

Abteilung für Physiologie und Biophysik

Veterinärmedizinische Universität Wien

Abteilungsleitung: Univ. – Prof. Dr. med. Elena E. Pohl

**Sonnenschutz bei TierpflegerInnen
und TierärztInnen – Kopfbedeckungen**

Diplomarbeit

Zur Erlangung der Würde eines
Magister Medicinae Veterinariae der
Veterinärmedizinischen Universität Wien

vorgelegt von

Andreas Mekyna

Wien, 08.07.2025

Betreuer: Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Alois Schmalwieser

Abteilung für Physiologie und Biophysik

Veterinärmedizinische Universität Wien

Begutachter: Dipl. Tzt. Christian Knecht

Klinisches Zentrum für Populationsmedizin Fisch, Schwein und Geflügel

Veterinärmedizinische Universität Wien

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle übernommenen Textstellen aus fremden Quellen wurden kenntlich gemacht.

Ich habe die entscheidenden Arbeiten selbst durchgeführt und alle zuarbeitend Tätigen mit ihrem Beitrag zur Arbeit angeführt.

Die vorliegende Arbeit wurde nicht an anderer Stelle eingereicht oder veröffentlicht.

Wien, den 08.07.2025



Mekyna Andreas

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Studie wurde untersucht, welche Art von Kopfbedeckung für TierpflegerInnen und TierärztInnen bei Tätigkeiten im Freien den besten Schutz vor ultravioletter (UV) Strahlung bietet. Angesichts steigender Hautkrebserkrankungen, insbesondere durch chronische UV-Belastung an den dauerexponierten Bereichen des Körpers – wie z.B. dem Gesicht, dem Hals und dem Nacken – ist der Sonnenschutz auch im beruflichen Alltag ein wichtiges Thema.

Zur Messung der Schutzwirkung wurden 24 unterschiedliche Kopfbedeckungen mithilfe einer lebensgroßen Schaufensterpuppe und 21 UV-Messgeräten (SunSaver) unter realitätsnahen Bedingungen untersucht. Die Messungen fanden im Zeitraum von Juni bis Juli 2024, jeweils von etwa 07:00 bis 13:00 Uhr und bei Sonnenhöhen von ca. 20° bis 65° statt. Bewertet wurde der Hutschutzfaktor (HPF) sowie das Exposure Ratio to Ambient (ERTA). Der HPF ist vergleichbar mit dem UV-Schutzfaktor (UPF) für Textilien und dem Lichtschutzfaktor (LSF) von Sonnencremes. Er wird ebenfalls mit einem Maximalwert von 80 angegeben, bezieht sich jedoch nicht nur auf die Schutzwirkung eines Stoffes, sondern auch auf den Schattenwurf auf die vom Hut geschützten Körperbereiche.

Kopfbedeckungen mit integriertem Gesichts- und Nackenschutz (Nr. 3 und Nr. 17) erreichten die höchsten Schutzwerte (HPF > 40). Klassische Hüte, Baseballkappen oder Bauhelme ohne Zusatzmodul, wie z.B. einen Helm Liner, boten nur einen unzureichenden Schutz (HPF teilweise < 10).

Es zeigt sich, dass Kopfbedeckungen mit breiter umlaufender Krempe sowie Gesichts- und Nackenschutz den besten Schutz vor ultravioletter Strahlung bieten. Die Messergebnisse liefern eine fundierte Grundlage für Präventionsmaßnahmen und Arbeitsschutzrichtlinien. Zudem sollten Sonnenschutzmittel wie UV-Schutzkleidung und Sonnencremes mit hohem Lichtschutzfaktor (LSF) Teil eines umfassenden Schutzkonzepts sein, um das Risiko vor UV-bedingten Hauterkrankungen wie Hautkrebs wirksam zu reduzieren.

ABSTRACT

This study investigated which type of headgear offers the best protection against ultraviolet (UV) radiation for veterinarians and animal caretakers when working outdoors. In view of increasing skin cancers, especially due to chronic UV exposure on permanently exposed areas of the body – such as the face and neck – preventive sun protection plays a vital role in occupational health.

To measure the protective effect, 24 different types of headgear were tested under realistic conditions using a life-sized mannequin and 21 UV measuring devices (SunSaver). The measurements were conducted from June to July 2024, between 07:00 AM and 13:00 PM, with solar altitudes ranging from 20° to 65°. The hat protection factor (HPF) and the exposure ratio to ambient (ERTA) were assessed. HPF is comparable to the UV protection factor (UPF) for textiles and the sun protection factor (SPF) of sunscreens. It is also given with a maximum value of 80, but refers not only to the protective effect of a fabric, but also to the shadows cast on the parts of the body protected by the hat.

Headgear with integrated face and neck protection (e.g. No. 3 and No. 17) achieved the highest protection values (HPF > 40). Classic hats, baseball caps or construction helmets without an additional module, such as a helmet liner, offered only insufficient protection (HPF sometimes < 10).

It has been shown that headgear with a wide circumferential brim as well as face and neck protection offer the best protection against UV radiation. The measurement results provide a solid foundation for preventive measures and occupational health and safety guidelines. In addition, sunscreen such as UV protective clothing and sun creams with a high sun protection factor (SPF) should be part of a comprehensive protection concept in order to effectively reduce the risk of UV-related skin diseases such as skin cancer.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	3
ABSTRACT	4
1. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	1
2. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
3. AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND	3
3.1. UV-STRAHLUNG	3
3.1.1. Allgemeines	3
3.1.2. Globale Strahlung	3
3.2. EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE SOLARE UV-STRAHLUNG.....	3
3.2.1. Bewölkung	3
3.2.2. Ozon	4
3.2.3. Albedo	4
3.2.4. Sonnenhöhe und Zenitwinkel (SZA)	4
3.2.5. Seehöhe	5
3.2.6. Aerosole	5
3.3. DIE MENSCHLICHE HAUT	5
3.3.1. Aufbau der Haut	5
3.3.2. Haut-Fototypen nach Fitzpatrick	7
3.4. BIOLOGISCHE EFFEKTE AUF DIE HAUT	8
3.4.1. Sonnenbrand (Erythem)	8
3.4.2. Pigmentierung und Hautalterung	9
3.4.3. Nicht-melanozytärer Hautkrebs (NMSC)	9
3.5. SONNENSCHUTZ	10
3.5.1. UV-Index	10
3.5.2. UV-Schutzfaktor (UPF)	11
3.5.3. Lichtschutzfaktor (LSF)	12

3.5.4.	Arbeitnehmerschutz	13
3.5.5.	ICNIRP	15
4.	LITERATUR KOPFBEDECKUNGEN	16
4.1.	SONNENSCHUTZ DURCH HÜTE (B.L. DIFFEY & J. CHEESEMAN)	16
4.1.1.	Zusammenfassung	16
4.1.2.	Methode	16
4.1.3.	Ergebnisse	17
4.1.4.	Fazit	17
4.2.	EXPOSITION DES GESICHTS GEGENÜBER ULTRAVIOLETTER STRAHLUNG (BACKES ET AL. 2018)	17
4.2.1.	Zusammenfassung	17
4.2.2.	Methode	18
4.2.3.	Ergebnisse	18
4.2.4.	Fazit	19
5.	MATERIAL UND METHODE	20
5.1.	MATERIAL	20
5.1.1.	vidalXL Schaufensterpuppe Mann A	20
5.1.2.	Kopfbedeckungen	20
5.2.	METHODE	22
5.2.1.	Messprinzip	22
5.2.2.	Datenkorrektur	22
5.2.3.	Korrektur des Dunkelsignals	22
5.2.4.	Bestimmung des Kalibrierfaktors	22
5.2.5.	Berechnung der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke	23
5.3.	EXPOSURE RATIO TO AMBIENT (ERTA)	23
5.3.1.	Berechnung des ERTA	23
5.3.2.	Anwendung	24
5.4.	VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN	24
5.4.1.	Aufbau der Schaufensterpuppe	24

5.4.2.	Platzierung der UV-Strahlungsmessgeräte (SunSaver)	25
5.4.3.	Durchführung der Messungen.....	26
5.5.	AUSWERTUNG DER MESSUNGEN.....	27
5.5.1.	UV-Index (UVI)	27
5.5.2.	Hutschutzfaktor (HPF)	28
5.5.3.	Exposure Ratio to Ambient (ERTA).....	29
6.	ERGEBNISSE	30
6.1.	HUTSCHUTZFAKTOR (HPF).....	30
6.1.1.	Mittelwerte gesamt und Kopf/Hals	30
6.1.2.	Mittelwerte den einzelnen Körperregionen zugeteilt.....	32
6.2.	EXPOSURE RATIO TO AMBIENT (ERTA)	34
6.2.1.	Mittelwerte gesamt und Kopf/Hals	34
6.2.2.	Mittelwerte den einzelnen Körperregionen zugeteilt.....	36
7.	DISKUSSION.....	39
8.	ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	41
9.	ANHANG	43
10.	DANKSAGUNG	46
	LITERATUR.....	47

1. Abkürzungsverzeichnis

AU.....	<i>Arbitrary Unit</i>
BK.....	<i>Berufskrankheit</i>
BKV	<i>Berufskrankheiten-Verordnung</i>
CSV	<i>Comma-Separated Values</i>
DNA	<i>Desoxyribonukleinsäure</i>
ERTA	<i>Exposure Ratio To Ambient</i>
HPF.....	<i>Hutschutzfaktor</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
ICNIRP.....	<i>International Comission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>
ILO	<i>International Labour Organisation</i>
IRPA	<i>International Radiation Protection Association</i>
LSF	<i>Lichtschutzfaktor</i>
MEZ	<i>Mitteleuropäische Zeit</i>
NIR.....	<i>Nichtionisierende Strahlung</i>
NMSC	<i>Nicht melanozytärer Hautkrebs</i>
PPF	<i>Predictive Protection Factor</i>
SED	<i>Standard-Erythemdosis</i>
SZA.....	<i>Sonnenzenitwinkel</i>
UNEP	<i>UN Environment Programme</i>
UPF.....	<i>Ultraviolet Protection Factor</i>
UV	<i>Ultraviolett</i>
UVI.....	<i>UV-Index</i>
WHO	<i>World Health Organisation</i>
WMO.....	<i>World Meteorological Organisation</i>

2. Einleitung und Fragestellung

UV-Strahlung ist eine Art der elektromagnetischen Strahlung und wird sowohl von der Sonne als auch von künstlichen Quellen ausgestrahlt (1). Für das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen sowie für die Synthese von Vitamin D in menschlicher und tierischer Haut spielt sie eine entscheidende Rolle (2). Obwohl UV-Strahlung lebenswichtige biologische Eigenschaften für die Umwelt und den Menschen aufweist, birgt sie auch ernsthafte gesundheitliche Gefahren (3). Sonnenbrand und Bräunung der Haut sind die am häufigsten auftretenden akuten Folgen, die das Risiko für die Entwicklung von Hautkrebs erhöhen.

Modetrends, die weniger Körperbedeckung bevorzugen, vermehrte Outdoor-Aktivitäten und Urlaube in sonnigen Regionen sowie die Auffassung, dass Bräune wünschenswert und gesund ist, führten in den letzten Jahrzehnten zu einem deutlichen Anstieg der Hautkrebserkrankungen in hellhäutigen Bevölkerungsgruppen (4). Eine aktuelle Studie der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) vom 27. Mai 2025 zeigt, dass über 80% der im Jahr 2022 diagnostizierten kutanen Melanome auf UV-Strahlung zurückzuführen sind (5). Dieser Anstieg steht hauptsächlich mit der kumulativen UV-Strahlungsexposition im Zusammenhang. Das bedeutet, dass Bereiche der Haut, die der Sonne am meisten ausgesetzt sind – wie etwa das Gesicht, der Hals, der Nacken und die Unterarme – einem höheren Risiko unterliegen. Die Zunahme der Hautkrebserkrankungen betont die Wichtigkeit von Präventionsmaßnahmen und der Anwendung von Sonnenschutzmitteln (4). Es ist von großer Bedeutung, das Bewusstsein für die negativen Auswirkungen der UV-Strahlung zu erhöhen und dem Trend zu zunehmenden Hautkrebserkrankungen entgegenzuwirken. Präventionsprogramme und gezielte Aufklärung sollen dazu beitragen, dass sich Menschen vor übermäßiger UV-Exposition und dem dadurch erhöhten Risiko für die Entstehung von Hautkrebs schützen (1).

Der Mensch kann UV-Strahlung nicht sehen und kann sie auch mit anderen Sinnesorganen nicht wahrnehmen, weshalb die solare UV-Strahlungsintensität weltweit überwacht und der Öffentlichkeit als UV-Index zur Verfügung gestellt wird (2). Der UV-Index (UVI) ist ein Indikator für das Risiko einer möglichen Hautschädigung und stellt ein einfaches Maß für die UV-Strahlungsintensität an der Erdoberfläche dar, das auf die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen hinweist (1). Welcher Strahlenbelastung jeder Einzelne ausgesetzt ist, hängt großteils vom eigenen Verhalten ab. Die Quantifizierung der persönlichen UV-Strahlungsexposition hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu zählen die UV-Strahlung der Umgebung, individuelles Verhalten und physikalische Eigenschaften wie der Haut-Fototyp

und die Kleidung sowie die Tageszeit, der Wochentag, die Jahreszeit, das Klima, das Wetter und die geografische Lage (3).

Auch TierpflegerInnen und TierärztInnen sind der unsichtbaren Gefahr, die von der Sonne ausgeht, häufig ausgesetzt – besonders bei Tätigkeiten im Freien, wie etwa auf Bauernhöfen, Pferdekoppeln, Weiden oder Zoos.

Durch die Einbindung von Sonnenschutzmaßnahmen in ihren beruflichen Alltag, wie zum Beispiel das Tragen von Kopfbedeckungen, können sie ihr Risiko für Schäden durch UV-Strahlung und die Entstehung von Hautkrebs reduzieren.

Ziel dieser Untersuchung ist es, verschiedene Kopfbedeckungen hinsichtlich ihres Schutzes vor UV-Strahlung an dauerexponierten Körperbereichen – wie etwa dem Gesicht, dem Hals und dem Nacken – zu analysieren, um eine konkrete Empfehlung für die arbeitstauglichste Kopfbedeckung abzugeben.

Die konkrete Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit lautet:

Welche Art von Kopfbedeckung bietet den wirksamsten Schutz vor UV-Strahlung, um TierpflegerInnen und TierärztInnen an dauerexponierten Körperbereichen – wie dem Gesicht, dem Hals, dem Nacken, dem Oberkörper und den Unterarmen – vor den negativen Auswirkungen zu schützen?

3. Aktueller Forschungsstand

3.1. UV-Strahlung

3.1.1. Allgemeines

Gemäß der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) wird die auf die Erde gelangende elektromagnetische Strahlung in verschiedene Wellenlängenbereiche eingeteilt. Dabei entfallen auf die Infrarotstrahlung mit einem Wellenlängenbereich von 780-5000 Nanometern (nm) 56%, auf die des sichtbaren Lichts (400-780 nm) 39% und auf die ultraviolette Strahlung (100-400 nm) 5%. Bei der UV-Strahlung unterscheidet man drei Typen, die unterschiedliche Wellenlängen aufweisen: Die UVA-Strahlung (315-400 nm), die UVB-Strahlung (280-315 nm) und die UVC-Strahlung (100-280 nm) (6). Die kurzwellige UVC-Strahlung wird in der Atmosphäre von dem Gas Ozon (O_3), das sich vorwiegend in der Stratosphäre befindet, vollständig absorbiert (7). Die UVB-Strahlung erreicht die Erdoberfläche hingegen zu 5% und die UVA-Strahlung zu 95%.

Die Energie eines Lichtteilchens (Photon) steigt mit abnehmender Wellenlänge an. Dies führt auch zu einer prinzipiellen Zunahme der biologischen Wirksamkeit, die als Fähigkeit von Strahlung definiert wird, einen bestimmten biologischen Effekt zu erzeugen. Deshalb hat die UV-Strahlung mit dem kürzesten Wellenlängenbereich prinzipiell die höchste biologische Wirkung – z.B. auf Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen. Die Sonnenstrahlung ist die primäre Quelle der UV-Strahlung (8). Die Intensität, mit der sie die Erdoberfläche erreicht, ist abhängig von der Bewölkung, der Sonnenhöhe, der Seehöhe, der Dicke der Ozonschicht, dem Gehalt an Aerosolen und dem Rückstrahlvermögen (Albedo) (9).

3.1.2. Globale Strahlung

Die Globalstrahlung setzt sich aus einem direkten Anteil, der unmittelbar von der Sonne ausgeht (direkte UV-Strahlung), und aus einem diffusen Anteil zusammen. Die diffuse UV-Strahlung entsteht durch Streuung an Molekülen – wie Stickstoff, Sauerstoff usw. – sowie an Aerosolen in der Atmosphäre. Der diffuse Anteil an der Globalstrahlung beträgt an klaren wolkenlosen Tagen ca. 10% bis 15% (10).

3.2. Einflussfaktoren auf die solare UV-Strahlung

3.2.1. Bewölkung

Ein gewisser Anteil der UV-Strahlung gelangt nicht an die Erdoberfläche, da er durch Bewölkung gestreut, reflektiert oder absorbiert wird. Geringe Bewölkung beeinflusst die

globale UV-Strahlung kaum, Regen oder Schnee können die UV-Strahlung hingegen nahezu vollständig eliminieren. Wenn die Sonne von Wolken bedeckt wird, kann sich die globale UV-Strahlung um etwa 50% reduzieren. Durch sehr dichte Bewölkung kann die UV-Strahlung auf bis zu 1/10 reduziert werden. Es ist jedoch zu beachten, dass die diffuse UV-Strahlung bei leichter Bewölkung um bis zu 10% ansteigen kann (9).

3.2.2. Ozon

In der Atmosphäre befinden sich Ozonmoleküle, die einen Großteil der UV-Strahlung absorbieren. Vor allem die UVC-Strahlung wird von Ozon vollständig absorbiert. Die Dicke der Ozonschicht – auch als Ozonsäule bezeichnet – wird in der Einheit Dobson (=Dobson Unit [DU]) angegeben. Eine Ozonsäulenhöhe von 0,01mm entspricht einer Dobson Unit. In nördlichen Regionen beträgt die Dicke der Ozonsäule bis zu 500 DU, während sie im Bereich des Äquators bei etwa 250 DU liegt (9).

3.2.3. Albedo

Als Albedo wird das Reflexions- oder auch Rückstrahlvermögen von Oberflächen bezeichnet. Frischer Schnee reflektiert bis zu 90% der UV-Strahlung und weist unter den natürlichen Oberflächen die höchste Albedo auf. Unter den künstlichen Oberflächen weisen polierte Metallflächen das höchste Rückstrahlvermögen auf (9).

3.2.4. Sonnenhöhe und Zenitwinkel (SZA)

Steht ein Himmelskörper genau senkrecht über einem bestimmten Punkt auf der Erde, befindet er sich im Zenit. Der Winkelabstand der Sonne vom Zenit wird durch den Sonnenzenitwinkel (SZA) beschrieben. Liegt der SZA bei 0 Grad, steht die Sonne im Zenit. Beträgt der SZA hingegen 90 Grad, steht die Sonne auf Höhe des Horizonts. Abb. 1 veranschaulicht die Beziehung zwischen dem SZA und der Sonnenhöhe. Der Höhenwinkel der Sonne bzw. der SZA ist von der Tageszeit abhängig und ist zum solaren Mittag (Wien ca. 12:05 MEZ) am größten bzw. am kleinsten. Je nach Tag im Jahr und geographischer Lage variiert die Sonnenhöhe zu Mittag (9).

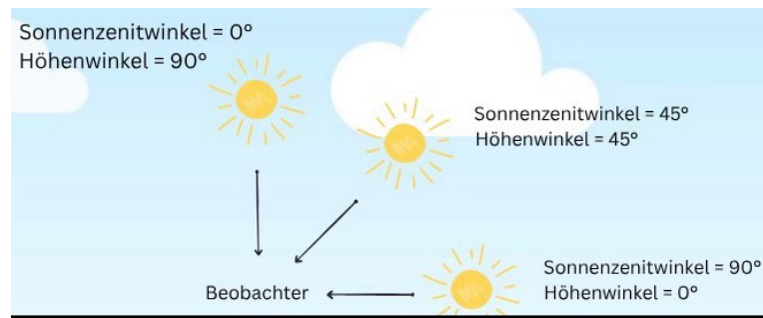


Abb. 1: Variationen des SZA aus der Sicht eines Beobachters (9)

3.2.5. Seehöhe

Je kürzer die Strecke durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche ist, desto geringer ist der Anteil der UV-Strahlung, der in der Atmosphäre gestreut und absorbiert wird – wodurch ihre Intensität zunimmt. Pro 1000 Meter steigt die UVA-Strahlung um etwa 5% bis 10% an, während die Zunahme der UVB-Strahlung bei etwa 15% liegt (11).

3.2.6. Aerosole

Aerosole sind Luftpartikel, die normalerweise kleiner als $100\mu\text{m}$ sind. Sie können über Stunden oder sogar Tage in der Atmosphäre verweilen. Aerosole sind für gewöhnlich physikalisch und chemisch instabil und verändern sich über die Zeit hinweg aufgrund von atmosphärischen Prozessen. Zudem streuen und absorbieren sie UV-Strahlung. Ein erhöhter Aerosolgehalt in der Atmosphäre verringert daher den Anteil der UV-Strahlung, der an die Erdoberfläche gelangt (11).

3.3. Die menschliche Haut

Die Haut bietet neben zahlreichen Funktionen wie z.B. dem Schutz vor Hitze und Kälte, Schutz gegen Mikroorganismen sowie einer immunologischen Abwehr auch einen Schutz vor UV-Strahlung. Durch Verdickung und Pigmentierung kann ein Lichtschuttfaktor (LSF) von etwa 4 bzw. 2 erreicht werden. Zur Gewährleistung dieser Schutzfunktionen dienen unterschiedliche Zellen und Strukturen der Haut, die im Folgenden näher beschrieben werden (12).

3.3.1. Aufbau der Haut

Wie in Abb. 2 dargestellt, besteht der Aufbau der Haut aus drei Schichten – der Epidermis (Oberhaut), der Dermis (Corium, Lederhaut) sowie der Subkutis (Unterhautfettgewebe). Zusätzlich besitzt die Haut noch sogenannte Hautanhangsgebilde (Adnexe) wie Haare, Nägel,

Talg- und Schweißdrüsen. Die Epidermis besteht zu 90% aus Keratinozyten und ist ein mehrschichtiges, verhorntes Plattenepithel. Sie unterteilt sich in das Stratum basale (Basalzellschicht), das Stratum spinosum (Stachelzellschicht), das Stratum granulosum (Körnerschicht) und das Stratum corneum (Hornschicht), das die äußerste Schicht bildet. Durch eine Verdickung der Epidermis bietet sie einen wirksamen Schutz vor UV-Strahlung für die darunterliegenden Hautschichten.

Neben den Keratinozyten befinden sich in der Epidermis auch sogenannte Langerhans-Zellen, welche im Stratum spinosum als dendritische Zellen der Monozyten-/Makrophagen-Reihe für die Abwehrfunktion der Haut zuständig sind und als Vorposten des Immunsystems Fremdantigene erkennen und phagozytieren. Im Stratum basale befinden sich die Melanozyten. Dabei handelt es sich um dendritische Zellen, deren Hauptfunktion die Synthese des wichtigsten endogenen Pigments Melanin ist. In speziellen Zellorganellen, den Melanosomen, wird Melanin gebildet und über Dendriten an die Keratinozyten transferiert, wobei jeder Melanozyt etwa 36 benachbarte Keratinozyten versorgt. Man unterscheidet drei Arten von Melanin: Eumelanin (braun-schwarz), Phäomelanin (rot-gelb) und Trichrome (rot). Neben der Art des Melanins ist auch die Anzahl, Größe, Form sowie die Anordnung der Melanosomen verantwortlich für die Hautfarbe. UV-Strahlung stimuliert die Bildung von Melanin und ist dadurch maßgeblich an der Braunfärbung der Haut und dem Schutz vor UV-bedingten Desoxyribonukleinsäure-Schäden (DNA-Schäden) verantwortlich. Eumelanin schützt die Keratinozyten neben seiner antioxidativen Wirkung auch mechanisch, indem es sich wie ein Sonnenschirm über den Zellkern legt. Durch chronische Einwirkung von UV-Strahlung auf die Haut, kommt es besonders bei hellhäutigen Menschen (Hauttyp I und II) zu UV-induzierten Mutationen der DNA (12).

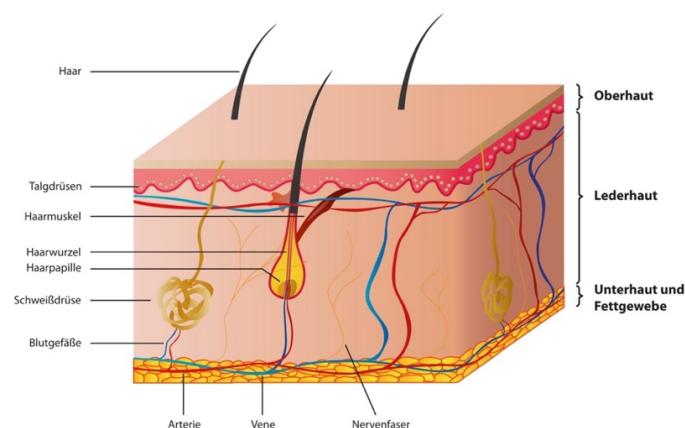


Abb. 2: Aufbau der Haut (13)

3.3.2. Haut-Fototypen nach Fitzpatrick

Das Haut-Fototyp System nach Fitzpatrick ist eine Klassifikation, welche Menschen aufgrund ihres Hauttyps basierend auf der Dauer der Sonnenexposition sowie der daraus resultierenden Neigung zu Bräunung und Sonnenbrand einteilt. Das in Abb. 3 dargestellte System erlaubt eine bessere Einschätzung des Risikos für Sonnenbrand und Hautkrebs.

Insgesamt werden sechs verschiedene Hauttypen anhand ihrer Hautfarbe unterschieden (Abb. 4). Typ I wird kaum braun und ist stark sonnenbrandgefährdet. Menschen dieses Hauttyps sind oft rotblonde oder rothaarige, grünäugige Personen mit Sommersprossen (keltischer Typ). Typ II bräunt nach einem anfänglichen Sonnenbrand. Dazu zählen blonde, blau- oder grünäugige Menschen mit heller Haut (germanischer Typ). Typ III bräunt schnell und erleidet selten einen Sonnenbrand. Menschen dieses Hauttyps sind dunkelblonde oder braunhaarige Personen mit braunen Augen und mittelstark pigmentierter Haut. Typ IV nimmt sehr gut Sonnenbräune an und bekommt sehr selten einen Sonnenbrand. Es handelt sich um dunkelhaarige, dunkeläugige Personen mit oft dunklerer Haut (mediterraner Typ). Typ V hat braune Haut und bekommt praktisch nie einen Sonnenbrand (indischer oder asiatischer Typ). Typ VI der afrikansiche Typ, hat eine dunkelbraune Haut und bekommt – wie Typ V – praktisch nie einen Sonnenbrand (14).

Pigmentierungstyp nach Fitzpatrick	Eigenschutzzeit Erythem nach	Vorzeitige Hautalterung ²
I	5–10 Min.	2–7 Min.
II	10–20 Min.	7–14 Min.
III	20–30 Min.	14–20 Min.
IV	30–45 Min.	20–30 Min.

¹ Mitte Juni, 12 Uhr mittags, klarer Himmel, saubere Luft.
² Zeit, nach der Veränderungen initiiert werden, die zu vorzeitiger Hautalterung führen.

Abb. 3: Eigenschutzzeiten in Mitteleuropa für sonnengewöhnte Haut (14)



Abb. 4: Haut-Fototypen nach Fitzpatrick (15)

3.4. Biologische Effekte auf die Haut

3.4.1. Sonnenbrand (Erythem)

Das Erythem, eine Rötung der Haut, stellt die am weitesten verbreitete, akute Folge übermäßiger UV-Exposition dar (1). Die Rötung entsteht durch erweiterte Blutgefäße in der Epidermis und aufgrund des erhöhten Blutflusses steigt die Hauttemperatur an (16). Die anfängliche Hautrötungsschwelle und die Anpassungsfähigkeit an UV-Strahlung variieren stark in Abhängigkeit des Hauttyps (1).

Für eine leichte Rötung nicht akklimatisierter und wenig pigmentierter Haut reicht in gemäßigten Breitengraden im Sommer eine Expositionsdauer von einer halben Stunde oder weniger aus. Das Erythem tritt nach dieser UV-Expositionsdauer erst nach etwa 4 Stunden auf. Wenn die Dauer der Exposition zunimmt, verringert sich die Zeitspanne bis zu der eine Hautrötung auftritt. Sehr hohe UV-Dosen können zudem Ödeme, Schmerzen und Blasenbildung verursachen (16).

Das schmerzhaftes Erythem (Abb. 5) kann – neben Blasen- und Krustenbildung – auch Fieber und Kreislaufsymptome verursachen. Nach einer Abheilungsphase von etwa ein bis zwei Wochen können infolge ausgiebiger Sonnenexposition persistierende Hyperpigmentierungen sowie in seltenen Fällen auch depigmentierte Narben auf der Haut entstehen (14). Zudem verursacht UV-Strahlung bei den meisten Menschen eine Bräunung der Haut, die innerhalb weniger Tage nach Exposition auftritt. Die Verdickung der oberen Hautschichten, welche das Eindringen der UV-Strahlung in tiefere Hautschichten verhindert, ist ein deutlicher Anpassungseffekt. Beide Veränderungen weisen auf Hautschäden hin (1).



Abb. 5: Erythem (14)

3.4.2. Pigmentierung und Hautalterung

Chronische UV-Strahlungsexposition führt zu einer Vielzahl degenerativer Veränderungen, beispielsweise an den Blutgefäßen der Haut, den Zellen und dem Bindegewebe. Dazu zählen Epheliden (Sommersprossen), Nävi (Muttermale) (Abb. 6) und Lentigines solares (Altersflecken) (Abb. 7). Bei letzteren handelt es sich um pigmentierte Hautveränderungen, die typischerweise auf dem Handrücken, den Unterarmen und im Gesicht als scharf begrenzte, hellbraune Makulae (Flecken) auftreten.

Die Hautalterung wird durch UV-Strahlung beschleunigt und der allmähliche Verlust der Elastizität der Haut verursacht Falten und eine trockene, raue Haut (1, 17).



Abb. 6: Nävus (12)



Abb. 7: Lentigo solaris (18)

3.4.3. Nicht-melanozytärer Hautkrebs (NMSC)

Zu den bekanntesten folgenschweren Auswirkungen übermäßiger Sonnenexposition zählen die nicht-melanozytären Hautkrebsarten, die weltweit für mehr Todesfälle verantwortlich sind, als das maligne Melanom (19). Zu diesen zählen Plattenepithelkarzinome (Abb. 8) und Basalzellkarzinome (Abb. 9). Das Plattenepithelkarzinom ist der zweithäufigste Hauttumor in hellhäutigen Bevölkerungsgruppen und tritt zu 90% an chronisch sonnenexponierten Stellen im Bereich des Kopfes und des Halses auf. Es handelt sich um einen bösartigen Tumor, der in maximal 5% der Fälle in regionäre Lymphknoten metastasiert. Das klinische Erscheinungsbild manifestiert sich als schmerzloser, derber Tumor mit keratotischer Oberfläche, der im fortgeschrittenen Stadium häufig ulzeriert (geschwürig zerfällt) und als Ulkus mit erhabenem Randwall erscheint. Der häufigste bösartige Hauttumor ist das Basalzellkarzinom. Da dessen klinisches Erscheinungsbild vielfältig ist, kann es auch dem des Plattenepithelkarzinoms ähnlich sein. Es wächst lokal destruierend und metastasiert sehr selten. Das Basalzellkarzinom stammt von den Keratinozyten der Wulstregion sowie der Haarwurzelscheide ab und tritt zu 80% im Kopf-Hals-Bereich an besonders

sonnenexponierten Stellen wie der Nase auf. Da es langsam über Monate bis Jahre wächst und keine Schmerzen oder andere Beschwerden verursacht, wird es häufig unterschätzt. Bleibt es jedoch unbehandelt, kann das Basalzellkarzinom flächig ulzerieren oder infiltrierend in die Tiefe wachsen und dabei Knorpel und Knochen zerstören (12).

Untersuchungen in den USA, Kanada und Australien lassen darauf schließen, dass die Prävalenz von NMSC in den Jahren von 1960 bis 1980 um mehr als das Doppelte gestiegen ist (1). Im Jahr 2020 erkrankten allein in Deutschland 209.000 Personen an nicht-melanozytärem Hautkrebs und im Jahr 2021 wurden 1.180 dadurch bedingte Sterbefälle verzeichnet (20). Da NMSC überwiegend an besonders Sonnenexponierten Bereichen des Körpers auftritt, deutet dies darauf hin, dass wiederholte UV-Strahlungsexposition über einen längeren Zeitraum hinweg einen wesentlicher Faktor für seine Entstehung darstellt (1).



Abb. 8: a, b Plattenepithelkarzinome (12)

Abb. 9: Basalzellkarzinom (12)

3.5. Sonnenschutz

3.5.1. UV-Index

Während einige Menschen auch künstlichen UV-Quellen ausgesetzt sind (z.B. in der Medizin, in der Industrie sowie zu Desinfektions- und Kosmetikzwecken), ist jeder von uns solarer UV-Strahlung ausgesetzt. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO), das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP), die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) und die Internationale Kommission für nicht ionisierenden Strahlenschutz (ICNIRP) haben gemeinsam den Global Solar UV-Index (UVI) entwickelt. (21). Der UVI zeigt, wie stark die solare UV-Strahlung an der Erdoberfläche ist. Je höher der Indexwert, desto größer ist das Risiko einer Schädigung der Haut und der Augen und desto kürzer ist die Dauer, welche nötig ist, um eine Schädigung hervorzurufen (1). Der UVI ist ein wertvolles Instrument um die Bevölkerung auf die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen aufmerksam zu machen (21). Die WHO verfolgt das Ziel, die Rate der durch UV-Strahlung verursachten Erkrankungen zu reduzieren, indem

sie die Forschung fördert und Leitlinien entwickelt. Sie verbreitet Informationen über wirksame Schutzmaßnahmen gegen UV-Strahlung für die Bevölkerung (21).

Wie in Abb. 10 dargestellt, wird der UVI in Werten von 1 bis 11⁺ angegeben. Werte bis 2,5 gelten als niedrig und es sind keine Schutzmaßnahmen erforderlich, wohingegen bei sehr hohen Werten (8-10) Schutzmaßnahmen wie das Tragen von langärmliger Kleidung und die Verwendung von Sonnencremes notwendig sind (22).

Ein Großteil der Bevölkerung ist über die Existenz des UVI informiert, jedoch nicht über seine Bedeutung oder seinen Nutzen. Er ist ein wichtiges Instrument und seine Verwendung erfordert eine effektive Kommunikation mit den Medien und der Öffentlichkeit. Neueste Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass persönliche Gewohnheiten in Bezug auf Sonneneinstrahlung den wichtigsten Risikofaktor für Schäden durch UV-Strahlung darstellen. Die einheitliche Darstellung des UVI in Verbindung mit verschiedenen UVI-Werten erleichtern dabei die Übermittlung einer einfachen und relevanten Botschaft für die Öffentlichkeit (1).

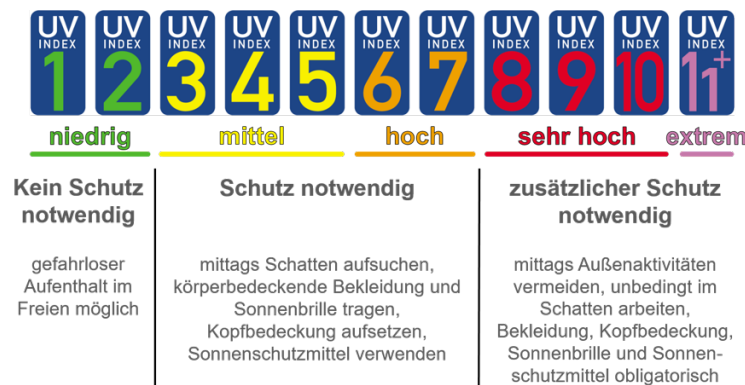


Abb. 10: Empfohlenes Sonnenschutzprogramm laut UV-Index (23)

3.5.2. UV-Schutzfaktor (UPF)

Kleidung bietet den besten Schutz vor UV-Strahlung. Dabei spielen der Gewebetyp sowie die Gewebedichte eine entscheidende Rolle. Je dichter das Gewebe, desto höher die Schutzwirkung. Spezielle UV-Schutzkleidung bietet einen guten Schutz vor UV-Strahlung – trotzdem sollten alle Sonnenschutzregeln beachtet werden. Die Verwendung von Sonnencremes, abgestimmt auf den individuellen Haut-Fototyp, auf ungeschützter Haut sollte in jedem Fall miteinbezogen werden. Die Wirksamkeit von UV-Schutzkleidung wird über den UPF definiert. Neben dem UPF sollte beim Kauf von UV-Schutzkleidung auch auf den angegebenen Standard geachtet werden. Bei Textilien unterscheidet man grundsätzlich drei

Standards: den Australisch-Neuseeländischen Standard (AS/NZS 4299:1996), den Europäischen Standard (EN 13758-1) und den Amerikanischen Standard (AATCC TM 183). Außerdem gibt es noch den von der „Internationalen Prüfgemeinschaft für angewandten UV-Schutz“ herausgegebenen UV STANDARD 801. Im Gegensatz zum Australisch-Neuseeländischen Standard, dem Europäischen Standard und dem Amerikanischen Standard wird beim UV STANDARD 801 die Untersuchung zur Ermittlung des UPF nicht am trockenen, neuen Textil, sondern am angefeuchteten und gedehnten Textil durchgeführt. Die „Internationale Prüfgemeinschaft für angewandten UV-Schutz“ empfiehlt daher die Messung des UPF mittels UV STANDARD 801, da dieser die nachteiligsten Bedingungen beim Tragen von Kleidung widerspiegelt.

Dabei erfolgt die Zertifizierung in den Stufen 10, 15, 20, 30, 40, 60 und 80 (24). Vor Durchführung einer solchen Prüfung, wird das entsprechende Textil gewaschen und getrocknet. Anschließend wird das Textil angefeuchtet und in entsprechender Weise gedehnt, um das Tragen im Alltag zu simulieren. Die Ermittlung des UPF erfolgt auf Grundlage des maximalen Sonnenspektrums von Melbourne. Deklariert wird dabei der niedrigste UPF der gesamten Messung. Besonders für Menschen, die sich viel im Freien aufhalten – wie Kinder, Bauarbeiter oder Personen des Hautfototyps I und II – ist das Tragen einer solchen UV-Schutzkleidung sehr zu empfehlen (25).

3.5.3. Lichtschutzfaktor (LSF)

Die in Sonnencremes enthaltenen löslichen UV-Filter (chemische, organische) absorbieren UV-Strahlung und geben sie anschließend als energieärmere, langwelligere Strahlung ab. Die enthaltenen unlöslichen UV-Filter (physikalische, mineralische), wie zum Beispiel Titan- und Zinkoxid streuen, reflektieren und absorbieren UV-Strahlung. Neben der Verzögerung des Auftretens eines Sonnenbrandes können Sonnenschutzmittel die vorzeitige Hautalterung sowie das Auftreten einiger Formen von Hautkrebs verhindern, indem sie Schutz vor UVA- und UVB-Strahlung bieten. Der Schutz vor UVA-Strahlung wird separat ausgewiesen. Anhand des LSF wird der Schutz vor UVB-Strahlung beschrieben. Dieser wird weltweit nach der „Internationalen Methode zur Bestimmung des Lichtschutzfaktors“ festgelegt und gibt an, um wie viel länger man sich in der Sonne unter Verwendung eines Sonnenschutzmittels aufhalten kann, ohne dabei einen Sonnenbrand zu bekommen. Kann eine Person bei einem bestimmten UVI 10 Minuten in der Sonne sein, ohne dabei einen Sonnenbrand zu bekommen (Eigenschutzzeit), kann sich diese Person unter Verwendung eines Sonnenschutzmittels mit LSF 20 bei gleichem UVI 200 Minuten lang der Sonne aussetzen, ohne dabei einen

Sonnenbrand zu entwickeln (10 Minuten *20), wie in Abb. 11 veranschaulicht. Dabei ist darauf zu achten, eine definierte Konzentration von 2 Milligramm (mg) pro Quadratcentimeter (cm²) des Sonnenschutzmittels auf die Haut aufzutragen, um den ausgewiesenen LSF zu erreichen. Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt einen LSF von 30 oder höher. Am Wasser, in großen Höhen oder auf Schnee wird hingegen ein sehr hoher LSF von 50+ empfohlen. Wird zu wenig Sonnenschutzmittel aufgetragen, reduziert sich der LSF und trotz Sonnenschutzmittel treten rasch Sonnenbrände auf. Durch Abwaschen und Abreiben wird der LSF ebenfalls reduziert – daher sollte regelmäßig nachgcremt werden. Empfohlen wird dabei für Erwachsene die Menge von vier gehäuften Esslöffeln. Dies führt allerdings nicht zu einer Verlängerung des Schutzes, sondern nur zur Aufrechterhaltung des ausgewiesenen Schutzfaktors (26).

Die in Sonnencremes enthaltenen chemischen UV-Filter wie Octinoxat, Octocrylen, Oxybenzon und 4-Methylbenzylidencampher haben jedoch erhebliche Auswirkungen auf den Nahrungskreislauf und die Meeresökosysteme, da sie durch gewöhnliche Abwasserbehandlungsmethoden nur schwer zerstört werden. Sie wurden bereits in vielen Fischarten nachgewiesen und durch die ökotoxische Wirkung von Oxybenzon kommt es zum Ausbleichen der Korallenriffe, weshalb natürliche Bestandteile in Sonnenschutzmitteln große Aufmerksamkeit erregen (27).



Abb. 11: Berechnung der maximalen Verweildauer in der Sonne je nach Eigenschutzzeit, Hauttyp und LSF (28)

3.5.4. Arbeitnehmerschutz

Gemäß der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (20) stuft die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) die UV-Strahlung seit 2012 als Humankarzinogen der Gruppe I ein. Die UV-Strahlung der Sonne ist somit ähnlich krebserregend wie Tabak oder Asbest und führt jährlich zu mehr als 200.000 neuen Hautkrebserkrankungen in Deutschland.

Für Personen welche häufig der Sonne ausgesetzt sind, wie Beschäftigte im Freien, bedarf es daher spezieller Maßnahmen, um das Risiko für Hautkrebserkrankungen zu senken. Viele Beschäftigte verbringen den Großteil ihres Arbeitsalltages im Freien. Dadurch haben sie im Vergleich mit der Allgemeinbevölkerung ein deutlich höheres Risiko, an Hautkrebs zu erkranken. Eine Verdoppelung der kumulativen UV-Dosis führt zu einem mehr als doppelt so hohen Risiko (exponentielle Dosis-Wirkungs-Beziehung), weshalb der Gesetzgeber in Deutschland seit 2015 das Plattenepithelkarzinom und multiple aktinische Keratosen als Berufskrankheit (BK) 5103 in die Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) aufgenommen hat. Auch in Österreich hat der Gesetzgeber seit dem 01. März 2024 UV-bedingte Hauterkrankungen offiziell als Berufskrankheit im ASVG (Allgemeines Sozialversicherungsgesetz) anerkannt und in die Berufskrankheitenliste § 177 ASVG (Anlage 1) aufgenommen (29).

Um Beschäftigte im Freien vor übermäßiger UV-Strahlung zu schützen, sind Arbeitgeber in Deutschland dazu verpflichtet, anhand von Hilfsmitteln wie z.B. dem UVI-Jahreskalender von Dortmund (Abb. 12) die Gefährdung zu beurteilen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen (23). Dabei wird nach dem sogenannten „STOP-Prinzip“ vorgegangen und versucht die Gefährdung durch Substitution (S) zu beseitigen, durch technische (T) Vorkehrungen zu begrenzen sowie durch organisatorische (O) und personenbezogene (P) Maßnahmen zu minimieren (30). Die Anwendung von personenbezogenen Maßnahmen, wie das Tragen von langärmeliger Bekleidung mit dichtem Stoff, Sonnenbrillen mit UV-Schutzfilter gemäß den Anforderungen für den gewerblichen Bereich, geeigneter Kopfbedeckungen mit breiter Krempe und Schutz für Nacken und Ohren sowie die Verwendung von Sonnencreme auf ungeschützter Haut, wird von der WHO bereits ab einem UVI von 3 empfohlen. In den Mittagsstunden (ca. 11 - 15 Uhr), wenn der Sonnenstand am höchsten ist, sollte man sich im Schatten aufhalten und ab einem UVI von 8 sollten Außenaktivitäten grundsätzlich gemieden werden. Weitere organisatorische Maßnahmen wären zum Beispiel ein früherer Arbeitsbeginn, ein späteres Arbeitsende oder Tätigkeiten in beschattete Bereiche zu verlegen. Zu den technischen Maßnahmen gehören etwa Sonnensegel/Sonnenschirme, Vordächer oder Überdachungen. Dabei sollte bei technischen Maßnahmen darauf geachtet werden, dass kein Hitzestau entsteht. Für die bessere Einschätzung zur Ergreifung von Maßnahmen wurde anhand der Analyse von Daten der UV-Messstationen in Dortmund (1998 – 2018) ein vereinfachter UVI-Jahreskalender (Abb. 12) entwickelt. In diesem UVI-Jahreskalender ist für

jeden Monat das langjährige Mittel der maximal erreichbaren UVI-Werte graphisch dargestellt (23).

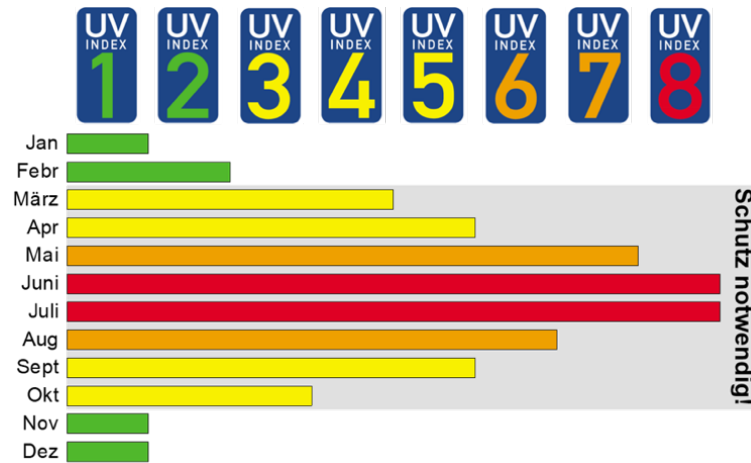


Abb. 12: UVI-Jahreskalender Dortmund (23)

3.5.5. ICNIRP

Die Internationale Kommission für nicht ionisierenden Strahlenschutz (ICNIRP) wurde 1992 als unabhängige Kommission gegründet und ist ein in München, Deutschland, eingetragener Verein mit wissenschaftlicher Funktion. Die ICNIRP setzt sich weltweit für den Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (NIR) ein und ist durch unterschiedliche Gemeinschaftsprojekte mit vielen Organisationen verbunden. Sie ist offiziell als zusammenarbeitender Akteur von der WHO und der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO) anerkannt und wird von der Europäischen Kommission konsultiert.

Den Anfang nahm die ICNIRP während des dritten Internationalen Kongresses der International Radiation Protection Association (IRPA) im Jahr 1973. Die ICNIRP arbeitet mit Experten aus unterschiedlichen Bereichen, wie Medizinern, Biologen, Physikern, Epidemiologen und Chemikern zusammen und erstellt Expositionsrichtlinien auf Basis wissenschaftlicher Veröffentlichungen über biologische Auswirkungen sowie Wirkmechanismen von UV-Strahlung. Diese sind für die Öffentlichkeit frei zugänglich. Um den Schutz vor NIR voranzutreiben, bietet die ICNIRP auch Workshops an und informiert über aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse (31).

4. Literatur Kopfbedeckungen

Die Studie „Sonnenschutz durch Hüte“ von B.L. Diffey und J. Gheeseman wurde ausgewählt, da die Messungen des HPF in ähnlicher Weise wie in der vorliegenden Diplomarbeit durchgeführt wurden und somit eine gute Grundlage für einen direkten Vergleich der Ergebnisse bieten. Als zweite Studie wurde „Exposition des Gesichts gegenüber ultravioletter Strahlung“ von Backes et al. gewählt, da in dieser Untersuchung ergänzend die vier Jahreszeiten zur Bewertung der Schutzwirkung herangezogen wurden. Sie bietet dadurch zusätzlich einen Einblick in saisonale Schwankungen der UV-Strahlungsbelastung.

4.1. Sonnenschutz durch Hüte (B.L. Diffey & J. Cheeseman)

4.1.1. Zusammenfassung

In der Studie von B.L. Diffey und J. Gheeseman, welche 1992 im British Journal of Dermatology veröffentlicht wurde, untersuchte man verschiedene Kopfbedeckungen auf ihren Schutz vor UV-Strahlung auf das Gesicht und den Nacken. Unter Verwendung von UV-empfindlichen Filmplättchen an Kopfmodellen wurde die UV-Strahlungsbelastung an mehreren Stellen (Stirn, Nase, Wangen, Kinn und Nacken) gemessen (32).

4.1.2. Methode

Die UV-Strahlung wurde mit Polysulfonfilm-Plättchen gemessen, welche an sechs Stellen der Kopfmodelle befestigt wurden. Insgesamt wurden 28 verschiedene Modelle getestet, darunter Baseballkappen, Strohhüte, Schirmmützen, Damenhüte usw. mit kleiner, mittlerer und großer Krempe. Um eine gleichmäßige Bestrahlung zu simulieren, wurden die Kopfmodelle auf eine Drehvorrichtung montiert (Abb. 13).



Abb. 13: Rotierende Kopfmodelle im Freien (32)

4.1.3. Ergebnisse

Wie in Tabelle 1 dargestellt, wurden die Hutmodelle anhand der Krempebreite in Hüte mit kleiner Krempe (< 2,5 cm), mittlerer Krempe (2,5 – 7,5 cm), großer Krempe (> 7,5 cm) sowie Baseballkappen mit Schirm eingeteilt. Hüte mit kleiner Krempe boten – außer auf der Stirn (HPF 15) – keinen signifikanten Schutz. Das Modell Baseballkappe mit Schirm erreichte eine gute Schutzwirkung an der Stirn (HPF >20) und der Nase (HPF 5), jedoch nur einen unzureichenden Schutz für Wangen, Kinn und Nacken. Hüte mit breiter Krempe (> 7,5 cm) boten einen guten Schutz für die Stirn (HPF >20), zeigten aber keinen signifikanten Schutz für Nase, Wangen und Nacken (HPF > 3).

Tabelle 1: Einteilung der Hutmodelle und deren Schutzwirkung (32)

Huttyp	Stirn	Nase	Wangen	Kinn	Nacken
Kleine Krempe (<2,5 cm)	15	1,5	1	1	1
Mittlere Krempe (2,5-7,5 cm)	>20	3	2	1	2
Große Krempe (>7,5 cm)	>20	7	3	1,2	5
Baseballkappe mit Schirm	>20	5	1,5	1	1

4.1.4. Fazit

Für einen wirksamen Schutz des Gesichts reichen Hüte mit kleiner Krempe nicht aus, um dieses vor UV-Strahlung zu schützen. Hüte mit einer Krempebreite von mindestens 7,5 cm bieten hingegen einen wirksamen Schutz für Stirn, Nase, Wangen und Nacken. Baseballkappen mit Schirm bieten einen guten Schutz für Stirn und Nase, jedoch nur einen unzureichenden Schutz für Wangen, Kinn und Nacken (32).

4.2. Exposition des Gesichts gegenüber ultravioletter Strahlung (Backes et al. 2018)

4.2.1. Zusammenfassung

In dieser Studie wurde mittels einer Simulation der vier Jahreszeiten (Frühling, Sommer, Herbst und Winter) sowie der Verwendung eines numerischen dreidimensionalen (3D) Modells versucht, die Schutzwirkung von vier unterschiedlichen Kopfbedeckungen vorherzusagen. Unter den Kopfbedeckungen befanden sich eine Baseballkappe, ein Helm mit schmaler Krempe sowie ein Hut mit mittlerer und ein Hut mit breiter Krempe. Unter der Berücksichtigung

von direkter, diffuser und reflektierter Strahlung wurde die UV-Dosis-Reduktion für unterschiedliche Bereiche des Gesichts berechnet (4).

4.2.2. Methode

Für eine detaillierte Nachbildung des Gesichts diente das computergestützte 3D-Modell SimUVEx (Simulation of Ultraviolet Exposure), Version 2.0 mit 33 definierten Hautbereichen im Gesicht, wie z.B. Stirn, Nase, Wangen, Kinn, Lippen, Ohren und Augen. Als meteorologische Grundlage dienten UV-Daten aus Payerne (Schweiz) aus dem Jahr 2014, welche direkte, diffuse und reflektierte UV-Strahlung beinhalteten. Die Simulation erfolgte unter Berücksichtigung eines wolkenfreien Himmels. Untersucht wurden vier Kopfbedeckungen (Abb. 14): eine Baseballkappe, ein Helm mit schmaler Krempe, ein Hut mit mittelbreiter Krempe (ca. 6 cm) sowie ein Hut mit breiter Krempe (ca. 17 cm). Die Simulationen fanden für alle vier Jahreszeiten statt – sowohl für den Tagesverlauf von 08:00 bis 17:00 Uhr als auch für die Mittagszeit (12:00 bis 14:00 Uhr). Bewertet wurde der sogenannte Predictive Protection Factor (PPF). Dieser gibt an, wie stark die UV-Strahlungsdosis durch die jeweilige Kopfbedeckung reduziert werden kann (4).

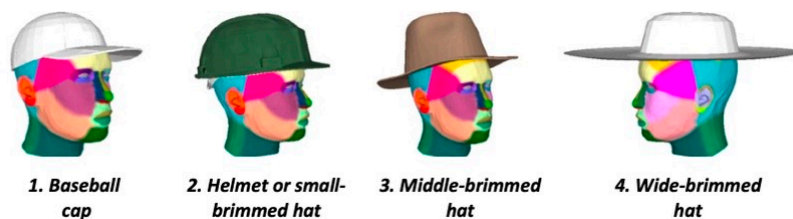


Abb. 14: Kopf mit unterschiedlichen Huttypen: 1. Baseballkappe (10cm Schirm); 2. Helm mit schmaler Krempe (7cm vorne, 4cm seitlich); 3. Hut mit mittelbreiter Krempe (ca. 6cm); 4. Hut mit breiter Krempe (17cm) (4)

4.2.3. Ergebnisse

Die höchsten UV-Dosen traten im Sommer an der Nase auf (6,1 SED), wobei das gesamte Gesicht an einem Sommermittag eine 2,5 mal höhere UV-Dosis als an einem Wintermittag (3,3 vs. 1,3 SED) erhielt. Der Hut mit einer Krempenbreite von ca. 17 cm reduzierte die UV-Belastung im Gesicht am effektivsten. Ohne Schutz lag die UV-Dosis im Sommer an der Nase bei 6,1 SED, mit dem Hut hingegen bei nur 1,7 SED. Dieser Hut zeigte ebenfalls gute Ergebnisse an Stirn, Nase, Wangen und Ohren. Im Gegensatz dazu boten die Baseballkappe und der Helm mit kleiner Krempe nur einen begrenzten Schutz. Lediglich an der Nase zeigte die Baseballkappe einen relativ guten Schutz und erreichte eine Reduktion der UV-Dosis um

76%. Für andere Regionen wie Wangen, Ohren und Kinn bot sie hingegen nahezu keinen Schutz. Wie in Abb. 15 dargestellt, waren die PPF-Werte der Hüte im Sommer besser als im Winter (0% bis 37%). Die Beobachtungen zeigten zudem, dass die diffuse UV-Strahlung über das ganze Jahr hinweg erheblich zur Gesamtbelastung beiträgt. Darüber hinaus zeigte sich, dass der Schutz durch Hüte stark von der Jahreszeit sowie der Sonnenhöhe abhängt (4).

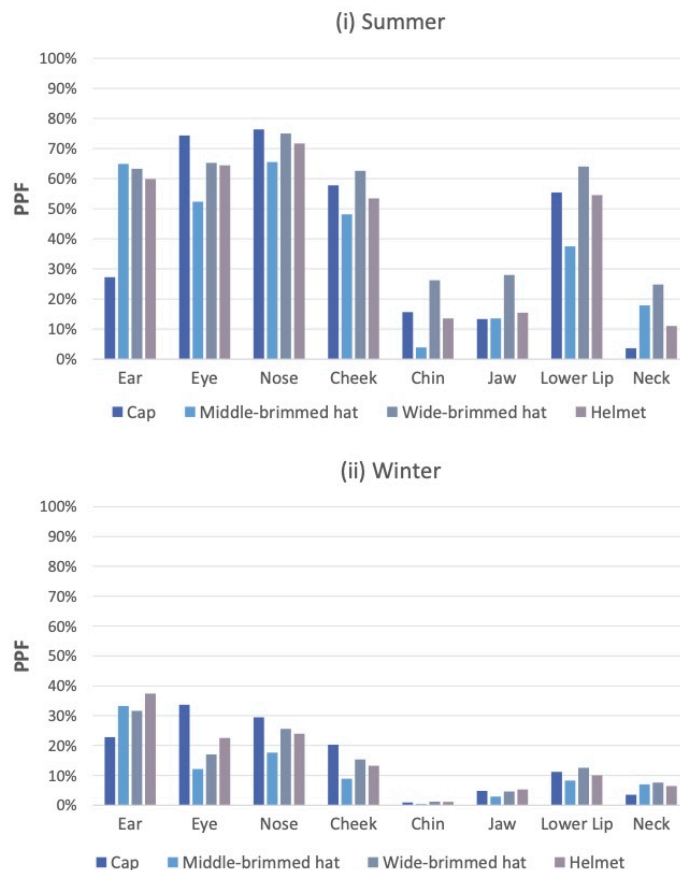


Abb. 15: Predictive Protection Faktor (PPF) im Sommer und Winter zur Mittagszeit von 12:00 bis 14:00 Uhr (4)

4.2.4. Fazit

Wie effektiv ein Hut schützt, hängt sowohl von der Tageszeit als auch von der Jahreszeit ab. Hüte mit breiter Krempe bieten grundsätzlich einen besseren Schutz als Hüte mit schmaler Krempe. Da jedoch keine der Kopfbedeckungen einen vollständigen Schutz bietet (maximal 76%), wird empfohlen, sie mit weiteren Sonnenschutzmitteln zu kombinieren. Die diffuse UV-Strahlung hat einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtbelastung. Um die Wirksamkeit des Sonnenschutzes zu verbessern, sollten gezielte Aufklärungsbotschaften vermittelt werden (4).

5. Material und Methode

5.1. Material

5.1.1. **vidalXL Schaufensterpuppe Mann A**

Für die Messung der UV-Strahlungswerte der 24 Kopfbedeckungen wurde eine Schaufensterpuppe der Marke „vidalXL Mann mit Kopf und Gesicht“ (Abb. 16) in Lebensgröße verwendet. Dieses Modell besteht aus 6 Einzelteilen: Kopf, Rumpf, Armen und Beinen sowie einem um 60° nach oben und unten verstellbaren Gesicht. Der Kopf sowie beide Arme können um 360° gedreht werden. Die Schaufensterpuppe ist aus umweltfreundlichem und langlebigem Polyethylen (PE) hergestellt und steht auf einer Bodenplatte aus Panzerglas und ist über einen Aluminiumdorn an der Wade befestigt, um die Stabilität der Schaufensterpuppe zu gewährleisten. Die Körpergröße beträgt 187 cm bei einer Konfektionsgröße von 54 (33).

Weitere Spezifikationen: Schulterbreite 47 cm, Brustumfang: 94,5 cm, Taillenumfang: 75 cm, Hüftumfang: 96 cm, Schuhgröße: 42, Farbe: Beige

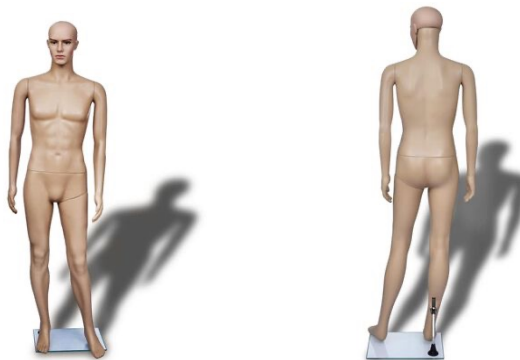
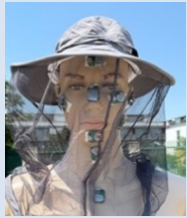
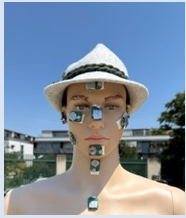
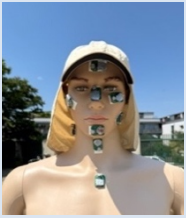
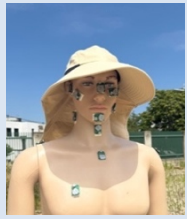
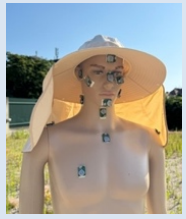
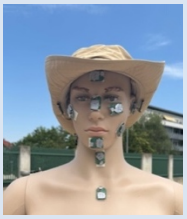
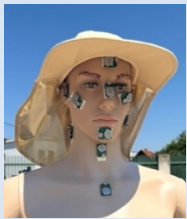
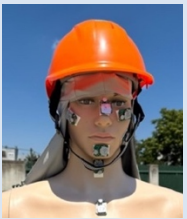
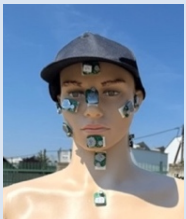
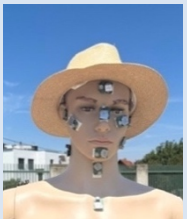


Abb. 16: VidalXL Schaufensterpuppe Mann A (33)

5.1.2. Kopfbedeckungen

Um zu untersuchen, welche Art von Kopfbedeckung den wirksamsten Schutz vor UV-Strahlung bietet, wurden insgesamt 24 verschiedene Modelle (Tabelle 2) ausgewählt. Dabei wurde größtenteils darauf geachtet, Kopfbedeckungen auszuwählen, die auch im Berufsalltag einsetzbar sind. Gewählt wurden Hutmodelle mit unterschiedlicher Krempebreite, mit und ohne Nacken- sowie Gesichtsschutz und Hüte mit Netzstruktur. Zur Veranschaulichung der Schutzwirkung besonders breiter Krempe wurde zudem ein Sombrero in die Untersuchung einbezogen.

Tabelle 2: Für die Untersuchung ausgewählte Kopfbedeckungen mit Bezeichnung und Nummerierung

1. Mosquito net hat	2. Tiroler Waldhut	3. Fischerhut & face guard	4. Sunhat unisex	5. Legionärs-kappe	6. Sun hat female
					
7. Visor cap	8. Bavarian trad hat	9. UV-Protection hat	10. Bucket hat	11. Summer hat	12. Boonie Buschhut
					
13. Country hat	14. Moskitonetz Hut	15. Hard Hat (EN397)	16. UV protection hat	17. Kappe Face & neck guard	18. Hard Hat mit Helm Liner
					
19. Sunhelmet	20. Vintage Weben Strohhut	21. Strohhut kegelförmig	22. Sombrero Mariachi	23. Baseballkappe	24. Strohhut
					

5.2. Methode

5.2.1. Messprinzip

Das batteriebetriebene UV-Strahlungsmessgerät SunSaver, bestehend aus einem Sensor sowie einer elektronischen Auswerte- und Speichereinheit, speichert fortlaufend Zeit und UV-Strahlungswerte. Als Sensor dient eine Siliziumkarbid-Photodiode (JEC11-DE ERYCS 2; Laser Components, Olching, Deutschland) mit einem eingebauten Diffuser, die der Kosinusfunktion ähnelt und somit der Richtungsempfindlichkeit der menschlichen Haut entspricht. Die Comisión Internacional de la Iluminación definiert die spektrale Empfindlichkeit, welche dem Wirkungsspektrum des Erythems entspricht (9, 34). Das Messgerät misst in einem Bereich von 0,03 UV-Index bis 30 UV-Index. Der erythemgewichteten Bestrahlungsstärke von 0,25 W/m² entspricht der Wert von 1 UV-Index. Für die Durchführung der Messung wurde das SunSaver-Messgerät so eingestellt, dass jede Sekunde eine Messung erfolgt.

5.2.2. Datenkorrektur

Die SunSaver geben ihre aufgezeichneten Daten in aufsummierten elektrischen Potentialunterschieden der Photodiode in der Einheit „Arbitrary Unit“ aus (=Einheit ohne näher definierte Bedeutung). Die Photodioden liefern dabei auch bei „Dunkelheit“ einen Basiswert, welcher als sogenanntes „Dunkelsignal“ beschrieben wird. Daher muss der gemessene Wert, das sogenannte „Rohsignal“ zunächst um dieses Dunkelsignal korrigiert werden, indem das Dunkelsignal vom Rohsignal abgezogen wird, wodurch man das sogenannte „dunkelsignalkorrigierte Signal“ erhält.

5.2.3. Korrektur des Dunkelsignals

In diesem Schritt wird das Dunkelsignal (Messwert ohne Sonneneinstrahlung) korrigiert:

$$S = S_{\text{roh}} - S_0 \quad [\text{Equ. 1}]$$

Wobei:

S_{roh} = Rohsignal [AU] [AU ... Arbitrary Units]

S_0 = Dunkelsignal [AU] (Signal ohne Sonnenbestrahlung)

S = dunkelsignalkorrigiertes Signal [AU]

5.2.4. Bestimmung des Kalibrierfaktors

Um einer Arbitrary Unit eine physikalische Bedeutung zuzuweisen, wie beispielsweise der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke mit der Einheit mW/m², muss diese anschließend

kalibriert werden. Für diese Umrechnung der Werte muss für jedes einzelne UV-Messgerät (SunSaver) ein Kalibrierfaktor bestimmt werden. Dieser berechnet sich aus dem Verhältnis der ambienten erythemwirksamen Bestrahlungsstärke eines kalibrierten Messgerätes (in diesem Fall ein Messgerät des Typs SL501 Solar Light, Inc. USA des österreichischen UV-Messnetzes) und des dunkelsignalkorrigierten Signals (S). Der Kalibrierfaktor hängt von einer Reihe unterschiedlicher Faktoren ab, wie etwa dem Ozongehalt der Atmosphäre oder der Weglänge der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre. Diese Faktoren können in diesem Zusammenhang jedoch vernachlässigt werden, da vor den Messungen noch Kalibrierungen stattfanden.

$$f_{\text{ery,kal}} = E_{\text{ery,amb}} / S \quad [\text{Equ. 2}]$$

$f_{\text{ery,kal}}$ = Kalibrierfaktor [$\text{mW}_{\text{ery}} / (\text{m}^2 \cdot \text{AU})$] oder [UV Index / AU], wobei 1 UV Index = $0,25 \text{mW}_{\text{ery}}/\text{m}^2$

$E_{\text{ery,amb}}$... erythemgewichtete Bestrahlungsstärke, waagrecht [$\text{mW}_{\text{ery}}/\text{m}^2$] oder [UV Index]

5.2.5. Berechnung der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke

Um die erythemwirksame Bestrahlungsstärke zu erhalten, muss das dunkelsignalkorrigierte Signal mit dem Kalibrierfaktor multipliziert werden:

$$E_{\text{ery}} = S * f_{\text{ery,kal}} \quad [\text{Equ. 3}]$$

E_{ery} = erythemgewichtete Bestrahlungsstärke [$\text{mW}_{\text{ery}}/\text{m}^2$] oder [UV Index]

5.3. Exposure Ratio to Ambient (ERTA)

5.3.1. Berechnung des ERTA

Das ERTA berechnet sich aus dem Verhältnis der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke der SunSaver zur ambienten erythemwirksamen Bestrahlungsstärke des Messgerätes des Typs SL501. Dieses Verhältnis gibt den Messwerten eine allgemeingültige Bedeutung und gibt an, wie viel der Umgebungsstrahlung tatsächlich auf den betrachteten Körperbereich fällt. Das ERTA ist stark vom Stand der Sonne abhängig. Bei einem hohen Sonnenstand trifft auf eine senkrechte Fläche weniger Strahlung als auf eine horizontale Fläche, wodurch das ERTA klein ist. Ist der Sonnenstand niedrig, ist die Bestrahlungsstärke an einer senkrechten Fläche im Vergleich zu einer horizontalen Fläche größer, somit ist das ERTA groß. Bei bestimmten Sonnenständen und Ausrichtungen kann somit der geneigte Körperbereich mehr Strahlung als der horizontal ausgerichtete empfangen, das ERTA ist somit größer als 1.

$$\text{ERTA (sh)} = E_{\text{ery}}(\text{sh}) / E_{\text{ery,amb}}(\text{sh}) \quad [\text{Equ. 4}]$$

5.3.2. Anwendung

Das ERTA ist unabhängig von Ort und Zeit anwendbar. Ist ein prognostizierter Wert der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke mit dazugehöriger Sonnenhöhe bekannt oder liegt ein gemessener Wert für einen bestimmten Zeitpunkt vor, kann daraus die Bestrahlungsstärke mit einer guten Genauigkeit berechnet werden.

$$E_{\text{ery}}(\text{sh}) = E_{\text{ery,amb}}(\text{sh}) * \text{ERTA}(\text{sh}) \quad [\text{Equ. 5}]$$

5.4. Versuchsaufbau und Durchführung der Messungen

5.4.1. Aufbau der Schaufensterpuppe

Für aussagekräftige Messdaten musste der Versuchsaufbau auf einer möglichst ebenen Fläche erfolgen. Außerdem musste sichergestellt werden, dass umliegende Gebäude den Einfallswinkel der Sonne zu keinem Zeitpunkt beeinträchtigen oder die Messergebnisse etwa durch Schattenwurf verfälschen. Als Standort für den Versuchsaufbau wurde eine große Pferdekoppel auf dem Gelände der Veterinärmedizinischen Universität Wien gewählt. Zunächst wurde für den Drehteller eine möglichst ebene Stelle in der Mitte der Koppel bestimmt und dieser anschließend mit einer Wasserwaage so genau wie möglich ausgerichtet. Danach wurde die Schaufensterpuppe auf dem Drehteller positioniert, mit Panzertape fixiert und die Ausrichtung abschließend in alle Richtungen überprüft (Abb. 17).



Abb. 17: Schaufensterpuppe mit angebrachten Messgeräten (SunSaver)

5.4.2. Platzierung der UV-Strahlungsmessgeräte (SunSaver)

Für die Messungen der UV-Strahlung wurden insgesamt 21 elektronische UV-Strahlungsmessgeräte (SunSaver) mithilfe doppelseitigen Klebebands an einer Schaufensterpuppe angebracht. Dabei wurde darauf geachtet, vor allem jene Körperregionen auszuwählen, die einer UV-Exposition am stärksten ausgesetzt sind, darunter Gesicht, Hals, Nacken, Schultern, Arme, Brust, Bauch und Rücken. Die folgende Tabelle (Tabelle 3) beschreibt die genauen anatomischen Positionen sowie die zugehörige Nummerierung der UV-Strahlungsmessgeräte.

Tabelle 3: Nummerierung und Position der UV-Strahlungsmessgeräte (SunSaver)

Messgerät Nr.	Position	Messgerät Nr.	Position
1	mittig auf dem Kopf	12	mittig auf dem Schlüsselbein
2	auf der Stirn	13	rechts auf der Schulter
3	auf dem Nasenrücken	14	links seitliche Schulter
4	rechtes Jochbein	15	rechts auf der Brust
5	rechts vor dem Ohr	16	unterhalb des Nabels
6	links unter dem Auge	17	rechtes Handgelenk
7	links auf dem Ohr	18	Hinterkopf Haaransatz
8	linkes Unterkiefer	19	auf dem Nacken
9	auf dem Kinn	20	rechts auf dem Schulterblatt
10	rechts seitlich am Hals	21	mittig auf dem Kreuzbein
11	auf dem Kehlkopf		

In Abb. 18 sind die anatomischen Positionen nochmals anhand schwarzer Punktmarkierungen und der zugehörigen Nummerierung an der Schaufensterpuppe bildlich dargestellt.

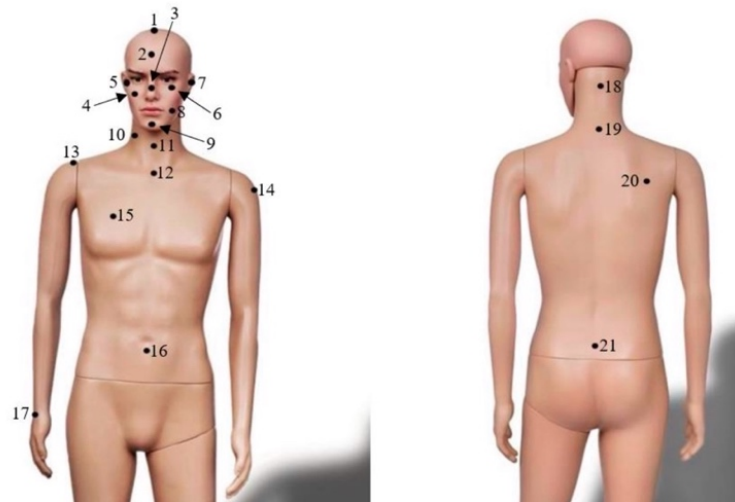


Abb. 18: Positionierung der UV-Strahlungsmessgeräte (SunSaver) an der Schaufensterpuppe

5.4.3. Durchführung der Messungen

Von Anfang Juni bis Ende Juli erreicht die Sonne über Wien ihren höchsten Stand. In diesem Zeitraum steigt die Sonnenhöhe auf bis zu 65° , weshalb er für die Durchführung der Messungen gewählt wurde. Um einen praxisnahen Arbeitstag zu simulieren und Sonnenstände von 20° bis 65° abzudecken, wurde mit den Messungen jeweils gegen 07:00 Uhr morgens begonnen. Zu diesem Zeitpunkt lag der Sonnenstand bei ca. 20° und erreichte seinen Höchstwert von etwa 65° gegen 13:00 Uhr. Die Messungen wurden an möglichst windstillen und wolkenlosen Tagen durchgeführt, um Störfaktoren wie ein Verrutschen oder Herabfallen der Kopfbedeckungen durch Windböen oder Schattenbildung durch eine wolkenbedeckte Sonne zu vermeiden. Zu Beginn der Messungen wurde ein zuvor festgelegter Referenzsensor für eine Minute abgedeckt. Mithilfe des Dunkelstroms konnte bei der späteren Auswertung der Daten der exakte Messbeginn bestimmt werden. Dieser Sensor wurde auch bei jedem Wechsel der Kopfbedeckung erneut für eine Minute abgedeckt. Dieser Vorgang sowie die Führung eines Messprotokolls, gewährleistete die Zuordnung der Daten zu den jeweiligen Kopfbedeckungen. Aufgrund der Dauer der einzelnen Messvorgänge konnten pro Tag insgesamt sechs unterschiedliche Kopfbedeckungen untersucht werden. Nachdem der Referenzsensor eine Minute lang abgedeckt wurde, erfolgte eine sechsminütige Messung ohne Kopfbedeckung, während sich der Drehteller mit der Schaufensterpuppe dreimal um die eigene Achse drehte. Anschließend wurde der Sensor erneut für eine Minute abgedeckt, während die erste Kopfbedeckung aufgesetzt wurde. Danach begann die nächste

sechsminütige Messung. Dieser Ablauf wurde für die Kopfbedeckungen Nr. 1 bis Nr. 3 wiederholt und es erfolgte die nächste Messung ohne Kopfbedeckung. Danach erfolgte im gleichen Ablauf die Messung der Kopfbedeckungen Nr. 4 bis Nr. 6. Der gesamte Vorgang wurde bis zu einer Sonnenhöhe von etwa 65° wiederholt. Eine Übersicht ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Messvorgang

Dauer [min]	Tätigkeit	Kopfbedeckung
1	Abdeckung	ohne
6	drei Umdrehungen	ohne
1	Abdeckung	ohne
6	drei Umdrehungen	Nr. 1
1	Abdeckung	ohne
6	drei Umdrehungen	Nr. 2
1	Abdeckung	ohne
6	drei Umdrehungen	Nr. 3
1	Abdeckung	ohne
6	drei Umdrehungen	ohne
1	Abdeckung	ohne
6	drei Umdrehungen	Nr. 4
1	Abdeckung	ohne
6	drei Umdrehungen	Nr. 5
1	Abdeckung	ohne
6	drei Umdrehungen	Nr. 6

5.5. Auswertung der Messungen

5.5.1. UV-Index (UVI)

Nach dem Auslesen der UV-Strahlungsmessgeräte erhält man, wie in Tabelle 5 ersichtlich, eine Comma-Separated Values-Datei (CSV-Datei) welche Angaben zu Datum, Uhrzeit, UV-Strahlung und Temperatur enthält. Die Werte aus den Spalten „Zeit“ und „UV-Strahlung“

wurden anschließend in eine Excel-Tabelle kopiert. Anhand des Messprotokolls sowie dem durch das Abdecken des Referenzsensors (in diesem Fall der Sensor mit der Nummer R534) entstandene Dunkelstrom (für den Sensor R534 beträgt dieser -14), konnten die Messdaten exakt den jeweiligen Kopfbedeckungen zugeordnet und markiert werden. Im nächsten Schritt wurden die Rohsignale des Referenzsensors korrigiert, in UVI-Werte umgerechnet und für die jeweilige sechsminütige Messphase ein Mittelwert berechnet. Die ermittelten Zeitfenster wurden auf alle 21 UV-Messgeräte (SunSaver) übertragen, eine Korrektur der Rohsignale sowie die Kalibrierung auf UVI durchgeführt und anschließend die Mittelwerte berechnet.

Tabelle 5: Ausschnitt CSV-Datei

Datum	Zeit	UV-Strahlung	Temperatur
24-06-2024	07:16:09	-14	27,0
24-06-2024	07:16:10	-14	27,0
24-06-2024	07:16:11	-14	27,0
24-06-2024	07:16:12	-8	27,0
24-06-2024	07:16:13	-6	27,0
24-06-2024	07:16:14	-6	27,0
24-06-2024	07:16:15	-5	27,0

5.5.2. Hutschutzfaktor (HPF)

Die berechneten UVI-Mittelwerte wurden in eine separate Excel-Tabelle übertragen, um daraus die Standarderythemdosis pro Stunde (SED/h) zu berechnen. Diese entspricht einer erythemwirksamen Bestrahlungsstärke von 100 Joule pro Quadratmeter (J/m^2) (34). Anhand der SED/h konnte in weiterer Folge der HPF bestimmt werden (Tabelle 6). Dieser Vorgang wurde pro Messtag für jeweils sechs Kopfbedeckungen und alle 21 UV-Strahlungsmessgeräte durchgeführt. Anschließend wurde für jede Kopfbedeckung der HPF-Mittelwert über den gesamten Messzeitraum von etwa 07:00 bis 13:00 Uhr berechnet, um Sonnenhöhen von ca. 20° bis 65° abzudecken und damit den typischen Arbeitszeitraum im Freien zu simulieren.

Tabelle 6: Beispiel für die Berechnung des Hutschutzfaktors (HPF)

Kopfbedeckung	R534 rechte Brust		
	Mittelwert (UVI)	SED/h	Hutschutzfaktor (HPF)
ohne	0,315	0,284	
KB1	0,343	0,309	0,919
KB2	0,394	0,355	0,8
KB3	0,444	0,399	0,712

5.5.3. Exposure Ratio to Ambient (ERTA)

Für eine Berechnung des ERTA wurden bereits vorliegende Messdaten des Messgeräts SL501 (Solar Light) zur ambienten erythemwirksamen Bestrahlungsstärke sowie die zugehörigen Sonnenhöhen der jeweiligen Messtage herangezogen. Auf Grundlage dieser Daten und der gemessenen erythemwirksamen Bestrahlungsstärken der SunSaver wurde über den gesamten Messzeitraum von etwa 07:00 bis 13:00 Uhr für alle 24 Kopfbedeckungen jeweils ein Mittelwert für das ERTA berechnet.

6. Ergebnisse

6.1. Hutschutzfaktor (HPF)

6.1.1. Mittelwerte gesamt und Kopf/Hals

Anhand der HPF-Mittelwerte wurde ein Diagramm (Abb. 19) erstellt. Es enthält Mittelwerte für den gesamten Körper (blauer Balken) und Mittelwerte für den Kopf-Hals-Bereich (roter Balken) bei Sonnenhöhen von ca. 20° bis 65°. Zur besseren Übersicht wurde jedem Balken im Diagramm ein Foto der jeweiligen Kopfbedeckung beigelegt. Die höchste Schutzwirkung erzielten Kopfbedeckung Nr. 3 und Nr. 17 (Hüte mit Gesichts- und Nackenschutz). Kopfbedeckung Nr. 3 wies durch die vollständige Abdeckung von Gesicht und Nacken und durch eine breite Krempe einen sehr hohen HPF auf (HPF Gesicht/Hals 64,1). Kopfbedeckung Nr. 17 bot ebenfalls einen überdurchschnittlich hohen Schutz (HPF Kopf/Hals 47,4). Kopfbedeckung Nr. 2, Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 15 zeigten eine geringere Schutzwirkung mit einem HPF teils unter 10 und boten kaum einen nennenswerten Schutz. Im Vergleich dazu erreichte Kopfbedeckung Nr. 15 (Bauhelm ohne Helm-Liner), einen HPF im Kopf/Hals-Bereich von 8,7, während Kopfbedeckung Nr. 18 (Bauhelm mit Helm-Liner) einen relativ hohen HPF bot (HPF Kopf/Hals 35,7) – insbesondere für die empfindlichen Bereiche wie Stirn, Ohren und Nacken. Der HPF von Kopfbedeckung Nr. 16 (UV-Protection Hat) lag aufgrund seiner umlaufenden, breiten und nach unten gebogenen Krempe und des Überstands über Ohren und Nacken im mittleren Bereich (HPF Kopf/Hals 16,1). Der Schutz der weiteren Kopfbedeckungen variierte stark je nach Krempenform und Größe. Kopfbedeckung Nr. 5, Nr. 6, Nr. 10 und Nr. 11 zeigten durchgehend mittlere Werte (HPF > 20), Kopfbedeckung Nr. 1, Nr. 4, Nr. 9, Nr. 12, Nr. 13, Nr. 14 sowie Nr. 19 bis Nr. 24 wiesen eine unterdurchschnittliche Schutzwirkung auf. Kopfbedeckung Nr. 7 erreichte aufgrund ihres offenen Designs (Mitte des Kopfes unbedeckt) mit einem HPF von 3,6 den schlechtesten Wert aller getesteten Modelle. Die Messergebnisse zeigten deutlich, dass nur Kopfbedeckungen mit Krempe oder Schirm sowie zusätzlichem Gesichts- und Nackenschutz einen wirksamen Schutz vor UV-Strahlung gewährleisten können. Klassische Hüte ohne seitlichen Schutz für die Wangen oder Nackenschutz erwiesen sich als weitgehend ineffektiv. Kopfbedeckung Nr. 7 ist aufgrund ihres offenen Designs und der unzureichenden Schutzwirkung nicht empfehlenswert.

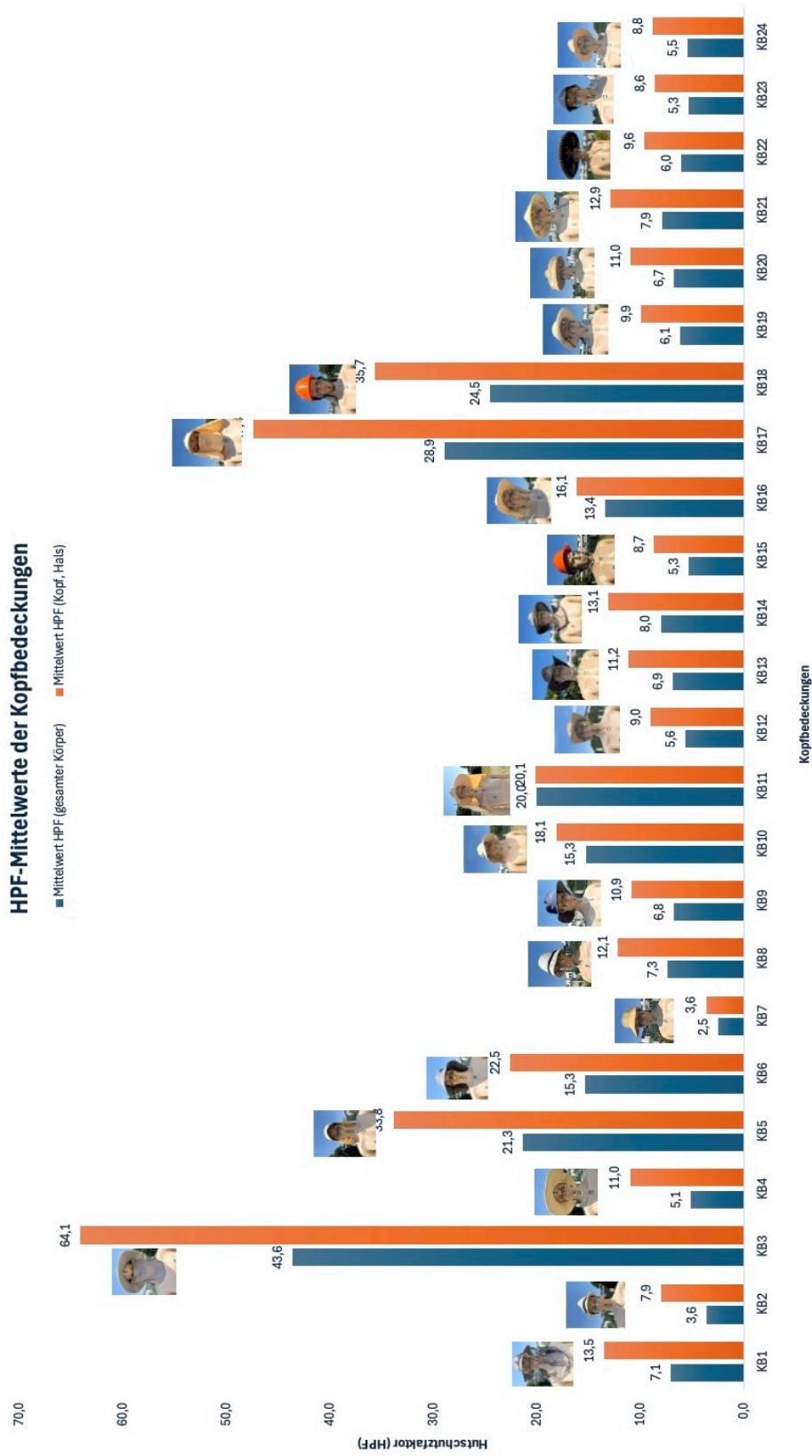


Abb. 19: HPF Mittelwerte

6.1.2. Mittelwerte den einzelnen Körperregionen zugeteilt

Um die Schutzwirkung der Kopfbedeckungen an den dauerexponierten Körperbereichen wie Stirn, Nase, Ohren, Auge, Wange, Kinn, Nacken und Schultern zu veranschaulichen, wurden die jeweiligen Mittelwerte in Tabelle 7 zusammengefasst. Die Kopfbedeckungen Nr. 3 und Nr. 17 boten durch den integrierten Gesichts- und Nackenschutz einen sehr hohen Schutzfaktor. Besonders Kopfbedeckung Nr. 3 schützte die empfindlichen Bereiche wie Ohren, Auge, Wange, Kinn und Nacken sehr effektiv (HPF > 70). Nr. 17 zeigte einen ausgezeichneten Schutz an Ohren und Wange (HPF > 60) sowie einen guten Wert im Nackenbereich (HPF 31,3). Kopfbedeckung Nr. 5 (Legionärskappe), die eine ähnliche Bauweise wie Nr. 17 aufweist, jedoch ohne Gesichtsschutz, zeigte einen sehr guten Schutz für Ohren und Nacken (HPF > 75). Nr. 7 erreichte durch ihren großen Schirm nur an der Nase einen Schutzfaktor über 10 (HPF von 18). Kopfbedeckung Nr. 15 (Bauhelm ohne Helm-Liner) wies durchgehend niedrige Werte auf (HPF < 8). Im Vergleich dazu bot Nr. 18 (Bauhelm mit Helm-Liner) einen guten bis sehr guten Schutz für Stirn (HPF 33), Ohren und Nacken (HPF 80). Kopfbedeckung Nr. 6 bot einen mittleren Schutz für Nase und Ohren (HPF > 20) sowie einen sehr hohen Schutz für den Nacken (HPF 74). Die Kopfbedeckungen Nr. 4, Nr. 9, Nr. 14 und Nr. 21 erreichten außer an der Nase und teilweise im Nacken (HPF 13 bis 23) nur unzufriedenstellende Werte (HPF < 10). Die Modelle Nr. 10 und Nr. 11 erzielten mittlere Werte im Bereich der Ohren (HPF 14 bis 23) und ausgezeichnete Werte für den Nacken (HPF > 70). Die Kopfbedeckungen Nr. 1, Nr. 2, Nr. 8, Nr. 12, Nr. 13, Nr. 16, Nr. 19, Nr. 20, Nr. 22, Nr. 23 und Nr. 24 boten keinen relevanten Schutz und erreichten größtenteils nur einen HPF < 10.

Tabelle 7: HPF-Mittelwerte aller Kopfbedeckungen an den besonders exponierten Regionen

HPF	Stirn	Nase	Ohren	Auge	Wange	Kinn	Nacken	Schultern
KB1	6,9	4,6	14	2,8	2,2	1,8	15	1,7
KB2	3,2	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
KB3	4,2	5,8	80	51	77	69	80	1,0
KB4	8,0	13	6,4	4,2	2,4	1,4	13	1,2
KB5	9,1	14	78	3,8	1,0	1,1	75	1,0
KB6	9,7	23	20	12	5,6	1,9	74	1,0
KB7	9,6	18	1,3	5,4	1,5	1,3	1,0	1,0
KB8	9,6	2,5	13	1,4	1,0	1,0	17	1,0
KB9	7,9	14	6,6	3,6	1,8	1,2	12	1,0
KB10	8,0	18	14	7,7	3,3	1,6	74	1,3
KB11	7,4	9,8	24	3,4	3,6	1,3	79	22
KB12	7,3	2,8	1,7	1,6	1,0	1,0	9,1	1,0
KB13	15	10	1,4	1,6	1,1	1,1	14	1,1
KB14	12	16	6,4	2,0	2,3	1,6	20	1,0
KB15	6,0	1,8	8,2	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0
KB16	8,1	7,2	8,7	1,7	1,6	1,2	75	1,0
KB17	8,8	16	63	9,4	60	8,4	31	8,3
KB18	33	3,2	80	1,1	1,0	1,0	80	1,0
KB19	6,2	7,9	4,2	2,7	1,7	1,1	4,5	1,1
KB20	8,1	18	5,5	3,7	2,1	1,1	2,5	1,1
KB21	7,6	18	7,9	6,0	4,0	1,2	7,6	1,2
KB22	6,2	5,5	4,4	3,0	2,2	1,2	1,9	1,8
KB23	7,6	5,6	1,0	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0
KB24	3,3	2,1	2,9	1,4	1,1	1,0	4,5	1,0

6.2. Exposure Ratio to Ambient (ERTA)

6.2.1. Mittelwerte gesamt und Kopf/Hals

Wie in Abb. 20 ersichtlich, zeigte die Analyse des ERTA teilweise nur geringe Unterschiede in der Schutzwirkung der getesteten Kopfbedeckungen. Als effektivste Modelle hoben sich – wie bereits bei der Auswertung des UPF – die Kopfbedeckungen Nr. 3 (ERTA Kopf/Hals 0,021) und Nr. 17 (ERTA Kopf/Hals 0,016) hervor. Sie reduzierten die direkte UVR um nahezu 100%, was auf den integrierten Gesichts- und Nackenschutz sowie die vollständige Abdeckung von Kopf und Hals zurückzuführen ist. Die Kopfbedeckungen Nr. 1, Nr. 4, Nr. 5, Nr. 6, Nr. 9, Nr. 10, Nr. 11, Nr. 14, Nr. 16, Nr. 19, Nr. 20, Nr. 21, Nr. 22 und Nr. 24 lagen in ihren Messergebnissen nah beieinander und erreichten eine gute bis sehr gute Schutzwirkung mit teils über 90%iger Reduktion der direkten UVR. Diese Gruppe umfasste Modelle mit breiter Krempe, seitlichem Schutz, Nackenschutz oder mit Netzstruktur. Klassische Hüte wie Baseballkappen oder Modelle mit schmaler bzw. hochgebogener Krempe – wie bei Kopfbedeckung Nr. 2, Nr. 7, Nr. 8, Nr. 12, Nr. 13 und Nr. 23 – erreichten hingegen nur eine Reduktion von etwa 70 bis 80%. Auch bei der Berechnung des ERTA erreichte Kopfbedeckung Nr. 7 aufgrund ihres offenen Designs nur eine schlechte Schutzwirkung (ERTA Kopf/Hals 0,29). Das schlechteste Ergebnis erzielte Kopfbedeckung Nr. 2 (ERTA Kopf/Hals 0,294). Kopfbedeckung Nr. 15 (Bauhelm ohne Helm-Liner) erreichte einen vergleichsweise schwachen Schutz (ERTA 0,236). Im Gegensatz dazu zeigte Kopfbedeckung Nr. 18 (Bauhelm mit Helm-Liner) mit einem ERTA-Wert von 0,127 eine deutlich höhere Schutzwirkung für Stirn, Ohren und Nacken. Insgesamt zeigten die Ergebnisse des Exposure Ratio to Ambient (ERTA), dass Kopfbedeckungen mit breiter Krempe sowie Gesichts- und Nackenschutz am effektivsten vor direkter UV-Strahlung schützten. Auch Modelle mit breiter Krempe, Nackenschutz oder Netzstruktur erreichten gute Ergebnisse und sind somit empfehlenswert. Kopfbedeckungen mit schmaler oder hochgebogener Krempe, Baseballkappen oder einfache Bauhelme ohne Zusatzmodul waren weniger effektiv und sind daher nur eingeschränkt zu empfehlen.

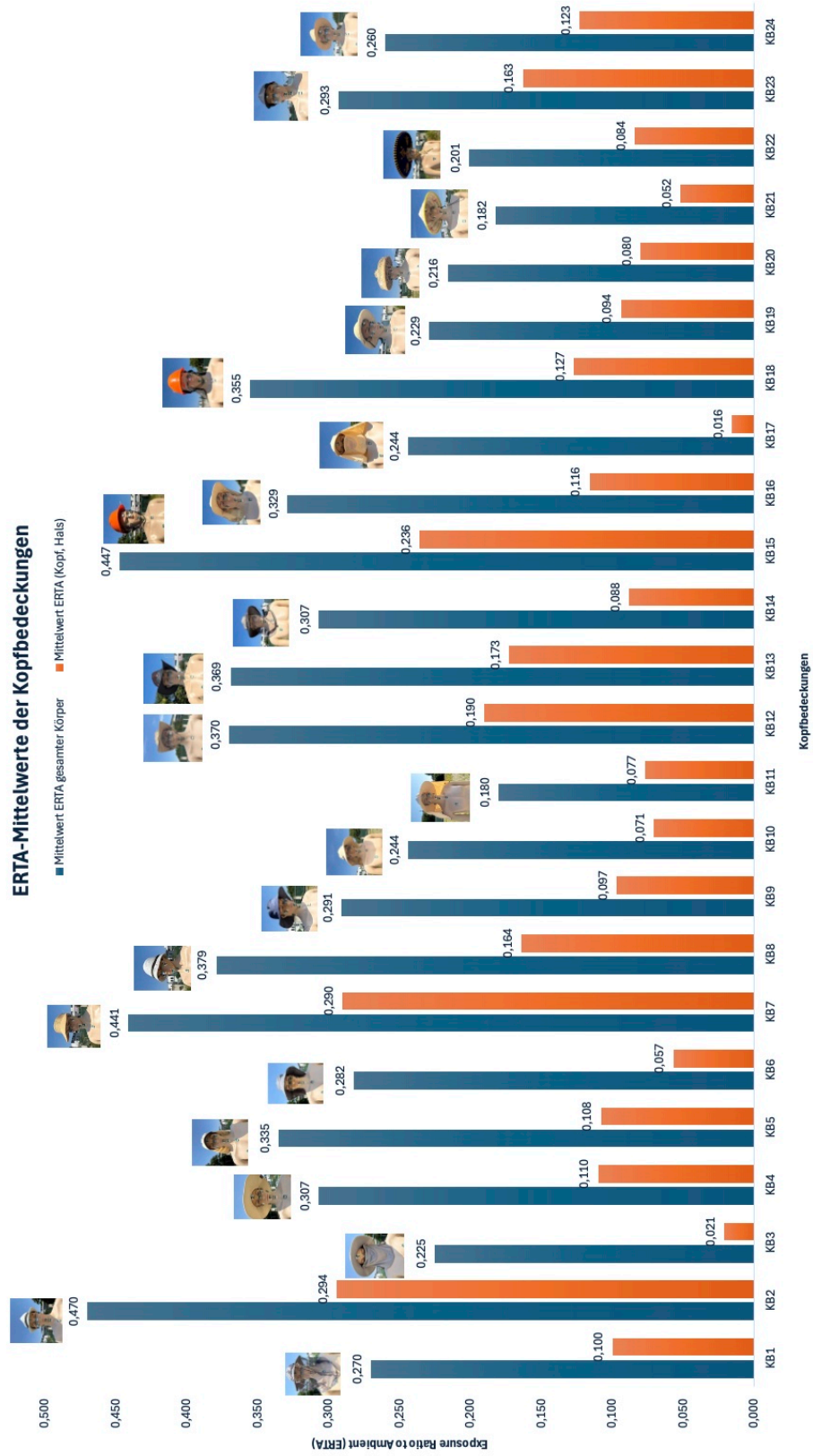


Abb. 20: ERTA-Mittelwerte

6.2.2. Mittelwerte den einzelnen Körperregionen zugeteilt

Wie bereits zuvor für den Hutschutzfaktor, wurden auch die Werte des ERTA an den dauerexponierten Bereichen des Körpers in einer Tabelle zusammengefasst (Tabelle 8). Die Kopfbedeckungen Nr. 3, Nr. 5, Nr. 6, Nr. 17, Nr. 18 und Nr. 21 bieten einen sehr guten Schutz. Kopfbedeckung Nr. 3 erreicht durch ihre breite Krempe, sowie Gesichts- und Nackenschutz an Ohren, Auge, Wange, Kinn und Nacken eine fast vollständige Reduktion der direkten Strahlung (ERTA 0,000 bis 0,010). Das Modell Nr. 17, ebenfalls mit Gesichts- und Nackenschutz erreicht ähnliche Werte an Ohren, Auge, Wange und Kinn (ERTA 0,003 bis 0,035). Kopfbedeckung Nr. 5 (Legionärskappe) bietet durch den integrierten Nackenschutz einen sehr guten Schutz an Ohren (ERTA 0,001) und Nacken (ERTA 0,002), aber nur einen schlechten Schutz für die Schultern (ERTA 0,994). Die Kopfbedeckungen Nr. 6 und Nr. 21 bieten durch ihre breite nach unten gebogene Krempe einen durchgehend guten Schutz für die empfindlichen Regionen im Gesicht (ERTA 0,021 bis 0,058) und einen guten bis sehr guten Schutz im Nacken (ERTA 0,002 bis 0,069). Kopfbedeckung Nr. 11 bietet durch ihren vorhangähnlichen Rundumschutz den besten Schutz für die Schultern (ERTA 0,131) und durchgehend sehr gute Werte für das Gesicht (ERTA 0,017 bis 0,080) sowie eine fast vollständige Reduktion im Nacken (ERTA 0,002), lediglich im Bereich des Kinns fällt die Schutzwirkung etwas geringer aus (ERTA 0,227). Die Kopfbedeckungen Nr. 1, Nr. 4, Nr. 7, Nr. 9, Nr. 10, Nr. 12, Nr. 13, Nr. 14, Nr. 19, Nr. 20, Nr. 22 und Nr. 23 bieten einen guten Schutz im Gesicht, aber liefern schlechte Werte für Nacken und Schultern. Bei diesen Kopfbedeckungen handelt sich um Modelle mit gerader oder nach oben gebogener Krempe. Kopfbedeckung Nr. 12 und Nr. 13 zeigen eine niedrige Schutzwirkung an Ohren (ERTA 0,172 bis 0,190) und Nacken (ERTA 0,149 bis 0,216). Kopfbedeckung Nr. 14 bietet eine gute Reduktion im Gesicht, besonders an der Stirn (ERTA 0,031) aber schützt die Schultern mit einem ERTA-Wert von 0,859 nur unzureichend. Das Modell Sombrero mit der Nr. 22 bietet einen guten Schutz für das empfindliche Gesicht (ERTA 0,037 bis 0,158), schützt aber die Schultern trotz seiner sehr breiten Krempe nur unzureichend (ERTA 0,387). Die Kopfbedeckungen Nr. 2, Nr. 8, Nr. 12 und Nr. 15 weisen durchgehend hohe ERTA-Werte auf, besonders an Stirn, Nase, Nacken und Schultern bieten sie nur eine schwache Schutzwirkung. Kopfbedeckung Nr. 2 (Tiroler Waldhut) erreicht z.B. an der Nase den höchsten gemessenen ERTA-Wert von 0,460, aber auch an den Schultern (ERTA 0,927) und im Nacken (ERTA 0,54) fällt die Schutzwirkung gering aus.

Tabelle 8: ERTA-Mittelwerte aller Kopfbedeckungen an den besonders exponierten Regionen

ERTA	Stirn	Nase	Ohren	Auge	Wange	Kinn	Nacken	Schultern
KB1	0,068	0,145	0,044	0,177	0,113	0,163	0,188	0,618
KB2	0,131	0,460	0,275	0,432	0,257	0,306	0,546	0,927
KB3	0,142	0,119	0,000	0,010	0,001	0,003	0,000	0,807
KB4	0,044	0,054	0,090	0,116	0,129	0,219	0,090	0,778
KB5	0,036	0,050	0,001	0,128	0,246	0,264	0,002	0,994
KB6	0,033	0,027	0,021	0,041	0,069	0,152	0,003	0,926
KB7	0,035	0,035	0,212	0,088	0,182	0,227	0,554	0,865
KB8	0,037	0,255	0,035	0,319	0,223	0,297	0,364	0,885
KB9	0,040	0,042	0,043	0,114	0,133	0,236	0,099	0,756
KB10	0,043	0,038	0,034	0,058	0,087	0,191	0,002	0,715
KB11	0,045	0,068	0,017	0,125	0,080	0,227	0,001	0,131
KB12	0,044	0,247	0,172	0,275	0,243	0,277	0,149	0,861
KB13	0,035	0,071	0,190	0,171	0,248	0,258	0,216	0,835
KB14	0,031	0,042	0,049	0,130	0,132	0,174	0,178	0,859
KB15	0,070	0,353	0,187	0,269	0,269	0,305	0,525	0,959
KB16	0,048	0,103	0,044	0,159	0,200	0,248	0,002	0,952
KB17	0,043	0,042	0,005	0,029	0,003	0,035	0,166	0,531
KB18	0,012	0,273	0,000	0,239	0,245	0,300	0,000	1,003
KB19	0,041	0,054	0,038	0,110	0,116	0,182	0,186	0,542
KB20	0,038	0,024	0,038	0,077	0,098	0,175	0,202	0,515
KB21	0,031	0,022	0,025	0,047	0,058	0,153	0,069	0,465
KB22	0,037	0,079	0,046	0,100	0,088	0,159	0,227	0,387
KB23	0,029	0,078	0,210	0,162	0,163	0,188	0,387	0,637
KB24	0,066	0,195	0,069	0,211	0,146	0,196	0,206	0,590

Kopfbedeckung Nr. 15 (Bauhelm ohne Helm-Liner) weist ebenfalls durchgehend hohe Werte auf. Sie erreicht z.B. an den Ohren einen ERTA-Wert von 0,187, im Nacken 0,525 und im Bereich der Schultern 0,959. Demgegenüber erreicht Kopfbedeckung Nr. 18 (Bauhelm mit Helm-Liner) einen sehr guten Schutz an Ohren und Nacken (ERTA 0,000), aber an den Schultern einen ähnlich niedrigen Schutz wie das Model ohne Helm-Liner (ERTA 1,003).

7. Diskussion

In dieser Untersuchung zeigt sich, dass die Schutzwirkung von Kopfbedeckungen stark vom jeweiligen Design abhängt und die Ergebnisse mit denen früherer Studien (z.B. B.L. Diffey & J. Cheeseman 1992; Backes et al. 2018) vergleichbar sind. Im Unterschied zu diesen wurden jedoch zusätzlich Hüte mit Netzen sowie Gesichts- und Nackenschutz berücksichtigt. Zudem wurden für die Bewertung des Schutzfaktors weitere Körperbereiche, wie zum Beispiel Hals und Schultern, einbezogen.

Die 24 untersuchten Kopfbedeckungen weisen teilweise große Unterschiede bezüglich des HPF und ERTA auf, vor allem bei Modellen mit breiter Krempe, Gesichts- und oder Nackenschutz, Bauhelmen mit Zusatzmodulen oder Modellen mit Netzstruktur.

Kopfbedeckungen mit integriertem Gesichts- und Nackenschutz wie bei den Modellen Nr. 3 und Nr. 17, erzielten bei den Messungen des HPF sowie bei der Messung des ERTA die besten Werte für den Schutz vor UV-Strahlung und erreichten eine Reduktion der direkten Strahlung von bis zu 100%. Kopfbedeckungen mit einer breiten Krempe oder Bauhelme mit Zusatzmodul erzielten ebenfalls eine ausgezeichnete Schutzwirkung ($HPF > 30$, $ERTA < 0,1$). Klassische Hüte, Baseballkappen oder Bauhelme ohne Zusatzmodul erwiesen sich hingegen als unzureichend. Besonders bei Modellen mit schmaler oder hochgebogener Krempe zeigte sich eine deutlich schlechtere Schutzwirkung bezüglich des HPF ($HPF < 12$, $ERTA > 0,3$). Diese Modelle bieten somit nur einen eingeschränkten Schutz, besonders bei tief stehender Sonne. Entscheidend für die Effektivität der Kopfbedeckungen ist eine Kombination aus Sonnenstand und der Körperhaltung in einer realen Situation. Die Verwendung einer lebensgroßen Schaufensterpuppe auf einem Drehteller ermöglichte eine gleichmäßige Bestrahlung sowie eine gut differenzierte Bewertung der Schutzwirkung auf die unterschiedlichen anatomischen Bereiche des menschlichen Körpers wie z.B. der Stirn, der Nase, den Ohren und der Wange. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich in der Praxis die Körperhaltung durch Bewegung fortlaufend verändert. Trotz dieser Einschränkung bieten die Messergebnisse eine gute Grundlage zur Bewertung der Schutzwirkung.

Um die Forschungsfrage dieser Untersuchung zu beantworten, lautet die Empfehlung für die Kopfbedeckung mit dem wirksamsten Schutz vor UV-Strahlung wie folgt: Kopfbedeckung Nr. 3. (Fischerhut & face guard) bietet dank ihrer breiten, umlaufenden Krempe sowie dem integrierten Gesichts- und Nackenschutz den besten Schutz vor direkter und indirekter UV-Strahlung. Ihr etwas dichteres Gewebe bietet einen ausgezeichneten UPF, macht sie jedoch

an heißen Sommertagen aufgrund eingeschränkter Belüftung weniger geeignet. Es empfiehlt sich eine Kopfbedeckung zu wählen, welche vor allem einen guten Schutz für Stirn, Nase, Ohren, Hals und Nacken, wie zum Beispiel Kopfbedeckung Nr. 5 (Legionärskappe), bietet. Darüber hinaus zeigt sich, dass Kopfbedeckungen alleine nicht ausreichen um sich effektiv vor UV-Strahlung zu schützen. Ein umfassendes Sonnenschutzkonzept sollte aus zusätzlicher UV-Schutzkleidung, Sonnenschutzmittel mit hohem LSF sowie geeigneten technischen und organisatorischen Maßnahmen (Sonnensegel, Vordächer, früherer Arbeitsbeginn etc.) bestehen.

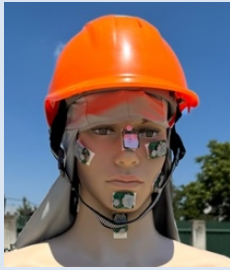
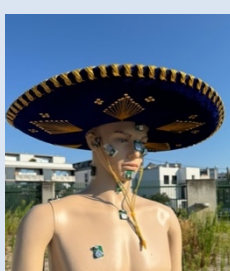
8. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

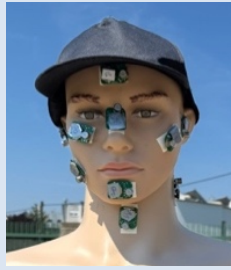
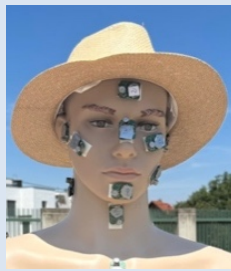
Abb. 1: Variationen des SZA aus der Sicht eines Beobachters (9).....	5
Abb. 2: Aufbau der Haut (13)	6
Abb. 3: Eigenschutzzeiten in Mitteleuropa für sonnengewöhnte Haut (14)	7
Abb. 4: Haut-Fototypen nach Fitzpatrick (15)	7
Abb. 5: Erythem (14)	8
Abb. 6: Nävus (12).....	9
Abb. 7: Lentigo solaris (18).....	9
Abb. 8: a, b Plattenepithelkarzinome (12).....	10
Abb. 9: Basalzellkarzinom (12).....	10
Abb. 10: Empfohlenes Sonnenschutzprogramm laut UV-Index (23)	11
Abb. 11: Berechnung der maximalen Verweildauer in der Sonne je nach Eigenschutzzeit, Hauttyp und LSF (28)	13
Abb. 12: UVI-Jahreskalender Dortmund (23).....	15
Abb. 13: Rotierende Kopfmodelle im Freien (32).....	16
Abb. 14: Kopf mit unterschiedlichen Huttypen: 1.Baseballkappe (10cm Schirm); 2. Helm mit schmaler Krempe (7cm vorne, 4cm seitlich); 3. Hut mit mittelbreiter Krempe (ca. 6cm); 4. Hut mit breiter Krempe(17cm) (4)	18
Abb. 15: Predictive Protection Faktor (PPF) im Sommer und Winter zur Mittagszeit von 12:00 bis 14:00 Uhr (4)	19

Abb. 16: vidalXL Schaufensterpuppe Mann A (33).....	20
Abb. 17: Schaufensterpuppe mit angebrachten Messgeräten (SunSaver)	24
Abb. 18: Positionierung der UV-Strahlungsmessgeräte (SunSaver) an der Schaufensterpuppe	26
Abb. 19: HPF Mittelwerte	31
Abb. 20: ERTA-Mittelwerte	35
Tabelle 1: Einteilung der Hutmodelle und deren Schutzwirkung (32)	17
Tabelle 2: Für die Untersuchung ausgewählte Kopfbedeckungen mit Bezeichnung und Nummerierung	21
Tabelle 3: Nummerierung und Position der UV-Strahlungsmessgeräte (SunSaver)	25
Tabelle 4: Messvorgang	27
Tabelle 5: Ausschnitt CSV-Datei	28
Tabelle 6: Beispiel für die Berechnung des Hutschutzfaktors (HPF)	29
Tabelle 7: HPF-Mittelwerte aller Kopfbedeckungen an den besonders exponierten Regionen..	33
Tabelle 8: ERTA-Mittelwerte aller Kopfbedeckungen an den besonders exponierten Regionen	37

9. Anhang

Nr./Bezeichnung	Abbildung	Nr./Bezeichnung	Abbildung
1. Mosquito net hat HPF (gesamt): 7,1 HPF (Kopf/Hals): 13,5		13. Country hat HPF (gesamt): 6,9 HPF (Kopf/Hals): 11,2	
2. Tiroler Waldhut HPF (gesamt): 3,6 HPF (Kopf/Hals): 7,9		14. Moskitonetz Hut HPF (gesamt): 8 HPF (Kopf/Hals): 13,1	
3. Fischerhut & face guard HPF (gesamt): 43,6 HPF (Kopf/Hals): 64,1		15. Hard Hat (EN397) HPF (gesamt): 5,3 HPF (Kopf/Hals): 8,7	
4. Sunhat unisex HPF (gesamt): 5,1 HPF (Kopf/Hals): 11		16. UV protection hat HPF (gesamt): 13,4 HPF (Kopf/Hals): 16,1	
5. Legionärskappe HPF (gesamt): 21,3 HPF (Kopf/Hals): 33,8		17. Kappe Face & neck guard HPF (gesamt): 28,9 HPF (Kopf/Hals): 47,4	

6. Sun hat female HPF (gesamt): 15,3 HPF (Kopf/Hals): 22,5		18: Hard Hat (EN397) mit Helm Liner HPF (gesamt): 24,5 HPF (Kopf/Hals): 35,7	
7. Visor cap female HPF (gesamt): 2,5 HPF (Kopf/Hals): 3,6		19. Sunhelmet HPF (gesamt): 6,1 HPF (Kopf/Hals): 9,9	
8. Bavarian trad hat HPF (gesamt): 7,3 HPF (Kopf/Hals): 12,1		20. G. Vintage Weben Strohhut HPF (gesamt): 6,7 HPF (Kopf/Hals): 11	
9. UV protection hat HPF (gesamt): 6,8 HPF (Kopf/Hals): 10,9		21. Strohhut kegelförmig HPF (gesamt): 7,9 HPF (Kopf/Hals): 12,9	
10. Bucket hat HPF (gesamt): 15,3 HPF (Kopf/Hals): 18,1		22. Sombrero Mariachi HPF (gesamt): 6 HPF (Kopf/Hals): 9,6	

11. Summer hat HPF (gesamt): 20 HPF (Kopf/Hals): 20,1		23. Baseball Kappe HPF (gesamt): 5,3 HPF (Kopf/Hals): 8,6	
12. Boonie Buschhut HPF (gesamt): 5,6 HPF (Kopf/Hals): 9		24. Strohhut HPF (gesamt): 5,5 HPF (Kopf/Hals): 8,8	

10. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinem Betreuer Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Alois Schmalwieser meinen ganz besonderen Dank für seine Unterstützung aussprechen. Ich danke außerdem Herrn Ing. Christian Haider, der mir tatkräftig bei den Messarbeiten zur Seite gestanden ist.

Literatur

1. Weltgesundheitsorganisation. Global solar UV index: A practical guide. Geneva: World Health Organization; 2002.
2. Bundesamt für Strahlenschutz. Was ist UV-Strahlung?; 2025 [Stand: 16.06.2025]. Verfügbar unter: <https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/einfuehrung/einfuehrung.html>.
3. Schmalwieser AW. Possibilities to estimate the personal UV radiation exposure from ambient UV radiation measurements. *Photochem Photobiol Sci* 2020; 19(10):1249–61. doi: 10.1039/d0pp00182a.
4. Backes C, Religi A, Mocozet L, Vuilleumier L, Vernez D, Bulliard J-L. Facial exposure to ultraviolet radiation: Predicted sun protection effectiveness of various hat styles. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2018; 34(5):330–7. doi: 10.1111/phpp.12388.
5. Langselius O, Rungay H, Vries E de, Whiteman DC, Jemal A, Parkin DM et al. Global burden of cutaneous melanoma incidence attributable to ultraviolet radiation in 2022. *Int J Cancer* 2025. doi: 10.1002/ijc.35463.
6. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; International Agency for Research on Cancer. Solar and ultraviolet radiation. Lyon, Geneva, Switzerland: World Health Organization IARC; 1992. (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humansv. 55). Verfügbar unter: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK401588/>.
7. Fioletov V, Kerr JB, Fergusson A. The UV index: definition, distribution and factors affecting it. *Can J Public Health* 2010; 101(4):I5-9. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21033538/>.
8. Weihs P, Schmalwieser AW, Schaubberger G. UV Effects on Living Organisms. In: Laws EA, Hrsg. *Environmental Toxicology*. New York, NY: Springer New York; 2013. S. 1–63.
9. Wengraitis S, et al. Spectral Weighting of Sunlight 2002. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/scheer/docs/sunbeds_co121c_en.pdf.
10. Stick. Die Beiträge von direkter und indirekt diffuser Sonnenstrahlung im UV-Spektrum. *Akt Dermatol* 2001; 27(1):7–12. doi: 10.1055/s-2001-10729.
11. Schmalwieser AW, Klotz B, Schwarzmann M, Baumgartner DJ, Schreder J, Schaubberger G et al. The Austrian UVA-Network. *Photochem Photobiol* 2019; 95(5):1258–66. doi: 10.1111/php.13111.
12. Goebeler M, Hamm H, Hrsg. *Basiswissen Dermatologie*. 1. Aufl. 2017. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2017. (Springer-Lehrbuch). Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1561725>.

13. Gesundheitsportal. Haut: Aufbau; 2025 [Stand: 15.06.2025]. Verfügbar unter: <https://www.gesundheit.gv.at/krankheiten/haut-haare-naegel/aufbau-haut.html>.
14. Dirschka T, Hrsg. Klinikleitfaden Dermatologie. 3. Aufl. München: Elsevier Urban & Fischer; 2011. (ScienceDirect Books). Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9783437223013>.
15. Berger R. Hauttypen und Sonne: Wählen Sie den Lichtschutzfaktor entsprechend Ihrem Hauttyp. Deavita Media 22.07.2019 [Stand: 08.08.2024]. Verfügbar unter: https://deavita.com/style/beauty/hauttypen-sonne-lichtschutzfaktor-entsprechend.html?image_id=650975.
16. Schmalwieser AW, Wallisch S, Diffey B. A library of action spectra for erythema and pigmentation. Photochem Photobiol Sci 2012; 11(2):251–68. doi: 10.1039/c1pp05271c.
17. Moll I, Jung EG. Dermatologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005.
18. Doctors Aesthetics Centre. Solar Lentigines Treatment; 2024 [Stand: 05.06.2024]. Verfügbar unter: <https://doctorsaestheticscentre.com/treatments/laser-treatment-in-kochi/solar-lentigines/>.
19. Kerob D, SALAH S, Balan D, Khurana P, Ezzedine K, Passeron T. 54473 A comprehensive analysis of global skin cancer incidence and mortality with a focus on dermatologist density and population risk factors. Journal of the American Academy of Dermatology 2024; 91(3):AB102. doi: 10.1016/j.jaad.2024.07.411.
20. Krebs - Nicht-melanotischer Hautkrebs; 2024 [Stand: 19.06.2024]. Verfügbar unter: https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Krebsarten/Nicht-melanotischer-Hautkrebs/nicht-melanotischer-hautkrebs_node.html.
21. Ultraviolet radiation; 2024 [Stand: 28.05.2024]. Verfügbar unter: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>.
22. Meffert H, Meffert P, Kolde G, Rowe E. Ein einfaches Verfahren zum Abschätzen des UV-Index. Akt Dermatol 2009; 35(01/02):25–8. doi: 10.1055/s-2008-1077624.
23. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Optische Strahlung - Schutz vor UV-Strahlung der Sonne; 2024 [Stand: 16.06.2024]. Verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung/Physikalische-Faktoren/Optische-Strahlung/Sonnenstrahlung.html>.
24. UV STANDARD 801 - one of the most stringent testing and certification systems for clothing and shade textiles in the world; 2025 [Stand: 15.06.2025]. Verfügbar unter: <https://www.uvstandard801.com/en/>.

25. Bundesamt für Strahlenschutz. UV-Schutz durch Kleidung; 2025 [Stand: 18.06.2025]. Verfügbar unter: <https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/kleidung/kleidung.html>.
26. Bundesamt für Strahlenschutz. UV-Schutz durch Sonnencreme; 2025 [Stand: 18.06.2025]. Verfügbar unter: https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/sonnencreme/sonnencreme_node.html.
27. He H, Li A, Li S, Tang J, Li L, Xiong L. Natural components in sunscreens: Topical formulations with sun protection factor (SPF). *Biomed Pharmacother* 2021; 134:111161. doi: 10.1016/j.biopha.2020.111161.
28. Sonnenschutzmittel; 2025 [Stand: 16.06.2025]. Verfügbar unter: https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/03_Verbraucherprodukte/02_Verbraucher/03_Kosmetik/06_Sonnenschutzmittel/bgs_kosmetik_sonnenschutzmittel_node.html.
29. RIS - Allgemeines Sozialversicherungsgesetz § 177 - Bundesrecht konsolidiert, tagesaktuelle Fassung; 2025 [Stand: 21.06.2025]. Verfügbar unter: <https://ris.bka.gv.at/NormDokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008147&Artikel=&Paragraf=177&Anlage=&Uebergangsrecht=>.
30. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Elektromagnetische Felder - Elektromagnetische Felder; 2025 [Stand: 15.06.2025]. Verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung/Gefahrdungsbeurteilung/Handbuch-Gefahrdungsbeurteilung/Expertenwissen/Physikalische-Einwirkungen/Elektromagnetische-Felder/Elektromagnetische-Felder_dossier?pos=3.
31. Karine. Ziel, Status und Geschichte; 2024 [Stand: 17.06.2024]. Verfügbar unter: <https://www.icnirp.org/en/about-icnirp/aim-status-history/index.html>.
32. Diffey BL, Cheeseman J. Sun protection with hats. *Br J Dermatol* 1992; 127(1):10–2. doi: 10.1111/j.1365-2133.1992.tb14816.x.
33. vidaXL Schaufensterpuppe Mann A | vidaxl-at; 2024 [Stand: 05.06.2024]. Verfügbar unter: <https://www.vidaxl.at/e/vidaxl-schaufensterpuppe-mann-a/8718475843948.html>.
34. ISO/CIE 17166:2019(en), Erythema reference action spectrum and standard erythema dose; 2024 [Stand: 17.06.2024]. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-cie:17166:ed-1:v1:en>.