

Klinik und Poliklinik
für Dermatologie und Allergologie am Biederstein des Klinikums
rechts der Isar der Technischen Universität München
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. J. Ring)

*Dosimetrische Untersuchungen zur UV-Exposition bei
unterschiedlichen Freizeitaktivitäten und zur UV-
Protektion unterschiedlicher Sonnenschutzmittel*

Mohammad-Reza Safaei

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen
Grades eines Doktors der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. D. Abeck
2. Univ.-Prof. Dr. H. Behrendt

Die Dissertation wurde am 04.04.2005 bei der Technischen Universität
München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 06.07.2005
angenommen.

Für Isabel

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	2
1.1	UV-Strahlung	2
1.2	Die menschliche Haut und der Effekt der UV-Strahlung	4
1.2.1	UV-bedingte Dermatosen	4
1.2.2	UV-Strahlung und Hautkrebsinduktion	5
1.2.3	Kutane UV-Protektionsstrategien	5
1.2.4	UV-Protektion durch Sonnenschutzmittel	6
1.3	UV-Exposition bei unterschiedlichen Aktivitäten im Freien	8
1.4	Messung der UV-Strahlung	12
2.	Fragestellung	13
3.	Material und Methode	14
3.1	Untersuchungen im Freien	14
3.2	Untersuchungen von Sonnenschutzmitteln mit Hilfe des UV-Sensors	15
3.3	UV-Dosimeter (UV-Sensor)	15
3.4	Geräte	17
3.5	Bestimmung der UVB- und UVA-Dosis mit HLPC	17
3.6	Kalibrationskurven	19
3.6.1	UVB-Kalibration	19
3.6.2	UVA-Kalibration	19
3.7	Abhängigkeit der Umwandlung von der t-UCA-Konzentration	20
3.8	Auswertung	20
4.	Ergebnisse	22
4.1	HLPC-Trennungen der t-UCA von c-UCA	22
4.2	UVB- und UVA-Kalibrationen	22
4.3	Abhängigkeit der Umwandlung von der t-UCA-Konzentration	26
4.4	Untersuchungen im Freien	28
4.5	Untersuchungen von Sonnenschutzmitteln	38
5.	Diskussion	41
5.1	UV-Belastung in Abhängigkeit unterschiedlicher Aktivitäten	41
5.2	UV-Protektion durch Sonnenschutzmittel	48
6.	Zusammenfassung	51
7.	Literaturverzeichnis	53

1. Einleitung

1.1 UV-Strahlung

Die Sonne hat durch Licht und Wärme Leben für alle Lebewesen auf dem Planeten Erde ermöglicht. Sie hält durch ihre Schwerkraft die Erde und all die anderen Planeten in einer festen Umlaufbahn. Obwohl die Sonne von der Erde 150 Millionen Kilometer entfernt ist und das Licht 500 Sekunden braucht, um zu uns zu gelangen, ist sie uns doch so nah, dass ihre Wärme ein Leben auf der Erde ermöglicht. Durch die Sonne erfahren wir nicht nur die sichtbare Strahlung, sondern auch andere Strahlenarten, die wir mit den Augen nicht wahrnehmen können (Kippenhahn, 1990).

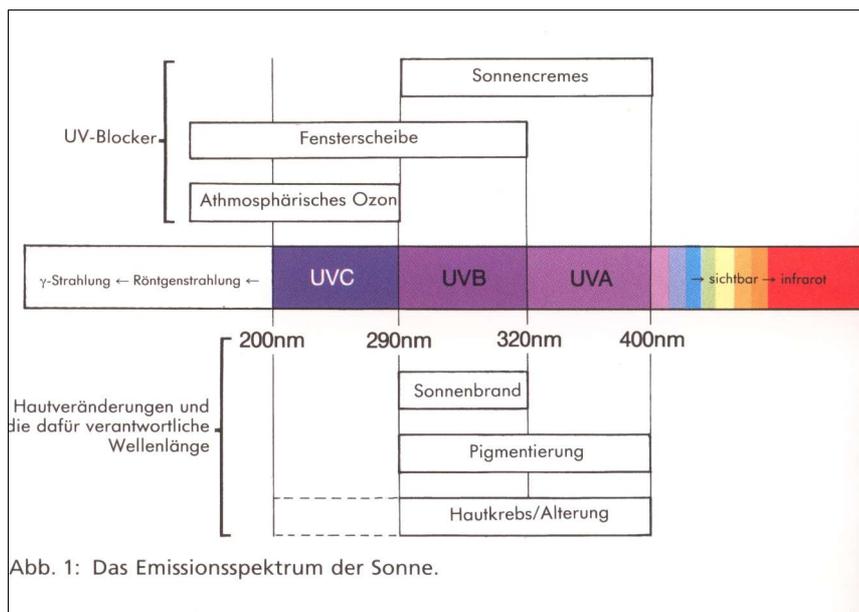


Abb. 1: Das Emissionsspektrum der Sonne.

Abb. 1: Das Emissionsspektrum der Sonne (modifiziert nach Gawkrödger, 1995)

Die Quelle für die natürliche UV-Strahlung ist die Sonne. Das Emissionsspektrum der Sonnenstrahlung reicht von kurzweiliger, sehr energiereicher und ionisierender kosmischer Gamma- und Röntgenstrahlung, energiereicher, nichtionisierender ultravioletter Strahlung (UV), Infrarotstrahlung, bis hin zu sichtbaren Wellenlängen (Abbildung 1).

Als UV-Strahlung bezeichnet man den an das Violett-Spektrum des sichtbaren Lichts angrenzenden, energiereichen Strahlenanteil innerhalb des elektromagnetischen Spektrums, mit Frequenzen von $7,5 \times 10^{14}$ bis

3×10^{16} Hz, entsprechend einer Wellenlänge von 200-400 nm. Aus historischen Gründen wird auch heute noch zwischen UVC (200 nm bis 280 nm), UVB (280 nm bis 315 nm) und UVA (315 nm bis 400 nm) unterschieden. Das bietet Vorteile für die schnelle Charakterisierung eines Spektrums, obwohl es eine echte physikalische oder biologische Grenze nicht gibt (*A. Krins et al., 1999*). Das menschliche Auge vermag elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von etwa 400 nm bis etwa 750 nm als Licht zu registrieren. Dabei erscheint Strahlung mit einer Wellenlänge von 750 nm als rot und die von 400 nm als violett. Strahlung mit einer größeren Wellenlänge als 750 nm wird als Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) bezeichnet. Strahlung mit einer Wellenlänge, die kleiner als 100 nm sind, nennt man Röntgen- oder Gammastrahlung und gehört in die Klasse der ionisierenden Strahlung.

Die UV-Strahlen sind etwa 6% der Sonnenstrahlung, die auf die Erde trifft. Vorwiegend erreichen UVA, UVB und das sichtbare Licht die Erdoberfläche.

Die Ozonschicht der Atmosphäre absorbiert vollständig den UVC Anteil und große Teile des UVB-Spektrums. UVA und geringe Mengen UVB gelangen jedoch bis an die Erdoberfläche.

Durch vielfältige Absorptions- und Streuprozesse wird das Sonnenlicht abgeschwächt; der Grad der Abschwächung hängt allerdings von der Strahlungswellenlänge ab. Eine Streuung der UV-Strahlung geschieht in der Luft unter anderem durch dort vorhandene Wasserteilchen, wodurch ein Teil der Strahlung in den Weltraum zurückgestreut wird (*Medicine-Worldwide, 2003*).

Zwischen 11 und 15 Uhr ist die UV-Strahlung am höchsten und nimmt gegen Nachmittag und Abend ab. Die terrestrische UV-Strahlenbelastung wird wie oben erwähnt durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Am wichtigsten ist die absorbierende Wirkung der Ozonschicht, die von deren Schichtdicke und Integrität abhängig ist. Aber auch andere Faktoren wie globale Lokalisation und Klimazonen, Menge und Dichte partikulärer Teilchen, beispielsweise Schnee, Wasserdampf, Ruß oder Sand, haben Einfluss auf die Erde gelangender UV-Strahlung (*Gawkrodger, 1995*).

Die UV-Dosis bezeichnet die Energieflussdichte als Energie pro Fläche, mit der Einheit J/m^2 bzw. J/cm^2 . Die UV-Dosis, die gerade noch eine sichtbare Rötung der Haut hervorruft, ist die minimale Erythemdosis (MED), auch UVB-Schwellendosis genannt. Sie gibt Hinweise auf die individuelle Empfindlichkeit. Nach Fitzpatrick werden Hauttypen wie folgt eingeteilt:

Hauttyp I: immer Sonnenbrand, nie Bräunung (keltischer Typ);
Hauttyp II: oft Sonnenbrand, sehr zögerliche Bräunung (germanischer Typ), MED 0,02-0,1 J/cm²;
Hauttyp III: manchmal Sonnenbrand, durchschnittliche Bräunung, MED 0,02-0,1 J/cm²;
Hauttyp IV: selten Sonnenbrand, schnelle und tiefe Bräunung (mediterraner Typ);
Hauttyp V: dunklere Rassen: Asiaten, Inder;
Hauttyp VI: Schwarze
Bei Mitteleuropäern mit Hauttyp II und III sind die Durchschnittswerte zwischen 0,02-0,1 J/cm². Bei dunkleren Hauttypen ist die MED höher (Cole et al., 1994).

1.2 Die menschliche Haut und der Effekt der UV-Strahlung

1.2.1 UV-bedingte Dermatosen

Es gibt eine große Anzahl an Dermatosen, die durch UV-Licht provoziert werden. Ein Photoprovokationstestverfahren wurde für die Diagnostik der Photodermatosen entwickelt. Die Einmalphotoprovokation (EP) dient der Provokation von Lichtdermatosen wie Lichturtikaria, aktinische Prurigo, aktinische Dermatitis, die schon durch kurzzeitige Sonnenexposition bzw. UV-Strahlung induziert werden können. Die Mehrfachphotoprovokation (MP) dient der Provokation von Photodermatosen, die durch die EP nicht oder nur selten provoziert werden, wie z.B. die polymorphe Lichtdermatose, die Hydroa vacciniforme oder der Lupus erythematoses (Lehmann et al., 2000).

Zahlreiche andere Krankheitsbilder können sich durch UV-Strahlung verschlimmern, obwohl sie nicht durch UV-Licht ausgelöst werden. Das trifft besonders auf Lupus erythematoses, Dermatomyositis, Pellagra, kutane Porphyrien, Xeroderma pigmentosum und Herpes simplex zu. Bei der erythropoetischen Protoporphyrinurie ist die UVA-Strahlung für Verbrennungen, Ödeme, Hautverdickungen, Vernarbungen und Schmerzen an den exponierten Körperstellen verantwortlich. Patienten mit Hepatopathien, aufgrund viraler, neoplastischer oder Alkohol-induzierter Genese, werden durch erhöhte Uroporphyrinsynthese für UV-Strahlung besonders photosensitiv (Savin et al., 2000).

1.2.2 UV-Strahlung und Hautkrebsinduktion

Eine der wesentlichen Auswirkungen der UV-Strahlung besteht in der Veränderung der DNA. Dabei entstehen Dimerisierungen, die das DNA-Molekül so verändern, dass die elementaren Aufgaben wie Replikation und Translation gestört sind. Derartige ständig –auch bei normaler UV-Strahlung– stattfindenden Veränderungen werden mittels spezieller Reparaturmechanismen korrigiert (*Fahr, 1979*).

Je mehr die Reparaturmechanismen durch UV-Licht überlastet werden, umso größer wird die Zahl der Schäden, die nicht behoben werden können. Aufgrund ihrer enzymatischen Fähigkeit sind diese Reparaturmechanismen bezüglich ihrer Kapazität pro Zeiteinheit begrenzt und nur in der Lage, eine bestimmte Anzahl von Ausbesserungsvorgängen durchzuführen. Bei zu hohen UV-Strahlendosen, die die Haut treffen, wird die normale Funktion der Reparaturmechanismen überfordert, so dass Mutationen, Frühalterungen, Präkanzerosen und schließlich Karzinome die Folge sein können (*Zölzer et al., 1989*).

1.2.3 Kutane UV-Protektionsstrategien

Die menschliche Haut verfügt über mehrere Abwehrmechanismen, um sich vor der schädigenden UV-Strahlung zu schützen.

Durch die Exposition mit UV-Strahlung kommt es zur Bildung der Urocaninsäure (UCA) und von Melanin in den Melanozyten (Melanogenese). Darüberhinaus werden die DNA-Reparatur-Mechanismen aktiviert.

Die Hornschicht der Haut, das Stratum corneum, beinhaltet in großen Mengen die UCA, die von Histidinen synthetisiert wird und die in zwei Isomeren vorliegt: das trans- und das cis-Isomer. Durch die UV-Strahlung wird die Ausgangssubstanz trans-Urocaninsäure in die cis-Form umgewandelt. Während die trans-UCA das Risiko an einem durch die UV-Strahlung hervorgerufenen Erythem zu leiden, zu verringern scheint, ist die cis-UCA für ihre immunsuppressive Wirkung bekannt. Allerdings ist eine klinische Relevanz des Sonnenschutzes durch trans-UCA fraglich (*Olivarius, 1996*). Obwohl nur der cis-UCA eine immunregulative Funktion zugeschrieben wird, hemmt das trans-Isomer die Aktivität der natürlichen Killerzellen, ohne dass die Mechanismen bislang bekannt sind (*Uksila et al., 1994*). Die Fähigkeit der UCA als

organisches Molekül mit Doppelbindungen trans-/cis-Isomere zu bilden und dadurch UV-Licht zu absorbieren, hat großes photobiologisches Interesse geweckt. Jaffe isolierte als erster 1874 zufällig die UCA nach der Gabe hoher Dosen Histidin aus dem Urin von Hunden (*Jaffe; 1874 u. 1875*). Das Interesse der Dermatologen an der UCA erwachte, nachdem die UCA 1953 im menschlichen Schweiß (*Zenisek, 1953*) und 1957 in der Epidermis von Meerschweinchen nachgewiesen wurde (*Tabachnik, 1957*).

Die vermehrte Melaninbildung in der Haut ist ein weiterer physiologischer Schutzmechanismus (*Kobayashi et al., 1993*).

Eine Steigerung der Melaninsynthese nach Sonnenexposition erfolgt in zwei aufeinander folgenden Schritten; *Sofortpigmentierung und Spätbräunungsreaktion*. Die Sofortpigmentierung ist zum einen bedingt durch Oxidation bereits vorhandener Melanin-Vorstufen und zum anderen durch Umverteilung der Melanosomen aus ihrer perinukleären Lage in Melanozyten zu peripheren dendritischen Ausläufern (*Noris et al., 1993*). Die Spätbräunungsreaktion wird dagegen durch vermehrte Melaninbildung infolge einer gesteigerten Tyrosinase-Aktivität in den Melanozyten ausgelöst (*Friedmann et al., 1987*). Die Sofortpigmentierung ist nur geringfügig photoprotektiv, während die Spätbräunung deutlich photoprotektiv wirkt und gegen Folgeschäden durch erneute UV-Exposition schützt. Die Spätreaktion kann sowohl durch UVA- als auch durch UVB-Strahlung verursacht werden. Allerdings ist die durch UVA-Strahlung ausgelöste Pigmentierung ca. 2-3 fach schwächer (*Kochevar IE, 1992*).

1.2.4 UV-Protektion durch Sonnenschutzmittel

Weltweit wird als Präventivmaßnahme gegen sonneninduzierte Hauttumoren die Anwendung von Sonnenschutzpräparaten angesehen, wobei der Lichtschutzfaktor (sun protection factor, SPF) ein Maß für die Höhe des Schutzes ist. Das Konzept des SPF wurde ursprünglich von einem österreichischem Wissenschaftler, Franz Greitner, entwickelt und folglich von vielen Sachverständigern wie auch der kosmetischen und pharmazeutischen Industrie übernommen. Den SPF eines Sonnenschutzmittels definiert man als den Quotienten aus der Erythemschwellendosis für die durch das Lichtschutzmittel geschützte Haut und der Erythemschwellendosis für die ungeschützte Haut (*Wolf et al., 2001*). Er weist darauf hin, wie viel mal länger man sich nach Anwendung des Lichtschutzmittels unbeschadet in der Sonne aufhalten kann als ohne Schutz (*Hofmann et al., 1998*).

Man kann bei den Sonnenschutzmitteln aufgrund der verwendeten Lichtschutzfilter zwei Typen unterscheiden: Chemische Substanzen wie Benzophenone, Methoxycinnamate, p-Aminobenzoessäure, Anthralinate, Salicylate, Campher-Abkömmlinge, Dibenzoylmethane, Benzothiazole schützen durch Absorption bestimmter Wellenlängen vor UV-Strahlung. Dagegen scheinen die physikalischen Lichtschutzfilter wie Zinkoxid, Titanoxid oder Talkum schützen mittels Reflexion, Streuung und Absorption der ultravioletten Strahlung die Haut. Von der Partikelgröße abhängig wird nicht nur die UV-Strahlung, sondern auch das sichtbare Licht abgeblockt (*Donawho et al., 1996*).

Einige Studien zeigten, dass hohe Lichtschutzfaktoren (z.B. >15) nicht immer einen Sonnenbrand verhindern können. Dass man weniger geschützt als tatsächlich zu erwarten ist, liegt an mehreren Faktoren: Technik der Anwendung der Zubereitung, Dicke des Auftrags, Wasserfestigkeit oder Reapplikationsfrequenz. Der SPF ist nach einem Phototestverfahren in vivo in einer international festgelegten Auftragsdicke von 2 mg/cm² untersucht worden. Allerdings zeigten zahlreiche Studien, dass die Konsumenten z.T. viel weniger Sonnenschutzpräparat auftragen und im Durchschnitt die erzielte Schichtdicke zwischen 0.5 und 1.5 mg/cm² liegt. Im Allgemeinen sind Sonnenschutzmittel, die nichtorganische Substanzen wie Titandioxid als einzigen aktiven Bestandteil beinhalten, kosmetisch weniger akzeptabel als Produkte, die organische Filter besitzen. Das führt dazu, dass die Verbraucher von diesen weniger auftragen und somit ihren Sonnenschutz reduzieren (*Diffey, 2001*).

Aufgrund der Radikalfreisetzung durch UV-Strahlung, vor allem in der Epidermis, besteht ein Bedarf an Substanzen, die freie Radikale binden können. Dabei spielen die Carotinoide eine große Rolle. In der menschlichen Ernährung kommen etwa 40 verschiedenen Typen vor. Zu den häufigsten zählen β -Carotin, α -Carotin, Lutein, Cryptoxanthin, Zeaxanthin und Lycopin. In den letzten Jahren gewannen die photoprotektive und antioxidative Wirkung von β -Carotin und weiteren Carotinoiden zunehmend an Bedeutung (*Krinsky, 1994*). Besonders bei Menschen mit sehr empfindlicher Haut stellt die systemische Anwendung dieser Stoffe einen zusätzlichen Sonnenschutz dar. Allerdings kann auf topische Lichtschutzmittel und vor allem auf die Vorbeugung des Einzelnen vor übermäßiger Strahlenbelastung nicht verzichtet werden (*Heinrich, 1998*).

1.3 UV-Exposition bei unterschiedlichen Aktivitäten im Freien

Es wurden verschiedene Studien zur Messung der UV-Exposition bei beruflichen und sportlichen Aktivitäten im Freien durchgeführt.

Kinder sind in der Regel unfreiwillig der UV-Strahlung des Sonnenlichtes ausgesetzt. Es existieren kaum Daten zur UV-Belastung bei den Kindern. Moehrle untersuchte mit einem Filmdosimeter mit Sporen von *Bacillus subtilis* die UV-Exposition von elf Kindern während ihrer Alltagsbeschäftigungen an einem Sommertag und von 2 Kindern über 4 Tage in einem Winterurlaub (*Moehrle et al., 1999*). Es zeigte sich im Sommer ein Mittelwert der Dosis von 0,7 MED/Tag bei maximaler Dosis von 1,5 MED/Tag. Es fand sich hier eine hohe interpersonelle Variabilität in der UV-Exposition entsprechend verschiedener Aktivitäten der Kinder. Die Untersuchung im Winterurlaub an den 2 Kindern zeigte eine durchschnittliche UV-Exposition von 1,4 MED/Tag, wobei der Autor eine MED 250J/cm² gleichsetzt. In schneebedeckter Umgebung pro Stunde Spiel betrug die mittlere UV-Dosis 0,3 MED. Bei einem Urlaub im Winter in alpiner Umwelt ist trotz jahreszeitlich bedingt niedrigen Sonnenstandes durch höhenbedingte Zunahme der erythemwirksamen Strahlung und durch Schneereflexion mit einer verstärkten UV-Belastung zu rechnen. Beim Frühjahres- oder Sommerskilauf ist eine weitere Zunahme der UV-Exposition zu finden (*Moehrle et al., 1999*).

Im australischen Sommer sind Schulkinder an 2 verschiedenen Orten an 2 aufeinanderfolgenden Tagen im Februar untersucht worden. Mit Polysulfonfilmdosimeter, die an den Schultern der Schüler befestigt waren, wurde in Toowoomba 3 MED und in Brisbane 2 MED über beide Tage gemessen. MED/30 min war in Toowoomba 0,7 und in Brisbane 0,6 (*Kimblin et al., 1998*).

Eine Arbeit von Herlihy et al. untersuchte in Hobart, Tasmania, im Februar 1991 die UV-Exposition bei sechs verschiedenen Aktivitäten im Freien, wobei ein Polysulfonfilmdosimeter verwendet wurde (*Herlihy et al., 1994*). Die Anwendung dieses Dosimeters wurde 1976 durch Davis, Dean & Diffey entwickelt. Bei UV-Exposition im Wellenlängenbereich unter 340 nm und insbesondere zwischen 280 und 315 nm macht Polysulfon eine Depolymerisation durch, die in einer Zunahme der optischen Absorption resultiert, die mit der UV-Dosis, gemessen bei 330 nm, korreliert. Die untersuchten Aktivitäten waren Tennis, Schwimmen,

Golfspielen, Segeln, Wandern im Wald und Gartenarbeit. Polysulfon-Aufkleber wurden an bestimmten anatomischen Körperteilen der Probanden (Wangen, Handrücken, Brust, Schulter, Rücken, Oberschenkel und Wade) befestigt. Um die lokale Umgebungsstrahlung von UVB zu messen, wurden während dieser Arbeit „surface“ Polysulfonaufkleber in einer horizontalen Position in der Nähe der Lokalisation, in der die Aktivitäten stattfanden, angebracht. Außerdem wurde für diese Studie durch eine Monitorstation der australischen Strahlungsbehörde die Umgebungsstrahlenbelastung der UVB berechnet. An dieser Studie nahmen 94 Freiwillige (69 Männer und 25 Frauen) teil, wobei die Probanden alle älter als 11 Jahre waren. Am ersten Tag, dem 1. Februar, spielten 6 Teilnehmer Tennis und 9 andere Teilnehmer waren in der Gartenarbeit involviert. Am 2. Tag, dem 2. Februar, übten die restlichen Personen Freizeitaktivitäten wie Tennisspielen, Golf, Segeln, Schwimmen oder Wandern aus. Es stellte sich heraus, dass Segeln und Tennisspielen die Aktivitäten mit der höchsten UV-Belastung waren (*Herlihy et al., 1994*).

Eine weitere Studie untersuchte die UVB- Belastung bzw. –Dosis während verschiedener Aktivitäten im Freien, wie z. B. Sonnenbaden am Strand auf einer Kanarischen Insel im Februar und in Corfu im September, Skiurlaub in Österreich im März und Segeln in Schweden im Juli (*Diffey et al., 1982*). In dieser Arbeit wurde ebenfalls als Personendosimeter Polysulfon verwendet. Das Ziel dieser Untersuchung war, die natürliche UVB-Dosis der Menschen, die während ihrer Freizeit im Freien dem Sonnenlicht ausgesetzt waren, mit der zu vergleichen, die Psoriasis-Patienten bei einer durchschnittlichen Behandlungsdauer von 100 Minuten in 6 Wochen im Rahmen einer Phototherapie erhalten. Die UVB-Dosis würde insgesamt $3,6 \text{ J/cm}^2$ betragen. Diese Dosis entspricht ungefähr 20-mal der UVB-Dosis, der man sich beim ganztägigen Sonnenbaden im Hochsommer auf einer kanarischen Insel und 500-mal der Dosis, der man sich während des Skifahrens in den österreichischen Alpen während eines ganzen Tages im März aussetzt (*Diffey et al., 1982*).

Diffey und Larkö untersuchten auch die natürliche UVB-Belastung verschiedener Berufsgruppen wie Beschäftigten beim Militär, Fischer, Arbeiter im Freien und Büroarbeiter in den Monaten Juni und August 1981 und verglichen diese mit der UVB-Dosis, die sich Psoriatiker während einer UV-Behandlung aussetzten. Hier wurden auch Urlaubsaktivitäten wie Sonnenbaden am Mittelmeer, Besichtigungstour in Zentraleuropa und Segeln in Schweden für drei Wochen mit

einbezogen. Es zeigte sich, dass die schwedischen Büroarbeiter mehr UVB-Dosis während einer 3-wöchigen Urlaubsreise im Sommer beim Sonnenbaden am Mittelmeer abbekamen als während der restlichen Jahreszeit in Schweden im Alltagsleben. Es konnte festgestellt werden, dass die Arbeiter oder Angestellten, die im Freien ihren Beruf ausübten, der größten Exposition ausgesetzt waren. Während der Sommerzeit scheint der relative Unterschied bezüglich der UV-Dosis zwischen beiden Berufsgruppen, Büroangestellte/-arbeiter und Arbeiter im Freien, kleiner zu werden. Höchstwahrscheinlich verbringen die Büroangestellten im Sommer mehr Zeit im Freien (*Larkö et al., 1983*).

Die International Marathon Medical Directors Association, die Weltgesundheitsorganisation (WHO) und die Gesundheitsbehörden verschiedener Länder sind dabei, Wissenschaftler und Mediziner zu ermutigen, Studien zur UV-Strahlenbelastung zu initiieren. Bei einem Marathonlauf in Barcelona und Madrid zeigte sich beispielsweise, dass die Wettbewerbsteilnehmer einer mittleren Strahlendosis von 4,5- bis 10-facher MED ausgesetzt waren. Trotz dieser hohen UV-Strahlenbelastung zeigten sie keine akuten Hautreaktionen wie z.B. Sonnenbrand. Dieses Phänomen ist am ehesten durch einen photoprotektiven Adaptationsmechanismus zu erklären, bei dem die Läufer durch Zunahme der Dicke der Hornschicht und einer erhöhten Melaninproduktion vor der schädigenden Wirkung der UV-Strahlung geschützt sind (*Verdaguer-Codina et al., 1994*).

Die geringere epidermale Durchlässigkeit der Haut für UV-Strahlen ist wahrscheinlich auf morphologische Hautveränderungen zurückzuführen. Diese photoprotektive Adaptation führt dazu, dass die Läufer mehr UVA- und UVB-Strahlung tolerieren, die langfristig zu Hautalterung, Elastosis und malignen Hauttumoren führen würde (*Verdaguer-Codina et al., 1994*).

Der wichtigste Risikofaktor für die Bildung melanozytärer und nichtmelanozytärer Hauttumoren scheint UVB-Strahlung zu sein. Zur Zeit gibt es keine genauen Angaben zur quantitativen Messung der UV-Strahlenexposition bei professionellen Sportlern und Wettkämpfern im Freien während hoher UV-Strahlenbelastung. Bei der „Tour de Suisse“, einem Radrennen, konnte eine UV-Exposition von durchschnittlich 0,2 MED während der Vorläufe und ca. 17,2 MED während der Bergstrecke nachgewiesen werden. Die höhere UV-Dosis bei der Bergetappe ist auf die höhenbedingte Zunahme der Strahlung zurückzuführen (*Moehrle et al., 2000*).

Die Leistungssportler wie Triathleten verbringen während des Trainings ca. 20 Stunden pro Woche im Freien. Die UV-Strahlenbelastung beim Ironman Triathlon World Championship 1999 in Hawaii (3,9 km Schwimmen, 180,2 km Radfahren und 42,4 km Laufen) wurde in einer Studie untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass während des Wettkampfes (Radrennen und Marathonlauf) individuelle UV-Expositionen von 6,9 bis 9,7 MED, entsprechend 0,8-1,3 MED/h gemessen wurden (Moehrle, 2001). Trotz der Anwendung von Sonnenschutzmaßnahmen (Kleidung, Hüte, Mützen, Sonnenschutzmittel) gab es sichtbare Erytheme und Sonnenbrände. Diese waren besonders auf den Schultern und den Oberschenkeln verstärkt aufgetreten, da die Ironman-Regeln die Anwendung von Sonnenschutzmitteln in diesen Bereichen verbietet. Die Höchstgrenze der UV-Exposition, die durch Organisationen wie International Commission for Nonionizing Radiation Protection (ICNIRP) und American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) festgelegt ist, war dabei mehr als 30-fach überschritten. Der Grad der UV-Exposition der Triathleten kann mit der der anderen Sportler im Freien wie professionellen Radrennfahrern oder Bergsteigern verglichen werden. Für die meisten dieser Aktivitäten im Freien wird bei sonniger Wetterlage, wenn auch nur für eine kurze Zeit, das Limit von 0,3 MED/8h bei weitem überschritten. Obwohl Sonnenschutzmittel bei richtiger Applikation vor den schädigenden Wirkungen der UV-Strahlung schützen können, besteht die Gefahr, dass sie durch Wasser oder Schweiß abgewaschen werden. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass durch das Schwimmen dieser Triathleten im See oder deren Schwitzen die individuelle UV-Empfindlichkeit zugenommen hat (Moehrle, 2001). Es ist deshalb wünschenswert, die Anwendung wasserresistenter Sonnenschutzmittel bei Leistungssportlern, Amateuren aber auch bei der breiten Masse der Bevölkerung zu propagieren. Berufsgruppen wie Bademeister, Skilehrer und Bergführer, die beruflich einer besonders hohen Sonnenstrahlung ausgesetzt sind, gehören ebenfalls zu den Risikogruppen wie Leistungs- und Freizeitsportler. Die erythemato gene Wirkung der UV-Strahlen nimmt mit zunehmender Meereshöhe und Reflektion durch Eis und Schnee stark zu. Skilehrer z.B. bekommen beträchtliche UV-Dosen ab, allerdings weniger als Bergführer. Das liegt z.T. daran, dass Skilehrer in geringeren Höhen arbeiten und teilweise durch Seilbahnkabinen und weniger Aufenthalt im Freien besser geschützt sind als Bergführer. Die internationale Höchstgrenze der UV-Exposition bei diesen beruflichen Aktivitäten war nach Untersuchungen von Moehrle et al. bei weitem überschritten (Moehrle et al., 2000).

Trotz intensiver Aufklärung und Warnung ist es bisher nicht gelungen, eine entscheidende Veränderung des Freizeitverhaltens der Bevölkerung herbeizuführen, um die kumulative UV-Strahlendosis zu reduzieren. Die epidemiologisch effektivsten Methoden des UV-Schutzes sind das Meiden der Sonne insbesondere in Zeiten mit hoher UV-Belastung, physikalische Maßnahmen, insbesondere des textilen Sonnenschutzes und die Anwendung von Sonnenschutzcremes. In einer Studie von Hoffmann et al. war es möglich, einen Stoff mit optimierten UV-Schutzeigenschaften zu finden. Dazu mussten speziell pigmentierte Garne konstruiert und ein optimales Verhältnis der Fäden in Kette und Schuss entwickelt werden. Durch eine erhöhte Anzahl der Kett- und Schussfäden (dichte Webart) konnte eine Verbesserung des UV-Schutzes erzielt werden. Die Versuche zeigten außerdem, dass durch die Färbung oder das Bedrucken der UV-Schutz des Stoffes verbessert wird (Hoffmann et al., 1998).

1.4 Messung der UV-Strahlung

Es werden in der Literatur mehrere Verfahren zur Messung der UV-Strahlen beschrieben. Chemisch definierte Substanzen (Nalidixinsäure, 8-Methoxypsoralen, Phenothiazin, Uracil), polymere Kunststoffe (Polysulfone), biologische Systeme mit Viren (Bakteriophagen), Mikroorganismen (*Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*) und einige andere Substanzen werden eingesetzt. Das in der Literatur am meisten beschriebene UV-Dosimeter ist das *Bacillus subtilis* Sporen-Dosimeter. Sporen- und Biofilm-UV-Dosimeter basieren auf der Messung der Überlebensrate von *Bacillus subtilis* Sporen, die einem UV-Strahlungsfeld ausgesetzt waren. Dieses UV-Dosimeter nutzt die Empfindlichkeit dieser Sporen gegenüber den UV-Strahlen aus, die zu einer DNA-Schädigung führt. DNA-geschädigte Sporen sind nicht mehr fähig, Proteine zu synthetisieren. Somit ist das Ausmaß der UV-Dosis umgekehrt proportional zur Menge an nachweisbarem Protein (Hermann, 2000).

Dieses Verfahren ist sowohl in der Herstellung der Dosimeter als auch durch die mikrobiologisch-analytische Messmethodik sehr aufwendig und nicht einfach in der Herstellung. Entsprechende Nachteile und Schwierigkeiten wie technisch aufwendige und schwer reproduzierbare Herstellung sowie aufwendige und langwierige analytische Bestimmung und Auswertung der aufgenommenen UV-Dosen treten bei den meisten anderen oben genannten UV-Dosimeter ebenfalls auf.

2. Fragestellung

Die qualitative und quantitative Exposition mit UV-Strahlung wird in hohem Maße durch das Verhalten des einzelnen Menschen geprägt. UV-Strahlung begegnet dem Menschen im Alltag in vielfältiger Weise. Dazu gehören die Exposition durch die Sonneneinstrahlung beim Aufenthalt im Freien, sei es berufsbedingt (Bademeister, Bergführer, Bauarbeiter) oder im Rahmen der Freizeitaktivitäten (Baden, Segeln Tennis, Radfahren etc.), aber auch die Exposition durch künstliche UV-Lichtquellen für medizinische Zwecke (Phototherapie), die zunehmende Nutzung von Solarien in Bräunungsstudios oder die Exposition mit UV-Strahlung an speziellen Arbeitsplätzen, z.B. beim Schweißvorgang. Dieser Vielfalt an UV-Quellen und Expositionsarten steht eine ebenso große Bandbreite von Wirkungen auf den menschlichen Organismus gegenüber, die stark von der Zusammensetzung der UV-Strahlung abhängen.

Ziel dieser Studie war es, die UV-Strahlenbelastung im Rahmen von Freizeitaktivitäten an 6 Probandengruppen zu untersuchen. Darüber hinaus wurden verschiedene Sonnenschutzmittel mit unterschiedlichen Lichtschutzfaktoren (LSF) bezüglich ihres UV-Schutzes untersucht.

Durch diese Untersuchungen sollten zukünftige Aufklärungskampagnen zur aktuellen UV-Strahlenbelastung in Bayern und Deutschland initiiert werden, um die Bevölkerung vor den schädigenden Auswirkungen einer erhöhten UV-Strahlenbelastung zu warnen und zu schützen.

3. Material und Methoden

3.1 Untersuchungen im Freien

Die Messungen der UV-Strahlenbelastung wurden zwischen Mai und Juni 2001 in München und Umgebung durchgeführt.

Die in einer lichtundurchlässigen Plastikfolie eingeschweißten Dosimeter wurden mit einer Schere aufgeschnitten und die Dosimeter mit Hilfe eines doppelseitigen Klebebandes auf der linken Schulter der Probanden befestigt. Die Dosimeter wurden im Durchschnitt ca. 45 bis 60 min dem Sonnenlicht ausgesetzt. Die Zeitbestimmung wurde mit einer Stoppuhr kontrolliert. Nach Exposition wurden die Dosimeter gesammelt, sofort wieder in die Plastikfolie verbracht und mit einer entsprechenden Kennzeichnungsnummer beschriftet und bis zur Durchführung der Messung aufbewahrt.

Die Untersuchungen wurden an 6 Probanden-Gruppen durchgeführt:

1a. Kindergarten München, gemessen am Donnerstag, 21.06.01 zwischen 10:35 und 11:25 Uhr

1b. Kindergarten St. Anna in Karlsfeld, gemessen am Mittwoch 23.05.01 zwischen 11:45 und 12:00

2. Segler beim Segeln auf dem Starnberger See, gemessen am Samstag, 26.05.01 zwischen 9:56 und 11:20 Uhr

3. Tennisspieler, Kinder und Jugendliche auf der Tennisanlage Sport-Scheck in Unterföhring, gemessen am Mittwoch, 20.06.01 zwischen 14:40 und 15:48 Uhr

4. Fußballspieler des Fußballvereins Stadtwerke-München, gemessen am Sonntag, 27.05.01 zwischen 10:12 und 11:37 Uhr

5. Grillfest am Starnberger See, gemessen am Donnerstag 24.05.01 an 14 Teilnehmern zwischen 14:25 und 15:35 Uhr

6. Sonnenbaden an einem bayerischen See, freiwillige Probanden einer Familie, gemessen am 27.05.01 an 3 Teilnehmern zwischen 12:15 und 13:15 Uhr

3.2 Untersuchungen von Sonnenschutzmitteln mit Hilfe des UV-Sensors

Es wurden die folgenden Sonnenschutzmittel mit den verschiedenen Lichtschutzfaktoren (LSF) und herkömmliche Zubereitung ohne LSF verwendet:

- Anthelios 10, 20, 30, 40, 60 LSF
- Eau Thermale Avene 25, 50, 60 LSF
- Daylong 25 ultra
- MicroBan 30⁺
- Photoderm MAX 100
- Sonnenbalsalm Ombra Sun 16
- Weleda Sonnenschutzcreme 8
- TopSun 4
- Hautbalsam (Bübchen)
- unbehandeltes Dosimeter

Von jedem Sonnenschutzmittel wurden jeweils 5 mg auf die Dosimeterscheibe aufgetragen und mittels eines Plastikspatels gleichmäßig verteilt. Dabei wurden für jedes Sonnenschutzmittel jeweils zwei Dosimeter verwendet. Anschließend wurden die so behandelten Dosimeter für 30 min mit UVB bzw. 60 min mit UVA bestrahlt. Als Kontrolle dienten ein unbehandeltes Dosimeter und ein Dosimeter, das mit einer herkömmlichen Zubereitung ohne LSF (Hautbalsam von Bübchen) behandelt wurden. Die in diesem Experiment verwendeten UV-Dosimeter wurden wie unten beschrieben weiter behandelt und untersucht.

3.3 UV-Dosimeter (UV-Sensor)

Das UV-Dosimeter (UV-Sensor, Patent Nr. 198 25 416, Bundesrepublik Deutschland) ist eine runde Plastikscheibe mit einem Durchmesser von 3 cm und einer Dicke von 3 mm. Gefüllt ist das Dosimeter mit 600 µl einer trans-Urocaninsäure-Lösung (t-UCA).

Die Dosimeter wurden in einem dunklen Raum gefüllt, danach in einer schwarzen lichtundurchlässigen Plastikfolie verpackt und in dieser Form im Kühlschrank gelagert.

Das Messprinzip des UV-Sensors beruht darauf, dass die t-UCA nach UV-Bestrahlung in c-UCA umgewandelt wird. Die Umwandlung ist

kalibrierbar und erlaubt eine quantitative Bestimmung der Strahlendosis von UVA und UVB. Die Kinetik dieser Umwandlungsreaktion hängt von der Art der UV-Strahlung, der Energie und der Zeitdauer der Bestrahlung ab (Abb. 2).

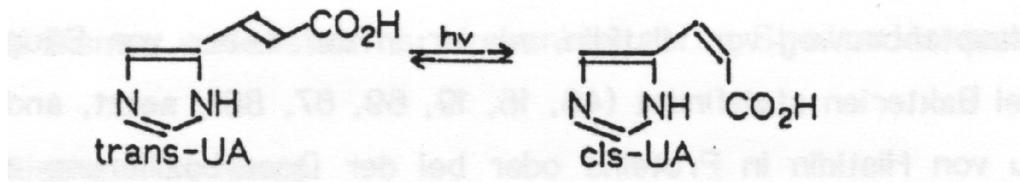


Abb.2: Photoisomerisierung der trans-Urocaninsäure zu cis-Urocaninsäure (modifiziert nach Morrison)

Das in dieser Arbeit verwendete Messprinzip des UV-Sensors zeigt gegenüber anderen Messverfahren zahlreiche Vorteile. Zu erwähnen sind die einfache und kostengünstige Herstellung, Alltagstauglichkeit und einfache Anwendbarkeit, universelle Einsetzbarkeit zur Messung der UV-Strahlenbelastung, hohe Reproduzierbarkeit, Messung der UVB- und UVA-Strahlenbelastung, Lagerfähigkeit der exponierten Dosimeter, einfache, schnelle und automatisierte instrumentelle Analytik und Stimulation UV-induzierter Effekte an der menschlichen Haut (Hermann, 2000).

3.4 Geräte

Tabelle 1: die im Rahmen der Untersuchungen eingesetzten Geräte

Gerätetyp	Bezeichnung	Hersteller	Anschrift
HLPC-Anlage	High liquid performance chromatography	Fa. ERC	Riemerling
UVB bzw. UVA Strahler	Waldmann-Lichttechnik UV 800 K	Herbert Waldmann GmbH	Peter-Henlein-Str. 5 D-78056 Villingen-Schwenningen
Schüttler	IKA-Minishaker MS	IKA-Werke GmbH & Co. KG	Janke & Kunkel-Str. 10 D-79219 Staufen
Analytische Laborwaage	Analysewaage LA 120 S	Sartorius AG	Weender Landstr. 98-108 D-37075 Goettingen, Germany

3.5 Bestimmungen der UVB- und UVA-Dosis mit HPLC

Zur quantitativen Bestimmung der UVB- und UVA-Dosen wurden die Dosimeter-Proben mit Hilfe von Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie (HPLC) untersucht (*Hermann & Abeck, 2000*). Dazu wurden die exponierten UV-Dosimeter manuell eröffnet und der Inhalt mit einer 100 µl Eppendorf Pipette entnommen und in 1.5 ml Eppendorf Reagenzgefäße überführt. Die Gefäße wurden beschriftet und durch Umwickeln mit Alu-Folie vor Licht geschützt. Die Proben wurden bis zur Messung im Kühlschrank aufbewahrt.

In der HPLC-Analyse wird eine mobile Phase (einzelnes Lösungsmittel oder eine homogene Mischung mehrerer Lösungsmittel) mit Hilfe einer Hochdruckpumpe mit hohem Druck durch eine in einer Stahlsäule befindliche stationäre Phase (chromatographisches Trennmittel) gefördert (Abbildung 3). Eine wichtige Voraussetzung für die

Verwendung von HPLC ist, dass sich die Probe in einem Lösungsmittel, nämlich der mobilen Phase, löst. Die chromatographische Trennung beruht darauf, dass sich ein Probengemisch zwischen den beiden Phasen verteilt und je nach Verweildauer der einzelnen Probenbestandteile in der stationären Phase voneinander getrennt werden können.

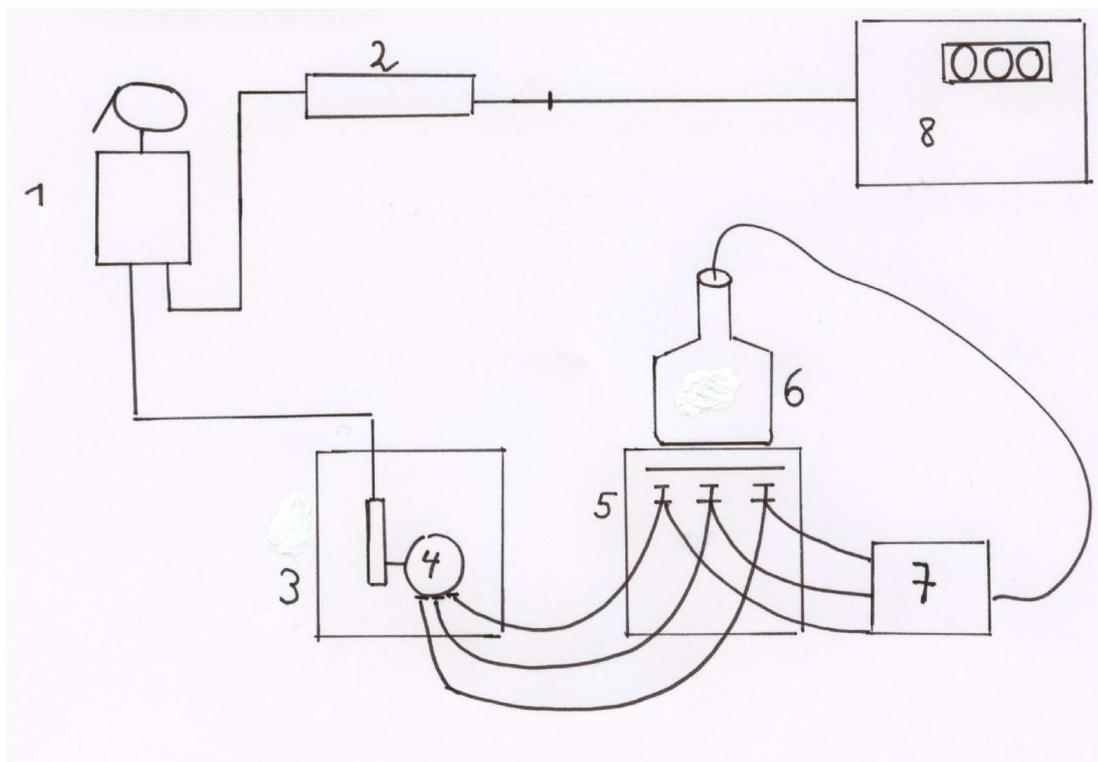


Abb.3: HPLC-Apparatur

1=Injektionsventil, 2=Trennsäule Cis-Trans (Nucleosil 100 C8, Kieselgel, Porenweite 100 mm x 2 mm ID, Column Dimension), 3=HPLC, 4=Pumpe, 5=Solv.-Organizer, 6=Solv. A, 7=Entgaser, 8=UV-Detektor

Als mobile Phase diente eine 0.1%-Lösung von Trifluoressigsäure (TFA) in HPLC-Wasser. Als stationäre Phase wurde eine Trennsäule, 100 mm x 2 mm ID, gefüllt mit Nucleosil 100 C8 (Kieselgelmaterial) mit einer Porenweite von 100 Å verwendet. Zur Detektion benutzte man einen UV-Detektor (Soma Model S 310 A) mit einer Wellenlänge von 267 nm. Die Proben wurden manuell in ein Rheodyne-Injektionsventil (HPLC Hand-Injektionsventil Rheodyne 7125) mit einer 20 µl Probenschleife mittels einer 10 µl Injektionspritze eingespritzt.

Von jeder Probe wurden 10 µl entnommen und in das Injektionsventil eingespritzt. Die HPLC-Pumpe lief mit einer Flussrate von 0.2 ml/min. Die Analysen wurden bei einer Zimmertemperatur von ca. 22°C durchgeführt.

Die in dieser Studie verwendete HPLC-Methode zeigte gegenüber anderen HPLC-Verfahren einige Vorteile. Es sind hier die kurze Analysenzeit von weniger als 10 min, die kleine Flussrate von 0.2 ml/min mit sehr geringem Lösungsmittelverbrauch und die Automatisierbarkeit mit hohem Probendurchsatz zu nennen. Ferner ist die rein wässrige mobile Phase mit 0.1% TFA in HPLC-Wasser bezüglich der Entsorgung einfacher in der Handhabung als mobile Phasen mit organischen Lösungsmitteln.

3.6 Kalibrationskurven

Um die UV-Dosis jedes Dosimeters, aufgeschlüsselt in UVB und UVA messen zu können, mussten entsprechende Standardkurven erstellt werden. Anhand dieser Kurven konnte jede Abnahme der t-UCA, Zunahme der c-UCA oder die prozentuale Zunahme der c-UCA einer bestimmten UV-Strahlendosis zugeordnet werden. Bei allen Untersuchungen wurden Doppelbestimmungen durchgeführt. Der Abstand zwischen der Strahlungsquelle und den Dosimetern betrug in allen Fällen 20 cm.

3.6.1 UVB-Kalibration

Für die Messung der UVB-Strahlung wurden 14 Dosimeter für 0, 1, 2, 5, 10, 20 und 30 Minuten einer UVB-Strahlenquelle (UVB bzw. UVA Strahler, Waldmann-Lichttechnik UV 800 K) mit einer UVB-Dosis von $0.075 \text{ J/cm}^2/\text{min}$ ausgesetzt. Da das Kunststoffbehältnis der Dosimeter UVB-Licht absorbierte und für 65.23% der emittierten Strahlung durchlässig war, ergab sich eine korrigierte UVB-Strahlendosis von $0.04892 \text{ J/cm}^2/\text{min}$.

3.6.2 UVA-Kalibration

Für die Messung der UVA-Strahlung wurden 22 Dosimeter für 0, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 90 und 120 Minuten einer UVA-Strahlenquelle (UVB bzw. UVA Strahler, Waldmann-Lichttechnik UV 800 K) mit einer UVA-Dosis von $0.262 \text{ J/cm}^2/\text{min}$ ausgesetzt. Da das Kunststoffbehältnis der Dosimeter auch geringe Mengen UVA-Licht absorbierte und für 93.65% der emittierten Strahlung durchlässig war, ergab sich eine korrigierte UVA-Strahlendosis von $0.2453 \text{ J/cm}^2/\text{min}$.

3.7 Abhängigkeit der Umwandlung von der t-UCA-Konzentration

Hier wurden der Zusammenhang und die Abhängigkeit zwischen verschiedenen t-UCA-Ausgangskonzentrationen und der Kapazität bzw. der Konzentration der entstandenen c-UCA untersucht.

Es wurden dazu die UV-Dosimeter mit t-UCA-Konzentrationen von 10^{-5} mol/L, 5×10^{-5} mol/L, 10^{-4} mol/L, 2.5×10^{-4} mol/L, 5×10^{-4} mol/L und 10^{-3} mol/L wie oben beschrieben für 10, 20 und 30 min mit UVB-Licht bestrahlt und die t-UCA und c-UCA wurden qualitativ und quantitativ mittels HPLC bestimmt.

3.8 Auswertung

Mit Hilfe von HPLC konnte t-UCA von c-UCA getrennt werden. Die Fläche unter den Peaks ergab die quantitative Information über die Konzentrationen an t- und c-UCA. Zur Berechnung der Peakflächen wurde HPLC-Software ChromStar verwendet. Anschließend wurden die Peakflächen für t-UCA und c-UCA in Excel-Tabellen übertragen, und die prozentuale Zunahme der durch UV-Licht entstandenen c-UCA berechnet.

Wie im Abschnitt 3.6 beschrieben, wurden für die UVB- bzw. UVA-Kalibrationskurven die Abnahme der t-UCA, die Zunahme der c-UCA und die prozentuale Zunahme der c-UCA mit Hilfe des Rechenprogramms Inplot einer bestimmten UV-Strahlendosis zugeordnet.

-Die mit Inplot berechnete Gleichung für die UVB-Kalibrationskurve ist wie folgt:

Sigmoid curve (log scale): A=bottom, B=top, C=log(EC50), D=Hill Slope

Total sum of squares=70.48718. DF=10.

Minimize sum of square of actual distances. R squared =0.995 .
Sy.x=2.654942

Parameter	Value	Approx. SE	95%confidence interval
A	-38.81915	17.31303	-77.39259 to 0.2457104
B	81.71525	1.171912	79.10423 to 84.32627
C	0.07276043	0.02948352	7.071E-03 to 0.138449
D	4.629076	0.6373219	3.209122 to 6.049029

Durch diese Gleichung konnten die Änderungen der UCA-Konzentrationen der verschiedenen unbekannt Proben einer bestimmten UVB-Dosis zugeordnet werden.

-Für UVA wurde ebenfalls eine Standardformel mit entsprechender Gleichung aufgestellt:

Für UVA ergab sich eine Graden-Gleichung mit der Formel $y= 2.7788x$

Mit dieser Gleichung konnten die unbekannt UVA-Dosen (x-Werte) durch die Änderungen der UCA-Konzentrationen (y-Werte) berechnet werden.

4. Ergebnisse

4.1. HPLC-Trennung der t-UCA von c-UCA

t-UCA und c-UCA konnten isokratisch auf einer reversed phase C8-Säule mit Hilfe von HPLC getrennt werden (Abbildung 4).

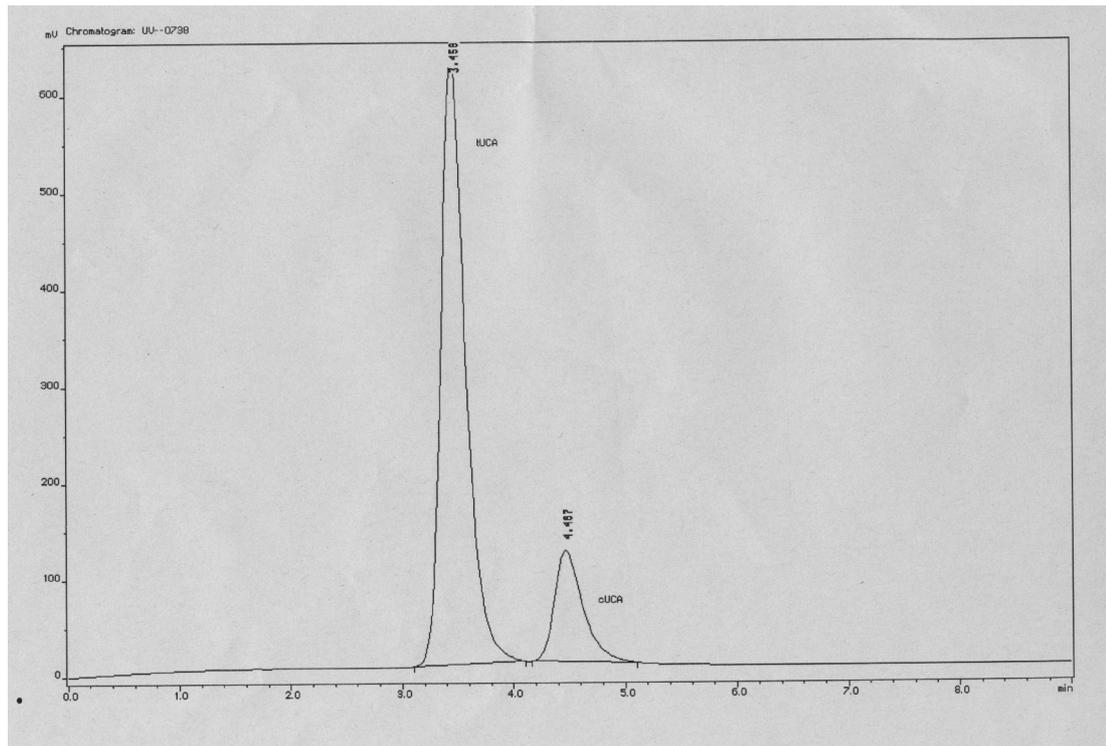


Abb.4: Chromatogramm einer Probe, t-UCA und c-UCA

Die Mittelwerte der Retentionszeiten für t-UCA und c-UCA waren $5,1383 \pm 0,6424$ min bzw. $6,9818 \pm 0,5064$ min ($n=10$)

4.2. UVB- und UVA-Kalibrationen

Mittels einer künstlichen UVB- bzw. UVA-Lichtquelle konnten die UV-Dosimeter kalibriert werden.

Die Kinetik der Umwandlung der t-UCA zu c-UCA hing von der Art der UV-Strahlung und der Zeitdauer der Exposition ab. Beim kurzwelligeren energiereichen UVB-Licht war die Umwandlung schneller als mit

längerwelligem energieärmerem UVA. UVB führte zu einer raschen Abnahme der t-UCA und einer raschen Zunahme der numerischen sowie der prozentualen c-UCA-Konzentration. (Abb. 5, 6 und 7)

Mit UVA-Licht dagegen waren die Abnahme der t-UCA-Konzentration und die Zunahme der numerischen sowie prozentualen c-UCA-Konzentration weitaus geringer. (Abb.8 und 9)

Durch die Isomerisierungsreaktion bestand ein Gleichgewicht und eine Abhängigkeit zwischen der t-UCA und c-UCA, so dass jede Abnahme der t-UCA-Konzentration mit einer entsprechenden Zunahme der c-UCA-Konzentration verbunden war. Die isolierte Betrachtung der Abnahme der t-UCA bzw. numerische Zunahme der c-UCA für die Kalibrierungskurven war deshalb nicht möglich. Aus diesem Grund wurden für die Berechnungen aller unbekannter Proben die prozentuale Zunahme der c-UCA-Konzentration zugrunde gelegt.

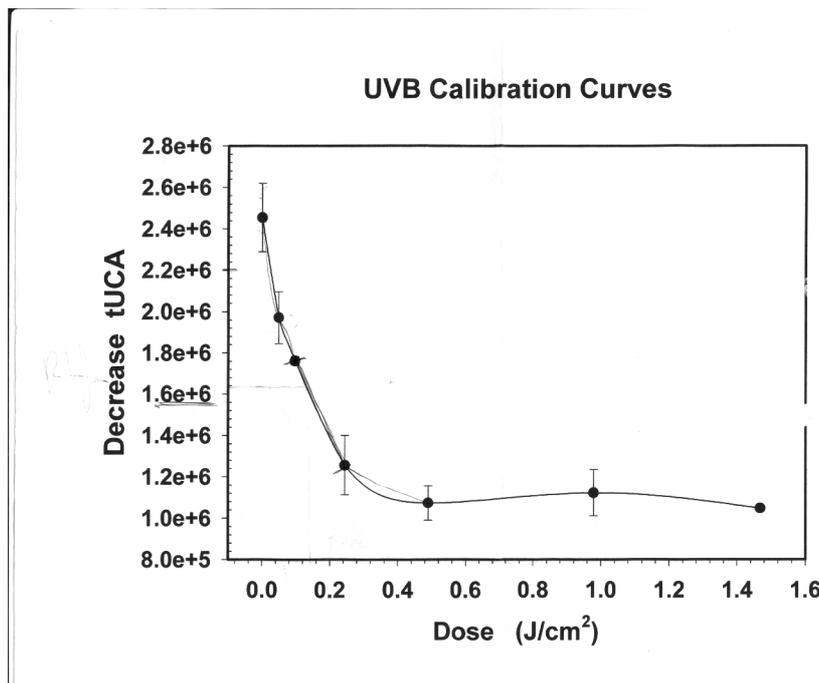


Abb.5: Abnahme der t-UCA nach UVB-Strahlung

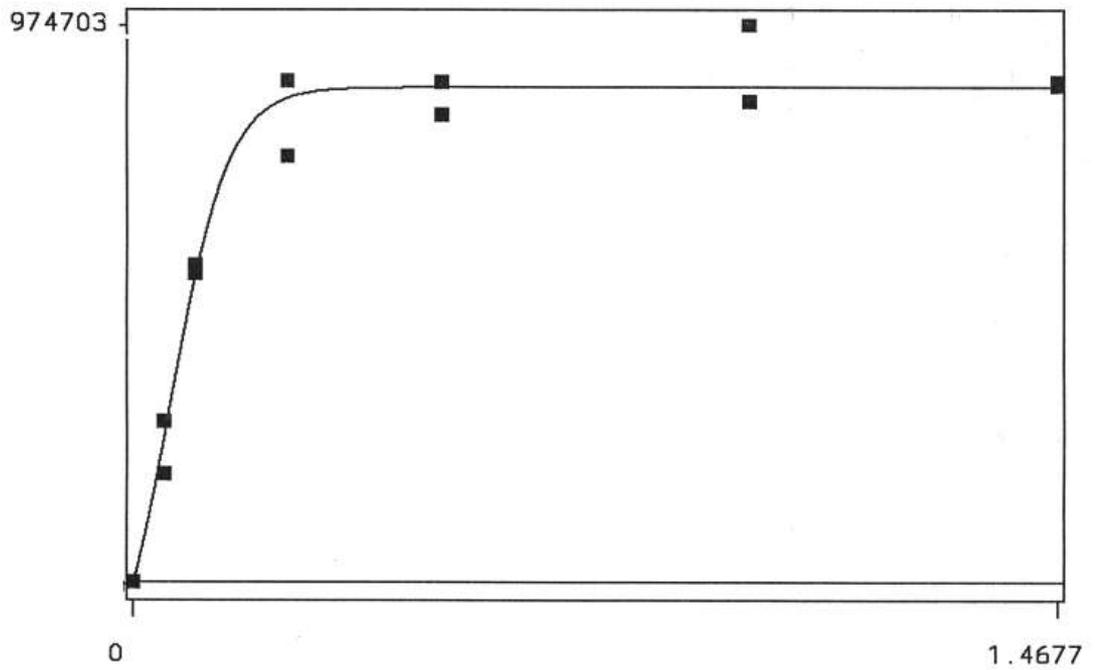


Abb.6: Zunahme der c-UCA nach UVB-Strahlung; x-Achse UVB-Dosis und y-Achse numerische Zunahme der c-UCA.

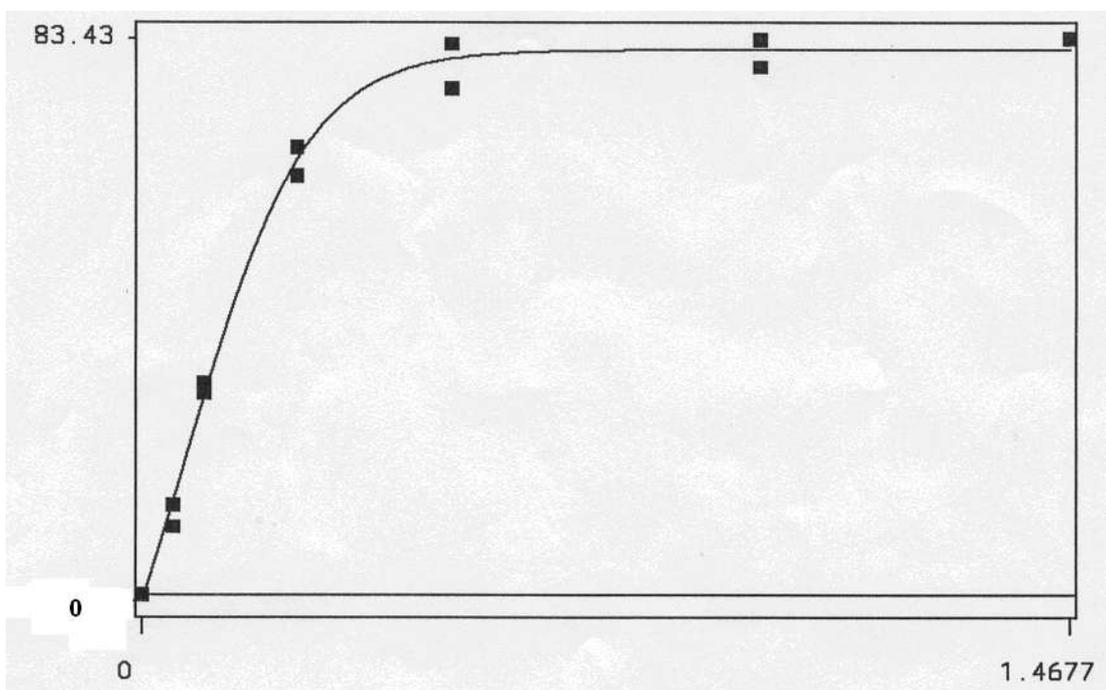


Abb.7: prozentuale Zunahme der c-UCA nach der UVB-Strahlung; x-Achse UVB-Dosis und y-Achse prozentuale Zunahme der c-UCA-Konzentration

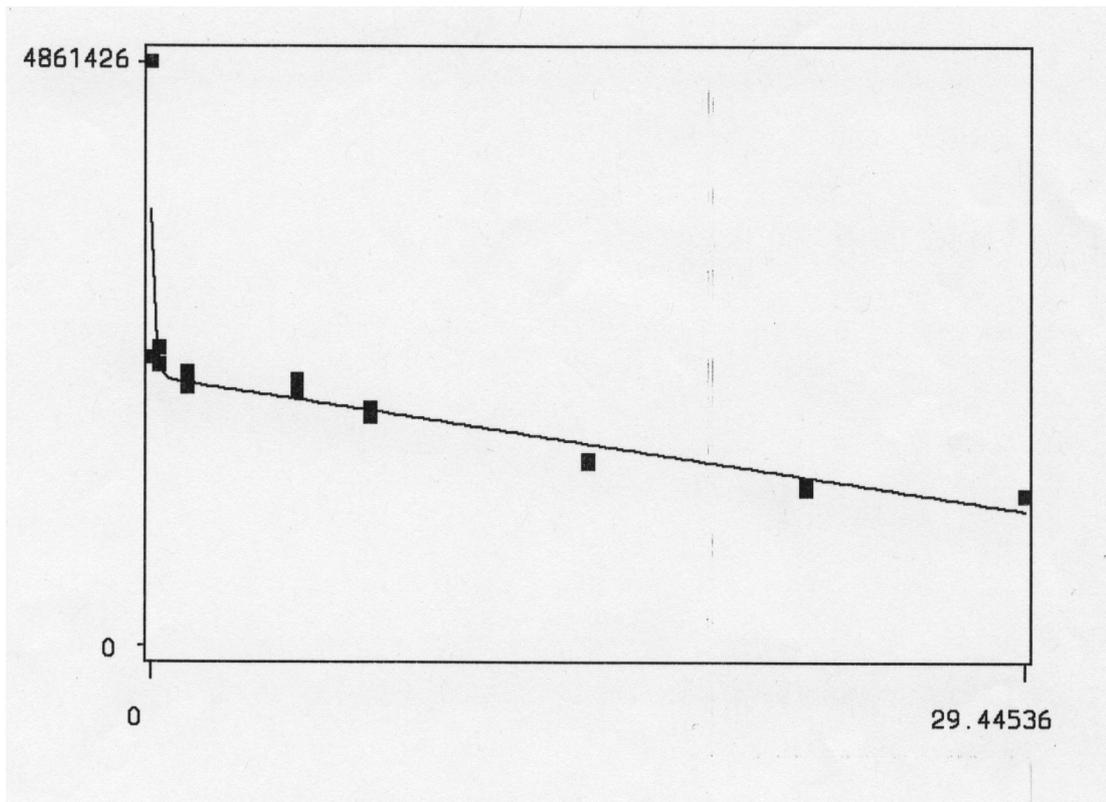


Abb.8: Abnahme der t-UCA nach UVA-Strahlung; x-Achse die UVA-Dosis, y-Achse numerische Abnahme der t-UCA nach UVA-Strahlung

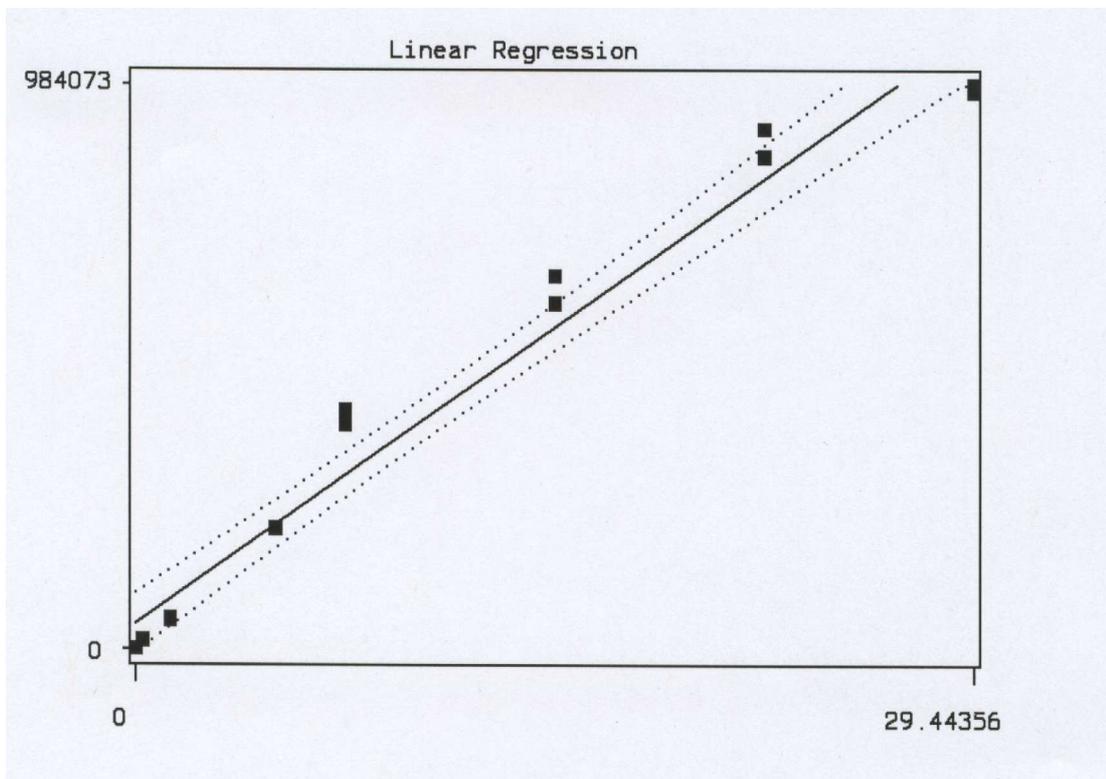


Abb. 9: Zunahme der c-UCA nach UVA-Strahlung; x-Achse UVA-Dosis und y-Achse numerische Zunahme der c-UCA.

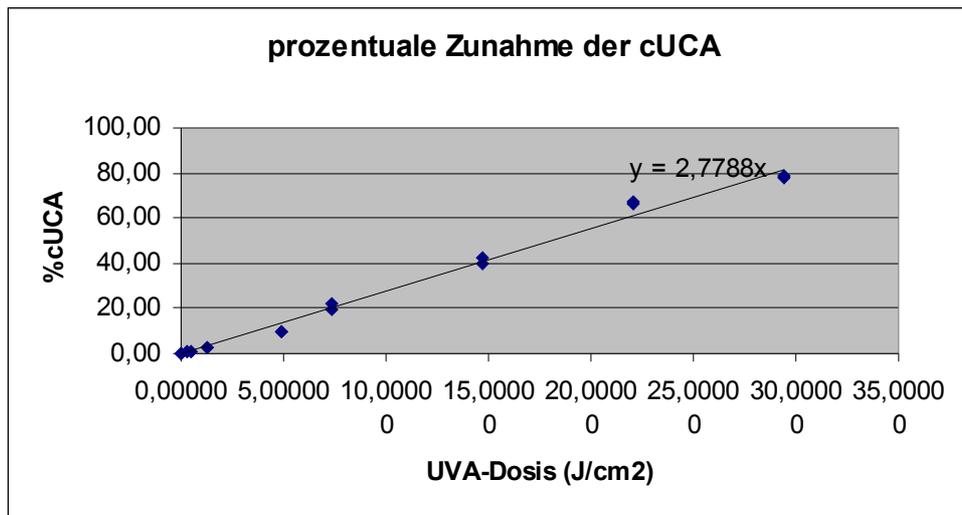


Abb.10: Prozentuale Zunahme der c-UCA nach UVA

4.3 Abhängigkeit der Umwandlung von der t-UCA-Konzentration

Unabhängig von der Konzentration der t-UCA zeigte sich immer dieselbe prozentuale Zunahme der c-UCA. t-UCA-Ausgangskonzentrationen von 10^{-5} mol/L bildeten nach 10, 20 oder 30 min UVB-Bestrahlung fast dieselbe prozentuale Menge c-UCA wie t-UCA-Konzentrationen von 5×10^{-5} mol/L, 10^{-4} mol/L, $2,5 \times 10^{-4}$ mol/L, 5×10^{-4} mol/L oder 10^{-3} mol/L (Tabelle 2).

Tabelle 2:

Konzentration	10 Minuten	20 Minuten	30 Minuten
t-UCA	%c-UCA	%c-UCA	%c-UCA
10^{-5} mol/L	66,99	56,57	53,98
5×10^{-5} mol/L	77,11	76,08	77,18
10^{-4} mol/L	77,13	77,62	77,35
$2,5 \times 10^{-4}$ mol/L	73,15	76,16	78,20
5×10^{-4} mol/L	72,92	77,01	79,37
10^{-3} mol/L	69,76	77,18	77,61

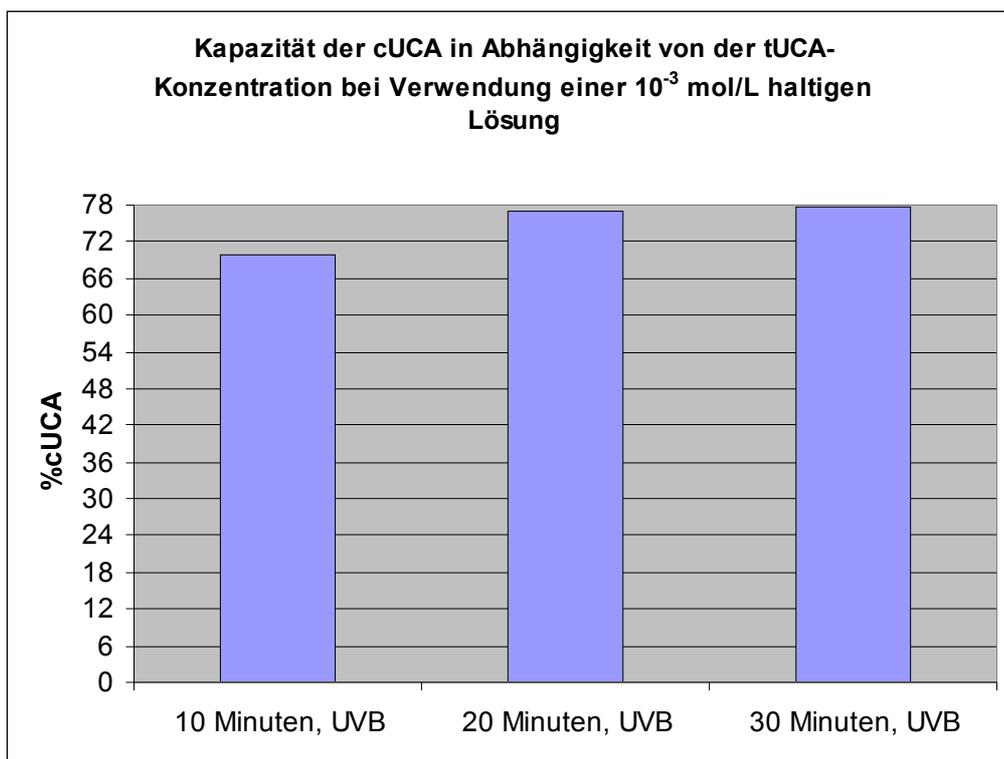
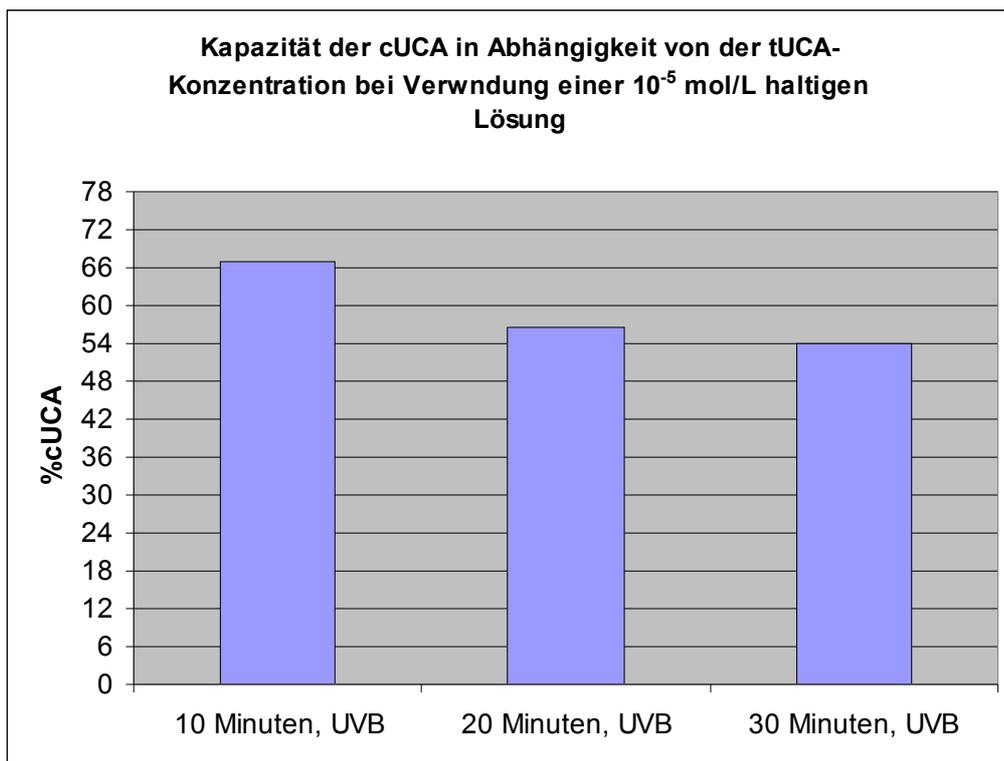


Abb. 11: Abhängigkeit der Umwandlung von trans-UCA zu cis-UCA von der trans-UCA-Konzentration, 10^{-5} mol/L "oben" und 10^{-3} mol/L "unten"(UVB-Strahler).

4.4 Untersuchungen im Freien

Bei der Messung der UV-Strahlenbelastung, die bei Kindern eines Münchner Kindergartens im Juni am späten Vormittag vorgenommen wurden, betragen die durchschnittlichen UVB- und UVA-Dosis 0,0520 bzw. 7,5 J/cm²/h. Die Kinder mit Nummern 3, 8, 11, 13, 14 und 16 waren gegenüber anderen Kindern über dem Durchschnittswert der UV-Strahlung exponiert. Die UV-Belastung der restlichen Kinder war unterhalb des Mittelwertes (Abb. 12)

Bei Kindern eines Karlsrufer Kindergartens betrug die durchschnittliche UVB- bzw. UVA-Dosis 0,033 und 4,74 J/cm²/h. Die Kinder mit Nummern 13, 15 und 16 waren gegenüber anderen Kindern einer höheren UV-Strahlung ausgesetzt (Abb. 13).

Mit einer Ausnahme vom 6. Probanden ließ sich bei den Seglern eine UVB-Dosis von über ca. 0,05 J/cm²/h bzw. UVA-Dosis von über 7,74 J/cm²/h nachweisen. Der Durchschnittswert lag bei 0,071 bzw. 11,15 J/cm²/h (Abb. 14).

Der Mittelwert der UVB- und UVA-Dosis bei den Tennisspielern einer Münchner Tennisschule lag bei 0,080 bzw. 12,39 J/cm²/h. Drei Probanden (in der Abbildung mit Nummern 1, 10 und 11) zeigten die höchsten UV-Strahlenbelastungen bei einer UVB-Dosis von über 0,1 und einer UVA-Dosis von über 16 J/cm²/h (Abb. 15).

Der Mittelwert der UVB- bzw. UVA-Dosis der Fußballspieler lag bei 0,028 und 3,91 J/cm²/h. Fünf Spieler waren in Bezug auf die UV-Strahlungsdosis über dem Durchschnittswert exponiert. Bei einem Spieler lag die höchste UVA- und UVB-Dosis bei 8,79 bzw. 0,056 J/cm²/h (Abb. 16).

Die durchschnittliche UVB- bzw. UVA-Dosis bei den Gästen eines Grillfestes lag bei 0,064 und 9,44 J/cm²/h. Drei Gäste waren besonders einer erhöhten UVB-Strahlung von über 0,91 J/cm²/h und über 13,95 J/cm²/h UVA-Strahlung ausgesetzt. Die UV-Belastung der 5 Gäste lag über den Durchschnittswert. Der UVB- und UVA-Spitzenwert lag bei 0,098 J/cm²/h und 14,96 J/cm²/h (Abb. 17).

Die durchschnittliche UVB- und UVA-Dosis bei den freiwilligen Probanden einer Familie beim Baden an einem Bayerischen See lag bei 0,095 bzw. 14,78 J/cm²/h (Abb. 18).

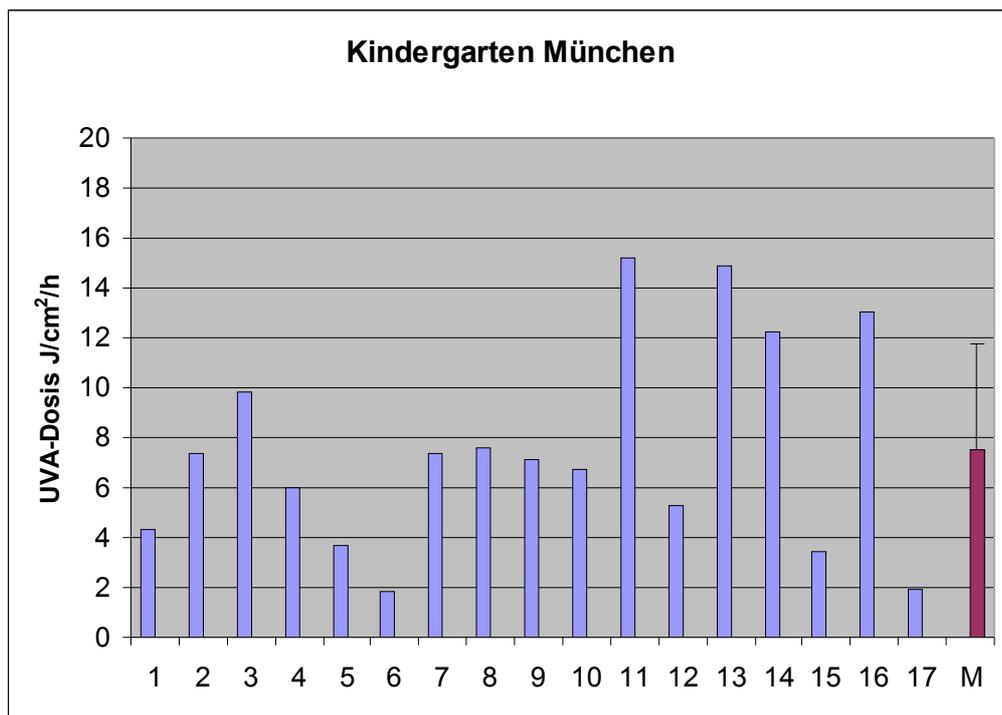
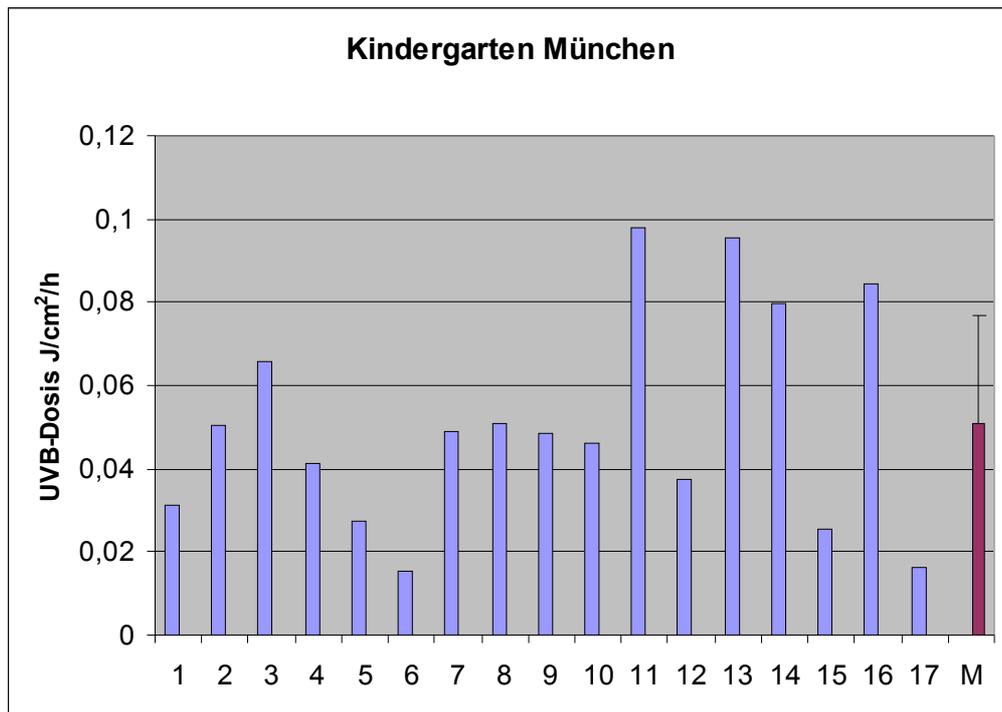


Abb. 12: UVB- "oben" und UVA-Strahlenbelastung "unten" einer Gruppe von Kindern in einem Kindergarten in München, gemessen am 21.06.01 zwischen 10:35 und 11:25 Uhr. Die blaue Säule: die einzelnen Kinder; violette Säule: Mittelwert der gesamten Gruppe mit Standardabweichung.

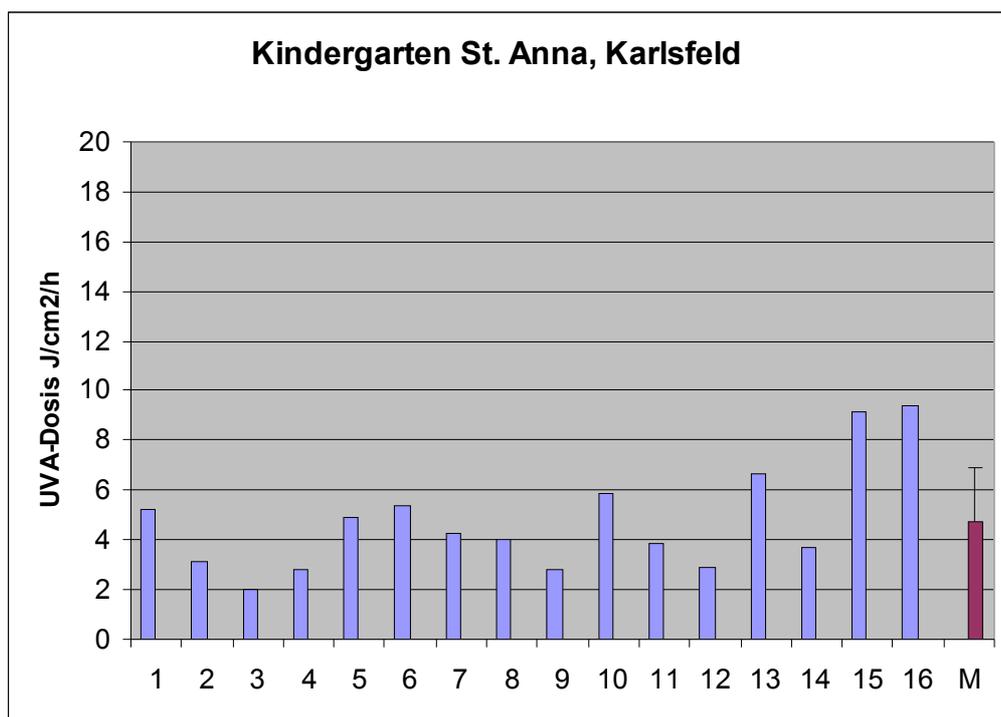
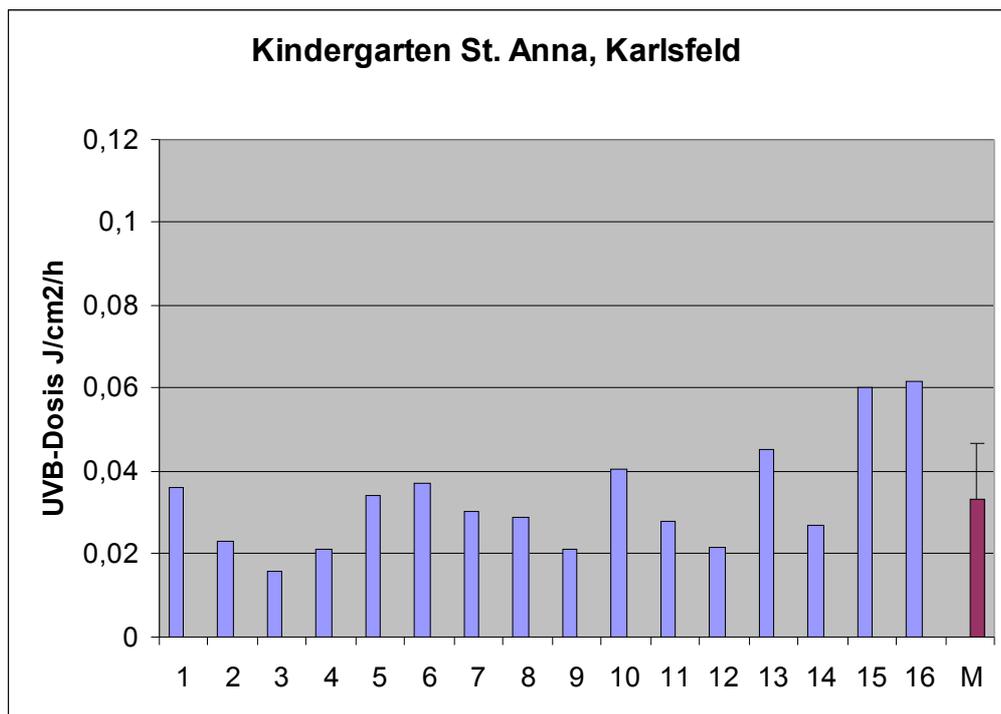


Abb. 13: UVB- "oben" und UVA-Strahlenbelastung "unten" einer Gruppe von Kindern im Kindergarten St. Anna, Karlsfeld, gemessen am 23.05.01, um 11:45 und 12:00 Uhr. Blaue Säule: die einzelnen Kinder, violette Säule: Mittelwert der gesamten Gruppe mit Standardabweichung.

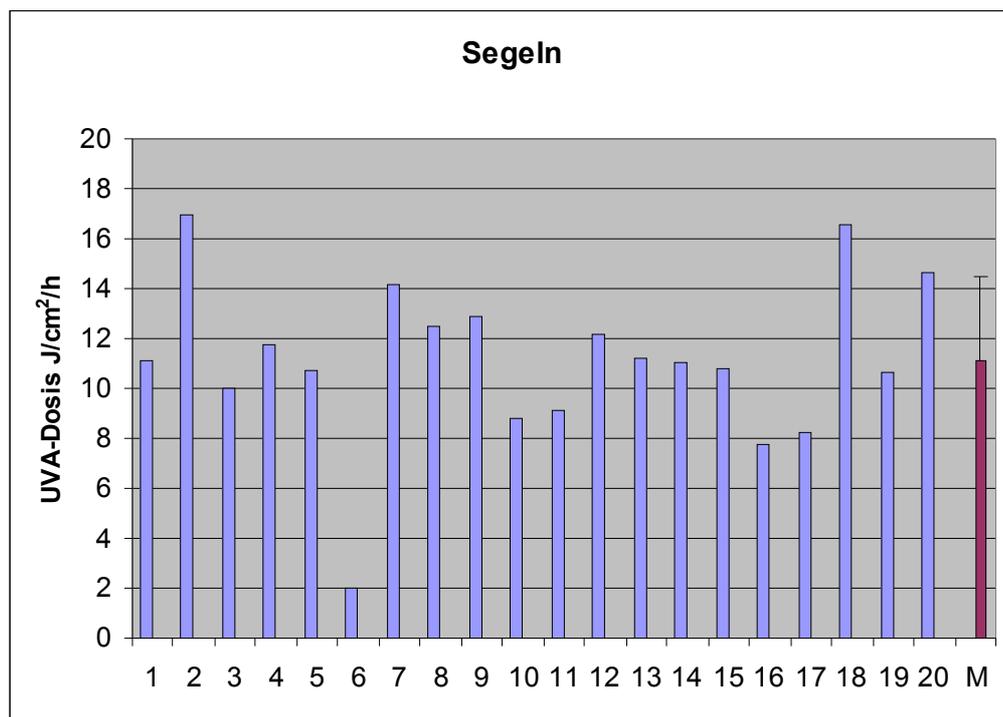
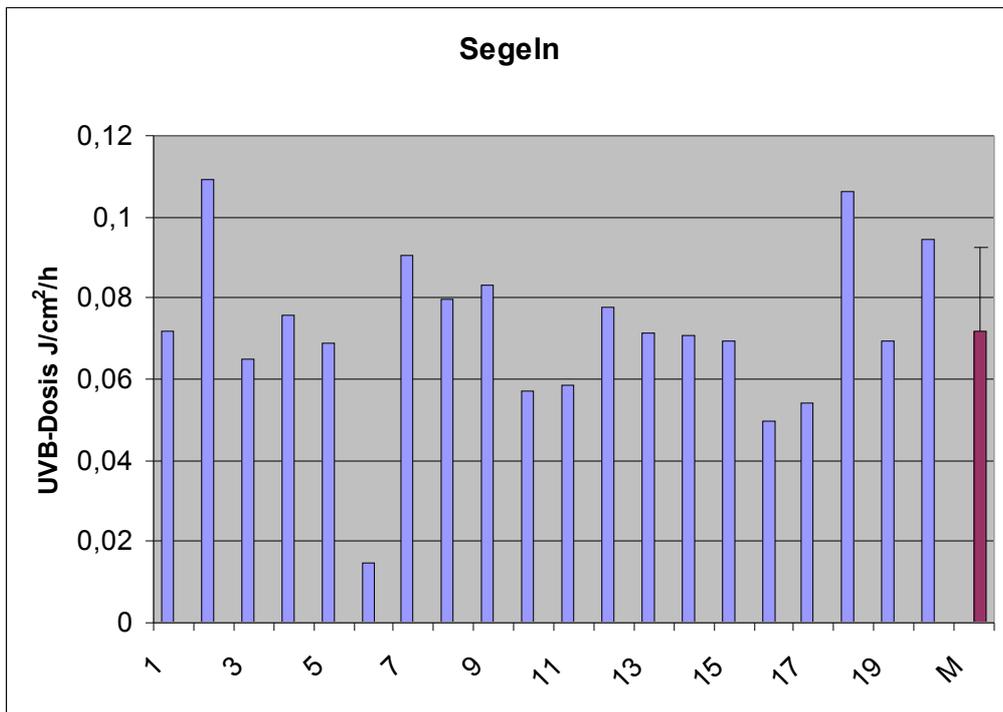


Abb.14: UVB- "oben" und UVA-Strahlenbelastung "unten" einer Gruppe von Segler, gemessen am 26.05.01 zwischen 9:56 und 11:20 Uhr. Blaue Säule: die einzelnen Segler; violette Säule: Mittelwert der gesamten Gruppe mit Standardabweichung.

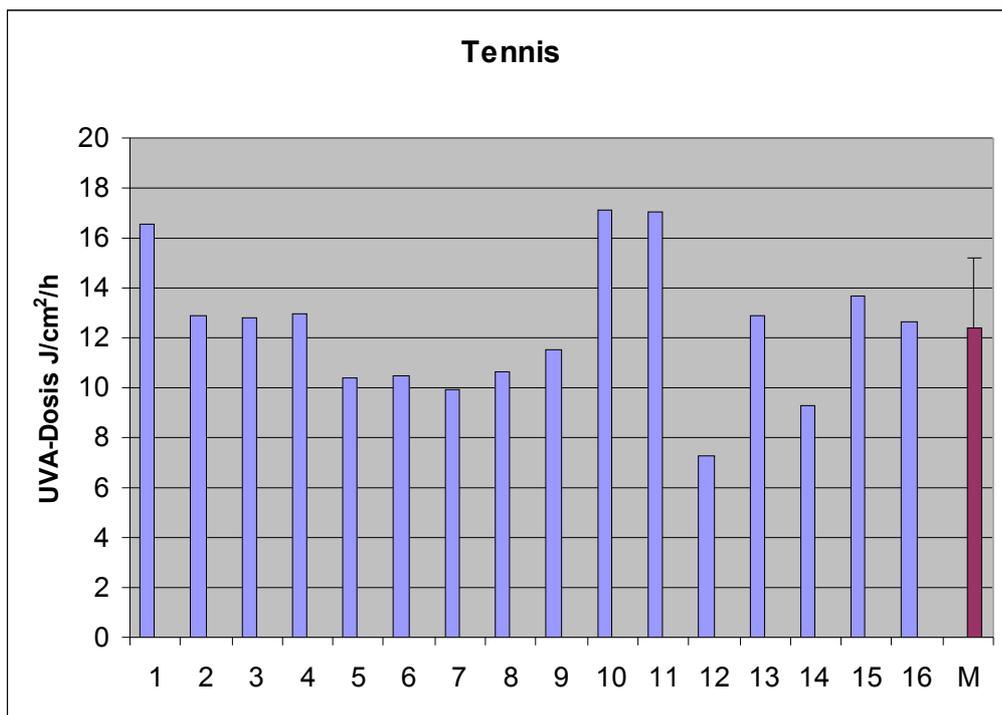
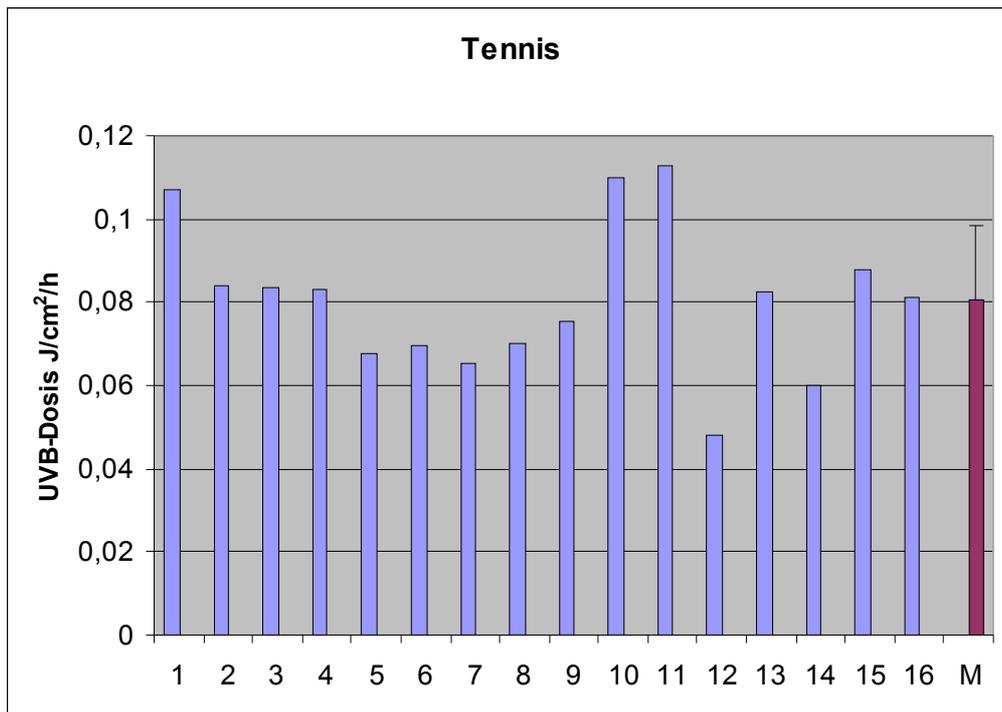


Abb.15: UVB- "oben" und UVA-Strahlenbelastung "unten" einer Gruppe von Tennisspielern, gemessen am 20.06.01 zwischen 14:40 und 15:48 Uhr. Blaue Säule: die einzelnen Spieler; violette Säule: Mittelwert der gesamten Gruppe mit Standardabweichung.

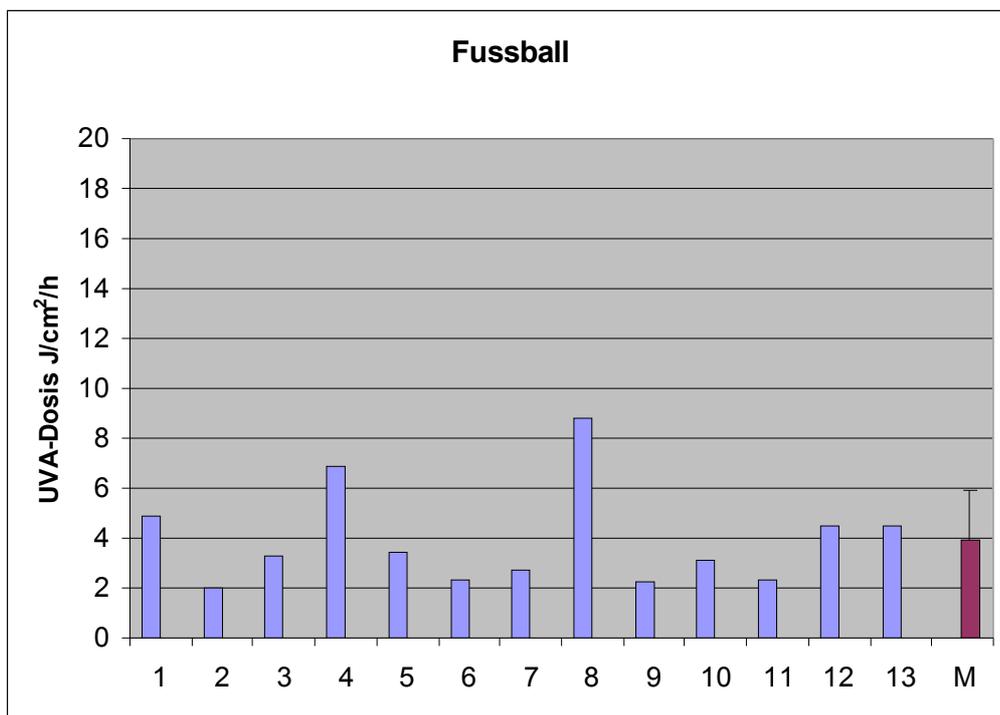
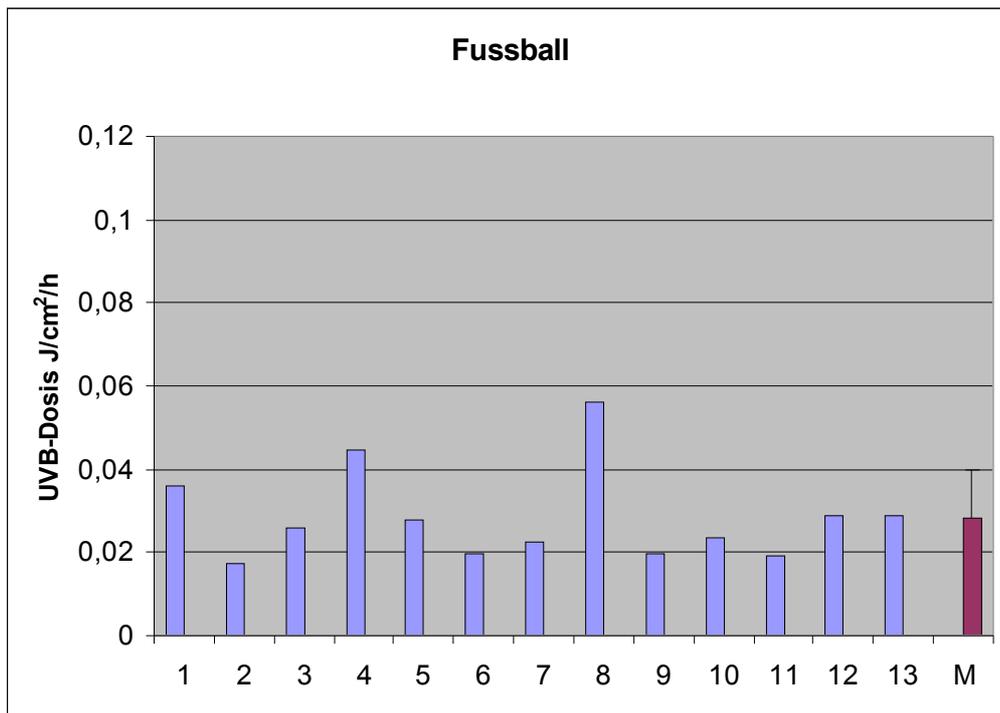


Abb.16: UVB- "oben" und UVA-Strahlenbelastung "unten" einer Gruppe von Fußballspielern, gemessen am 27.05.01, zwischen 10:12 und 11:37Uhr. Blaue Säule: die einzelnen Spieler; violette Säule: Mittelwert der gesamten Gruppe mit Standardabweichung.

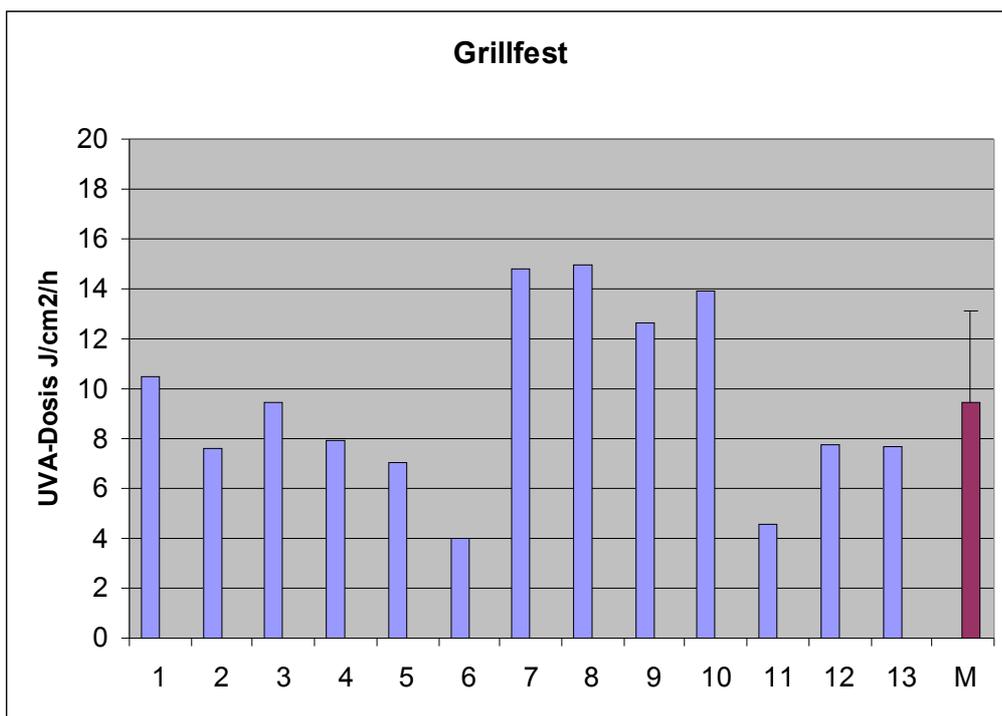
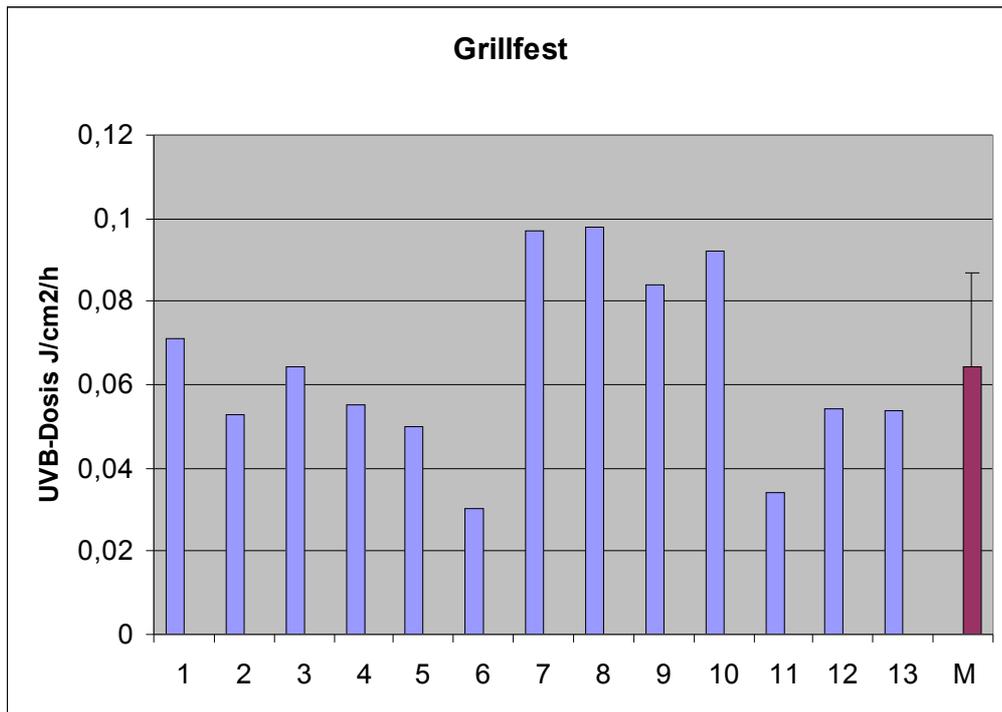


Abb. 17: UVB- "oben" und UVA-Strahlenbelastung "unten" einer Gruppe von Gästen beim Grillfest, gemessen am 24.05.01 zwischen 14:25 und 15:35 Uhr. Blaue Säule: die einzelnen Gäste. violette Säule: Mittelwert der gesamten Gruppe mit Standardabweichung

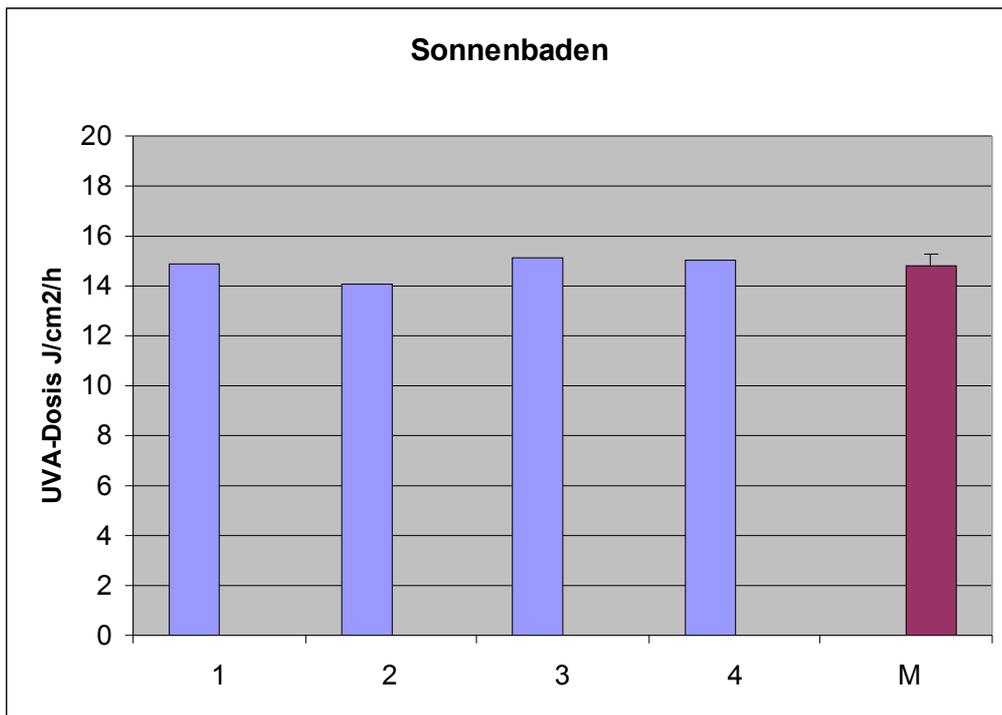
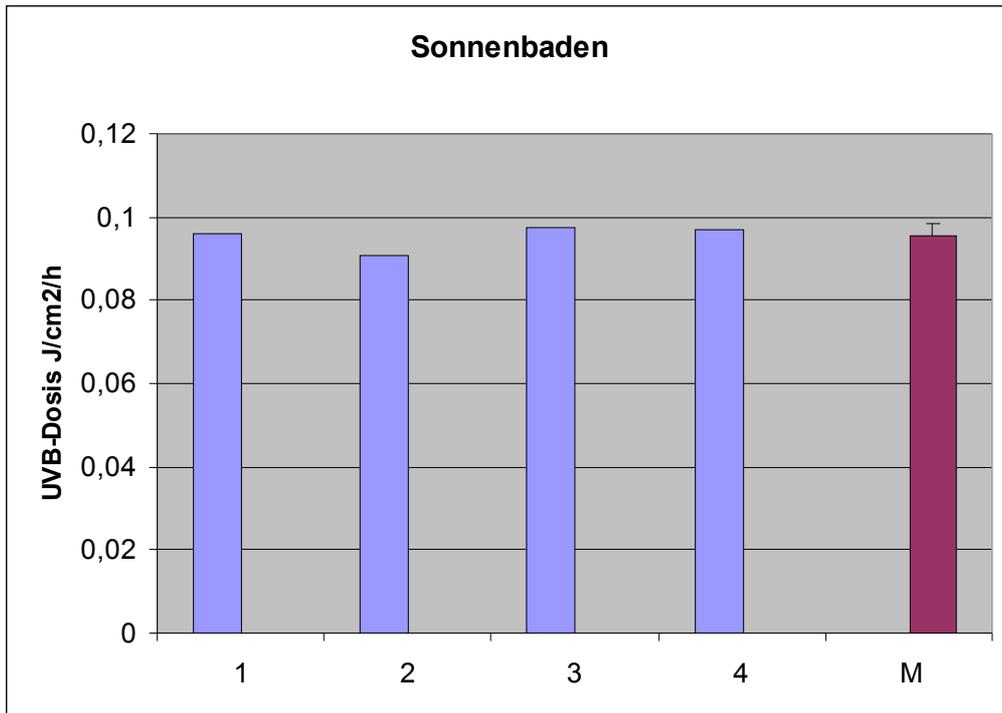


Abb. 18: UVB- "oben" und UVA-Strahlenbelastung "unten" freiwilliger Probanden einer Familie beim Baden an einem Bayerischen See, gemessen am 27.05.01 zwischen 12:15 und 13:15 Uhr. Blaue Säule: die einzelnen Familienmitglieder; violette Säule: Mittelwert der gesamten Familie mit Standardabweichung

Die Abbildung 19 fasst den Mittelwert der UVB- und UVA-Dosis der jeweiligen Probandengruppen mit Standardabweichung chronologisch im Zeitraum zwischen Mai und Juni zusammen.

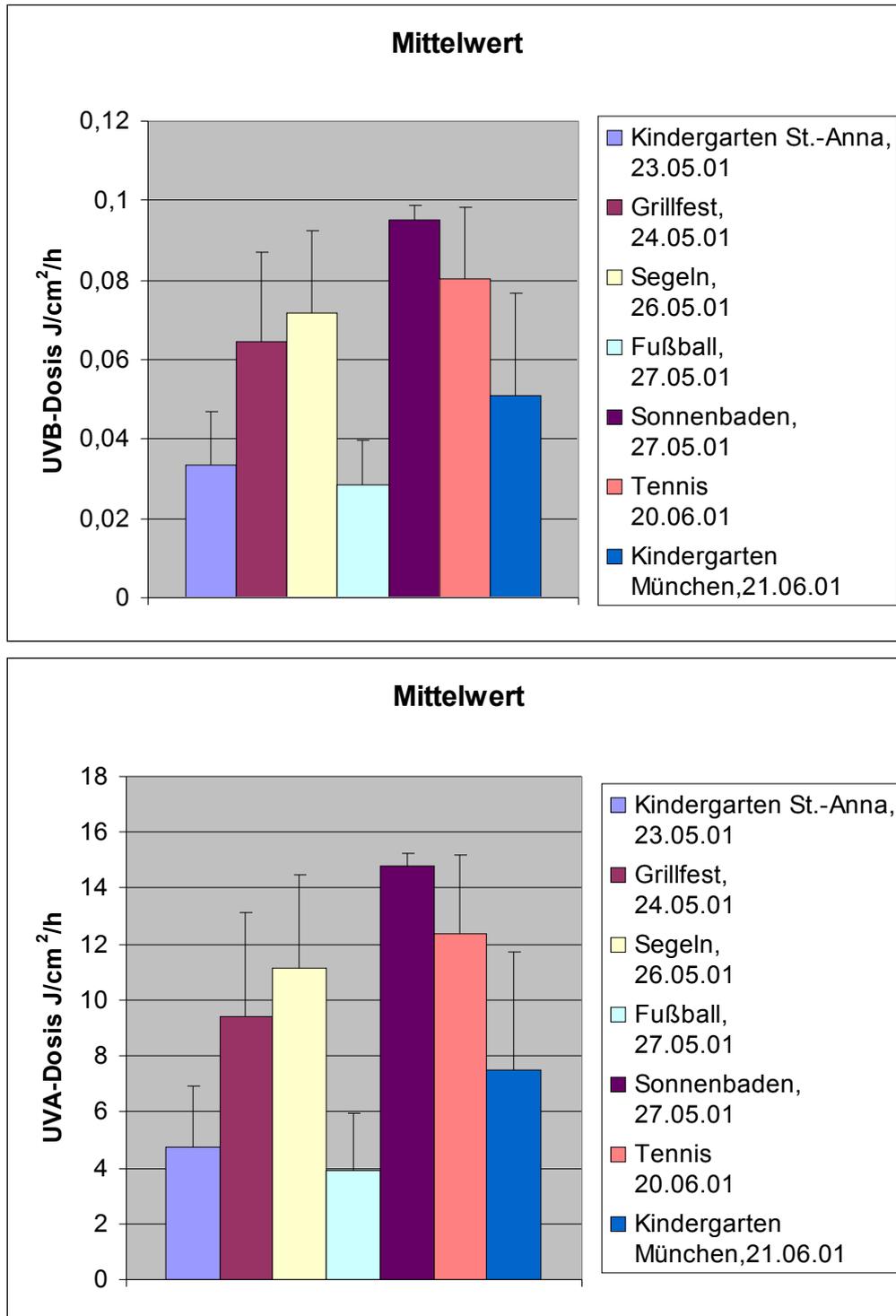


Abb. 19: Mittelwert der UVB- "oben" und UVA-Dosis "unten" der gesamten Probanden in jeweiligen Gruppen, chronologisch im Zeitraum Mai und Juni. Probanden beim Sonnenbaden waren durchschnittlich höchster UV-Belastung ausgesetzt. Geringsten Durchschnittswert wiesen die Fußballspieler auf.

Die Abbildung 20 stellt den Mittelwert der UV-Dosis der gesamten Probandengruppe in der Reihenfolge höherer UV-Belastung dar. Aus der Abbildung kann man entnehmen, dass die Fußballspieler relativ die geringste und die Probanden beim Sonnenbaden der höchste UV-Belastung exponiert sind.

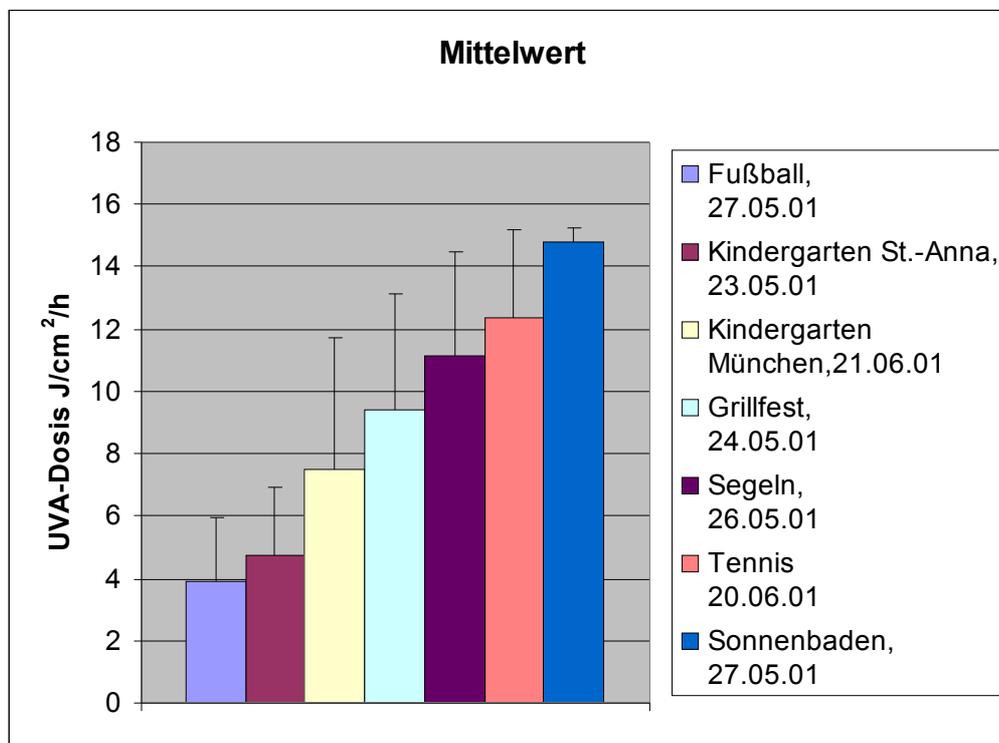
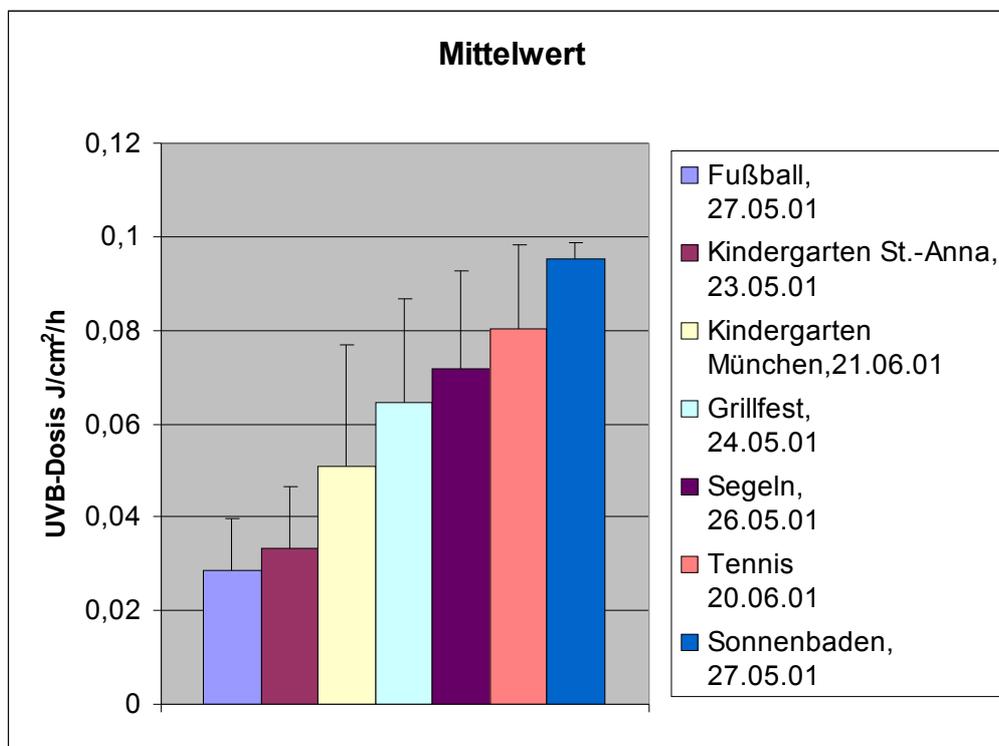


Abb. 20: Mittelwert der UVB- "oben" und UVA-Dosis "unten" der gesamten Probanden in jeweiligen Gruppen, unabhängig von der Jahreszeit.

4.5 Untersuchungen von Sonnenschutzmitteln

Die UV-Sensoren, die mit kommerziell verfügbaren Sonnenschutzpräparaten behandelt wurden, wurden für 10 Minuten einem UV-Simulator mit selektiver UVB-Strahlung ausgesetzt, und für 60 Minuten einem UV-Simulator mit UVA-Strahlung.

Beim unbehandelten Kontroll-Dosimeter ohne Sonnenschutzpräparat, einem herkömmlichen Hautbalsam von Bübchen und Topsun mit SPF4 konnten die höchsten prozentualen c-UCA-Werte über 83,43% beobachtet werden. Diese Werte liegen außerhalb der UVB-Standardkurve und sind mit der Formel für UVB-Dosis nicht auswertbar. Da die UVA-Standardkurve eine Geradengleichung ist, lag die UVA-Dosis zwischen 18,55 und 8,59 J/cm²/h.

Bei Anthelios SPF 30 beobachtete man die geringste UVB-Dosis von 0,3721 J/cm²/h. Dies lag für Anthelios 10 bei 0,3729 J/cm²/h und für Anthelios 40 bei 0,3852 J/cm²/h. Die Sonnencreme Photoderm MAX 100 wies den höchsten UVA-Schutz auf. Die UVA-Dosis betrug 2,5 J/cm²/h. Eine geringe UVA-Dosis von 2,65 J/cm²/h zeigte auch das Präparat MicroBan 30⁺(Abb. 21).

Die restlichen Dosimeter, die mit verschiedenen Sonnenschutzmitteln mit unterschiedlichen SPF behandelt wurden, zeigten eine UVB-Dosis zwischen 0,37 und 0,84 J/cm²/h und eine UVA-Dosis zwischen 7,31 und 2,5 J/cm²/h (Tabelle 3).

Tabelle 3: Sonnenschutzmittel nach Handelsname

Sonnenschutzmittel	SPF	%cUCA, (UVB)	UVB-Dosis J/cm²/h	%cUCA, (UVA)	UVA- Dosis J/cm²/h
Kontrolle, unbehandelt ohne Präparat	<i>kein</i>	96,94	<i>Nicht auswertbar</i>	55,03	18,55
Hautbalsam Bübchen	<i>kein</i>	90,38	<i>Nicht auswertbar</i>	38,44	12,95
Anthelios	10	28,63	0,3729049	9,22	3,11
Anthelios	20	57,95	0,8006636	10,75	3,62
Anthelios	30	28,57	0,3721546	11,47	3,86
Anthelios	40	29,69	0,3859817	9,23	3,11
Anthelios	60	37,19	0,4814236	9	3,033
Eau Thermale Avene	25	37,7	0,488097	9,14	3,08
Eau Thermale Avene	50	33,41	0,432712	11,36	3,83
Eau Thermale Avene	60	34,95	0,4523691	9,93	3,35
Daylong 25 ultra	25	60,37	0,8489627	13,01	4,385
MicroBan 30 ⁺	30	36,21	0,4685992	7,86	2,65
Photoderm MAX 100	100	34,22	0,4430511	7,43	2,5
Ombra Sonnenbalsam	16	53,27	0,7165659	11,94	4,024
Weleda	8	31,39	0,4072731	21,69	7,31
Topsun	4	96,86	<i>Nicht auswertbar</i>	25,5	8,59

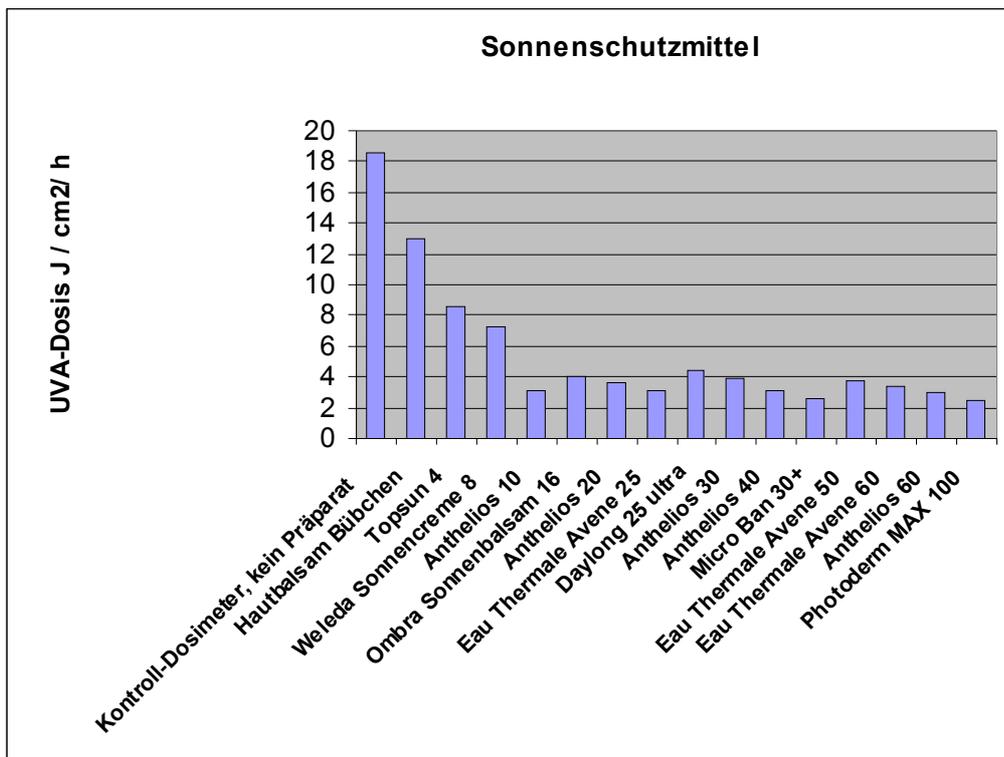
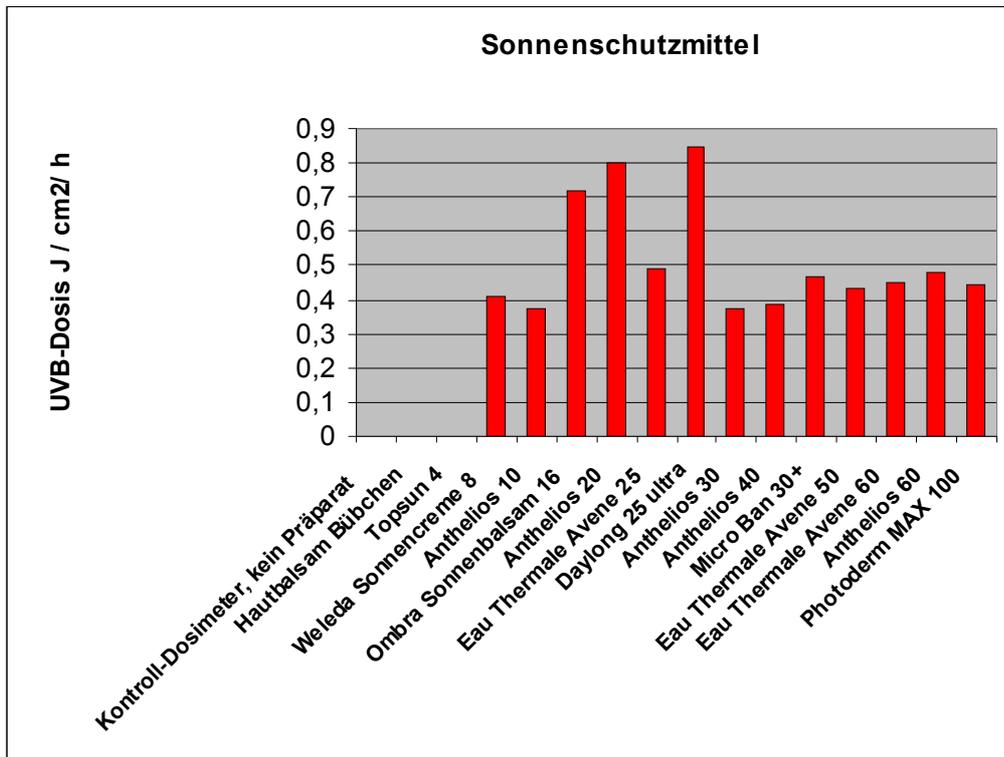


Abb. 21: Die mit Sonnenschutzpräparaten bzw. Cremes behandelten Dosimeter, nach UVB- "oben" und UVA-Exposition "unten". Nach der Bestrahlung der Dosimeter mit UVB "oben" zeigen das eine Kontrolldosimeter ohne Präparat, das mit Hautbalsam und Topsun SPF 4 behandelte Dosimeter prozentuale cUCA-Werte über 83,43%, die durch die UVB-Standardformel nicht auswertbar waren.

5. Diskussion

In den letzten Jahrzehnten zeigte sich eine starke Zunahme aller Hautkrebsformen v.a. des malignen Melanoms in der kaukasischen Bevölkerung der Industrieländer, wobei einer erhöhten UV-Exposition eine besondere Rolle zukommt. Die Menschen sind im Alltag auf diverse Art und Weise dem Sonnenlicht ausgesetzt. In dieser Studie untersuchten wir die UV-Belastung beim Aufenthalt im Freien im Rahmen der Freizeitaktivitäten an 6 Probandengruppen.

Kinder sind im Alltagsleben der UV-Strahlung der Sonne ausgesetzt. Starke Sonnenexposition in der Freizeit während der Kindheit und ein heller Hauttyp fanden sich mit dem Auftreten von Basaliomen assoziiert (*Gallagher et al., 1995*). Es gibt etliche Hinweise, dass die Sonnenexposition während der Kindheit und Jugendzeit eine wesentliche Rolle in der Genese der Hauttumoren, besonders des malignen Melanoms, spielen (*Moise et al., 1999*).

Zur Messung der UV-Exposition wurde ein tragbares, alltagstaugliches Personen-UV-Dosimeter eingesetzt, wobei sich das Messprinzip auf der Photoisomerisierung der t-UCA durch Sonnenlicht in die isomere c-UCA stützt. Die qualitative und quantitative Analytik dieser Umwandlung der Sensorsubstanz konnte durch "high performance liquid chromatography" (HPLC) durchgeführt werden.

Ein Vergleich der vorliegenden Ergebnisse von der UV-Belastung bei Freizeitaktivitäten mit anderen Studien ist insofern schwierig, da einerseits die Angaben in der Literatur über die Messung der UVB-Belastung meistens als MED angegeben werden und andererseits die UVA-Belastung nicht bzw. sehr selten berücksichtigt wurde.

5.1 UV-Belastung in Abhängigkeit unterschiedlicher Aktivitäten

Beim Vergleich der UVB-Strahlenbelastung zweier Kindergärten konnte beobachtet werden, dass im Kindergarten St. Anna im Mai eine UVB-Dosis zwischen 0,015 und höchstens 0,061 J/cm²/h und eine UVA-Dosis von 1,97-9,3 J/cm²/h nachweisbar waren, während im Kindergarten München im Juni UVB-Dosis-Werte zwischen 0,015 und 0,097 J/cm²/h und UVA-Dosis-Werte zwischen 1,86 und 15,16 J/cm²/h festgestellt wurden. Der Mittelwert der UVB-Dosis des Münchner Kindergartens lag bei 0,050 J/cm²/h und der des St. Anna-Kindergartens bei 0,033

J/cm²/h und der UVA-Dosis bei 7,5 bzw. 4,7 J/cm²/h. Hieraus ist zu entnehmen, dass die Kinder im Karlsfelder St. Anna-Kindergarten am 23.05.01 weniger UV-Strahlungsbelastung exponiert waren als die Kinder im Kindergarten München am 21.06.01.

An einer Studie von Garbe et al. (*Garbe et al., 1999*) nahmen Kinder im Alter von 9 Monaten bis 13 Jahren teil. Die Kinder trugen Sporenfilmdosimeter in Tübingen an einem sonnigen Sommertag im August 1997 in der Zeit von 8 bis 18 Uhr. Die UV-Exposition von Kindern unterschiedlicher Altersgruppen schwankte von 0,0025 bis 0,0375 J/cm²/Tag. Dieser maximale Wert kommt nicht einmal dem Mittelwert vom St. Anna-Kindergarten im Mai nahe. Während des Messzeitraumes lag die Umgebungsstrahlung bei 0,2675 J/cm²/Tag. Die relative Personendosis der Kinder betrug maximal 15%, durchschnittlich 7% der Umgebungsstrahlung. Ziel der Garbe-Studie war es, den Einsatz des neuartigen Dosimetersystems zu prüfen.

Die von uns gemessene UV-Einstrahlung während der (Mittags-)Pause in den Kindergärten liegt deutlich über der UV-Exposition der von Garbes untersuchten Kindern. Die Unterschiede der Messergebnisse sind am ehesten auf das Spielverhalten der Kinder zurückzuführen. Die in unserer Studie untersuchten Kinder hielten sich während der gesamten Untersuchung im Freien auf.

Bei einer Untersuchung an japanischen Schülern wurden die Unterschiede in der UV-Exposition weniger auf die geographisch bedingte Umgebungsstrahlung als vielmehr auf das Verhalten der Kinder zurückgeführt (*Munakata et al., 1998*). Garbe et al. verwendete in jener Untersuchung ein ganz anderes Dosimeter, das getrocknete Sporen eines mutanten Stammes von *Bacillus subtilis* enthielt. Die Proteine, die dann von den lebenden Bakterien synthetisiert wurden, wurden photometrisch quantifiziert.

In Australien wurden Schulkindern an zwei verschiedenen Orten an zwei aneinanderfolgenden Tagen im Februar 1997 in Toowoomba und Brisbane untersucht. Der höhere UVB-Level in Toowoomba könnte auf die geringere Luftverschmutzung im Vergleich zu der Industriestadt wie Brisbane zurückgeführt werden. Während die Kinder in Toowoomba eine UVB-Dosis, die durch Polysulfonfilmdosimeter gemessen wurde, von 0,06 J/cm² zeigten, konnte bei den Schülern in Brisbane eine UV-Dosis von 0,04 J/cm² an beiden Tagen festgestellt werden. Es wurde sogar die Dosis pro 30 Minuten bestimmt, wobei bei den Toowoomba-Schülern 0,014 und Brisbane-Schülern 0,012 J/cm² zu berechnen waren.

Die Schulkinder hatten laut dieser Studie Unterricht bis 15:00 Uhr mit einer Stunde Mittagspause. Allerdings wird nicht erwähnt, wie lang und wie diese Kinder ihre Mittagspause verbrachten. Sie waren im Alter zwischen 15 bis 16 in einer Privatschule (*Kimlin et al., 1998*).

Die Arbeit von Moise et al. befasste sich mit dem Durchschnittswert der täglichen 'erythemally-effective-Dosis' der Schulkinder einer 8. Klasse in Townsville in Australien während fünf Schultagen im Juli 1998. Es hat sich herausgestellt, dass über 47% der täglichen Gesamtdosis der Kinder in die Zeitspanne fielen, in der sich die Schulkinder im Freien in der Schule aufhielten. Bei den Kindern, die während der Pause keinen Schatten suchten, konnte der Durchschnittswert der Tagesdosis genauso hoch wie 14 SED (standard erythemal dose) sein, wobei 1 SED 0,01 J/cm² entspricht. Diese Kinder waren üblicherweise an Spielen wie Baseball oder Fußball beteiligt (*Moise et al., 1999*).

In einer amerikanischen Studie stellte sich heraus, dass die UV-Belastung der Mädchen im Alter zwischen 0-19 Jahren im Norden der USA im Mittel ca. 1,8 J/cm²/Jahr und der Jungen 2,1 J/cm²/Jahr ist, während die UV-Exposition der Mädchen im Süden der USA 2,4 und der Jungen 3,1 J/cm²/Jahr beträgt (*Godar, 2001*).

Die von uns untersuchten Segler zeigten eine mittlere UVB- Dosis von 0,0718 J/cm²/h. Diese wurde an einem sonnigen Tag im Mai gemessen. Die Ergebnisse von Herlihy et al. zeigten bei den von ihnen untersuchten Seglern eine MED von 2,26/h, wobei das 0,0452 J/cm²/h entspricht. Dieser Wert erfolgte aus dem Dosimeter, das auf dem Bootsdeck befestigt war, um die lokale Umgebungsstrahlung von UVB zu messen. Die anatomische Verteilung (Wange, Hand, Schulter, Rücken, Brust, Oberschenkel und Wade) der Sonneneinstrahlung lag zwischen ca. 0,011 J/cm²/h auf der Wange und 0,030 J/cm²/h auf der Schulter. In jener Studie waren die Freizeitaktivitäten wie Segeln und Tennis die mit der höchsten UV-Belastung, die die Autoren auf die unbeschattete Lokalisation zurückführten. Diese Arbeit wurde in Hobart Tasmania in Februar durchgeführt. Als Dosimeter wurden Polysulfon-Filmdosimeter verwendet (siehe 1.3).

Die Ergebnisse von Diffey und Larkö zeigten, dass die höchste UVB-Dosis die Probanden beim Sonnenbaden bekamen. An einem sonnigen Tag im Juli in Götheburg in Schweden waren die Personen-Dosis der Segler 0,013 J/cm², während einer Expositionszeit von 9:00-20:00 Uhr. Andererseits betrug die maximale UVB-Dosis beim Segeln, die durch ein Dosimeter an einer unbeschatteten horizontalen Oberfläche des

Booten angebracht war, $0,086 \text{ J/cm}^2$. Diese geringere Dosis ist am ehesten auf geographische Unterschiede zurückzuführen (*Diffey et al., 1982*).

In einer anderen Studie von Diffey und Larkö zeigte ein dreiwöchiges Segeln in Schweden eine UVB-Dosis von $0,2 \text{ J/cm}^2$ (*Larkö et al., 1983*).

Die höchste von uns berechnete UVB-Dosis lag bei ca. $0,11 \text{ J/cm}^2/\text{h}$. Die betroffenen Probanden waren entweder Tennisspieler oder Segler, obwohl der Mittelwert der UV-Dosis bei Probanden während des Sonnenbadens am höchsten war.

Die relativ geringere UV-Belastung der von uns untersuchten Segler gegenüber Tennisspielern und Probanden beim Baden ist am ehesten darauf zurückzuführen, dass die auf der Schulter der Segler befestigten UV-Sensoren wahrscheinlich durch das Segel oder die Kappen bzw. durch weitere Textilien der Segler beschattet worden sein könnten. Es ist schon längst bekannt, dass man bei den Wassersportlern durch UV-Reflexion auf dem Wasser mit mehr Strahlenbelastung rechnen müsste. In dieser Studie stellten aber die Segler in der Rangfolge der UV-Belastung die dritte Gruppe dar, die am meisten UV exponiert waren. Ein UV-Sensor, der zum Vergleich auf dem Hinterdeck des Motorbootes befestigt wurde, zeigte eine %UCA von 101. Dieser Wert konnte für die UVB-Dosis nicht umgerechnet werden, da dieser außerhalb der festgelegten Standardkurve lag. Dieses Motorboot war mit keinerlei Segel ausgerüstet gewesen, das Dosimeter war dadurch unbeschattet der Sonne ausgesetzt. Das kann ein Hinweis dafür sein, dass die Segelboote wenn auch nur in geringem Maße durch das Segel und andere Bootszubehörteile UV-Schutz bieten.

Die Untersuchung an den Tennisspielern wurde an einem sonnigen Junitag am frühen Nachmittag durchgeführt. Die UVB-Dosis lag bei maximal $0,11 \text{ J/cm}^2/\text{h}$ und der Mittelwert bei $0,080 \text{ J/cm}^2/\text{h}$.

Von Herlihy et al. wurde UV-Belastung beim Tennisspielen an zwei verschiedene Tagen, dem 1. und 2. Februar gemessen. Am ersten Tag zeigte das Dosimeter, das auf der Oberfläche des Tenniscourts angebracht war, fast dieselbe UVB-Dosis, die in einem australischen Strahlungslaboratorium durch ein „Datalogger-Netzwerk“ gemessen wurde, die $0,0538 \text{ J/cm}^2/\text{h}$ betrug. Es zeigte sich, dass bei den untersuchten anatomischen Körperteilen unterschiedliche UV-Expositionen nachgewiesen wurden. An den Schultern stellte man die höchste Bestrahlungsintensität mit $0,031 \text{ J/cm}^2/\text{h}$ fest. Die Messunterschiede bezüglich der UV-Einstrahlung an verschiedenen Körperseiten, können auf Verhaltensweisen und Bewegungen der

Probanden, auf Oberflächenreflexion der Dosimeter, der Boden- bzw. Wasserflächen oder andere Umweltbedingungen wie Schatten während der Untersuchungen zurückgeführt werden. Am zweiten Tag jener Studie zeigte das Dosimeter, das auf der Oberfläche des Tennisspielplatzes angebracht war, eine geringere UVB-Dosis, nämlich $0,044 \text{ J/cm}^2/\text{h}$, als die von „Ambient-Datalogger“ gemessene Dosis $0,051 \text{ J/cm}^2/\text{h}$. Das weist daraufhin, dass die Oberfläche des Dosimeters gewisse Schatten während der Untersuchung erhielt.

An den Schultern zeigte sich im Vergleich zu anderen Körperteilen die höchste Dosis von $0,033 \text{ J/cm}^2/\text{h}$. Die auf der Oberfläche des Tennisplatzes gemessene Dosis war am ersten Tag etwas höher als die des zweiten Tages, da die Aktivität am ersten Tag um die Mittagszeit stattfand, während die Untersuchung am zweiten Tag entweder in den frühen Morgenstunden oder am späten Nachmittag durchgeführt wurde (*Herlihy et al., 1994*).

Die in unserer Arbeit untersuchten Tennisspieler spielten in frühen Nachmittagstunden um 14:40 Uhr. Während des Experimentes auf dem Tennisplatz gab es keinerlei Schatten.

Für die Probandengruppe „Fußballspielern“ war eine Vergleichstudie in der Literatur nicht auffindbar. Die 4 Fußballer verloren leider ihre UV-Sensoren. Die mittlere UVB-Dosis dieser Spieler lag bei $0,028 \text{ J/cm}^2/\text{h}$. Sie spielten an einem bewölkten Sonntag im Mai am späten Vormittag, wobei es während der letzten Viertelstunde des Spiels sonnig wurde. In unserer Studie war diese Gruppe die mit der geringsten UV-Belastung. Die von Moehrle untersuchten Triathleten mit Bacillus subtilis Sporendosimeter in Hawaii im Jahr 1999 zeigten eine mittlere UV-Expositionsdosis zwischen $0,0324$ und $0,02 \text{ J/cm}^2/\text{h}$ während des Radfahrens (180,2 km) und Marathonlaufes (*Moehrle 2000*). Während des Schwimmens war die UV-Exposition aufgrund der Bedeckung der Sensoren durch den Badeanzug begrenzt.

In einer Studie von Verdaguer-Codina (*Verdaguer-Codina J., 1994*) wurde die UV-Exposition von Marathonläufern in Barcelona und Madrid mittels eines Polysulphon-Dosimeters untersucht. Da in dieser Studie die Läufer den Hauttypen III oder IV angehörten, war ihr UV-Dosis ungefähr zwischen $0,036$ und $0,078 \text{ J/cm}^2$. In den Messungen ergaben sich dann mittlere Strahlenbelastungen zwischen $0,25$ und $0,112 \text{ J/cm}^2$. Die meisten der Läufer erreichten eine Laufzeit zwischen 2 Stunden und 34 Minuten und 3 Stunden und 33 Minuten. Eine genauere

Angabe der Zeit kann man aus dieser Arbeit nicht entnehmen. Höchstwahrscheinlich gelten die Dosen für den gesamten Marathonlauf, der ca. 3-4 Stunden beträgt.

Eine weitere Arbeit von Moehrle über die extreme UV-Exposition der Profi-Radfahrer während der „Toure de Suisse“ im Juni 1998 mittels Bacillus subtilis Sporenfilm dosimeter zeigte eine mittlere tägliche UV-Dosis von $0,2025 \text{ J/cm}^2$, die einer Dosis von $0,04 \text{ J/cm}^2/\text{h}$ entspricht. Eine Dosis von $0,43 \text{ J/cm}^2$ konnte während der Bergstrecke und $0,005 \text{ J/cm}^2$ während der Vorläufe nachgewiesen werden. Diese höhere UV-Dosis bei der Bergetappe ist auf die höhenbedingte Zunahme der Strahlung zurückzuführen (Moehrle et al., 2000).

Die Probandengruppe „Gäste beim Grillfest“ zeigte eine mittlere UVB-Dosis von $0,064 \text{ J/cm}^2/\text{h}$.

Das Experiment wurde Ende Mai am frühen sonnigen Nachmittag durchgeführt.

Die Golfspieler beispielsweise, zum Vergleich, wurden von Herlihy et al. untersucht. Die Dosimeter, die an den Schultern der Spieler angebracht worden waren, zeigten eine UVB-Dosis von $0,0344 \text{ J/cm}^2/\text{h}$. Der Golfplatz war gut mit Bäumen bewachsen. Die tatsächliche UV-Strahlung ist ein Produkt von der Dosis und der Aktivitätsdauer. In dieser Untersuchung fand der Golfkurs in einer zum Teil beschatteter Umgebung jedoch mit langer Dauer statt (Herlihy et al., 1994).

Das macht offensichtlich die Hälfte der UVB-Dosis im Vergleich zu unseren Probanden beim Grillfest aus.

Unsere 6. Probandengruppe war hier die mit höchster UV-Belastung. Diese Probanden einer Familie beim Sonnenbaden an einem bayerischen See Ende Mai an einem wolkenlosen Tag genau um die Mittagszeit zeigten eine mittlere UVB-Belastung $0,095 \text{ J/cm}^2/\text{h}$. Die Probanden trugen bis auf Badekleidung und Sonnencremes keine weitere Schutzausrüstung. An diesem Ort gab es keine schattigen Flächen.

Auch in der Arbeit von Diffey und Larkö erhielten die Personen beim Sonnenbaden die höchste Sonneneinstrahlung. Im September in Corfu um die Mittagszeit betrug diese $0,0178 \text{ J/cm}^2/\text{h}$. Als Personendosimeter wurden Polymerfilm-Polysulfone verwendet. Das Wetter war neblig aber wolkenlos. Die maximale UVB-Dosis, die eine unbeschattete horizontale Oberfläche in solcher Situation in Corfu wie beim Sonnenbaden erhalten könnte, betrug $0,026 \text{ J/cm}^2/\text{h}$. Diese Dosis ist deutlich geringer als die Dosis, der sich unsere Probanden beim Sonnenbaden dem Sonnenlicht aussetzten. Die verschiedene Jahreszeit und das neblige Wetter in Corfu spielen höchstwahrscheinlich eine sehr

große Rolle (*Diffey et al., 1982*). Diese unterschiedlichen Bedingungen trugen zur geringeren UV-Belastung jener Probanden im Vergleich zu unseren bei. Diese Unterschiede der Messungen zwischen diesen Experimenten können u.a. den Unterschieden in den Expositions- und Umweltbedingungen zugeordnet werden.

Die Studie von Herlihy et al. zeigte bei der Untersuchung der Schwimmer, die in einem „open-air“-Schwimmbecken stattfand, dass an den Schultern der Probanden eine UV-Dosis von $0,042 \text{ J/cm}^2/\text{h}$ gemessen werden konnte. Allerdings stellte sich heraus, dass das Dosimeter, das am Rande des Schwimmbeckens befestigt war, vermutlich deutliche Schatten erhalten haben muss, da dessen Dosis $0,0284 \text{ J/cm}^2/\text{h}$ betrug (*Herlihy et al., 1994*).

Unsere Untersuchungen an den Seglern und Probanden beim Baden am See sind am 26.05.01 bzw. 27.05.01 an sonnigen, wolkenlosen Tagen durchgeführt worden. Die Tennisspieler wurden ca. 1 Monat später im Hochsommer am 20.06.01 untersucht. Des weiteren ist zu erwähnen, dass die Expositionen der Segler am Vormittag zwischen 9:56 und 11:20 Uhr, die der Tennisspieler am frühen Nachmittag zwischen 14:40 und 15:48 Uhr und die der Familie beim Sonnenbaden am Mittag zwischen 12:15 und 13:15 durchgeführt wurden.

Die von Moehrle et al. (*Moehrle et al., 1999*) untersuchten Bademeister eines Freibades, Bergführer und Skilehrer zeigten unterschiedliche MED-Werte.

Während bei unserer Untersuchung der Mittelwert der UV-Dosis beim Baden am See am höchsten war, ist der Mittelwert der Strahlenbelastung der Bademeister bei Moehrle geringer als die zwei anderen Vergleichsgruppen. Allerdings lag der Mittelwert der UV-Dosis der Bademeister bei $0,1475 \text{ J/cm}^2/\text{täglich}$ (maximal bei $0,2375 \text{ J/cm}^2/\text{täglich}$) und die der Skilehrer bei $0,1525 \text{ J/cm}^2/\text{täglich}$ (maximal $0,22 \text{ J/cm}^2/\text{täglich}$). Die mittlere UV-Dosis bei den Bergführern in den Alpen betrug $0,298 \text{ J/cm}^2/\text{täglich}$. Das Bergführen und Skifahren gehören zu den Freizeitaktivitäten, die aufgrund der Meereshöhe und der Reflexion von Eis und Schnee am meisten den UV-Strahlen ausgesetzt sind.

5.2 UV-Protektion durch Sonnenschutzmittel

Bezüglich der Sonnenschutzpräparate gibt es derzeit keine behördlich anerkannte In-vivo-Methode. Die heute verwendeten Meßmethoden haben keinen relevanten biologischen Endpunkt und sind in der Methodik nicht normiert (*Pflugshaupt, 1997*).

Bei den vorliegenden Untersuchungen mit den Sonnenschutzmitteln konnte beobachtet werden, dass bei den UV-Sensoren, die mit Topsun 4, Hautbalsam Bübchen oder ohne Präparat behandelt waren, die höchsten % c-UCA-Werte für UVB und UVA nachgewiesen werden konnten.

Im Unterschied dazu zeigten die Sonnenschutzmittel Anthelios mit SPF 10, 30 und 40 die niedrigste UVB-Dosis von ca. 0,37-0,38 J/cm²/h. Anthelios mit SPF 20 zeigte paradoxerweise eine UVB-Dosis von ca. 0,80 J/cm²/h. Das Sonnenschutzmittel Daylong 25 ultra zeigte eine UVB-Dosis von ca. 0,84 J/cm²/h. Bei dem Sonnenschutzmittel Ombra Sonnenbalsam mit SPF16 zeigte sich eine UVB-Dosis von 0,71 J/cm²/h.

Bei den restlichen Sonnenschutzmitteln wie Anthelios mit SPF von 60, Eau thermale Avenda mit SPF 25, 50, 60, Micro Ban 30⁺, Photoderm MAX 100 konnte eine UVB-Dosis zwischen ca. 0,43 bis 0,48 J/cm²/h beobachtet werden. Beim Kontroll-Dosimeter ohne Präparat stellte sich eine UVB-Dosis von 2,011 J/cm²/h heraus. Bemerkenswert ist, dass das Sonnenschutzmittel Weleda mit SPF 8 eine geringe UVB-Dosis von 0,40 J/cm²/h zeigte.

Bei den untersuchten Sonnenschutzmitteln ließen sich somit bezüglich des Sonnenschutzes keine großen Unterschiede nachweisen, wobei die zugrunde liegenden Ursachen nicht bekannt sind.

Alle Dosimeter wurden mit gleicher Menge des Sonnenschutzmittels (5 mg) behandelt, da die Dicke und die Gleichmäßigkeit des Auftragens eine bedeutende Rolle spielen kann.

In einer aktuellen Untersuchung weichen die Resultate der Untersuchungen der Sonnenschutzmittel mit höherem SPF von den gekennzeichneten SPF der Präparate ab (*Lott et al., 2003*).

In-vitro wurden die Sonnenschutzmittel verschiedener SPF auf Gleichmäßigkeit der Applikation untersucht. Dabei zeigte sich, dass es eine signifikante Variabilität der Tests gab, obwohl sie von verschiedenen Laboratorien sogar unter optimalen Bedingungen durch erfahrenen Laboranten durchgeführt wurden. Die durchschnittliche prozentuale Standardabweichung betrug 18,6%, und variierte zwischen 10-40% (*Lott et al., 2003*).

Die niedrigste UVA-Dosis zeigte die Sonnencreme Photoderm MAX 100 mit einem Wert von ca. 2,5 J/cm²/h. Die Weleda Sonnenschutzcreme SPF 8 und Topsun mit SPF 4 waren diejenigen Präparaten mit dem geringsten UVA-Schutz. Die UVA-Dosis lag bei 7,31 bzw. 8,59 J/cm²/h. Bei den restlichen Zubereitungen mit SPF konnte eine UVA-Dosis zwischen 2,5 und 4,385 J/cm²/h gemessen werden.

Es gibt zahlreiche Gründe, die für die klinische Relevanz der UVA-Exposition sprechen. Ungefähr 20-mal mehr UVA als UVB erreicht die Dermis und somit auch die schnell wachsende Basalschicht der Epidermis. Die optischen und physikalischen Eigenschaften der UVA erklären diese hohe Eindringtiefe.

Darüber hinaus liegt das klinische Spektrum für fast alle phototoxischen Reaktionen und viele Photodermatosen im UVA-Wellenlängenbereich. Die Sonnenschutzfaktoren (SPF) geben die Fähigkeit eines Produktes, überwiegend UVB-Strahlung zu blockieren, wieder. Ein ausgezeichneter Sonnenschutz beinhaltet UVA und UVB-Protektion (*Scherschun et al., 2001*).

Den geringsten UVB-Schutz wiesen dagegen Anthelios 20, Daylong 25 ultra und Ombra Sonnenbalsam 16 auf. Natürlich zeigten die Cremes ohne SPF wie z.B. Hautbalsam Bübchen, die zum Vergleich untersucht worden waren, eine deutlich höhere UV-Dosis.

Eine geringere UV-Dosis bedeutet ein höherer Schutz des jeweiligen Sonnenschutzmittels und umgekehrt.

Der Grund dafür, dass die Sonnencremes ihre Aufgabe nicht ganz erfüllen können, liegt meistens daran, dass sie oft nicht dick genug aufgetragen werden, um den entsprechenden SPF zu erreichen. Eine Abnahme des Schutzfaktors kann darüber hinaus auch durch Umweltfaktoren wie z.B. Schwitzen, Wasser und Reiben erfolgen (*Wolf et al., 2001*).

Die von Autier et al. untersuchten Probanden, die Sonnenschutzmittel mit SPF 30 verwendeten, hielten sich 25% länger in der Sonne, z.B. beim Sonnenbaden, auf als die anderen Vergleichsprobanden, die eine Creme mit SPF 10 auftrugen. Während die Damen der Probandengruppe mit SPF 30 mehr dazu tendierten in den ersten Urlaubstagen mit nackter Brust zu sonnen, warteten die Frauen in der zweiten Probandengruppe mit SPF 10 eine Woche länger, ihre Brüste der Sonne zu exponieren (*Autier et al., 1999*).

In jüngster Zeit wurde das Konzept der Nützlichkeit, Relevanz und der Methode des SPF streng unter die Lupe genommen. Die Hauptkritik zielte auf empfohlene Menge von Sonnenschutzmittel-Produkten, die aufgetragen werden sollten, wobei diese bei $2 \mu\text{l} / \text{cm}^2$ lag. Für einen ca. 70 kg schweren Mensch bedeutet das, dass er mindestens 25g des Produktes benötigt, um das gesamte Integument (Körperoberfläche) einzucremen. Zahlreiche Studien konnten feststellen, dass die Verbraucher ungefähr ein Viertel bis die Hälfte dieser Menge benutzten. Da die Auftragdicke der Sonnencreme für den Grad der Photoprotektion entscheidend ist, ist der gekennzeichnete SPF höher als der wirkliche Schutzgrad, den das Produkt gewährleisten soll. Es scheint, dass der Verbraucher bezüglich des Ausmaßes der Sonnenprotektion in einer irreführenden Lage ist. Nach Ansicht der Dermatologen sollten die Hersteller die Sonnenschutzmittel mit einer Auftragdicke von z.B. $0,5\text{-}1 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ testen. Diese käme der Anwendung durch die Verbraucher unter Realbedingungen wesentlich näher gleich (*Wolf et al., 2001*).

Bis ein ideales System zur Bestimmung des kompletten Sonnenschutzes definiert werden kann, sollte photobiologische Forschung fortgeführt werden. In der Zwischenzeit sind die Information und Aufklärung der Patienten und Verbraucher in Bezug auf UV-induzierte Hauttumoren und richtigen Umgang mit der Sonne weiterzuführen. Die Öffentlichkeit ist zu schulen, dass eine gesunde und gleichzeitig sonnengebräunte Haut nicht existiert.

Die epidemiologisch effektivsten Methoden des UV-Schutzes sind das Meiden der Sonne, sowie die Nutzung der physikalischen Mittel, insbesondere des textilen Sonnenschutzes und die tägliche Anwendung von Sonnenschutzmitteln. Eine tägliche Anwendung der Sonnenschutzmittel allein garantiert jedoch keinen kompletten Schutz gegenüber UV-Strahlung. Neuere Studien zeigen, dass leichte Sommerstoffe durchlässig für UV-Strahlen sein können. Viele Stoffeigenschaften sind sogar von ihrem Feuchtigkeitsgehalt bzw. Quellungszustand abhängig. Mit steigender Luftfeuchtigkeit wird bei einigen Stoffen ein Anstieg des UV-Schutzfaktors beobachtet (*Hoffman et al., 1998*).

Auf den Freiflächen der Sportstätten sollte durch Bepflanzung oder andere geeignete Maßnahmen mindestens ein Viertel der Flächen beschattet sein. Die im Freien gelegenen Spielareale im Kindergarten, besonders Sandkästen sollten in den Sommermonaten durch Laubschatten oder andere Vorrichtungen abgeschattet sein (*Kölmel K. F., 1998*).

6. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die für ein Individuum relevante UV-Dosis bei verschiedenen Freizeitaktivitäten mittels eines Dosimeters gemessen. Darüber hinaus wurden verschiedene Sonnenschutzmittel mit unterschiedlichen Lichtschutzfaktoren in Bezug auf ihren UV-Schutz untersucht.

In der Reihenfolge höherer UVA- und UVB-Strahlenbelastung waren die Fußballspieler einer Dosis von 3,9 und 0,028 J/cm²/h, Kinder während der Pause im Kindergarten St. Anna einer Dosis von 4,7 und 0,033 J/cm²/h, Kinder in einem Münchener Kindergarten einer Dosis von 7,5 und 0,052 J/cm²/h, Gäste beim Grillfest einer Dosis von 9,4 und 0,064 J/cm²/h, Segler einer Dosis von 11,15 und 0,71 J/cm²/h, Tennisspieler einer Dosis von 12,4 und 0,08 J/cm²/h und die Probanden beim Sonnenbaden einer Dosis von 14,7 und 0,095 J/cm²/h ausgesetzt.

Der Einsatz textilen Lichtschutzes erfolgte sehr unterschiedlich. Es konnte beobachtet werden, dass das Tragen einer Kappe beim Tennisspielen beispielsweise keine Pflicht war, die Kinder im Kindergarten bis auf normale Textilien keinen weiteren Sonnenschutz benutzten. Die Segler waren im Gegensatz bezüglich Sonnenschutzes sehr gut ausgerüstet, fast jeder Teilnehmer z.B. trug eine Kappe und eine Segeljacke.

Die Untersuchung mit den Sonnenschutzmitteln zeigte, dass den größten UVB-Schutz Anthelios-Präparate mit SPF 10, 30 und 40 bieten. Allerdings zeigten sich Unterschiede zwischen den Herstellern, die die Sonnenschutzmittel produzieren. Die Sonnencreme Eau Thermale Avena mit SPF 25 bietet beispielsweise nach unserer Studie einen besseren UV-Schutz als Anthelios mit SPF 20. Eine Ausnahme zeigte Weleda mit SPF 8, das über einen ähnlich guten UVB-Schutz wie andere Sonnenschutzmittel mit höherer SPF verfügte. Den besten UVA-Schutz konnte in unserer Arbeit bei Photoderm Max 100 gefolgt von Micro Ban 30+ beobachtet werden. Den geringsten UVA-Schutz konnte erwartungsgemäß bei Top Sun 4 festgestellt werden. Insgesamt gab es bezüglich des UV-Schutzes zwischen den untersuchten Präparaten keine größeren Unterschiede, ohne dass die Gründe hierfür im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen verarbeitet werden konnten.

Mit einer Verhaltensänderung der Bevölkerung kann man erst in längerfristigen Zeiträumen rechnen. Das Wissen über die Risiken und

Gefahren von UV-Strahlung in der Bevölkerung ist hoch, was jedoch bislang weder in einer Einstellung- noch in einer Verhaltensänderung resultierte. Aus diesem Grund sind weiterhin regelmäßige Aufklärungskampagnen zu fordern.

7. Literaturverzeichnis:

Autrier P, Dore J F, Negrier S (1999) Sunscreen use and duration of sun exposure: a double-blind, randomized trial. *J Natl Cancer Inst* 91:1304-1309

Blum A, Garbe C, Rassner G (1998) *Hautarzt* 49:826-834

Cole C (1994) Multicenter evaluation of sunscreen UVA protectiveness with the protection factor test method. *J Am Acad Dermatol* 30:729-36

Diffey B (2001) Sunscreen isn't enough. *J Photochem Photobiol B, Biol* 64 :105-108

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

Donawho C, Wolf P (1996) Sunburn, sunscreen and melanoma. *Cur Opin Oncol* 8:159-166

Fahr E (1979) Die molekularen Ursachen der durch UV-Strahlung ausgelösten biologischen Wirkungen. *Pharm Ztg* 48:2464-2472

Fischer G J, Sewon K, Verani J, Bata-Csorgo Z (2002) Mechanisms of photoaging and chronological skin aging. *Arch Dermatol* 138: 1462-1470

Friedmann PS, Gilchrest BA (1987). UV radiation directly induces pigment production by cultured human melanozytes. *J Cell Phys* 133: 88-94

Gallagher RP, Hill GB, Bajdik CD (1995) Sunlight exposure, pigmentary factors, and risk of non-melanocytic skin cancer. I. Basall cell carcinoma. *Arch Dermatol* 131:157-163

Garbe C (1997) Epidemiologie des Hautkrebses. *Dermatol Onk* 40-56

Garbe C (1992) Sonne und malignes Melanom. *Hautarzt* 43:251-257

Garbe C, Moehrle M (1999) Personenbezogene Dosimetrie ultravioletter Strahlung bei Kindern. *Z Hautkr* 10: 551-554

Gawkrodger D (1995) Lichtalterung und Sonnenexposition. *Dermatologie Lehrbuch* 96-97

Gies HP, Roy CR, Tommey S, Mac Lennan R, Watson M (1995) Solar UVR exposures of three groups of outdoor workers on the sunshine coast, Queensland. *Photochem Photobiol* 62:1015-1021

Godar D E (2001) UV doses of American children and adolescents. *Photochem Photobiol* 74:787-793

Hadshiew I M (2002) Photoprotektive Mechanismen in menschlicher Haut, Modulation durch Oligonukleotide. *Hautarzt* 53:167-173

Heinrich U (1988) Sonnenschutz der Haut durch Carotinoide. *Pharma Ztg* 143: 1140-1141

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

Hermann K (2000) Tragbares Personen UV-Dosimeter (UV-Sensor). *Analytical Biotechnologies*: 1-9

Hermann K, Abeck D (2001) Analysis of histidine and urocanic acid isomers by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr B* 750: 71-80

Hoffmann K, Hoffmann A, Hanke D, Böhringer B, Schindling G et al. (1998) Sonnenschutz durch optimierte Stoffe. *Hautarzt* 49:10-16

Holman C D J, Gibson I M, Stephenson M and Armstrong B K (1983) Ultraviolet irradiation of human body sites in relation to occupation and outdoor activity, field study using personal UVR dosimeters. *Clin Exp Dermatol* 8: 269-277

Jaffe M (1874) Concerning a new constituent of the urine of dogs. *Deut Chem Ges, Berichte* 7:1667-1669

Jaffe M (1975) Concerning urocanic acid. Deut Chem Ges, Berichte 8:811-813

Kimblin M, Parisis A, Wong J (1998) Quantification of personal solar UV-exposure of outdoor workers, indoor workers and adolescents at two locations in Southeast Queensland. Photoderm Photoimmunol Photomed 14:7-11

Kindl G, Raab W (1998) Licht und Haut-Bräunung, Lichtschutz, Pflege- Ein Leitfaden für die Beratung in der Praxis. 4. Auflage

Kippenhahn R (1992) Die Sonne, der Stern, von dem wir leben. „Den Geheimnissen der Sonne auf der Spur“ Deutsche Verlagsanstalt: 1-20

Kobayashi N, Muramatsu T, Yamashine Y, Shirai T, Ohnishi T et al. (1993) Melanin reduces ultraviolet-induced DNA-damage formation and killing rate in cultured human melanoma cells. J Invest Dermatol 101: 685-689

Kochevar IE (1992) Acute effects of UV radiation on skin. In: Holick MF, Kligman AM, (eds) Biological effects of light. Berlin: Walter de Gruyter 3-10

Koh HK, Norton LA, Geller AC, Sun T, Rigel DS et al. (1996) Evaluation of the American academy of dermatology , national skin cancer early detection and screening program. J Am Acad Dermatol 34: 971-978

Kölmel KF (1998) Lichtschutz-Melanomprävention als kinderärztliche Aufgabe. Monatsschr Kinderheilkd 146:695-701

Krins A, Burger Peter M, Dörschel B, Knuschke P (1999) Hautarzt 50: 701-705

Krinsky N J (1994) The biological properties of carotinoids. Pure & Appl Chem 66 :1003-1010

Krutmann J (2002) Effektiver Hautschutz auf molekularer Ebene. Der Deutsche Dermatologe :472

Larkö O, Diffey BL (1983) Natural UVB-radiation received by people with outdoor, indoor, and mixed occupations and UV-B treatment of psoriasis. *Clin Exp Derm* 8: 279-285

Lehmann P, Fritsch C, Neumann N J (2000) Photodiagnostische Testverfahren, Photoprovokationstestungen. *Hautarzt* 51:449-459

Livden J K, Bjerke J R, Degre & R. Matre (1987) Effect of UV radiation on interferon, immunoglobulins and complement components in serum from healthy individuals. *Photodermatol* 4: 296-301

Lott D L, Stanfield J, Sayre R M, Dowdry J C (2003) Uniformity of sunscreen product application: a problem in testing, a problem for consumers. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 19:17-20

Medicine-Worldwide (2003) Strahlenbelastung durch Ultraviolette (UV) Strahlung. A Med-World AG, Aktiengesellschaft zur Darstellung von Medizin und Gesundheit im Internet:1-9

Moehrle M, Heinrich L, Schmid A, Garbe C (2000) Extreme UV exposure of professional cyclists. *Dermatol* 201:44-45

Moehrle M (2001) Ultraviolet exposure in the Ironman triathlon. *Med. Sci Sports Exerc* 8: 1385-1386

Moehrle M, Korn M, Garbe C (2000) Bacillus subtilis spore film dosimeters in personal dosimetry for occupational solar ultraviolet exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 73: 575-580

Moehrle M, Garbe C (2000) Personal UV dosimetry by Bacillus subtilis spore films. *Dermatol* 200:1-5

Moehrle M, Garbe C (1999) Personenbezogene Dosimetrie ultravioletter Strahlung bei Kindern. *Z Hautkr.* 10 551-554

Moise A F, Buttner P G, Harrison S L (1999) Sun exposure at school. *Photochem Photobiol* 1999; 70:269-274

Morrison H (1985) Photochemistry and photobiology of urocanic acid. *Photoderm* 2: 158-165

- Munakata N, Ono M, Watanabe S (1998) Monitoring of solar-UV-exposure among school children in five Japanese cities using spore dosimeter and UV-coloring labels. *Jpn J Cancer Res* 89: 235-245
- Murphy G, Young A R, Wulf H C (2001) The molecular determinants of sunburn cell formation. *Exp Dermatol* 10: 155-160
- Noris PG, Gange RW, Hawk JLM (1993) Acute effects of ultraviolet radiation on the skin. *Dermatol General Med* 4:1651-1658
- Olivarius FF, Wulf H C, Crosby J, Norval M (1996) The sunscreening effect of urocanic acid. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 12: 95-99
- Pflugshaupt C (1997) Pharmazeutische Charakterisierung von Sonnenschutzpräparaten. *Apoth J* 19: 46-47
- Savin JA, Hunter JAA, Hepburn NC (2000) Reaktionen auf Licht. Hautsymptome, Differentialdiagnostischer Atlas: 192-196
- Scherschun L, Lim H W (2001) Photoprotection by sunscreen, current opinion. *Am J Clin Dermatol* 2:131-134
- Schrader K (2001) Sonnenschutz und Sonnenschutzmittel: Die Sonnenschutzfaktorbestimmung. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*: 457-462
- Schubert J (2000) Basaliome. *Mund Kiefer Gesichts Chir* 4:169-176
- Spier H, Pascher G (1959) Die wasserlöslichen Bestandteile der peripheren Hornschicht. Quantitative Analysen. *Arch Clin Exp Dermatol* 209:181-193
- Stick C, Pielke L (1997) Ultraviolette Sonnenstrahlung und Sonnenbrandgefahr. *Akt Dermatol* 23 : 328-332
- Tabachnik J (1957) Urocanic acid, the major acid soluble, ultraviolet absorbing compound in guinea pig epidermis. *Arch Biochem* 70:295-297

Uksila J, Laihia JK, Jansen CT (1994) Trans-urocanic acid, a natural epidermal constituent, inhibits human natural killer cell activity in vitro. *Exp Dermatol* 3: 61-65

Verdaguer-Codina J, Pujol P, De Cabo X, Coll J, Trullas C et al.(1994) Ultraviolet skin exposure in marathon runners. *Sports Med Training and Rehab* 5: 211-222

Wallenfang K, Stadler R (2001) Assoziation zwischen UVA₁ bzw. Bade-PUVA-Bestrahlung und Melanomentwicklung? *Hautarzt* 52: 705-707

Wolf R, Wolf D, Pierfrancesco M, Ruocco V (2001) Sunscreen. *Clin Dermatol* 19:452-459

Wolf E, Rödermark (2001) Sonnenschutz zum Anziehen. *Pharm Ztg* 146: 54-56

Zenisek A (1953) The occurrence of urocanic acid in sweat. *Biochim Biophys Acta* 12:479

Zölzer F, Kiefer J (1989) Zelluläre Wirkungen der ultravioletten Komponente des Sonnenlichtes. *Naturwissenschaften* 76:489-495

Danksagung

Herr Prof. Dr. Dietrich Abeck gab mir in vielen Gesprächen wichtige Hinweise und wertvolle Anregungen.

Herr Dr. Klaus Herrmann stellte mir die gesamten Materialien und Geräte zur Verfügung und unterstützte mich mit großem Engagement bei der Auswertung der Experimente.

Frau Johanna Grosch teilte mir freundlichst nützliche Tipps mit.

Herr Roland Denk, Leiter des Segelzentrums der Münchner Hochschule, ermöglichte mir die Durchführung der Untersuchung an den Segler.

Die Probanden im Kindergarten St. Anna und München, in der Tennisanlage vom Sportscheck und im Fußballverein Stadtwerke-München waren sehr kooperativ und hilfsbereit.

Ihnen sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt.