

Institut für Physiologie und Biophysik

Veterinärmedizinische Universität Wien

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

UV-Schutz bei Nutztieren - Beschattungsnetze in der Freilandhaltung von Schweinen

Diplomarbeit

Zur Erlangung der Würde einer

Magistra Medicinae Veterinariae

der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Vorgelegt von:

Bigelbach Lisa

01.02.2024

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

Gutachter: Ass.-Prof. Dr.med.vet. Dipl.ECAWBM (AWSEL) Johannes Baumgartner

Zusammenfassung

Die Hautempfindlichkeit von in der konventionellen Landwirtschaft genutzten Schweinen gegenüber ultravioletter Strahlung (UV-Strahlung) ähnelt der von hellhäutigen Menschen. Um Tiere vor der Sonne zu schützen, können Beschattungsnetze verwendet werden. Der Schattierwert der Schutznetze wird als „Shade Rate“ vom Hersteller angegeben und beschreibt den Prozentsatz des sichtbaren Lichts, der durch das Schutznetz hindurchtritt. Es gibt jedoch keine Informationen darüber, wie gut es vor UV-Strahlung schützt. Das Ziel dieser Studie war es, die Effektivität von Schutznetzen gegen Erythem-gewichtete solare UV-Strahlung am Schweinemodell zu bewerten.

Zur Abschätzung des Schutzes vor UV-Strahlung wurde mit mehr als 20 elektronischen UV-Strahlungsmessgeräten, welche an einem lebensechten Schweinemodell angebracht waren, bei strahlendem Sonnenschein und unter verschiedenen Schutznetzen gemessen. Der Sonnenschutzfaktor wurde aus Messungen der UV-Bestrahlungsstärke ohne Netz für alle Körperstellen berechnet und als Verhältnis ausgedrückt. Unsere Messungen zeigen, dass Schutznetze Schweine effektiv vor solarer UV-Strahlung schützen können. Der Schutz variiert je nach Schattierwert des Schutznetzes, dem Sonnenstand und hängt von der Körperstelle ab. Weiters wurde das Verhältnis der Exposition im Vergleich zur ambienten Strahlung berechnet und in Prozent ausgedrückt.

Freilaufende Schweine können effektiv vor solarer UV-Strahlung durch Schutznetze geschützt werden. Allerdings können Schattenstrukturen weder das ursprüngliche Fell noch die Möglichkeit, sich im Schlamm zu suhlen, ersetzen, und sollten daher als ergänzende Maßnahme betrachtet werden.

Abstract

Nowadays, pig breeds do not have fur. Their skin sensitivity to ultraviolet radiation (UVR) is similar to that of light-skinned humans. To protect animals from the sun, livestock shade cloths are in use. The shading ability of the shade cloth is reported by the „Shade Rate“, which is the percentage of visible light passing through the shade cloth. However, no information is available on the potential protection from UVR. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of shading cloths against erythemally weighted solar UV radiation.

To estimate the UVR protection, more than 20 electronic UVR-meters (type Sunsaver) were mounted on a true-to-life pig model, positioned on a rotating platform. Measurements were taken in the blazing sun and under different shading cloths.

The Sun Protection Factor was calculated from UV exposure measurements without net for all body sites and measurements with shade net.

From our measurements we can see that shade cloths can protect pigs effectively from solar UVR. Protection varies depending on the Shade Rate of the shade cloth, the body site and with solar elevation. The Exposure Ratio to Ambient (ERTA) was calculated from UV exposure measurements all over the body sites and nearby measurements from a Biometer Model 501 (Solar Light) and expressed in percentage.

Free-range pigs can be effectively protected from solar UV radiation by shade cloths. However, shade structures can substitute neither the primordial fur, nor the possibility to wallow in mud and should be considered as additional measure.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG.....	2
ABSTRACT	3
1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG.....	6
2. STAND DES WISSENS (LITERATURÜBERSICHT)	8
2.1. SOLARE UV-STRAHLUNG	8
2.1.1. Globalstrahlung.....	8
2.1.2. Bewölkung	9
2.1.3. Ozonsäule.....	9
2.1.4. Albedo.....	9
2.1.5. Sonnenhöhe und Zenitwinkel (SZA)	9
2.1.6. Seehöhe.....	10
2.1.7. Aerosole.....	10
2.2. PHOTOBIOLOGISCHE WIRKUNG.....	10
2.2.1. Bestrahlungsdosis.....	10
2.2.2. Wirkungsspektren	11
2.2.3. Photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke und Bestrahlung	12
2.2.4. Minimale erytheme Dosis (MED)	12
2.2.5. Dosis-Wirkungsbeziehung und Erythem.....	12
2.2.6. Zeitlicher Verlauf der Wirkung.....	13
2.3. AUFBAU DER HAUT (SCHWEIN)	14
2.3.1. Aufbau der Haut von Säugetieren allgemein	14
2.3.2. Spezifische Eigenschaften der Haut des Schweines.....	15
2.4. PHOTOBIOLOGISCHE WIRKUNGEN VON UV-STRAHLUNG BEIM SCHWEIN.....	17
2.4.1. Sonnenbrand (Erythem).....	17
2.4.2. Hautkrebs.....	17
2.4.3. Vitamin D ₃ -Photosynthese	18
2.5. BESCHATTUNGSSTRUKTUR.....	18
3. MATERIAL UND METHODE	20
3.1. SCHWEINEMODELL.....	20
3.2. BESCHATTUNGSNETZE	20
3.2.1. Netz 1 (Schattierwert 50%).....	21
3.2.2. Netz 2 (Schattierwert 75%).....	21
3.2.3. Netz 3 (Schattierwert 90%).....	21
3.2.4. Netz 4 (Tarnnetz).....	21

3.3.	UV-MESSGERÄTE AM TIERKÖRPER (SUNSAVER).....	22
3.4.	VERSUCHSAUFBAU.....	25
3.5.	MESSGERÄTE FÜR AMBIENTE UV-STRAHLUNG.....	25
3.6.	SONNENSCHUTZFAKTOR – „SUN PROTECTION FACTOR“.....	26
3.7.	VERGLEICH MIT AMBIENTER UV-STRAHLUNG – „EXPOSURE RATIO TO AMBIENT“	26
4.	ERGEBNISSE.....	27
4.5.	MESSERGEBNISSE	27
4.6.	SONNENSCHUTZFAKTOR	32
4.7.	RELATIVE EXPOSITION – DAS “EXPOSURE RATIO TO AMBIENT” (ERTA)	33
5.	DISKUSSION	35
6.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	37
7.	QUELLENANGABE	39
8.	DANKSAGUNG	42

1. Einleitung und Fragestellung

Heutzutage haben die modernen in der Landwirtschaft eingesetzten Schweinerassen sehr wenig bis kein Fell mehr und kaum pigmentierte Haut.

Der Verlust der flächigen Körperbehaarung bei diesen Schweinerassen sowie das Verschwinden der Hautpigmentierung kann auf die Zucht zurückgeführt werden. Die Domestikation des Schweines begann zirka vor 9000 Jahren. Dabei wurden erstmals die heimischen Wildschweinarten domestiziert, später auch Arten aus dem asiatischen Raum eingekreuzt.

Vorreiter in der modernen Schweinezucht war das Vereinigte Königreich mit der Entwicklung des Yorkshire-Schweines im 18. Jahrhundert, auf das auch heutzutage noch viele Schweinerassen zurück zu führen sind. Sowohl das Edelschwein, als auch die Landrasse sind wenig pigmentiert und haben kaum Fell. (1–3).

Heute werden in der modernen Landwirtschaft für die Mast und die Ferkelproduktion meist Hybridrassen aus dem Edelschwein und der Landrasse eingesetzt, welche kaum Fell und Hautpigmentierung aufweisen. Oftmals werden aber auch andere Rassen, wie zum Beispiel das Duroc- oder das Piétrainschwein eingekreuzt, bei welchen zum Teil Fell und Hautpigmentierung vorhanden sind. Diese Rassen wurden aufgrund ihrer guten Mast- und Fleischleistung bei gleichzeitiger Stressresistenz und gutem mütterlichem Instinkt selektiert.

Ihre Hautsensibilität gegenüber ultravioletter (UV-) Strahlung ist ähnlich der von hellhäutigen Menschen. Deshalb ist es von Bedeutung, sich mit schattenspendenden Möglichkeiten in der Tierhaltung zu beschäftigen, um die Tiere vor Hitze, aber insbesondere auch vor UV-Strahlung zu schützen (4).

Diverse online Zeitschriften und Magazine berichten von dieser Problematik, in der Fachliteratur ist dieses Thema aktuell noch nicht sehr präsent. Ein Schweizer online Magazin zum Beispiel beschreibt sehr anschaulich, dass auch Schweine Sonnenbrand bekommen können und es daher wichtig sei, ihnen Möglichkeiten zu bieten, der Sonnenstrahlung zu entkommen (5). Natürlicherweise sorgt die durch das Suhlen entstehende Schicht an Schlamm und Lehm auf der Haut des Schweines für Abkühlung und dient auch als UV-Schutz. Haben die Schweine jedoch haltungsbedingt keinen Zugang zu einem Ort, an dem sie sich suhlen können, bleibt als Schutz vor UV-Strahlung einzig das Aufsuchen von Schatten. Sonnenbrand und Hitzeschock können für die empfindlichen Tiere schnell gefährlich werden und haben einen erheblichen negativen Einfluss auf das Wohlbefinden. So besteht der Verdacht, dass der durch Hitze und Sonnenbrand induzierte Stress bei Sauen sogar zur Unfruchtbarkeit führen kann (6).

Obwohl die herkömmlichen Haltungssysteme Probleme wie Geruchsbelästigung, Verschmutzung der Umgebung und eingeschränktes Wohlbefinden der Tiere mit sich bringen, erfahren extensive Haltungssysteme, die aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften weniger anfällig für diese Probleme sind, in Industrieländern nur begrenzte Verbreitung (7). Auch in Österreich wird derzeit in der konventionellen Schweinehaltung nur selten Freilandhaltung betrieben (8), was jedoch längst nicht in allen europäischen Ländern der Fall ist. In Großbritannien ist die Freilandhaltung von Schweinen zu einem wichtigen Zweig der Tierproduktion geworden. Dort werden beinahe ein Drittel aller Zucht- und Jungsauen im Freien gehalten, was vor allem aufgrund des milden Klimas ohne strenge Winter möglich ist. Diese Praxis hat sich fest in der britischen Schweineindustrie etabliert und wird nicht mehr als alternative Ausnahmeerscheinung betrachtet, sondern ist vielmehr ein integraler Bestandteil (7).

In der Landwirtschaft, sowie in der Pferdehaltung, kommen Beschattungsnetze zum Einsatz. Diese sollen hauptsächlich Schutz und Schatten vor der Hitze durch Sonnenstrahlung bieten. Auf dem Markt gibt es ein breites Angebot von diversen Beschattungsnetzen, welche sich durch Material, Größe, Farbe und Beschattungsfähigkeit unterscheiden. Meist werden diese Netze nicht speziell für den landwirtschaftlichen Gebrauch angeboten, sondern werden vom Hersteller als sehr vielseitig im eigenen Garten oder in der Tierhaltung einsetzbar, beschrieben. Die Beschattungsfähigkeit dieser Netze wird als „Shade Rate“ angegeben, wobei es sich hier um den Prozentsatz von sichtbarem Licht handelt, welches durch das Netz dringt. Die „Shade Rate“ sagt jedoch nichts über das Potential des Netzes, vor UV-Strahlung zu schützen aus. Denn wie Religi A. et al. (9) beschreibt, ist Beschattung ein wichtiges Mittel, um vor UV-Strahlung zu schützen, jedoch hängt die Effektivität von Beschattungsvorrichtungen von vielen Faktoren ab.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, anhand eines Schweinemodells, die Effektivität der Beschattungsnetze vor Erythem-auslösender UV-Strahlung zu schützen, zu evaluieren. Dabei wird sich auf die pigmentlosen und wenig behaarten Schweinerassen, beispielsweise das Edelschwein oder die Landrasse, bezogen, welche in der Folge als „Hausschwein“ betitelt werden.

2. Stand des Wissens (Literaturübersicht)

2.1. Solare UV-Strahlung

Elektromagnetische Strahlung welche die Erde erreicht, wird in unterschiedliche Wellenlängenbereiche unterteilt. So macht die Infrarotstrahlung (Wellenlänge 780-5000 nm) 56%, das sichtbare Licht (400-780 nm) 39% und die Ultraviolette Strahlung (100-400 nm) 5% der gesamten die Erde erreichende Strahlung aus (10).

Der UV-Bereich wird in drei Unterbereiche unterteilt: UVA-Strahlung mit einer Wellenlänge von 320-400 nm, UVB-Strahlung mit einer Wellenlänge von 280-320 nm und UVC-Strahlung mit einer Wellenlänge von 100-280 nm (10). Dabei haben die einzelnen Wellenlängenbereiche folgende Anteile an der gesamten solaren UV-Strahlung: UVA 95%, UVB 5%. Strahlung mit einer Wellenlänge < 280 nm, also die UVC-Strahlung, wird von der Ozonschicht absorbiert und erreicht somit die Erde nicht.

Mit der Abnahme der Wellenlänge erhöht sich die Energie eines Photons, wodurch auch die biologische Wirksamkeit, welche als die Fähigkeit von Strahlung, einen spezifischen biologischen Effekt zu erzeugen definiert wird, zunimmt. Der kürzeste Wellenlängenbereich im einfallenden Sonnenspektrum, die ultraviolette (UV) Strahlung, besitzt daher die größte biologische Effektivität. Lebende Organismen (z. B. Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen) werden, daher insbesondere durch UV-Strahlung, beeinflusst (11).

Die solare Strahlung ist die Hauptquelle ultravioletter (UV-) Strahlung auf der Erde (11). Ihre Intensität hängt von folgenden Faktoren ab: der Bewölkung, der Dicke der Ozonschicht, der Sonnenhöhe, dem Aerosol-Gehalt, der Albedo (Rückstreuvermögen) der Umgebung und der Seehöhe. (12)

2.1.1. Globalstrahlung

Die UV-Strahlung, die einen Körper an der Erdoberfläche erreicht setzt sich aus einem direkten Anteil (von der Sonnenscheibe) und einem diffusen Anteil (Himmelsstrahlung) zusammen und bilden die Globalstrahlung.

Die Himmelsstrahlung ist die diffuse Komponente der Sonnenstrahlung und ist das Ergebnis aus der Wechselwirkung zwischen Sonnenstrahlung und Atmosphäre. Sie entsteht durch Streuung an den Luftmolekülen (Stickstoffmoleküle, Wasserstoffmoleküle,...) und Aerosolen (Staubpartikel,...). Der direkte Anteil macht maximal 50% der Globalstrahlung aus. Durch Bedeckung der Sonne kann dieser auf 0% reduziert werden (13).

2.1.2. Bewölkung

UV-Strahlung wird durch Bewölkung absorbiert, gestreut oder reflektiert. Damit erreicht ein Teil der solaren UV-Strahlung die Erdoberfläche nicht mehr. Bei leichter Bewölkung ist die Beeinflussung der UV-Strahlung eher gering, solange die Sonne nicht direkt durch Wolken bedeckt ist. Ist die Sonne durch dichte Wolken bedeckt, kann die UV-Strahlung auf der Erde bis zur Hälfte reduziert sein. Sehr starke Bewölkung des gesamten Himmels kann die UV-Strahlung auf 1/10 reduzieren, in Zusammenhang mit Regen oder Schneefall kann die UV-Strahlung auf der Erde gänzlich eliminiert werden. Es ist jedoch anzumerken, dass bei leichter Bewölkung der Anteil an diffuser UV-Strahlung ansteigen kann (bis zu 10%), was vor allem die UV-Belastung von geneigten und vertikal ausgerichteten Flächen erhöht.(12)

2.1.3. Ozonsäule

Ozon-Moleküle in der Atmosphäre absorbieren die gesamte UVC-Strahlung und einen Großteil der UVB-Strahlung. Die Ozonsäule ist definiert als die vertikale Dicke der Ozonschicht auf der Strecke zwischen einem gegebenen Punkt auf der Erdoberfläche und des Weltalls. Die Ozonsäule wird in Einheiten von Dobson (=Dobson Unit [DU]) gemessen. Eine Dobson Unit entspricht einer Ozonsäulenhöhe von 0,01mm. In gemäßigten Breiten findet man typischerweise Werte von 300 DU bis 400 DU, in nördlicheren Breiten bis zu 500 DU und im Äquatorbereich Werte um 250 DU. Die Ozonsäule verändert sich im Laufe des Jahres. In nördlichen und nördlich-gemäßigten Breiten sind im Frühjahr die Werte wesentlich höher als im Herbst. (12).

2.1.4. Albedo

Die Albedo beschreibt die Rückstrahlvermögen (Reflexionsvermögen) einer Oberfläche. Die Albedo variiert mit der unterschiedlichen Beschaffenheit verschiedener Oberflächen. Unter den natürlichen Oberflächen hat frischer trockener Schnee die höchste Albedo und kann bis zu 90% der UV-Strahlung reflektieren. Bei den künstlichen Oberflächen sind es polierte Metallflächen und beschichtete Gläser, die die höchste Albedo besitzen(12).

2.1.5. Sonnenhöhe und Zenitwinkel (SZA)

Der SZA beschreibt den Winkelabstand der Sonne vom Zenit. Der SZA entspricht 90° minus der Höhe der Sonne über den Horizont (Sonnenhöhe). Ein SZA von 0° bedeutet also, dass die Sonne direkt über einem (im Zenit) steht, ein SZA von 90° , dass sie sich auf Höhe des

Horizontes befindet. Zusammenhang zwischen Zenitwinkel der Sonne (SZA) und Sonnenhöhe (Elevation angle) ist in der Abbildung 1 dargestellt.

Der SZA bzw. Sonnenhöhe ist abhängig von der Tageszeit. Am höchsten ist sie zum solaren Mittag (in Wien ca. 12:05 MEZ), Die Sonnenhöhe zu Mittag ändert sich auch je nach Tag im Jahr und geographischer Breite (12).

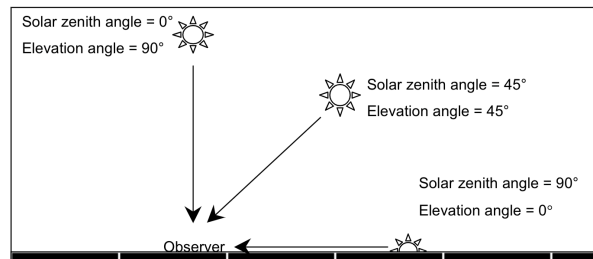


Abb. 1: Beispiele für die Variation des SZA mit den unterschiedlichen Positionen der Sonne im Vergleich zu einem Beobachter (Observer) Quelle: (12)

2.1.6. Seehöhe

Je länger der Weg der Strahlung durch die Atmosphäre ist, desto mehr UV-Strahlung wird absorbiert. Damit steigt die UV-Strahlung mit zunehmender Seehöhe an. Die Zunahme hängt stark von der Wellenlänge ab. UV-B Strahlung nimmt mit etwa 15% pro 1000m zu, UV-A Strahlung mit 5% bis 10%. (14)

2.1.7. Aerosole

Aerosole ist ein Überbegriff für Partikel in der Luft, die im allgemeinen kleiner als 100 μm sind. Diese können Stunden bis Tage in der Luft verbleiben. Aerosole sind meist physikalisch und chemisch nicht stabil und verändern sich in der Regel in Abhängigkeit von Luftfeuchtigkeit, Temperatur und weiteren physikalischen und chemischen Prozessen im Laufe der Zeit. Aerosole können auch Bakterien und Viren enthalten. Je höher der Aerosolgehalt, desto höher sind Absorption und Streuung (=Verlängerung des Weges) und desto geringer ist die UV-Strahlung die die Erdoberfläche erreicht.

2.2. Photobiologische Wirkung

2.2.1. Bestrahlungsdosis

Um die photobiologische Wirkung der UV-Strahlung auf die Haut richtig beschreiben zu können, wird der Begriff der „Dosis“ D (J/m^2) eingeführt, welcher nach dem Grotthus-Draper-Gesetz wie folgt definiert ist: Ein Effekt in der Haut durch Strahlung kann nur erfolgen, wenn diese absorbiert wird.

Im Allgemeinen kann die Dosis D nicht direkt gemessen werden. Stellvertretend verwendet man die auf die Haut auftretende physikalische Größe der „Bestrahlung“ oder auch „Einstrahlung“ (J/m^2). Diese kann vergleichsweise einfach gemessen werden. Die eigentliche

Einheit der Dosis ist J/m^3 oder J/kg . Die Bestrahlung ist die Summe der auftreffenden Bestrahlungsstärke (W/m^2) über die Bestrahlungsdauer.

Absorbierte UV-Strahlung löst jedoch nicht immer eine biochemische Antwort aus und kann auch nur in Wärmeenergie umgewandelt oder als Licht in einer anderen Wellenlänge abgegeben werden. Die Abgabe in einer anderen Wellenlänge wird als Fluoreszenz bezeichnet.

Ob durch die Absorption eine Antwort ausgelöst wird hängt vom Chromophor und von der Wellenlänge ab.

Ein wichtiger Faktor bei der Bestimmung der Bestrahlungsdosis ist daher die Wellenlängenabhängigkeit der biologischen Wirksamkeit. Diese wird durch sogenannte Wirkungsspektren beschrieben (11).

2.2.2. Wirkungsspektren

Das Wirkungsspektrum beschreibt die spektrale Effizienz von Licht einen photochemischen oder photobiologischen Prozess hervorzurufen.

Die Wirksamkeit von UV-Strahlung einen bestimmten Effekt hervorzurufen kann nur bestimmt werden, wenn das Wirkungsspektrum, also die spektrale biologische Gewichtungsfunktion bekannt ist und somit die einfallende spektrale Bestrahlungsstärke bewertet bzw. gewichtet werden kann (11).

Herkömmlicherweise wird das Wirkungsspektrum bestimmt indem eine Probe, um einen bestimmten Effekt zu erzeugen, einer definierten Anzahl an Photonen $s(\lambda)$ mit der Wellenlänge λ ausgesetzt wird. Anschließend werden die Wellenlänge und die Photonenanzahl so verändert, dass bei allen Wellenlängen der gleich starke Effekt C erzielt wird. Das Wirkungsspektrum ist dann (wobei C konstant ist) (11):

$$\sigma(\lambda) = \frac{C}{n(\lambda)}$$

Ein Chromophor ist eine chemische Gruppe oder ein Strukturelement in einem Molekül, das in der Lage ist, Licht zu absorbieren. Ist nur ein Chromophor für den Effekt verantwortlich und befindet sich dieses in einem ungebundenen und monomeren Zustand, dann hat das Wirkungsspektrum die gleiche Form wie das Absorptionsspektrum des Chromophors. Hat eine Probe jedoch verschiedene absorbierende Moleküle, ist die Wirkungsspektroskopie ein leistungsvolles Werkzeug, um die Effekt auslösenden Chromophore zu identifizieren.

Beispiele für Chromophore sind bestimmte chemische Gruppen wie Nukleinsäuren, Melanine, Carotinoide oder Porphyrine.

2.2.3. Photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke und Bestrahlung

Wie Schmalwieser, A. et. al. In *UV Effects on living Organisms* (11) definieren, ergibt sich die photobiologisch effektive Bestrahlungsstärke (biological effective irradiance) E_{biol} aus der Multiplikation der spektralen Bestrahlungsstärke (spectral irradiance) E_{λ} und des Wirkungsspektrums (spectral weighting function) σ_{λ} , und der Integration dieses Produkts über den gesamten Wellenlängenbereich (280nm bis 400nm). Die Wirkungsspektren sind für jeden photobiologischen Prozess einzigartig und dimensionslos.

$$E_{biol} = \int_{280\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E_{\lambda} \sigma_{\lambda} d\lambda$$

Die entsprechende biologisch wirksame Bestrahlung (Dosis) wird aus dem Produkt der biologisch wirksamen Bestrahlungsstärke E_{biol} und der Expositionszeit t , unter der Voraussetzung berechnet, dass E_{biol} über die Zeit konstant bleibt.

$$D_{biol} = E_{biol} t$$

Verändert sich die biologisch wirksame Bestrahlungsstärke mit der Zeit, wird die Multiplikation durch das zeitliche Integral ersetzt.

2.2.4. Minimale erytheme Dosis (MED)

Da sich die experimentelle Arbeit auf den Sonnenbrand beim Schwein bezieht, muss noch die minimale Sonnenbrand-Dosis bzw. die minimale erytheme Dosis definiert werden: Die minimale erytheme Dosis (engl.: minimal erythematous dose) beschreibt die Dosis an UV-Strahlung welche notwendig ist, um eine gerade sichtbare Rötung der Haut hervorzurufen.(11)

2.2.5. Dosis-Wirkungsbeziehung und Erythem

Um die Dosis-Wirkungsbeziehung zu beschreiben, wird die Dosis-Wirkungs-Funktion zu Hilfe genommen. Diese beschreibt laut Schmalwieser et al. (11) den Zusammenhang der biologisch effektiven UV-Dosis D und des beobachteten biologischen Effektes.

Das Erythem wird durch UV-Strahlung verursacht und tritt sowohl beim Menschen als auch beim Tier auf, wobei auch beim Schwein die Dosis-Wirkungs-Beziehung und der zeitliche Verlauf von Hautrötungen nach UV-Exposition untersucht wurden (4). Wie Schmalwieser et al. (11) schreibt, kann die Hautrötung als Reaktion auf die Bestrahlung bzw. Dosis durch folgende logarithmische Funktion genannt Erythem-Index (erythema index) ΔEI dargestellt werden:

$$\Delta EI = \frac{\Delta EI_{max}}{1 + e^{\frac{\log D - \log D_{0.5}}{-k}}}$$

Anmerkung: ΔEI wird durch eine Farbmessung im $L^*a^*b^*$ -Farbraum bestimmt, wobei a^* der Rotwert ist und ΔEI die Differenz des Rotwerts vor und nach der UV-Bestrahlung (mit der Dosis D) beschreibt. ΔEI_{max} ist die maximale Rötung, d.h. das Plateau der Dosis-Wirkungs-Funktion (maximaler Wert des Erythem-Index) und $D_{0,5}$ die notwendige Dosis um 50% der maximalen Rötung zu erzielen (Mittelpunkt der Funktion). K ist die Steigung der logarithmischen Funktion am Mittelpunkt.

Diese Dosis-Wirkungsbeziehung ist nicht linear: Es existiert eine sogenannte Schwellendosis D_0 unterhalb derer kein Effekt sichtbar ist (=Minimale Erythem Dosis). Danach folgt ein (logarithmisch) linearer Zusammenhang. Bei hohen Dosen bildet sich ein sogenannter Schulterbereich aus. In diesem Bereich beginnt die Wirkung zu stagnieren obwohl die Dosis noch ansteigt.

2.2.6. Zeitlicher Verlauf der Wirkung

Die meisten photobiologischen Effekte treten nicht sofort während oder unmittelbar nach der UV-Exposition auf, sondern erst nach einer gewissen latenten Phase, was zum Beispiel beim Hautkrebs des Menschen eine Zeitspanne von Jahren sein kann. Die latente Phase beim Erythem ist jedoch vergleichsweise kurz. Die Sichtbarkeit nimmt in einer ersten Phase zu, bis sie ein Maximum erreicht. In der zweiten Phase bleibt sie für eine relativ kurze Zeit konstant. In der dritten Phase nimmt die Sichtbarkeit wieder, meist deutlich langsamer als die Zunahme, ab.

Bei reversiblen Effekten verschwindet der Effekt wieder vollständig, während ein irreversibler Effekt zumindest teilweise dauerhaft sichtbar bleibt. Bei fortlaufender oder regelmäßiger Bestrahlung summiert sich der Effekt (kumulativer Effekt).

Reischl et al. (4) haben die Dosis-Wirkungs-Funktion und den zeitlichen Verlauf des Erythems durch UVB- und UVC- Strahlung beim Schwein untersucht. In beiden spektralen Bereichen gab es innerhalb von etwa 12 Stunden einen Höhepunkt für niedrigere Dosen. Höhere Dosen führten zu einer intensiveren Rötung mit einem späteren Maximum, welche zudem bei UVB-Bestrahlung später verblasste als bei UVC-Bestrahlung. Dies haben Farr p. et al. (15) zuvor schon beim Menschen gezeigt.

2.3. Aufbau der Haut (Schwein)

2.3.1. Aufbau der Haut von Säugetieren allgemein

Die Haut hat als äußerste Umhüllung des Körpers vor allem eine schützende Aufgabe gegenüber Umweltreizen mechanischer, chemischer und physikalischer Natur und bildet auch eine Barriere gegen das Eindringen von Mikroorganismen, Parasiten und Viren. Außerdem spielt sie auch eine Rolle in der Thermoregulation, der Konstanthaltung des Serum-Elektrolytspiegels sowie in der Regulierung des Blutdruckes. Als Sinnesorgan besitzt die Haut Rezeptoren, welche gegenüber Temperatur, Druck und Spannung empfindlich sind, weshalb die Haut auch ein wesentliches Organ im Kontakt zwischen Körper und Umwelt darstellt. Für UV-Strahlung besitzt die Haut des Säugetieres jedoch keine Rezeptoren. Auch die Kommunikation betreffend ist die Haut ein wichtiges Organ, so können über speziell ausgebildete Schweißdrüsen zur Kommunikation wichtige Duftstoffe abgesondert werden. (16). Die Haut setzt sich aus folgenden Schichten zusammen: die äußerste Schicht ist die Cutis, welche wiederum aus Epidermis (Oberhaut) und Corium (Lederhaut) besteht. Unter der Cutis befindet sich die Tela subcutanea oder Subcutis (Unterhaut) welche als Verschiebeschicht dient. Je nach Körperstelle sind die einzelnen Schichten der Haut unterschiedlich ausgeprägt. Je nach Tierart ist die Haut mehr oder weniger dicht behaart und auch die Dicke und die Pigmentierung variiert stark mit der Tierart, der Rasse, dem Alter und der Körperstelle. Man kann jedoch sagen, je beanspruchter die Hautstelle ist, desto dicker ist dort auch die Haut. Dies schließt auch die Exposition der Hautstelle gegenüber UV-Strahlung mit ein, denn diese versucht sich durch die Verdickung der äußeren Hautschichten und durch eine vermehrte Pigmentierung dieser zu schützen. Durch die Zunahme an Dicke wird das Eindringen von UV-Strahlen in tieferliegende Schichten der Haut verringert. Wie effektiv der Schutz durch Pigmentierung ist, ist vom Melaningehalt der Haut abhängig. Beim Menschen wird nach der Fitzpatrick Hauttypen-Tabelle zwischen sechs Hauttypen unterschieden, wie es in Abbildung 3 tabellarisch dargestellt wird. Je niedriger die Zahl des Hauttyps, desto weniger pigmentiert und anfälliger ist die Haut für Sonnenbrand (16,18). Beim Schwein gibt es eine solche Einteilung nicht, optisch ähnelt die Haut des Hausschweines jedoch dem Hauttyp I des Menschen.

Skin type	Erthema and tanning reactions to first sun exposure in early summer
I	Allways burn, never tan
II	Usually burn, tan less than average (with difficulty)
III	Sometimes mild burn, tan about average
IV	Rarely burn, tan more than average (with ease)
V	(Brown-skinned persons)
VI	(Black-skinned persons)

Abb. 2: Einteilung der Hauttypen des Menschen nach Fitzpatrick (18)

2.3.2. Spezifische Eigenschaften der Haut des Schweines

Die Haut des Hausschweines und die Haut des Menschen sind in ihren Eigenschaften sehr ähnlich und in vielen Aspekten vergleichbar (1). Der Verlust der flächigen Körperbehaarung beim Schwein sowie das Verschwinden der Hautpigmentierung können auf die Domestikation durch den Menschen zurück geführt werden. Dabei kommt es durch eine Minimierung der Anzahl an Melanozyten zu Pigmentierungsveränderungen, welche durch domestikationsbedingte Defekte in der Neuralleiste hervorgerufen werden (3).

Der dickste Bereich der Haut des Schweines befindet sich im Nacken, dem Widerrist, auf der Rückenpartie und dem Schulterbereich. Die Epidermis des Schweines kann eine Dicke von bis zu 12 mm haben (1). Eine Besonderheit des Schweines ist das Schild des Ebers. Es handelt sich dabei um eine Verdickung der Haut an Hals, Schulter und der Seitenbrust, die durch eine Zubildung von straffem Bindegewebe zustande kommt. Dabei kann es zum Verlust der Unterhaut kommen. Das Schild entwickelt sich mit der Geschlechtsreife der männlichen Schweine. Je älter das Tier, desto weiter reicht das Schild nach kaudal. Die Ausbildung des Schildes scheint an den Einfluss männlicher Sexualhormone gekoppelt zu sein, da es sich bei frühkastrierten männlichen Schweinen nicht ausbildet (16). Wie beim Menschen auch, ist die Dicke der Haut allgemein auch beim Schwein je nach Geschlecht unterschiedlich. So ist die Haut der Sau, genau wie die der Frau 20-40% dicker als die des Ebers oder des Mannes (1). Auch in der Durchblutung der Haut sind Schwein und Mensch durchaus vergleichbar, denn die Orientierung und die Anordnung der Blutgefäße welche die Haut versorgen ähneln sich (19). Es befinden sich venöse und arterielle Gefäße sowohl zwischen Cutis und Subcutis, als auch zwischen dem Stratum papillare und dem Stratum reticulare (20). Die Blutgefäße sind zum einen für die Ernährung der Haut verantwortlich, zum anderen spielen sie eine entscheidende Rolle in der Adaptation des Organismus an Temperaturveränderungen. Bei hohen Umgebungstemperaturen wird, um Wärme abzuführen, die Durchblutung der Haut erhöht, bei niedrigen Temperaturen verringert. Durch die Verringerung der Hautdurchblutung geht über diese weniger Wärme verloren (21).

Im Gegensatz zum Menschen, hat das Schwein keine echten Schweißdrüsen. Dadurch kann das Schwein bei sehr hohen Temperaturen nur sehr schlecht die eigene Körpertemperatur in einem ungefährlichen Temperaturbereich halten. Um diesen fehlenden Regulationsmechanismus auszugleichen, suhlt sich das Schwein im Schlamm, was durch die verdunstende Feuchtigkeit einen kühlenden Effekt hat. Zudem bietet der Schlamm auf der Haut eine Schutzschicht gegen UV-Strahlen (1). Auch über das Hecheln kann Körperwärme abgegeben werden. Die nervale Versorgung der Schweinehaut ist im Vergleich zum

Menschen viel weniger ausgeprägt. Außerdem besitzt das Schwein weniger Langerhanszellen, welche eine der ersten Barrieren in der Immunabwehr darstellen. So ist auch die Immunabwehr der Schweinehaut nicht so gut, wie die des Menschen (1). Das unpigmentierte, blonde Haarkleid der, wie in der Einleitung schon beschriebenen, hauptsächlich eingesetzten Rassen, besteht aus dem zentralen Primärhaar, einem lateralen Primärhaar und einem Sekundärhaar. Diese drei Haartypen sind jeweils in Dreiergruppen angeordnet. Das zentrale Primärhaar ist eine lange, dicke Borste, das laterale Primärhaar eine dünnere Borste. Beim Sekundärhaar handelt es sich um ein eher kurzes und dünnes Wollhaar. Der Querschnitt der Haare unterscheidet sich zwischen Wildschwein und Hausschwein wesentlich: so ist der Querschnitt des Haares des Hausschweines rund, der des Wildschweinhaares eckig. Zudem gibt es Rasseunterschiede was die Form des Haarquerschnittes betrifft. Das Haarkleid des Schweines ist in der Rückengegend am längsten und nimmt nach ventral hin in der Länge ab. Im Abdominalbereich ist es am kürzesten und am dünnsten (1,16). Auch das Schwein erlebt über das Jahr hindurch jeweils im Frühjahr und im Herbst einen Fellwechsel. Dieser beginnt in der Abdominalgegend und erstreckt sich von dort kaudolateral über die Schenkel zum Sakrum. Von dort erstreckt er sich weiter über die Flanken bis hin zum Kopf (16, 22).

Abschließend kann man sagen, dass unter anderem durch den Verlust der Pigmentierung und der spärlichen Behaarung der Haut des Hausschweines, diese sehr gut mit der Haut des Menschen verglichen werden kann, auch wenn sie sich zum Beispiel hinsichtlich der Innervierung oder dem Vorkommen von Schweißdrüsen nicht in allen Aspekten gleichen. Die Schweinehaut wurde schon in zahlreichen Versuchen, vor allem in Bezug auf photodermatologische Experimente, als Modell für die Haut des Menschen herangezogen (23, 24).

2.4. Photobiologische Wirkungen von UV-Strahlung beim Schwein

Bei der Strahlenwirkung auf einen Organismus kann zwischen deterministischer und stochastischer Strahlenwirkung unterschieden werden. Die Effekte der deterministischen Strahlenwirkung hängen direkt von der Dosis ab. Hier kann als Beispiel das Erythem dienen. Bei der stochastischen Strahlenwirkung erhöht sich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Effekts mit zunehmender Dosis, wie es beispielsweise beim Hautkrebs der Fall ist. Zudem kann zwischen vitalen (Vitamin-D₃-Photosynthese) und schädigenden Effekten (Sonnenbrand, Hautkrebs) unterschieden werden (25).

2.4.1. Sonnenbrand (Erythem)

Das Erythem ist eine akute Verletzung, welche durch übermäßige UV-Strahlung verursacht wird. Wenn die Quelle der UV-Strahlung die Sonne ist, wird die Hautreaktion umgangssprachlich als „Sonnenbrand“ bezeichnet (26). Die Rötung der Haut sowie die Erhöhung der Hauttemperatur, welche nach einer sehr hohen UV-Bestrahlungsstärke entstehen, sind auf eine erhöhte Blutmenge in der Haut durch Erweiterung der oberflächlichen Blutgefäße in der Dermis zurückzuführen (4, 26). Bei den Blutgefäßen handelt es sich in diesem Falle hauptsächlich um die subpapillären Venolen, beziehungsweise der oberflächlichen Gefäße des Coriums (4, 26). Laut Schmalwieser et al. (26) reicht eine Expositionsdauer von einer halben Stunde im Sommer in gemäßigten Breitengraden für nicht-aklimatisierte, wenig pigmentierte Haut aus, um eine leichte Rötung zu verursachen. Nach dieser Art der UV-Exposition tritt das Erythem erst nach ca. 4 Stunden auf. Bei zunehmender Expositionsdauer, verkürzt sich die Dauer, bis eine Hautrötung zu sehen ist. Außerdem erhöht sich auch die Intensität des Erythems und die Dauer, bis es wieder abgeheilt ist. Sehr hohe Dosen können zu Ödemen, Schmerzen, Blasenbildung und nach einigen Tagen zur Abschälung der Haut führen (26). Laut Behm D. (25) treten Hauttemperaturerhöhung und Rötung der Haut nicht gleichzeitig auf. Das Temperaturmaximum tritt vor der maximalen Hautrötung auf.

Schweine sind am meisten gefährdet Sonnenbrand zu bekommen, wenn sie im Frühjahr zum ersten Mal nach dem Winter wieder nach draußen kommen. Bei regelmäßiger Sonnenexposition der Schweine, kann es zu einer Epidermisverdickung kommen, was einen gewissen UV-Schutz darstellen kann (25).

2.4.2. Hautkrebs

Die folgenschwerste Langzeitwirkung von UV-Strahlung auf den Körper ist Hautkrebs. In Bezug auf Hautveränderungen durch UV-Strahlung ähneln sich die Haustiere und der Mensch und können miteinander verglichen werden (25).

Es wird zwischen dem malignen (bösartigen) Melanom und anderen Formen des Hautkrebses, wie des Spinalioms oder des Basalioms, unterschieden (25). Bei der Entstehung nicht melanomer Krebsarten der Haut, spielt der UV-B Anteil eine wesentliche Rolle (27). Laut Behm (25) ist durch die kurze Lebensdauer der Mastschweine, das Risiko für die Entstehung von Plattenepithelkarzinomen, welche zu den Spinaliomen zählen, oder anderen Hautkrebsarten eher gering. Dies ist darauf zurück zu führen, dass je mehr Zeit vergeht auch die Wahrscheinlichkeit, dass Zellen entarten größer wird. Zudem ist die kumulierte Dosis an UV-Strahlung die auf die Haut wirkt mit einer kürzeren Lebensdauer des Tieres geringer.

2.4.3. Vitamin D₃-Photosynthese

Vitamin D₃ ist als Vorstufe des Hormons Calcitriol unabdinglich für die Regulation des Kalziumstoffwechsels und spielt auch für die Zelldifferenzierung, Makrophagenfunktion, Immunreaktionen und den Muskel- und Myokardstoffwechsel eine große Rolle (28).

Sowohl beim Menschen als auch beim Schwein werden zwei Hauptquellen für Vitamin D₃ (Calcitriol) unterschieden. Einerseits kann Vitamin D₃ direkt über die Nahrung, andererseits vom Körper selbst produziert werden. Dabei kommt Vitamin D₃ hauptsächlich in tierischen Lebensmitteln oder Futtermitteln vor. Das endogen weniger effektive Vitamin D₂ kann über pflanzliche Lebensmittel aufgenommen werden. Für die Herstellung von Vitamin D₃, wird in der Haut 7-Dehydrocholesterol (7-DCH) durch UV-Strahlung zu pre-D₃ (Präcalciferol) umgewandelt. Dabei stammt das 7-Dehydrocholesterol als Zwischenprodukt aus der Cholesterinsynthese. Zur Vitamin D₃-Synthese wirkungsvoll ist UV-Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 255-320 nm. Sie findet in allen Epidermisschichten statt, wobei in der Basal- und in der Malpighischen Schicht die höchsten Konzentrationen vorkommen. In der Haut produziertes Vitamin D₃ wird dann, an ein Protein gebunden, in die Blutzirkulation übergeben und gelangt so zunächst in die Leber, wo es zu 25-Hydroxy-Vitamin D₃ (25(OH)D₃) und schließlich in der Niere zu 1,25-Hydroxy-Vitamin D₃ (1,25(OH)D₃) umgewandelt wird. (28, 29) Es werden außerdem Lumisterol und Tachysterol, biologisch unwirksame Isomere, durch die Absorption von UV-Strahlung gebildet (28).

Sind Schweine genügend UV-Strahlung ausgesetzt, ist es nicht nötig, Vitamin D₃ über die Nahrung zu supplementieren. Da jedoch in der Schweinemast und Ferkelproduktion die Tiere meist in Innenräumen ohne Zugang zu Sonnenlicht gehalten werden, ist es wichtig entsprechende Futtermittel mit ausreichend Vitamin D zuzuführen. (30)

2.5. Beschattungsstruktur

Der Begriff "Beschattungsstruktur" bezieht sich laut Opene et al. (31) auf Konstruktionen, die Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung bieten und umfasst eine Bandbreite von Objekten wie

Bäume, Sonnenschirme, Vordächer und ähnliche Strukturen. Diese Elemente weisen erhebliche Unterschiede in Bezug auf ihre Sonnenschutzwirkung auf, die von Faktoren wie Material, Oberflächenbeschaffenheit, Größe, Ausrichtung zum Himmel und Nähe zu anderen sonnenschützenden Strukturen abhängt (31). Tiefer Schatten, wie ihn Bäume mit dichtem Blätterdach, Gebäude oder Überdachungen aus Materialien mit hohem UV-Schutzfaktor bieten können, ist hinsichtlich des UV-Schutzes gegenüber Beschattungsnetzen zu bevorzugen (31). Die Forschung hat zudem gezeigt, dass Schatten keinen vollständigen Schutz vor UV-Strahlung bietet. Selbst wenn die Transmission von UV-Strahlung durch die schattenspendenden Materialien sehr gering ist, muss die diffuse UV-Komponente welche von der Umgebung reflektiert wird, berücksichtigt werden (32). Vor der Errichtung einer schattenspendenden Vorrichtung ist es entscheidend, die gesamte Umgebung sorgfältig zu berücksichtigen (33). Wie Parisi und Turnbull (34) beschreiben, erfordert effektiver Schatten eine umfassende Analyse verschiedener Faktoren. So müssen zum einen, die Reflexion von UV-Strahlen durch die Umgebung (z.B. Gebäude) sowie die Albedo der Bodenoberfläche und zum anderen die Sicht auf den Himmel, die durch die Höhe, Größe und Form der Beschattungsstruktur beeinflusst wird, in Betracht gezogen werden.

Die Albedo der natürlichen und gebauten Umgebung trägt zur diffusen UV-Strahlung bei, gelangt von der Seite unter die Beschattungsstruktur und trägt somit zur UV-Exposition bei (34). Dies führt zu einer Reduzierung des UV-Schutzes (34). Die Albedo von Bodenoberflächen, die von natürlicher Bodenbedeckung bedeckt sind, ist im Allgemeinen niedrig und liegt in der Größenordnung von 5% oder weniger. Gras kann dabei eine Albedo von nur 2%–3% (34), laut Opene et al. (31) bis zu 10% haben, wobei der Anteil an erythemaler Albedo sogar nur 0,5%–1,2% (34) beträgt. Die Albedo für erythemale UV-Strahlung ist für Betonoberflächen höher und liegt bei zirka 10% (34), für Gips-Sand bei 15%–30% (34). Schnee kann 80-90% der UV-Strahlung reflektieren (31,34). Allgemein, so fassen Parisi A. und Turnbull D. (34) zusammen, reflektieren harte, glatte Oberflächen mehr UV-Strahlung als weiche oder raue Oberflächen.

Die Größe der Beschattungsstruktur hat einen erheblichen Einfluss auf den UV-Schutz. So ist der, von größeren Beschattungsstrukturen gebotene, UV-Schutz (für SZAs < 60°) fast doppelt so hoch wie der von kleineren Beschattungsstrukturen, bedingt durch die Unterschiede in der Größe des abgedeckten Himmelsbereiches (35). Unabhängig von der Größe der Beschattungsstruktur, gibt es eine Abnahme des Sonnenschutzfaktors je größer der SZA. Dies ist auf den höheren relativen Anteil diffuser UV-Strahlung zurückzuführen, wenn der SZA zunimmt (35).

3. Material und Methode

3.1. Schweinemodell

Beim verwendeten Schweinemodell handelt es sich um das Modell „Schwein in Lebensgröße Tierfigur“ der Firma Figurenhalle mit der Artikelnummer D19 (Figurenhalle, Weststraße 107 32130 Enger). Dieses ist aus Glasfaserverstärktem-Kunststoff gefertigt, wetterfest und somit sowohl für den Innen- als auch den Außenbereich geeignet. Das Modell hat eine Länge von ca. 163 cm, eine Höhe von ca. 72 cm und eine Breite von ca. 42 cm und wiegt 19,70 kg. Damit das Modell besser transportiert werden kann, wird es auf einer Holzpalette verschraubt, an die Schwerlast-Rollen montiert wurden, wie in Abbildung 3 ersichtlich.



Abb. 3: Seitenansicht des Schweinemodells (ohne Drehplattform)

Ausgewählt wurde dieses Modell, da es betreffend Körpermaße und -Form einem durchschnittlichen österreichischen Mastschwein entspricht. In Österreich gibt es laut der Österreichischen Schweineprüfanstalt (ÖSPA) in der Schweinemast keine Universalrasse, sondern es werden zur Fleischproduktion hauptsächlich Kreuzungen aus Edelschwein und Pietrain in der Steiermark, oder F1 Kreuzungen aus Edelschwein x Landrasse und Pietrain in Kärnten, Niederösterreich und Oberösterreich oder Edelschwein x Duroc und Pietrain in Niederösterreich gemästet (36).

3.2. Beschattungsnetze

Alle verwendeten Beschattungsnetze sind im Handel frei erhältlich und nicht ausschließlich zum Einsatz in der Landwirtschaft bestimmt. Da es jedoch keine speziellen, für die Tierhaltung bestimmte Beschattungsnetze auf dem Markt gibt, wird auf diese Beschattungsnetze zurückgegriffen. Alle Netze sind zirka 4x5 Meter groß.

Für alle Netze wird im englischsprachigen Raum eine sogenannte „Shade Rate“ in Einheiten von % angegeben. Dies ist jedoch kein wissenschaftlich festgelegter Terminus. Es wird lediglich der Prozentsatz an absorbiertem Sonnenlicht beschrieben. Ein standardisiertes Prüfverfahren dafür gibt es nicht. Die Shade Rate gibt keine Auskunft über die Absorption von UV-Strahlung. Im deutschsprachigen Raum werden die %-Angaben mit Schattenwert, Schattierwert, Abschattung oder ähnlichem bezeichnet.

3.2.1. Netz 1 (Schattierwert 50%)

Beim Netz 1 handelt es sich um ein Beschattungsnetz der Marke BeGrit. Es besteht aus High-density polyethylene (HDPE) und wird mit einer Shade Rate von 50% beworben. Der Hersteller beschreibt es als ideal zum Abdecken von Blumen oder Gemüse, aber auch von Sitzarealen oder Lebensbereichen von Haustieren, um vor übermäßiger Sonneneinstrahlung und Hitze zu schützen. Über den UV-Schutz des Netzes sind keine Informationen gegeben. Der Schattenwurf von Netz 1 ist in Abbildung 4 dargestellt.

3.2.2. Netz 2 (Schattierwert 75%)

Das Netz 2 vom Hersteller Patura und wird als Beschattungsnetz für Nutzflächen von Rindern, Pferden, Schafen oder anderen Tieren beworben. Auch dieses Netz ist aus HDPE gefertigt und hat laut Hersteller eine Shade Rate von 75%. Dieses Netz wird als einziges der verwendeten Netze vom Hersteller als wirklich für den landwirtschaftlichen Gebrauch bestimmt, beschrieben. Der Schattenwurf von Netz 2 ist in Abbildung 5 dargestellt.

3.2.3. Netz 3 (Schattierwert 90%)

Der Hersteller von Netz 3 ist Storystore. Das Beschattungsnetz ist auch aus HDPE gefertigt und wird als leichtgewichtig und strapazierfähig beschrieben. Es besitzt laut Hersteller eine Shade Rate von 90%. Der Hersteller beschreibt einen Einsatzbereich des Netzes zur Abdeckung von Hundehütten, Gärten oder ähnlichem. Es sind keine Angaben zum UV-Schutzfaktor des Netzes gegeben. Der Schattenwurf von Netz 3 ist in Abbildung 6 dargestellt.



Abb. 4: Schattenwurf Netz 1 auf Schweinemodell (50%)



Abb. 5: Schattenwurf Netz 2 auf Schweinemodell (75%)



Abb. 6: Schattenwurf Netz 3 auf das Schweinemodell (90%)



Abb. 7: Schattenwurf Netz 4 auf das Schweinemodell (Tarnnetz)

3.2.4. Netz 4 (Tarnnetz)

Beim Netz 4 handelt es sich um ein Tarnnetz im Military-Stil der Marke OUHYTCK©. Es besteht aus Polyester. Der Hersteller gibt an, das Netz könnte als Regenschutz,

Sonnenschutz, Gartenschattierung oder für Dekorationszwecke verwendet werden. Der Hersteller gibt keine Auskunft über Schattierwert Rate oder ähnliches. Der Schattenwurf von Netz 4 ist in Abbildung 7 dargestellt.

3.3. UV-Messgeräte am Tierkörper (SunSaver)

Zur Messung der UV-Strahlung wurden 20 elektronische UV-Strahlungsmessgeräte (Sunsaver) (37) am Schweinemodell, wie in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt, mittels doppelseitigen Klebebandes angebracht. Dabei wurde darauf geachtet, diese so zu verteilen, dass eine möglichst realistische Aussage über die UV-Exposition unterschiedlichster anatomischer Körperregionen eines erwachsenen Schweines gemacht werden kann. Es wurde darauf geachtet, die Neigung der Messgeräte der Ausrichtung der jeweiligen Körperstelle genau anzupassen. Die Messpositionen der Messgeräte sind in den Tabellen 1 und 2 aufgeführt und in den Abbildungen 10 und 11 dargestellt. Die Positionen der einzelnen Messgeräte unterscheiden sich zwischen den Messungen von Netz 1 und denen von den drei weiteren Netzen. Die anatomischen Lokalisationen, an denen sich die Messgeräte befinden, jedoch nicht. Dies liegt daran, dass nach dem ersten Messtag einige Messgeräte ausgetauscht werden mussten.



Abb. 8: Kopfansicht des Schweinemodells mit Messgeräten



Abb. 9: Seitenansicht des Schweinemodells auf der Drehplattform mit Messgeräten

Das elektronische UV-Strahlungsmessgerät SunSaver, welches batteriebetrieben funktioniert, speichert fortlaufend Zeit und UV-Strahlungsmesswerte. Das Messgerät besteht aus einem Sensor- und einer elektronischen Auswerte- und Speichereinheit. Als Sensor wird eine Siliziumkarbid Photodiode (JEC11-DE ERYCS 2; Laser Components, Olching, Deutschland) verwendet. Der Sensor hat einen eingebauten

Diffuser und erreicht damit annähernd eine Richtungsempfindlichkeit die der Kosinusfunktion entspricht und damit der Richtungsempfindlichkeit der Haut.

Die spektrale Empfindlichkeit entspricht dem Wirkungsspektrum des Erythems wie von der Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) definiert (12, 38). Der Messbereich des Messgerätes beträgt 0,03 UV-Index bis 30 UV-Index. Ein Wert von 1 UV-Index entspricht einer

erythem-gewichteten Bestrahlungsstärke von $0,025 \text{ W/m}^2$. Das Messgerät wurde so eingestellt, dass alle 5 Sekunden eine Messung durchgeführt wird und daraus alle 2 Minuten ein Mittelwert berechnet und gespeichert wird. Die Messgeräte wurden wenige Tage vor dem Messbeginn kalibriert. Die Kalibrierung erfolgte im Vergleich zu einem hochqualitativen Forschungsmessgerät, welches auch die ambiente UV-Strahlung während den Messungen aufzeichnete (siehe unten).

Dosimeter-Name:	Lokalisation:
R003	Kaudal, mitte Femur
R075	BWS-LWS, mediane, dorsal
R095	Kronsaum dorsal rechte Klaue HE
R147	Schultergelenk, links, lateral
R171	Tuber Calcanei kaudal re HE
R182	Dorsal Schwanzansatz
R316	Occiput, Höhe Ohransatz median, dorsal
R320	Tuber coxae links
R324	Ohrspitze links, dorsal
R381	Zwischen den Schulterblättern median, dorsal
R452	Laterale Bauchwand (BWS-LWS), Höhe Tuberolekrani, Kniegelenk
R462	median ventral zw. Kieferästen
R473	median ventrale umbilical
R481	Stirn, zwischen Augenwinkeln, median dorsal
R496	Dorsaler Nasenrücken, median, dorsal
R502	Kronsaum rechte Klaue VE
R507	M. Masseter links, lateral
R521	Mitte Humerus laterokraniel, VE rechts
R534	Dorsal Vulva

Tab. 1: Lokalisation Messgeräte Netz 1

R002	Dorsaler Nasenrücken, median, dorsal
R003	Occiput, Höhe Ohransatz median, dorsal
R075	Ohrspitze links, dorsal
R095	Boden
R147	Tuber Calcanei kaudal re HE
R171	median ventrale umbilical
R182	Schultergelenk, links, lateral
R316	BWS-LWS, mediane, dorsal
R320	Zwischen den Schulterblättern median, dorsal
R324	Tuber coxae links
R381	Kronsaum dorsal rechte Klaue HE
R452	Laterale Bauchwand (BWS-LWS), Höhe Tuberolekrani, Kniegelenk
R462	median ventral zw. Kieferästen
R473	Dorsal Vulva
R481	Kronsaum rechte Klaue VE
R496	Tuber olecrani kaudal, links
R502	Mitte Humerus laterokraniel, VE rechts
R506	M. Masseter links, lateral
R507	Dorsal Schwanzansatz
R521	Stirn, zwischen Augenwinkeln, median dorsal
R534	Kaudal, mitte Femur

Tab. 2: Lokalisation Messgeräte Netz 2, 3 und 4.

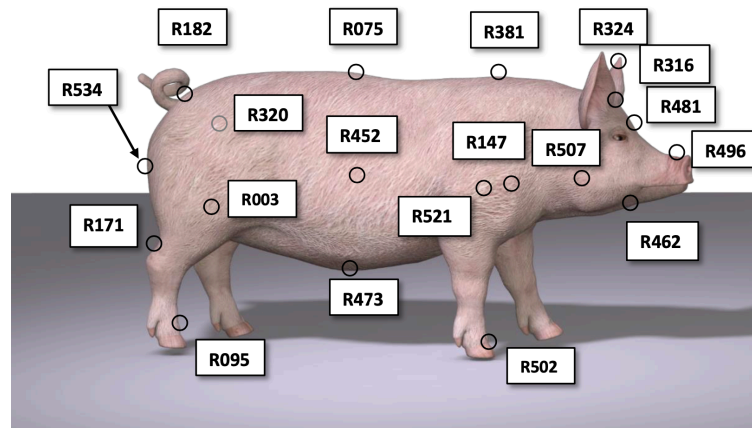


Abb. 10: Lokalisation der Messgeräte am Schweinmodell für Netz 1

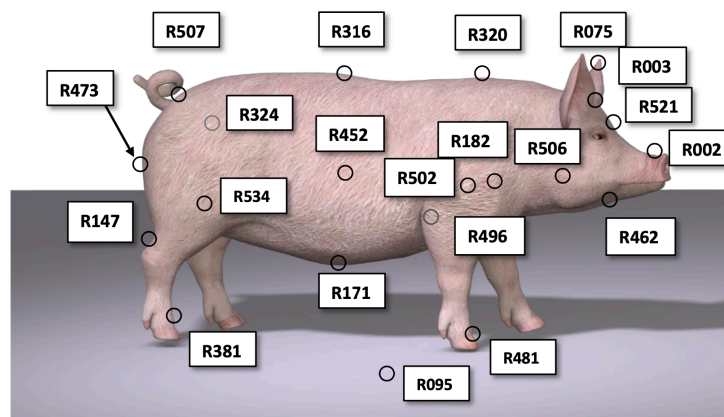


Abb. 11: Lokalisation der Messgeräte am Schweinmodell für Netz 2, 3 und 4

3.4. Versuchsaufbau

Für die Messungen wurden die Beschattungsnetze horizontal auf einer Höhe von ca. 2 Metern montiert und verspannt.

Das Schwein wurde abwechselnd direkt in der Sonne und unter dem Beschattungsnetz positioniert.

Die Messdauer betrug jeweils 5 volle Umdrehungen bzw. mindestens 5 Minuten. Der Messaufbau mit dem Modell unter den 4 Netzen ist in Abbildung 12,13, 14 und 15 dargestellt.



Abb. 12: Versuchsaufbau Netz 1 (50%)



Abb. 13: Versuchsaufbau Netz 2 (75%)



Abb. 14: Versuchsaufbau Netz 3 (90%)



Abb. 15: Versuchsaufbau Netz 4 (Tarnnetz)

3.5. Messgeräte für ambiente UV-Strahlung

Als Messgerät für die ambiente UV-Strahlung wurde ein sogenannte Biometer der Type SL501 (SolarLight, Philadelphia, USA) verwendet. Dieses Biometer misst die erythemgewichtete Bestrahlungsstärke und ist Teil der biometeorologischen Messstation der Veterinärmedizinischen Universität Wien (48.258 °N; 16.434 °E; 153 m). Dieses Biometer ist

Teil des österreichischen UV-Messnetzes und wird jährlich kalibriert. Die zeitliche Auflösung beträgt 1 min.

3.6. Sonnenschutzfaktor – „Sun Protection Factor“

Da in der Folge der Sonnenschutzfaktor aus den gemessenen Werten errechnet wird, hier eine kurze Definition der Begrifflichkeit. Der Sonnenschutzfaktor (SPF) ist ein Maß dafür, um wie viel mehr UV-Strahlung benötigt wird, um einen Sonnenbrand auf geschützter Haut im Vergleich zu ungeschützter Haut, zu verursachen. Mit steigendem SPF-Wert nimmt der Sonnenbrandschutz zu.

Der SPF wird anhand der Messungen der Bestrahlungsstärke ohne Netz E_{i-sun} und der Messungen mit Beschattungsnetz E_{i-net} an allen Körperstellen i errechnet:

$$SPF_i = \frac{E_{i-sun}}{E_{i-net}}$$

3.7. Vergleich mit ambienter UV-Strahlung – „Exposure Ratio to Ambient“

Das Exposure Ratio to Ambient (ERTA), welches in der Folge anhand der Messergebnisse berechnet wird, beschreibt das Verhältnis der Strahlungsexposition des Schweinmodells im Vergleich zur ambienten UV-Strahlung und wurde anhand der Messung der Bestrahlungsstärke E_i für alle Körperstellen i und der in der Nähe durchgeführten Messungen eines Biometer Model 501 (Solar Light) durchgeführt und als Prozentsatz angegeben:

$$ERTA_i[\%] = \frac{E_i}{E_{ambient}} * 100\%$$

4. Ergebnisse

4.5. Messergebnisse

Die abwechselnden Messungen mit und ohne Netz 1 sind in Abbildung 16, mit und ohne Netz 2 in Abbildung 17 und mit und ohne Netz 3 in Abbildung 18 dargestellt. Die Abbildung 19 zeigt die Messungen mit und ohne Netz 4. Tabelle 3 führt die Nummerierung der jeweiligen anatomischen Messpositionen am Schweinemodell an.

1	Dorsaler Nasenrücken, median, dorsal
2	Occiput, Höhe Ohransatz median, dorsal
3	Ohrspitze links, dorsal
4	Boden
5	Tuber Calcanei kaudal re HE
6	median ventrale umbilikal
7	Schultergelenk, links, lateral
8	BWS-LWS, mediane, dorsal
9	Zwischen den Schulterblättern median, dorsal
10	Tuber coxae links
11	Kronsaum dorsal linke Klaue HE
12	Laterale Bauchwand (BWS-LWS), Höhe Tuberolekrani, Kniegelenk
13	median ventral zw. Kieferästen
14	Dorsal Vulva
15	Kronsaum linke Klaue VE
16	Tuber olecrani kaudal, links
17	Mitte Humerus laterokraniell, VE rechts
18	M. Masseter links, lateral
19	Dorsal Schwanzansatz
20	Stirn, zwischen Augenwinkeln, median dorsal
21	Kaudal, Mitte Femur

Tab. 3: Nummerierung der anatomischen Messpositionen

Die Messergebnisse zeigen, dass die horizontal ausgerichteten Körperregionen des Schweinemodells wie der Ohrspitze [3], dem Bereich zwischen den Schulterblättern [9] und den Augenwinkeln auf der Stirn [20], dem dorsalen Nasenrücken und dem Übergang der Brust- zur Lendenwirbelsäule [8], die höchste Exposition gegenüber UV-Strahlung bei der Messung ohne Netz aufweisen. Hier wird um die Mittagszeit an den Messtagen von Netz 1 und Netz 3 ein UV-Index von über 7 ohne Netz gemessen, wie in den Abbildungen 18 und 21 abgelesen werden kann. Bei den Messungen von Netz 2 (Abbildung 17) und Netz 3 (Abbildung 18) wurden ohne Netz sogar ein UV-Index von 8 gemessen. In den Abbildungen 16 – 19 kann auch abgelesen werden, dass die am wenigsten exponierten Körperstellen vertikal ausgerichtet oder nach unten geneigt sind, wie etwa in der umbilikalen Umgebung [6] oder zwischen den Kieferästen [13]. Hier wird an allen Messtagen ohne Netz ein UV-Index von unter 2 gemessen. Gegen 13:00 Uhr, also dem Zeitpunkt des Sonnenhöchststands, wird ein Maximum an UV-Strahlung verzeichnet, welches mit abnehmendem Sonnenstand sukzessive abklingt. Dies ist in den Abbildungen 16 bis 19 gut zu erkennen. Zum Beispiel wird, wie in Abbildung 16 abzulesen, bei Netz 1 an der Ohrspitze [3] gegen 13:00 Uhr ohne Netz ein UV-Index von zirka 7 gemessen, gegen 15:00 Uhr beträgt dieses nurmehr etwas mehr als 4. Gegen 19:00 Uhr wird nur noch ein UV-Index von unter 1 gemessen. In der Abbildung 17 ist zu erkennen, dass bei Netz 2 zwischen 13:22 Uhr und 13:35 Uhr, zwischen 14:20 Uhr und 14:35 Uhr, sowie zwischen 15:20 Uhr und 15:35 Uhr der gemessene UV-Index etwas stärker variiert, als zum Beispiel im Messintervall zwischen 12:50 Uhr und 13:00 Uhr. Dies kann auf immer wieder vorkommende Windbewegungen des Netzes zurückgeführt werden.

Einzig bei Netz 4 (Tarnnetz) konnte keine eindeutige Verringerung der UV-Strahlung durch das Netz festgestellt werden. Die Messergebnisse sind in der Abbildung 19 graphisch dargestellt. Bei tieferem Sonnenstand kann man zwar erkennen, dass es zu einer gewissen Reduzierung der UV-Strahlung durch das Netz kommt, bei höherem Sonnenstand ist dies nicht ersichtlich. Dies ist dem geschuldet, dass die Maschen des Tarnnetzes so groß sind, dass es zu keiner homogenen Schattenbildung kommt. Dies kommt bei, in steilerem Winkel auf das Netz auftreffender UV-Strahlung, mehr zum Tragen, als wenn die Sonne einen tieferen Stand erreicht hat.

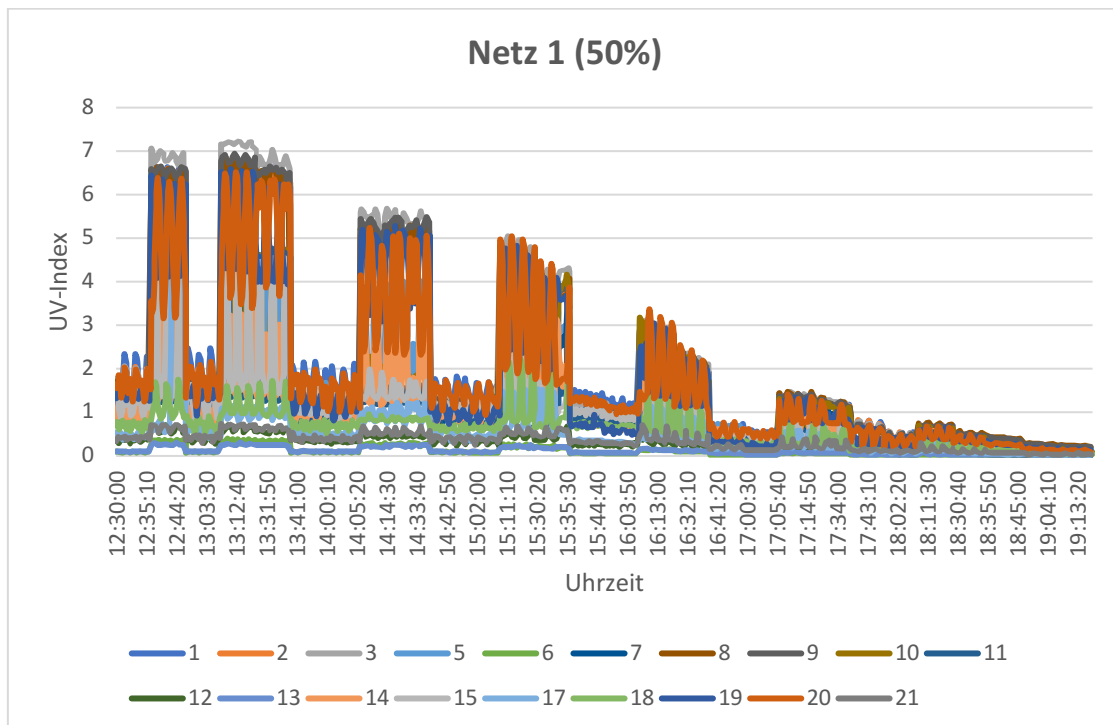


Abb. 16: Messwerte aller gemessenen Lokalisationen im Zeitverlauf mit und ohne Beschattungsnetz (Netz 1, 50%)
Die Messpositionen 1 bis 21 sind in Tabelle 3 aufgelistet.

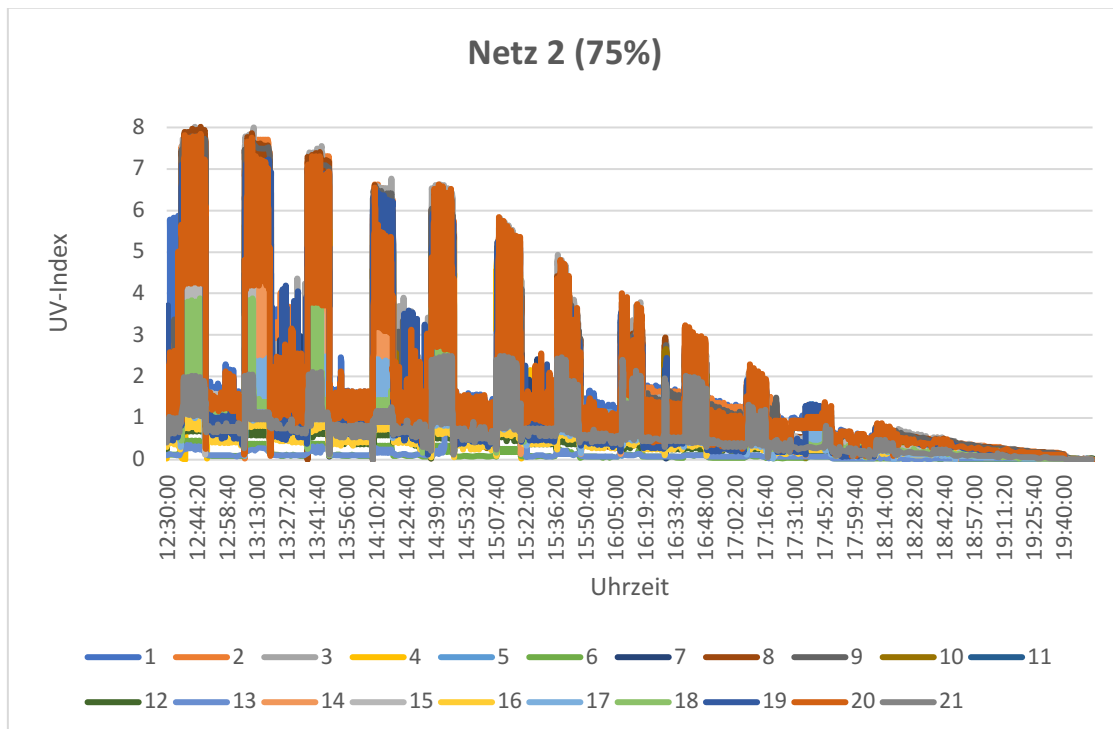


Abb. 17: Messwerte aller gemessenen Lokalisationen im Zeitverlauf mit und ohne Beschattungsnetz (Netz 2, 75%)
 Die Messpositionen 1 bis 21 sind in Tabelle 3 aufgelistet.

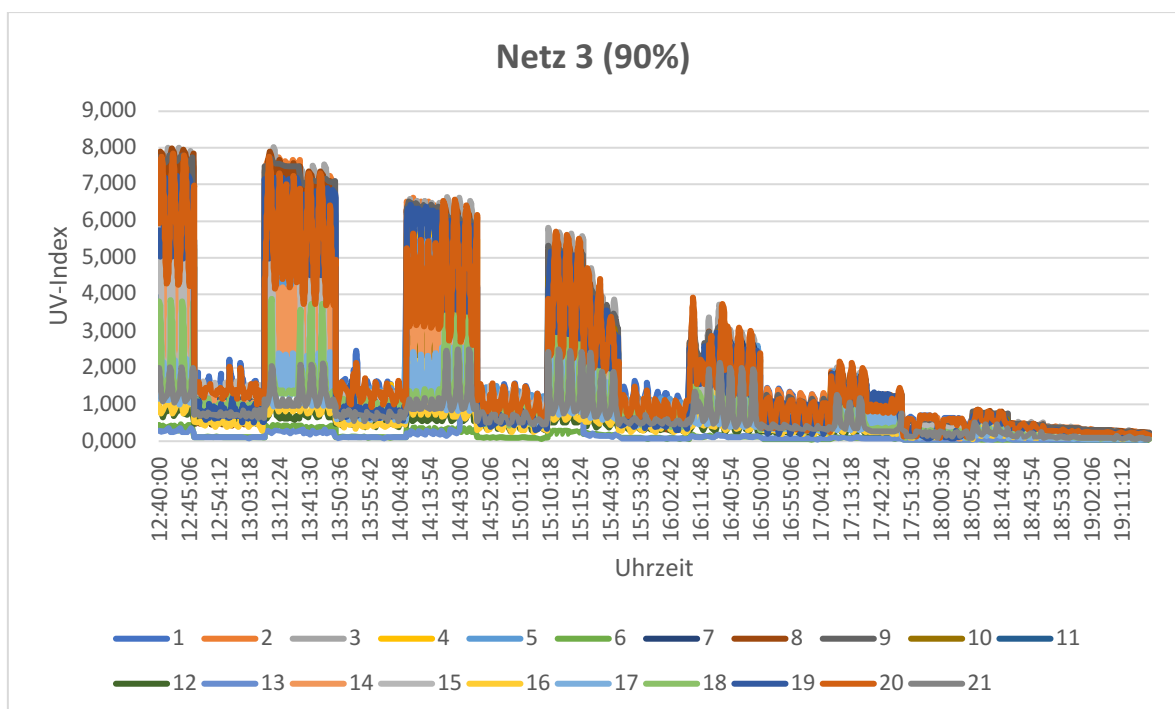


Abb. 18: Messwerte aller gemessenen Lokalisationen im Zeitverlauf mit und ohne Beschattungsnetz (Netz 3, 90%)
 Die Messpositionen 1 bis 21 sind in Tabelle 3 aufgelistet.

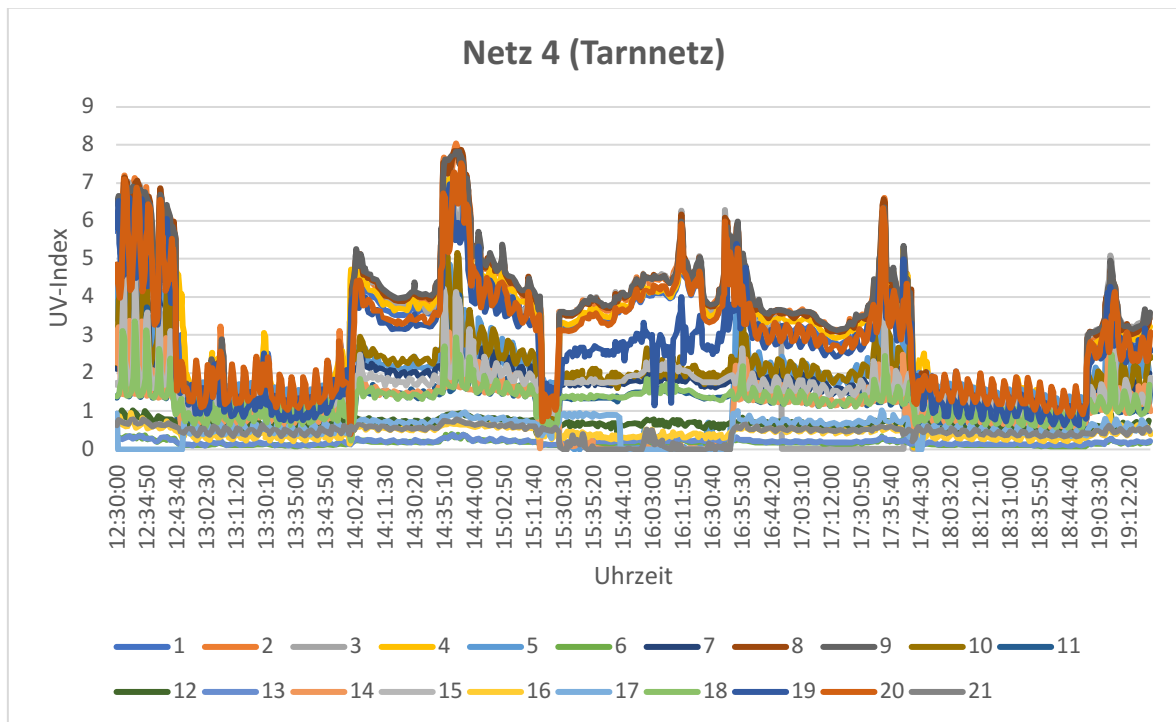


Abb. 19: Messwerte aller gemessenen Lokalisationen im Zeitverlauf mit und ohne Beschattungsnetz (Netz 4, Tarnnetz)

Die Wellenform der Messwerte, dargestellt in der Abbildung 20, lässt sich auf die Drehbewegung des Schweinemodells zurückführen, da sich hierbei die Ausrichtung des Messgerätes im Strahlungsfeld verändert. Ist das Messgerät zur Sonne ausgerichtet erhält es etwas höhere Bestrahlungsstärken als wenn es von der Sonne weggerichtet ist. Dies trifft auch auf im Schatten gemessene Werte zu, da im Schatten zwar die UV-Strahlung geringer, aber noch vorhanden ist und auch der Sonnenwinkel Einfluß hat. So bildet sich auch für die Messungen im Schatten graphisch eine Welle aus.

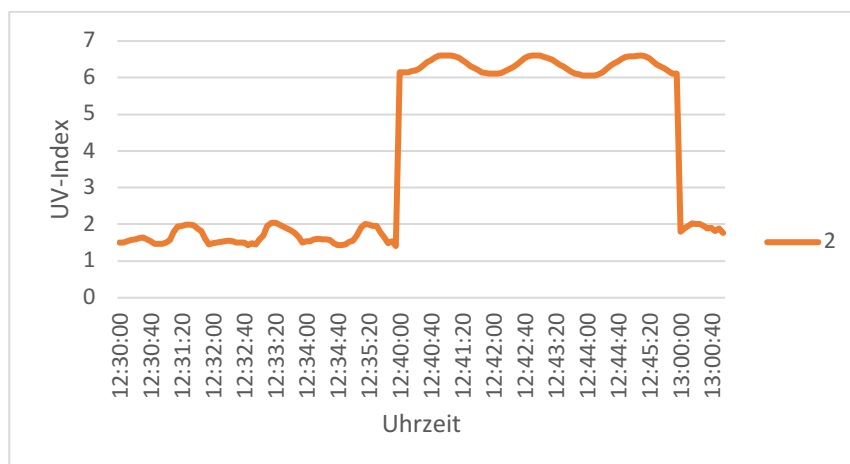


Abb. 20: Detailbetrachtung der umdrehungsbedingten Wellen aus Abb. 19, Lokalisation 2

Vergleicht man die Messungen mit und ohne Netz, so kann ein klar ersichtlicher Einfluss der Netze auf die gemessene UV-Strahlung festgestellt werden, vorausgesetzt die Maschenweite des Netzes erlaubt eine homogene Schattenbildung.

Die UV-Bestrahlungsstärke reduziert sich mit Netzeinsatz erheblich im Vergleich zu dem entsprechenden Zeitpunkt ohne Netz. Dabei ist mit Zunahme des angegebenen „Shade Rates“ eine stärkere Reduzierung der UV-Strahlung zu bemerken. Gegen 13:00 Uhr konnte das Netz 1 (50%) die UV-Strahlung von einem UV-Index von 7 auf zirka 2,5, das Netz 2 (75%) von 8 auf etwas weniger als 2 und das Netz 3 (90%) von 7,5 auf 1,5 verringern. Es zeigt sich auch, dass die Differenz zwischen den gemessenen Werten mit und ohne Netz umso stärker ausfällt, je stärker die Exposition der Körperstelle ist.

4.6. Sonnenschutzfaktor

In den Abbildungen 21-24 wird sind die Mittelwerte aller errechneten SPF über einen Tag für die jeweilige Lokalisation dargestellt. Die Berechnungen zeigen, dass alle verwendeten Beschattungsnetze mit Ausnahme des Tarnnetzes, die UV-Exposition deutlich reduzieren und das Schwein effektiv vor UV-Strahlung schützen können.

Der Schutz variiert mit der Gewebedichte des Beschattungsnetzes. Der Sonnenschutzfaktor hängt von der Körperstelle ab und variiert mit dem Stand der Sonne. Am wirksamsten sind die Beschattungsnetze, für horizontale nach oben gerichtete Flächen. So beträgt beispielsweise der Sonnenschutzfaktor für Netz 1 an der Rückenlinie (Messposition 8, BWS-LWS, median dorsal) 3,5, bei Netz 2 4,2 und bei Netz 3 5,8. Je stärker die Körperstelle zur Erdoberfläche ausgerichtet ist, desto weniger schützt das Netz vor UV-Strahlung. Dort ist die UV-Strahlung jedoch auch geringer. So beträgt der Sonnenschutzfaktor in der Bauchregion (Messposition 6, ventral median, umbilikal) bei Netz 1 2,7, Netz 2 2,6 und bei Netz 3 3,3.

Dies ist dadurch zu erklären, dass Beschattungsnetze vor allem vor der direkten UV-Strahlung und der UV-Strahlung des durch das Netz verdeckten Himmels schützen, weniger jedoch vor der ambienten UV-Strahlung, die seitlich oder durch Bodenreflexion auf den Körper gelangt.

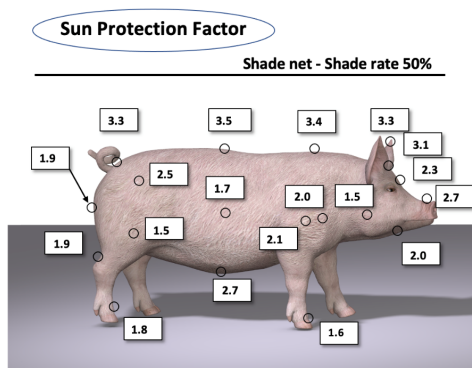


Abb. 21: Sonnenschutzfaktor Netz 1 (50 %)

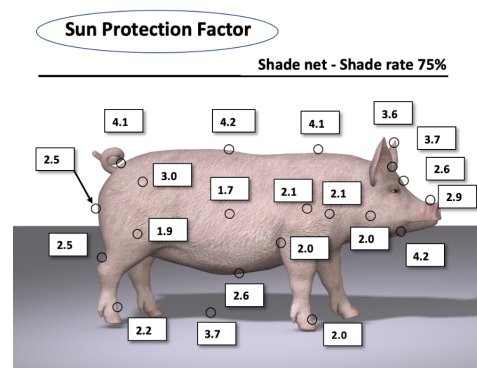


Abb. 22: Sonnenschutzfaktor Netz 2 (75%)

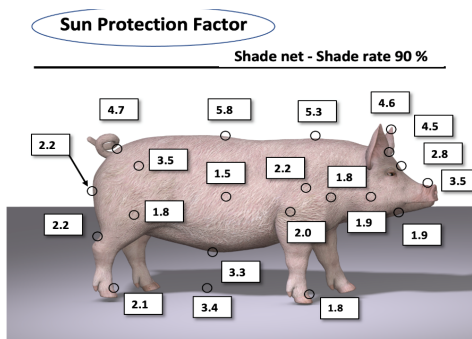


Abb. 23: Sonnenschutzfaktor Netz 3 (90 %)

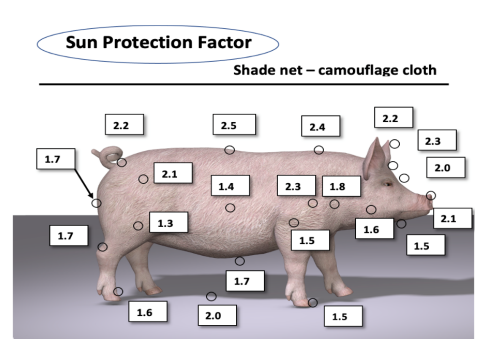


Abb. 24: Sonnenschutzfaktor Netz 4 (Tarnnetz)

4.7. Relative Exposition – das “Exposure Ratio to Ambient” (ERTA)

Die Resultate der in Kapitel 3. 7. Vergleich mit ambienter UV-Strahlung angeführten Berechnungen sind in der Abbildung 25 dargestellt. Es zeigt sich, dass horizontal ausgerichtete Flächen prozentual mehr UV-Strahlung exponiert sind als nach unten geneigte.

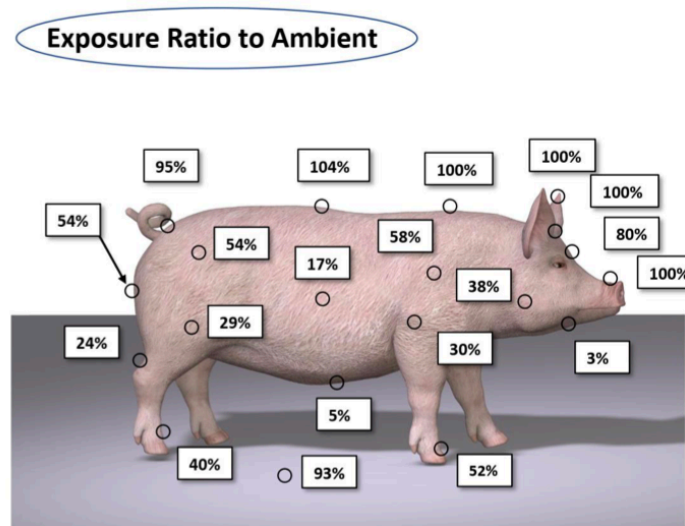


Abb. 25: Jahreshöchste Exposure Ratio to Ambient eines Tages in der prallen Sonne

Mit diesem Prozentsatz ist es möglich die UV-Bestrahlungsstärke eines ungeschützten Schweines durch erythem-wirksamer UV-Strahlung über das ganze Jahr zu errechnen. Als Beispiel ist in Abbildung 26 die UV-Indexe für Wien zu Mittag dargestellt.

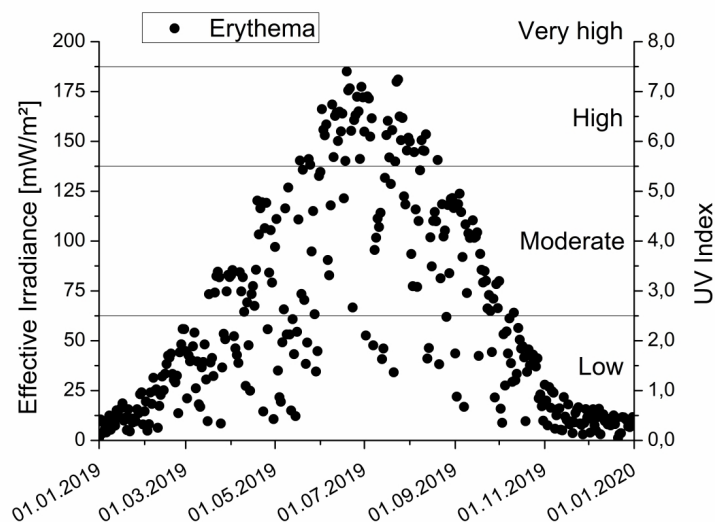


Abb. 26: Tagesmaximum ambienter erythem-wirksamer Strahlungsstärke für Wien über das ganze Jahr

Hält sich beispielsweise ein Mastschwein in Wien in den Wintermonaten in der Sonne auf, so beträgt die ambient UV-Strahlung 1 UV-Index. Am Übergang zwischen Brust- und Lendenwirbelsäule, wo eine ERTA von 104% herrscht, macht dies einen UV-Index von 1,04 aus. An weniger exponierten Stellen wie an der seitlichen Brustwand (ERTA = 17%) macht dies einen UV-Index von 0,17 und ventral am Bauch in der Nabelgegend (ERTA = 9%) sogar nur einen UV-Index von 0,09 aus.

Ab März bis Mai und ab September bis November herrscht ein UV-Index im Bereich von 3,0 bis 5,0. In den Sommermonaten steigt der UV-Index in Wien steil an und kann Werte von 8,0 erreichen. Hier wird am Übergang zwischen Brust- und Lendenwirbelsäule (ERTA = 104%) ein UV-Index von 8,32, an der seitlichen Brustwand (ERTA = 17%) von 1,36 und ventral am Bauch in der Nabelgegend (ERTA = 9%) von 0,72 erreicht.

Die World Health Organisation (WHO) (37) empfiehlt für den Menschen Sonnenschutzmaßnahmen ab einem UV-Index von 3,0 einzusetzen. Dies würde bedeuten, dass Schweine die im Freien gehalten werden, in Wien von April bis Oktober immer einen Sonnenschutz benötigen.

5. Diskussion

In dieser Diplomarbeit wurde die Effektivität von Beschattungsnetzen vor erythem wirksamer UV-Strahlung zu schützen, am Schweinmodell untersucht. Ausgewählt wurde das Modell eines Hausschweines, wie man sie aus der Ferkelzucht oder der Mast kennt. Da diese Schweinerassen nur noch sehr wenig behaart und kaum pigmentiert sind, kann ihre Haut in vielen Aspekten mit der des Menschen verglichen werden. So sind Schweine ähnlich wie der Mensch sehr empfindlich für Sonnenbrand.

Die Effektivität der vier gemessenen Beschattungsnetze wurde anhand des Sonnenschutzfaktors dargestellt. Außerdem wurde der prozentuale Anteil der UV-Strahlung an unterschiedlichen Lokalisationen des Schweinekörpers ermittelt. In einem zweiten Schritt wurde die ERTA und die UV-Bestrahlungsstärke unterschiedlicher Körperteile des Schweinekörpers an unterschiedlichen Tagen beziehungsweise zu unterschiedlichen Jahreszeiten in Wien berechnet.

Es konnte gezeigt werden, dass Beschattungsnetze prinzipiell vor UV-Strahlung schützen können, wobei Unterschiede zwischen den einzelnen Netzen festgestellt wurden. Diese Unterschiede waren vor allem auf die Maschendichte der Netze zurück zu führen. Je dichter gewebt die Netze waren, desto höher die Angabe des Shade Rates vom Hersteller und desto größer der SPF. Erhebliche Unterschiede gab es zwischen den Anteilen an UV-Strahlung betreffend den einzelnen Lokalisationen am Schweinekörper, wobei die horizontalen, der Sonne zugewandten Flächen am meisten, jene die eher vertikal beziehungsweise dem Boden zugerichtet waren, am wenigsten exponiert waren. Außerdem konnte gezeigt werden, dass Hausschweine, ähnlich wie die World Health Organisation (WHO) es für den Menschen empfiehlt, vom Frühsommer bis zirka September vor der Sonne geschützt werden sollten, damit es nicht zu Sonnenbrand kommt.

Bei der Untersuchung traten einige Variablen auf, die berücksichtigt werden müssen. Zum einen waren nicht alle Netze exakt gleich groß ($\pm 10\%$), was möglicherweise Auswirkungen auf die Ergebnisse hatte. Zudem haben sich die Netze aufgrund von Windbewegungen nicht immer auf exakt der gleichen Höhe befunden ($\pm 10\%$), was ebenfalls berücksichtigt werden muss. Ein weiterer Faktor ist das Schweinmodell selbst. Für diese Arbeit wurde das Schweinmodell mittig im Kernschatten positioniert. Je weiter sich ein Tier aus der Mitte entfernt, desto geringer ist die Schattenwirkung. Hier kann auch kurz erwähnt werden, dass in dieser Diplomarbeit ausschließlich das Modell des stehenden Schweines berücksichtigt wurde. Befindet sich das Schwein jedoch in einer liegenden Position, kann es zur Exposition

empfindlicherer Körperstellen wie zum Beispiel der Bauchregion kommen, so dass in dem Fall möglicherweise andere Anforderungen an die Schattenwirkung bestehen.

Es ist außerdem zu beachten, dass nur bestimmte Netze ausgewählt wurden und es keine Variationen in Größe und Montagehöhe der Netze gab. Bei größeren Netzen würde der Schutzfaktor höher sein. Die ausgewählten Netze waren gerade so groß, dass sie genügend Kernschatten für ein Schwein ermöglicht haben. Möchte man größere Gruppen von Schweinen schützen, müssen auch entsprechend größere Netze verwendet werden. Für höher gespannte Netze würde die Schutzwirkung geringer ausfallen, für niedriger gespannt Netze höher. Unterschiedliche Materialien könnten zudem unterschiedlich geeignet sein (z.B. UV-Beständigkeit, Witterungsbeständigkeit, ...) und sollten bei der Auswahl berücksichtigt werden.

Alle diese Aspekte, sowie auch der Einfluss von Hautpigmentierung und Körperbehaarung sollten bei der Umsetzung von Schutzmaßnahmen gegen UV-Strahlung sorgfältig bedacht und weiter untersucht werden.

Abschließend kann man sagen, dass mit Hilfe von Beschattungsnetzen Schweine vor erythem wirksamer UV-Strahlung geschützt werden können und somit die Lebensqualität der Tiere positiv beeinflusst werden kann.

6. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beispiele für die Variation des SZA mit den unterschiedlichen Positionen der Sonne im Vergleich zu einem Beobachter (Observer) Quelle: (12).....	10
Abb. 2: Einteilung der Hauttypen des Menschen nach Fitzpatrick (18).....	14
Abb. 3: Seitenansicht des Schweinemodells (ohne Drehplattform).....	20
Abb. 4: Schattenwurf Netz 1 auf Schweinemodell (50%).....	21
Abb. 5: Schattenwurf Netz 2 auf Schweinemodell (75%).....	21
Abb. 6: Schattenwurf Netz 3 auf das Schweinemodell (90%).....	21
Abb. 7: Schattenwurf Netz 4 auf das Schweinemodell (Tarnnetz).....	21
Abb. 8: Kopfansicht des Schweinemodells mit Messgeräten.....	22
Abb. 9: Seitenansicht des Schweinemodells auf der Drehplattform mit Messgeräten.....	22
Abb. 10: Lokalisation der Messgeräte am Schweinemodell für Netz 1.....	24
Abb. 11: Lokalisation der Messgeräte am Schweinemodell für Netz 2, 3 und 4.....	24
Abb. 12: Versuchsaufbau Netz 1 (50%).....	25
Abb. 13: Versuchsaufbau Netz 2 (75%).....	25
Abb. 14: Versuchsaufbau Netz 3 (90%).....	25
Abb. 15: Versuchsaufbau Netz 4 (Tarnnetz).....	25
Abb. 16: Messwerte aller gemessenen Lokalisationen im Zeitverlauf mit und ohne Beschattungsnetz (Netz 1, 50%) Die Messpositionen 1 bis 21 sind in Tabelle 3 aufgelistet.	28
Abb. 17: Messwerte aller gemessenen Lokalisationen im Zeitverlauf mit und ohne Beschattungsnetz (Netz 2, 75%) Die Messpositionen 1 bis 21 sind in Tabelle 3 aufgelistet.	29
Abb. 18: Messwerte aller gemessenen Lokalisationen im Zeitverlauf mit und ohne Beschattungsnetz (Netz 3, 90%) Die Messpositionen 1 bis 21 sind in Tabelle 3 aufgelistet.	29
Abb. 19: Messwerte aller gemessenen Lokalisationen im Zeitverlauf mit und ohne Beschattungsnetz (Netz 4, Tarnnetz).....	30
Abb. 20: Detailbetrachtung der umdrehungsbedingten Wellen aus Abb. 19, Lokalisation 2.	30
Abb. 21: Sonnenschutzfaktor Netz 1 (50 %).....	32
Abb. 22: Sonnenschutzfaktor Netz 2 (75%).....	32
Abb. 23: Sonnenschutzfaktor Netz 3 (90 %)“.....	32
Abb. 24: Sonnenschutzfaktor Netz 4 (Tarnnetz).....	32
Abb. 25: Jahrhöchste Exposure Ratio to Ambient eines Tages in der prallen Sonne.....	33
Abb. 26: Tagesmaximum ambienter erythem-wirksamer Strahlungstärke für Wien über das ganze Jahr.....	33

Tab. 1: Lokalisation Messgeräte Netz 1	23
Tab. 2: Lokalisation Messgeräte Netz 2, 3 und 4.	23
Tab. 3: Nummerierung der anatomischen Messpositionen	27

7. Quellenangabe

1. Meyer W, Schwarz R, Neurand K. The Skin of Domestic Mammals as a Model for the Human Skin, with Special Reference to the Domestic Pig¹. In: Current Problems in Dermatology. S. Karger; 1979. p. 39–52.
2. Ramos-Onsins SE, Burgos-Paz W, Manunza A, Amills M. Mining the pig genome to investigate the domestication process. Vol. 113, Heredity. Nature Publishing Group; 2014. p. 471–84.
3. Gabriele E. Zusammenführung und soziale Interaktionen zweier Ferkelgruppen in Freilandhaltung und Vorschläge für artangepasste Tierhaltung beim Hausschwein (*Sus scrofa f. domestica*). [Graz]: Karl-Franzens-Universität Graz; 2022.
4. Reischl S. Zeitverlauf des UVB- und UVC- bedingten Erythems beim Hausschwein. [Wien]: Veterinärmedizinische Universität Wien ; 1999.
5. Ursprung R. die grüne. 2019. Schweine vor Hitze und Sonnenbrand schützen.
6. Skinner TM, Lopez-Corrales NL, Anderson SI, Yerle M, Archibald AL. Physical mapping of porcine seasonality genes. Anim Biotechnol. 1999;10(3):143–6.
7. Brownlow M. Freilandhaltung von Schweinen in Großbritannien. Outdoor pig production in the UK. Alternative Strategien für die Landwirtschaft. 2006;63–72.
8. Omelko M. Bioschweinehaltung in Österreich: Situation, Entwicklungspotenzial und Wirtschaftlichkeit [Institut für Agrar- und Forstökonomie]. [Vienna]: Universität für Bodenkultur Wien; 2004.
9. Religi A, Backes C, Mocozet L, Vuilleumier L, Vernez D, Bulliard JL. Body Anatomical UV Protection Predicted by Shade Structures: A Modeling Study. Photochem Photobiol. 2018 Nov 1;94(6):1289–96.
10. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans., World Health Organization., International Agency for Research on Cancer. Solar and ultraviolet radiation. IARC; 1992. 316 p.
11. Schmalwieser AW, Weihs P, Schauburger G. UV Effects on Living Organisms. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. 2018. 1–63 p.
12. Wengraitis S, Blumthaler M, Césarini JP, Chaney E, Koepke P, Madronich S, et al. CIE Technical Report: Spectral Weighting of Sunlight [Internet]. Vienna; 2002. Available from: <http://www.cie.co.at/cie/>
13. Kasper I. Abschätzung biologischer UV-Wirkungen durch Bestrahlung von Großtieren mit künstlichen UV-Quellen. [Wien]: Veterinärmedizinische Universität Wien ; 1986.

14. Schmalwieser AW, Klotz B, Schwarzmann M, Baumgartner DJ, Schreder J, € Unther Schauburger G, et al. The Austrian UVA-Network. Photochem Photobiol [Internet]. 2019;95:1258–66. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/php.13111>
15. Farr PM, Besag JE, Diffey BL. The Time Course of UVB and UVC Erythema. 1988.
16. Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Säugetiere - Band III Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane. 4. unverän. Habermehl KH, Vollmerhaus B, Wilkens H, Waibl H, editors. Stuttgart: Parey Verlag in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG Oswald-Hesse-Str. 50, D-70469 Stuttgart; 2005. 642 p.
17. Bundesamt für Strahlenschutz https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/tipp-der-woche/_functions/documents/braune-haut.html#:~:text=Die%20Eindringtiefe%20steigt%20mit%20steigender,bis%20in%20die%20Oberhaut%20vor. 2023. Wenn die Haut braun wird
18. Ravnbak MH. Objective determination of Fitzpatrick skin type. Dan Med Bull. 2010;57(8):4153.
19. Riviere JE, Carver MP, Monteiro-Riviere NA, Bowman KF. AD-A 198 960 ad development of in vitro isolated perfused porcine skin flaps for study of percutaneous absorption of xenobiotics annual report.
20. Godynicki VS, El-Bab MRF, Schwarz R. Die Anordnung der Blutgefäße in der Haut beim Schwein zum Zeitpunkt der Geburt. Anatomia, Histologia, Embryologia: Journal of Veterinary Medicine Series C. 1985 Dec;14(4):304–15.
21. Ham AW, Leeson TS. Histology. Philadelphia: Lippincott Company; 1961.
22. Neurand K, Meyer W, Schwarz R. Der Haarwechsel der Haussäugetiere. I. Allgemeine Problematik und zeitlicher Ablauf. Dtsch tierärztl Wschr. 1980;87:27–31.
23. Sambuco CP. Miniature swine as an animal model in photodermatology: factors influencing sunburn cell formation. Photodermatol. 1985 Jun;2(3):144–50.
24. Leigh H, Forbes PD, Lawson C, Kim DY, White D, Brown LD, et al. Miniature swine model of phototoxicity testing. Photodermatol Photoimmunol Photomed. 2012 Feb 1;28(1):34–41.
25. Behm D. Dosis-Wirkungs-Beziehung der erythemwirksamen UVC-Strahlung (254 nm) beim Hausschwein. [Wien]: Veterinärmedizinische Universität Wien ; 1996.

26. Schmalwieser AW, Wallisch S, Diffey B. A library of action spectra for erythema and pigmentation. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 2012;11(2):251–68.
27. Diffey BL, Farr PM. Quantitative aspects of ultraviolet erythema. *Clinical Physics and Physiological Measurement*. 1991 Nov;12(4):311–25.
28. Kueber HS. Dosis-Wirkungs-Beziehung der erythemwirksamen UVB-Strahlung beim Hausschwein. [Wien]: Veterinärmedizinische Universität Wien ; 1996.
29. Makarova A, Wang G, Dolorito JA, KC S, Libove E, Epstein EH. Vitamin D3 Produced by Skin Exposure to UVR Inhibits Murine Basal Cell Carcinoma Carcinogenesis. *Journal of Investigative Dermatology*. 2017 Dec 1;137(12):2613–9.
30. Yang P, Ma Y. Recent advances of vitamin D in immune, reproduction, performance for pig: a review. *Anim Health Res Rev*. 2021 Jun 2;22(1):85–95.
31. Opene C, Chren MM, Linos E. Types of shade vary in protection just like sunscreens. Vol. 153, *JAMA Dermatology*. American Medical Association; 2017. p. 1070–1.
32. Turnbull DJ, Parisi A V. Spectral UV in public shade settings [Internet]. Vol. 69, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2003. Available from: www.elsevier.com/locate/jphotobiol
33. Turnbull DJ, Parisi A V. Increasing the ultraviolet protection provided by shade structures. *J Photochem Photobiol B*. 2005 Jan 14;78(1):61–7.
34. Parisi A V., Turnbull DJ. Shade provision for UV minimization: A review. Vol. 90, *Photochemistry and Photobiology*. Blackwell Publishing Inc.; 2014. p. 479–90.
35. Parisi A V., Turnbull DJ. Shade provision for UV minimization: A review. Vol. 90, *Photochemistry and Photobiology*. Blackwell Publishing Inc.; 2014. p. 479–90.
36. Draxl C. Österreichische Schweineprüfanstalt (ÖSPA) Erkenntnisse für die österreichische Schweineproduktion Zucht- und Kreuzungsprogramm. 2009;103–6.
37. Heydenreich J, Wulf HC. Personal electronic UVR dosimeter measurements: specific and general uncertainties. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2019 Jun 27;18(6):1461–70.
38. ISO CIE. Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. 2019.
39. World Health Organization. [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-\(uv\)-index](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-(uv)-index) (10.08.2023). 2022. Radiation: The ultraviolet (UV) index.

8. Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Menschen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Besonderer Dank kommt Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Alois Schmalwieser zu, der stets Verständnis für meine Fragestellungen zeigte und mich immer wieder mit der passenden Hilfestellung auf den richtigen Weg führte.

Zu guter Letzt sei auch meiner Familie und meinem Lebensgefährten gedankt, die mir immer wieder die unerlässlichen kleinen Dinge des Alltags abgenommen haben und mit lieben, aufbauenden Worten dafür gesorgt haben, dass ich körperlich – aber auch seelisch - diese Zeit gut überstanden habe. Auch möchte ich meine beiden Fellnasen, meine Hunde Sète und Toulouse, nicht vergessen, welche treu an meiner Seite für Kuscheleinheiten und Abwechslung gesorgt haben.