

Aus dem Department für Biomedizinische Wissenschaften  
der Veterinärmedizinischen Universität Wien  
Institut für Physiologie Pathophysiologie und Biophysik

Abteilung für Physiologie und Biophysik  
(Leiterin: Univ.-Prof. Dr.med. Elena E. Pohl)

# **Grundlegende Messungen zur Topographie von Hautfarbe und Pigmentierung am Modell Mensch**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von Sabine Götzinger

Deutsch-Wagram, im Juni 2023

**Betreuer**

Mag. rer. nat. Dr. nat. techn. Alois Schmalwieser  
Abteilung für Physiologie und Biophysik  
Institut für Physiologie Pathophysiologie und Biophysik  
Veterinärmedizinische Universität Wien

**Gutachterin**

Dr. med. vet. Simone Gabner, PhD  
Institut für Morphologie, AG Histologie  
Veterinärmedizinische Universität Wien

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich auf dem langen Weg der Veterinärmedizin begleitet und unterstützt haben.

Besonders großer Dank gebührt:

- Meinen Eltern, Melitta und Konrad Götzinger, die mich während meiner Studienzeit unterstützt und mir meine wissenschaftliche Ausbildung ermöglicht haben.
- Meinen Kindern David und Julian Götzinger.
- Meinen Freundinnen, Lucie Kocemba und Daniela Mayer, welche mir durch alle schwierigen Herausforderungen geholfen und jeden Erfolg mit mir gefeiert haben.
- Meinen Kolleginnen Bettina Fröhlich, Elisabeth Osterberger, Claudia Czelecz, Lidija Ljunic-Brugger, welche mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen und mich für die beste Studienzeit und das großartigste Universitätserlebnis danke.
- Meiner Studienkollegin Adina Wachsmann, die mich vor allem im letzten Abschnitt des Studiums tatkräftig unterstützt hat.
- All jenen Freunden und Bekannten, die an meiner Studie teilgenommen haben
- Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Alois Schmalwieser für eine ausgezeichnete, sehr präzise geführte, lehrreiche und freudvolle Betreuung und Unterstützung.

**Herzlichen Dank!**

## Abkürzungsverzeichnis

CIE .....	Commission Internationale de l'Eclairage
ITA° .....	individuelle Typologiewinkel
FST.....	Fitzpatrick-Hautphototypen (Fitzpatrick Skin Types)
TAN° .....	Bräunungsgrad
L* .....	Helligkeit
h° .....	Farbton
C* .....	Sättigung
UV .....	Ultraviolett
UVR.....	Ultraviolett Strahlung
a* .....	Rot/Grün-Achse
b* .....	Gelb/Blau-Achse

## Inhaltsverzeichnis

Grundlegende Messungen zur Topographie von Hautfarbe und Pigmentierung am Modell Mensch .....	1
1. Einleitung .....	7
1.1. Pigmentierung beim Säugetier/Mensch .....	7
1.1.1. Hautfarbe .....	7
1.1.2. Pigmentierung – Melanin .....	9
1.1.3. Pigmentierung beim Tier .....	10
1.2. Solare UV-Strahlung .....	11
1.3. Konstitutive Pigmentierung vs. fakultative Pigmentierung .....	14
1.5. Schutzfunktion der Pigmentierung gegen Hautschädigung .....	15
1.6. Exposition durch Kleidung .....	16
1.7. Geografie .....	16
1.8. Hautfarbe, Farbtafeln, Hautfarbenmessung .....	17
2. Hypothesen .....	21
2.1. Hypothese 1 .....	21
2.2. Hypothese 2 .....	21
2.3. Hypothese 3 .....	21
3. Material und Methode .....	22
3.1. Probanden .....	22
3.2. Körperstellen und Zeitpunkt der Hautfarbenmessungen .....	22
3.3. Tristimulus-Messungen der Haut und Derivate .....	24
3.4. Unsicherheiten von Tristimulus-Messungen und Ableitungen .....	26
3.5. Statistische Analysen .....	27
3.6. Farbtafel Messungen .....	27
4. Ergebnisse .....	28
4.1. $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ - Werte .....	28
4.2. Hautfarbe - Sättigung $C^*$ , Farbton $h^\circ$ und $L^*$ .....	31
4.3. Pigmentierung ( $ITA^\circ$ ) .....	32
4.4. Bräunungsgrad ( $TAN^\circ$ ) .....	33
4.5 Ergebnis Farbtafeln .....	34

5. Zusammenfassung und Diskussion.....	35
6. Abstract .....	37
7. Abbildungsverzeichnis .....	38
8. Poster .....	39
9. Literaturverzeichnis.....	40

## 1. Einleitung

Es ist allgemein bekannt, dass die Hautfarbe je nach Körperstelle und Jahreszeit variiert. Es liegen jedoch nur wenige quantitative Daten über die Topographie der Hautfarbe und Pigmentierung vor. Daher wurden bei 20 mitteleuropäischen kaukasischen Frauen im Alter von 20 bis 60 Jahren an 18 Körperstellen kolorimetrische Hautmessungen durchgeführt. Zur Beschreibung der Hautfarbe wurden die Tristimulus- $L^*a^*b^*$ -Werte, der Farbton und die Sättigungid herangezogen. Auf der Grundlage des "individuellen Typologiewinkels" wurde der "Bräunungsgrad" eingeführt, um den Unterschied zwischen konstitutiver und fakultativer Pigmentierung zu quantifizieren. Die Messungen wurden im Spätwinter und Frühsommer durchgeführt, um mögliche Veränderungen durch Sonneneinstrahlung abzuschätzen. Diese Messungen machten deutlich, dass sich die Hautfarbe im Spätwinter am ganzen Körper deutlich unterscheidet. Selbst an nah beieinander liegenden Körperstellen, konnte eine unterschiedlich Färbung erkannt werden. Ein verbleibender Bräunungsgrad wurde an ständig und zeitweise exponierten Körperstellen festgestellt. Die Restbräune war nicht an den ständig exponierten Stellen am stärksten ausgeprägt, sondern an den dazwischen liegenden Stellen wie der Schulter. Im Frühsommer war der Bräunungsgrad an den Händen, Armen und am Rist, gefolgt vom Gesicht, am stärksten ausgeprägt. Diese Studie zeigte, dass neben den grundlegenden Unterschieden der Färbung zwischen den Körperstellen im Winter auch die Anhäufung und der Abbau von Bräune zwischen den Körperstellen variiert.

### 1.1. Pigmentierung beim Säugetier/Mensch

#### 1.1.1. Hautfarbe

Die Hautfarbe ist eines der auffälligsten Merkmale in der sich Menschen unterscheiden und wurde häufig verwendet, um menschliche Rassen zu definieren. Die Variationen der Hautfarbe sind anpassungsfähig und haben einen Zusammenhang mit der Regulierung des Eindringens von ultravioletter (UV) Strahlung in die Haut. Anhand von Fernerkundungsdaten zur UV-Strahlung (UVR) wurden Hypothesen zur Verteilung der Hautfarbe indigener Völker in Abhängigkeit von der UV-Strahlung quantitativ getestet.

Die Hautfarbe korreliert stark mit dem absoluten Breitengrad und den UV-Strahlungswerten. Die bei indigenen Völkern beobachtete klinische Abstufung der Hautfärbung korreliert mit der

UVR und stellt eine Kompromisslösung für die physiologischen Anforderungen von Lichtschutz und Vitamin-D-Synthese dar.

Die Hautfärbung beim Menschen ist anpassungsfähig und labil. Die Pigmentierung der Haut hat sich in der menschlichen Evolution mehr als einmal verändert. (Jablonski, et al., 2000)

Für die menschliche Hautfarbe gibt es verschiedene Einteilungsschemata. Eine der gebräuchlichsten ist jene nach Thomas Fitzpatrick (Fitzpatrick 1988), die 6 Hauttypen bezüglich UV-Empfindlichkeit unterscheidet:

### Fitzpatrick-Klassifikation:

Die Hautfarbe wird normalerweise durch die Fototypenklassifikation (Fitzpatrick Skin Types (FST)) von Fitzpatrick definiert (siehe Abb. 1). Diese Einstufung basiert auf einem Selbstauskunftfragebogen, in dem Personen ihre Erythemempfindlichkeit bzw. Bräunungsfähigkeit 24 h und sieben Tage nach der ersten ungeschützten Sonnenexposition im Frühsommer bewerten. Es wurde ursprünglich entwickelt, um kaukasische Haut in vier Hautphototypen, I–IV, mit abnehmender Erythemempfindlichkeit und zunehmender Bräunungsfähigkeit zu kategorisieren. Hauttyp V wurde nachträglich für Personen mit brauner Haut, asiatischer und lateinamerikanischer Herkunft und Hauttyp VI für dunkle Haut afrikanischer Herkunft hinzugefügt. Die Hauttypen I–IV basieren somit auf der klinischen Reaktion auf UV, während die Einteilung in die Typen V–VI auf der konstitutiven Pigmentierung oder der ethnischen Herkunft basiert. (Del Bino, et al., 2018)

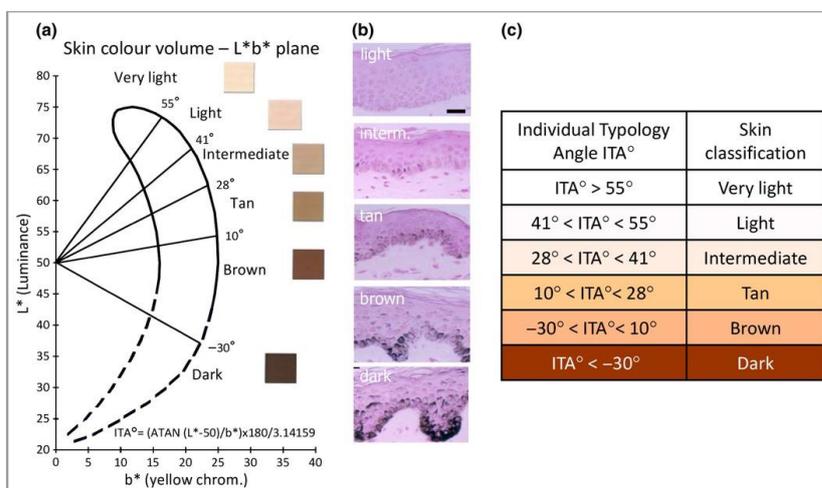


Abbildung 1: (a) Hautfarbvolumen auf der L\*b\*-Ebene (CIELAB 1976-System). Die vertikale Achse L\* ist die Helligkeit; die horizontale Achse b\* ist die Gelb-Blau-Komponente. (b) Die Fontana-Masson-Färbung von Melaninkörnern zeigt eine gute Korrelation zwischen der Klassifizierung der Hautfarbe und der Melaninmenge und -verteilung. (c) Der individuelle Typologiewinkel (ITA°) ermöglicht die Klassifizierung der Hautfarbe in sechs Gruppen, von sehr heller bis dunkler Haut. (Del Bino, et al., 2013)

Hauttyp I ist besonders empfindlich, hat sehr helle und extrem empfindliche Haut, helle Augen, rotblondes Haar und sehr häufig Sommersprossen. Hauttyp I bräunt nie und bekommt sehr schnell einen Sonnenbrand. Hauttyp II zeichnet sich durch helle, empfindliche Haut, blaue, graue, grüne oder braune Augen, blonde bis braune Haare und häufig durch Sommersprossen aus. Hauttyp II bräunt kaum bis mäßig und bekommt oft einen Sonnenbrand. Hauttyp III hat eine helle bis hellbraune Haut, graue oder braune Augen und dunkelblonde bis braune Haare. Sommersprossen sind selten. Hauttyp III bräunt schneller als Hauttyp II.

Hauttyp IV hat hellbraune, olivfarbene Haut, braune bis dunkelbraune Augen und dunkelbraunes Haar. Hauttyp IV bräunt schnell. Hauttyp V hat dunkelbraune Haut, dunkelbraune Augen und dunkelbraunes bis schwarzes Haar. Hauttyp VI hat dunkelbraune bis schwarze Haut, dunkelbraune Augen und schwarze Haare. (siehe Abb. 2) (Bundesamt für Strahlenschutz, 2023)

### Sonnenschutz: Welcher Hauttyp bin ich?

Merkmale verschiedener Hauttypen und deren Eigenschutzzeit in der Sonne (idealtypische Darstellung bei Erwachsenen)

Natürliche Hautfarbe	sehr hell, sehr häufig Sommersprossen	hell, häufig Sommersprossen	hell bis hellbraun	hellbraun, oliv	dunkelbraun	dunkelbraun bis schwarz
						
Natürliche Haarfarbe	rötlich bis rötlich-blond	blond bis braun	dunkelblond bis braun	dunkelbraun	dunkelbraun bis schwarz	schwarz
Reaktion der Haut mit Sonnenbrand (bei längerem Sonnenbad)	immer und schmerzhaft	fast immer, schmerzhaft	selten bis mäßig	selten	sehr selten	extrem selten
Bräunung nach Sonnenbädern	keine	kaum bis mäßig	fortschreitend	schnell und tief	keine	keine
Eigenschutzzeit in der Sonne	Weniger als 15 Minuten	Zwischen 15 und 25 Minuten	Zwischen 25 und 40 Minuten	Länger als 40 Minuten	Länger als 60 Minuten	Länger als 60 Minuten

Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz (2020), UV-Schutz-Verordnung, Anlage 1 (2011)  
© Stiftung Gesundheitswissen 2020



Abbildung 2: Einteilung Hauttypen nach Fitzpatrick (<https://www.stiftung-gesundheitswissen.de/gesund-leben/koerper-wissen/sonnenschutz-aber-richtig>)

#### 1.1.2. Pigmentierung – Melanin

Melanin ist das wichtigste Pigment der menschlichen Hautfarben, es wird in einer mehrstufigen Reaktion aus der Aminosäure Tyrosin synthetisiert. Melanin wird in Melanozyten, in auf die Melaninproduktion spezialisierten Zellorganellen, produziert. Melanin tritt in drei Arten auf: Das

DHI-Melanin und DHICA-Melanin, die zusammen das dunkelbraune bis schwarze Eumelanin bilden und das rötlich-gelbe Phäomelanin. Bei dunkelhäutigen und dunkelbehaarten Individuen sind Eumelanine vorherrschend, wobei Phäomelanine bei rothaarigen Menschen und Individuen mit Sommersprossen die vorherrschenden Melanine sind. Die menschliche Haut enthält alle drei Melaninarten und deren Verhältnis untereinander bestimmt die Pigmentierung. Die Verteilung, Anzahl, Größe und Aktivität der Melanozyten, als auch die Art und Menge der Pigmentproduktion und deren Abbau beeinflussen die Hautfarbe. UVR kann die Melanozytendichte um das 3-fache erhöhen. Die Hautpigmentierung wurde durch sexuelle Selektion beeinflusst, wobei die Haut von Frauen häufig heller als bei Männern ist. Durch die Vergleichsweise hellere Haut der Frauen, konnte im Laufe der Evolution mehr Kalzium und Vitamin-D angereichert werden, das zur Entwicklung gesunder Nachkommen von Vorteil ist. Ein weiterer farbbeeinflussender Faktor sind kutane Blutgefäße, sie bestimmen die Rötlichkeit der Haut, vor allem bei hellen Hauttypen.

Durch die unterschiedlichen Eigenschaften und Ansammlung an Melanozyten variiert die Hautpigmentierung an diversen Körperstellen. Die Hautfarbe im Bereich der Leistenhaut und an Hand- und Fußflächen ist heller, hingegen die Haut der Genitalregion ist am stärksten pigmentiert. (Saternus, et al., 2018)

### **1.1.3. Pigmentierung beim Tier**

Die Pigmentierung der Haut von Tieren hängt wie beim Menschen von Eumelanin und Phäomelanin ab. Jedoch spielt eher die Pigmentierung des Fells (Fellfarbe) eine große Rolle bei der Rassenvielfalt verschiedener Tierarten.

Hautpigmentierung und Fellpigmentierung sind aufgrund ihrer quantifizierbaren Interaktionen mit der Umwelt (z.B. Tarnung) oder der Signalübertragung mit anderen Organismen (z.B. Warnfärbung), Beispiele natürlicher Selektion. (Nigenda-Morales, et al., 2018)

Lebende Organismen weisen fantastische Variationen in der Färbung auf, ein Beweis für die scheinbar endlose Innovation der Evolution bei der Gestaltung des Lebens. Bei Tieren spielt die Färbung eine wesentliche Rolle für grundlegendste Lebensziele, wie Überleben und Fortpflanzung. Beispielsweise ermöglicht eine kryptische Färbung einigen Tieren, Raubtieren zu entkommen, indem sie mit dem Hintergrund verschmelzen. Für andere wird das Überleben durch eine helle und auffällige Färbung erleichtert, die potenzielle Raubtiere abschreckt. Einige

der auffälligsten Beispiele für leuchtende Farben bei Tieren stammen aus dem Zusammenspiel von Männchen und Weibchen bei der Suche nach Partnern, in ihrem Bestreben, sich nur mit den attraktivsten oder gesündesten Partnern zu reproduzieren. Die Entstehung vieler Arten hat daher die Entwicklung einer Vielzahl von Farbformen vorangetrieben. (San-Jose, et al., 2017)

Mutationen der Fellfarbe bei Labormäusen dienten als erstklassiges Modell zur Untersuchung der Genwirkung in verschiedenen biologischen Prozessen und führten zu einer Fülle von Informationen über Gene, die an der Pigmentierung beteiligt sind und deren Entwicklungsinteraktionen. Da die Melanin-basierte Pigmentierungsbiologie bei allen Wirbeltieren etabliert ist, lässt sich ein tiefes Verständnis der Genetik der Fellfarbe von Mäusen leicht und direkt in überprüfbare Hypothesen zur Untersuchung der molekularen Grundlagen der Pigmentierungsvariation in natürlichen Wirbeltierpopulationen umsetzen. Am wichtigsten ist, dass Farbqualität oder Farbmuster häufig dramatische Unterschiede sowohl innerhalb als auch zwischen den Arten aufweisen, die quantifiziert werden können und deutlich von der natürlichen Selektion beeinflusst werden. Insbesondere selektive Kräfte wie Tarnung, Warnfärbung, Thermoregulation und sexuelle Signale führen zu Variationen sowohl in der Pigmentierung als auch im Farbmuster. (Hoekstra, 2006)

## **1.2. Solare UV-Strahlung**

Die UVR deckt einen kleinen Teil des elektromagnetischen Spektrums der Sonne ab. Weitere Bereiche dieses Spektrums sind Infrarotstrahlung, sichtbares Licht, Röntgenstrahlen, Gammastrahlung, Radiowellen und Mikrowellen. Die Charakterisierung der jeweiligen Bereiche des Spektrums erfolgt durch ihre Wellenlänge in Nanometer.

Die UVR erstreckt sich über den Wellenlängenbereich von 400 bis 100 nm. Sie wird weiter in 3 Bereiche unterteilt: UV-A (315 - 400 nm), UV-B (280 - 315 nm) und UV-C (unterhalb von 280 nm). (Diffey, 2002)

### **Direkte und diffuse UV-Strahlung - Atmosphärische Streuung**

An der Erdoberfläche setzt sich die Sonnenstrahlung aus einer direkten und einer gestreuten (diffusen) Komponente zusammen. Die direkten Sonnenstrahlen gelangen direkt durch die Atmosphäre. Die diffuse UVR entsteht durch Streuung an Luftmolekülen und an Partikeln wie den Aerosolen.

### **Ozon**

Einige wichtige Faktoren beeinflussen die UVR, welche die Erdoberfläche erreicht.

Die UVR wird in der Atmosphäre absorbiert und gestreut. UV-C-Strahlung wird vollständig in der oberen Atmosphäre von Sauerstoff- und Ozonmolekülen absorbiert. Der größte Teil der UV-B Strahlung wird in der Stratosphäre durch Ozonmoleküle absorbiert und nur wenige Prozent erreichen die Oberfläche der Erde. Daher setzt sich die solare UVR an der Erdoberfläche aus einem großen Teil der UV-A-Strahlung und nur einem sehr geringen Teil der UV-B Strahlung zusammen. Die UV-B-Strahlung ist bekanntermaßen biologisch schädlich, während die UV-A-Strahlung weitaus weniger schädlich aber dafür bekannt ist, dass sie die menschliche Haut bräunen kann. Die UV-B-Intensität hängt von der Dicke der Ozonschicht ab.

### **Sonnenhöhe**

Die Sonnenhöhe ist der Winkel zwischen dem Horizont und der Position der Sonne. Bei hohen Sonnenständen ist die UVR intensiver, weil die Strahlen der Sonne einen kürzeren Weg durch die Atmosphäre haben und daher eine geringere Menge an Absorbern durchqueren.

### **Seehöhe**

Die UV-Bestrahlungsstärke nimmt mit der Höhe zu, weil die Menge der Absorber in der überlagernden Atmosphäre mit der Höhe abnimmt. Messungen zeigen, dass die UV-Bestrahlungsstärke um 6-8 % pro 1000 m Höhenzunahme zunimmt. (Vanicek, et al., 2000)

### **Wolken und Aerosole**

Die UV-Strahlungsintensität ist höher, wenn der Himmel wolkenlos ist. Wolken verringern im Allgemeinen die UV Bestrahlungsstärke, aber die Abschwächung durch Wolken hängt sowohl von der Dicke als auch von der Art der Wolken ab (optische Dichte der Wolken).

### **Albedo und Reflexion**

Ein Teil der UVR, die den Boden erreicht, wird von der Erdoberfläche absorbiert und ein Teil wird zurück in den Weltraum reflektiert. Die Menge der reflektierten Strahlung hängt von den Eigenschaften der Oberfläche ab. Die meisten natürlichen Oberflächen wie Gras, Boden und Wasser reflektieren weniger als etwa 10 % der einfallenden UVR. Frischer Schnee hingegen kann bis zu etwa 80 % der einfallenden UVR reflektieren. Sand kann etwa 25 % der UVR reflektieren und dadurch die UV-Belastung am Strand erhöhen. Etwa 95 % der UVR dringen in das Wasser ein und 50 % dringen bis zu einer Tiefe von etwa 3 m. (Vanicek, et al., 2000)

## UV-Strahlung in Ost-Österreich

In Wien erreicht der UV-Index im Sommer gerade einen Wert von 7,5 (siehe Abb. 3). Der UV-Index ist ein Maß für die auf den Sonnenbrand bezogene Bestrahlungsstärke (Vanicek, et al., 2000). Sehr sonnenempfindliche Personen (Typ I und II) sollten von März bis Ende September (UV-Index >3) Sonnenschutz tragen. Während eines Großteils des Jahres ist die solare UVR potentiell DNA-schädigend bzw. hat die Fähigkeit, Viren zu inaktivieren. In der Zeit von April bis Ende September dauert es weniger als 30 Minuten, um 99,9 % der Coronaviren zu inaktivieren (siehe Abb. 3). Für die Vitamin-D-Photosynthese kann selbst die Mittagssonne innerhalb einer Stunde von November bis Februar 400 IE nicht erreichen (siehe Abb. 3).

Von Mai bis August reicht die Intensität der Sonne zur Mittagszeit aus, um innerhalb einer Stunde anhaltende Pigmentierung zu initiieren (siehe Abb. 3).

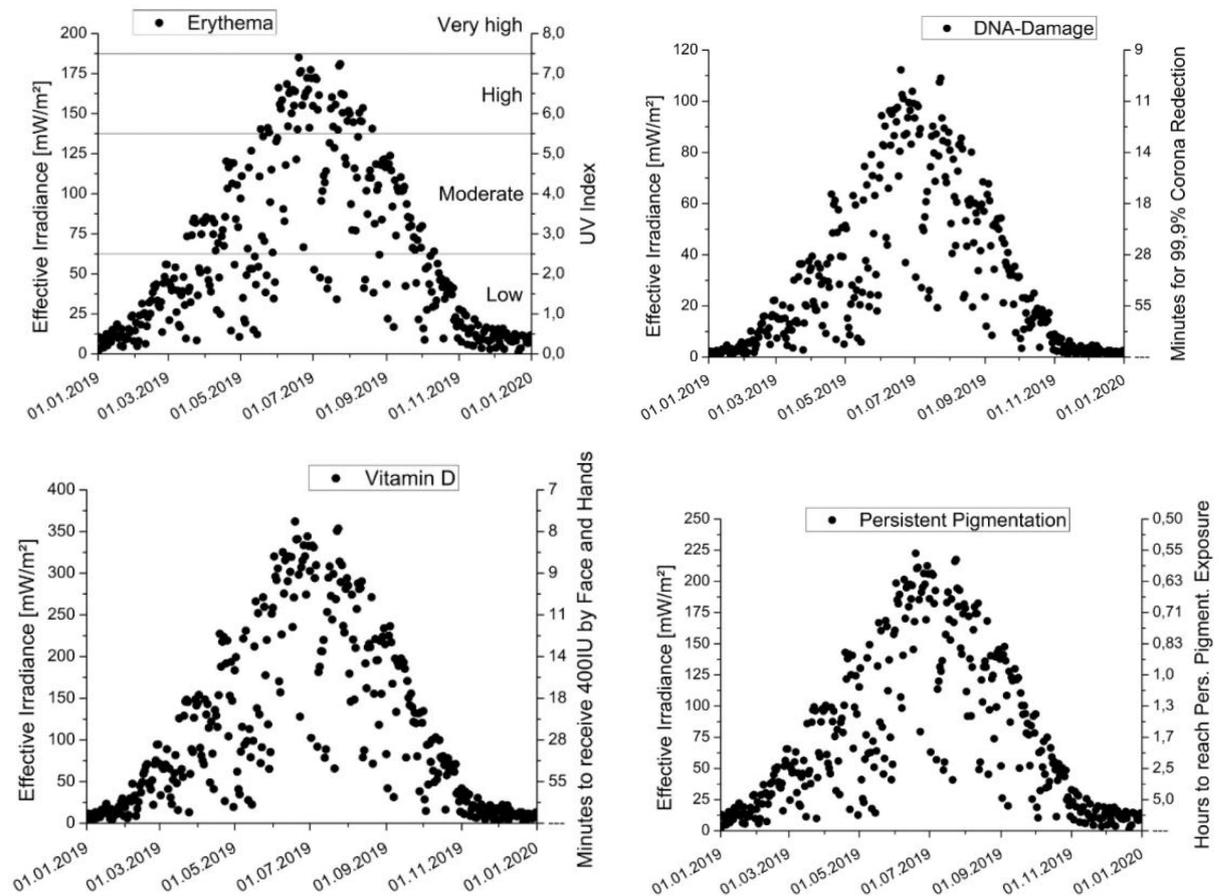


Abbildung 3: Biologisch effektive Bestrahlungsstärke (Effective irradiance) gemessen am Campus der VetMedUni (Station „Wien-Donaufeld“,  $48,3^\circ\text{N}$ ,  $16,4^\circ\text{E}$ , 160 m a.s.l.) a) erythemgewichtet b) DNA-damage-gewichtet, c) Vitamin D gewichtet und d) gewichtet für anhaltende Pigmentierung (persistent pigmentation) (Schmalwieser, et al., 2022)

### **1.3. Konstitutive Pigmentierung vs. fakultative Pigmentierung**

Die konstitutive Hautpigmentierung ist ein polygenes Merkmal. In den letzten Jahren hat die Anzahl der identifizierten Gene und allelischen Varianten, welche die Pigmentierung der menschlichen Haut beeinflussen, erheblich zugenommen. Ungefähr 15 Gene wurden mit Variationen der Hautpigmentierung beim Menschen in Verbindung gebracht. (Del Bino, et al., 2018) Die fakultative Hautpigmentierung ist das Ergebnis von UV-induzierter Bräunung. Fakultative Pigmentierung nimmt im Laufe des Lebens zu und könnte ein Indikator der kumulativen UV Exposition (UV-Dosis) einer Person im Laufe des Lebens sein. Der Unterschied zwischen fakultativer und konstitutiver Hautpigmentierung wird als Prozentsatz der konstitutiven Pigmentierung angegeben und scheint die lebenslange kumulative UV-Exposition wieder zu spiegeln. Sie wird als Sonnenexpositionsindex mit Angabe des anatomischen Ortes angegeben. Die konstitutive Pigmentierung ist in den ersten Lebensjahrzehnten wesentlich höher als bei Erwachsenen. Dies könnte auf die Evolution zurückzuführen sein, da die Pigmentierung der wichtigste Faktor für die UV-Empfindlichkeit von UV-unangepasster Haut darstellt und die Überlebenschancen in den ersten Lebensjahren, unbeaufsichtigt in der Sonne, erhöht. (Lock-Anderson, et al., 1998)

### **1.4. Pigmentierung und Photoalterung (Pigmentflecken)**

UVR-Exposition verursacht akute Folgen auf der Haut wie Erythem und Hautpigmentierung sowie chronische Folgen wie Hautkrebs, Lichtalterung und Pigmentstörungen. Diese Effekte hängen oft stark vom Hautfarbtyp ab.

Erythem oder Sonnenbrand ist eine Hautrötung, die durch eine erhöhte Durchblutung verursacht wird. Es ist der am weitesten verbreitete klinische Endpunkt in der Photobiologie, der als Indikator für die UVR-Empfindlichkeit verwendet, indem die minimale Erythemdosis als die niedrigste UVR-Dosis geschätzt wird, die eine gerade noch wahrnehmbare Hautrötung innerhalb 24 h hervorrufen kann. Über den durch akute Sonnenexposition induzierten Bräunungseffekt hinaus, können Pigmentstörungen durch mittel- oder langfristige Sonnenexposition ausgelöst oder verschlimmert werden. Ein Fokus liegt auf vier großen hyperpigmentierten Erkrankungen, die mit der Lichteinwirkung zusammenhängen:

Melasma, postinflammatorische Hyperpigmentierung, seborrhoische Keratose und solare Lentigo.

Melasma ist eine chronisch erworbene Hypermelanose, die durch hellbraune, dunkle oder graubraune Flecken und Flecken mit bilateraler Anordnung und unregelmäßigen Rändern in sonnenexponierten Bereichen, insbesondere im Gesicht, gekennzeichnet ist. Die am häufigsten betroffenen Stellen im Gesicht sind Wangen, Stirn und Oberlippe.

Postinflammatorische Hyperpigmentierung wird durch verschiedene entzündliche Prozesse induziert, die endogen oder exogen sein können.

Seborrhoische Keratose ist der häufigste gutartige Hauttumor bei Erwachsenen mittleren und höheren Alters und betrifft allein in den USA fast 83 Millionen Menschen. Die meisten Personen mit SKs haben multiple Läsionen. Sie erscheinen klinisch als erworbene, gut abgegrenzte, flache (makuläre) oder erhabene (verruköse) Flecken oder Plaques, die auf der Haut haften und in der Farbe von gelb bis schwarz variieren.

Solare Lentigo (auch Altersflecken, aktinische Lentigo oder senile Lentigo genannt) sind bräunlich, pigmentierte Flecken mit unregelmäßigen Rändern und einer Größe von wenigen Millimetern. Es wird häufig an lichtexponierten Stellen wie Hand, Gesicht und oberem Rücken gefunden. (Del Bino, et al., 2018)

### **1.5. Schutzfunktion der Pigmentierung gegen Hautschädigung**

Melanin spielt eine wichtige Rolle beim Schutz der menschlichen Haut vor den schädlichen Auswirkungen der UVR der Sonne und um giftige Medikamente und Chemikalien abzufangen. Melanin in der Epidermis hat eine wichtige evolutionäre und physiologische Bedeutung, insbesondere für unbedeckte Menschen. Dunkle Pigmentierung hat einen hohen Melaningehalt, der die Haut durch seine optische und chemische Filterung vor ultravioletten Strahlen und UV-induzierten Hautschäden schützen kann. Melanin kann UV-Licht absorbieren und freie Radikale abfangen, die im Zytoplasma entstehen, und schützt damit vor UVR. (Uyen, et al., 2008) Die Unterschiede in der Melaninpigmentierung der Haut spiegeln die biologische Anpassung an bestimmte Aspekte der Umwelt wider. Viele Hypothesen konzentrieren sich auf die Rolle der Melaninpigmentierung bei der Regulierung des Eindringens von Sonnenlicht und insbesondere der UVR in die Haut. Die stärker melanisierte Haut der indigenen tropischen Völker bietet angeblich einen größeren Schutz gegen die schädlichen Auswirkungen der UVR, wie Sonnenbrand, Hautkrebs und Photolyse von Nährstoffen. Die heller pigmentierte Haut von Völkern, die in Breitengraden nahe der Arktis wohnen, sind an die geringere UVR dieser Regionen angepasst, zur Aufrechterhaltung der UV-induzierten Biosynthese von Vitamin D3 in

der Haut. Andere anpassungstheoretische Hypothesen betonen die Rolle der Hautpigmentierung bei der Regulierung der Empfindlichkeit gegenüber Erfrierungen, bei der Krankheitsprävention, Thermoregulation, oder Kombinationen dieser Faktoren. (Jablonski, et al., 2000)

### **1.6. Exposition durch Kleidung**

Kleidung ist eine der Haupteinflussfaktoren für die persönliche Belastung durch UVR. Die UV-Umgebung und die persönlichen Gewohnheiten beeinflussen die persönliche UV-Exposition des Menschen. Der allgemeine Zweck von Kleidung besteht darin, thermischen Komfort und Schutz zu bieten. (z.B. Kälte, Regen). Jedoch auch andere Faktoren wie Mode, Kleiderordnung oder Glaube beeinflussen die Wahl der Kleidung, auch wenn es oft im Widerspruch zum thermischen Komfort steht. Kleidung wird im Sommer selten als Schutz gegen UVR verwendet, eher korreliert die Abdeckung mit der Temperatur. Daher wird bei hoher UVR meist wenig Kleidung getragen; daraus folgend nimmt auch die Zahl der Sonnenbrände zu. Es wurde festgestellt, dass die Lufttemperatur der dominierende Faktor für die Exposition ist. Mit zunehmender Temperatur ist neben Gesicht und Händen das Dekolleté der erste Bereich des Körpers, welcher der UVR der Sonne ausgesetzt ist, gefolgt von Nacken, Knöcheln, Spann und Unterarmen. (Schmalwieser, et al., 2019)

### **1.7. Geografie**

Verschiedene Evolutionstheorien befassen sich mit der Entwicklung der Hautfarbe. Die am besten etablierte Theorie ist die Anpassung an die jeweilige solare UVR eines bestimmten geografischen Gebietes über natürliche Selektionsmechanismen.

Demnach muss die Haut ausreichend pigmentiert sein, um einen wirksamen Schutz vor den schädlichen Einwirkungen der UVR zu gewährleisten. Andererseits muss aber auch genügend Strahlung die Hautzellen erreichen können, um wichtige biologische Wirkungen (z.B. Vitamin D-Synthese) auszuüben. Die Entwicklung der Hautfarben und die Regulation der Melaninsynthese sind wichtige Instrumente, um in Abhängigkeit von der Intensität der solaren UVR beide Anforderungen zu erfüllen. (Saternus, et al., 2018) Die allgemeinen geografischen Muster der Hautpigmentierung zeigen eine starke Korrelation mit dem Breitengrad und der Intensität der ultravioletten Strahlung (UVR). Die Hautpigmentierung ist in äquatorialen und tropischen Regionen (Afrika südlich der Sahara, Südasien, Australien und Melanesien), in denen die UVR-

Werte höher sind als in äquatorfernen Regionen, tendenziell dunkler. Die aktuelle Evolutionshypothese für Variationen der Hautpigmentierung ist die Vitamin-D/Folat-Hypothese, bei der ein Kompromiss zwischen den Anforderungen für den Lichtschutz einerseits und der Vitamin-D<sub>3</sub>-Synthese andererseits bestehen könnte. Dunkle Haut hätte unter hoher UVR einen biologischen Vorteil zum Schutz vor UV-induzierten Krankheiten (Del Bino, et al., 2018). Umgebungen mit geringer UVB-Strahlung führten zur Entwicklung depigmentierter Haut durch den Bedarf an UVB-Photonen zur Aufrechterhaltung der kutanen Photosynthese von Vitamin D<sub>3</sub>. Als die Homininen sich außerhalb der Tropen ausbreiteten, erlebten sie unterschiedliche Intensitäten und jahreszeitliche Mischungen von UV-A und UV-B.

Die Populationen mit maximal depigmentierter Haut sind jene, die in Umgebungen mit den niedrigsten jährlichen und sommerlichen UVB-Spitzenwerten leben. Die Entwicklung der fakultativen Pigmentierung (Bräunung) war wichtig für Populationen, die zwischen etwa 23° und 46° siedeln, wo die UVB-Werte je nach Jahreszeit stark schwanken. Depigmentierte und bräunungsfähige Haut hat sich in der Evolution der Homininen mehrfach über unabhängige genetische Wege unter positiver Selektion entwickelt. (Jablonski, et al., 2010)

Je nach Intensität der Pigmentierung der Haut kann eine Einteilung in vier verschiedene ethnische Gruppen erfolgen. Kaukasische Haut gehört zu den Gruppen hell, mittel und braun, die Hauttypen afrikanischer Herkunft, mittel bis dunkel, hispanische/brasilianische Hauttypen sind sehr heterogen, von hellen bis braunen Hautgruppen. Hauttypen in Nordostasien sind hell, mittel und braun, wohingegen südasiatische Hauttypen eine große Vielfalt im Grad der Pigmentierung aufweisen, die von hellen bis zu dunklen Hautgruppen reicht. (Del Bino, et al., 2013)

Da sich das Tempo der menschlichen Migrationen in den letzten Jahrhunderten beschleunigt hat, leben immer mehr Populationen unter UV-Bestrahlungsbedingungen, an die sie von Natur aus schlecht angepasst sind (z.B. die Engländer, die sich in Australien im neunzehnten und zwanzigsten Jahrhundert angesiedelt haben und die Inder und Pakistaner, die in den letzten Jahrzehnten nach Norden Englands siedelten). (Jablonski, et al., 2000)

### **1.8. Hautfarbe, Farbtafeln, Hautfarbenmessung**

Anstelle der menschlichen Wahrnehmung wurden viele verschiedene Systeme zur Bewertung der Hautfarbe entwickelt. Die Beurteilung und Wahrnehmung der Hautfarbe ist oft subjektiv. Eine objektive Quantifizierung der Hautfarbe kann mit kolorimetrischen Geräten wie Tristimu-

lus-Kolorimetern erreicht werden. Diese Geräte berechnen die Intensität des von der Haut reflektierten Lichts und korrelieren mit Pigmentierung und Erythem. Hautfarbe und Farbveränderungen können mit Farborganisationssystemen wie dem CIELAB-Farbraum quantifiziert werden, der von der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) standardisiert ist. Der CIELAB drückt die Helligkeit, die Rot-/Grün-Intensität und die Gelb-/Blau-Intensität der Farbe als  $L^*$ -,  $a^*$ - bzw.  $b^*$ -Werte aus. Darüber hinaus können mit Spektrophotometern die gesamten spektralen Eigenschaften der Hautfarbe und die Hautphysiologie gemessen werden.

Das CIELAB- oder CIE  $L^* a^* b^*$ -System ist ein dreidimensionaler Farbraum, der aus drei Achsen besteht (siehe Abb. 4). Die  $L^*$ -Achse ist eine Grauskala mit Werten von 0 (schwarz) bis 100 (weiß). Der  $L^*$ -Wert korreliert mit dem Pigmentierungsgrad einer Person. Das  $a^*$  ist die Rot/Grün-Achse; positives und negatives  $a^*$  beschreiben Rot- bzw. Grünwerte, die mit Erythem korrelieren. Das  $b^*$  ist die Gelb/Blau-Achse; positives und negatives  $b^*$  beschreiben Gelb- bzw. Blauwerte und korrelieren mit Pigmentierung und Bräunung. Die CIELAB-Einheiten erhielten das Sternchen (\*), um das CIELAB-System von den Einheiten anderer Farbsysteme zu unterscheiden. Sättigung ( $C^*$ ) oder die Sättigung der Farbe und Farbton ( $h^\circ$ ) können aus den  $a^*$ - und  $b^*$ -Werten extrahiert werden.

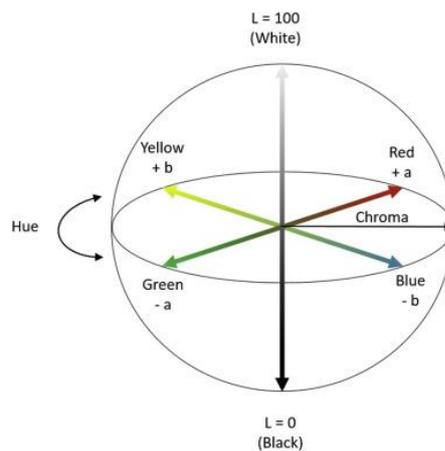


Abbildung 4: CIELAB Farbraumdiagramm  
(Ly, et al., 2020)

Der ITA°, ist eine objektive Klassifizierung der Hautfarbe in der dermatologischen und kosmetischen Forschung. Mithilfe von ITA° kann die Hautfarbe in folgende Kategorien eingeteilt werden. (Abb. 5) (Ly, et al., 2020)

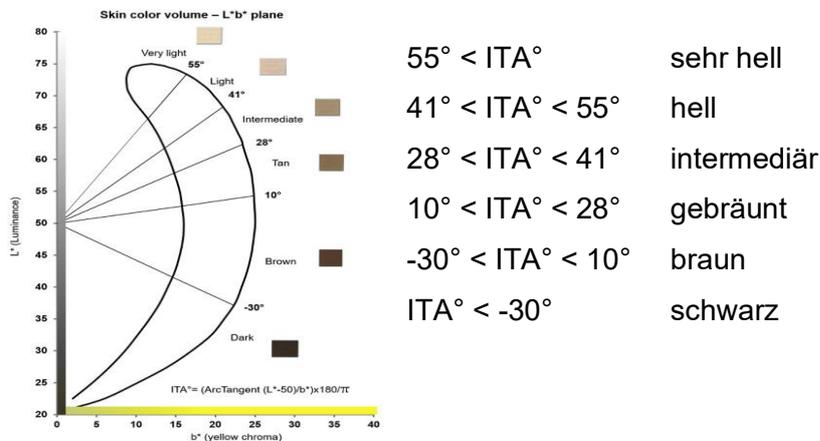


Abbildung 5: Hautfarbvolumen, Einteilung in sechs Gruppen: very light, light, intermediate, tan, brown, black (Ly, et al., 2020)

Um Hautfarbe zu definieren wurde 1975 durch Fitzpatrick eine Fototypklassifikation erstellt (siehe Abb. 2). Diese Klassifizierung basiert auf einem Fragebogen zur Selbstauskunft, in dem Personen ihre Erythemempfindlichkeit bzw. Bräunungsfähigkeit 24 Stunden bzw. sieben Tage nach der ersten ungeschützten Sonneneinstrahlung im Frühsommer bewerten. Es wurde ursprünglich entwickelt, um kaukasische Haut in vier Hautfototypen I–IV zu kategorisieren, mit abnehmender Erythemempfindlichkeit und zunehmender Bräunungsfähigkeit. Anschließend wurde Hauttyp V für Personen mit brauner Haut, asiatischer und lateinamerikanischer Herkunft und Hauttyp VI für dunkle Haut, afrikanischer Herkunft, hinzugefügt (Del Bino, et al., 2018)

Vor der Einführung der Reflexionsspektrophotometrie in die anthropologische Feldforschung in den 1950er Jahren wurde die menschliche Hautfarbe am häufigsten durch visuelle Hautfarbenanpassung mithilfe der von Luschan-Kacheln klassifiziert, einem Satz aus 36 standardisierten, undurchsichtigen Glaskacheln, die in einer chromatischen Skala angeordnet waren. (Swiatoniowski, et al., 2013) Die Von-Luschan-Chromatische Skala (siehe Abb. 6) ist ein praktisches Instrument zur Messung der Hautfarbe, deren Wert nachweislich stark mit dem Wert korreliert, der mit der Goldstandardmethode, der Reflexionsspektrophotometrie, gemessen wird. (Johnston, 2021)

	1	10			19	28	
	2	11			20	29	
	3	12			21	30	
	4	13			22	31	
	5	14			23	32	
	6	15			24	33	
	7	16			25	34	
	8	17			26	35	
	9	18			27	36	

Abbildung 6: Farbskala nach Von Luschan (Swiatoniowski, et al., 2013)

Altersbedingte Variationen der Hautfarbe sind von großer Bedeutung und führen zu einer steigenden Nachfrage nach kosmetischen Produkten zur Verbesserung des Erscheinungsbildes. Die Beurteilung der Wirksamkeit von Hautpflegeprodukten durch Ärzte oder Kosmetiker ist besonders schwierig und erfordert die Hilfe von Farbkarten. Um diese Art der Bewertung zu standardisieren, wurde von L`Oreal eine neue Hautfarbkarte entwickelt (Abb. 7). Im Gegensatz zu anderen Farbkarten stellt diese neue die echte Hautfarbe ohne Metamerie dar und deckt nahezu alle weltweit vorkommenden Hautfarben ab. Dieses Instrument wurde sowohl für asiatische als auch kaukasische Hautfarben und Sonnenflecken validiert. (de Rigal, et al., 2007)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
											A
											B
											C
											D
											E
											F

Abbildung 7: L'Oréal skin colour chart  
(<https://www.loreal.com/en/articles/science-and-technology/expert-inskin/>)

## **2. Hypothesen**

### **2.1. Hypothese 1**

Die Pigmentierung ist nicht homogen über den Körper verteilt.

### **2.2. Hypothese 2**

Die fakultative Pigmentierung verändert sich mit dem Alter, die konstitutive Pigmentierung nicht.

### **2.3. Hypothese 3**

Die Verwendung von Farbtafeln kann Messungen ersetzen.

### **3. Material und Methode**

#### **3.1. Probanden**

Die Probanden waren österreichische Frauen, die in einer suburbanen Region in der Nähe von Wien lebten (48°N, 16°E, ca. 200 m ü.d.M.).

Ausschlusskriterien waren:

sichtbare Unregelmäßigkeiten der Haut, an den Stellen an denen die Farbmessungen vorgenommen wurden, Schuppenflechte, aktueller oder früherer Hautkrebs, Lichtempfindlichkeitsstörungen der Haut oder Einnahme von Medikamenten, welche die Lichtempfindlichkeit erhöhen, Verwendung von Solarien oder Sonnenurlaube 5 Monate vor Februar sowie Nudisten.

Die Studienpopulation umfasste 20 Teilnehmerinnen im Alter von 20 bis 60 Jahren (Durchschnittsalter 39,7 Jahre). Keine war beruflich regelmäßig der Sonnenstrahlung oder anderen UV-Strahlungsquellen ausgesetzt. Die Freiwilligen lagen zwischen den Fitzpatrick-Hautphototypen (Fitzpatrick, 1988) (FST) I und III, davon waren 15 % Typ I, 70 % Typ II und 15 % Typ III. In Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki wurden die Teilnehmer informiert und haben ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme gegeben. Es wurden keine persönlichen Daten erfasst.

#### **3.2. Körperstellen und Zeitpunkt der Hautfarbenmessungen**

Die Messungen wurden an 18 verschiedenen Körperstellen durchgeführt, die in Abb. 8 dargestellt sind. Für die Grundmessungen wurde die mediale Seite des inneren Oberarms in der Nähe der Achselhöhle ausgewählt und weiter als innerer Oberarm bezeichnet. Zu jedem Messzeitpunkt wurden an jedem Körperteil drei Messungen durchgeführt. Das Gerät wurde zwischen den Messungen angehoben. Die Besuche bei den Probanden fanden im Mai und Juni sowie im Februar statt. Der Februar markiert das Ende des Winters in Österreich. Zwischen November und Ende Februar ist die Sonnenumgebung durch niedrige Sonnenhöhe (<35°) und hohe Bewölkung bestimmt, bzw. einer relativen Sonnenscheindauer von 25 %. An wolkenlosen Tagen liegt die erythematisch wirksame Bestrahlungsstärke in diesem Zeitraum (Schmalwieser, et al., 2002) unter 1,5 UV-Index, (Vanicek, et al., 2000) (World Health Organisation (WHO), 2002) bzw. liegt die tägliche Strahlungsexposition unter 7 SED (l'Eclairage, 1997)) (Schmalwieser, et al., 2002). Die maximale Lufttemperatur während des Tages liegt typischerweise unter 10°C - mit einem Dutzend Tagen mit Minusgraden und etwa

50 Frosttagen - und lässt das Tragen kurzärmeliger Kleidung nicht zu. Im Mai und Juni kann der UV-Index Werte zwischen 5,5 (Mai) und 7 (Juni) erreichen, und die Sonnenscheindauer beträgt etwa 50 % (Schmalwieser, et al., 2002). Die Lufttemperatur erreicht normalerweise 15°C bis 25°C und ermöglicht das Tragen von kurzärmeliger Kleidung.

### Messpositionen

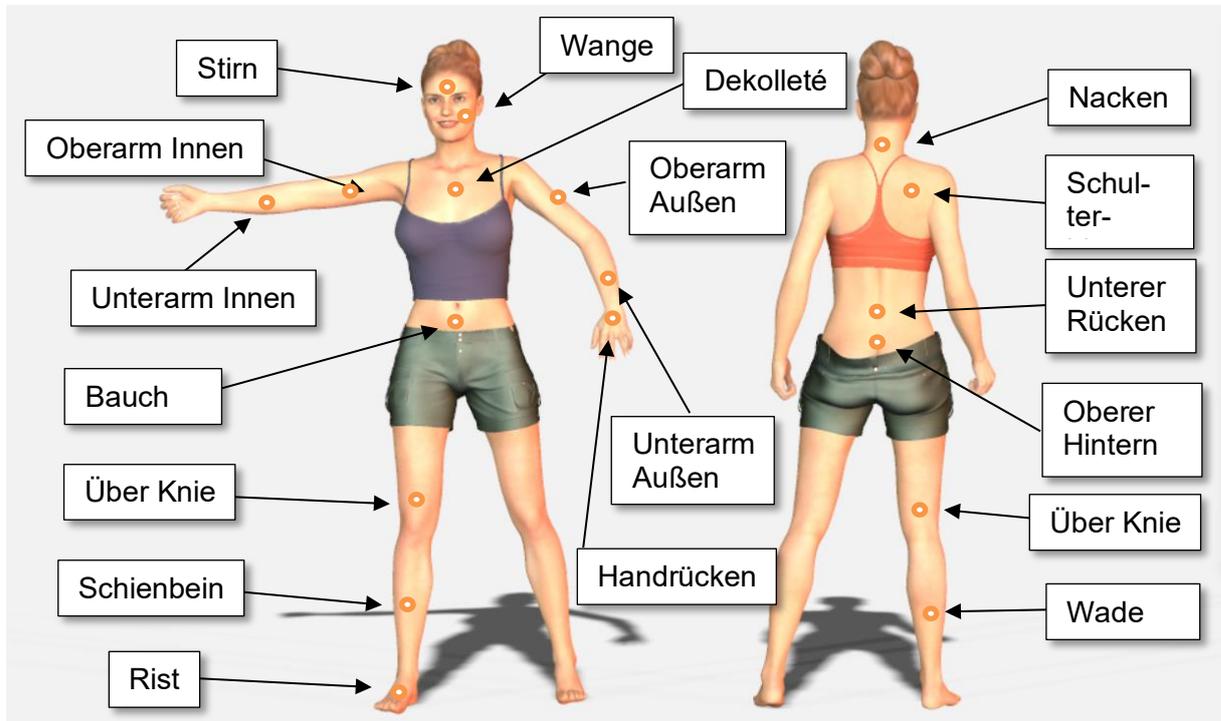


Abbildung 8: Positionen für Hautfarbmessungen

Tabelle 1: Position für Messungen Deutsch und Englisch

Position	Englisch	Deutsch	Position	Englisch	Deutsch
1	forehead	Stirn	10	post. thigh a. k.	über Knie hinten
2	cheek	Wange	11	shoen	Schienbein
3	dekollete	Dekolleté	12	calf	Wade
4	nape	Nacken	13	instep	Rist
5	shoulder blade	Schulterblatt	14	inner upper arm	Innerer Oberarm
6	lower back	Unterer Rücken	15	outer upper arm	Äußerer Oberarm
7	upper buttock	Oberer Hintern/Gesäß	16	inner forearm	Innerer Unterarm
8	belly be. nav.	Bauch	17	outer forearm	äußerer Unterarm
9	ant. thigh a.k.	über Knie vorne	18	dorsum of hand	Handrücken

### 3.3. Tristimulus-Messungen der Haut und Derivate

Hautfarbenmessungen wurden mit einem tragbaren Chromameter (CR-300, Minolta, Osaka, Japan) durchgeführt. Dieses Gerät wird häufig für Hautfarbenmessungen verwendet und seine Eigenschaften sind gut bekannt (Fullerton, et al., 1996) (Clarys, et al., 2000). Die Genauigkeit des Geräts erfordert eine regelmäßige Kalibrierung gegen seinen Weißstandard und die Messungen müssen nach den Richtlinien von Fullerton et al. (Fullerton, et al., 1996) durchgeführt werden. Die Hautfarbe wird durch eine Tristimulus-Analyse eines reflektierten Xenon-Blitzlichts mit einer D65-Beleuchtung ermittelt und als  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  Tristimulus-Werte (ISO/CIE, 2019) nach dem CIE-Farbsystem (CIE, 1986) (ISO/CIE, 2019) ausgedrückt. Dies ist ein 3-dimensionaler Farbraum (siehe Abbildung 4) mit einer Rot-Grün-Achse  $a^*$  ( $a^*>0$  ist rot), einer Gelb-Blau-Achse  $b^*$  ( $b^*>0$  ist gelb) und einer Helligkeits-Achse  $L^*$ , die von Schwarz ( $L^*=0$ ) bis Weiß ( $L^*=100$ ) reicht. Bei Hautfarben Messungen sind die Werte von  $a^*$  und  $b^*$  positiv. Das Lab-System hat eine enge lineare Beziehung zur Wahrnehmung durch das menschliche Auge. Der Unterschied zwischen zwei Farbreizen  $\Delta E^*$  ist der Abstand zwischen zwei  $L^*a^*b^*$ -Messungen innerhalb des Farbraums:

$$\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$$

$\Delta L^*$  ist der Unterschied von zwei Messungen in  $L^*$ ,  $\Delta a^*$  in  $a^*$  and  $\Delta b^*$  in  $b^*$ .

Dieses Maß  $\Delta E^*$  kann verwendet werden, um den Farbunterschied zwischen zwei Körperstellen oder zwischen zwei Zeitpunkten zu quantifizieren, sowie die Messgenauigkeit in Bezug auf die Übereinstimmung wiederholter Messungen. Im letzteren Fall, sollte  $\Delta E^* \leq 1.0$  sein, da dieser Unterschied visuell erkannt werden kann. Nach Morkrzycki und Tatol (Morkrzycki, et al., 2011):  $0 < \Delta E < 1$ : BeobachterIn bemerkt den Unterschied nicht,  $1 < \Delta E < 2$ : nur erfahrener Beobachter kann den Unterschied bemerken,  $2 < \Delta E < 3,5$ : auch unerfahrener Beobachter bemerkt den Unterschied,  $3,5 < \Delta E < 5$ : deutlicher Farbunterschied wird bemerkt,  $5 < \Delta E$ : der Beobachter bemerkt zwei verschiedene Farben.

Aus  $a^*$  und  $b^*$  lässt sich  $h^\circ$  berechnen, der ein psychometrisches Korrelat des visuellen Attributs des Farbtons ist:

$$h^\circ = \arctan(b^*/a^*) * 180/\pi$$

Eine Vergrößerung von  $a^*$  (z.B. durch Erythem) senkt  $h^\circ$ , während eine Vergrößerung von  $b^*$  diesen Winkel vergrößert (siehe Abb. 9). Umgekehrt entspricht  $h^\circ=0$  der Farbe Rot und  $h^\circ=90^\circ$  der Farbe Gelb. In diesem Farbraum induzieren die Farben Rot und Gelb, die Farbe Braun.

Das visuell wahrgenommene Farbattribut der Sättigung  $C^*$  kann wie folgt berechnet werden:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$C^*$  entspricht dem Abstand von  $a^*$  und  $b^*$  in der  $a^*-b^*$ -Ebene von der  $L^*$ -Achse (siehe Abb. 9) und der Winkel zwischen  $C^*$  und der  $a^*$ -Achse wird durch  $h^\circ$  beschrieben (siehe oben). Je heller bzw. je stärker gesättigter eine Farbe ist, desto höher ist ihr  $C^*$  und umgekehrt steht ein niedrigeres  $C^*$  für eine stumpfe Farbe. In Bezug auf Hautfarbe und Pigmentierung haben Chardon et al. (Chardon, et al., 1991) eine Vektordarstellung, der durch UVR hervorgerufenen Bräunung und Rötung (z. B. Erythem) entwickelt.

Die Pigmentierung kann in der Ebene  $L^*-b^*$  durch den so genannten  $ITA^\circ$  beschrieben werden:

$$ITA^\circ = (\arctan((L^* - 50) / b^*)) * 180 / \pi$$

Bei der konstitutiven Pigmentierung bezeichnet ein  $ITA^\circ_{con} > 55^\circ$  sehr helle Haut,  $55^\circ \geq ITA^\circ_{con} > 41^\circ$  helle Haut,  $41^\circ \geq ITA^\circ_{con} > 28^\circ$  mittel,  $28^\circ \geq ITA^\circ_{con} > 10^\circ$  hellbraun oder matt und  $ITA^\circ_{con} \geq 10^\circ$  braun (Chardon, et al., 1991). Eine Abnahme von  $L^*$  (Verdunkelung) oder eine Zunahme von  $b^*$  (Vergilbung) führen beide zu einer Abnahme des  $ITA^\circ$ , was eine Abnahme des  $ITA^\circ$  mit zunehmender Pigmentierung bedeutet.

Die Hautfarbe verschiedener Ethnien nimmt unterschiedliche, aber sich überschneidende Bereiche, in der  $L^*-b^*$ -Ebene ein (Del Bino, et al., 2013) (Wright, et al., 2015).  $ITA^\circ$  korreliert mit der UV-Strahlenbelastung, die für die Induktion von Sonnenbrandzellen und DNA-Schäden notwendig ist (Del Bino, et al., 2006). Er korreliert auch mit dem Melaningehalt in der Epidermis und mit dem Melaningehalt in der Basalschicht (Del Bino, et al., 2015), sowie mit dem Melaninindex (Linde, et al., 2020). Die Korrelation mit der individuellen minimalen Erythemdosis konnte ebenfalls gezeigt werden (Cole, 2020). Die Verstärkung der Pigmentierung durch die Exposition mit solarer UVR oder Unterschiede zur konstitutiven Pigmentierung kann durch den Unterschied zwischen  $ITA^\circ_{con}$  einer nicht exponierten Stelle (konstitutive Pigmentierung) und  $ITA^\circ_{fac}$  der exponierten Stelle (fakultative Pigmentierung) beschrieben werden. Da Bräunung die Zunahme der Pigmentierung der Haut ist, insbesondere durch Sonneneinstrahlung, kann dieser Unterschied als Bräunungsgrad  $TAN^\circ$  bezeichnet werden:

$$TAN^\circ = ITA^\circ_{con} - ITA^\circ_{fac}$$

$TAN^\circ$  wurde für jede Körperstelle separat berechnet, wobei  $ITA^\circ_{con}$  aus Messungen an der Innenseite des Oberarms (zum gleichen Zeitpunkt durchgeführt) herangezogen wurde.

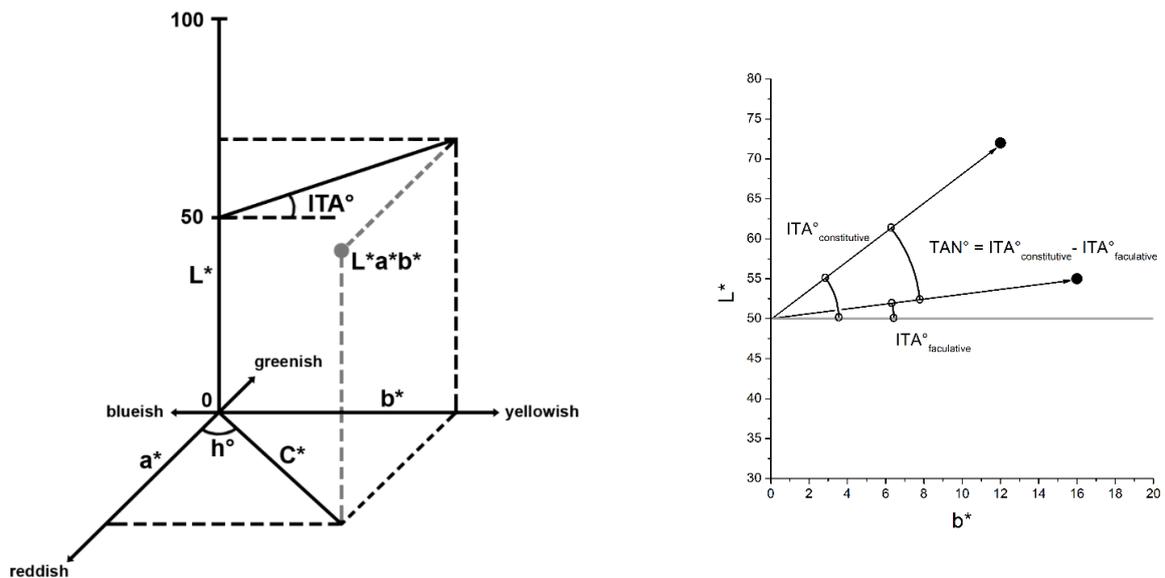


Abbildung 9: Schematische Darstellung des  $L^*a^*b^*$ -Farbraums und der abgeleiteten Größen:  $ITA^\circ$ , das visuelle Attribut des Farbtons (Farbtonwinkel,  $h^\circ$ ) und das wahrgenommene Farbattribut der Sättigung ( $C^*$ )

### 3.4. Unsicherheiten von Tristimulus-Messungen und Ableitungen

Der Chromameter wurde regelmäßig gegen seinen Weißstandard kalibriert, erwies sich aber als sehr robust und die Korrekturen waren gering.

Das Minolta CR300 zeigt Messungen von  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  mit zwei Dezimalstellen an, was zu 3 oder 4 Zahlen bei Hautfarbenmessungen führt. Die Wiederholung von Messungen ohne Verschiebung des Gerätes, liefert Werte, die mit der ersten Dezimalstelle übereinstimmen.

Ein Farbunterschied  $\Delta E$  von  $\pm 1,0$  kann von einem geschulten Beobachter visuell erkannt werden (Mokrzycki, et al., 2011). Das entspricht einem Unterschied von  $\pm 1$ , wenn nur ein Parameter abweicht, von  $\pm 0,7$ , wenn zwei abweichen und  $\pm 0,6$ , wenn alle drei abweichen. Ein Unterschied von  $b^* = \pm 1$  führt zu einem Unterschied in  $ITA^\circ$  von etwa  $\pm 2,2$  und ein Unterschied von  $L^* = \pm 1$  führt zu einem Unterschied in  $ITA^\circ$  von etwa  $\pm 1,5$  (in der inneren Oberarmhaut von etwa  $L^* = 68$ ,  $b^* = 18$ ). Die Genauigkeit (Standardabweichung) von  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  bei wiederholten Messungen (unterbrochen durch Heben und Auflegen) im Feld betrug  $\pm 0,31$  in  $L^*$ ,  $\pm 0,31$  in  $a^*$  und  $\pm 0,23$  in  $b^*$ , was zu Unsicherheiten in  $\Delta E$  von  $\pm 0,49$ , in  $h^\circ$  von  $\pm 1,2$ , in  $C^*$  von  $\pm 0,37$  und in  $ITA^\circ$  von  $\pm 1,1^\circ$  (innere Oberarmhaut) führte.

### **3.5. Statistische Analysen**

Die Korrelationsanalyse und die lineare Trendanalyse wurden mit der Datenanalyse- und Grafiksoftware OriginPro 8.5 (OriginLab Corporation, Northhampton, MA, USA) durch Varianzanalyse (ANOVA-Test) ausgewertet.

### **3.6. Farbtafel Messungen**

Es wurde die Farbtafel von L'Oreal zur Bestimmung der Hautfarbe verwendet. Die Hautfarbe wurde an 18 verschiedenen Körperstellen mit der Farbkarte verglichen, die in Abb. 8 dargestellt sind. Die Messungen wurden lediglich im Winter durchgeführt. Es wurde ein Vergleich mit den Tristimulus Messungen angestrebt.

## 4. Ergebnisse

Eine Korrelationsanalyse wurde für den ITA° des inneren Oberarms und den FST durchgeführt und lieferte eine statistisch signifikante Korrelation ( $p < 0,05$ ).

### 4.1. L\*, a\*, b\* - Werte

Die im Februar durchgeführten Messungen zeigen deutliche Unterschiede in Hautfarbe und Pigmentierung nach Körperstellen. Die Mittelwerte von L\*, a\* und b\* für jede Körperstelle sind in Abb. 10 dargestellt. In Übereinstimmung mit  $\Delta E = 1$ , können Unterschiede in den Tri-Stimuli L\*, a\* und b\* von 1 visuell erkannt werden. Es ist zu erkennen (Abb. 10a), dass der innere Oberarm (14) im Durchschnitt am hellsten ist, gefolgt vom inneren Unterarm (16) und dem oberen Gesäß (7). Die nächsten 10 Körperstellen unterscheiden sich nur um weniger als einen Wert von 1,4. Oberschenkelvorderseite (9), Nacken (4) und Schulterblatt (5) sind eindeutig am dunkelsten.

Die höchste Rötung (Abb. 10b) ist - im Durchschnitt - an Stirn (1), Wange (2) und Schulterblatt (5) zu finden. Andererseits zeigt der äußere Unterarm (17), der innere Unterarm (16) und der innere Oberarm (14) die geringste Rötung. Die höchsten mittleren b\*-Werte (Abb. 10c) findet man am Nacken (4), Schulter (5), am äußeren Unterarm (17) und dem unteren Rücken (6). Diese unterscheiden sich deutlich von allen anderen und zeichnen sich durch eine höhere Gelbfärbung aus. Im Durchschnitt ist b\* am inneren Oberarm (14) und am inneren Unterarm (15) am niedrigsten.

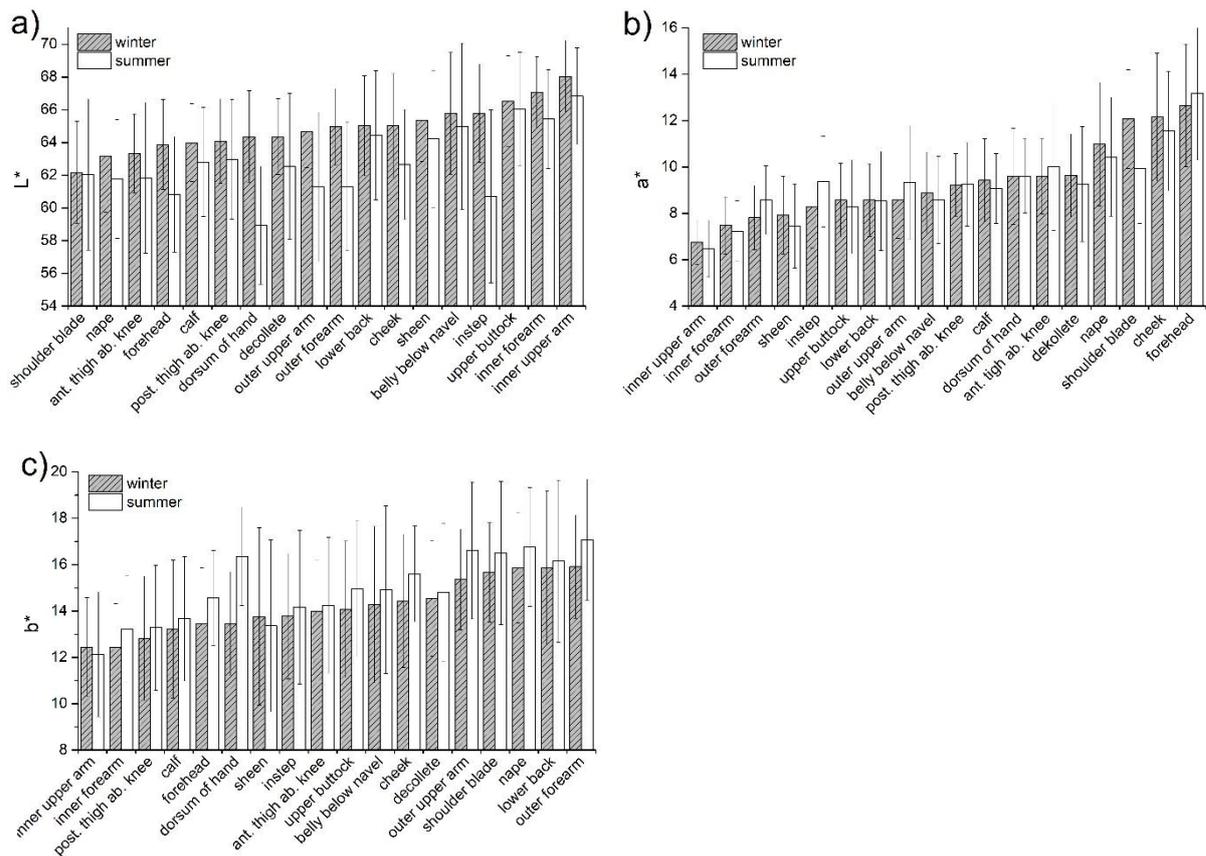


Abbildung 10: Reihung der Körperteile nach durchschnittlichen  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  im Spätwinter (Februar) (schraffierte Spalten) von kaukasischen Frauen im Vergleich zu den Mittelwerten im Frühsommer (Ende Mai und Juni) (leere Säulen). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichungen von den Mittelwerten an.

Aus Abb. 11 ist ersichtlich, dass eine negative und signifikante Korrelation ( $c = -0,73$ ,  $p < 0,001$ ) zwischen  $L^*$  und  $a^*$  besteht. Im Gegensatz dazu gibt es keine signifikante Korrelation zwischen  $L^*$  und  $b^*$  ( $c = -0,34$ ,  $p > 0,1$ ) und auch keine Korrelation zwischen  $a^*$  und  $b^*$  ( $c = 0,21$ ,  $p > 0,39$ ).

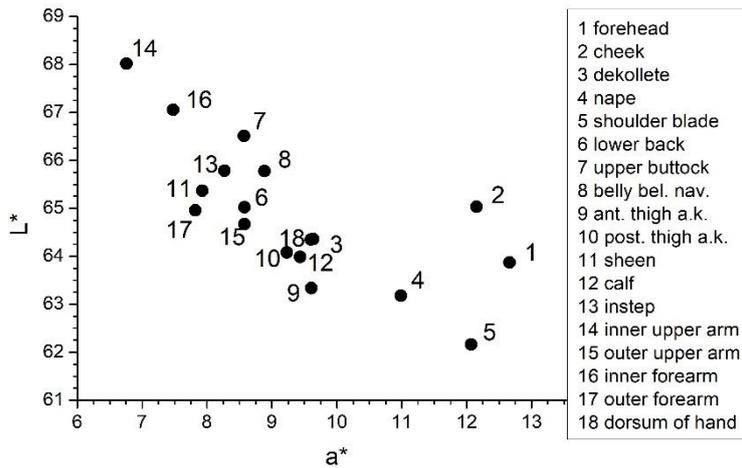


Abbildung 11: Mittelwerte von  $L^*$  und  $a^*$  für 18 Körperstellen bei kaukasischen Frauen im Spätwinter.

Im Mai und Juni unterscheiden sich die Mittelwerte von  $L^*$  und  $b^*$  der Körperstellen bereits von den Winterwerten (Abb. 10a, 10c) durch eine Verschiebung in der  $L^*$ - $b^*$ -Ebene von höherem  $L^*$  und niedrigerem  $b^*$  zu niedrigerem  $L^*$  und höherem  $b^*$  (siehe Abb. 12). Handrücken (18), Rist (13), äußerer Unterarm (17) und äußerer Oberarm (15) zeigen die größten Verschiebungen. Die Stellen am Bein veränderten sich nur minimal. Im Durchschnitt betrug die Verschiebung aller Körperteile  $-2,0$  in  $L^*$  und  $+0,7$  in  $b^*$ . Die Veränderungen bei  $a^*$  sind gering und unterscheiden sich nicht signifikant vom Winter ( $\Delta a^* < \pm 1$ ) ( $p > 0,5$ ).

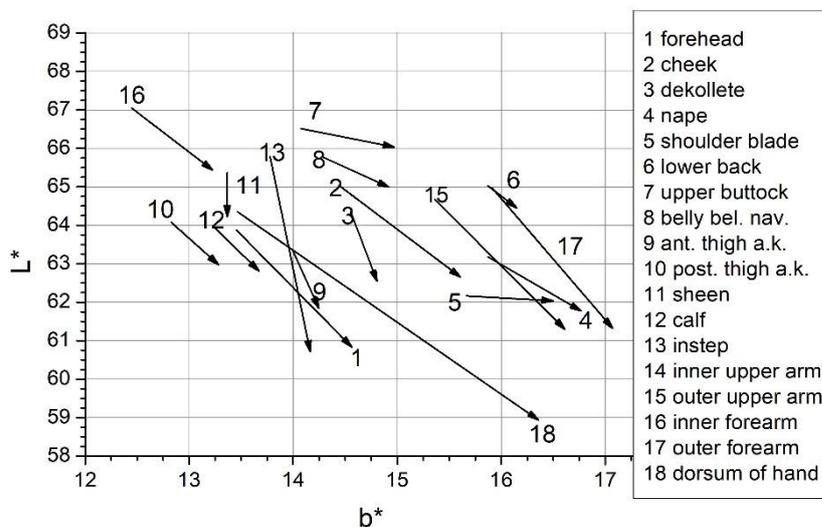


Abbildung 12: Verschiebung in der  $L^*$ - $b^*$ -Ebene der Körperstellen bei kaukasischen Frauen auf der  $L^*$ - $b^*$ -Ebene zwischen Winter (Februar) und Früh-sommer (Mai/Juni).

#### 4.2. Hautfarbe - Sättigung $C^*$ , Farbton $h^\circ$ und $L^*$

Die Mittelwerte von Farbton  $h^\circ$  und Sättigung  $C^*$  im Spätwinter sind in Abb. 13 dargestellt. Die Balken geben die Abstände in Sättigung und Farbton an, die für das menschliche Auge notwendig sind, um zwei Farben (als gefüllte Kreise dargestellt) als unterschiedlich (bei gleicher Helligkeit  $L^*$ ) zu erkennen. Dieser Abstand beträgt ungefähr 1,7 für  $h^\circ$  und 0,8 für  $C^*$ . Es ist zu erkennen, dass Stirn (1), Wange (2), Schulterblatt (5) und Nacken (4) weit von den anderen entfernt sind, da sie eindeutig eine höhere Sättigung aufweisen. Das weist auf eine hellere bzw. gesättigtere Farbe hin. Am anderen Ende der Skala befinden sich der innere Unterarm (16) und der innere Oberarm (14). Sie sind beide im Durchschnitt am hellsten ( $L^*=67$  und  $68$ ). Der untere Rücken (6) und der äußere Oberarm (15) sowie der äußere Unterarm (17) zeichnen sich durch eine hohe Sättigung und einen hohen Farbton aus. Ihr  $L^*$ -Wert ist fast gleich. Die anderen Körperteile liegen recht nahe beieinander. Obwohl sie eine Gruppe bilden, kann die Farbe bestimmter Stellen wie Wade (12) und Rist (13) unterschieden werden.

Im späten Frühjahr folgen die Farbveränderungen den Veränderungen von  $L^*$  und  $b^*$  (siehe Abb. 12), sind aber nicht sehr ausgeprägt. Am deutlichsten ist die Veränderung am Handrücken (18), am Rist (13) und an den Außenarmen (15, 17). Die meisten Körperteile haben sich innerhalb von  $C^* < \pm 0,8$  und  $h^\circ < \pm 1,7$  nicht verschoben.

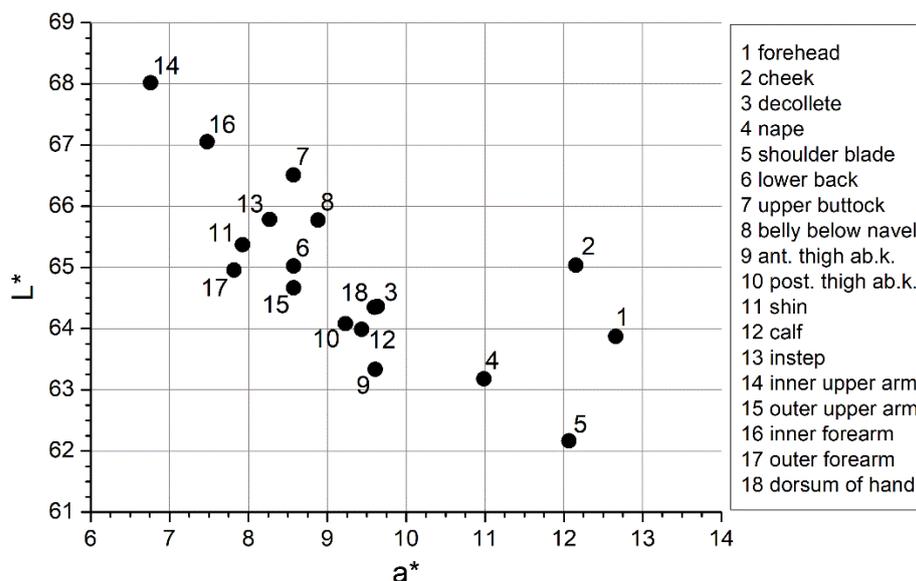


Abbildung 13: Mittelwerte von Sättigung  $C^*$  und Farbton  $h^\circ$  für 18 Körperstellen bei kaukasischen Frauen im Spätwinter. Die Balken zeigen den notwendigen Abstand für die Unterscheidung (bei gleichem  $L^*$ ) zweier Farben (durch gefüllte Kreise gekennzeichnet).

### 4.3. Pigmentierung (ITA°)

Bei der Pigmentierung wurde festgestellt, dass der ITA° im Winter (schraffierte Spalten in Abb. 14) im Durchschnitt an der Schulter und im Nacken am niedrigsten (höchste Pigmentierung) war ( $< 41^\circ$ , eingestuft als "intermediär"). Werte zwischen  $41^\circ$  und  $45^\circ$  wurden für den unteren Rücken, den äußeren Oberarm, den äußeren Unterarm, den vorderen Oberschenkel (über dem Knie) und das Dekolleté festgestellt. Die geringste Pigmentierung bei Werten zwischen  $50^\circ$  und  $55^\circ$  wurde dagegen für den inneren Oberarm und den inneren Unterarm gemessen. Bei allen anderen Stellen liegt der ITA° zwischen  $45^\circ$  und  $50^\circ$ . Alle diese Stellen können als "hell" ( $41^\circ$ - $55^\circ$ ) eingestuft werden. Die Balken in Abb. 14, die die Standardabweichung darstellen, zeigen dass die Haut einiger Teilnehmer an manchen Stellen auch als "sehr hell" ( $> 55^\circ$ ) eingestuft werden kann. Im Frühsommer (leere Säulen in Abb. 14) begann der ITA°-Wert an den meisten Stellen des Körpers zu sinken. Mehrere Körperstellen wechselten von "hell" zu "intermediär", jedoch korreliert die Abnahme nicht mit dem Winter-ITA°, so dass die für die Winterwerte erstellte Rangliste (Abb. 14) nicht zu berücksichtigen ist.

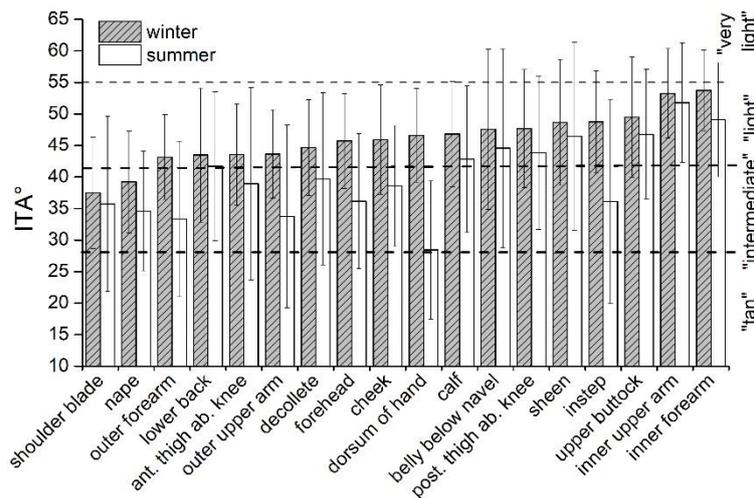


Abbildung 14: Rangfolge der Mittelwerte der ITA° im Winter von 20 Frauen (schraffierte Spalten) im Vergleich zu ITA° im Früh-sommer. Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar.

#### 4.4. Bräunungsgrad (TAN°)

Der TAN° im Spätwinter gibt Aufschluss über die akkumulierte Pigmentierung. Aus Abb. 15 ist ersichtlich, dass der Winter-TAN° am Schulterblatt (TAN° = 16°) und am Nacken (TAN° = 14°) am höchsten ist, gefolgt vom äußeren Unterarm, dem äußeren Oberarm, dem unteren Rücken und dem unteren vorderen Oberschenkel (TAN° ≈ 10°). Körperteile die fast das ganze Jahr über der Sonne ausgesetzt sind, wie Dekolleté, Stirn, Wangen und Handrücken, haben einen niedrigeren TAN°-Wert (etwa 7° bis 8°). Am wenigsten pigmentiert sind die unteren Teile der Beine und das obere Gesäß. Daraus kann man schließen, dass die Pigmentierung nicht an den ständig exponierten Körperteilen am höchsten ist, sondern an denjenigen, die zeitweise einer mittelstarken bzw. starken UVR ausgesetzt sind. Außerdem konnte an keiner Körperstelle eine Korrelation zwischen TAN° und Alter festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass die Akkumulation von der individuellen Sonnenexposition und nicht vom Alter abhängt. Im späten Frühjahr ist der TAN° an bestimmten Körperstellen im Vergleich zum Winter bereits angestiegen. Am deutlichsten am äußeren Unterarm, am äußeren Oberarm, an der Stirn und an der Wange. Am stärksten jedoch am Rist und am Handrücken (von 7° auf 23°). Es ist anzunehmen, dass der TAN° im Sommer weiter zunimmt. Da die Wintermessungen im Nachhinein durchgeführt wurden, erkennt man, dass die Pigmentierung relativ stark (> 16°) verblasen kann, wie am Handrücken zu sehen ist.

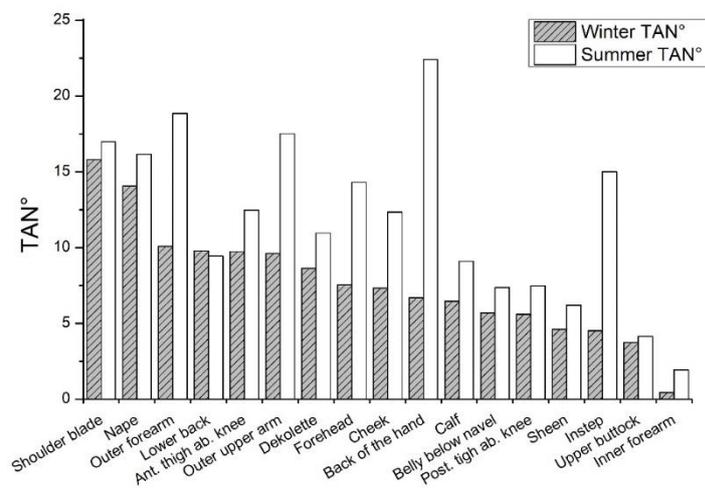


Abbildung 15: Reihung des mittleren TAN° an allen Körperstellen im Spätwinter im Vergleich zu den Werten im Frühsommer.

#### 4.5 Ergebnis Farbtafeln

Es wurde die Farbtafel von L'Oreal zur Bestimmung der Hautfarbe verwendet. Es zeigte sich, dass sich die Farbtafeln von unterschiedlichen Farbdruckern in Farbton und Sättigung unterscheiden. Auch die Papiersorte macht sich in der Erscheinung der Farben bemerkbar. Ebenso unterscheiden sich Farbton und Sättigung zwischen Ausdruck und Darstellung auf einem LED-Monitor. Es müsste die gedruckte original Farbtafel von L'Oreal zur Verfügung stehen. Die, der Farbtafel zugrunde liegenden Werte von  $h^\circ$  und  $C^*$ , fanden für einen Großteil der Vergleichsstellen auf der Haut keine Übereinstimmung mit der objektiven Farbmessung. Die Bestimmung mittels Farbtafeln hängt sehr stark von der Umgebungsbeleuchtung ab (Kunstlicht vs. Sonne). Um dieses Problem zu lösen müsste eine Standardbeleuchtung zur Verfügung stehen. Die Verwendung von Farbtafeln müsste unter genau definierten und standardisierten Bedingungen erfolgen, die einen mindestens so hohen Aufwand (z.B. Standardbeleuchtung) wie die Farbmessung erfordern. Als einfache Methode zur Bestimmung der Hautfarbe vor Ort sind Farbtafeln nicht verwendbar.

## 5. Zusammenfassung und Diskussion

In dieser Arbeit wurde die Verteilung der Hautfarbe, der Pigmentierung und des Bräunungsgrads entlang des Körpers von mitteleuropäischen kaukasischen Frauen quantifiziert. Derartige Messungen werden in vielen Bereichen wie der Dermatologie, der Physiologie, der Pharmazie oder der Kosmetik verwendet (Ly, et al., 2020). Allerdings wurde den Unterschieden der Pigmentierung zwischen den einzelnen Körperstellen wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Diese Messungen haben gezeigt, dass sich die Tristimulus-Werte im Winter offensichtlich je nach Körperstelle unterscheiden, selbst an nahe gelegenen Stellen wie Stirn, Wange und Dekolleté oder zwischen der medialen und lateralen Seite der Arme. Die Mittelwerte von  $L^*$  und  $a^*$  der Körperstellen korrelieren bis zu einem gewissen Grad. Dies lässt sich dadurch erklären, dass Hämoglobin von dunkelroter Farbe ist, sodass ein höherer Blutfluss oder eine höhere Gefäßdichte zu einem dunkleren Rot der Haut führt (Takiwaki, 1998). Die mittleren  $L^*$ - und  $b^*$ -Werte der Körperstellen können miteinander in Beziehung stehen, zeigen aber keine enge Beziehung. Die mittleren  $a^*$ - und  $b^*$ -Werte korrelieren nicht miteinander.

Dadurch entstehen unterschiedliche Farben und die Körperstellen unterscheiden sich in  $L^*$ ,  $h^\circ$   $C^*$ . Stirn, Wangen, Nacken und Dekolleté weisen die kräftigsten Farben auf, während der innere Unterarm und der innere Oberarm die schwächsten Farben haben. Im Frühsommer veränderten sich die Farben vor allem durch eine geringere Helligkeit und eine leichte Zunahme des Farbtons und der Sättigung aufgrund einer Abnahme von  $L^*$  und einer Zunahme der Gelbfärbung  $b^*$  (während sich die Rötung nur geringfügig veränderte).

Im Spätwinter unterscheiden sich die Pigmentierung und der Bräunungsgrad nach Körperstellen, obwohl diese zu dieser Zeit kaum von der Sonneneinstrahlung beeinflusst werden. Interessanterweise sind die verbleibende Pigmentierung bzw. die verbleibende Bräune am Schulterblatt, im Nacken und an den Außenseiten der Arme am höchsten, nicht aber an den ständig exponierten Stellen wie Gesicht und Händen. Für keine Körperstelle konnte eine Korrelation zwischen Bräune und Alter festgestellt werden. Dies deutet daraufhin, dass die akkumulierte Bräune stärker vom individuellen Verhalten als vom Alter beeinflusst wird.

Im Frühsommer nahm die Bräune an mehreren Körperstellen zu. Der Handrücken ist im Winter wenig gebräunt, aber im Frühsommer ist er die Stelle mit der stärksten Bräunung. Der Rist ist im Winter noch weniger gebräunt, hat aber zu dieser Zeit in ähnlicher Weise zugenommen. Auch am äußeren Ober- und Unterarm hat die Bräune zugenommen. Rist und Arme sind typischerweise bei Temperaturen über  $20^\circ$  der Sonne ausgesetzt (Schmalwieser, et al., 2019),

was mit den Temperaturen im Mai und Juni in der Region um Wien übereinstimmt. Die Schultern und der Rücken sind während der Sommer- und Ferienzeit (Juli bis August) stark exponiert und erhalten eine hohe Exposition (Idorn, et al., 2015).

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass sich Melaningehalt, Melaninzusammensetzung und Melaninabbau je nach Körperstelle sowie die Reaktion der Körperstellen auf Umwelteinflüsse wie solare UVR unterscheiden.

## 6. Abstract

It is well known, that skin colour varies by body site and with season. However, little quantitative data on the topography of skin colour and pigmentation are available. Therefore, cutaneous colorimetric measurements in 20 in central European Caucasian women aged 20 to 60 years have been made at 18 body sites. Tri-stimulus  $L^*a^*b^*$ -values, hue and chroma are considered to describe skin colour. Based on the "Individual Typology Angle", the "Degree of Tan" was introduced to quantify the difference between constitutive and facultative pigmentation. Measurements were done in late winter and early summer to estimate potential changes by solar radiation. These measurements made evident that skin colour obviously differs across the body in late winter. Even nearby body sites can be recognized as differently coloured. A remaining degree of tan was found at permanent and intermittent exposed body sites. The remaining tan was not most pronounced at the permanently exposed sites but on the intermediate ones like the shoulder. In early summer, the degree of tan has most developed at the hands, arms and instep, followed by the face. This study showed, that beside basic differences between body sites in winter, accumulation and degradation of tan also varies between body sites.

## 7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: (a) Hautfarbvolumen auf der $L^*b^*$ -Ebene (CIELAB 1976-System). Die vertikale Achse $L^*$ ist die Helligkeit; die horizontale Achse $b^*$ ist die Gelb-Blau-Komponente.(b) Die Fontana-Masson-Färbung von Melaninkörnchen zeigt eine gute Korrelation zwischen der Klassifizierung der Hautfarbe und der Melaninmenge und -verteilung.(c) Der individuelle Typologiewinkel ( $ITA^\circ$ ) ermöglicht die Klassifizierung der Hautfarbe in sechs Gruppen, von sehr heller bis dunkler Haut. (Del Bino, et al., 2013) .....	8
Abbildung 2: Einteilung Hauttypen nach Fitzpatrick ( <a href="https://www.stiftung-gesundheitswissen.de/gesund-leben/koerper-wissen/sonnenschutz-aber-richtig">https://www.stiftung-gesundheitswissen.de/gesund-leben/koerper-wissen/sonnenschutz-aber-richtig</a> ) .....	9
Abbildung 4: CIELAB Farbraumdiagramm (Ly, et al., 2020).....	18
Abbildung 5: Hautfarbvolumen, Einteilung in sechs Gruppen: very light, light, intermediate, tan, brown, black (Ly, et al., 2020) .....	19
Abbildung 6: Farbskala nach Von Luschan (Swiatoniowski, et al., 2013) .....	20
Abbildung 7: L'Oréal skin colour chart ( <a href="https://www.loreal.com/en/articles/science-and-technology/expert-inskin/">https://www.loreal.com/en/articles/science-and-technology/expert-inskin/</a> ) .....	20
Abbildung 8: Positionen für Hautfarbemessungen .....	23
Abbildung 9: Schematische Darstellung des $L^*a^*b^*$ -Farbraums und der abgeleiteten Größen: $ITA^\circ$ , das visuelle Attribut des Farbtons (Farbtonwinkel, $h^\circ$ ) und das wahrgenommene Farbattribut der Sättigung ( $C^*$ ) .....	26
Abbildung 10: Reihung der Körperteile nach durchschnittlichen $L^*$ , $a^*$ und $b^*$ im Spätwinter (Februar) (schraffierte Spalten) von kaukasischen Frauen im Vergleich zu den Mittelwerten im Frühsommer (Ende Mai und Juni) (leere Säulen). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichungen von den Mittelwerten an. ....	29
Abbildung 11: Mittelwerte von $L^*$ und $a^*$ für 18 Körperstellen bei kaukasischen Frauen im Spätwinter.....	30
Abbildung 12: Verschiebung in der $L^*b^*$ -Ebene der Körperstellen bei kaukasischen Frauen auf der $L^*b^*$ -Ebene zwischen Winter (Februar) und Früh-sommer (Mai/Juni). ....	30
Abbildung 13: Mittelwerte von Sättigung $C^*$ und Farbton $h^\circ$ für 18 Körperstellen bei kaukasischen Frauen im Spätwinter. Die Balken zeigen den notwendigen Abstand für die Unterscheidung (bei gleichem $L^*$ ) zweier Farben (durch gefüllte Kreise gekennzeichnet). ....	31
Abbildung 14: Rangfolge der Mittelwerte der $ITA^\circ$ im Winter von 20 Frauen (schraffierte Spalten) im Vergleich zu $ITA^\circ$ im Früh-sommer. Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar. ....	32
Abbildung 15: Reihung des mittleren $TAN^\circ$ an allen Körperstellen im Spätwinter im Vergleich zu den Werten im Frühsommer.....	33

## 8. Poster

Präsentation beim 20th Congress of the European Society for Photobiology, Lyon, France, August 27-31, 2023 (Götzinger, et al., 2023)

### Body Distribution of Skin Colour, Pigmentation and Degree of Tan in Central European Caucasian Women

S. Götzinger<sup>1</sup>, F. Schwabel<sup>1</sup>, A.W. Schmalwieser<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unit of Physiology and Biophysics, University of Veterinary Medicine, Vienna, Austria

### OBJECTIVES

Skin colour and pigmentation are not homogenous across the body and are not static. A dynamic topography of skin colour and pigmentation results from this, which is caused by individual behaviour and environmental influences. However, the literature lacks information about skin colour and pigmentation topography of the human body. Changes during the year are also only quantified for a restricted number of body sites

### MATERIALS and METHODS

We quantified skin colour and pigmentation of 20 adult women at 18 positions across the body in late winter to get the lowest possible level during the year. With this, a topography of skin colour and pigmentation is established that enables intercomparison between body sites and individuals. Topographic differences are analysed in respect to the constitutive level, using the medial aspect of the inner upper arm close to the armpit. To show the influence of season, measurements were also done in late spring respectively early summer, when people are already exposed to solar UV radiation.

### RESULTS

#### L\*a\*b\* - Measurements: late Winter and early Summer

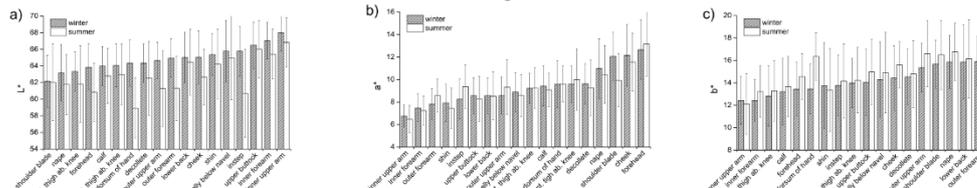


Figure 1: Ranking of body parts by average a) L\*, b) a\* and c) b\* in late winter (February) (hatched columns) of Caucasian women compared to mean values in early summer (late May and June) (empty columns). Error bars indicate the standard deviations from mean values.

#### L\* - a\* - Correlation

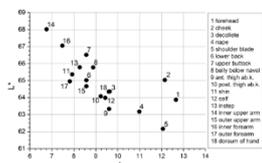


Figure 2: Median values of L\* and a\* for 18 body sites in Caucasian women in late winter.

#### Colour of body sites

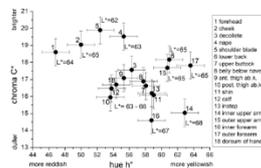


Figure 3: Mean values of chroma C\* and hue h\* for 18 body sites in late winter. The bars indicate the necessary distance to distinguish two colours (indicated by filled circles) at the same level of L\*.

#### Tanning Pathway

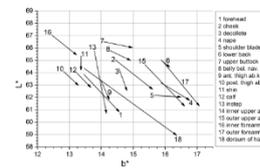


Figure 4: Shift of body sites in the L\*-b\*-plane between winter (February) and early summer (May/June) for Caucasian women.

#### Individual Typology Angle ITA°

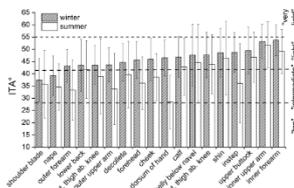


Figure 5: Ranking of body sites by ITA° in winter from 20 Caucasian women (hatched columns) compared to ITA° in early summer. Error bars indicate the standard deviation from mean values.

#### Degree of TAN°

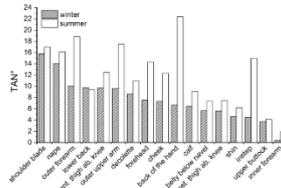
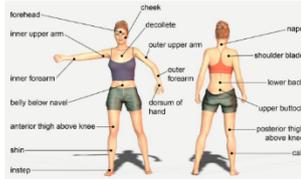


Figure 6: Ranking of mean TAN° (degree of tan) at all body sites in Caucasian women in late winter compared with values in early summer.

### SUMMARY

Cutaneous colorimetric measurements at 18 body sites in Caucasian women made evident that even nearby body sites can be recognized as differently coloured in late winter. In early summer, the degree of tan has most developed at the hands, arms and instep, followed by the face. In winter, the remaining degree of tan was most pronounced at intermittent exposed body sites like the shoulder, but not at permanent exposed ones. This shows, that beside basic differences between body sites in winter, accumulation and degradation of tan also varies between body sites.

#### Locations

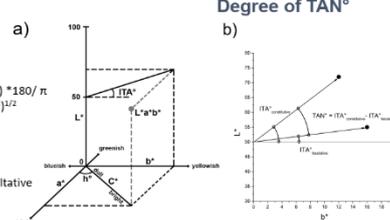


#### Device



#### L\*a\*b\* - Colour Space

Tri-stimulus: L\*, a\*, b\* (CIE)  
 Colour (L\*, h\*, C\*):  
 Lightness L\*  
 Visual attribute of hue:  $h^* = \arctan(b^*/a^*) * 180 / \pi$   
 Visually perceived colour:  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$   
 Pigmentation:  
 Individual Typology angle ITA°:  
 $ITA^{\circ} = \arctan((L^* - 50) / b^*) * 180 / \pi$   
 Degree of TAN°:  
 Difference between constitutive and facultative pigmentation  
 $TAN^{\circ} = ITA^{\circ} \cos - ITA^{\circ} \sin$



## 9. Literaturverzeichnis

### **Bundesamt für Strahlenschutz. 2023.**

[https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/wirkung/hauttypen/hauttypen\\_node.html](https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/wirkung/hauttypen/hauttypen_node.html). [Online] 2023.

**Chardon, A., Cretois, I. und Hourseau, C. 1991.** Skin colour typology and suntanning pathways; 13; 191-208; DOI: 10.1111/j.1467-2494.1991.tb00561.x. *Int J Cosmet Sci.* 1991.

**CIE. 1986.** Uniform color spaces, In: Colorimetry; 15.2, 29-32;. *CIE Publication.* 1986.

**Clarys, P., et al. 2000.** Skin colour measurements: comparison between three instruments: the Chromameter, the DermaSpectrometer and the Mexameter; 6; 230-238; DOI: 10.1034/j.1600-0846.2000.006004230.x. *Skin Res Technol.* 2000.

**Cole, C. 2020.** Global data of unprotected skin minimal erythema dose relationship to Individual Typology Angle; 36; 452–459; DOI: 10.1111/phpp.12592. *Photodermatol Photoimmunol Photomed.* 2020.

**de Rigal, J., et al. 2007.** Development and validation of a new Skin Color Chart; Vol 13; 101-109; doi: 10.1111/j.1600-0846.2007.00223.x. *Skin Research and Technology.* 2007.

**Del Bino, S. und Bernerd, F. 2013.** Variations in skin colour and the biological consequences of ultraviolet radiation exposure; 169 Suppl 3; 33-40; doi: 10.1111/bjd.12529. *British Journal of Dermatology.* 2013.

**Del Bino, S., Duval, C. und Bernerd, F. 2018.** Clinical and Biological Characterization of Skin Pigmentation Diversity and Its Consequences on UV Impact; 19(9):2668; doi: 10.3390/ijms19092668. *International Journal of Molecular Sciences.* 2018.

**Del Bino, S., et al. 2015.** Chemical analysis of constitutive pigmentation of human epidermis reveals constant eumelanin to pheomelanin ratio; 28; 707-717; DOI: 10.1111/pcmr.12410. *Pigm Cell Melanoma Res.* 2015.

**Del Bino, S., et al. 2006.** Relationship between skin response to ultraviolet exposure and skin color type; 19; 606-614; DOI: 10.1111/j.1600-0749.2006.00338.x. *Pigment Cell Res.* 2006.

**Diffey, B. 2002.** What is light? 18(2); 68-74; doi: 10.1034/j.1600-0781.2002.180203.x. *Photodermatology Photoimmunology and Photomedicine.* 2002.

**Fitzpatrick, T. B. 1988.** The Validity and Practicality of SunReactive Skin Types I through VI; 124(6); 869-871. doi:10.1001/archderm.1988.01670060015008. *Arch Dermatol.* 1988. 1988.

**Fullerton, A., et al. 1996.** Interlaboratory comparison and validity study of the Minolta Chroma Meters CR-200 and CR-300; 2(3); 126-135; DOI: 10.1111/j.1600-0846.1996.tb00074.x. *Skin Res Technol.* 1996.

**Götzinger, S., Schwabel, F. und Schmalwieser, A. W.(2023). 2023.** Body Distribution of Skin Colour, Pigmentation and Degree of Tan in Central European Caucasian Women. *20th Congress of the European Society for Photobiology, Lyon, France; August 27-31., 2023.*

**Hoekstra, H. E. 2006.** Genetics, development and evolution of adaptive pigmentation in vertebrates; 97(3):222-34; doi: 10.1038/sj.hdy.6800861. *Heredity.* 2006.

**Idorn, L. W., et al. 2015.** Black light visualized solar lentiginos on the shoulders and upper back are associated with objectively measured UVR exposure and cutaneous malignant melanoma; 14 (2); 481-487; DOI: 10.1039/c4pp00332b. *Photochem Photobiol Sci.* 2015.

- ISO/CIE. 2019.** COLORIMETRY — PART 3: CIE TRISTIMULUS VALUES; DOI: 10.25039/DS11664-3.2019. 2019.
- Jablonski, N. G. und Chaplin, G. 2010.** Human skin pigmentation as an adaption to UV radiation; vol. 107 (suppl. 2); 8962 - 8968; doi: 10.1073/pnas.0914628107. *PNAS*. 2010.
- . **2000.** The evolution of human skin coloration; 39; 57-106; doi: 10.1006/jhev.2000.0403. *Journal of Human Evolution*. 2000.
- Johnston, C. S. 2021.** Darker Skin Color Measured by Von Luschan Chromatic Scale and Increased Sunlight Exposure Time Are Independently Associated with Decreased Odds of Vitamin D Deficiency in Thai Ambulatory Patients; Vol 2021; doi:10.1155/2021/8899931. *Journal of nutrition and metabolism*. 2021.
- l'Eclairage, Commission Internationale de. 1997.** Standard Erythema Dose, a Review. Technical Report CIE 125-1997, CIE, Vienna, Austria (1997). 1997.
- Linde, K., Wright, C. Y. und Du Plessis, J. L. 2020.** Subjective and objective skin colour of a farmworker group in the Limpopo Province, South Africa; 26; 923-931; DOI: 10.1111/srt.12895. *Skin Res Technol*. 2020.
- Lock-Anderson, J., Knudstorp, N. D. und Wulf, H. C. 1998.** Facultative skin pigmentation in caucasians: an objective biological indicator of lifetime exposure to ultraviolet radiation?; Volume 138; Issue 5; 826–832; doi: 10.1046/j.1365-2133.1998.02220.x. *British Journal of dermatology*. 1998.
- Ly, B. C. K., et al. 2020.** Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement; 140; 3-12; doi: 10.1016/j.jid.2019.11.003. *Journal of Investigative Dermatology*. 2020.
- Minolta. 1991.** *Minolta: Chromameter CR300; Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan* . 1991.
- Mokrzycki, W. und Tatol, M. 2011.** Color difference Delta E. *Mach Graph Vis*. 20, 383-411. 2011.
- Nigenda-Morales, S. F., et al. 2018.** Transcriptomic analysis of skin pigmentation variation in the Virginia opossum (*Didelphis virginiana*); Volume 27, Issue 12; 2680-2697; Doi: 10.1111/mec.14712. *Molecular Ecology*. 2018.
- San-Jose, L. M. und Roulin, A. 2017.** Genomics of coloration in natural animal populations; Volume 372, Issue 1724; doi:10.1098/rstb.2016.0337. *Royal Society*. 2017.
- Saternus, R., Vogt, T. und Reichrath, J. 2018.** Hauttypen, Hautpigmentierung und Melaninsynthese: wichtige Instrumente der menschlichen Haut zur Anpassung an die UV-Strahlung; 44; 210-215; doi:10.1055/s-0043-122320. *Aktuelle Dermatologie*. 2018.
- Schmalwieser, A. W., Eschenbacher, S. und J., Schreder. 2022.** UV-Biometer - The usage of erythemal weighted broadband meters for other biological effects ; Doi:10.1016/j.jphotobiol.2022.112442. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*. 2022.
- Schmalwieser, A. W., et al. 2002.** Global validation of a forecast model for irradiance of the solar, erythemally effective UV radiation; *Opt Eng*. 40; 3040-3050; DOI: 10.1562/2003-12-03-RA-019. 2002.
- Schmalwieser, A. W., Schmalwieser, V.T. und S., Schmalwieser S. 2019.** Influence of Air Temperature on the UV Exposure of Different Body Sites; Band 95; Ausgabe 4; 1068-1075; doi: 10.1111/php.13088. *Photochemistry and Photobiology*. 2019.

- Swiatoniowski, A. K., et al. 2013.** Technical Note: Comparing von Luschan skin color tiles and modern spectrophotometry for measuring human skin pigmentation; doi:10.1002/ajpa.22274. *American Journal of Biological Anhtropology*. 2013.
- Takiwaki, H. 1998.** Measurement of skin color: practical application and theoretical considerations; 44 (3-4); 121-126; PMID: 9597799;. *J. Med Invest*. 1998.
- Uyen, L. D. P., Nguyen, D. H. und Kim, E. K. 2008.** Mechanism of Skin Pigmentation; 13; 383-395; doi:10.1007/s12257-008-0143-z. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2008.
- Vanicek, K., et al. 2000.** UV-Index for the Public; COST-713 Action; 6-8;. 2000.
- World Health Organisation (WHO). 2002.** Global Solar UV Index: A Practical User Guide. WHO, Geneva, Switzerland. 2002.
- Wright, C. Y., et al. 2015.** Self-reported skin colour and erythema sensitivity vs. objectively measured constitutive skin colour in an African population with predominantly dark skin; 31, 315-524; doi: 10.1111/phpp.12191. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2015.