

Diplomarbeit

**Auswirkungen von *Daucus carota* subsp. *sativus*
auf den Carotinoidgehalt und die
Immunmodulation bei Patientinnen mit Adipositas
und normalgewichtigen Kontrollpersonen**

eingereicht von

Tina Unterweger

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde
(Drⁱⁿ. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Lehrstuhl für Immunologie

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Mag. Dr.rer.nat. Sandra Holasek

Priv.-Doz. MMag. Dr. Sonja Lackner

Nathalie Meier-Allard, MSc

Graz, 4. November 2025

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, 4. November 2025

Tina Unterweger, m.p

Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Personen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben – sei es durch fachlichen Austausch, motivierende Gespräche oder kritisches Feedback.

Zusammenfassung

Die Karotte „*Daucus carota*“ gehört zu den Doldenblütlern und ist ein beliebtes Wurzelgemüse. Sie stammt ursprünglich aus China, wurde jedoch bereits vor Tausenden von Jahren in Zentralasien angebaut und weltweit verbreitet. Anfangs waren rot-violette, weiße und gelbe Karotten bekannt, während die heute beliebte orange Variante vermutlich im 17. Jahrhundert in den Niederlanden gezüchtet wurde. Aufgrund ihres hohen Gehalts an β -Carotin, Vitaminen, Ballaststoffen und Antioxidantien, ist die Karotte ein wichtiges Lebensmittel in der Gesundheitsvorsorge. Die genannten Inhaltsstoffe können entzündungshemmend, anticancerogen, kardioprotektiv wirken, das Immunsystem stärken und durch antioxidative Eigenschaft die Zellen schützen. Ihre vielseitige Verwendbarkeit – roh, gekocht, püriert oder als Saft – macht sie zu einem zentralen Bestandteil einer gesunden Ernährung. Inwiefern vor allem der Langzeiteffekt der Carotenoide auf das weibliche Immunsystem wirkt, wurde in vorliegender Studie untersucht.

In der Studie wurden Teilnehmerinnen in 3 Gruppen eingeschlossen. Die Gruppen 1 (normalgewichtige Teilnehmende/Verum) und 2 (adipöse Teilnehmende/Verum) konsumierten jeweils zweimal täglich 100 ml carotinoid-reichen Karottensaft (entsprechend 10 mg Karotinoiden pro Tag) über einen Zeitraum von sechs Wochen. Die Vergleichsgruppe (normalgewichtig/Placebo) trank stattdessen zweimal täglich 100 ml Wasser. Die Zuteilung zu den Gruppen erfolgte per Zufallsprinzip mit einem Online-Tool der Medizinischen Universität Graz. Der verwendete Karottensaft war ein lokal produziertes, kommerziell erhältliches Naturprodukt mit verschiedenen sekundären Pflanzenstoffen. Dieser wurde in einem Supermarkt gekauft und den Teilnehmenden ausgehändigt. Gemüsesaft aus natürlichen Zutaten gilt als risikoarm. Die Teilnehmenden wurden angewiesen, während der Studie ihren gewohnten Lebensstil beizubehalten. Zu drei Messzeitpunkten wurden diverse anthropometrische und physiologische Messgrößen erhoben und statistisch ausgewertet.

Des ergab sich ein vollständiger Datensatz von 43 Probandinnen: normalgewichtig mit Verum (n=16), normalgewichtig mit Placebo (n=19) und übergewichtig mit Verum (n=8). Die Drop-Out Quote lag bei 18,5%.

Verlaufsdaten innerhalb der Gruppen ergaben bei der Verumgruppe Normalgewichtiger signifikante Anstiege der Veggie Meter®-Werte (V1–V3: $p =$

0,009) und Biozoom-Werte (V1/2 und V1/3: $p < 0,001$, V2/3: $p=0,096$). In der Placebogruppe stiegen die Biozoom-Werte leicht an (V2/3: $p = 0,041$), während in der Verumgruppe Übergewichtiger besonders starke Anstiege bei beiden Messmethoden beobachtet wurden, v.a. beim Veggie Meter® (V1/2: $p=0,002$, V1/3: $P=0,021$, V2/V3: $p < 0,001$). Veränderungen der Körperzusammensetzung (Fettmasse, fettfreie Masse) blieben über alle Gruppen nicht signifikant.

Verlaufsvergleiche zwischen Normalgewicht-Gruppen zeigten einen bedeutenden Unterschied beim Körpergewicht zwischen Verum- und Placebogruppe von V1 zu V2 ($p = 0,011$), wobei es in der Verumgruppe zu einer Zunahme und in der Placebogruppe zu einer Abnahme kam. Der Biozoom-Wert zeigte zwischen diesen Gruppen beträchtliche Unterschiede von V1 zu V2 ($p = 0,013$), auch hier kam es zu einer Zunahme in der Verumgruppe und einer Abnahme in der Placebogruppe. Alle anderen Parameter blieben ohne signifikante Unterschiede.

Korrelationsanalysen belegten für das Gesamtkollektiv erhebliche negative Zusammenhänge zwischen Körperfettanteil und Hautcarotenoiden – am stärksten bei Veggie Meter® V1 ($p = -0,627$; $p < 0,001$) sowie zwischen Körpergewicht und Hautcarotenoiden ($p = -0,590$; $p < 0,001$). Diese Korrelationen blieben auch in den Interventionsgruppen bestehen, nicht jedoch in der Placebogruppe. Die Analyse nach Terzillen bestätigte ebenfalls nur zum Messzeitpunkt V1 einen offensichtlichen negativen Zusammenhang.

Die Ergebnisse zeigten in beiden Interventionsgruppen einen wesentlichen Anstieg der Hautcarotenoid-Werte, insbesondere gemessen mit dem Veggie Meter®. Auch nach der Wash-out-Phase blieben die Werte durchschnittlich erhöht, was auf einen möglichen Langzeiteffekt hindeutet. Ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen Körperfettanteil (TBF) und Hautcarotenoid-Werten war vor allem bei adipösen Probandinnen feststellbar. Dies bestätigt die Hypothese, dass höhere Fettmasse die Bioverfügbarkeit von β -Carotin in der Haut verringert. Die beiden verwendeten Messgeräte zeigten unterschiedliche Sensitivitäten, wobei der Veggie Meter® stärkere Korrelationen und erkennbare Ergebnisse lieferte. Künftige Studien sollten multizentrisch und geschlechterübergreifend durchgeführt werden, um die Wirkung von β -Carotin unter Berücksichtigung der Körperzusammensetzung im Allgemeinen besser zu verstehen.

Abstract

The carrot (*Daucus carota*) belongs to the umbellifer family and is a popular root vegetable. It originates from China but was already being cultivated in Central Asia thousands of years ago and spread throughout the world. Initially, red-purple, white and yellow carrots were known, while the orange variety popular today was probably bred in the Netherlands in the 17th century. Due to its high content of beta-carotene, vitamins, fibre and antioxidants, the carrot is an important food in health care. These ingredients can have anti-inflammatory, anti-carcinogenic and cardioprotective effects, strengthen the immune system and protect cells through their antioxidant properties. Their versatility – raw, cooked, puréed or as juice – makes them a central component of a healthy diet. The present study investigated the long-term effect of carotenoids on the female immune system.

The study included participants in three groups. Groups 1 (normal weight participants/verum) and 2 (obese participants/verum) consumed 100 ml of carotenoid-rich carrot juice (equivalent to 10 mg of carotenoids per day) twice daily over a period of six weeks. The control group (normal weight/placebo) drank 100 ml of water twice a day instead. Participants were randomly assigned to the groups using an online tool provided by the Medical University of Graz. The carrot juice used was a locally produced, commercially available natural product containing various secondary plant substances. It was purchased in a supermarket and given to the participants. Vegetable juice made from natural ingredients is considered low risk. Participants were instructed to maintain their usual lifestyle during the study. Various anthropometric and physiological measurements were taken at three measurement points and statistically evaluated.

This resulted in a complete data set of 43 subjects: normal weight with verum (n=16), normal weight with placebo (n=19) and overweight with verum (n=8). The drop-out rate was 18.5%.

Progression comparisons between normal weight groups showed a significant difference in body weight between the verum and placebo groups from V1 to V2 ($p = 0.011$), with an increase in the verum group and a decrease in the placebo group. The Biozoom value showed considerable differences between these groups from V1 to V2 ($p = 0.013$), with an increase in the verum group and a

decrease in the placebo group. All other parameters remained without significant differences.

Progress comparisons between normal weight groups showed a significant difference in body weight between the intervention and placebo groups from V1 to V2 ($p = 0,011$). The Biozoom value showed considerable differences between these groups from V1 to V2 ($p = 0,013$), while all other parameters remained without significant differences. Correlation analyses showed significant negative correlations between body fat percentage and skin carotenoids for the entire group – most strongly with Veggie Meter® V1 ($\rho = -0,627$; $p < 0,001$) – and between body weight and skin carotenoids ($\rho = -0,590$; $p < 0,001$). These correlations also remained in the intervention groups, but not in the placebo group. The analysis according to tertiles also confirmed an obvious correlation only at the V1 measurement point.

The results showed a significant increase in skin carotenoid levels in both intervention groups, especially when measured with the Veggie Meter®. Even after the washout phase, the values remained elevated on average, suggesting a possible long-term effect. A significant negative correlation between body fat percentage (TBF) and skin carotenoid levels was particularly noticeable in obese female subjects. This confirms the hypothesis that higher fat mass reduces the bioavailability of β -carotene in the skin. The two measuring devices used showed different sensitivities, with the Veggie Meter® providing stronger correlations and more recognisable results. Future studies should be multicentric and cross-gender to better understand the effect of β -carotene, considering body composition in general.

Angaben von bereits erfolgten Veröffentlichungen

Keine bereits erfolgten Veröffentlichungen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärung	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung	5
1.1 Die Karotte – ein nährstoffreiches Lebensmittel	5
1.1.1 Inhaltstoffe.....	7
1.1.2 Oxidativer Stress & Antioxidantien.....	11
1.1.3 Allgemeiner Wirkung der β - Carotenoiden	13
1.1.4 Stellenwert der Karotte in der österreichischen Ernährungspyramide.	22
1.1.5 Carotenoid-Messung über die Haut	24
2 Material und Methoden	29
2.1 Veggie Meter®	29
2.2 Biozoom	31
2.3 Studiendesign	32
2.4 Ablauf und Parameter	33
2.5 Tätigkeiten im Rahmen der Diplomarbeit	34
2.5.1 Messung der Studienparameter	34
2.5.2 Auswertung der Bioimpedanzmessung	37
3 Ergebnisse – Resultate mit graphischen Darstellungen	40
3.1 Deskriptive Statistik.....	40
3.2 Verlaufsmessung- T-Tests.....	43
3.3 Korrelationsanalysen	46
4 Diskussion	50
4.1 Zusammenfassung und Interpretation der wichtigsten Ergebnisse	50
4.2 Vergleich mit dem Forschungsstand	52
4.3 Kritische Reflexion	53
4.4 Relevanz.....	55
5 Literaturverzeichnis	57

Abkürzungen und deren Erklärung

Abb.	Abbildungen
BIA	Bioimpedanzanalyse
BMI	Body Mass Index
Bzw.	beziehungsweise
EPP	erythropoietische Protoporphyrurie
FFM	fettfreie Masse
FM	Fett-Masse
HDL	high density Lipoprotein
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatografie
Mb.	Morbus
MSRRS	multiplen orts aufgelösten Reflexionsspektroskopie-Sensoren
mtDNA	mitochondriale DNA
NO	Stickstoffmonoxid
o.ä.	oder ähnliches
St.p.	status post
TBF	total body fat
Vgl.	vergleiche
V1	Visite 1= erster Studien-Untersuchungstermin
V2	Visite 2= zweiter Studien-Untersuchungstermin
V3	Visite 3= dritter Studien-Untersuchungstermin
z.B.:	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arten der Karotte	5
Abbildung 2: ROS-Reaktion	12
Abbildung 3: Strukturformel Beta-Carotin	13
Abbildung 4: Übersicht über die Wirkung von β - Carotenoiden	13
Abbildung 5: österreichische Ernährungspyramide	23
Abbildung 6: Einfluss auf die Hautcarotenoid- Konzentration	26
Abbildung 7: Veggie Meter®	30
Abbildung 8: Biozoom	32
Abbildung 9: Frankfurter Horizontale	35
Abbildung 10: BMI.....	35
Abbildung 11: Schaltkreis Bioimpedanz	37
Abbildung 12: Zylinder Modell.....	38
Abbildung 13: Flussdiagramm	40
Abbildung 14: Verlauf Hautcarotenoide (Veggie Meter®).....	42
Abbildung 15: Verlauf Hautcarotenoide (Biozoom)	42
Abbildung 16: Scatterplot Veggie Meter® I / TBF I	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nährstoffgehalt der Karotte.....	7
Tabelle 2: Übersicht über anticancerogene Wirkungen.....	19
Tabelle 3: protektive Eigenschaften auf das kardiovaskuläre System.....	21
Tabelle 4: Ein-& Ausschlusskriterien	34
Tabelle 5: deskriptive Statistik	41
Tabelle 6: abhängige T-test.....	43
Tabelle 7: unabhängige T-tests	45
Tabelle 8: Korrelationen Gesamtkollektiv	46
Tabelle 9: Korrelationen normalgewichtig/ Verum	47
Tabelle 10: Korrelationen normalgewichtig/Placebo	47
Tabelle 11: Korrelationen übergewichtig / Verum.....	48
Tabelle 12: Korellationen nach Terzillen geteilt	48

1 Einleitung

1.1 Die Karotte – ein nährstoffreiches Lebensmittel

„Lass Nahrung deine Medizin sein und Medizin deine Nahrung.“ – so soll einst der griechische Gelehrte Hippokrates (460-370 v.Chr.) schon erkannt haben, dass in vielen bekannten Lebensmitteln wertvolle Nährstoffe vorhanden sind.

Die Karotte „*Daucus carota*“ gehört zu der Gruppe der Doldenblütler und ist ein heimisches häufig vorkommendes Wurzelgemüse, wobei die ursprüngliche Herkunft in China liegt. Ihre Beliebtheit verdankt die Karotte nicht nur ihrem Geschmack, sondern auch in der heimischen, als auch internationalen Küche aufgrund ihrer vielseitigen Zubereitungsmöglichkeiten. Aus diesem Grund gehört sie auch den Top 10 der wirtschaftlich wichtigsten Gemüsearten auf der gesamten Erde an.[30] Durch ihren hohen Nährstoffgehalt ist sie seit Tausenden von Jahren ein wichtiger Lieferant von Phytonährstoffen (= Pflanzenstoffe mit gesundheitsfördernden Eigenschaften). Somit kann man ihr auch in der Gesundheitsvorsorge einen hohen Stellenwert zuschreiben. [1]

Die historische Geschichte der Karotte reicht weit zurück. Zu Beginn, vor mehreren tausenden Jahren, wurde sie in Zentralasien angebaut und in den folgenden Jahrhunderten über viele Handelswege in der ganzen Welt verteilt. Diese originale Karottenart unterschied sich von der heutigen bekannten durch ihren eher holzigen Geschmack und die verminderte Größe. Durch Züchtungen verschiedenster Arten in diversen Ländern entwickelte sich verschiedene Unterarten der Karotte, welche sich durch unterschiedliche Färbungen und Nährstoffzusammensetzungen differenzieren (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Arten der Karotte
Quelle: Pixabay

Anfangs waren vor allem rot-violette, weiße oder gelbe Karotten bekannt. Man vermutet, dass in den Niederlanden im 17. Jahrhundert die Carotin-haltige, heute sehr populäre orangefarbene Karotte gezüchtet wurde. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass sie aufgrund ihres einfachen Anbaus in jedem Garten angebaut werden kann und somit jedem zum Verzehr zur Verfügung steht. [29]

Die Karotte ist als Grundnahrungsmittel in der internationalen Küche bekannt. Durch ihre vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten können sie roh, gekocht, gedünstet, gebacken oder püriert genossen werden. Karottensaft, Karottenpüree und getrocknete Karotten sind beliebte Zutaten in einer Vielzahl von Produkten, von Säuglingsnahrung bis hin zu gesunden Snacks und Getränken. Die Möglichkeit, in verschiedenen Formen und Zubereitungsarten verwendet zu werden, macht die Karotte zu einem unverzichtbaren Bestandteil einer gesunden Ernährung. Sie wird nicht nur für ihre kräftige orangene Farbe, sondern auch durch ihren ernährungsmedizinischen Vorteil geschätzt. Durch Inhaltsstoffe wie Carotine, Vitamine oder Phenolsäuren werden ihr entzündungshemmende, schmerzhemmende und generell immunsystemfördernde Eigenschaften ist sie von Kleinkindalter bis in das fortgeschrittene Alter sehr beliebt und auch von vielen Ernährungsgesellschaften zum täglichen Verzehr empfohlen. [1]

Der am häufigsten vorkommende Inhaltsstoff bildet das β -Carotin, eine Vorstufe des Vitamin A, dessen Wirkungsbereich die Sehfähigkeit, Förderung des Immunsystems, der Hautgesundheit und vieles mehr betrifft. Weitere wichtige Nährstoffe, welche in der Karotte vorkommen sind beispielsweise Vitamin C, Kalium, Ballaststoffe aber auch Antioxidantien wie Phenolsäuren. Der gesundheitliche Vorteil dieser Nährstoffe besteht in der anticancerogenen, kardioprotektiven und verdauungsfördernden Wirkung. Letztere wird vor allem durch die Ballaststoffe gewährleistet. Die Antioxidantien schützen die Zellen des Körpers vor Schäden durch freie Radikale und beugen chronische Erkrankungen und malignen Entartungen vor. [6]

1.1.1 Inhaltstoffe

DURCHSCHNITTLICHER NÄHRSTOFFGEHALT DER KAROTTE	
Calcium	34–80 mg/100 g FG
Phosphat	25–53 mg/100 g FG
Kalium	240 mg/100 g FG
Magnesium	9 mg/100 g FG
Eisen	0,4–2,2 mg/100 g FG
Natrium	40 mg/100 g FG
Kupfer	0,02 mg/100g FG
Zink	0,2 mg/100g FG
Vitamin C	1,0–5,3 mg/100 g FG (*variiert je nach Lagerung)
Vitamin E	191–703 µg/100 g FG
Gesamtphenole	7,3–224 mg/100 g FG
Tetraterpenoide(Carotenoide, Chlorophylle)	0,2–4,1 mg/100 g FG
Falcarinol	16–84 mg/kg KG
Falcarindiol	8–27 mg/kg KG

Tabelle 1: Nährstoffgehalt der Karotte

vgl. Mandrich u. a., „Chemical Composition, Functional and Anticancer Properties of Carrot “. [1]

Die Tabelle 1 zeigt den durchschnittlichen Nährstoffgehalt der Karotte, bezogen auf 100 g Frischgewicht (FG). Karotten zeichnen sich durch einen hohen Kaliumgehalt (240 mg/100 g FG) sowie nennenswerte Mengen an Calcium, Phosphat und Eisen aus. Sie enthalten außerdem wichtige Spurenelemente wie Zink und Kupfer, sowie die Vitamine C und E, deren Gehalte je nach Lagerung und Sorte schwanken können. Besonders hervorzuheben ist der Gehalt an bioaktiven Substanzen wie Gesamtphenolen, Carotenoiden und den polyacetylenen Verbindungen Falcarinol und Falcarindiol, die für die gesundheitsfördernde Wirkung der Karotte mitverantwortlich sind.

1.1.1.1 Carotenoide

Carotenoide sind natürliche Farbstoffe und Vorstufen von Vitamin A. Sie sind der am häufigsten vorkommende Phytonährstoff in der orangen Karotte. Dies ist auch die Auswirkung auf die Färbung dieses Gemüses, denn je mehr β -Carotenoide

beinhaltet sind, desto eher bekommt die Karotte eine orangene bzw. auch eine violette Färbung, wobei jene eine orangene Farbe aufweisen, die höchste β -Carotenoid Konzentration besitzen. Genauer betrachtet sind Carotenoide Kohlenstoffgerüste aus 40 Kohlenstoffen mit Einzel- und Doppelbindungen. Die beiden Enden der Kohlenstoffkette können an beiden Seiten oder auch nur an einer Seite aromatische Verbindungen aufweisen. Für die Funktion als Farbstoff sind die Doppelbindungen zuständig, da sie eine gewisse Wellenlänge resorbieren und somit in verschiedenen Farben vorhanden sein können [1,17]. Durchschnittlich beinhaltet die klassische Karotte 16- 38 mg / 100 g an Carotenoiden. Derzeit sind über 1000 Carotenoid-Arten bekannt, von diesen wiederum werden 40 dem menschlichen Körper über die Nahrung zugeführt und 20 können im menschlichen Gewebe nachgewiesen werden [1,3,17]. Wichtig für die Nahrungsaufnahme ist, dass Carotenoide fettlöslich sind und dadurch hauptsächlich mit Fett und Ölen in der Nahrung kombiniert werden sollten. Diese Eigenschaft drückt sich auch bei der Messung des Carotenoid-Speichers im Körper aus. Die beiden Oxygenasen BCO 1 und BCO 2 kommen hauptsächlich in Adipozyten vor, was dazu führt, dass auch alle Carotenoid-Spaltprodukte in den Adipozyten gefunden werden können. [5,18] Sie werden in die beiden Gruppen Carotine (bestehen nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff) und Xanthophylle (beinhalten zusätzlich Sauerstoff) eingeteilt. Die Gruppe der Carotenoide wird am stärksten von β -Carotenoid (75%), α -Carotenoide (23%) und Lutein (2%) vertreten. Weitere vorkommende Carotenoide sind β -Cryptoxhantin, Lycopene und Zeaxanthin. [1,6] Der Anteil der Carotenoide in der Nahrung werden nicht nur durch den Genotyp, welcher auch die Färbung vorgibt, bestimmt, sondern auch durch diverse Umweltfaktoren. Die Lagerung für drei Wochen bei Raumtemperatur (ca. 20 °C) führte dazu, dass der Anteil an β -Carotenoiden sogar gestiegen ist, während es beim Kochen der Karotte zu einer Isomerisation kam und der Gehalt an β -Carotenoiden sank. [6,21,22]

Der Gastrointestinaltrakt ist für die Resorption der Carotenoide zuständig. Wie schon erwähnt, ist das Vorhandensein von Fett bei der Aufnahme sehr wichtig, da es den Einbau der Carotenoide in eine Mizelle vereinfacht. Andererseits soll die gleichzeitige Einnahme von Ballaststoffen die Adsorption der Nährstoffe in den Magen-Darm-Trakt behindern, da sie die Carotenoide einfangen, an Gallensäure binden und später mitausscheiden. Ein weiterer wichtiger Faktor ist auch der

gesundheitliche Zustand des Konsumenten. Bei gastrointestinalen Beschwerden, wie beispielsweise Durchfall, ist aufgrund der beschleunigten Darmmotorik oder auch durch Barriere-Störungen, die Resorption eingeschränkt. [27]

1.1.1.2 Phenolsäuren

Phenolsäuren sind die weltweit am häufigsten vorkommenden Antioxidantien [31] und sind ein wichtiger Bestandteil jeder Karotte, da sie hauptsächlich in der äußeren Schicht vorkommen, um das Gemüse vor starken äußeren Einflüssen (z.B.: Krankheitserreger) zu schützen. Eingeteilt werden sie in Hydroxybenzoesäuren und Hydroxyzimtsäuren [12]. Weltweit sind über 1400 verschiedene Phenolsäuren bekannt, wovon 12 in der Karotte nachgewiesen werden konnten. [1,6] Das Molekül der Phenolsäuren besteht aus einem Benzolring, an welchem Hydroxyl- und Carboxylgruppen hängen. Die freien Radikale werden durch drei verschiedenen Mechanismen neutralisiert, wobei die antioxidative Wirkung wiederum von der Positionierung und Anzahl der OH-Gruppen abhängt. [32] Für die Funktion der Gewebsregeneration sind vor allem die am häufigsten vorkommenden Phenolsäuren Falcarinol und Falcarindiol verantwortlich [6,8]. Diese haben durch die Hemmung von Cyclooxygenase-2, Lipoxygenase, NF- κ B, TNF α und Interleukin-6 einen entzündungshemmenden Effekt. [11] In den Bereich der Gewebsregeneration fällt vor allem die Wundheilung, was in einer Mausstudie durch das Auftragen einer polyphenolreichen Salbe an verletztes Gewebe getestet wurde. [12,13] Die durchschnittliche Konzentration von Phenolsäuren liegt in der orangenen Karotte bei ca. 7-16 mg / 100g und kann bei Aussetzung der Karotte bei ungünstigen Umweltfaktoren wie z.B.: Stress oder Schäden steigen [1]. Ihre Möglichkeit zum Abfangen freier Radikale, indem sie ein überschüssiges Elektron an ein freies Radikal abgeben, macht sie zu einem sehr wichtigen Antioxidans in der Ernährung [9,12]. Weiters wurde in einer Mausstudie ein zytotoxischer Effekt auf neoplastische Zellen (v.a. kolorektale Neoplasien) entdeckt, was durch eine Studie in Dänemark auch am Menschen nachgewiesen wurde [10, 11]. Die orangene Karotte weist jedoch nicht den höchsten Phenolsäurenanteil aller Karotten auf, sondern die violette- schwarzen Variante, die dadurch auch die höchste antioxidative Wirkung entfalten kann. Die Konzentration bei diesen Karotten-Arten betrug durchschnittlich ca. über 300 mg/100g (Wert schwankt je nach Größe und

Erntezeitpunkt), dies wirkt sich auch auf die antioxidativen Kapazitätswerte aus, da jener bei den schwarz- violett gefärbten Karotten viel höher war als bei den herkömmlichen orangen. [1,29] Ein weiterer gesundheitsfördernder Aspekt der Polyphenole liegt in der entzündungshemmenden Wirkung auf proinflammatorische Zytokine, Xanthin-Oxidase oder durch Reduktion der Stickstoffmonooxid Produktion. [12] Einer Untergruppe der Phenole, den Flavonoiden, wird auch eine antidementive Wirkung zugeschrieben, da sie durch ihre antioxidative Wirkung die ROS- Reaktionen, welche durch die Amyloid-Oligomere ausgelöst werden, abschwächen können. [31]

Ein weiterer Vertreter der Polyphenole ist Anthocyane. Dieser sekundäre Pflanzenstoff wird auch eine Blutdrucksenkende Wirkung zugeschrieben, indem er durch vermehrte Produktion der endothelialen Stickoxidsynthase (diese führt zur vermehrten Produktion von Stickoxid), die Gefäße erweitert. Weiters konnte in Studien das verminderte Risiko eines Myokardinfarkts bei jungen Frauen mit erhöhtem Polyphenolspiegel nachgewiesen werden. [39]

1.1.1.3 Vitamine

Die am häufigsten vorkommende Vitamine in der Karotte sind das wasserlösliche Vitamin C und das fettlösliche Vitamin E. Der Gehalt an Vitamin C beträgt pro Karotte 1,0–5,3 mg/100 g, wobei wichtig zu wissen ist, dass der menschliche Körper das Vitamin selbst nicht bilden kann und somit die Aufnahme vor allem durch frisches Obst oder Gemüse erfolgt. [6,7]

Vitamin C, auch bekannt als Ascorbinsäure, hat mehrere bedeutende Wirkungen. Es besitzt antioxidative Eigenschaften, die Zellen vor Schäden durch freie Radikale schützen und die Regeneration von Vitamin E unterstützen. Hauptgrund für diese Eigenschaft ist die Möglichkeit von Vitamin C, zwei freie Elektronen abzugeben, welche sich dann an das freie Elektron der freien Radikale binden kann. Zudem stärkt Vitamin C das Immunsystem, indem es die Produktion und Funktion weißer Blutkörperchen fördert und die Barrierefunktion der Haut verbessert. Es spielt eine entscheidende Rolle bei der Kollagenproduktion, die für die Gesundheit der Haut, Blutgefäße, Knochen und Knorpel wichtig ist. Außerdem unterstützt Vitamin C die Wundheilung durch Förderung der Kollagenbildung und Zellregeneration. [1,6,14]

Vitamin E, auch als Tocopherol bekannt, hat ebenfalls wichtige gesundheitliche Vorteile. Es wirkt antioxidativ und schützt die Zellen vor oxidativem Stress und Schäden durch freie Radikale, insbesondere die Lipidmembranen der Zellen. Vitamin E fördert die Hautgesundheit, unterstützt die Heilung von Hautschäden und kann bei Hautkrankheiten wie Ekzemen hilfreich sein. Darüber hinaus trägt es zur Herz-Kreislauf-Gesundheit bei, indem es die Oxidation von LDL-Cholesterin verhindert, was in weiterer Folge das Risiko von Herzerkrankungen reduzieren kann. Vitamin E stärkt auch das Immunsystem und hat entzündungshemmende Wirkungen, die bei der Prävention chronischer Krankheiten helfen können. In der herkömmlichen Karotte kommt am häufigsten das Vitamin E-Isomer α -Tocopherol vor. Wie schon erwähnt ist dieses vor allem für die Hautgesundheit wichtig, da es als Antioxidans der Epidermis fungiert, indem es die Bildung von oxidierten Phosphorlipiden verhindert. [1,15]

Karotten sind eine gute Quelle für verschiedene Nährstoffe, ihr Gehalt an Vitamin C und Vitamin E ist jedoch im Vergleich zu anderen Gemüsen und Früchten eher gering. Karotten tragen trotzdem zur täglichen Vitamin-C-Zufuhr bei, obwohl ihr Vitamin-C-Gehalt niedriger ist als der von Paprika, Brokkoli oder Orangen. Sie enthalten auch geringe Mengen an Vitamin E, wobei Nüsse, Samen und pflanzliche Öle reichhaltigere Quellen dieses Vitamins sind. [1,4,12]

1.1.2 Oxidativer Stress & Antioxidantien

Als oxidativer Stress wird als „ein Ungleichgewicht zwischen Oxidantien und Antioxidantien zugunsten der Oxidation, was zu einer Störung der Redoxsignalisierung und -kontrolle und /oder zu molekularen Schäden führt“ definiert (siehe Abbildung 2). [23] Während einer normalen Stoffwechsellaage werden zwar auch reaktive Sauerstoff- oder auch Stickstoffradikale produziert, da sie für diverse Signalwege sehr wichtig sind, diese werden jedoch, nachdem sie ihre Aufgabe erfüllt haben, durch das antioxidative Abwehrsystem wieder eingefangen und unschädlich gemacht. Dieses Abwehrsystem besteht vor allem aus intrinsisch enzymatischen Antioxidantien, welche extern durch Nahrung zugeführt werden können, aber auch intrinsisch im menschlichen Körper selbst gebildet werden [24]. Vor allem eine zu hohe Produktion von reaktiven Sauerstoffradikalen kann zu einer Limitation des Abwehrsystems führen, was viele gesundheitliche Folgen haben kann. Besonders chronisch oxidativer Stress kann

sich auf wichtige Biomoleküle auswirken: Nitrierung, DNA-Schäden wie Strangbrüche oder Nukleoidbasenoxidation, Bildung von Carbonyl-Addukten, Lipidperoxidation oder Proteincarbonylierung sind mögliche Folgewirkung. Jene können wiederum zu Diabetes, Neurodegeneration oder Herz-Kreislaufkrankungen führen. [25]

Der reaktive Anteil der freien Radikale ist entweder der Hydroxylrest (-OH), das Hyperoxid (O_2^-) oder andere, wobei ein ungepaartes, „freies“ Elektronenpaar dem potenziellen Bindungspartner ein Elektron entreißt. Dies geht aufgrund ihrer hohen Reaktivität sehr einfach, während das andere Molekül selbst oxidiert und zu einem weiteren freien Radikal gemacht wird.

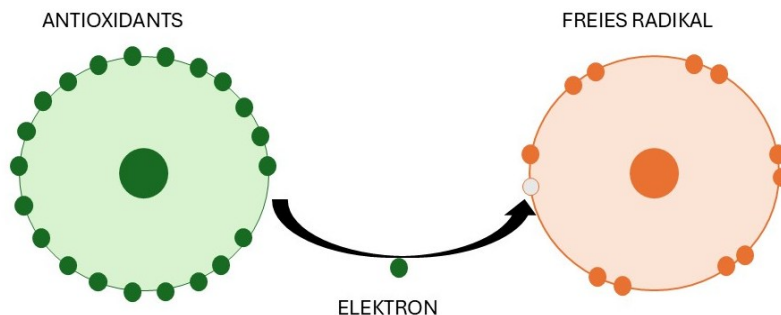


Abbildung 2: ROS-Reaktion

Die Mitochondrien in den Zellen des menschlichen Körpers sind aufgrund der anaeroben Stoffwechsellaage einer der Hauptproduktionsorte von freien Radikalen. Freie Radikale können jedoch nicht nur im Körper selbst gebildet werden, sondern auch exogen zugeführt werden. Beispiele dafür sind Zigarettenrauch, übermäßiger Alkoholkonsum, Strahlung aber auch Umweltverschmutzung. [26]

Ein Carotenoid mit starker antioxidativer Eigenschaft ist Lycopin. Eine Studie von Hung et al. (2008) zeigt, dass Lycopin den Tumornekrosefaktor Alpha (TNF- α) hemmt. [39]

1.1.3 Allgemeiner Wirkung der β - Carotenoiden

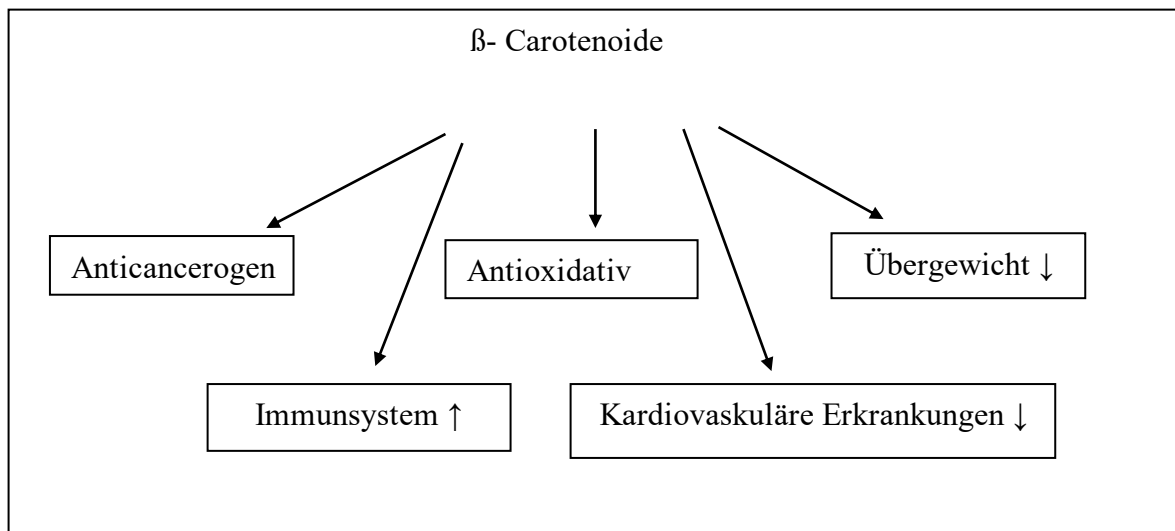


Abbildung 4: Übersicht über die Wirkung von β - Carotenoiden

β -Carotin gehört zur Familie der Carotenoide, einer Gruppe von Farbpigmenten, welche in Pflanzen, aber auch Bakterien vorkommen. [7] Es ist ein lineares Molekül mit eingebauten konjugierten Doppelbindungen, welche für die leuchtend orangene Farbe verantwortlich sind. „Konjugiert“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Kohlenstoffatome zwar durch Doppelbindungen verbunden sind, jedoch zwischen diesen eine Einfachbindung eingebaut ist. (siehe Abbildung 4) Diese besondere chemische Struktur führt dazu, dass Elektronen nicht wie sonst nur zwischen zwei Atomen vorkommen, sondern über die gesamte Länge des Moleküls verteilt sind. Dies führt wiederum zu einer größeren Reaktionsfläche. Somit besteht die Möglichkeit, dass β -Carotin sich mit dem ungepaarten Elektronen-Paar des freien Radikals verbindet und dieses konjugiert, was die antioxidative Eigenschaft erklärt. [27]

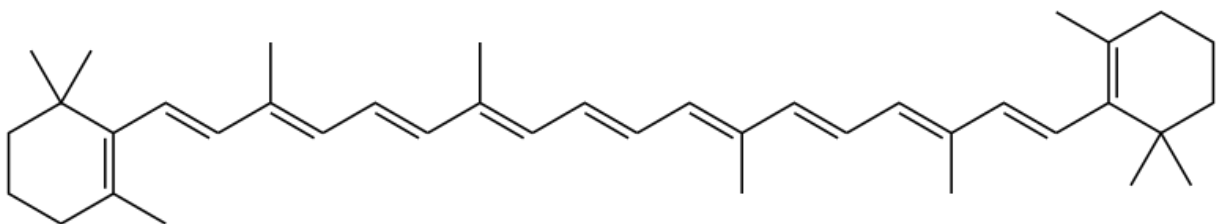


Abbildung 3: Strukturformel Beta-Carotin

Quelle: Wikimedia 

Carotenoide wirken nicht nur an einem Organ, sondern im ganzen Körper (siehe Abbildung 3). Besonders zeigt sich das in jenen Organen, welche die Carotenoide im Laufe der Verdauung passieren. So reichern sie sich zu einem großen Teil in der Leber an, in der sie die Inzidenz einer nicht-alkoholischen Fettleber verringern können. Dies funktioniert indem Carotenoide oxidativen Stress in den Hepatozyten verringern.[27]

Ein Organ, bei dem Carotenoide zur Gesundheit beitragen können, ist das menschliche Auge. Als Vorstufe von Vitamin A dienen die Carotenoide α -Carotin, β -Carotin und β -Cryptoxanthin, welche in der Karotte vorkommen. Lutein und Zeaxanthin hingegen unterstützen das menschliche Sehvermögen, indem sie die Regeneration der Netzhaut unterstützen. [6]

1.1.3.1 Immunmodulation

Die in der Karotte vorhandenen Polysaccharide, genauer gesagt Pektinpolysaccharide, haben ihre immunmodulierende Wirkung auf der Rhamnogalacturonan-I (RG-I) Domäne. Dieser RG-I Domäne wurde nachgewiesen, dass sie das angeborene Immunsystem unterstützen, indem sie die Phagozytose verbessern. Diese Studie bezieht sich hauptsächlich auf Atemwegserkrankungen durch das Rhinovirus 16. Es wurde festgestellt, dass aus Karotten gewonnenes RG (cRG-I) die lokale angeborene Immun- und antivirale Interferonreaktion beschleunigt und verstärkt, sowie die Symptome bei einer Rhinovirus 16-Infektion verringert werden. Zudem verstärkt cRG-I die Immunantwort auf die virale Atemwegsinfektion und verbessert die Funktion der natürlichen Killerzellen. Der Konsum von cRG-I mildert auch die negativen Auswirkungen der Erkältung auf die Lebensqualität. RG-I aus Karotten stellt eine sichere, nachhaltige und wirtschaftlich tragfähige Lösung dar, die leicht in Nahrungsmittel und Nahrungsergänzungsmittel integriert werden kann, um die Immungesundheit zu fördern. [37,42]

Die Inhaltsstoffe der Karotte sind auch Teil der Impfstoffforschung geworden. Hierbei spielen vor allem Erkrankungen, welche Alpha-Synuclein (=Synucleinopathien) als Ursache haben, eine Rolle. Alpha-Synucleine aggregieren zu einem Komplex und führen dort zu einer neurodegenerativen Kaskade. Synucleinopathien sind z.B.: neurologische Erkrankungen wie Lewi-Body-Demenz oder Mb. Parkinson. Bei der Herstellung eines Impfstoffes gegen

jene Erkrankungen wurden Karottenzellen, die LTB-Synuclein (=chimäres pflanzliches Antigen) produzieren, herangezogen. Vorläufige Studien ergaben, dass das genannte Antigen zu humoralen Antworten des Immunsystems gegen drei Epitope von Alpha-Synuclein führt und somit noch weiter erforscht werden kann. [41] Dieser Ansatz wurde mittlerweile von anderen Forschungsgruppen aufgenommen, welche eine ganze Karottenzelllinie „Z4“ züchten konnten, welche vor allem durch die dauerhafte Expression von LTB-Synuclein auffallen. [43]

cRG-I kann auch die Darmgesundheit beeinflussen. Da es im oberen Verdauungstrakt nicht in seine kleinsten Einheiten zerlegt wird, kann es seine gesamte Wirkung im Dickdarm entfalten, indem es dort von den Darmbakterien zersetzt wird. Es kann somit als Probiotikum verwendet werden, da die Fermentation zum vermehrten Wachstum von gesundheitsfördernden, entzündungshemmenden Darmbakterien führt. [44]

Nicht nur für Impfstoffe, sondern auch für Antibiotika wird heutzutage immer mehr nach pflanzlichen Alternativen gesucht. Mittlerweile haben schon einige Studien die antibakterielle Wirkung der *Daucus carota* untersucht und Ergebnisse geliefert. Das Öl der *Daucus carota* soll gegen grampositiven Bakterien wirken. Ein weiteres Ergebnis zeigt, dass das Öl gegen verschiedene *Campylobacter*-Stämme wirksam ist, einschließlich seiner multiresistenten Stämme. Die antibakterielle Wirkung wurde bestimmten Verbindungen wie Phenylpropanoiden und ätherischen Ölen zugeschrieben. Verschiedene Teile der Pflanze, wie reife und unreife Früchte, Blüten und Wurzeln, wurden getestet, wobei die Früchte die stärkste Wirkung zeigen. [50]

Die Wilde Möhre wird traditionell zur Behandlung entzündlicher Erkrankungen wie Blasenentzündungen eingesetzt. Studien haben die entzündungshemmenden Eigenschaften verschiedener Unterarten von *Daucus carota* untersucht. Verschiedene Extrakte zeigten bei Ratten eine signifikante Reduktion von Entzündungen, ähnlich wie das Medikament Diclofenac. Diese Wirkung wird Terpenen und Flavonoiden in den Extrakten zugeschrieben. Das ätherische Öl kann die Produktion von Stickstoffmonoxid in Makrophagen hemmen. Das Öl reduzierte außerdem noch die NO-Produktion in Makrophagen und Mikroglia-kulturen. [50]

1.1.3.2 Anticancerogene Wirkung

Mehrere Studien zeigen, dass bestimmte Metaboliten in Karotten in der Lage sind, Krebszellen durch die Störung wichtiger zellulärer Prozesse stark zu schädigen. Diese Metaboliten können verschiedene Proteine beeinflussen, die für Zellwachstum, Apoptose und Entzündungen verantwortlich sind. Diese Prozesse sind entscheidend für das Fortschreiten und die Metastasierung von Karzinomen. [1]

α -Carotin hemmt das Wachstum von Prostatakarzinomen und Neuroblastomzellen. β -Carotin wirkt in hohen Dosen ebenfalls wachstumshemmend auf Prostatakrebszellen. In niedrigeren Dosen kann β -Carotin das Wachstum dieser Krebszellen jedoch fördern, besonders bei LNCaP-Zellen, die β -Carotin effizienter aufnehmen. Bei Brustkrebszellen vom Typ MCF7 führt β -Carotin zum programmierten Zelltod, indem es bestimmte Enzyme aktiviert und die Menge an Proteinen verringert, die das Überleben der Zellen unterstützt. β -Carotin verändert bei einer anderen Brustkrebszelllinie, MDA-MB-231, die Zellform und reduziert das Wachstum durch Eingriffe in spezifische Signalwege. Auf Melanomzellen hat β -Carotin allein keine hemmende Wirkung, kann jedoch in Kombination mit anderen Medikamenten deren Wirksamkeit verbessern.

Anthocyane, die besonders in schwarzen Karotten vorkommen, zeigen eine starke toxische Wirkung auf verschiedene maligne Zellen, während sie physiologische Zellen weitgehend verschonen, besonders bei Neuroblastomzellen sind sie sehr wirksam. Zudem wurde entdeckt, dass eine Verbindung aus Karotten, Anilinonaphthalin, als mögliche Therapie gegen verschiedene Krebsarten dienen könnte. Diese Verbindung kann das Proto-Onkogen c-Kit binden und hemmen, was wichtig für das Wachstum und Überleben von Krebszellen ist. [1]

Es gibt verschiedene Verbindungen in der Karotte, die als Mittel gegen Metastasen untersucht wurden. α -Carotin hat sich in Studien als besonders wirksam erwiesen. Bei der Behandlung des Hepatozellulären Karzinoms mit α -Carotin wurde eine signifikante Hemmung der Zellmigration, Invasion und Adhäsion beobachtet, die stärker war als die durch β -Carotin erzielten Effekte. α -Carotin reduziert wichtige Enzyme und Proteine, die mit der Metastasenbildung in Verbindung stehen, und erhöht die Expression von Proteinen, die Metastasen entgegenwirken. Auch β -Carotin zeigt antimetastasierende Eigenschaften,

insbesondere bei Neuroblastomzellen, indem es deren Migrations- und Invasionsfähigkeit verringert und die Bildung von Lebermetastasen in Tierversuchen reduziert. Dies deutet darauf hin, dass β -Carotin möglicherweise als chemopräventives Mittel zur Bekämpfung von Neuroblastomen verwendet werden könnte. [1]

Die in der Karotte vorkommenden Pektinpolysaccharide haben unterschiedliche Wirkungen auf die Expression von Galectin-3 und G3BP (Onkogene & Pathogene) sowie auf die Tumorfrequenz. Das Pektinpolysaccharid aus Karotten (CRPP) blockiert die Expression dieser Moleküle am effektivsten (80% Reduktion) und reduziert die Tumorfrequenz ebenfalls stark. Die Behandlung mit CRPP führt zu einer verstärkten Immunreaktion, was auf eine anticancerogene Wirkung hinweist. Studien zur Oberflächenplasmonenresonanz bestätigen, dass die Behandlung mit diätetischen Pektinpolysacchariden die Interaktion zwischen Galectin-3 und G3BP stört. [45]

Eine Studie, die sich mit der Bekämpfung von Brustkrebsstammzellen (BCSCs) beschäftigt, welche für das aggressive Wachstum und das Wiederauftreten von Brustkrebs verantwortlich sind, untersucht den Einfluss von Carotinoiden auf den Krankheitsverlauf. Diese Zellen sind resistent gegen Medikamente und tragen zur Metastasierung bei. Die Studie zeigt, dass Methanolextrakte aus Karottenwurzeln mit verschiedenen Methoden gereinigt wurden, um eine Verbindung namens 6-Methoxymellein zu isolieren. Diese Verbindung zeigt vielversprechende Ergebnisse, indem sie das Wachstum und die Bewegung von Brustkrebszellen hemmt und die Anzahl der BCSC-Zellen verringert. Außerdem senkt 6-Methoxymellein die Expression von Stammzellmarkern und wirkt auf die NF- κ B-Signalwege, die an der Produktion von entzündungsfördernden Stoffen wie IL-6 und IL-8 beteiligt sind. Die Studie legt nahe, dass 6-Methoxymellein ein potenzielles Mittel gegen Mammakarzinome sein könnte, indem es gezielt BCSCs über diese Signalwege reguliert. [46]

Karotten könnten weiters eine vorbeugende Wirkung gegen Colorektalkarzinome haben, da sie wichtige bioaktive Verbindungen, Falcarinol (FaOH) und Falcarindiol (FaDOH), enthalten. Diese Polyphenole haben gezeigt, dass sie Krebszellen in einer dosisabhängigen Weise hemmen und antineoplastische Effekte bei Ratten haben. Die schützende Wirkung von FaOH und FaDOH gegen Darmkrebs könnte auf ihre Fähigkeit zurückzuführen sein, entzündungsfördernde

Marker und Enzyme zu hemmen, die eine wichtige Rolle bei der Krebsentstehung spielen. In Studien an Ratten schätzt man, dass der Verzehr von etwa 30 g rohen Karotten pro Tag ausreicht, um eine krebsvorbeugende Dosis zu erreichen. Weitere in-vitro-Studien zeigen, dass FaOH zytotoxischer als FaDOH ist und dass beide zusammen synergistisch wirken, um das Wachstum von Krebszellen zu hemmen. Der Konsum von 2 bis 4 oder mehr rohen Karotten pro Woche (über 32 g pro Tag) zu einem um 17% geringeren Risiko für Darmkrebs im Vergleich zu Personen, die keine rohen Karotten aßen. Dies ergab sich aus einer durchschnittlichen Beobachtungszeit von über 18 Jahren und blieb auch nach umfangreichen Anpassungen der Modelle bestehen. Das optimale Verhältnis dieser Polyacetylene könnte die Darmkrebs-Vorbeugung weiter voranbringen. Es gibt bedeutende Unterschiede in den FaOH- und FaDOH-Gehalten zwischen verschiedenen Karottensorten, was das Potenzial zur Optimierung der krebsvorbeugenden Wirkung von Karotten erhöht. Insgesamt deutet die Forschung darauf hin, dass Karotten einen bedeutenden Beitrag zur Reduktion des Darmkrebs-Risikos leisten könnten, insbesondere, wenn Sorten mit optimalen Gehalten an FaOH und FaDOH gewählt und roh verzehrt werden. [47]

Das Ölextrakt aus der *Daucus carota* kann in menschlichen Zellen mit akuter myeloischen Leukämie (AML) den Zelltod durch Apoptose auslösen. Dies geschieht unter anderem durch einen Signalweg, der durch bestimmte Kinasen reguliert wird, welche wichtige Zellfunktionen beeinflussen. Beim Testen der verschiedenen Fraktionen des Extrakts schnitten Fraktionen mit Pentan und Diethylether am besten ab. Diese Fraktionen zeigten eine starke anticancerogene Wirkung in mehreren menschlichen Zelllinien. Die Behandlung führte zu einer Hemmung der Zellteilung und veranlasste die Zellen, den Zellzyklus zu stoppen und sich selbst abzubauen. Diese Effekte wurden durch die Unterdrückung spezifischer Signalwege in den Zellen verursacht. Außerdem wurde festgestellt, dass eine bestimmte Substanz, β -2-Himachalen-6-ol, in diesen Fraktionen stark gegen Krebs wirkt, indem sie Apoptose auslöst und Zellbewegungen sowie -invasion verringert. In Tierversuchen zeigte diese Substanz weiters eine signifikante Wirkung gegen Hautkrebs, indem sie die Anzahl und Größe von Tumoren reduzierte und die Krebszellen abtötete, ohne große Nebenwirkungen zu verursachen. Die Substanz beeinflusste verschiedene Signalwege, die für das Wachstum und das Überleben von Krebszellen wichtig sind. [50]

Die anticancerogene Wirkung verschiedener Inhaltsstoffe ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

α -Carotin	Wachstum von Prostata-CA ↓
α -Carotin	Wachstum von Neuroblastomzellen ↓
α -Carotin	Wachstum von Metastasen ↓
β -Carotin	Wachstum von Prostata-CA ↓
β -Carotin	Wachstum von Prostata-CA ↑ (bei niedriger Dosis)
β -Carotin	Apoptose von Mamma-CA Zellen
β -Carotin	Wirksamkeit von Medikamente gegen Metastasen ↑
CRPP	Allgemeine anticancerogene Wirkung
FaOH	Risiko für Colon-CA ↓
Ölextrakt	Apoptose bei AML-Zellen
Ölextrakt	Wachstum von Hautkrebs ↓ (in Tierversuchen)

Tabelle 2: Übersicht über anticancerogene Wirkungen

1.1.3.3 Prävention bei kardiovaskulären Erkrankungen

Im Jahre 2022 schätze man, dass ca. 830 Millionen Personen weltweit von Diabetes mellitus betroffen waren und es gab ca. 1,6 Millionen Diabetes-assoziierte Todesfälle im Jahr 2021. Sowohl die Behandlung als auch eine umfassende Prävention sind von medizinischer und volkswirtschaftlicher Bedeutung. [33]

Eine multizentrische Fall-Kohorten Studie mit über 340 000 Teilnehmenden aus Europa untersucht den Zusammenhang zwischen der Einnahme von Vitamin C und Carotenoiden, ihren Plasmawerten und das von denen abgeleitete Risiko an Diabetes mellitus Typ 2 zu erkranken. Die Studie ergab, dass umso höher der Plasmagehalt an Vitamin C und Carotenoiden ist, desto niedriger ist die Wahrscheinlichkeit an Diabetes mellitus Typ 2 zu erkranken. Weiters fand man heraus, dass schon eine kleine Menge an mehr täglich konsumiertem Gemüse die Gefahr an Diabetes mellitus Typ 2 zu erkranken verringert. Im Detail wurde nicht Vitamin C und Carotenoide selbst gemessen, sondern ihre Biomarker, was den Vorteil hat, dass man Fehler durch Falschangaben der teilnehmenden Personen reduziert. [34]

Eine weitere Studie mit bereits an Diabetes mellitus Typ 2 erkrankten Personen ergab, dass eine achtwöchige Supplementation von Astaxanthin, ein Carotenoid,

nicht nur im Serum Triglycerid- und Cholesterinwerte senkt, sondern auch den Taillenumfang vermindert, indem es die Speicher der Adipozyten durch Erhöhung des Serum-Adiponektin entleert. Zusätzlich kann auch ein kardiovaskulärer Schutz nachgewiesen werden. Dieser Effekt wurde auch in einer anderen randomisierten, placebokontrollierten Studie beobachtet. Die Autor: Innen sprechen dort von einer anti-atherosklerotischen Wirkung durch Senkung der Blutfette. Der Effekt kann auch als Prophylaxe bei Gesunden oder Personen mit bereits existierenden Prädiabetes eingesetzt werden. [35]

Eine weitere, weltweit relevante Erkrankung ist die arterielle Hypertonie, welche einer der wichtigsten Risikofaktoren zur Ausbildung von kardiovaskulären Erkrankungen darstellt. Neben dem Ausüben eines gesunden Lebensstils ist auch die Ernährung ein wichtiger Faktor zur Vorbeugung eines Hypertonus. Allen Carotenoiden voraus ist in der antioxidativen Wirkung das Astaxanthin (ca. zehnfach höher). In vielen Studien wurde die blutdrucksenkende Wirkung an Ratten untersucht und nachgewiesen. Eine von diesen beschäftigt sich mit Ratten, welche Symptome einer Präeklampsie aufwiesen. Auch dort konnte ein positives Ergebnis aufgezeigt werden. Einer der Gründe hierfür ist die Reduktion von oxidativem Stress durch Verminderung der Malondialdehydgehalts (ein Marker der Lipidperoxidation) und Stickoxid-Endprodukte (Nitrit & Nitrat). Astaxanthin erhöht auch die Elastizität der Koronararterien und vermindert die Fibrose in der Aorta sowie auch ROS-Spiegel in der Tunica media. [36]

Bei kardiovaskulären Erkrankungen und Bluthochdruck zeigt β -Carotin in präklinischen und klinischen Studien positive Effekte, indem es Arteriosklerose verringert und die Gefäßrelaxation verbessert. β -Carotin senkt den Blutdruck bei hypertensiven und diabetischen Ratten und reduziert oxidativen Stress in der Netzhaut. Es beeinflusst die Expression des ACE-Gens, was den Blutdruck senkt und Nierenschäden verringert. Höhere β -Carotin-Konzentrationen werden mit einem geringeren Risiko für Bluthochdruck und Arteriosklerose assoziiert. Die empfohlene Dosis bei Erkrankten mit Bluthochdruck beträgt etwa 100 $\mu\text{g/kg/Tag}$. [36]

Das β -Carotin Lycopin weist auch auf einen protektiven Effekt auf das kardiovaskuläre System hin. Eine Studie von Wolak et al., (2019) [40] zeigt, dass eine erhöhte Zufuhr von Lycopin, zu einer signifikanten Reduktion des systolischen Blutdruckwertes bei Frauen mit vorbestehender Hypertonie führt,

wobei dieser Effekt langandauernd war. Wichtig zu erwähnen ist, dass dieser Effekt nicht durch Lycopin allein entsteht, sondern aus der Kombination verschiedener Inhaltsstoffe der gesundheitsfördernden Nahrungsmittel. Daraus lässt sich auch ableiten, dass eine niedrige Dosierung von Lycopin nicht zu dem gewünschten Effekt führt. [39]

Carotenoid	Wirkung
Vitamin C+ Carotenoide	Risiko für Diabetes mellitus 2 ↓
Astaxanthin	Blutdruck ↓
Astaxanthin	BMI ↓
Astaxanthin	Blutfette BMI ↓
Astaxanthin	anti-atherosklerotischen Wirkung
β-Carotin	anti-atherosklerotischen Wirkung
β-Carotin	Blutdruck ↓
Lycopin	Blutdruck ↓

Tabelle 3: protektive Eigenschaften auf das kardiovaskuläre System

Tabelle 3 zeigt verschiedene Carotenoide und deren gesundheitliche Wirkungen, darunter eine blutdrucksenkende und anti-atherosklerotische Wirkung sowie eine potenzielle Risikosenkung für Typ-2-Diabetes bei Kombination mit Vitamin C.

1.1.3.4 Wirkung bei Übergewicht

Adipositas, auch als starkes Übergewicht oder Fettleibigkeit bezeichnet, wird durch die WHO als Zustand übermäßiger Fettablagerung definiert. Im Jahr 2022 litten weltweit ca. 2,5 Milliarden Erwachsene an Adipositas (Verdoppelung seit 1990 und weiterhin steigend). Quantitativ lässt sich die Adipositas durch den BMI darstellen ($\text{Körpergewicht (kg)}/\text{Körpergröße (m)}^2$). Werte größer als 25 legen die Diagnose des Übergewichts dar, bei Werten größer als 30 spricht man von Adipositas. [19]

Adipositas ist eine Erkrankung, die multifaktoriell entstehen kann. Aus diesem Grund ist zur Bekämpfung dieser Krankheit nicht nur eine Maßnahme sinnvoll, sondern sie muss analog zur Ätiologie auf verschiedenen Wegen behandelt werden. [28]

Wie schon erwähnt, weisen Adipozyten eine hohe Carotenoid-Konzentration auf und fungieren somit auch als Hauptspeicherort für diese. Am häufigsten kommen die beiden Carotenoide Lycopin (>50%) und an zweiter Stelle das β-Carotin (33%)

vor. Nachweisen konnte man dies vor allem durch den Vergleich der Carotenoid-Konzentrationen im Blutplasma und in den Adipozyten. Die Konzentration im Plasma sinkt, wenn der Anteil der Fettmasse steigt. Somit ist der Gehalt von Carotenoiden im Fettgewebe auch ein wichtiger Langzeitindikator für die Aufnahme über die Nahrung.[18]

Eine der hauptsächlichen Wirkungen von Carotenoiden auf die Adipozyten ist die Hemmung der Adipogenese durch Hemmung des Peroxysomen-Proliferator-aktivierenden Rezeptor (PPAR), welcher ausschlaggebend für die Differenzierung und Lipogenese der reifen Adipozyten ist. Weitere vorrangige Wirkung ist die Bräunung der Adipozyten und dadurch Kontrolle der Insulinsensitivität und des Energiehaushaltes, sowie die Kontrolle des Energiehaushaltes und die entzündungshemmende Wirkung. [18,20]

Auch das Carotenoid β -Cryptoxanthin kann Körperfett, Gewichtszunahme und den Plasmaglukosespiegel reduzieren, indem es die Expression von UCP1 über den RAR-Signalweg erhöht. [48]

In einer weiteren Studie wurde das Einzelnukleotid „rs4445711“ untersucht. Es wird vermutet, dass dieses einen Zusammenhang zwischen einem niedrigeren BMI oder Fettleibigkeit bei Personen mit häufigerem Karottenverzehr darstellt. Dies ist durch die Interaktion der in der Karotte enthaltenen Nährstoffe mit dem Allel erklärbar. Das Nukleotid rs4445711 befindet sich in einem nicht-codierenden Bereich des Thioredoxinreduktase 1 (TXNRD1) Gens, welches durch den Nrf2/Keap1-Signalweg gesteuert wird. Die TXNRD1-Werte im Fettgewebe korrelieren mit dem BMI. [49]

1.1.4 Stellenwert der Karotte in der österreichischen Ernährungspyramide

Karotten spielen eine wichtige Rolle in der alltäglichen Ernährung und lassen sich im Zusammenhang mit der österreichischen Ernährungspyramide (siehe Abbildung 5), somit den nationalen Lebensmittel-bezogenen Nährstoffempfehlungen, gut darstellen. Diese Pyramide betont die Bedeutung von Obst und Gemüse, die die Basis einer gesunden Ernährung darstellen. Es wird empfohlen, täglich fünf Portionen Obst und Gemüse zu sich zu nehmen, wobei Gemüse den größeren Anteil ausmachen sollte. Eine Portion von Obst und Gemüse entsprechen in etwa einer menschlichen Faust. Karotten eignen sich hier

besonders gut, da sie, wie oben erwähnt, reich an wichtigen Nährstoffen sind, welche gesundheitsfördernde Eigenschaften haben. Im Alltag sind Karotten äußerst vielseitig einsetzbar. Sie können roh, als Snack verzehrt werden, sei es allein oder in Kombination mit Dips. Roh geriebene Karotten passen hervorragend in Salate und sorgen für eine knackige Textur. Gekocht oder gedünstet werden Karotten oft als Beilage zu verschiedenen Hauptgerichten serviert und behalten dabei einen Großteil ihrer Nährstoffe. In Suppen und Eintöpfen sind sie ein unverzichtbarer Bestandteil, da sie nicht nur Geschmack, sondern auch Farbe und wertvolle Nährstoffe liefern. Eine weitere Möglichkeit, Karotten in die tägliche Ernährung zu integrieren, ist in Form von Säften oder Smoothies, wo sie ihre Nährstoffe in flüssiger Form bereitstellen. Auch in süßen Speisen wie Karottenkuchen oder Muffins finden Karotten Verwendung und bringen durch ihren natürlichen Zuckergehalt eine gesunde Süße mit. Wichtig zu erwähnen ist jedoch, dass der Verzehr in roher Form empfohlen wird. Karotten tragen also maßgeblich dazu bei, die tägliche Empfehlung an Gemüseportionen gemäß der österreichischen Ernährungspyramide zu erfüllen und liefern dabei wichtige Vitamine und Mineralstoffe, die für eine ausgewogene Ernährung unerlässlich sind. [51] [52]

Die Österreichische Ernährungspyramide



Abbildung 5: österreichische Ernährungspyramide

Quelle: „Die Österreichische Ernährungspyramide und der gesunde Teller“. [85]

1.1.5 Carotenoid-Messung über die Haut

Bereits 1972 wurden Überlegungen zu der Auswirkung von β -Carotin in der Haut angestellt. In einer Studie wurde beobachtet, ob sich eine orale Substitution von β -Carotin auf den Lichtschutz auswirkt. Man konnte feststellen, dass die Dosis-Schwelle von Sonnenlicht, um einen Sonnenbrand zu erleiden, bei Personen mit β -Carotin Intervention signifikant im Vergleich zur Placebogruppe erhöht war. Die benutzte Dosis war jedoch zu klein, um einen generellen Lichtschutz mit oralen Carotenoiden zu empfehlen. [53]

1993 wurde der erste klinische Versuch unternommen, eine Erkrankung mit Hilfe von Carotenoiden zu heilen. Bei Patient: Innen mit bekannter erythropoietischer Protoporphyrin kommt es durch oxidative Vorgänge zum Auftreten von Ödemen und Erythemen. Diese Hautschäden konnten durch die Behandlung mit Carotenoiden vermindert werden. [56]

In der menschlichen Haut finden sich verschiedene Carotenoide, darunter β -Carotin und Xanthophylle, die ungleichmäßig über den Körper verteilt sind. Die höchsten Konzentrationen sind an der Stirn und in den Handflächen zu finden. Eine mögliche Erklärung ist die Verteilung von Schweiß- und Talgdrüsen, die Carotenoide in die äußere Hautschicht transportieren können. [54,61]

Studien zeigen, dass die Konzentration von Carotenoiden in der Haut bei Nahrungsergänzung steigt, jedoch langsamer als im Blut und nach Beendigung der Einnahme länger erhalten bleibt. Die Konzentration von β -Carotin und Lycopin im Plasma stimmt mit der Konzentration in der Haut überein. Diese Erkenntnis trifft jedoch nur auf die beiden genannten Carotenoide zu, was dazu führt, dass die Gesamtcarotenoid-Konzentration bei Hautmessungen nicht sehr aussagekräftig sein kann, da z.B.: Lutein- oder Zeaxanthin- Wert falsch niedrig sein könnten. [55] Der Lichtschutz von β -Carotin funktioniert zum Großteil über die antioxidative Wirkung des Moleküls. [54]

Die Carotenoidkonzentration in der Haut kann Hinweise auf den Lebensstil und die Gesundheit einer Person geben. So haben beispielsweise Raucher, Menschen mit einer geringen Obst- und Gemüsezufuhr sowie Patienten, die Chemotherapien erhalten, deutlich niedrigere Carotenoidwerte in der Haut im Vergleich zu gesunden Nichtrauchern, die regelmäßig Obst und Gemüse essen. Wichtig ist, dass der Verzehr von frischem Obst als Carotenoidquelle natürlich der Einnahme von industriell gefertigten Nahrungsergänzungsmitteln vorzuziehen ist. [57]

Nachdem Carotenoide die Darmpassage überwunden haben, reichern sie sich in der Haut hauptsächlich in der Epidermis an. Gespeichert werden sie jedoch zum Großteil im subkutanen Fettgewebe und von dort gemeinsam mit Schweiß und Talg an die Körperoberfläche abgegeben. Viele Hauterkrankungen entstehen durch Schäden, die durch photooxidativen Stress verursacht werden. UVA-Strahlung, die den Großteil der UV-Strahlung ausmacht, dringt tief in die Haut ein und fördert die Hautveränderung, ohne direkt mit der DNA zu interagieren. Im Gegensatz dazu wird UVB-Strahlung überwiegend von den obersten Hautschichten, den Keratinozyten, aufgenommen und kann direkt DNA-Schäden verursachen, was zu Mutationen und Hautkrebs führen kann. UVB ist außerdem die Hauptursache für Sonnenbrand und entzündliche Hautreaktionen, denn dies führt zu oxidativen Stress und fördert Entzündungen und den Abbau von Hautstruktur. Zudem steht sichtbares Licht im Zusammenhang mit einigen lichtbedingten Hauterkrankungen. Zusätzlich zum Schutz mit physikalischen und/oder chemischen Mitteln, kann der Schutz durch die Einnahme bestimmter Nährstoffe, die antioxidative Eigenschaften besitzen, wie Carotenoide, Vitamin C und E verbessert werden. Diese Carotenoide benötigen jedoch längere Einnahmezeiträume, um effektiv zu sein. Einige Carotenoide absorbieren UV-Licht besonders gut, während andere, wie Lutein und Zeaxanthin, vor blauem Licht schützen. Zusätzlich zu ihrer Fähigkeit Licht direkt zu absorbieren, wirken Carotenoide als Antioxidantien, die schädliche freie Radikale abfangen und damit UV-Schäden reduzieren. Sie beeinflussen auch die Genexpression, was Entzündungen und schädliche Hautreaktionen durch UV-Licht mindern kann. Damit diese Nährstoffe wirksam sind, müssen sie in ausreichender Menge in die Haut gelangen, was von ihren chemischen Eigenschaften abhängt, die die Aufnahme und Verteilung im Körper beeinflussen.

Studien haben gezeigt, dass eine carotenoidreiche Ernährung die Haut widerstandsfähiger gegenüber UV-induzierten Schäden macht und somit das Risiko für Sonnenbrand senkt.

[58]

Bei der genaueren Betrachtung von β -Carotin fällt auf, dass sich die meisten Studien zur Rolle von Carotenoiden im Lichtschutz auf β -Carotin konzentriert haben. Es zeigt sich als wirksam bei der Vorbeugung von UV-bedingten Hautrötungen und bei der Behandlung bestimmter lichtbedingter

Hauterkrankungen wie EPP und PMLE. Der Schutz vor Licht durch β -Carotin hängt sowohl von der Dosis als auch von der Dauer der Einnahme ab. In den meisten Untersuchungen wurde ein schützender Effekt erst nach mindestens 10 Wochen bei einer Dosis von mehr als 12 mg pro Tag festgestellt. Studien haben gezeigt, dass eine ausreichend lange Behandlungsdauer notwendig ist, um einen optimalen Schutz zu erzielen. Auch im Labor bestätigte sich die Schutzwirkung von β -Carotin: So senkte es die Mutationsrate der mtDNA in Hautzellen nach UV-Bestrahlung. Allerdings gibt es auch Bedenken hinsichtlich einer alleinigen, hochdosierten Supplementierung. Langzeitstudien mit Risikogruppen (Raucher*innen und Asbestarbeiter*innen) zeigen, dass hohe Dosen von β -Carotin (20–30 mg/Tag) über mehrere Jahre zu einem Anstieg der Lungenkrebsfälle um etwa 20 % führen. Dies könnte auf die Bildung bestimmter Abbauprodukte von β -Carotin zurückzuführen sein, die möglicherweise den Retinsäurerezeptor stören. Trotz dieser Risiken wird β -Carotin von Dermatolog*innen weiterhin zur Lichtschutzprävention empfohlen, insbesondere bei Patienten mit lichtempfindlichen Hauterkrankungen wie EPP und zur Verringerung von phototoxischen Schäden durch bestimmte Medikamente. [58]

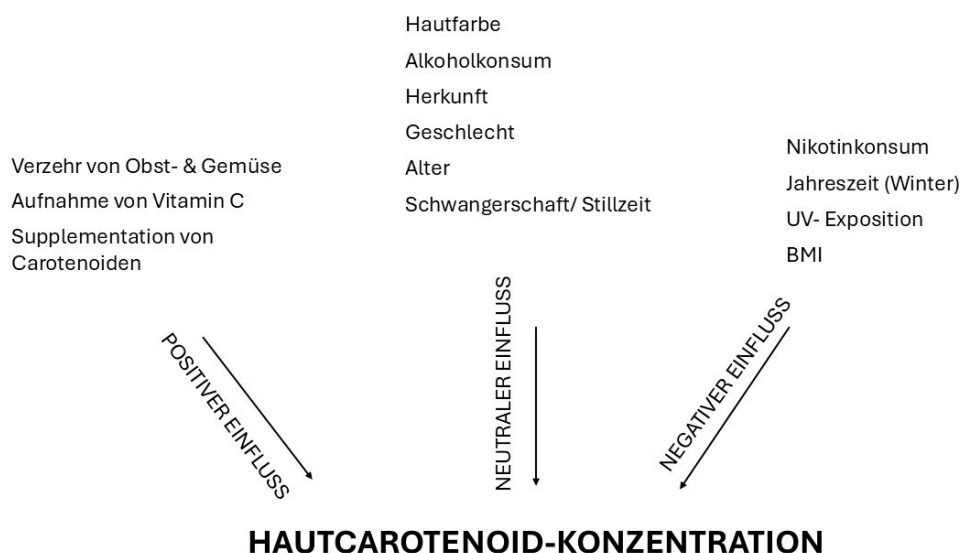


Abbildung 6: Einfluss auf die Hautcarotenoid- Konzentration

Zu den wichtigsten Faktoren, die den Carotenoidspiegel in der Haut beeinflussen, gehören Geschlecht, BMI, Ethnizität, Rauchverhalten, die Einnahme von Carotenoid-Nahrungsergänzungsmitteln und kürzliche Sonneneinstrahlung (siehe

Abbildung 6). Diese sollten in Studien berücksichtigt werden, die den Haut-Carotenoidspiegel zur Schätzung der Obst- und Gemüseaufnahme verwenden. Weitere Faktoren wie Alkoholkonsum, Medikamenteneinnahme und Jahreszeit könnten ebenfalls Einfluss nehmen, bedürfen jedoch weiterer Forschung. Darüber hinaus sind bislang Einflüsse von Genetik, Menstruationszyklus und Gesundheitszustand auf den Carotenoidspiegel in der Haut zurückzuführen. [59] Den negativen Einfluss vor allem vom Nikotinkonsum bestätigt eine Stichprobe aus Japan, bei der bei verschiedenen Personen eine Carotenoid-Messung über die Haut durchgeführt wurde, wobei vor allem bei männlichen Rauchern ein stark verminderter Wert aufgetreten ist. [62]

Carotenoide bieten einen gewissen Schutz vor UV-bedingten Hautschäden, jedoch ist ihr Schutzgrad begrenzt und nicht mit der Wirkung eines Sonnenschutzmittels mit hohem Lichtschutzfaktor (LSF) vergleichbar. Die alleinige Einnahme von Carotenoiden reicht nicht aus, um die Haut vollständig zu schützen, und sollte daher nicht als Ersatz für klassische Sonnenschutzmittel betrachtet werden, besonders bei längerer Sonneneinstrahlung. Studien zeigen, dass Carotenoide nicht ausreichend vor schweren UV-bedingten Erkrankungen wie maligne Tumoren oder aktinischer Keratose schützen können. Dennoch deuten Untersuchungen darauf hin, dass die Einnahme von Carotenoiden einen systemischen Schutz bietet, der die Haut widerstandsfähiger gegen UV-Schäden macht. Eine orale Ergänzung von β -Carotin kann laut Untersuchungen maximal einen LSF von 4 erreichen. Im Gegensatz zu topisch angewendeten Sonnenschutzmitteln ist dieser systemische Schutz jedoch in der gesamten Hautoberfläche vorhanden und wirkt gleichmäßig über den gesamten Körper. Carotenoide und Sonnenschutzmittel sind dabei keine konkurrierenden Ansätze, sondern ergänzen sich gegenseitig. Untersuchungen haben gezeigt, dass die kombinierte Anwendung von Carotenoiden, sowohl oral als auch topisch, den besten Schutz vor UV-Schäden bietet. Dies wird insbesondere durch Studien bestätigt, die die kombinierte Gabe von Lutein und Zeaxanthin untersuchten. Ein erheblicher Anteil der UV-Schäden entsteht, wenn die Haut ungeschützt ist, so dass ein systemischer Schutz durch Carotenoide eine wichtige Ergänzung im Alltag sein könnte, um das Risiko zufälliger UV-Exposition zu verringern und die Hautgesundheit zu fördern. In diesem Zusammenhang haben Dermatolog:Innen

betont, dass oraler Lichtschutz durch Carotenoide ein wesentlicher Bestandteil eines umfassenden UV-Schutzes sein sollte. [61]

Eine Forschungsgruppe veröffentlichte 2022 eine Studie über den Zusammenhang zwischen Hautcarotenoid-Werten und dem Metabolischen Syndrom. Diese Studie zeigte folgendes Hauptergebnis: Patienten mit Metabolischem Syndrom haben eine signifikant niedrigere Hautcarotenoid-Konzentration im Vergleich zu Personen ohne dieser Erkrankung. Die Studie selbst basiert auf früheren Erkenntnissen, die darauf hinweisen, dass Carotenoide eine wichtige Rolle im Kampf gegen oxidativen Stress und chronischen Entzündungen spielen, die mit dem metabolischen Syndrom verbunden sind. Weiters wurde auch eine positive Korrelation zwischen Hautcarotenoid-Werten und HDL festgestellt, was auf die schützende Wirkung bestimmter Carotenoide wie Lutein und Zeaxanthin hingewiesen wird, die hauptsächlich durch HDL im Blut transportiert werden. Die Messung erfolgte nicht invasiv über die Haut. Zusammenfassend legt die Studie nahe, dass Hautcarotenoid-Werte ein Indikator für das metabolische Syndrom sein können, und betont die Bedeutung einer weiteren Erforschung der antioxidativen Effekte von Carotenoiden zur Vorbeugung und Erkennung des metabolischen Syndroms [60]

2 Material und Methoden

2.1 Veggie Meter®

Das Veggie Meter® ist ein Gerät, das auf Spektroskopie basiert und zur Messung von Carotenoiden in der Haut dient. Es wurde 2015 entwickelt. Ziel war es, den Carotenoidgehalt in der Haut als Hinweis auf den Obst- und Gemüseverzehr einer Person zu erfassen. Das Gerät ist klein, tragbar und liefert nicht-invasiv in 15 bis 20 Sekunden ein Ergebnis für eine Messung. Studien haben gezeigt, dass die Reflexionsspektroskopie-Methode mit HPLC-Analysen menschlicher Gewebeproben vergleichbare Ergebnisse liefert. Das Gerät wird an einen Laptop angeschlossen und zeigt den „Haut-Carotenoid-Score“ in einem Histogramm an, wobei die x-Achse den Wertebereich von 0 bis 800 abbildet und die y-Achse die Häufigkeit in einer Referenzpopulation darstellt (siehe Abbildung 7). Werte über 800 sind selten und markieren daher die Obergrenze in der Anzeige des Geräts. Diese Referenzwerte basieren auf einer großen Stichprobe von Messungen, die mit dem Veggie Meter® durchgeführt wurden. Die Verteilung ist leicht asymmetrisch und neigt sich in Richtung höherer Werte. Das Histogramm hilft, den Haut-Carotenoid-Wert eines Nutzers mit der Referenzpopulation zu vergleichen, indem es die Personen aller Altersgruppen, Geschlechter und ethnischen Hintergründe umfasst. Obwohl es, bedingt durch Ernährungsgewohnheiten und physiologische Faktoren, Unterschiede im Durchschnittswert zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen geben kann, gibt es noch keine spezifischen Referenzdaten für einzelne Subpopulationen. Um die Ergebnisse besser interpretieren zu können, sind weitere Daten erforderlich, die spezifische Referenzwerte für unterschiedliche physiologische Zustände und Ernährungsgewohnheiten ermöglichen. Die Messungen des Veggie-Meters zeigen eine gute Übereinstimmung mit anderen Methoden wie Hautbiopsien, Blut-Carotenoidkonzentrationen und dem selbst angegebenen Verzehr von Obst und Gemüse. Diese Zuverlässigkeit macht das Gerät ideal für Studien, die den Ernährungsstatus und die Nahrungsaufnahme untersuchen wollen, sowohl in Beobachtungs- als auch in Interventionsstudien. [64,65,66]

Die derzeitige Studienlage zeigt, dass das Veggie Meter® ein zuverlässiges Instrument ist, um Veränderungen im Carotenoidgehalt der Haut zu messen. Diese Messungen sind nützlich, um beispielsweise den Erfolg von Programmen zur Förderung des Obst- und Gemüseverzehrs zu bewerten. Menschen mit höheren Ausgangswerten für Haut-Carotenoide sowie ältere Personen zeigen tendenziell geringere Veränderungen, was bei der Planung von Studien berücksichtigt werden sollte. Weiters ist es wichtig, den Carotenoidstatus vor einer Intervention zu erfassen, um die Ergebnisse korrekt zu interpretieren. Variablen wie Ethnie, Geschlecht oder Körperfett beeinflussten die Wirkung der Intervention nicht signifikant, obwohl das Alter eine anfängliche, jedoch nicht ausschlaggebende Rolle spielt. Zudem gibt es Hinweise darauf, dass bestimmte Messbedingungen, wie der Standort der Studie, die Ergebnisse beeinflussen könnten. Andere Faktoren wie Hautfarbe, Hämoglobin oder Melanin können die Reaktion der Haut-Carotenoide beeinflussen. Trotz einiger Einschränkungen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass das Veggie Meter® ein wertvolles Werkzeug zur Evaluierung von Ernährungsinterventionen ist. [67]



Abbildung 7: Veggie Meter®

2.2 Biozoom

Die Messung der Haut-Carotenoid Werte durch das Gerät der Firma Biozoom verwendet auch wie das vorherige Gerät die Reflexions-Spektroskopie, genauer gesagt die multiplen orts aufgelösten Reflexionsspektroskopie-Sensoren (MSRRS), als Messmethode. Der Sensor nutzt Lichtquellen im Bereich von 350 bis 1000 nm, die von 118 LEDs in 16 Stufen abgestrahlt werden. Ein Sensor erfasst das von der Haut reflektierte Licht an 152 lichtempfindlichen Bereichen. Spezielle Algorithmen werden verwendet, um die Carotenoidwerte optimal an die Messungen anzupassen. Diese werden farblich in Werten von 0,1-12,0 angegeben. Die Messung erfolgt am Daumenballen der Handfläche, wobei die Haut den Sensor vollständig abdeckt, um Streulicht zu vermeiden (siehe Abbildung 8). [68,69] Die breite Fläche für die Handauflage macht den verwendeten Sensor nicht so stark anfällig für Fehler, was einen Vorteil gegenüber den anderen Geräten bietet. Weiters verhindert das Gerät selbst fehlerhafte Ergebnisse, indem es den Anwender auffordert die Messung bei Bedarf zu wiederholen. [70]

Die Anwendung des Gerätes ist für die Anwender*innen äußerst unkompliziert. Laut Hersteller ist eine App für das Smartphone integriert, welche einfach installiert wird. Nach Verbindung des Sensors mit der App wird innerhalb weniger Minuten der antioxidative Status der untersuchten Person angezeigt. Limitationen der Messung kann Sonnenlicht, nasse Haut, florierende Hauterkrankungen, Handlotionen, Sonnencreme oder Unruhe während der Messung sein. Einige dieser Fehlerquellen können vermindert werden, indem man sich vor der Messung die Hände wäscht und trocknet. [71]

Eine kürzlich veröffentlichte Studie untersucht die Serum-Carotenoidkonzentration, welche mittels HPLC gemessen wurde, im Vergleich zu den Haut-Carotenoidwerten, die mit einem Biozoom-Gerät bei 811 Probanden erfasst wurden. Die Ergebnisse zeigten eine starke Korrelation zwischen beiden Messmethoden. Die neue MSRRS-Technik ist nicht-invasiv, mobil und ermöglicht eine schnelle Datenerfassung. Eine Messung dauert lediglich 15 Sekunden was eine Weiterentwicklung, gegenüber der ursprünglich eingesetzten Reflexionsspektroskopie, darstellt. [72]

Eine Besonderheit dieses Sensors ist, dass er in der Lage ist, tief in das Gewebe einzudringen und somit auch Biomarker im Blut zu erkennen. Die durchschnittliche Messdauer auf der Haut beträgt etwa zehn Sekunden. Ein Vorteil des Sensors ist die Möglichkeit, unterschiedliche Messfehler zu erkennen, wie beispielsweise Bewegungen der Versuchsperson oder einen unvollständigen Hautkontakt. Diese automatische Fehlererkennung ermöglicht es, die Qualität der Messungen zu überprüfen und gegebenenfalls zu wiederholen, um verlässliche Daten für wissenschaftliche Studien zu gewährleisten. Zusammengefasst ermöglicht der MSRRS-Sensor präzise und tiefgreifende Messungen, die für die Untersuchung von Haut und darunterliegenden Gewebeschichten sowie von Biomarkern im Blut von Bedeutung sind. [73]



Abbildung 8: Biozoom

2.3 Studiendesign

Die ESAN III Studie ist eine randomisierte (MUG-Randomizer), Placebo-gestützte, nicht verblindete, monozentrische Nahrungsmittelstudie. Die Studie ist durch den Ethikantrag Nr. 36-273 ex 23/24 von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz zur Durchführung freigegeben worden. Alle Studienteilnehmerinnen haben den Informed Consent unterschrieben und waren mit der Teilnahme einverstanden.

2.4 Ablauf und Parameter

Nach erfolgter Rekrutierung wurde durch einen Studienmitarbeiter die möglichen Probandinnen durch Ein- und Ausschlusskriterien vorsortiert (siehe Tabelle 4). Wenn diese die Einschlusskriterien erfüllen, gab es ein Erstgespräch und dabei wurden diverse Fragebögen für die erste Untersuchung (V1) ausgehändigt. Wenn dieses Gespräch auch positiv verlief, kamen die Probandinnen im Zeitraum von März 2024 bis Jänner 2025 insgesamt dreimal, mit einem Abstand von sechs Wochen, zu einer Untersuchung. Die Probandinnen der Interventionsgruppe haben zweimal täglich 100 ml Karottensaft (entsprechend 10 mg Carotinoide pro Tag) konsumiert und die Placebogruppe hat über einen Zeitraum von 6 Wochen zweimal täglich 100 ml Wasser getrunken. Der Randomizer (Online-Tool der Medizinischen Universität Graz) wurde für die Randomisierung der Gruppenzuordnung verwendet. Die Teilnehmerinnen wurden angewiesen, während des Interventionszeitraums ihren normalen Lebensstil beizubehalten.

Bei V1 wurde die Probandin nochmals mittels vorliegenden CRF-Blatt gescreent, um die Ausschlusskriterien so genau wie möglich einzuhalten, zusätzlich zu den oben genannten Parametern, wurde auch die derzeitige Phase des Menstruationszyklus erhoben. Weiters wurde bei den Probandinnen eine Blutabnahme durchgeführt, bei welcher EDTA, Serum und Lithium-Heparin reiche Röhrchen abgenommen wurden. Die Blutproben wurden anschließend sofort nach der Punktion von den dafür zuständigen Mitarbeiterinnen zentrifugiert und weiterverarbeitet. Als nächstes wurden physische Merkmale gemessen: Körpergewicht, Körpergröße, Blutdruck und Hüftumfang, um die genaue Zusammensetzung des Körpers darzustellen, wurde zusätzlich noch eine Bioimpedanzmessung durchgeführt. Abschließend wurde noch der Carotenoidgehalt mittels zwei verschiedener Messverfahren über die Haut gemessen.

Die Visiten zum Zeitpunkt zwei und drei beinhalteten, bis auf die Messung der Körpergröße, dieselben Schritte.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Weibliches Geschlecht	Fettstoffwechselstörungen
Die Person fühlt sich gesund	Schwangerschaft & Stillzeit
Alter: 18-65 Jahre	Diabetes mellitus
BMI: 18,5 – 24,99 kg/m ² oder >30 kg/m ²	St.p. Adipositaschirurgie
	Spezielle Diäten
	Alkohol- oder Drogenmissbrauch
	Akute Erkrankungen
	Fruktose- Intoleranz
	Erkrankungen des Magen- & Darmtraktes
	Bluterkrankungen
	Bekannte Hormonerkrankung
	Bekannte Erkrankung des Immunsystems
	Bekannte psychische Erkrankungen

Tabelle 4: Ein- & Ausschlusskriterien

2.5 Tätigkeiten im Rahmen der Diplomarbeit

Im Rahmen dieser Diplomarbeit lag der Fokus auf Blutabnahmen und Durchführung der körperlichen Untersuchungen. Weiters wurden die Ergebnisse der Bioimpedanzanalyse mit einer geeigneten Software ausgewertet, um in weiterer Folge die Forschungsfrage beantworten zu können.

2.5.1 Messung der Studienparameter

Während den drei Visiten wurden verschiedene anthropometrische und physiologische Messgrößen erhoben, um aussagekräftige Daten zur körperlichen Konstitution und zum Gesundheits- bzw. Ernährungsstatus der teilnehmenden Probandinnen zu gewinnen. Die Auswahl der erhobenen Parameter erfolgte in Anlehnung an etablierte Standards aus der Ernährungswissenschaft sowie der Präventions- und Gesundheitsforschung. Die Durchführung der Messungen verlief nach einheitlichen, validierten Methoden, um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit und Aussagekraft der erhobenen Daten zu gewährleisten.

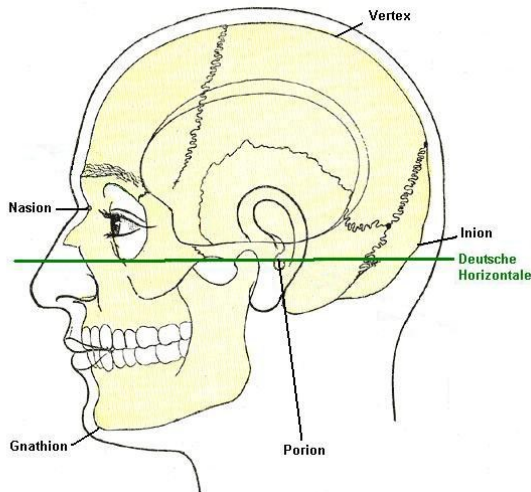


Abbildung 9: Frankfurter Horizontale

Quelle: [80] gemeinfrei

Die Messung der Körpergröße wurde mit einem geeichten Stadiometer in aufrechter Haltung und ohne Schuhe sowie ohne Hose bzw. Rock durchgeführt. Die Teilnehmerinnen wurden gebeten, aufrecht mit geschlossenen Beinen und entspanntem Kopf in der Frankfurter Horizontalen zu stehen (siehe Abbildung 9). Das Messergebnis wurde auf 0,01 Meter dokumentiert.

Das Körpergewicht wurde mithilfe einer kalibrierten Digitalwaage erhoben. Auch hierbei trugen die Probandinnen keine Schuhe und keine Hose bzw. Rock, um Messverfälschungen zu vermeiden. Hauptgrund dafür ist, dass durch die verschiedenen Wetterbedingung nicht bei jedem Messzeitpunkt dieselbe Bekleidung gewährleistet werden kann. Das Gewicht wurde ebenfalls auf 0,1 kg genau erfasst. [80]

Aus den Werten für Größe und Gewicht wurde im Anschluss der Body-Mass-Index (BMI) berechnet (siehe Abbildung 10). Dieser stellt ein einfaches, jedoch weit verbreitetes Maß zur Einordnung des Körpergewichts im Verhältnis zur Körpergröße dar und ermöglicht eine grundlegende Einschätzung des Ernährungszustandes.

$$\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht (kg)}}{(\text{Körpergröße (m)})^2}$$

Abbildung 10: BMI

Quelle: [81] gemeinfrei

Zur ergänzenden Beurteilung der Körperzusammensetzung und insbesondere der abdominalen Fettverteilung wurde der Taillenumfang gemessen. Die Messung erfolgte auf Höhe des kleinsten Hüftumfangs, in aufrechter Haltung und nach normalem Ausatmen. Hierbei kam ein flexibles, nicht dehnbares Maßband zum Einsatz. Der Taillenumfang gilt als relevanter Indikator zur Einschätzung des viszeralen Fettgewebes, welches mit einem erhöhten Risiko für metabolische

Erkrankungen wie Typ-2-Diabetes oder kardiovaskuläre Komplikationen assoziiert ist. [82]

Ein wesentlicher Bestandteil der Datenerhebung stellte die Durchführung einer venösen Blutabnahme dar. Diese erfolgte durch geschultes Personal unter Einhaltung hygienischer Standards. Die Blutproben dienten der Bestimmung verschiedener Parameter, darunter etwa Vitamin C-Gehalt und die verschiedenen Carotenoide. Die Analyse der Blutwerte ermöglicht Rückschlüsse auf den Ernährungsstatus, die Stoffwechsellage und den allgemeinen Gesundheitszustand der Probandinnen.

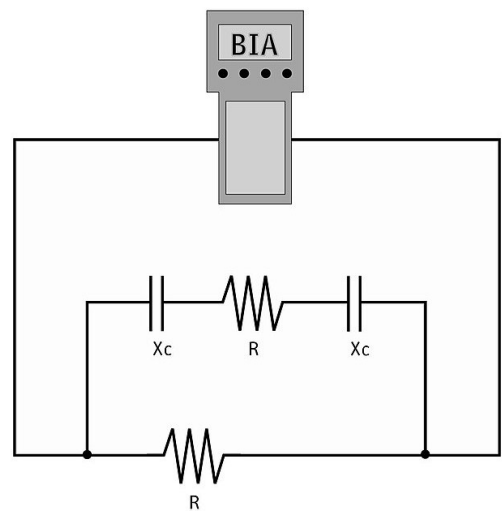
Ein innovativer Aspekt der Erhebung stellte die Bestimmung der Haut-Carotenoid-Werte dar. Diese erfolgte mittels nicht-invasiver Hautscanner, welche die Konzentration von Carotinoiden im Gewebe der Handinnenfläche oder Fingerkuppe misst. Carotenoide sind sekundäre Pflanzenstoffe mit antioxidativer Wirkung, deren Konzentration in der Haut als Biomarker für den Konsum von Obst und Gemüse interpretiert werden kann. Die Messung bietet somit eine interessante Ergänzung zu klassischen Erhebungsmethoden wie Fragebögen zur Ernährung und erlaubt eine objektivere Einschätzung der Aufnahme pflanzlicher Lebensmittel. [1]

Die Auswahl dieser spezifischen Parameter basiert auf dem Ziel, ein möglichst umfassendes Bild des Gesundheitszustandes der Studienteilnehmerinnen zu zeichnen. Die Verbindung aus klassischen anthropometrischen Daten (Größe, Gewicht, Taillenumfang), biochemischen Laborparametern (Blutwerte) und nicht-invasiven Messmethoden (Haut-Carotenoid-Scanner) ermöglicht eine gesamtheitliche Betrachtung individueller Gesundheits- und Ernährungszustände. Die gewonnenen Daten dienen in der Diplomarbeit als Grundlage für die Analyse möglicher Zusammenhänge zwischen Carotenoidkonzentration und der freien Fettmasse.

Die Durchführung der Messungen erforderte sowohl fachliches Wissen als auch ein hohes Maß an Genauigkeit und Verantwortungsbewusstsein im Umgang mit den teilnehmenden Personen. Die Einhaltung ethischer Standards, insbesondere im Hinblick auf den Datenschutz und die körperliche Unversehrtheit der Probandinnen, hatte dabei oberste Priorität.

2.5.2 Auswertung der Bioimpedanzmessung

Während den Visiten wurde bei jeder Studienteilnehmerin auch eine Bioimpedanzanalyse (BIA) durchgeführt. Die BIA ist eine nicht invasive und leicht zugängliche Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Das Verfahren beruht auf den unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften beziehungsweise der Leitfähigkeit verschiedener Gewebearten. Beispielsweise ist die fettfreie Masse (FFM) reich an Wasser und Elektrolyten, wodurch sie elektrische Ströme gut leitet, und eine niedrige Impedanz aufweist. Im Gegensatz dazu enthält Fettmasse



R = Resistanz, Wirkwiderstand (Ohm'scher Widerstand)
 X_c = Reaktanz, kapazitiver Widerstand (Scheinwiderstand)

Abbildung 11: Schaltkreis Bioimpedanz

Quelle: [83] gemeinfrei

kaum Wasser und ist ein schlechter Leiter, was zu einer höheren Impedanz führt. Mit zunehmendem Fettanteil steigt auch der Widerstand gegen den elektrischen Strom. Die BIA erfasst den Spannungsabfall, der auftritt, wenn Strom durch verschiedene Körperbereiche fließt, sowie die von Zellmembranen verursachte Kapazität. Die Berechnung der FFM erfolgt durch Schätzung des Gesamtkörperwassers, während die Fettmasse (FM) ermittelt wird, indem die FFM vom Gesamtgewicht subtrahiert wird. „FFM ist alles, was kein Körperfett ist.“ [Kyle u. a., „Bioelectrical impedance analysis—part I“.] [74]

Während der Messung werden verschiedene Größen ermittelt. Die Resistance (R_z ; Wasserwiderstand), welche den Stromfluss durch den Körper einschränkt, und von dem Gewebewasseranteil abhängt, der Reaktanz (X_c ; Zellwiderstand), der durch Zellmembranen und Gewebegrenzflächen verursacht wird, sowie der Phasenwinkel (PA), der die Beziehung zwischen R_z und X_c beschreibt. Letzterer kann den Gesundheitszustand der Zelle widerspiegeln (siehe Abbildung 11). [75] Für eine aussagekräftige Messung sollte die Person für mindestens fünf Minuten flach am Rücken liegen, damit sich das Körperwasser in allen Kompartimenten gleich verteilt. Die Elektroden müssen exakt an den vorgegebenen Positionen und

in der richtigen Reihenfolge angebracht werden. Eine sorgfältige Vorbereitung der Haut, z.B.: waschen oder entfetten, ist notwendig, um eine optimale elektrische Leitfähigkeit sicherzustellen. Es ist wichtig, auf übermäßige körperliche Aktivität und Flüssigkeitsaufnahme in den Stunden aber auch am Abend vor der Messung zu verzichten, da diese das Ergebnis verfälschen können. Auch extreme BMI-Werte (<17 oder $>34 \text{ kg/m}^2$) können die Messergebnisse beeinflussen. Vor allem bei starker Adipositas ist das Schätzen der

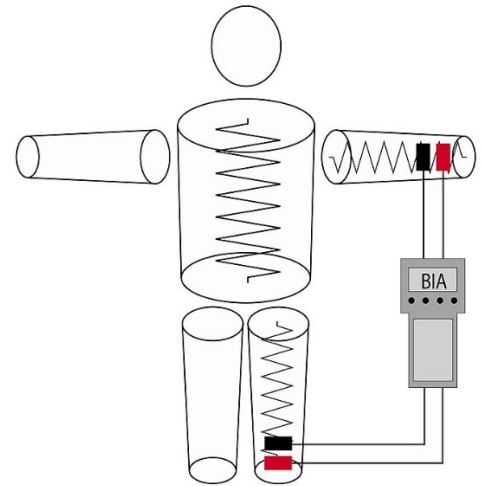


Abbildung 12: Zylinder Modell

Quelle: [84] gemeinfrei

Körperzusammensetzung erschwert, da ein Missverhältnis zwischen Körpermasse und Körperleitfähigkeit besteht. Um diese möglichen falschen Ergebnissen entgegenzuwirken ist das BIA-Ergebnis bei Personen mit bekannter Adipositas mit Vorsicht zu interpretieren. Ein weiterer wichtiger Faktor, welcher die Messung beeinflusst, ist die Hydration der Person. Bei Ödemen an den Messstellen, Aszites, erhöhte Volumenapplikation, Diuretikatherapien und weiteren Interventionen, kommt es zu einer Überschätzung des Gesamtkörperwassers, was wiederum zu einer falschen Messung führt. Im Rahmen der Studie wurde diesem möglichen Störfaktor durch Ein- und Ausschlusskriterien sowie durch Hinweise an die Probandinnen (Blase vor der Messung entleeren, keine großen Flüssigkeitsaufnahmen am Abend bzw. Morgen vor der Messung, keine anstrengenden sportliche Aktivitäten 12 Stunden vor der Messung), entgegengewirkt. [76,78]

Das Prinzip der Bioimpedanzmessung beruht auf der Annahme, dass der Körper ein Zylinder ist und aus einzelnen Kompartimenten besteht (siehe Abbildung 12). Der elektrische Widerstand R eines leitfähigen Materials mit gleichmäßigem Querschnitt ist direkt proportional zur Länge L und umgekehrt proportional zur Querschnittsfläche A . Da bei den Probandinnen durch Screening vorweg Störfaktoren ausgeschlossen wurden, kann die Einzelfrequenz-Bioimpedanzanalyse verwendet werden. Dabei wurden Oberflächenelektroden an Hand- und Fußrücken angebracht und mit 50 kHz der Widerstand zwischen den beiden Orten gemessen. [77]

Sun et al. entwickelten 2003 eine Formel, welche durch Regressionsanalysen die FFM schätzen kann. Im Rahmen der Auswertung der Bioimpedanzanalyse wurde diese verwendet. In diese Formel fließen Körpergröße, Resitance, Reaktanz, Körpergewicht, Alter, Geschlecht und Ethnie ein. [79]

3 Ergebnisse – Resultate mit graphischen Darstellungen

3.1 Deskriptive Statistik

Insgesamt wurden 54 Probandinnen in die Studie eingeschlossen (siehe Abbildung 13).

Die in der Studie vorkommende Population besteht nur aus weiblichen Personen. In die Gruppe 1 (normalgewichtig/Verum) wurden insgesamt 22 Personen eingeschlossen. 5 wurden aufgrund fehlender Daten ausgeschlossen und nur Daten der restlichen 16 Personen in die statistische Auswertung eingeschlossen.

In die Gruppe 1 (normalgewichtig/Placebo) wurden insgesamt 21 Personen eingeschlossen. 2 wurden aufgrund fehlender Daten ausgeschlossen und nur Daten der restlichen 19 Personen in die statistische Auswertung eingeschlossen.

In die Gruppe 2 (übergewichtig/Verum) wurden insgesamt 11 Personen eingeschlossen. 3 wurden aufgrund fehlender Daten ausgeschlossen und nur Daten der restlichen 8 Personen in die statistische Auswertung eingeschlossen.

Die Drop-out's erfolgten unter anderem aufgrund von Antibiotikaeinnahme, Krankheit, Nicht-einhalten der Termine bzw. Interventionsanweisungen.

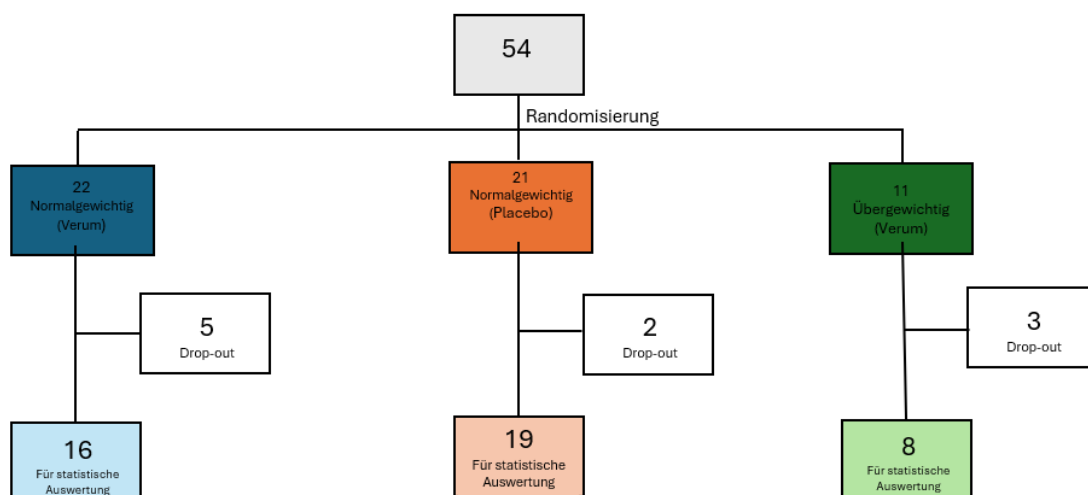


Abbildung 13: Flussdiagramm

Tabelle 5 zeigt die deskriptive Statistik des Studienkollektives. Das Alter in beiden Normalgewichtigen-Gruppen und TBF II in der Übergewichtigen-Gruppe 2 waren nicht normalverteilt und die Werte geben den Median und Interquartilabstand wieder. Die restlichen Daten sind normalverteilt und somit wurde auch der Mittelwert und die Standardabweichung als Beschreibung verwendet.

Um den Verlauf besser darzustellen wurden Diagramme angefertigt (siehe Abbildung 14,15).

	Normalgewichtig/ Verum	Normalgewichtig / Placebo	Übergewichtig/ Verum
Age [years]	27 ± 13	26 ± 8	36 ± 12
BMI [kg/m ²]	21,8 ± 2,06	22,25 ± 2,22	33,38 ± 3,31
Body height [m]	1,69 ± 0,06	1,66 ± 0,05	1,68 ± 0,05
Body weight I [kg]	62,44 ± 6,52	61,11 ± 5,72	94,19 ± 12,03
Body weight II [kg]	62,78 ± 6,39	60,82 ± 5,56	93,45 ± 12,53
Body weight III [kg]	62,66 ± 6,38	60,86 ± 5,48	93,24 ± 12,75
Total body fat I [kg]	18,61 ± 4,70	18,13 ± 4,02	42,50 ± 9,37
Total body fat I [%]	29,44 ± 4,74	29,38 ± 4,46	44,71 ± 4,69
Total body fat II [kg]	17,2 ± 5,82	17,94 ± 4,04	42,78 ± 11,44
Total body fat II [%]	29,35 ± 4,87	29,70 ± 5,80	45,11 ± 6,14
Total body fat III [kg]	18,06 ± 4,2	17,85 ± 3,91	42,41 ± 11,79
Total body fat III [%]	28,58 ± 4,39	29,07 ± 4,40	44,63 ± 7
Freie Fettmasse I [kg]	43,83 ± 3,01	42,97 ± 2,74	51,69 ± 4,27
Freie Fettmasse II [kg]	44,17 ± 3,35	42,89 ± 2,95	50,73 ± 3,30
Freie Fettmasse III [kg]	44,95 ± 3,6	43,01 ± 2,68	51,20 ± 3,78
Veggie Meter® I [Scores]	433 ± 113,88	464,16 ± 86,15	334,88 ± 48,09
Veggie Meter® II [Scores]	488,13 ± 91,71	461,37 ± 74,19	436 ± 87,52
Veggie Meter® III [Scores]	473,25 ± 98,11	471,53 ± 79,68	395,38 ± 80,31
Biozoom I [Scores]	4,98 ± 2,2	5,17 ± 1,11	4,1 ± 0,51
Biozoom II [Scores]	6,23 ± 0,80	5,25 ± 1	5,33 ± 0,99
Biozoom III [Scores]	5,97 ± 1,09	5,64 ± 1,07	4,75 ± 1,09

Tabelle 5: deskriptive Statistik

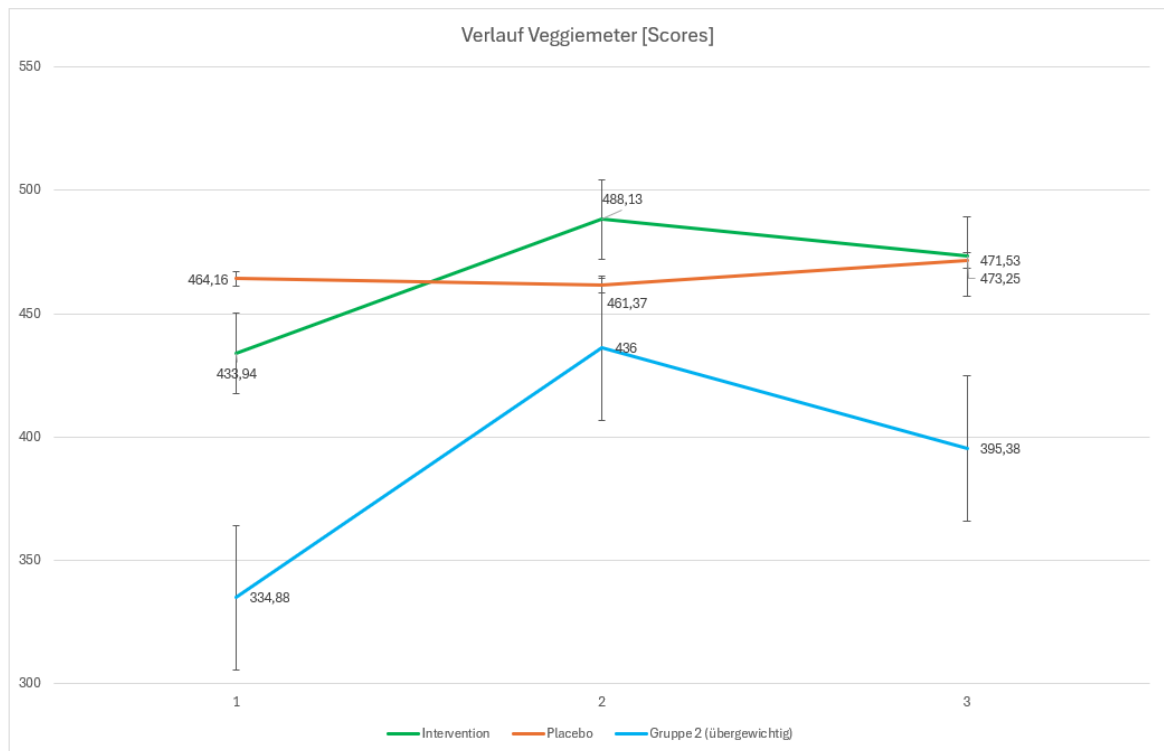


Abbildung 14: Verlauf Hautcarotenoide (Veggie Meter®)

p<0,05, *: NG/Verum V1-V2 p<0,01, **: ÜG/Verum V1-V2p<0,001***: ÜG/Verum V2-V3

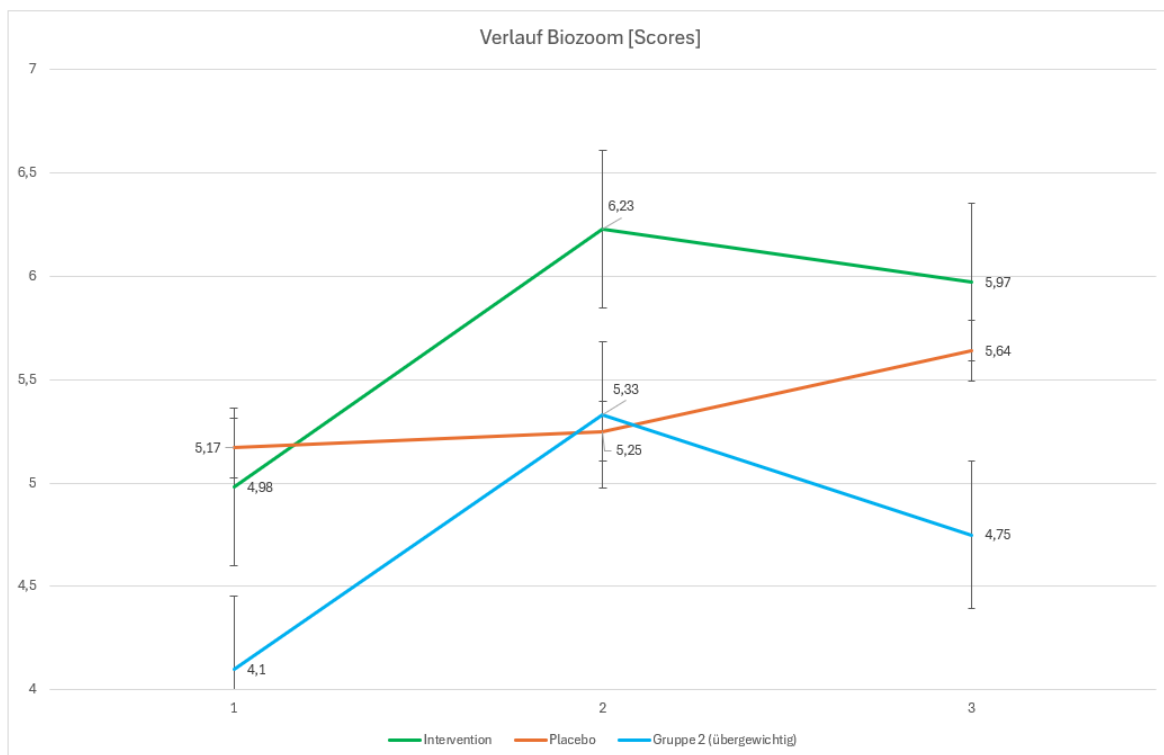


Abbildung 15: Verlauf Hautcarotenoide (Biozoom)

p<0,05, *: NG/Verum V2-V3, ÜG/Verum V2-V3 p<0,01, ** p<0,001***:NG/Verum V1-V2, ÜG/Verum V1-V2

3.2 Verlaufsmessung- T-Tests

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung mittels T-Tests dargestellt. Ziel war es, zu überprüfen, ob signifikante Unterschiede im Verlauf innerhalb und zwischen den Normalgewichtigen-Gruppen (Verum bzw. Placebo) und der Übergewichtigen-Gruppe (Verum) hinsichtlich der Variablen total body fat (kg & %), freie Fettmasse, Hautcarotenoide (Veggie Meter® & Biozoom) bestehen. Für die Berechnung innerhalb einer Stichprobe wurde der abhängige T-Test verwendet. Für jene, welche die Veränderungen zwischen den Gruppen darstellen der unabhängige T-Test.

Variable	normalgewichtig/Verum			normalgewichtig/Placebo			Übergewichtig/Verum		
	$\mu + \sigma$ V(x ₁)	$\mu + \sigma$ V(x ₂)	p-Wert	$\mu + \sigma$ V(x ₁)	$\mu + \sigma$ V(x ₂)	p-Wert	$\mu + \sigma$ V(x ₁)	$\mu + \sigma$ V(x ₂)	p-Wert
TBF V1/2 [kg]	18,61 ± 4,70	17,2 ± 5,82	0,402	18,13 ± 4,02	17,94 ± 4,04	0,481	42,50 ± 9,37	42,78 ± 11,44	± 0,773
TBF V1/3 [kg]	18,61 ± 4,70	18,06 ± 4,2	0,674	18,13 ± 4,02	17,85 ± 3,91	0,384	42,50 ± 9,37	42,41 ± 11,79	± 0,949
TBF V2/3 [kg]	17,2 ± 5,82	18,06 ± 4,2	0,063	17,94 ± 4,04	17,85 ± 3,91	0,651	42,78 ± 11,44	42,41 ± 11,79	± 0,624
TBF V1/2 [%]	29,44 ± 4,74	29,35 ± 4,87	0,61	29,38 ± 4,46	29,70 ± 5,80	0,681	44,71 ± 4,69	45,11 ± 6,14	0,561
TBF V1/3 [%]	29,44 ± 4,74	28,58 ± 4,39	0,561	29,38 ± 4,46	29,07 ± 4,40	0,525	44,71 ± 4,69	44,63 ± 7	0,946
TBF V2/3 [%]	29,35 ± 4,87	28,58 ± 4,39	0,075	29,70 ± 5,80	29,07 ± 4,40	0,728	45,11 ± 6,14	44,63 ± 7	0,429
FFM V1/2 [kg]	43,83 ± 3,01	44,17 ± 3,35	0,762	42,97 ± 2,74	42,89 ± 2,95	0,785	51,69 ± 4,27	50,73 ± 3,30	0,111
FFM V1/3 [kg]	43,83 ± 3,01	44,95 ± 3,6	0,303	42,97 ± 2,74	43,01 ± 2,68	0,905	51,69 ± 4,27	51,20 ± 3,78	0,56
FFM V2/3 [kg]	44,17 ± 3,35	44,95 ± 3,6	0,132	42,89 ± 2,95	43,01 ± 2,68	0,701	50,73 ± 3,30	51,20 ± 3,78	0,252
Veggie Meter® V1/2 [Scores]	433 ± 113,88	488,13 ± 91,71	0,051	464,16 ± 86,15	461,37 ± 74,19	0,988	334,88 ± 48,09	436 ± 87,52	0,002
Veggie Meter® V1/3 [Scores]	433 ± 113,88	473,25 ± 98,11	0,009	464,16 ± 86,15	471,53 ± 79,68	0,452	334,88 ± 48,09	395,38 ± 80,31	± 0,021
Veggie Meter® V2/3 [Scores]	488,13 ± 91,71	473,25 ± 98,11	0,85	461,37 ± 74,19	471,53 ± 79,68	0,371	436 ± 87,52	395,38 ± 80,31	± <,001
Biozoom V1/2 [Scores]	4,98 ± 2,2	6,23 ± 0,80	<,001	5,17 ± 1,11	5,25 ± 1	0,302	4,1 ± 0,51	5,33 ± 0,99	<,001
Biozoom V1/3 [Scores]	4,98 ± 2,2	5,97 ± 1,09	<,001	5,17 ± 1,11	5,64 ± 1,07	0,009	4,1 ± 0,51	4,75 ± 1,09	0,072
Biozoom V2/3 [Scores]	6,23 ± 0,80	5,97 ± 1,09	0,096	5,25 ± 1	5,64 ± 1,07	0,041	5,33 ± 0,99	4,75 ± 1,09	0,03

Tabelle 6: abhängige T-test

μ = Mittelwert, σ = Standardabweichung

Der durchgeführte T-Test für abhängige Stichproben verglich die Mittelwerte der Variablen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten (V1, V2 und V3) innerhalb der drei Gruppen: normalgewichtig/Verum, normalgewichtig mit Placebo und übergewichtig mit Verum (siehe Tabelle 6 und Abb. 14-15).

Für die Gruppe normalgewichtig/Verum zeigten sich bei den Veggie Meter®-Scores eine erhebliche Zunahme zwischen V1 und V3 ($t(17) = -2,960$ $p = 0,009$), sowie zwischen V1 & V2 eine Zunahme mit einem Trend zur Signifikanz ($t(18) = -$

2,088, $p=0,051$) (siehe Abbildung 14). Auch beim Biozoom-Score traten deutliche Effekte auf. Zwischen V1 und V2 ergab sich eine deutliche Zunahme ($t(18) = -4,675$, $p < 0,001$), ebenso zwischen V1 und V3 ($t(17) = -4,902$, $p < 0,001$) (siehe Abbildung 15). Für die anthropometrischen Daten konnten keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden (alle $p > 0,05$).

In der Gruppe normalgewichtig/ Placebo wurden nur wenige signifikante Veränderungen beobachtet. Beim Biozoom-Score zeigte sich ein Anstieg zwischen V2 und V3 ($t(18) = -2,196$, $p = 0,041$) sowie zwischen V1 und V3 ($t(18) = -2,947$, $p = 0,009$). Für alle anderen Variablen, insbesondere TBF, FFM und Veggie Meter®, zeigten sich keine bedeutenden Unterschiede ($p > 0,05$).

In der Gruppe der übergewichtigen Probandinnen fielen besonders deutliche Zunahme des Veggie Meter®-Score zwischen V1 und V2 ($t(8) = -4,633$, $p = 0,002$), V1 und V3 ($t(7) = -2,963$, $p = 0,021$) und eine Abnahme zwischen V2 und V3 ($t(7) = 6,839$, $p < 0,001$) auf. Auch beim Biozoom-Score wurden erhebliche Unterschiede festgestellt: Zunahme zwischen V1 und V2 ($t(18) = -4,675$, $p < 0,001$) und Abnahme zwischen V2 und V3 ($t(7) = 2,724$, $p = 0,030$). Der Unterschied der Biozoom-Scores zwischen den Zeitpunkten V1 und V3 ergab kein signifikantes Ergebnis ($p = 0,072$). Die Körperzusammensetzung blieb weitgehend unverändert.

Variable	Normalgewichtig Verum gegen Placebo			Normalgewichtig Verum gegen übergewichtig Verum		
	Δ Verum	Δ Placebo	p-Wert	Δ Verum n	Δ Verum ü	p-Wert
Δ bodyweight V1/2[kg]	0,48 $\pm$ 1,05	-0,23 $\pm$ 0,57	0,011	0,48 $\pm$ 1,5	-0,43 $\pm$ 2,09	0,127
Δ bodyweight V2/3[kg]	0,08 $\pm$ 0,64	0,03 $\pm$ 1,04	0,861	0,08 $\pm$ 0,64	0,21 $\pm$ 0,94	0,671
Δ bodyweight V1/3[kg]	-0,08 $\pm$ 0,64	-0,03 $\pm$ 1,04	0,861	-0,08 $\pm$ 0,64	-0,21 $\pm$ 2,94	0,671
Δ TBF V1/2 [kg]	0,38 $\pm$ 1,96	-0,15 $\pm$ 1,07	0,287	0,38 $\pm$ 1,96	0,57 $\pm$ 2,58	0,827
Δ TBF V2/3 [kg]	-0,54 $\pm$ 1,16	-0,15 $\pm$ 1,41	0,350	-0,54 $\pm$ 1,16	-0,36 $\pm$ 2,00	0,771
Δ TBF V1/3[kg]	-0,21 $\pm$ 2,09	-0,32 $\pm$ 1,61	0,857	-0,21 $\pm$ 2,09	-0,09 $\pm$ 3,70	0,914
Δ FFM V1/2 [kg]	0,11 $\pm$ 1,60	-0,06 $\pm$ 1,03	0,683	0,11 $\pm$ 1,60	-0,96 $\pm$ 1,40	0,097
Δ FFM V2/3 [kg]	0,43 $\pm$ 1,16	0,1 $\pm$ 1,15	0,380	0,43 $\pm$ 1,16	0,48 $\pm$ 1,08	0,932
Δ FFM V1/3 [kg]	0,48 $\pm$ 1,93	0,04 $\pm$ 1,30	0,402	0,48 $\pm$ 1,93	-0,49 $\pm$ 1,93	0,272
Δ Veggie Meter® V1/2 [Scores]	36,50 $\pm$ 128,357	-18,14 $\pm$ 99,19	0,134	36,50 $\pm$ 128,357	48,6 $\pm$ 163,76	0,826
Δ Veggie Meter® V2/3[Scores]	-33,20 $\pm$ 184,032	-9,62 $\pm$ 99,50	0,610	-33,20 $\pm$ 184,032	-60,45 $\pm$ 95,17	0,652
Δ Veggie Meter® V1/3[Scores]	3,3 $\pm$ 125,261	-27,76 $\pm$ 116,59	0,416	3,3 $\pm$ 125,261	-45,91 $\pm$ 190,12	0,392
Δ Biozoom V1/2 [Scores]	1,13 $\pm$ 1,60	-0,06 $\pm$ 1,31	0,013	1,13 $\pm$ 1,60	0,58 $\pm$ 2,04	0,423
Δ Biozoom V2/3[Scores]	-0,5 $\pm$ 1,83	0,08 $\pm$ 1,54	0,275	-0,5 $\pm$ 1,83	-0,82 $\pm$ 1,31	0,613
Δ Biozoom V1/3[Scores]	0,63 $\pm$ 1,78	0,02 $\pm$ 1,57	0,246	0,63 $\pm$ 1,78	-0,78 $\pm$ 2,60	0,080

Tabelle 7: unabhängige T-tests

n=normalgewichtig / ü=übergewichtig

Zur Überprüfung der unterschiedlichen Veränderungen zwischen der normalgewichtigen Verum- und der Placebogruppe sowie zwischen der normalgewichtigen Verumgruppe und der übergewichtigen Verum- Gruppe wurden unabhängige T-Tests durchgeführt. Die Ergebnisse wurden als Übersicht in Tabelle 7 dargestellt.

Für die Veränderungen des Körpergewichts bei Normalgewichtigen zwischen V1 und V2 zeigte sich ein deutlicher Unterschied zwischen der Verumgruppe (Zunahmen) und der Placebogruppe (Abnahme) ($t(39) = 2,672$, $p = 0,011$) während sich kein signifikanter Unterschied zur übergewichtigen Gruppe ergab ($t(27) = 1,572$, $p = 0,127$). Die Veränderung zwischen V2 und V3 als auch zwischen V1 und V3 zeigten in beiden Vergleichsgruppen keine bedeutenden Unterschiede (alle $p > 0,05$).

Bezüglich der Veränderung der TBF (kg) wurden in keinem der Messzeitpunkten (V1/2, V2/3, V1/3) signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt. Die p-Werte lagen bei Werten von 0,287 bis 0,914.

Auch bei der Veränderung der FFM (kg) zeigten sich keine erheblichen Unterschiede zwischen den Gruppen. Die errechneten p-Werte lagen zwischen 0,097 und 0,932.

Im Hinblick auf die Veränderung der Veggie Meter®-Scores wurden ebenso keine großen Unterschiede zwischen den Gruppen in V1/2, V2/3 und V1/3 festgestellt. Die p-Werte lagen zwischen 0,134 und 0,826.

Für die Veränderung der Biozoom-Scores ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen Verum- und Placebogruppe (Verum =Zunahme / Placebo=Abnahme) zu den Messzeitpunkten V1 und V2 ($t(40) = 2,615$, $p = 0,013$). Die weiteren T-test Berechnungen (V2/3 und V1/3) zeigten keine erheblichen Unterschiede zwischen den Gruppen (p -Werte= 0,080 – 0,275).

3.3 Korrelationsanalysen

Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den erhobenen Variablen wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Ziel war es, die Stärke und Richtung der Beziehungen zwischen den einzelnen Merkmalen zu ermitteln. Insgesamt wurden drei verschiedene Korrelationsberechnungen vorgenommen, die im Folgenden detailliert dargestellt werden.

	Veggie Meter® V1	Biozoom V1	Veggie Meter® V2	Biozoom V2	Veggie Meter® V3	Biozoom V3
TBF	$\rho = - 0,627$ $p < ,001$	$\rho = - 0,469$ $p < ,001$	$\rho = - 0,312$ $p = 0,031$	$\rho = - 0,186$ $p = 0,206$	$\rho = - 0,338$ $p = 0,025$	$\rho = - 0,430$ $p = 0,004$
Körpergewicht	$\rho = - 0,590$ $p < ,001$	$\rho = - 0,442$ $p < ,001$	$\rho = - 0,270$ $p = 0,064$	$\rho = - 0,152$ $p = 0,302$	$\rho = - 0,343$ $p = 0,021$	$\rho = - 0,470$ $p = ,001$

Tabelle 8: Korrelationen Gesamtkollektiv

ρ = Spearman-Korrelationskoeffizient; p = zweiseitig, $p < ,05$ gilt als signifikant

Farbcodierung: starke Korrelation= rot; moderate Korrelation=grün; leichte Korrelation=gelb; keine Korrelation= weiß

Zunächst werden die Korrelationen im gesamten Studienkollektiv betrachtet (siehe Tabelle 8). Die Zusammenhänge zwischen dem Anteil des total body fat (TBF) und dem Körpergewicht mit den Messwerten des Veggie Meter®s und des Biozoom-Systems wurden anhand von Spearman-Rangkorrelationen analysiert.

Für TBF ergaben sich signifikante negative Korrelationen mit allen Veggie Meter®-Werten, am stärksten bei V1 ($\rho = -0,627$, $p < 0,001$), gefolgt von V3 ($\rho = -0,338$, $p = 0,025$) und V2 ($\rho = -0,312$, $p = 0,031$). Auch bei den Biozoom-Werten zeigte sich ein deutlicher negativer Zusammenhang für V1 ($\rho = -0,469$, $p < 0,001$) und V3 ($\rho = -0,430$, $p = 0,004$), während V2 keinen bedeutenden Zusammenhang aufwies ($\rho = -0,186$, $p = 0,206$).

Ähnlich verliefen die Korrelationen mit dem Körpergewicht. Bedeutende negative Zusammenhänge wurden bei Veggie Meter® V1 ($\rho = -0,590$, $p < 0,001$) und V3 ($\rho = -0,343$, $p = 0,021$) festgestellt, für V2 war der Zusammenhang nicht signifikant ($\rho = -0,270$, $p = 0,064$). Für die Biozoom-Werte zeigten sich hohe Korrelationen bei V1 ($\rho = -0,442$, $p < 0,001$) und V3 ($\rho = -0,470$, $p = 0,001$), jedoch nicht bei V2 ($\rho = -0,152$, $p = 0,302$).

	Veggie Meter® V1	Biozoom V1	Veggie Meter® V2	Biozoom V2	Veggie Meter® V3	Biozoom V3
TBF	$\rho = -0,694$ $p < 0,001$	$\rho = -0,558$ $p = 0,011$	$\rho = -0,525$ $p = 0,021$	$\rho = -0,261$ $p = 0,281$	$\rho = -0,396$ $p = 0,115$	$\rho = -0,365$ $p = 0,150$
Körpergewicht	$\rho = -0,455$ $p = 0,058$	$\rho = -0,536$ $p = 0,015$	$\rho = -0,491$ $p = 0,033$	$\rho = -0,267$ $p = 0,270$	$\rho = -0,343$ $p = 0,021$	$\rho = -0,426$ $p = 0,078$

Tabelle 9: Korrelationen normalgewichtig/ Verum

ρ = Spearman-Korrelationskoeffizient; p = zweiseitig, $p < .05$ gilt als signifikant

Farbcodierung: starke Korrelation= rot; moderate Korrelation=grün; leichte Korrelation=gelb; keine Korrelation= weiß

	Veggie Meter® V1	Biozoom V1	Veggie Meter® V2	Biozoom V2	Veggie Meter® V3	Biozoom V3
TBF	$\rho = -0,271$ $p = 0,235$	$\rho = -0,322$ $p = 0,154$	$\rho = -0,063$ $p = 0,791$	$\rho = -0,169$ $p = 0,477$	$\rho = 0,132$ $p = 0,589$	$\rho = -0,307$ $p = 0,201$
Körpergewicht	$\rho = -0,071$ $p = 0,760$	$\rho = -0,199$ $p = 0,386$	$\rho = -0,072$ $p = 0,762$	$\rho = -0,088$ $p = 0,712$	$\rho = -0,260$ $p = 0,282$	$\rho = -0,329$ $p = 0,169$

Tabelle 10: Korrelationen normalgewichtig/Placebo

ρ = Spearman-Korrelationskoeffizient; p = zweiseitig, $p < .05$ gilt als signifikant

Farbcodierung: starke Korrelation= rot; moderate Korrelation=grün; leichte Korrelation=gelb; keine Korrelation= weiß

	Veggie Meter® V1	Biozoom V1	Veggie Meter® V2	Biozoom V2	Veggie Meter® V3	Biozoom V3
TBF	$\rho = -0,715$ $p = 0,013$	$\rho = -0,548$ $p = 0,081$	$\rho = -0,650$ $p = 0,058$	$\rho = -0,714$ $p = 0,013$	$\rho = -0,862$ $p = 0,006$	$\rho = -0,783$ $p = 0,022$
Körpergewicht	$\rho = -0,636$ $p = 0,035$	$\rho = -0,403$ $p = 0,219$	$\rho = -0,850$ $p = 0,004$	$\rho = -0,681$ $p = 0,044$	$\rho = -0,881$ $p = 0,004$	$\rho = -0,623$ $p = 0,099$

Tabelle 11: Korrelationen übergewichtig / Verum

ρ = Spearman-Korrelationskoeffizient; p = zweiseitig, $p < .05$ gilt als signifikant

Farbcodierung: starke Korrelation= rot; moderate Korrelation=grün; leichte Korrelation=gelb; keine Korrelation= weiß

Im weiteren Schritt wurden Zusammenhänge innerhalb der Studiengruppen genauer betrachtet (siehe Tabellen 9,10,11).

Die Auswertung der Korrelationsanalysen zeigte erhebliche negative Zusammenhänge zwischen den Messwerten von Veggie Meter® und Biozoom in den Versionen V1 bis V3 mit dem TBF-Wert in der Gruppe normalgewichtig/Verum. Besonders starke Korrelationen zeigten sich für das Veggie Meter® V1 ($\rho = -0,694$; $p < 0,001$) sowie Biozoom V1 ($\rho = -0,558$; $p = 0,011$). Auch bei den weiteren Berechnungen zeigten sich moderate bis starke negative Korrelationen, wobei diese nicht durchgehend signifikant waren.

In der zweiten Gruppe (normalgewichtig/Placebo) konnten keine bedeutenden Zusammenhänge zwischen den Messmethoden und dem TBF oder dem Körpergewicht festgestellt werden ($p > 0,05$).

Die Ergebnisse der dritten Gruppe der übergewichtigen Population zeigten sich dagegen erneut deutliche negative Korrelationen, insbesondere für Veggie Meter® V1 mit TBF ($\rho = -0,715$; $p = 0,013$) sowie für Biozoom V3 mit TBF ($\rho = -0,783$; $p = 0,022$). Auch zum Körpergewicht wurden in dieser Erhebung teils starke negative Korrelationen gefunden, z. B. für Biozoom V3 ($\rho = -0,881$; $p = 0,004$).

	Veggie Meter® V1	Biozoom V1	Veggie Meter® V2	Biozoom V2	Veggie Meter® V3	Biozoom V3
TBF In Terzillen	$\rho = -0,405$ $p = 0,012$	$\rho = -0,285$ $p = 0,083$	$\rho = -0,199$ $p = 0,212$	$\rho = -0,068$ $p = 0,672$	$\rho = -0,190$ $p = 0,233$	$\rho = -0,205$ $p = 0,199$

Tabelle 12: Korellationen nach Terzillen geteilt

ρ = Spearman-Korrelationskoeffizient; p = zweiseitig, $p < ,05$ gilt als signifikant

Farbcodierung: starke Korrelation= rot; moderate Korrelation=grün; leichte Korrelation=gelb; keine Korrelation= weiß

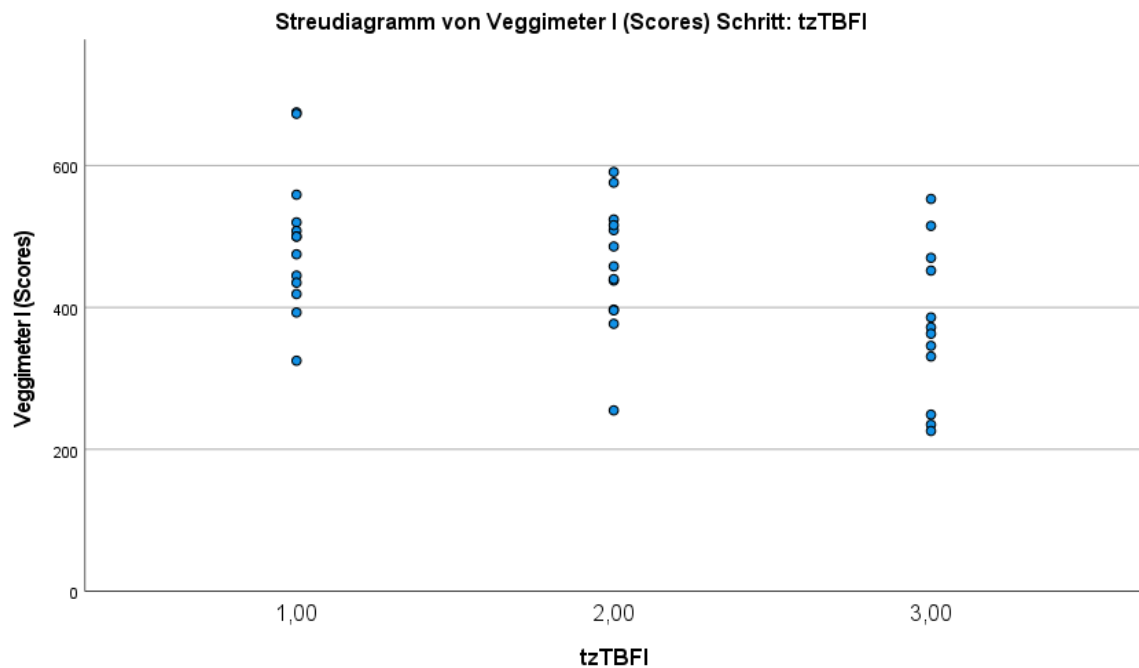


Abbildung 16: Scatterplot Veggie Meter® I / TBF I

Zum Schluss wurde noch die TBF-Werte in Terzilen eingeteilt bzw. geordnet und mit den Veggie Meter®- und Biozoom-Scores korreliert (siehe Tabelle 12). Es besteht ein moderater negativer Zusammenhang zwischen der Höhe der TBF-Werten und den dazugehörigen Veggie Meter®-Scores zum Messzeitpunkt V1 (siehe Abbildung 16).

In keiner weiteren Berechnung zeigte sich sonst ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhe der TBF-Werten und der einzelnen Hautcarotenoid-Scores ($p > 0,05$).

4 Diskussion

In dieser placebo-gestützten Interventionsstudie wurde die Wirkung eines β -Carotin-haltigen Saftes auf das Immunsystem von Frauen untersucht. Die Studie fand monozentrisch am Otto Loewi Forschungszentrum, Lehrstuhl für Immunologie an der Medizinischen Universität Graz statt. β -Carotin wird als Provitamin A aufgenommen und in weiterer Folge zu Vitamin A im Körper umgewandelt. Als Antioxidans spielt es eine wichtige Rolle im Schutz der Zelle vor freien Radikalen. Weiters hat es auch einen erheblichen Einfluss auf die Prävention von kardiovaskulären Erkrankungen durch anti-atherosklerotische Wirkung, Adipogenese sowie bei der Hemmung der Karzinogenese. Da Carotenoide hauptsächlich in Adipozyten gespeichert werden, wurde weiters untersucht, ob die Intervention bei adipösen Patientinnen bessere Ergebnisse erzielt als bei Patientinnen mit normalem BMI. Diese Diplomarbeit umfasste die Analyse der Messung des Körperfettes und der kutanen Messung von Carotenoiden.

4.1 Zusammenfassung und Interpretation der wichtigsten Ergebnisse

In der deskriptiven Statistik zeigten sich nach der Randomisierung der normalgewichtigen Probandinnen in Intervention/ Placebogruppe sehr ähnliche Studienkollektive. Vor allem in der Betrachtung der Mittelwerte (siehe Tabelle 6) kann man sehen, dass sich die Parameter BMI, body weight, TBF, FFM, Veggie Meter®-Score und Biozoom-Score zum Zeitpunkt der Visite 1 ähneln sich. Dies erhöht die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Bei der Betrachtung der einzelnen Parameter konnte festgestellt werden, dass es einen bedeutenden Anstieg der Veggie Meter®-Werte in den Interventionsgruppen gibt. Der Anstieg in der Gruppe 2 (übergewichtige) weist eine höhere Signifikanz auf als in der Gruppe 1/ Intervention in der Interventionsphase auf. (Gruppe 1: $t(18) = -2,088$, $p=0,051$; Gruppe 2: $t(8) = -4,633$, $p=0,002$). Weiters konnte auch im Langzeiteffekt beobachtet werden, dass in der Wash-out Phase der Carotenoidspiegel nicht wieder auf den Ausgangswert vor der Intervention abfällt und somit die Carotenoid-Intervention langfristig einen Effekt auf das Immunsystem haben könnten (Gruppe 1: 1 & 3 $t(17) = -2,960$ $p=0,009$; Gruppe 2: $t(7) = -2,963$, $p=0,021$). In der Gruppe 2 kann auch noch ein stark signifikanter Abfall der Veggie

Meter®-Werte, während der Wash-out Phase festgestellt werden ($t(7) = 6,839$, $p < 0,001$). Ähnlich verhalten sich die gemessenen Werte mit Biozoom. Dies und keine erheblichen Veränderungen in der Placebo-Gruppe erhöht die Aussagekraft der Ergebnisse.

Beim Vergleich der Intervention- und Placebogruppe der normalgewichtigen Studienpopulation gibt es einen großen Unterschied bei der Veränderung des Körpergewichtes in der Interventionszeit (V1-V2) ($t(39) = 2,672$, $p = 0,011$). Während es in der Interventionsgruppe zu einer leichten Zunahme des Körpergewichtes kam ($62,44 \pm 6,52 \text{ kg} \rightarrow 62,78 \pm 6,39 \text{ kg}$), kam es in der Placebogruppe zu einer leichten Abnahme ($61,11 \pm 5,72 \text{ kg} \rightarrow 60,82 \pm 5,56 \text{ kg}$). Weiters gibt es einen Unterschied bei der Zunahme der Biozoomwerte in der normalgewichtigen Gruppe ($t(40) = 2,615$, $p = 0,013$). Während die Werte in der Placebogruppe annähernd gleich blieben ($5,17 \pm 1,11 \rightarrow 5,25 \pm 1$) kam es in der Interventionsgruppe zu einem bedeutenden Anstieg ($4,98 \pm 2,2 \rightarrow 6,23 \pm 0,8$) (siehe Abbildung 15). Dies zeigt, dass die Hautcarotenoid-Veränderungen durch die Intervention erklärbar sind. Da es keinen bemerkenswerten Unterschied in der Veränderung der Werte zwischen den Interventionsgruppen (normalgewichtig und übergewichtig) gibt, kann die Aussage getroffen werden, dass die Aufnahme und Speicherung der Hautcarotenoide nicht mit dem BMI oder Gewicht zusammenhängt.

Bei Betrachtung des gesamten Studienkollektives herrscht zu jedem Messzeitpunkt eine starke negative Korrelation zwischen TBF- und Veggie Meter®-Werten (siehe Tabelle 9). Dies unterstützt die Aussage, dass umso adipöser die Patientinnen umso niedriger der kutane Carotenoidspiegel ist. Weiters lässt sich diese Theorie auch bei den Ausgangsparametern beobachten. Zu Beginn wiesen die adipösen Studienteilnehmerinnen einen niedrigeren Veggie Meter®-Score auf als die Gruppe der normalgewichtigen Probandinnen (siehe Tabelle 6).

In der Gruppe normalgewichtig/ Placebo kam es zu einem signifikanten Anstieg der Biozoom-Werte zwischen Visite 1 und 3 ($p = 0,009$). Diese Änderung könnte durch einen Verhaltensbias der Probandinnen verursacht worden sein. Aufgrund der Randomisierung in die Placebogruppe, die Wasser konsumierte, nahmen die Probandinnen insgesamt weniger Gemüse zu sich. Nach Ende der Intervention wurde wieder versucht dies durch vermehrte Gemüseaufnahme zu kompensieren.

Nach Ende der Intervention versuchten sie, dies durch eine erhöhte Gemüseaufnahme zu kompensieren. Dieser Bias hätte durch Verblindung minimiert werden können, was jedoch aufgrund des Studiendesigns nicht möglich war. Um diesen Effekt zu untermauern, sollten in weiteren Studien die Ernährungsprotokolle gesichtet werden.

Nach Aufteilung in die einzelnen Studiengruppen wurden die Korrelationen zwischen den Parametern nochmals berechnet. Während es in der Placebo Gruppe keinen Zusammenhang zwischen TBF, Gewicht und den Hautcarotinoiden gab, kann man in den anderen Gruppen durchaus erkennbare Ergebnisse sehen (siehe Tabelle 10-12). Die Gegenüberstellung der Korrelationen zeigt deutlich, dass bei adipösen Personen ein wesentlich stärkerer Zusammenhang zwischen TBF bzw. Körpergewicht und den gemessenen Haut-Carotenoidwerten besteht – insbesondere mit dem Veggie Meter®. In Tabelle 12 zeigen sich zu allen drei Messzeitpunkte erhebliche, starke negative Korrelationen zwischen TBF und Veggie Meter®-Werten ($p = -0,650$ bis $-0,862$), was auf eine deutlich sensitivere Erfassung der körperfettassoziierten Veränderungen bei adipösen Probandinnen hindeutet. In beiden Gruppen ist zu beobachten, dass die Korrelationen über die Zeit hinweg stärker werden, was auf eine mögliche Interventionseffektivität hinweisen könnte. Bei adipösen Probandinnen verstärken sich sowohl TBF- als auch Körpergewichtskorrelationen deutlich über die Zeit. Dies kann auf eine verstärkte zunehmende Carotenoidkonzentration in Abhängigkeit vom Körperfettanteil hindeuten, möglicherweise verstärkt durch oxidativen Stress, Entzündung oder geringe Zufuhr antioxidativer Mikronährstoffe. Die tertilibasierte Analyse (siehe Tabelle 14) verdeutlicht, dass der Körperfettanteil zu einem frühen Zeitpunkt ein wichtiger Prädiktor für die Höhe der Haut-Carotinoide ist, jedoch nur im Veggie Meter®. In der weiteren Studienphase verlieren sich diese Zusammenhänge. Dies könnte daran liegen, dass sich die gemessenen Werte im Verlauf der Intervention angeglichen haben und dadurch weniger Unterschiede sichtbar werden.

4.2 Vergleich mit dem Forschungsstand

Zahlreiche aktuelle Studien zeigen, dass der Gehalt an Carotinoiden in der Haut in einem erheblichen negativen Zusammenhang mit verschiedenen anthropometrischen Parametern steht, insbesondere mit dem Körpergewicht, dem

Body-Mass-Index (BMI) und dem Körperfettanteil (TBF). Diese Zusammenhänge lassen sich in unterschiedlichen Populationen nachweisen und treten besonders deutlich bei übergewichtigen oder adipösen Individuen zutage. Dies spiegelt auch die Ergebnisse dieser Studie wider.

Haut-Carotinoide stellen einen etablierten nicht-invasiven Marker für den antioxidativen Status und die Aufnahme von Obst und Gemüse dar. Ihre Konzentration in der Haut korreliert eng mit der oralen Zufuhr von β -Carotin und anderen antioxidativen Mikronährstoffen [86]. Der negative Zusammenhang mit bestehender Adipositas ist multifaktoriell bedingt: Zum einen weist adipöses Gewebe eine erhöhte Fähigkeit zur Speicherung von Carotinoiden auf, wodurch diese dem peripheren Gewebe – wie der Haut – weniger verfügbar sind [87], zum anderen sind adipöse Personen häufiger von oxidativem Stress und subklinischer Entzündung betroffen, was mit einem höheren Verbrauch antioxidativer Substanzen einhergehen kann [88].

In Untersuchungen mit Resonanz-Raman-Spektroskopie zeigte sich, dass höhere BMI- und TBF-Werte signifikant mit niedrigeren Haut-Carotenoidwerten assoziiert sind, wobei dieser Zusammenhang über verschiedene Altersgruppen und ethnische Hintergründe hinweg konsistent ist [89].

Diese Ergebnisse legen nahe, dass Haut-Carotinoide nicht nur als Marker der Nahrungsaufnahme, sondern auch als Indikator für körperfettbedingte Veränderungen im antioxidativen Status interpretiert werden können. Besonders bei übergewichtigen und adipösen Personen könnte die Erfassung von Haut-Carotinoiden eine frühe, nicht-invasive Screening-Methode zur Ernährungsqualität darstellen.

4.3 Kritische Reflexion

Die vorliegende randomisierte, placebo-kontrollierte und monozentrische Interventionsstudie untersuchte die Wirkung eines β -Carotin-haltigen Saftes auf die Hautcarotenoid-Spiegel sowie den Zusammenhang mit der Fettmasse bei Probandinnen. Das Studiendesign stellt aufgrund der Randomisierung und Placebo-kontrolle eine gute Grundlage zur Bewertung kausaler Effekte dar und minimiert Verzerrungen durch Placeboeffekte und Selektionsbias. Die monozentrische Durchführung gewährleistete eine einheitliche und standardisierte

Studienumgebung, schränkt jedoch die Verallgemeinerung der Ergebnisse auf andere Populationen ein.

Die Messung der Hautcarotenoiden als Biomarker für den β -Carotin-Status ist eine nicht-invasive, schnelle und reproduzierbare Methode, die in der Forschung zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die Annahme war, dass beide Messmethoden in der statistischen Auswertung ähnliche Ergebnisse erzielen. Vor allem bei den Korrelationsberechnungen ist auffällig, dass bei Vergleichen mit den Veggie Meter® Werten öfter ein signifikanter Zusammenhang erzielt wurde als mit den gemessenen Werten bei Biozoom. In der Literatur lässt sich keine Studie finden, welche beide Geräte direkt vergleicht. Somit sind auch Theorien, welche die unterschiedlichen Ergebnisse erklären könnten, nicht zulässig.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Einfluss der Fettmasse auf die Verteilung und Speicherung von β -Carotin. Da β -Carotin ein fettlösliches Carotinoid ist, wird es in den Adipozyten gespeichert, was eine unterschiedliche Bioverfügbarkeit je nach Fettmasse erklären kann. Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass Probandinnen mit höherer Fettmasse möglicherweise niedrigere Hautcarotenoid-Spiegel aufweisen, obwohl sie die gleiche Menge β -Carotin zu sich nehmen. Dieser Zusammenhang ist relevant für die Interpretation der Wirkung von β -Carotin in unterschiedlichen Körperzusammensetzungen und unterstreicht die Notwendigkeit, die Fettmasse als wichtigen modulierenden Faktor in Interventionsstudien zu berücksichtigen.

Trotz der robusten Studiendesign-Elemente gibt es Limitationen, die die Aussagekraft der Ergebnisse einschränken. Die monozentrische Durchführung an einem einzigen Studienort kann institutionsspezifische und geografische Besonderheiten beinhalten, die sich auf die Probandinnenauswahl und Studienbedingungen auswirken. Zudem könnte die Stichprobengröße begrenzt gewesen sein, was die statistische Power zur Erkennung kleinerer Effekte reduzierte. Die Studienpopulation bestand ausschließlich aus Frauen, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Männer einschränkt.

Die Interventionsdauer und die gewählte Dosierung des β -Carotin sollten ebenfalls kritisch reflektiert werden. Möglicherweise war die Studiendauer zu kurz, um nachhaltige Veränderungen der Hautcarotenoid-Spiegel und immunologische Effekte zu beobachten. Gegen dieses Argument spricht jedoch, dass bereits abgeschlossene Studien eine Interventionsdauer von zwei bis acht Wochen

gewählt haben [5,67,90,91,92,93,94]. Die Bioverfügbarkeit von β -Carotin aus Saft kann zudem variieren, abhängig von der Zusammensetzung und Begleitstoffen, was die Wirkung beeinflussen könnte. Weiters kann auch die Einnahmeempfehlung von den Probandinnen nicht eingehalten worden sein.

Zu erwähnen ist, dass hauptsächlich Änderungen der Hautcarotenoide ein bedeutendes Ergebnis erzielten und jene der TBF nicht. Dies könnte durch die schnelle Resorption und Einlagerung der Carotenoide in die Hautzellen erklärbar sein. Weiters ist auch zu erwähnen, dass die Körperzusammensetzung nicht in einer kurzen Zeit und ohne weiterer Intervention verändert werden kann, sondern mit zusätzlicher Bewegung oder Kalorienreduktion ein signifikantes Ergebnis erzielt werden kann [95].

Zukünftige Studien sollten multizentrisch angelegt sein und eine größere Population mit unterschiedlichen Eigenschaften einschließen, um die Generalisierbarkeit zu erhöhen. Ebenso wäre eine Kombination verschiedener Messmethoden zur Validierung des β -Carotin -Status sinnvoll, beispielsweise die Bestimmung im Serum zusätzlich zur Hautmessung. Dies ist zwar erfolgt, jedoch fließen die Ergebnisse nicht in diese Diplomarbeit ein. Auch der Einfluss von Fettmasse sollte stärker in die Analyse integriert werden, um individuell angepasste Empfehlungen für β -Carotin-Supplementierungen entwickeln zu können.

Insgesamt liefert die Studie wertvolle Erkenntnisse zum Einfluss von β -Carotin auf die Hautcarotenoid-Spiegel und die Fettmasse.

4.4 Relevanz

β -Carotin ist als Provitamin-A ein bedeutender Nährstoff mit antioxidativen Eigenschaften. Seine potenzielle Rolle bei der Modulation des Immunsystems wurde bereits in mehreren Human- und Tierstudien erforscht. Dennoch bestehen bis heute Wissenslücken hinsichtlich der konkreten Wirkmechanismen, der Zielgruppen mit dem größten Nutzen sowie möglicher Langzeitwirkungen. Vor allem aufgrund eines zunehmenden Interesses an ernährungsbasierter Immunmodulation und dem Wunsch nach präventiven Gesundheitsstrategien gewinnt dieses Forschungsfeld an Relevanz.

Zukünftige Interventionsstudien sind deshalb aus mehreren Gründen von hoher Bedeutung. Erstens kann die gezielte Einnahme von β -Carotin, etwa über

Lebensmittel oder Supplemente, einen Beitrag zur Stärkung des Immunsystems in vulnerablen oder chronisch kranken Populationen leisten. Zweitens könnte die systematische Untersuchung von Biomarkern wie Hautcarotinoiden oder Antikörperreaktionen neue Einblicke in die Zusammenhänge von Ernährung und dem Immunsystem geben. Der Einsatz standardisierter Messverfahren wie Hautscans in Kombination mit Blutparametern erlaubt hier eine starke Aussagekraft. Auch der Einfluss von Ernährungsmustern, Fettmasse und genetischer Variabilität auf die Resorption und Wirkung von β -Carotin sollte stärker berücksichtigt werden.

Insgesamt bietet das Forschungsfeld ein großes Potenzial, von der Prävention bis zur klinischen Anwendung, weshalb qualitativ hochwertige, randomisierte und langfristig angelegte Interventionsstudien auch künftig einen zentralen Stellenwert einnehmen sollten.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Mandrich, Luigi, Antonia Valeria Esposito, Silvio Costa, und Emilia Caputo. „Chemical Composition, Functional and Anticancer Properties of Carrot“. *Molecules* 28, Nr. 20 (19. Oktober 2023): 7161. <https://doi.org/10.3390/molecules28207161>.
- [2] Zeinab, Rami Abu, Mohamad Mroueh, Mona Diab-Assaf, Abdo Jurjus, Brigitte Wex, Amer Sakr, und Costantine F. Daher. „Chemopreventive Effects of Wild Carrot Oil against 7,12-Dimethyl Benz(a)Anthracene-Induced Squamous Cell Carcinoma in Mice“. *Pharmaceutical Biology* 49, Nr. 9 (September 2011): 955–61.
- [3] Que, Feng, Xi-Lin Hou, Guang-Long Wang, Zhi-Sheng Xu, Guo-Fei Tan, Tong Li, Ya-Hui Wang, Ahmed Khadr, und Ai-Sheng Xiong. „Advances in Research on the Carrot, an Important Root Vegetable in the Apiaceae Family“. *Horticulture Research* 6 (2019): 69. <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0150-6>.
- [4] „Die Wilde Karotte (Daucus carota): Eine phytochemische und pharmakologische Übersicht – PMC“. Zugriffen 25. April 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10781147/>.
- [5] Tan, Karen M. L., Jolene Chee, Kezlyn L. M. Lim, Maisie Ng, Min Gong, Jia Xu, Felicia Tin, u. a. „Safety, Tolerability, and Pharmacokinetics of β -Cryptoxanthin Supplementation in Healthy Women: A Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Clinical Trial“. *Nutrients* 15, Nr. 10 (16. Mai 2023): 2325. <https://doi.org/10.3390/nu15102325>.
- [6] Ahmad, Cawood, Iqbal, Ariño, Batool, Tariq, Azam, und Akhtar. „Phytochemicals in Daucus Carota and Their Health Benefits—Review Article“. *Foods* 8, Nr. 9 (19. September 2019): 424. <https://doi.org/10.3390/foods8090424>.
- [7] Tian, Zilong, Tianyu Dong, Shuwei Wang, Jie Sun, Haitao Chen, Ning Zhang, und Shuqi Wang. „A comprehensive review on botany, chemical composition and the impacts of heat processing and dehydration on the aroma formation of fresh carrot“. *Food Chemistry: X* 22 (8. Februar 2024): 101201. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101201>.
- [8] Kobaek-Larsen, Morten, Ulrik Deding, Issam Al-Najami, Bettina Hjelm Clausen, und Lars Porskjær Christensen. „Carrot Juice Intake Affects the Cytokine and Chemokine Response in Human Blood after Ex Vivo Lipopolysaccharide-Induced

- Inflammation“. *Nutrients* 15, Nr. 23 (2. Dezember 2023): 5002. <https://doi.org/10.3390/nu15235002>.
- [9] Singh, Balwinder, Jatinder Pal Singh, Amritpal Kaur, und Narpinder Singh. „Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review“. *Food Research International* 101 (1. November 2017): 1–16.
- [10] U, Deding, Baatrup G, Christensen Lp, und Kobaek-Larsen M. „Carrot Intake and Risk of Colorectal Cancer: A Prospective Cohort Study of 57,053 Danes“. *Nutrients* 12, Nr. 2 (27. Januar 2020). <https://doi.org/10.3390/nu12020332>.
- [11] Kobaek-Larsen, Morten, Ulrik Deding, Issam Al-Najami, Bettina Hjelm Clausen, und Lars Porskjær Christensen. „Carrot Juice Intake Affects the Cytokine and Chemokine Response in Human Blood after Ex Vivo Lipopolysaccharide-Induced Inflammation“. *Nutrients* 15, Nr. 23 (2. Dezember 2023): 5002. <https://doi.org/10.3390/nu15235002>.
- [12] Sun, Wenli, und Mohamad Hesam Shahrajabian. „Therapeutic Potential of Phenolic Compounds in Medicinal Plants—Natural Health Products for Human Health“. *Molecules* 28, Nr. 4 (15. Februar 2023): 1845. <https://doi.org/10.3390/molecules28041845>.
- [13] Xavier-Santos, Jacinthia Beatriz, Júlia Gabriela Ramos Passos, Jacyra Antunes Santos Gomes, Joelly Vilaine Cavalcante Cruz, Jovelina Samara Ferreira Alves, Vinícius Barreto Garcia, Rodrigo Moreira da Silva, u. a. „Topisches Gel mit phenolreichem Extrakt aus *Ipomoea pes-capre*- Blättern (Convolvulaceae) hat entzündungshemmende, wundheilende und antiophytische Eigenschaften“. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 149 (1. Mai 2022): 112921. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.112921>.
- [14] „Office of Dietary Supplements - Vitamin C“. Zugriffen 5. Juni 2024. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional/>.
- [15] „Office of Dietary Supplements - Vitamin E“. Zugriffen 5. Juni 2024. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminE-HealthProfessional/>.
- [16] Jilcott Pitts, Stephanie B., Qiang Wu, Nancy E. Moran, Melissa N. Laska, und Lisa Harnack. „Examining Potential Modifiers of Human Skin and Plasma Carotenoid Responses in a Randomized Trial of a Carotenoid-Containing Juice Intervention“. *The Journal of Nutrition* 153, Nr. 11 (1. November 2023): 3287–94. <https://doi.org/10.1016/j.tjn.2023.09.014>.

- [17] Rodriguez-Concepcion, Manuel, Javier Avalos, M. Luisa Bonet, Albert Boronat, Lourdes Gomez-Gomez, Damaso Hornero-Mendez, M. Carmen Limon, u. a. „A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health“. *Progress in Lipid Research* 70 (1. April 2018): 62–93. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>.
- [18] Mounien, Lourdes, Franck Tourniaire, und Jean-Francois Landrier. „Anti-Obesity Effect of Carotenoids: Direct Impact on Adipose Tissue and Adipose Tissue-Driven Indirect Effects“. *Nutrients* 11, Nr. 7 (11. Juli 2019): 1562. <https://doi.org/10.3390/nu11071562>.
- [19] „Obesity and overweight“. Zugegriffen 7. Juni 2024. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- [20] Amengual, Jaume, Erwan Gouranton, Yvonne G. J. van Helden, Susanne Hessel, Joan Ribot, Evelien Kramer, Beata Kiec-Wilk, u. a. „Beta-Carotene Reduces Body Adiposity of Mice via BCMO1“. *PLOS ONE* 6, Nr. 6 (1. Juni 2011): e20644. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020644>.
- [21] Bhandari, Shiva Ram, Juhee Rhee, Chang Sun Choi, Jung Su Jo, Yu Kyeong Shin, Jae Woo Song, Seong-Hoon Kim, und Jun Gu Lee. „Morphological and Biochemical Variation in Carrot Genetic Resources Grown under Open Field Conditions: The Selection of Functional Genotypes for a Breeding Program“. *Agronomy* 12, Nr. 3 (März 2022): 553. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030553>.
- [22] Britton, George. „Carotenoid research: History and new perspectives for chemistry in biological systems“. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, Carotenoids recent advances in cell and molecular biology, 1865, Nr. 11 (1. November 2020): 158699. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158699>.
- [23] Sies, Helmut. „Oxidative Stress: Concept and Some Practical Aspects“. *Antioxidants* 9, Nr. 9 (September 2020): 852. <https://doi.org/10.3390/antiox9090852>.
- [24] Demirci-Çekiç, Sema, Gülay Özkan, Aslı Neslihan Avan, Seda Uzunboy, Esra Çapanoğlu, und Reşat Apak. „Biomarkers of Oxidative Stress and Antioxidant Defense“. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 209 (5. Februar 2022): 114477. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2021.114477>.
- [25] Pisoschi, Aurelia Magdalena, Aneta Pop, Florin Iordache, Loredana Stanca, Gabriel Predoi, und Andreea Iren Serban. „Oxidative stress mitigation by

- antioxidants - An overview on their chemistry and influences on health status“. *European Journal of Medicinal Chemistry* 209 (1. Januar 2021): 112891. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112891>.
- [26] Ngo, Vy, und Martin L. Duennwald. „Nrf2 and Oxidative Stress: A General Overview of Mechanisms and Implications in Human Disease“. *Antioxidants* 11, Nr. 12 (Dezember 2022): 2345. <https://doi.org/10.3390/antiox11122345>.
- [27] Elvira-Torales, Laura Inés, Javier García-Alonso, und María Jesús Periago-Castón. „Nutritional Importance of Carotenoids and Their Effect on Liver Health: A Review“. *Antioxidants* 8, Nr. 7 (Juli 2019): 229. <https://doi.org/10.3390/antiox8070229>.
- [28] Yuan, S., H. J. Yu, M. W. Liu, Y. Huang, X. H. Yang, B. W. Tang, Y. Song, u. a. „The association of fruit and vegetable consumption with changes in weight and body mass index in Chinese adults: a cohort study“. *Public Health* 157 (1. April 2018): 121–26. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.01.027>.
- [29] Ordóñez-Díaz, José Luis, Isabel Velasco-Ruiz, Cristina Velasco-Tejero, Gema Pereira-Caro, und José Manuel Moreno-Rojas. „Seasonal and Morphology Effects on Bioactive Compounds, Antioxidant Capacity, and Sugars Profile of Black Carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.)“. *Foods* 13, Nr. 10 (18. Mai 2024): 1575. <https://doi.org/10.3390/foods13101575>.
- [30] Yoo, Kil Sun, Haejeen Bang, Leonard Pike, Bhimanagouda S. Patil, und Eun Jin Lee. „Comparing Carotene, Anthocyanins, and Terpenoid Concentrations in Selected Carrot Lines of Different Colors“. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 61, Nr. 2 (1. April 2020): 385–93. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00225-6>.
- [31] Pate, Kayla M., McCall Rogers, John Will Reed, Nicholas van der Munnik, Steven Zebulon Vance, und Melissa A. Moss. „Anthoxanthin Polyphenols Attenuate A β Oligomer-induced Neuronal Responses Associated with Alzheimer’s Disease“. *CNS Neuroscience & Therapeutics* 23, Nr. 2 (18. November 2016): 135–44. <https://doi.org/10.1111/cns.12659>.
- [32] Wojtunik-Kulesza, Karolina, Anna Oniszczuk, Tomasz Oniszczuk, Maciej Combrzyński, Dominika Nowakowska, und Arkadiusz Matwijczuk. „Influence of In Vitro Digestion on Composition, Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Food Polyphenols—A Non-Systematic Review“. *Nutrients* 12, Nr. 5 (13. Mai 2020): 1401. <https://doi.org/10.3390/nu12051401>.

- [33] „Diabetes“. Zugegriffen 23. April 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>.
- [34] Zheng, Ju-Sheng, Stephen J Sharp, Fumiaki Imamura, Rajiv Chowdhury, Thomas E Gundersen, Marinka Steur, Ivonne Sluijs, u. a. „Association of plasma biomarkers of fruit and vegetable intake with incident type 2 diabetes: EPIC-InterAct case-cohort study in eight European countries“. *The BMJ* 370 (8. Juli 2020): m2194. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2194>.
- [35] Mashhadi, Nafiseh Sokri, Mehrnoosh Zakerkish, Javad Mohammadiasl, Mehdi Zarei, Majid Mohammadshahi, und Mohammad Hossein Haghighizadeh. „Astaxanthin Improves Glucose Metabolism and Reduces Blood Pressure in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus“. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 27, Nr. 2 (2018): 341–46. <https://doi.org/10.6133/apjcn.052017.11>.
- [36] Abbasian, Firoozeh, Mohaddeseh Sadat Alavi, und Ali Roohbakhsh. „Dietary carotenoids to improve hypertension“. *Heliyon* 9, Nr. 9 (25. August 2023): e19399. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19399>.
- [37] McKay, Sue, Paul Oranje, Jari Helin, Jean H. Koek, Ellen Kreijveld, Pieter van den Abbeele, Ute Pohl, u. a. „Development of an Affordable, Sustainable and Efficacious Plant-Based Immunomodulatory Food Ingredient Based on Bell Pepper or Carrot RG-I Pectic Polysaccharides“. *Nutrients* 13, Nr. 3 (16. März 2021): 963. <https://doi.org/10.3390/nu13030963>.
- [38] Pinos, Ivan, Johana Coronel, Asma’a Albakri, Amparo Blanco, Patrick McQueen, Donald Molina, JaeYoung Sim, Edward A Fisher, und Jaume Amengual. „ β -Carotene accelerates the resolution of atherosclerosis in mice“. *eLife* 12 (o. J.): RP87430. <https://doi.org/10.7554/eLife.87430>.
- [39] Malinowski, Bartosz, Raul Ignacio Fajardo Leighton, Christopher George Hill, Paweł Szandorowski, und Michał Wiciński. „Bioactive Compounds and Their Effect on Blood Pressure—A Review“. *Nutrients* 12, Nr. 6 (Juni 2020): 1659. <https://doi.org/10.3390/nu12061659>.
- [40] Wolak, Talia, Yoav Sharoni, Joseph Levy, Karin Linnewiel-Hermoni, David Stepensky, und Esther Paran. „Effect of Tomato Nutrient Complex on Blood Pressure: A Double Blind, Randomized Dose–Response Study“. *Nutrients* 11, Nr. 5 (Mai 2019): 950. <https://doi.org/10.3390/nu11050950>.
- [41] Arevalo-Villalobos, Jaime I., Dania O. Govea Alonso, und Sergio Rosales-Mendoza. „Using carrot cells as biofactories and oral delivery vehicles of LTB-Syn:

- A low-cost vaccine candidate against synucleinopathies“. *Journal of Biotechnology* 309 (10. Februar 2020): 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.12.007>.
- [42] McKay, Sue, Annemarie Teitsma-Jansen, Esther Floris, Tamara Dekker, Barbara Smids, Ridha Khurshid, Wim Calame, Alwine Kardinaal, René Lutter, und Ruud Albers. „Effects of Dietary Supplementation with Carrot-Derived Rhamnogalacturonan-I (cRG-I) on Accelerated Protective Immune Responses and Quality of Life in Healthy Volunteers Challenged with Rhinovirus in a Randomized Trial“. *Nutrients* 14, Nr. 20 (12. Oktober 2022): 4258. <https://doi.org/10.3390/nu14204258>.
- [43] Carreño-Campos, Christian, Jaime I. Arevalo-Villalobos, María Luisa Villarreal, Anabel Ortiz-Caltempa, und Sergio Rosales-Mendoza. „Establishment of the Carrot-Made LTB-Syn Antigen Cell Line in Shake Flask and Airlift Bioreactor Cultures“. *Planta Medica* 88, Nr. 12 (Oktober 2022): 1060–68. <https://doi.org/10.1055/a-1677-4135>.
- [44] Van den Abbeele, Pieter, Lynn Verstrepen, Jonas Ghyselinck, Ruud Albers, Massimo Marzorati, und Annick Mercenier. „A Novel Non-Digestible, Carrot-Derived Polysaccharide (cRG-I) Selectively Modulates the Human Gut Microbiota while Promoting Gut Barrier Integrity: An Integrated In Vitro Approach“. *Nutrients* 12, Nr. 7 (29. Juni 2020): 1917. <https://doi.org/10.3390/nu12071917>.
- [45] Natarajamurthy, Sindhuja Heggavadipura, Srinivas Sistla, und Shylaja M. Dharmesh. „Disruption of Galectin-3 and Galectin-3 Binding Protein (G3BP) Interaction by Dietary Pectic Polysaccharides (DPP) - Arrest of Metastasis, Inhibition of Proliferation and Induction of Apoptosis“. *International Journal of Biological Macromolecules* 139 (15. Oktober 2019): 486–99. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.180>.
- [46] Liu, Ren, Hack Sun Choi, Su-Lim Kim, Ji-Hyang Kim, Bong-Sik Yun, und Dong-Sun Lee. „6-Methoxymellein Isolated from Carrot (*Daucus Carota* L.) Targets Breast Cancer Stem Cells by Regulating NF-κB Signaling“. *Molecules (Basel, Switzerland)* 25, Nr. 19 (23. September 2020): 4374. <https://doi.org/10.3390/molecules25194374>.
- [47] Deding, Ulrik, Gunnar Baatrup, Lars Porskjær Christensen, und Morten Kobaek-Larsen. „Carrot Intake and Risk of Colorectal Cancer: A Prospective Cohort Study of 57,053 Danes“. *Nutrients* 12, Nr. 2 (27. Januar 2020): 332. <https://doi.org/10.3390/nu12020332>.

- [48] Hara, Hideyuki, Haruya Takahashi, Shinsuke Mohri, Hiroki Murakami, Satoko Kawarasaki, Mari Iwase, Nobuyuki Takahashi, Minoru Sugiura, Tsuyoshi Goto, und Teruo Kawada. „ β -Cryptoxanthin Induces UCP-1 Expression via a RAR Pathway in Adipose Tissue“. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67, Nr. 38 (25. September 2019): 10595–603. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01930>.
- [49] Fujihara, Kazuya, Shun Nogawa, Kenji Saito, Chika Horikawa, Yasunaga Takeda, Kaori Cho, Hajime Ishiguro, u. a. „Carrot Consumption Frequency Associated with Reduced BMI and Obesity through the SNP Intermediary rs4445711“. *Nutrients* 13, Nr. 10 (30. September 2021): 3478. <https://doi.org/10.3390/nu13103478>.
- [50] Ismail, Jana, Wassim N. Shebaby, Joey Daher, Joelle C. Boulos, Robin Taleb, Costantine F. Daher, und Mohamad Mroueh. „The Wild Carrot (*Daucus carota*): A Phytochemical and Pharmacological Review“. *Plants* 13, Nr. 1 (27. Dezember 2023): 93. <https://doi.org/10.3390/plants13010093>.
- [51] „AGES – Die Österreichische Ernährungspyramide“. Zugegriffen 21. September 2024. <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/ernaehrungsempfehlungen/die-oesterreichische-ernaehrungspyramide>.
- [52] „Österreichische Ernährungsempfehlungen NEU“. Zugegriffen 21. September 2024. <https://www.sozialministerium.at/Themen/Gesundheit/Ernährung/Österreichische-Ernährungsempfehlungen-NEU.html>.
- [53] Mathews-Roth, M. M., M. A. Pathak, J. Parrish, T. B. Fitzpatrick, E. H. Kass, K. Toda, und W. Clemens. „A Clinical Trial of the Effects of Oral Beta-Carotene on the Responses of Human Skin to Solar Radiation“. *Journal of Investigative Dermatology* 59, Nr. 4 (1. Oktober 1972): 349–53. <https://doi.org/10.1111/1523-1747.ep12627408>.
- [54] Zerres, Sarah, und Wilhelm Stahl. „Carotenoids in human skin“. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, Carotenoids recent advances in cell and molecular biology, 1865, Nr. 11 (1. November 2020): 158588. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2019.158588>.
- [55] Scarmo, Stephanie, Brenda Cartmel, Haiqun Lin, David J. Leffell, Erin Welch, Prakash Bhosale, Paul S. Bernstein, und Susan T. Mayne. „Significant correlations of dermal total carotenoids and dermal lycopene with their respective plasma

- levels in healthy adults“. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, Carotenoids, 504, Nr. 1 (1. Dezember 2010): 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2010.07.004>.
- [56] Mathews-Roth, Micheline M. „Carotenoids in Erythropoietic Protoporphyria and Other Photosensitivity Diseases“. *Annals of the New York Academy of Sciences* 691, Nr. 1 (1993): 127–38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1993.tb26164.x>.
- [57] Darwin, Maxim E., Jürgen Lademann, Jörg von Hagen, Silke B. Lohan, Harald Kolmar, Martina C. Meinke, und Sora Jung. „Carotenoids in Human Skin In Vivo: Antioxidant and Photo-Protectant Role against External and Internal Stressors“. *Antioxidants* 11, Nr. 8 (August 2022): 1451. <https://doi.org/10.3390/antiox11081451>.
- [58] Balić, Anamaria, und Mislav Mokos. „Do We Utilize Our Knowledge of the Skin Protective Effects of Carotenoids Enough?“ *Antioxidants* 8, Nr. 8 (August 2019): 259. <https://doi.org/10.3390/antiox8080259>.
- [59] Madore, Matthew P., Jeong-Eun Hwang, Jin-Young Park, Seoeun Ahn, Hyojee Joung, und Ock K. Chun. „A Narrative Review of Factors Associated with Skin Carotenoid Levels“. *Nutrients* 15, Nr. 9 (Januar 2023): 2156. <https://doi.org/10.3390/nu15092156>.
- [60] Takayanagi, Yuji, Akira Obana, Shigeki Muto, Ryo Asaoka, Masaki Tanito, Igor V. Ermakov, Paul S. Bernstein, und Werner Gellermann. „Relationships between Skin Carotenoid Levels and Metabolic Syndrome“. *Antioxidants* 11, Nr. 1 (Januar 2022): 14. <https://doi.org/10.3390/antiox11010014>.
- [61] Baswan, Sudhir M., Allison E. Klosner, Cathy Weir, Dawna Salter-Venzon, Kevin W. Gellenbeck, Jesse Leverett, und Jean Krutmann. „Role of Ingestible Carotenoids in Skin Protection: A Review of Clinical Evidence“. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* 37, Nr. 6 (2021): 490–504. <https://doi.org/10.1111/phpp.12690>.
- [62] Obana, Akira, Yuko Gohto, Werner Gellermann, Igor V. Ermakov, Hiroyuki Sasano, Takahiko Seto, und Paul S. Bernstein. „Skin Carotenoid Index in a large Japanese population sample“. *Scientific Reports* 9 (27. Juni 2019): 9318. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45751-6>.
- [63] /

- [64] Di Noia, Jennifer, und Werner Gellermann. „Use of the Spectroscopy-Based Veggie Meter® to Objectively Assess Fruit and Vegetable Intake in Low-Income Adults“. *Nutrients* 13, Nr. 7 (30. Juni 2021): 2270. <https://doi.org/10.3390/nu13072270>.
- [65] May, Kimberly, Stephanie Jilcott Pitts, Virginia C. Stage, Casey J. Kelley, Sarah Burkholder, Xiangming Fang, April Zeng, und Suzanne Lazorick. „Use of the Veggie Meter® as a tool to objectively approximate fruit and vegetable intake among youth for evaluation of preschool and school-based interventions“. *Journal of human nutrition and dietetics: the official journal of the British Dietetic Association* 33, Nr. 6 (Dezember 2020): 869–75. <https://doi.org/10.1111/jhn.12755>.
- [66] Radtke, Marcela D., Mykaela Poe, Jodi Stookey, Stephanie Jilcott Pitts, Nancy E. Moran, Matthew J. Landry, Lewis P. Rubin, Virginia C. Stage, und Rachel E. Scherr. „Recommendations for the Use of the Veggie Meter® for Spectroscopy-Based Skin Carotenoid Measurements in the Research Setting“. *Current Developments in Nutrition* 5, Nr. 8 (29. Juli 2021): nzab104. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzab104>.
- [67] Jilcott Pitts, Stephanie B., Qiang Wu, Nancy E. Moran, Melissa N. Laska, und Lisa Harnack. „Examining Potential Modifiers of Human Skin and Plasma Carotenoid Responses in a Randomized Trial of a Carotenoid-Containing Juice Intervention“. *The Journal of Nutrition* 153, Nr. 11 (1. November 2023): 3287–94. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.09.014>.
- [68] Matsumoto, Mai, Hiroyuki Suganuma, Sunao Shimizu, Hiroki Hayashi, Kahori Sawada, Itoyo Tokuda, Kazushige Ihara, und Shigeyuki Nakaji. „Skin Carotenoid Level as an Alternative Marker of Serum Total Carotenoid Concentration and Vegetable Intake Correlates with Biomarkers of Circulatory Diseases and Metabolic Syndrome“. *Nutrients* 12, Nr. 6 (19. Juni 2020): 1825. <https://doi.org/10.3390/nu12061825>.
- [69] Baswan, Sudhir M., Alessandra Marini, Allison E. Klosner, Thomas Jaenicke, Jesse Leverett, Mary Murray, Kevin W. Gellenbeck, und Jean Krutmann. „Orally Administered Mixed Carotenoids Protect Human Skin against Ultraviolet A-Induced Skin Pigmentation: A Double-Blind, Placebo-Controlled, Randomized

- Clinical Trial“. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* 36, Nr. 3 (2020): 219–25. <https://doi.org/10.1111/phpp.12541>.
- [70] Meinke, M. C., S. B. Lohan, W. Köcher, B. Magnussen, M. E. Darvin, und J. Lademann. „Multiple Spatially Resolved Reflection Spectroscopy to Monitor Cutaneous Carotenoids during Supplementation of Fruit and Vegetable Extracts in Vivo“. *Skin Research and Technology* 23, Nr. 4 (2017): 459–62. <https://doi.org/10.1111/srt.12356>.
- [71] Biozoom. „Oxidativer Stress | Mybiozoom.com | Kassel“. Zugegriffen 21. November 2024. <https://www.mybiozoom.com>.
- [72] Gehlich, Kerstin H., Georges Koch, Wolfgang Köcher, Martina C. Meinke, Bernhard Lange-Asschenfeldt, und Jürgen Lademann. „Spectroscopic Biofeedback on Cutaneous Carotenoids: A Powerful Tool for Primary Prevention in Advanced Age“. *Journal of Biophotonics* 16, Nr. 7 (2023): e202200394. <https://doi.org/10.1002/jbio.202200394>.
- [73] Darvin, Maxim E., Björn Magnussen, Juergen Lademann, und Wolfgang Köcher. „Multiple Spatially Resolved Reflection Spectroscopy for in Vivo Determination of Carotenoids in Human Skin and Blood“. *Laser Physics Letters* 13, Nr. 9 (August 2016): 095601. <https://doi.org/10.1088/1612-2011/13/9/095601>.
- [74] Howe, Cheryl A., Riley J. Corrigan, Maya Djalali, Chris McManaway, Alexandra Grbcich, und Grace Sam Aidoo. „Feasibility of Using Bioelectrical Impedance Analysis for Assessing Youth Weight and Health Status: Preliminary Findings“. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, Nr. 19 (26. September 2021): 10094. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910094>.
- [75] Rucklidge, Julia J., Alisha Bruton, Alanna Welsh, Hayleigh Ast, und Jeanette M. Johnstone. „Annual Research Review: Micronutrients and Their Role in the Treatment of Paediatric Mental Illness“. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 20. Dezember 2024. <https://doi.org/10.1111/jcpp.14091>.
- [76] Ockenga, Johann. „SOP Bioimpedanzmessung“. *Gastroenterologie up2date* 18 (12. Dezember 2022): 301–6. <https://doi.org/10.1055/a-1935-0345>.
- [77] Kyle, Ursula G., Ingvar Bosaeus, Antonio D. De Lorenzo, Paul Deurenberg, Marinos Elia, José Manuel Gómez, Berit Lilienthal Heitmann, u. a. „Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods“. *Clinical Nutrition* 23, Nr. 5 (1. Oktober 2004): 1226–43. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004>.

- [78] Kyle, Ursula G., Ingvar Bosaeus, Antonio D. De Lorenzo, Paul Deurenberg, Marinos Elia, José Manuel Gómez, Berit Lilienthal Heitmann, u. a. „Bioelectrical Impedance Analysis—Part II: Utilization in Clinical Practice“. *Clinical Nutrition* 23, Nr. 6 (1. Dezember 2004): 1430–53. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.09.012>.
- [79] Sun, Shumei S, W Cameron Chumlea, Steven B Heymsfield, Henry C Lukaski, Dale Schoeller, Karl Friedl, Robert J Kuczmarski, Katherine M Flegal, Clifford L Johnson, und Van S Hubbard. „Entwicklung von Vorhersagegleichungen für die Körperzusammensetzung mittels bioelektrischer Impedanzanalyse unter Verwendung eines Mehrkomponentenmodells für den Einsatz in epidemiologischen Untersuchungen 1 2 3 4“. *The American Journal of Clinical Nutrition* 77, Nr. 2 (1. Februar 2003): 331–40. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.2.331>.
- [80] „Deutsche Horizontale“. In *Wikipedia*, 12. Januar 2025. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Deutsche_Horizontale&oldid=252177159.
- [81] Gesundheitsportal. „Body Mass Index (BMI) - BMI berechnen“. Zugegriffen 18. April 2025. <https://www.gesundheit.gv.at/leben/ernaehrung/info/bmi.html>.
- [82] „Waist circumference and waist-hip ratio: report of a WHO expert consultation“. Zugegriffen 18. April 2025. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241501491>.
- [83] Czakomo. *Deutsch: Schaltbild der bioelektrischen Impedanzmessung, BIA*. 27. Juni 2012. Eigenes Werk. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BIA_Schaltbild_AGWissenschaft_28.06.2012.jpg?uselang=de#filelinks.
- [84] Czakomo. *Deutsch: Zylindrisches Modell der bioelektrischen Impedanzanalyse, BIA*. 27. Juni 2012. Eigene Arbeit. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BIA_Zylindrisches_Modell_pro_toto_AGWissenschaft_28.06.2012.jpg.
- [85] Gesundheitsportal. „Die Österreichische Ernährungspyramide und der gesunde Teller“. Zugegriffen 3. Juli 2025. <https://www.gesundheit.gv.at/leben/ernaehrung/info/oesterreichische-ernaehrungspyramide/ernaerungspyramide-gesunder-teller.html>.
- [86] Toh, Darel Wee Kiat, Wen Wei Loh, Clarinda Nataria Sutanto, Yuanhang Yao, und Jung Eun Kim. „Skin carotenoid status and plasma carotenoids: biomarkers of

dietary carotenoids, fruits and vegetables for middle-aged and older Singaporean adults“. *British Journal of Nutrition* 126, Nr. 9 (November 2021): 1398–1407.
<https://doi.org/10.1017/S0007114521000143>.

[87] Connolly, Emma L., Catherine P. Bondonno, Marc Sim, Simone Radavelli-Bagatini, Kevin D. Croft, Mary C. Boyce, Anthony P. James, u. a. „A randomised controlled crossover trial investigating the short-term effects of different types of vegetables on vascular and metabolic function in middle-aged and older adults with mildly elevated blood pressure: the VEgetableS for vaScular hEaLth (VESSEL) study protocol“. *Nutrition Journal* 19, Nr. 1 (12. Mai 2020): 41.
<https://doi.org/10.1186/s12937-020-00559-3>.

[88] Puścion-Jakubik, Anna, Renata Markiewicz-Żukowska, Sylwia K. Naliwajko, Krystyna J. Gromkowska-Kępa, Justyna Moskwa, Monika Grabia, Anita Mielech, u. a. „Intake of Antioxidant Vitamins and Minerals in Relation to Body Composition, Skin Hydration and Lubrication in Young Women“. *Antioxidants* 10, Nr. 7 (Juli 2021): 1110. <https://doi.org/10.3390/antiox10071110>.

[89] Perrett, David I., Sean N. Talamas, Patrick Cairns, und Audrey J. Henderson. „Skin Color Cues to Human Health: Carotenoids, Aerobic Fitness, and Body Fat“. *Frontiers in Psychology* 11 (11. März 2020).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00392>.

[90] Ahn, Seoeun, Jeong-Eun Hwang, Yoon Jae Kim, Kunsun Eom, Myoung Hoon Jung, HyunSeok Moon, Dongwoo Ham, u. a. „Examination of the Utility of Skin Carotenoid Status in Estimating Dietary Intakes of Carotenoids and Fruits and Vegetables: A Randomized, Parallel-Group, Controlled Feeding Trial“. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)* 119 (März 2024): 112304.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2023.112304>.

[91] Jung, Bena, Maxim E. Darvin, Sora Jung, Stephanie Albrecht, Sabine Schanzer, Martina C. Meinke, Gisela Thiede, und Juergen Lademann. „Kinetics of the carotenoid concentration degradation of smoothies and their influence on the antioxidant status of the human skin in vivo during 8 weeks of daily consumption“. *Nutrition Research* 81 (1. September 2020): 38–46.
<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.06.011>.

[92] Hughes, D. A., A. J. Wright, P. M. Finglas, A. C. Peerless, A. L. Bailey, S. B. Astley, A. C. Pinder, und S. Southon. „The Effect of Beta-Carotene Supplementation on the Immune Function of Blood Monocytes from Healthy Male

- Nonsmokers“. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 129, Nr. 3 (März 1997): 309–17. [https://doi.org/10.1016/s0022-2143\(97\)90179-7](https://doi.org/10.1016/s0022-2143(97)90179-7).
- [93] Santos, M. S., L. S. Leka, J. D. Ribaya-Mercado, R. M. Russell, M. Meydani, C. H. Hennekens, J. M. Gaziano, und S. N. Meydani. „Short- and Long-Term Beta-Carotene Supplementation Do Not Influence T Cell-Mediated Immunity in Healthy Elderly Persons“. *The American Journal of Clinical Nutrition* 66, Nr. 4 (Oktober 1997): 917–24. <https://doi.org/10.1093/ajcn/66.4.917>.
- [94] Del Rio, D., S. Valtueña, N. Pellegrini, M. A. Bianchi, D. Ardigò, L. Franzini, F. Scazzina, L. Monti, I. Zavaroni, und F. Brighenti. „Intervention Study with a High or Low Antioxidant Capacity Diet: Effects on Circulating Beta-Carotene“. *European Journal of Clinical Nutrition* 63, Nr. 10 (Oktober 2009): 1220–25. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.46>.
- [95] Gesundheitsportal. „Abnehmen mit Bewegung und Ernährung“. Zugegriffen 12. Juli 2025. <https://www.gesundheit.gv.at/leben/bewegung/sport-ernaehrung/abnehmen.html>.
- [96] DeepL SE. DeepL Translator [Internet]. Cologne (Germany): DeepL SE; c2017–2025 [cited 2025 Nov 4]. Available from: <https://www.deepl.com/translator>