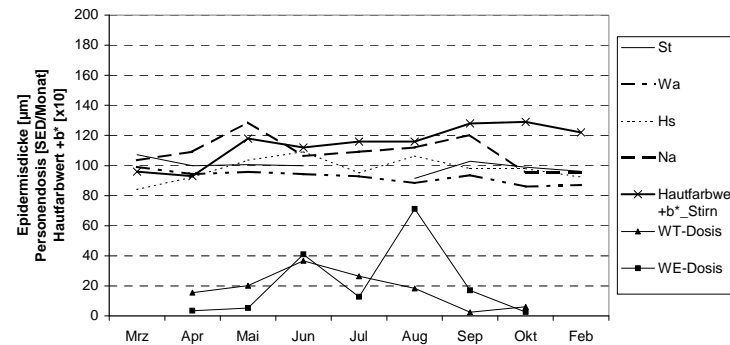
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_58 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 02.09. - 17.09.(Interlaken)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_58 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 02.09. - 17.09.(Interlaken)

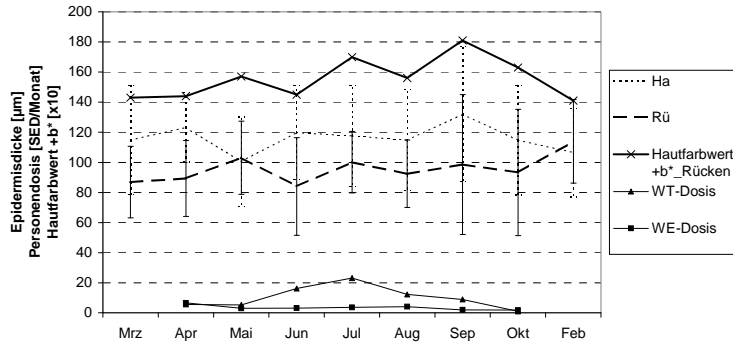


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.9

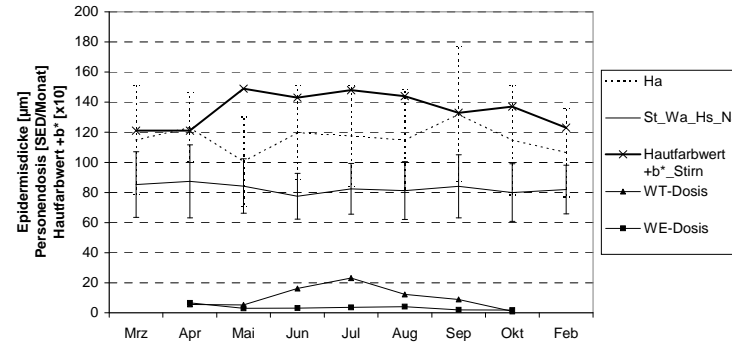
Gr. 3/PN58 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_59 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 28.08. - 10.09.(Dresden)



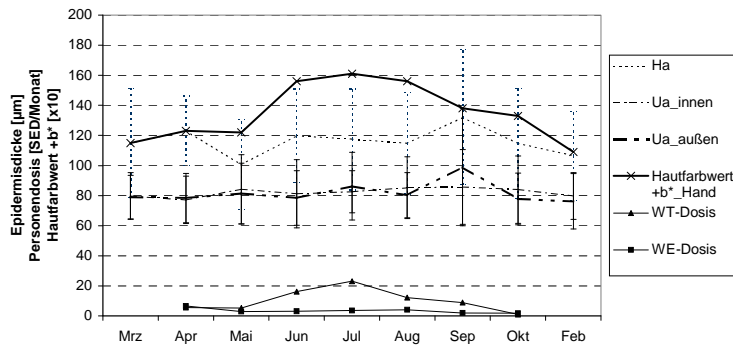
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_59 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 28.08. - 10.09.(Dresden)



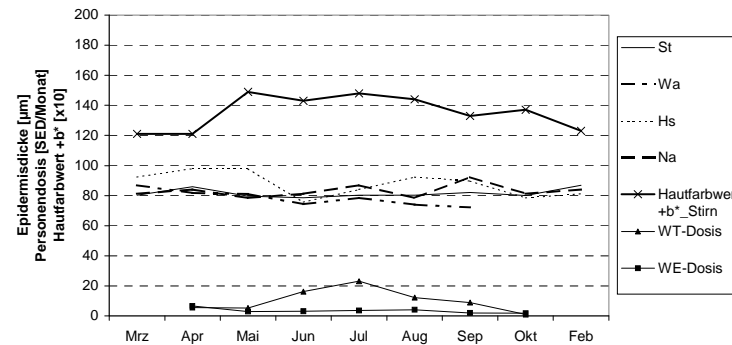
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_59 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 28.08. - 10.09.(Dresden)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_59 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 28.08. - 10.09.(Dresden)

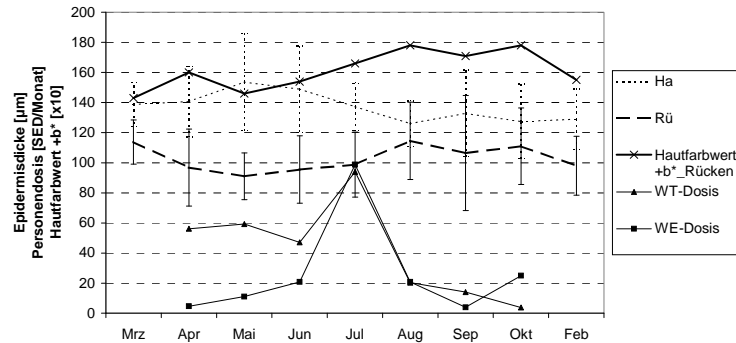


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.10

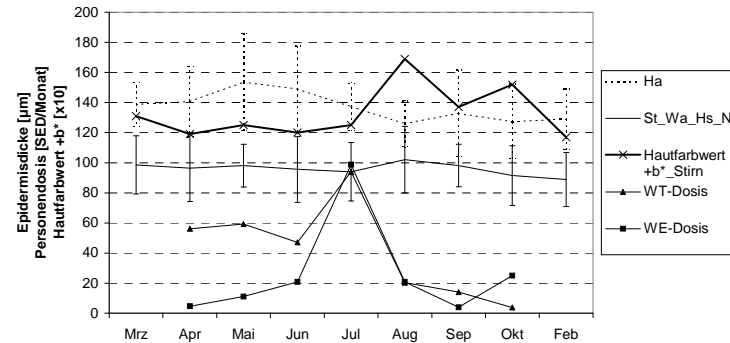
Gr. 3/PN59 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_60 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.10. - 26.10. (Mallorca)



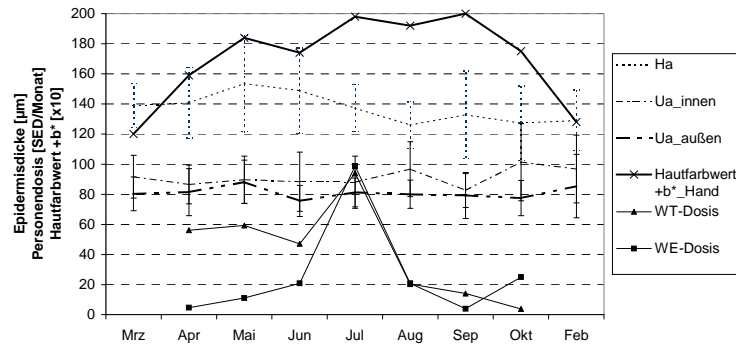
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_60 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.10. - 26.10. (Mallorca)



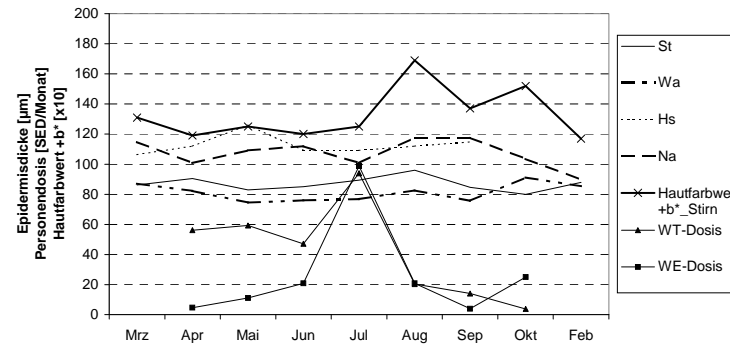
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_60 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.10. - 26.10. (Mallorca)



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_60 (Hauttyp II)  
Haupturlaub: 17.10. - 26.10. (Mallorca)

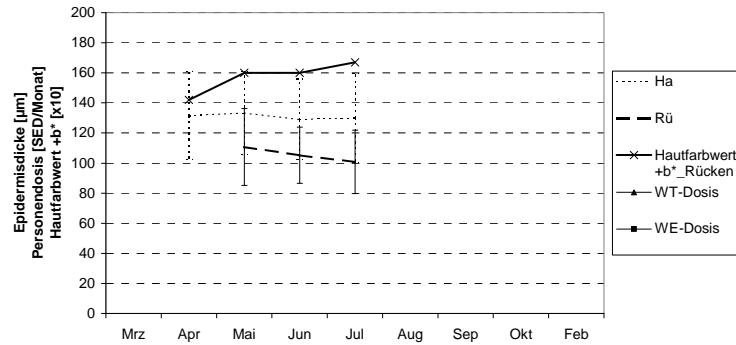


(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

Anh. 2, Abb. 5.11

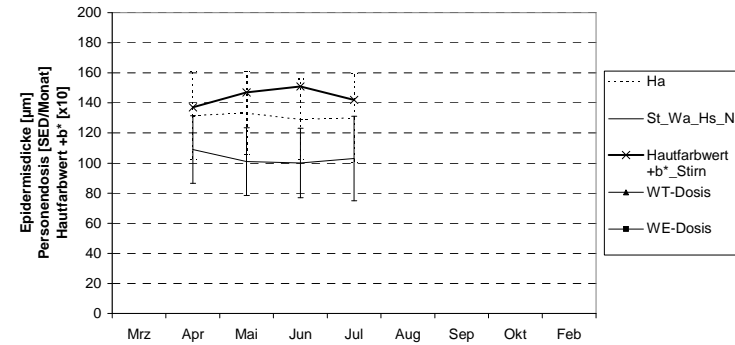
Gr. 3/PN60 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_61 (Hauttyp)  
Haupturlaub:



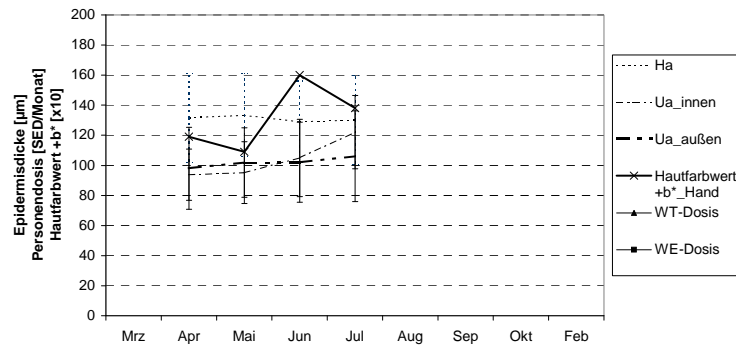
(a) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) am Rücken

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_61 (Hauttyp)  
Haupturlaub:



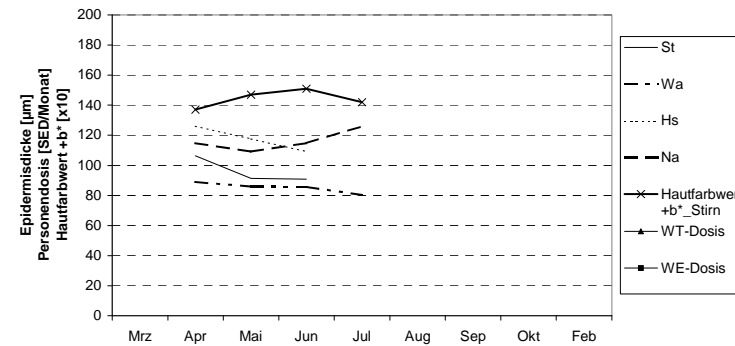
(b) Mittlere Epidermisdicke im Kopfbereich und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*)

UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_61 (Hauttyp)  
Haupturlaub:



(c) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad an Handrücken und Unterarm (+b\*)

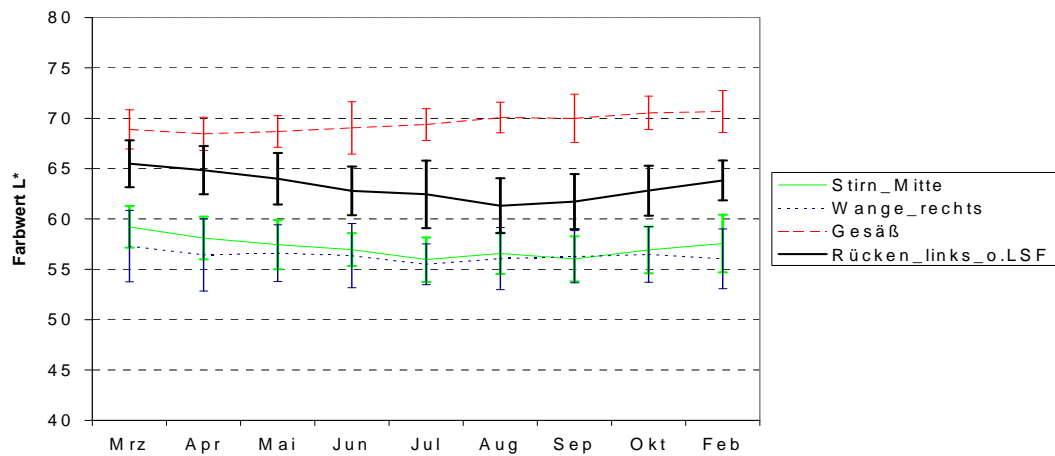
UV-Eigenschutz der Haut von März bis Feb  
PN 3\_61 (Hauttyp)  
Haupturlaub:



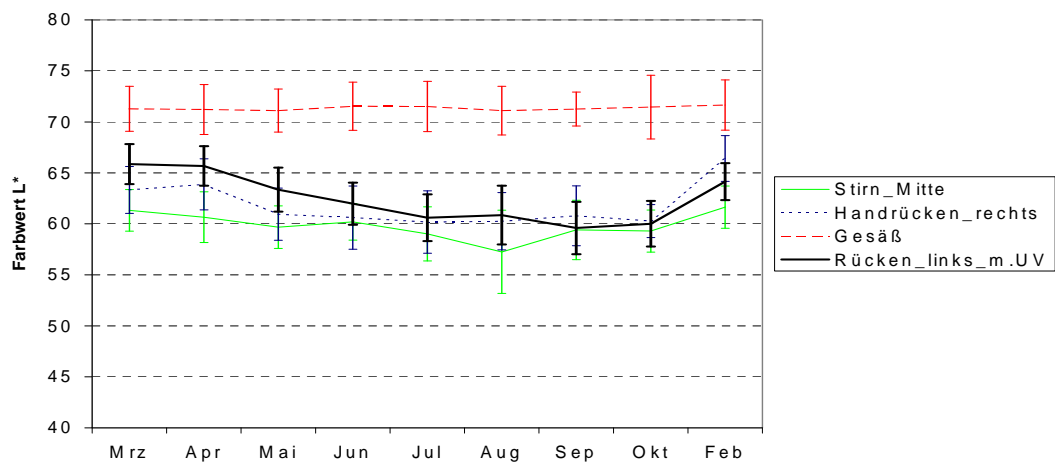
(d) Epidermisdicke und rel. Pigmentierungsgrad (+b\*) einzelner Areale im Kopfbereich

**Anh. 2, Abb. 5.12**

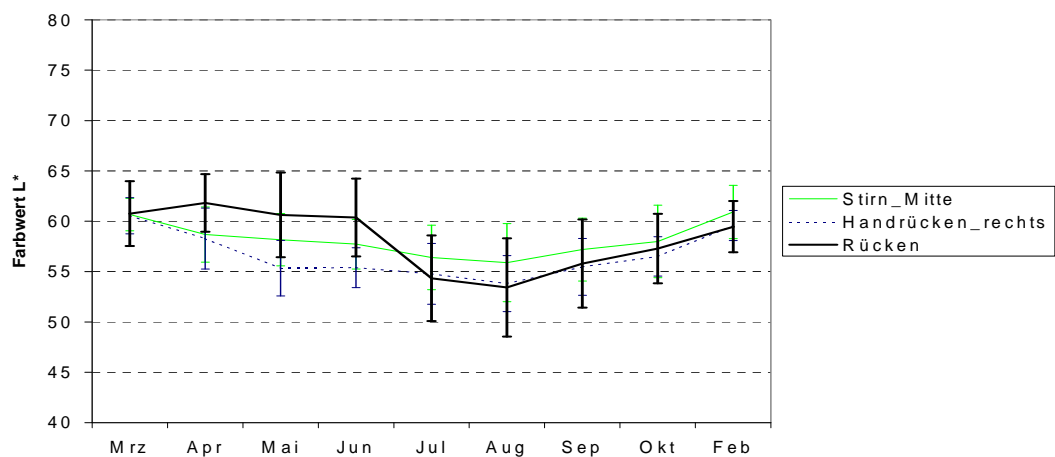
Gr. 3/PN61 (im Freien Beschäftigter – Studienabbruch): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches



(a) Gruppe 1 (im Freien Beschäftigte – Rücken links ohne Lichtschutzsubstanz)

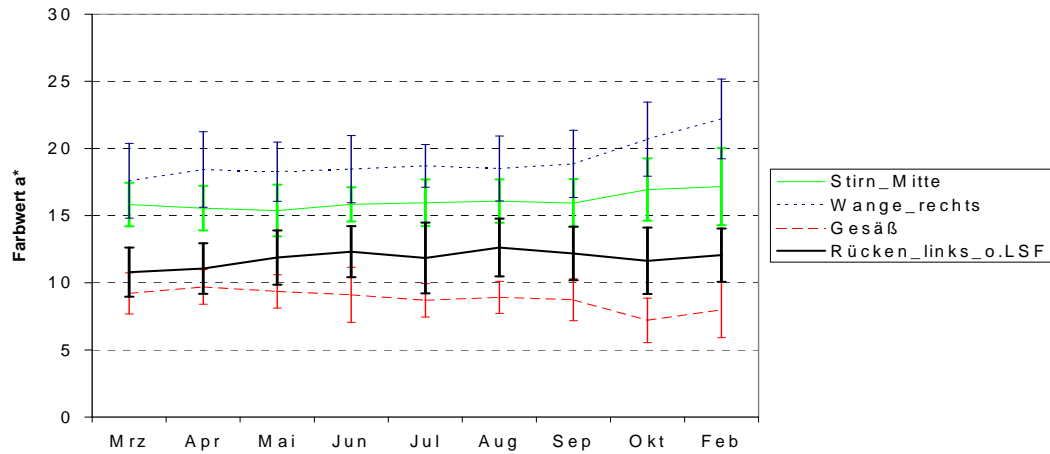


(b) Gruppe 2 (Innenbeschäftigte – Rücken links mit UV-Gesichtsdosis wie Außenbeschäftigte)

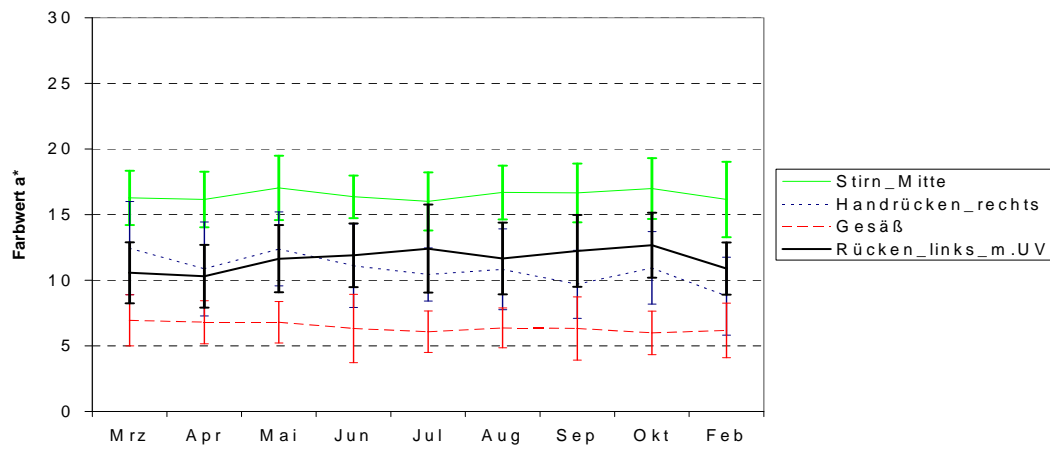


(c) Gruppe 3 (im Freien Beschäftigte – Rücken ohne Lichtschutzsubstanz)

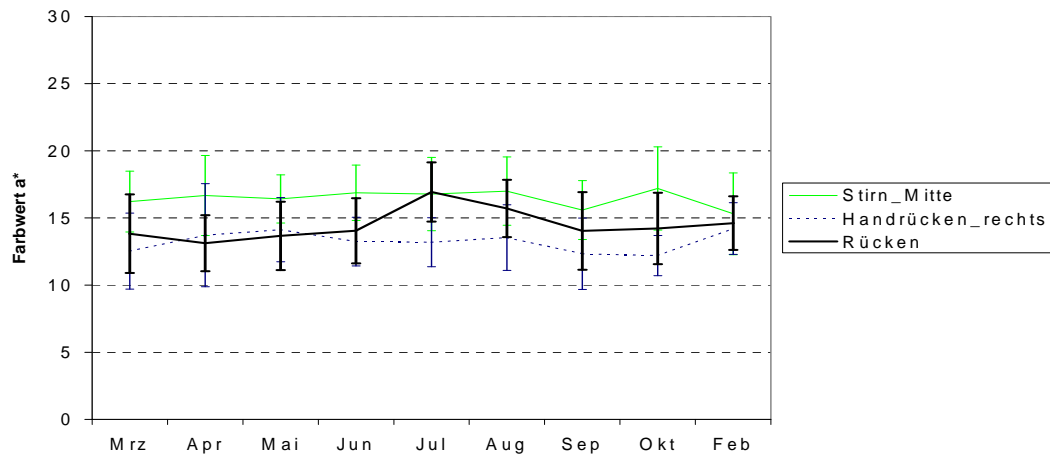
**Anh. 2, Abb. 6 a-c** Jahresverlauf des Helligkeitsgrades der Haut Farbwert +L\*:  
 Linke Rückenseite (Gruppe 1, 3): solare UV-Alltagsexposition  
 Linke Rückenseite (Gruppe 2): definierte UV-Exposition  
 (entsprechend solarer UV-Gesichtsexposition Beschäftigter im Freien)



(a) Gruppe 1 (im Freien Beschäftigte – Rücken links ohne Lichtschutzsubstanz)

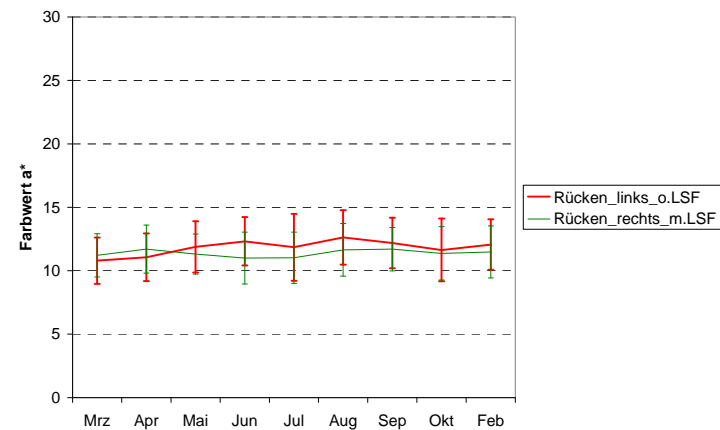
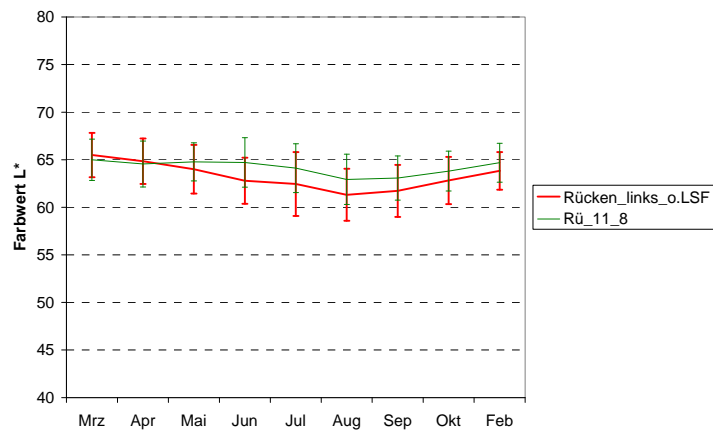


(b) Gruppe 2 (Innenbeschäftigte – Rücken links mit UV-Gesichtsdosis wie Außenbeschäftigte)

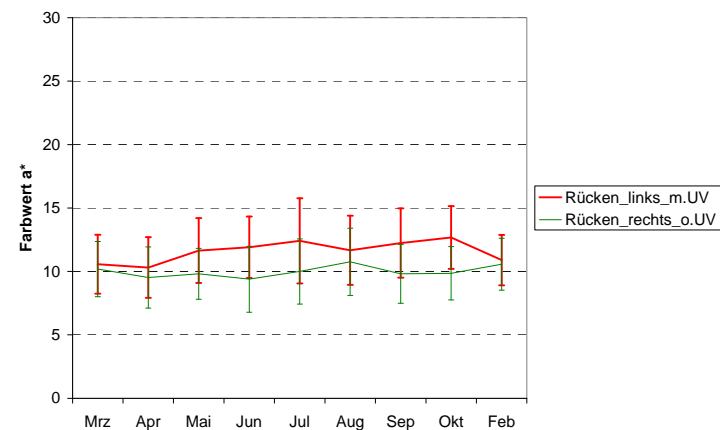
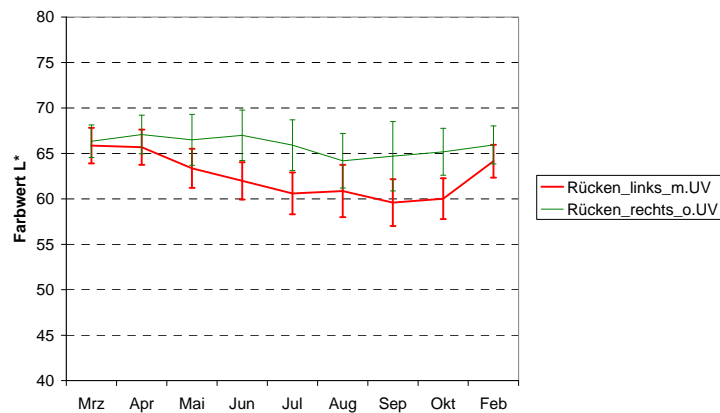


(c) Gruppe 3 (im Freien Beschäftigte – Rücken ohne Lichtschutzsubstanz)

**Anh. 2, Abb. 6 d-f** Jahresverlauf des Rötungsgrades der Haut (Farbwert +a\*):  
 Linke Rückenseite (Gruppe 1, 3): solare UV-Alltagsexposition  
 Linke Rückenseite (Gruppe 2): definierte UV-Exposition  
 (entsprechend solarer UV-Gesichtsexposition Beschäftigter im Freien)

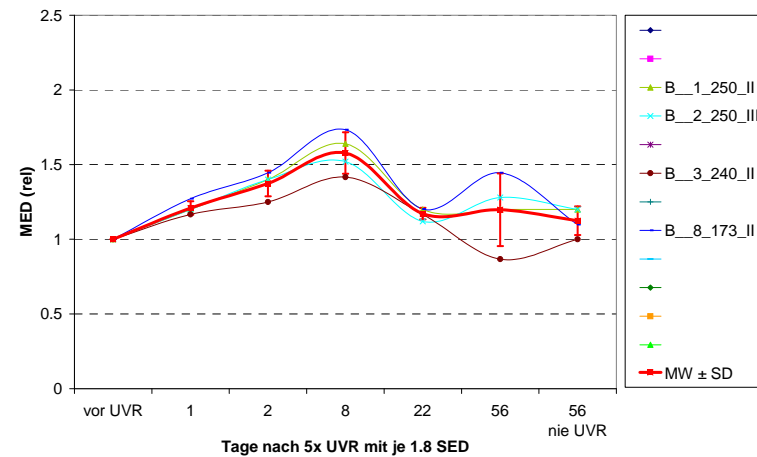
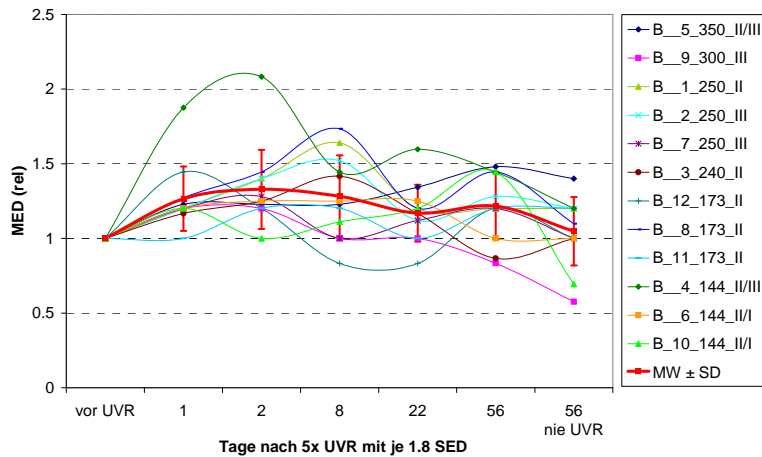


(a) Gr. 1 – Rückenhaut im Freien Beschäftigter: links ohne / rechts mit LSF 40 (b) Gr. 1 – Rückenhaut im Freien Beschäftigter: links ohne / rechts mit LSF 40



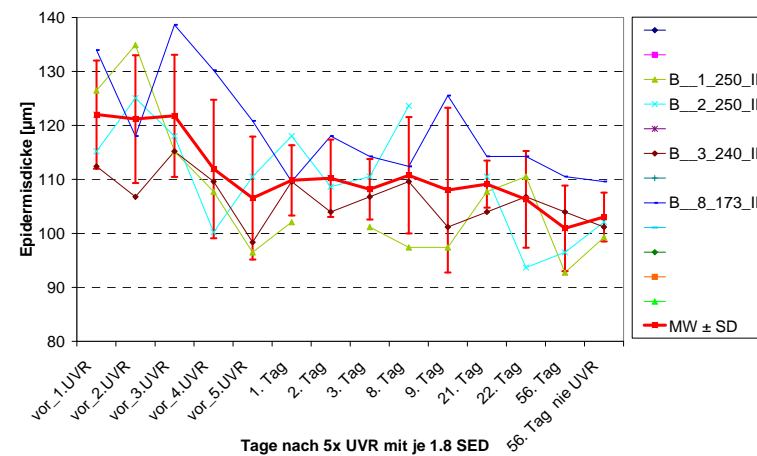
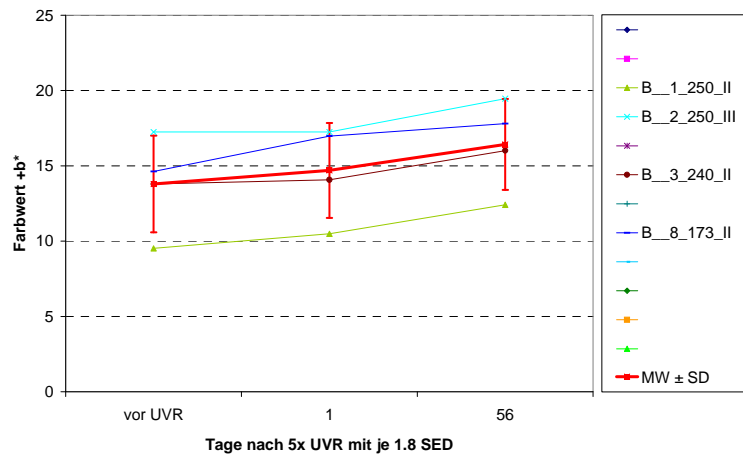
(c) Gr. 2 – Rückenhaut Innenbeschäftigter: links mit künstl. UVR, rechts ohne (d) Gr. 2 – Rückenhaut Innenbeschäftigter: links mit künstl. UVR, rechts ohne

**Anh. 2, Abb. 7 a-d** Jahresverlauf der Farbwerte an der Rückenhaut: Hauthelligkeit  $L^*$  (a), (c) und Hautrötung  $a^*$  (b), (d)  
 - Gruppe 1: solare UV-Alltagsexposition im Freien Beschäftigter ohne und mit Lichtschutzsubstanz unter Textilien  
 - Gruppe 2: Innenbeschäftigte (ohne UVR) bzw. Simulation der solaren UV-Exposition Außenbeschäftigter ohne textilen o-der kosmetischen Lichtschutz der Haut (mit UVR)



(a) Relativer MED-Verlauf nach fünfmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED/d}$ )

(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 1 (B1/2/3/8)

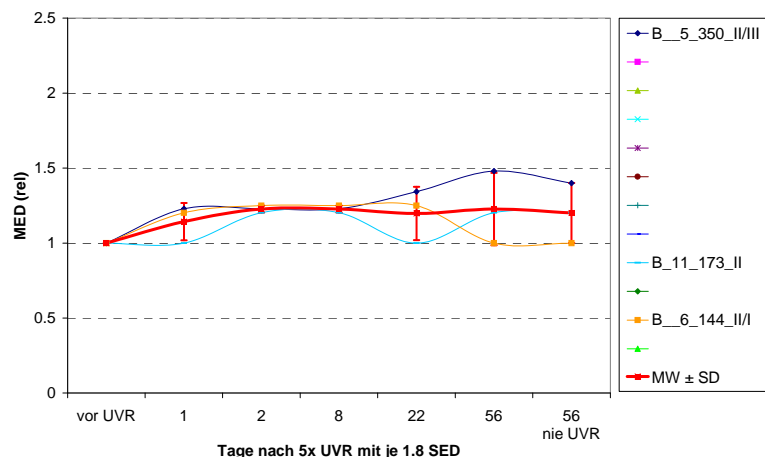
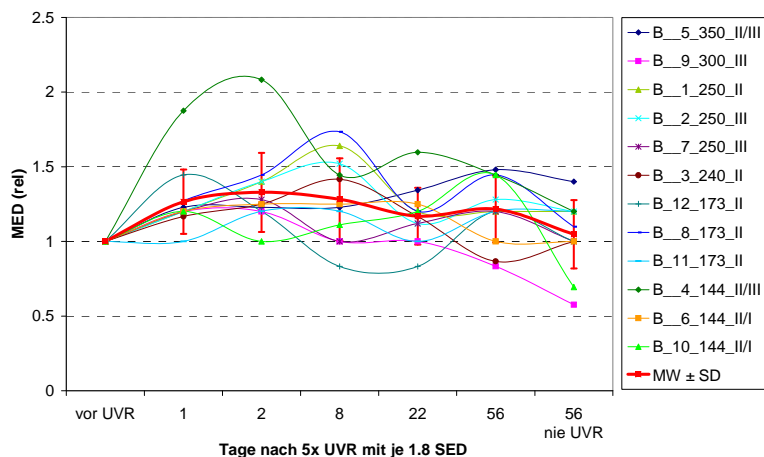


(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 5x 1,8 SED/d (B1/2/3/8)

(d) Epidermisdicke und Zeitverlauf nach fünfmaliger UV-Exposition 1,8 SED/d

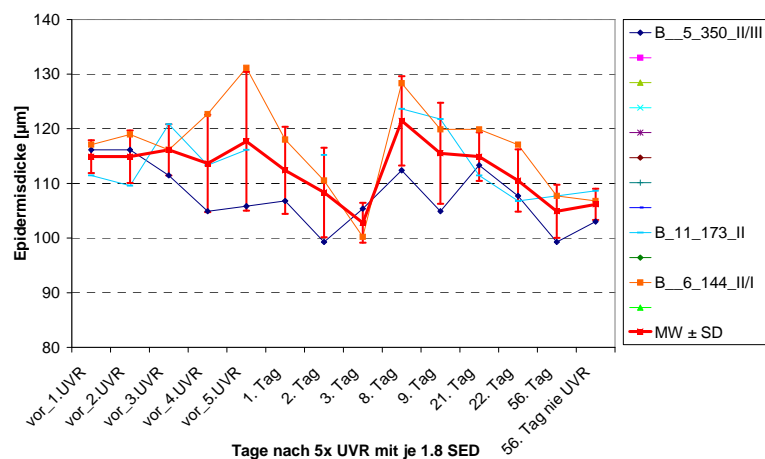
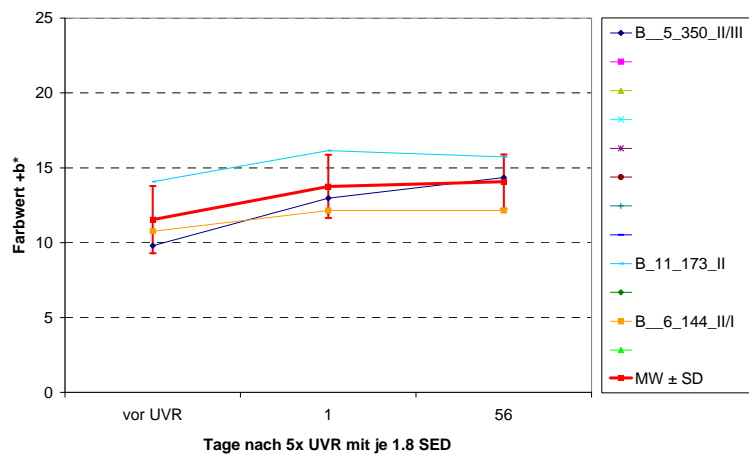
**Anh. 2, Abb. 8 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) an fünf Tagen – Studie „**Gruppe B**“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 1** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: B1/2/3/8); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 1 (B1/2/3/8) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwieleraktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad)





(a) Relativer MED-Verlauf nach fünfmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED/d}$ )

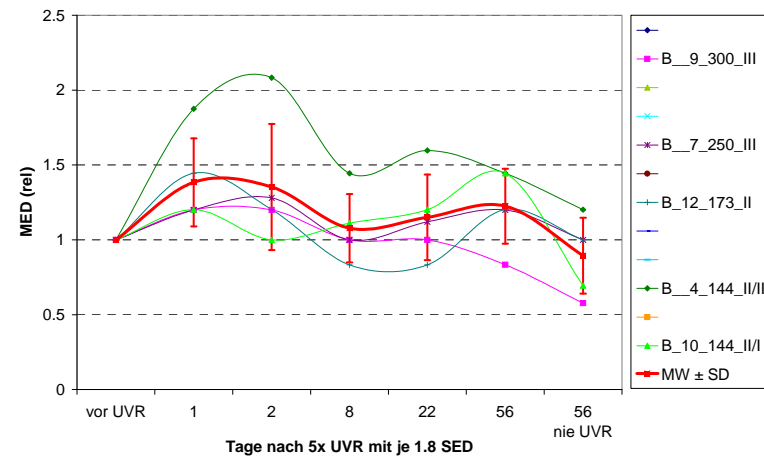
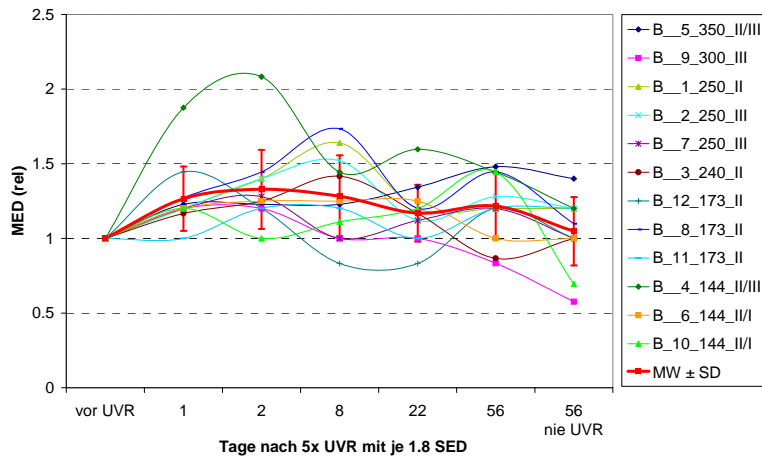
(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 2 (B5/6/11)



(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 5x 1,8 SED/d (B5/6/11)

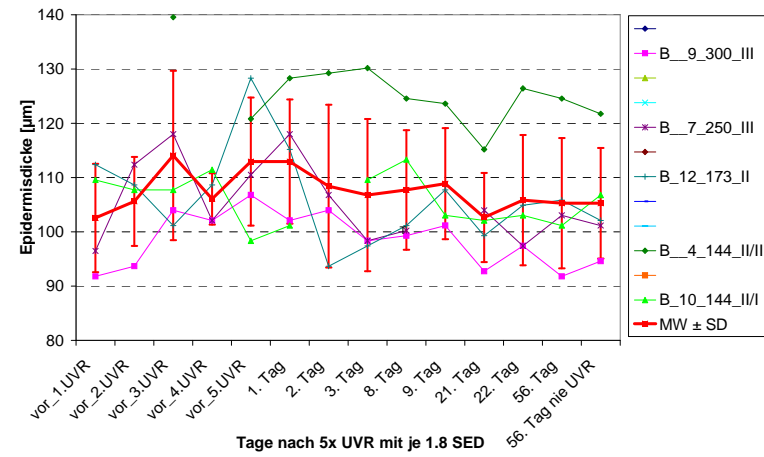
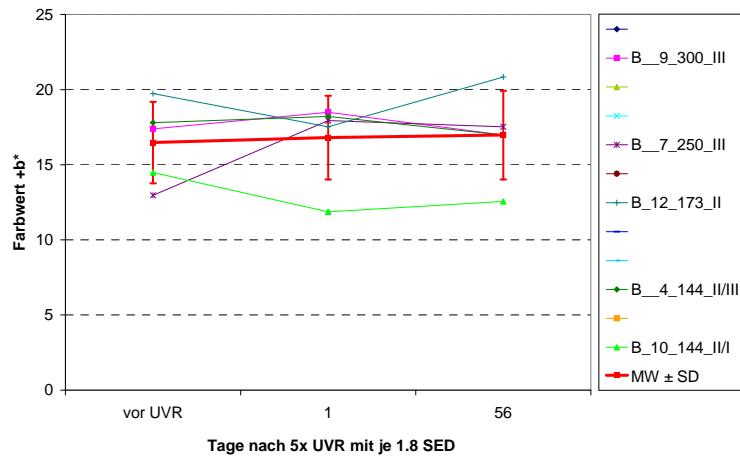
(d) Epidermisdicke und Zeitverlauf nach fünfmaliger UV-Exposition 1,8 SED/d

**Anh. 2, Abb. 9 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) an fünf Tagen – Studie „**Gruppe B**“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 2** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: B5/6/11); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 2 (B5/6/11) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad)



(a) Relativer MED-Verlauf nach fünfmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED/d}$ )

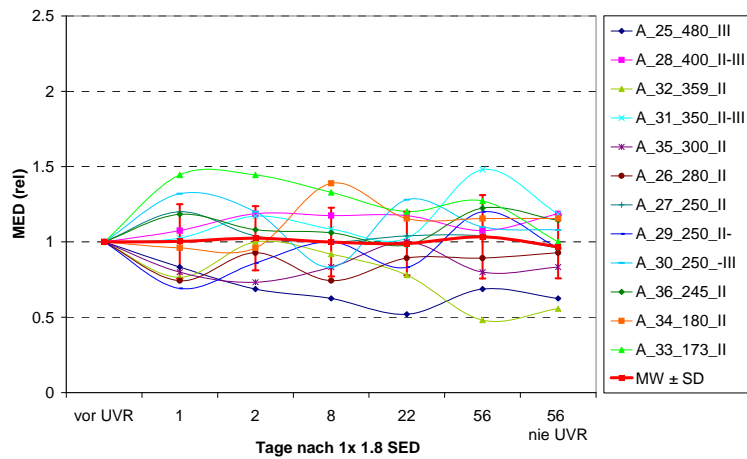
(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 3 (B4/7/9/10/12)



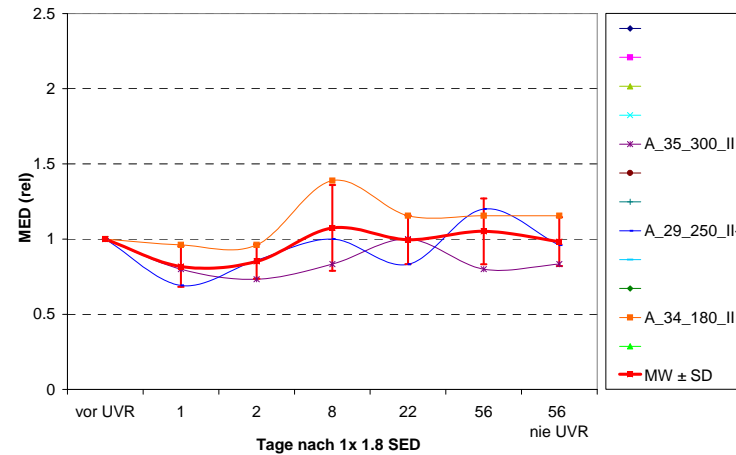
(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 5x 1,8 SED/d (B4/7/9/10/12)

(d) Epidermisdicke und Zeitverlauf nach fünfmaliger UV-Exposition 1,8 SED/d

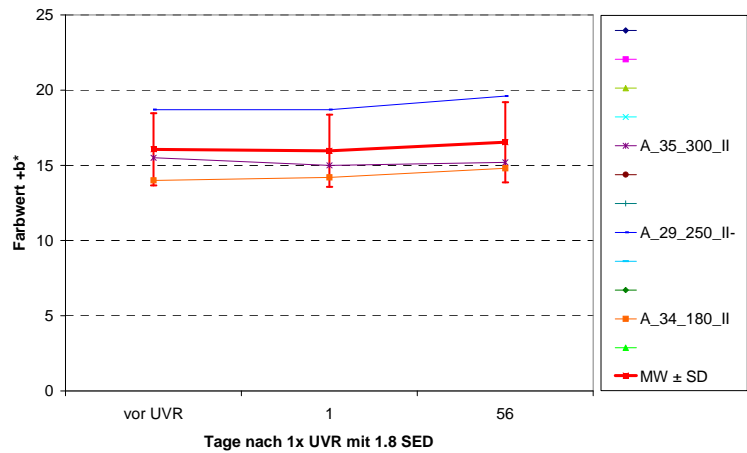
**Anh. 2, Abb. 10 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach UV-Expositionen (je  $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) an fünf Tagen – Studie „**Gruppe B**“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 3** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (**PN: B4/7/9/10/12**); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 3 (B4/7/9/10/12) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad)



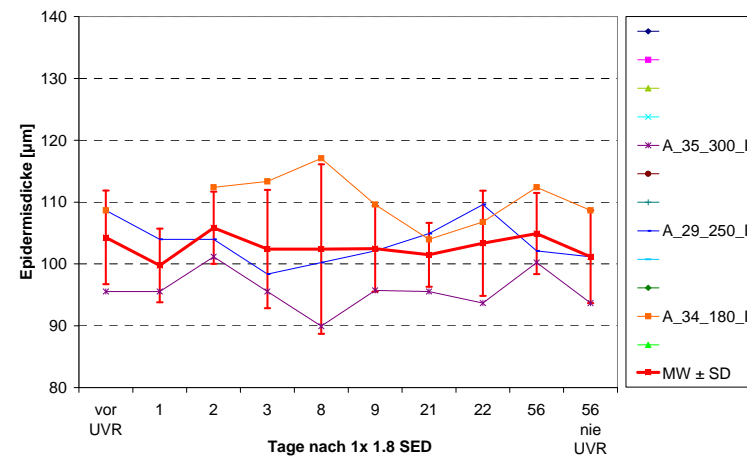
(a) Relativer MED-Verlauf nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8$  SED)



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 1 (A29/34/35)

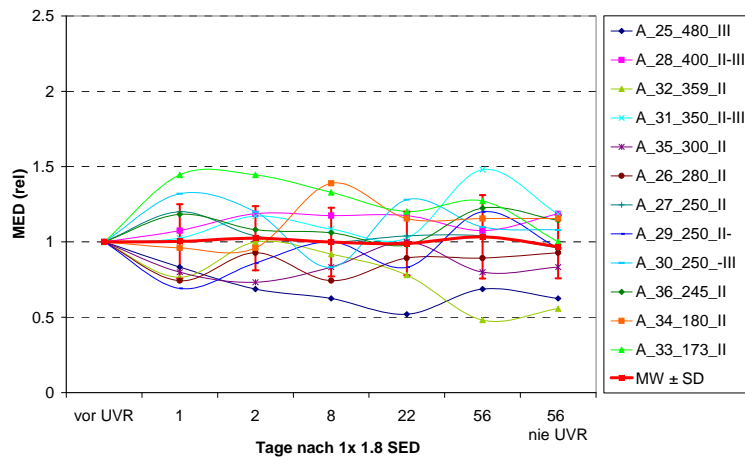


(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 1,8 SED (A29/34/35)

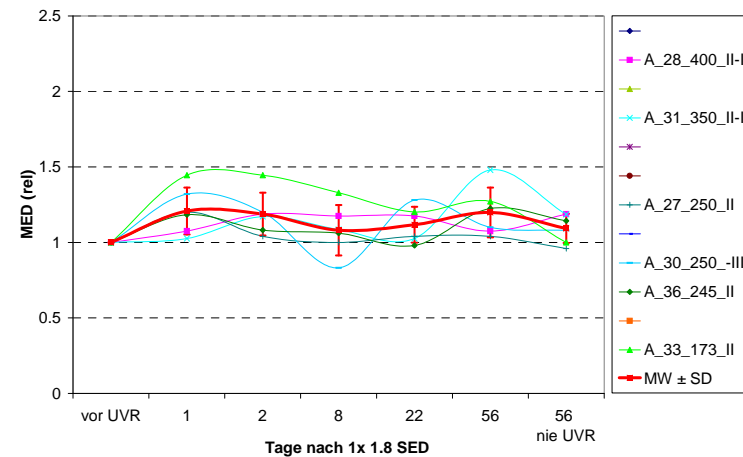


(d) Epidermisdicke und Zeitverlauf nach einmaliger UV-Exposition (1,8 SED)

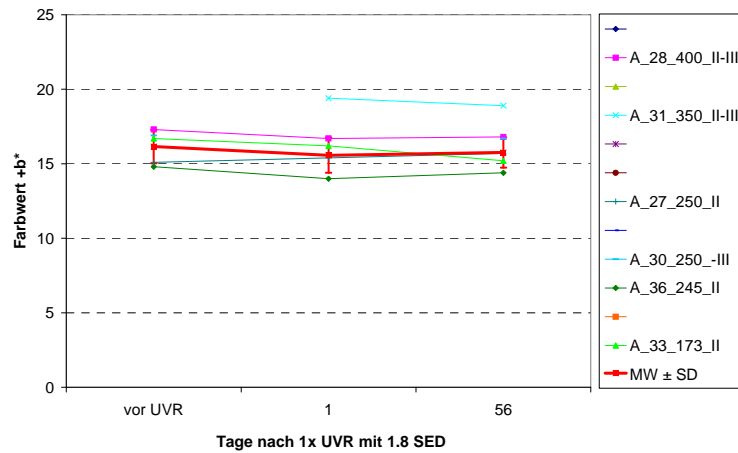
**Anh. 2, Abb. 11 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8$  SED) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 1** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: A29/34/35); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 1 (A29/34/35) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad)



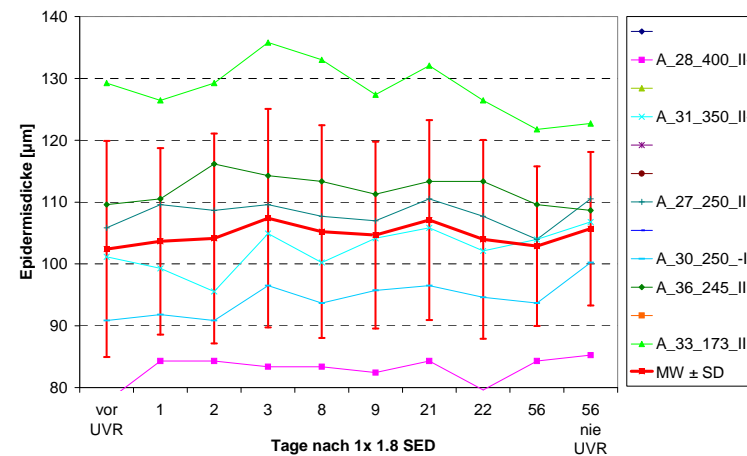
(a) Relativer MED-Verlauf nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ )



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 2 (A27/28/30/31/33/36)

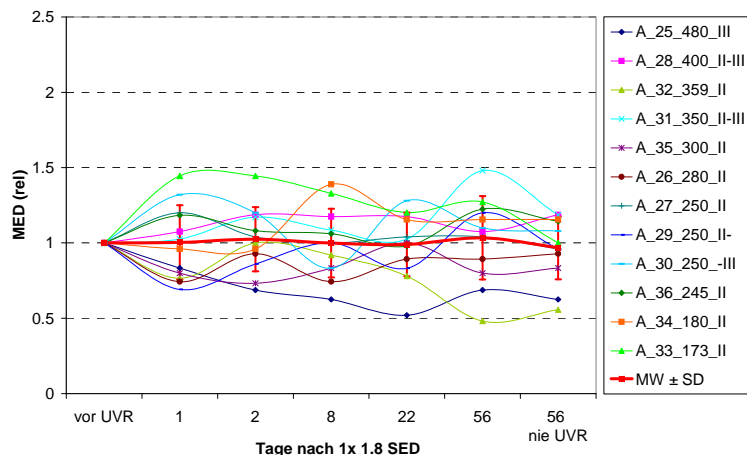


(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert +b\*) vor und nach 1,8 SED (A27/28/30/31/33/36)

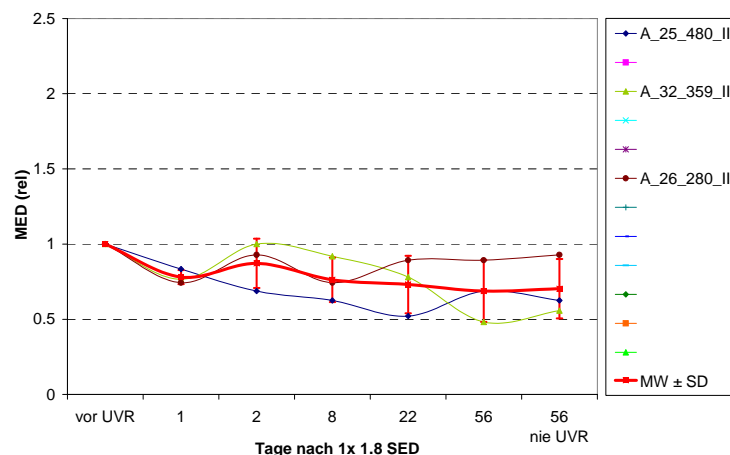


(d) Epidermisdicke und Zeitverlauf nach einmaliger UV-Exposition (1,8 SED)

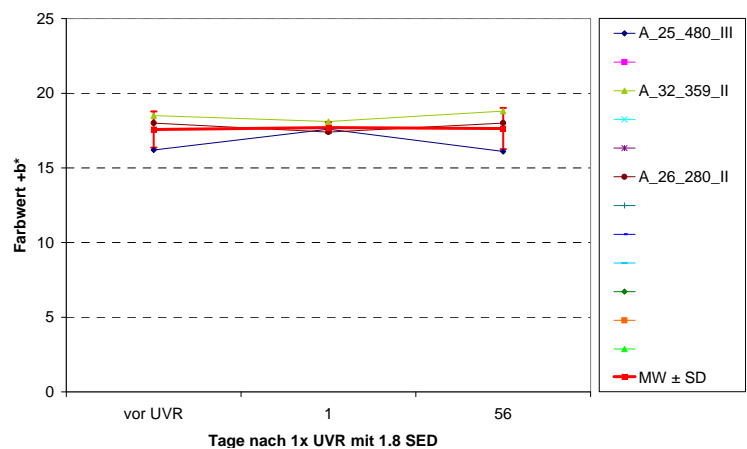
**Anh. 2, Abb. 12 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) – Studie „**Gruppe A**“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 2** ähnlichen rel. MED-Verlaufes (**PN: A27/28/30/31/33/36**); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 2 (A27/28/30/31/33/36) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert +b\* (Pigmentierungsgrad)



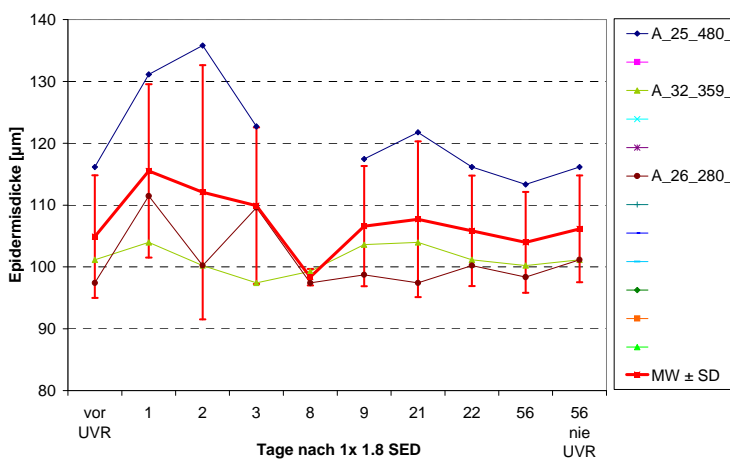
(a) Relativer MED-Verlauf nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ )



(b) Relativer MED-Verlauf für UV-Eigenschutz-Subgruppe 3 (A25/26/32)

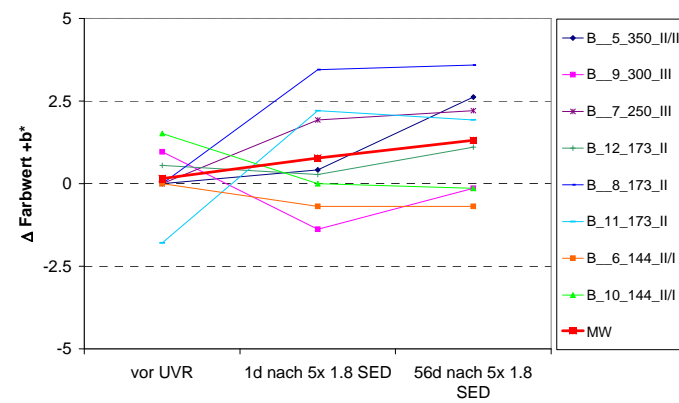
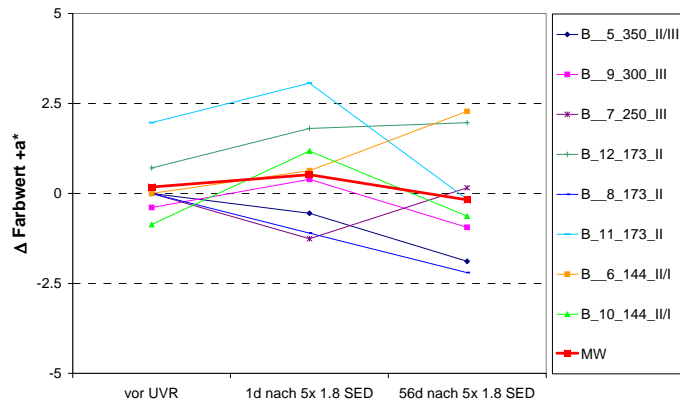


(c) Pigmentierungsgrad (Farbwert  $+b^*$ ) vor und nach 1,8 SED (A25/26/32)



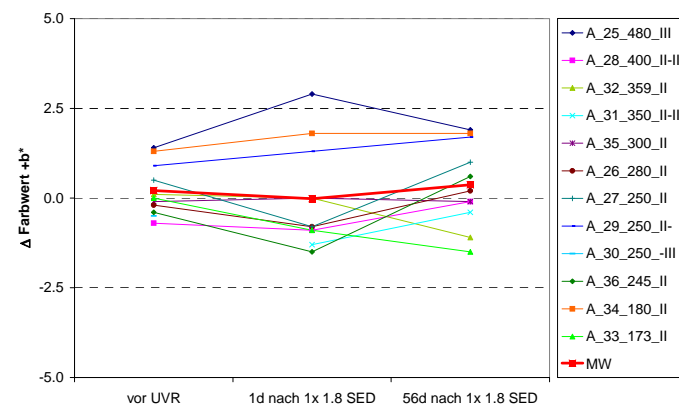
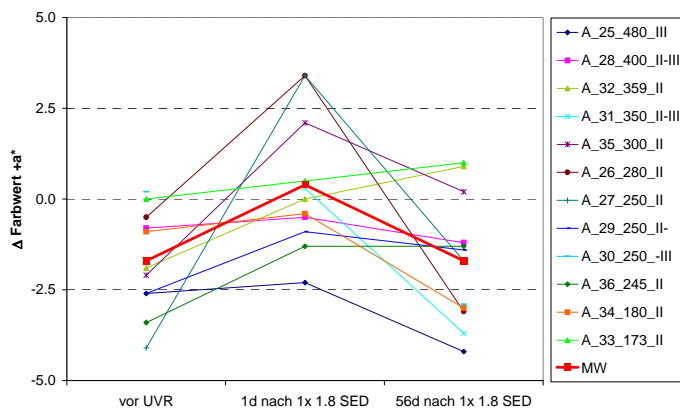
(d) Epidermisdicke und Zeitverlauf nach einmaliger UV-Exposition (1,8 SED)

**Anh. 2, Abb. 13 a-d** UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8 \text{ SED}$ ) – Studie „**Gruppe A**“: MED (Gesamteigenschutz) und **Subgruppe 3** ähnlichen relativen MED-Verlaufes (**PN: A25/26/32**); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 3 (A25/26/32) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert  $+b^*$  (Pigmentierungsgrad)



(a)  $\Delta$  Farbwert +a\*: von Rückenhaut/5x 1,8 SED und Rückenhaut/unbestrahlt (b)  $\Delta$  Farbwert +b\*: von Rückenhaut/5x 1,8 SED und Rückenhaut/unbestrahlt

**Anh. 2, Abb. 14 a-b** Änderung des Rötungsgrades (a) und des Pigmentierungsgrades (b) der Rückenhaut nach seriellen UV-Expositionen (1,8 SED/d) über fünf Tage – Studie „Gruppe B“



(a)  $\Delta$  Farbwert: +a\*: von Rückenhaut/1x 1,8 SED und Rückenhaut/unbestrahlt (b)  $\Delta$  Farbwert +b\*: von Rückenhaut/1x 1,8 SED und Rückenhaut/unbestrahlt

**Anh. 2, Abb. 15 a-b** Änderung des Rötungsgrades (a) und des Pigmentierungsgrades (b) der Rückenhaut nach UV-Einzelexpositionen (1,8 SED) – Studie „Gruppe A“

## 16 Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen aus den Anhängen 1 und 2

<b>Anh. 1, Tab. 1</b>	Protokoll für UV-Bestrahlung (Gruppe 2)	129
<b>Anh. 1, Tab. 2</b>	Dateinomenklatur zur Charakterisierung der Untersuchungsbedingungen einer OCT-Aufnahme im Projekt bzw. für anderer Untersuchungen	130
<b>Anh. 1, Tab. 3</b>	Kodierung der SSR-LT-/OCT-Messfelder (Beispiel: Gruppe 1)	131
<b>Anh. 1, Tab. 4 a</b>	Protokoll-Datenbank am Beispiel der Studie „Gruppe 2“: Protokoll für Messungen am Rücken in SSR-Lichttest-Feldern (OCT-, LDI- und Fotodokumentationsdateien)	132
<b>Anh. 1, Tab. 4 b</b>	Protokoll-Datenbank am Beispiel der Studie „Gruppe 2“: Protokoll für Messungen am Gesäß in SSR-Lichttest-Feldern (OCT-, LDI- und Fotodokumentationsdateien)	133
<b>Anh. 1, Tab. 4 c</b>	Protokoll-Datenbank am Beispiel der Studie „Gruppe 2“: Messungen an Arealen ohne SSR-Lichttest 1./2. Untersuchungstermin des Monats (OCT-, LDI- und Fotodokumentationsdateien)	134
<b>Anh. 1, Tab. 4 d</b>	Protokoll-Datenbank am Beispiel der Studie „Gruppe 2“: Messungen an Arealen ohne SSR-Lichttest 3./4. Untersuchungstermin des Monats (OCT-, LDI- und Fotodokumentationsdateien)	135
<b>Anh. 1, Tab. 5</b>	Messablauf Studie „Gruppe 1“	136
<b>Anh. 1, Tab. 6</b>	Terminplanung auf eine Untersuchungsgenauigkeit von 24 h $\pm$ 0,5 h sowie 48 h $\pm$ 1 h über 9 Monate (Ausschnitt für Probandenuntersuchungen der Studien „Gruppe 1“ und „Gruppe B“)	137
<b>Anh. 1, Tab. 7</b>	Messablauf Studie „Gruppe 2“	138
<b>Anh. 1, Tab. 8</b>	Messablauf Studie „Gruppe 3“	139
<b>Anh. 1, Tab. 9</b>	Messablauf Studie „Gruppe B“	140
<b>Anh. 1, Tab. 10</b>	Messablauf Studie „Gruppe A“	141
<b>Anh. 1, Abb. 1 a</b>	Votum der Ethikkommission	142
<b>Anh. 1, Abb. 1 b</b>	Votum der Ethikkommission zur Ergänzung/Änderung des Prüfplans (Studien „Gruppe 2“ und „Gruppe 3“)	143
<b>Anh. 1, Abb. 2</b>	Spektrale Bestrahlungsstärke $E_{\lambda}(\lambda)$ der Solarsimulatorstrahlung des DERMOLUM UM	144
<b>Anh. 1, Abb. 3</b>	Relative spektrale UV-Bestrahlungsstärke $E_{\lambda}(\lambda)$ von Arimed-B-Strahler und Solarstrahlung (Mittagssonnenhöhe $\gamma_s = 60^\circ$ , Modell-Spektrum bzw. Messung in Dresden am 24.05.04)	145
<b>Anh. 1, Abb. 4 a</b>	OCT-Monitor zur Aufnahme von B-Scanbildern der Epidermis (obere dunkelgraue Schicht) und darunter liegender oberer Dermis; unten rechts: Auflicht-Videobild des untersuchten Hautareals	146
<b>Anh. 1, Abb. 4 b</b>	Speichermodul für OCT-Aufnahmen zur Generierung von Dateinamen, die das OCT-Bild vollständig charakterisieren: Studie/Untersuchungsmonat/Probanden-Nr./Sitzungs-Nr. im Monat/Körperregion/Areal in Körperregion/Lichttest-Feld	146

<b>Anh. 1, Abb. 4 c</b>	Software „Cursorauswertung“ der AG KSM zur cursorbasierten Auswertung der Epidermisdicke von OCT-Aufnahmen	147
<b>Anh. 2, Tab. 1</b>	Studie „Gruppe 1“ – Probandencharakteristik mit Hauttyp und MED	149
<b>Anh. 2, Tab. 2</b>	Studie „Gruppe 2“ – Probandencharakteristik mit Hauttyp und MED	149
<b>Anh. 2, Tab. 3</b>	Studie „Gruppe 3“ – Probandencharakteristik mit Hauttyp	149
<b>Anh. 2, Tab. 4</b>	Studie „Gruppe A“ - Probandencharakteristik mit Hauttyp und MED	150
<b>Anh. 2, Tab. 5</b>	Studie „Gruppe B“ – Probandencharakteristik mit Hauttyp und MED	150
<b>Anh. 2, Abb. 1 a</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rücken- haut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1; PN 1_13, 1_14): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythem- dosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkstage; WE: Wochenendtage); – ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)	152
<b>Anh. 2, Abb. 1 b</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rücken- haut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1; PN 1_15, 1_16): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythem- dosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkstage; WE: Wochenendtage); – ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)	153
<b>Anh. 2, Abb. 1 c</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rücken- haut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1; PN 1_17, 1_18): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythem- dosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkstage; WE: Wochenendtage); – ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)	154
<b>Anh. 2, Abb. 1 d</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rücken- haut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1; PN 1_19, 1_20): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythem- dosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkstage; WE: Wochenendtage); – ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)	155
<b>Anh. 2, Abb. 1 e</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rücken- haut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1; PN 1_21, 1_22): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythem- dosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werkstage; WE: Wochenendtage); – ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)	156
<b>Anh. 2, Abb. 1 f</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rücken- haut von im Freien Beschäftigten (Gruppe 1; PN 1_23, 1_24): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythem- dosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d),	



	erythem-effektive UV-Personendosis (WT: Werktage; WE: Wochenendtage); – ohne Lichtschutzapplikation (links) bzw. mit Lichtschutzapplikation (rechts)	157
<b>Anh. 2, Abb. 2 a</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2; PN 2_37, 2_38): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werktage; WE: Wochenendtage) – Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter) – Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten	159
<b>Anh. 2, Abb. 2 b</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2; PN 2_39, 2_40): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werktage; WE: Wochenendtage) – Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter) – Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten	160
<b>Anh. 2, Abb. 2 c</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2; PN 2_41, 2_42): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werktage; WE: Wochenendtage) – Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter) – Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten	161
<b>Anh. 2, Abb. 2 d</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2; PN 2_43, 2_44): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werktage; WE: Wochenendtage) – Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter) – Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten	162
<b>Anh. 2, Abb. 2 e</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2; PN 2_45, 2_46): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d), erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werktage; WE: Wochenendtage) – Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter) – Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten	163
<b>Anh. 2, Abb. 2 f</b>	Individueller Jahresverlauf des UV-Eigenschutzes der Rückenhaut von Innenbeschäftigten (Gruppe 2; PN 2_47, 2_48): Epidermisdicke, rel. Pigmentierungsgrad (+b*), min. Erythemdosis MED(24h, 48h), min. Pigmentierungsdosis MTD(7d),	

	erythem-effektive UV-Bestrahlung auf linke Rückenseite, ery.-eff. UV-Personendosis (WT: Werktage; WE: Wochenendtage) – Links: künstlich UV-bestrahlt (UV-Dosis gemäß Jahresverlauf der UV-Gesichtsdosis im Freien Beschäftigter) – Rechts: Solare UV-Alltagsexposition von Innenbeschäftigten	164
<b>Anh. 2, Abb. 3.1</b>	Gr. 1/PN13 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	166
<b>Anh. 2, Abb. 3.2</b>	Gr. 1/PN14 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	167
<b>Anh. 2, Abb. 3.3</b>	Gr. 1/PN15 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	168
<b>Anh. 2, Abb. 3.4</b>	Gr. 1/PN16 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	169
<b>Anh. 2, Abb. 3.5</b>	Gr. 1/PN17 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	170
<b>Anh. 2, Abb. 3.6</b>	Gr. 1/PN18 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	171
<b>Anh. 2, Abb. 3.7</b>	Gr. 1/PN19 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	172
<b>Anh. 2, Abb. 3.8</b>	Gr. 1/PN20 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	173
<b>Anh. 2, Abb. 3.9</b>	Gr. 1/PN21 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	174
<b>Anh. 2, Abb. 3.10</b>	Gr. 1/PN22 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	175
<b>Anh. 2, Abb. 3.11</b>	Gr. 1/PN23 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	176

<b>Anh. 2, Abb. 3.12</b>	Gr. 1/PN24 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/ Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	177
<b>Anh. 2, Abb. 4.1</b>	Gr. 2/PN37 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	179
<b>Anh. 2, Abb. 4.2</b>	Gr. 2/PN38 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	180
<b>Anh. 2, Abb. 4.3</b>	Gr. 2/PN39 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	181
<b>Anh. 2, Abb. 4.4</b>	Gr. 2/PN40 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	182
<b>Anh. 2, Abb. 4.5</b>	Gr. 2/PN41 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	183
<b>Anh. 2, Abb. 4.6</b>	Gr. 2/PN42 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	184
<b>Anh. 2, Abb. 4.7</b>	Gr. 2/PN43 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	185
<b>Anh. 2, Abb. 4.8</b>	Gr. 2/PN44 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	186
<b>Anh. 2, Abb. 4.9</b>	Gr. 2/PN45 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	187
<b>Anh. 2, Abb. 4.10</b>	Gr. 2/PN46 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	188
<b>Anh. 2, Abb. 4.11</b>	Gr. 2/PN47 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigen- schutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/ Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	189

<b>Anh. 2, Abb. 4.12</b>	Gr. 2/PN48 (Innenbeschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	190
<b>Anh. 2, Abb. 5.1</b>	Gr. 3/PN49 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	192
<b>Anh. 2, Abb. 5.2</b>	Gr. 3/PN50 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	193
<b>Anh. 2, Abb. 5.3</b>	Gr. 3/PN51 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	194
<b>Anh. 2, Abb. 5.4</b>	Gr. 3/PN52 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	195
<b>Anh. 2, Abb. 5.5</b>	Gr. 3/PN54 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	196
<b>Anh. 2, Abb. 5.6</b>	Gr. 3/PN55 (im Freien Beschäftigter – Studienabbruch): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	197
<b>Anh. 2, Abb. 5.7</b>	Gr. 3/PN56 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	198
<b>Anh. 2, Abb. 5.8</b>	Gr. 3/PN57 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	199
<b>Anh. 2, Abb. 5.9</b>	Gr. 3/PN58 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	200
<b>Anh. 2, Abb. 5.10</b>	Gr. 3/PN59 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	201
<b>Anh. 2, Abb. 5.11</b>	Gr. 3/PN60 (im Freien Beschäftigter – Studienabbruch): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	202

<b>Anh. 2, Abb. 5.12</b>	Gr. 3/PN61 (im Freien Beschäftigter): Individuelle UV-Eigenschutzreaktion der Haut im Jahresverlauf (a) am Rücken, (b) für Kopf/Nacken-Bereich gemittelt, (c) an Handrücken/ Unterarm und (d) für einzelne Areale des Kopfbereiches	203
<b>Anh. 2, Abb. 6a-c</b>	Jahresverlauf des Helligkeitsgrades der Haut Farbwert +L*: Linke Rückenseite (Gruppe 1, 3): solare UV-Alltagsexposition Linke Rückenseite (Gruppe 2): definierte UV-Exposition (entsprechend solarer UV-Gesichtsexposition Beschäftigter im Freien)	204
<b>Anh. 2, Abb. 6 d-f</b>	Jahresverlauf des Rötungsgrades der Haut (Farbwert +a*): Linke Rückenseite (Gruppe 1, 3): solare UV-Alltagsexposition Linke Rückenseite (Gruppe 2): definierte UV-Exposition (entsprechend solarer UV-Gesichtsexposition Beschäftigter im Freien)	205
<b>Anh. 2, Abb.7 a-d</b>	Jahresverlauf der Farbwerte an der Rückenhaut: Hauthelligkeit L* (a), (c) und Hautrötung a* (b), (d) – Gruppe 1: solare UV-Alltagsexposition im Freien Beschäftigter ohne und mit Lichtschutzsubstanz unter Textilien – Gruppe 2: Innenbeschäftigte (ohne UVR) bzw. Simulation der solaren UV-Exposition Außenbeschäftigter ohne textilen oder kosmetischen Lichtschutz der Haut (mit UVR)	206
<b>Anh. 2, Abb. 8 a-d</b>	UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach UV-Expositionen (je H <sub>er</sub> = 1,8 SED) an fünf Tagen – Studie „Gruppe B“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 1 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: B1/2/3/8); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 1 (B1/2/3/8) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert +b* (Pigmentierungsgrad)	207
<b>Anh. 2, Abb. 9 a-d</b>	UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach UV-Expositionen (je H <sub>er</sub> = 1,8 SED) an fünf Tagen – Studie „Gruppe B“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 2 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: B5/6/11); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 2 (B5/6/11) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert +b* (Pigmentierungsgrad)	208
<b>Anh. 2, Abb. 10 a-d</b>	UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach UV-Expositionen (je H <sub>er</sub> = 1,8 SED) an fünf Tagen – Studie „Gruppe B“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 3 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: B4/7/9/10/12); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 3 (B4/7/9/10/12) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert +b* (Pigmentierungsgrad)	209
<b>Anh. 2, Abb. 11 a-d</b>	UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach einmaliger UV-Exposition (H <sub>er</sub> = 1,8 SED) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 1 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: A29/34/35); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 1 (A29/34/35) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerreaktion) und Hautfarbwert +b* (Pigmentierungsgrad)	210
<b>Anh. 2, Abb. 12 a-d</b>	UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach einmaliger UV-Exposition (H <sub>er</sub> = 1,8 SED) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 2 ähnlichen rel. MED-Verlaufes (PN: A27/28/30/31/33/36);	

	Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 2 (A27/28/30/31/33/36) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerereaktion) und Hautfarbwert +b* (Pigmentierungsgrad)	211
<b>Anh. 2, Abb. 13 a-d</b>	UV-Eigenschutzverhalten der Rückenhaut nach einmaliger UV-Exposition ( $H_{er} = 1,8$ SED) – Studie „Gruppe A“: MED (Gesamteigenschutz) und Subgruppe 3 ähnlichen relativen MED-Verlaufes (PN: A25/26/32); Absolutwerte der Eigenschutzkomponenten dieser Subgruppe 3 (A25/26/32) im Zeitverlauf: Epidermisdicke (Lichtschwielerereaktion) und Hautfarbwert +b* (Pigmentierungsgrad)	212
<b>Anh. 2, Abb. 14 a-b</b>	Änderung des Rötungsgrades (a) und des Pigmentierungsgrades (b) der Rückenhaut nach seriellen UV-Expositionen (1,8 SED/d) über fünf Tage – Studie „Gruppe B“	213
<b>Anh. 2, Abb. 15 a-b</b>	Änderung des Rötungsgrades (a) und des Pigmentierungsgrades (b) der Rückenhaut nach UV-Einzelexpositionen (1,8 SED) – Studie „Gruppe A“	213