

DISSERTATION

Nährstoffaufnahme und Vorteile pflanzenbasierter Ernährung für  
die kardiovaskuläre Gesundheit bei Patienten mit metabolischem  
Syndrom (CardioVeg-Studie)

Nutrient intake and potential benefits of a plant-based diet for car-  
diovascular health in patients with metabolic syndrome  
(CardioVeg study)

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Justina Ugne Dressler

Erstbetreuung: Prof. Dr. med. Andreas Michalsen

Datum der Promotion: 30.06.2024



## Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis .....	iv
Abbildungsverzeichnis .....	v
Abkürzungsverzeichnis .....	vi
Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung .....	5
1.1 Das Metabolische Syndrom (MetS) .....	5
1.1.1 Definition des MetS .....	5
1.1.2 Inzidenz und Prävalenz des MetS .....	6
1.1.3 Ursachen und Behandlung des MetS.....	6
1.2 Definition Pflanzenbasierte Ernährung (PBD) .....	7
1.3 Wirkmechanismen der PBD zur Verbesserung des MetS .....	9
1.3.1 Unterstützung beim Gewichtsmanagement.....	9
1.3.2 Verbesserung der Insulinsensitivität.....	10
1.3.3 Verbesserung der Blutfettwerte .....	11
1.3.4 Senkung des Blutdrucks .....	11
1.3.5 Entzündungshemmung.....	12
1.3.6 Reduzierung von oxidativem Stress .....	13
1.3.7 Verbesserung der Darmgesundheit.....	13
1.4 PBD und das Risiko eines Nährstoffmangels .....	13
1.5 Fragestellung und Ziel der vorliegenden Arbeit .....	14
2 Methodik .....	15
2.1 Stichprobenauswahl und Definition der Ein- und Ausschlusskriterien.....	15
2.2 Rekrutierung der CardioVeg Studienteilnehmer .....	17
2.3 Auswahl und Randomisierung der CardioVeg Studienteilnehmer.....	18
2.4 Studiendesign und Studiendauer der CardioVeg Studie .....	19
2.5 Lerninhalte und Definition der Lernziele der Interventionsgruppe .....	20

---

2.6	Monitoring der CardioVeg Studie.....	22
2.6.1	Dokumentation der Ernährungsdaten.....	22
2.6.2	Digitalisierung der Ernährungsdaten .....	23
2.7	Vergleich der Nährwerte mit studienspezifischen D-A-CH-Referenzwerten....	24
2.8	Statistische Auswertung .....	26
3	Ergebnisse .....	27
3.1	Demografische Charakteristika der Studienpopulation.....	27
3.2	Anthropometrische, klinische und hämodynamische Charakteristika der Studienpopulation .....	28
3.3	Ernährungsdaten der Studienpopulation .....	29
3.3.1	Makronährstoffaufnahme im Rahmen der CardioVeg Studie.....	29
3.3.2	Mikronährstoffaufnahme im Rahmen der CardioVeg Studie .....	32
4	Diskussion.....	35
4.1	Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse.....	35
4.2	Interpretation und Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand .....	35
4.2.1	Makronährstoffe.....	36
4.2.2	Nahrungsbegleitstoffe.....	40
4.2.3	Mikronährstoffe.....	42
4.3	Stärken und Schwächen der Studie .....	46
4.4	Implikationen für Praxis und zukünftige Forschung .....	48
4.4.1	Klinische Relevanz .....	48
4.4.2	Perspektiven .....	49
5	Schlussfolgerungen .....	51
	Literaturverzeichnis .....	52
	Eidesstattliche Versicherung.....	63
	Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen.....	64

---

Druckexemplar der Publikation .....	65
Lebenslauf.....	79
Komplette Publikationsliste .....	80
Danksagung .....	81

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Definition von Ernährungsbegriffen .....	8
Tabelle 2	Ein- und Ausschlusskriterien der CardioVeg Studie.....	16
Tabelle 3	Lehrplan für eine vollwertige Pflanzenbasierte Diät (PBD) im Rahmen der CardioVeg Studienintervention .....	21
Tabelle 4	Geschlechts- und altersspezifische D-A-CH-Referenzwerte bei einem PAL von 1,6.....	25
Tabelle 5	Demografische Daten der CardioVeg-Subgruppenpopulation .....	27
Tabelle 6	Anthropometrische, klinische und hämodynamische Charakteristika der CardioVeg Subgruppenpopulation .....	28
Tabelle 7	Tägliche Makronährstoffaufnahme absolut und relativ zum DRI vor und nach der Intervention sowie zwischen den Gruppen .....	31
Tabelle 8	Tägliche Mikronährstoffaufnahme absolut und relativ zum DRI vor und nach der Intervention sowie zwischen den Gruppen .....	34

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Mögliche Mechanismen, die den kardiovaskulären Auswirkungen einer gesunden pflanzlichen Ernährung zugrunde liegen .....	9
Abbildung 2	Vereinfachte Darstellung des Studiendesigns und Auswahl der Studienteilnehmer .....	19
Abbildung 3	Aufnahme von Makronährstoffen und Begleitstoffen im Rahmen der CardioVeg Studie .....	30
Abbildung 4	Aufnahme von Mikronährstoffen (Vitamine und Mineralien) im Rahmen der CardioVeg Studie .....	33

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
ALA	Alpha Linolensäure (engl. " <i><math>\alpha</math>-Linolenic Acid</i> ")
ABPM	Ambulante Blutdrucküberwachung (engl. " <i>Ambulatory blood pressure monitoring</i> ")
BMI	<i>Body Mass Index</i>
BLS	Bundeslebensmittelschlüssel
CI	Konfidenzintervall (engl. " <i>Confidence Interval</i> ")
KG	Kontrollgruppe
CVD	Herz-Kreislauf-Erkrankungen (engl. " <i>Cardiovascular Disease</i> ")
D-A-CH	Vereinigung der ernährungswissenschaftlichen Fachgesellschaften Deutschlands (D), Österreichs (A) und der Schweiz (CH)
DBD	Diastolischer Blutdruck (engl. " <i>Diastolic Blood Pressure</i> ")
DDG	Deutschen Diabetes Gesellschaft
DGE	Deutschen Gesellschaft für Endokrinologie
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DRI	Empfohlene Tagesdosis (engl. " <i>Daily Recommended Intake</i> ")
HbA1c	Hämoglobin A1c
HDL	<i>High Density Lipoprotein</i>
HOMA	<i>Homeostasis Model Assessment</i>
LA	Linolsäure (engl. " <i>Linoleic Acid</i> ")
LDL	<i>Low Density Lipoprotein</i>
MUFA	Einfach ungesättigte Fettsäuren (engl. " <i>Monounsaturated Fatty Acids</i> ")
ÖGE	Österreichische Gesellschaft für Ernährung
PAL	Körperliche Aktivität (engl. " <i>Physical Activity Level</i> ")
PBD	Pflanzenbasierte Diät
PBG	Pflanzenbasierte Gruppe
PUFA	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (engl. " <i>Polyunsaturated Fatty Acids</i> ")
RCT	Randomisierte Kontrollierte Studie
ROS	Reaktive Sauerstoffspezies (engl. " <i>Reactive Oxygen Species</i> ")
SBD	Systolischer Blutdruck (engl. " <i>Systolic Blood Pressure</i> ")
SD	Standardabweichung (engl. " <i>Standard Deviation</i> ")
SFA	Gesättigte Fettsäuren (engl. " <i>Saturated Fatty Acids</i> ")
SGE	Schweizerische Gesellschaft für Ernährung
TG	Triglyceride

Geläufige englische Begriffe und Abkürzungen wurden nicht ins Deutsche übersetzt und werden im Verzeichnis *kursiv* dargestellt



## Zusammenfassung

Eine pflanzenbasierte Ernährung birgt ein geringeres Risiko für ernährungsbedingte Krankheiten wie Fettleibigkeit, Diabetes Typ 2, Bluthochdruck und Fettstoffwechselstörungen, alles Komponenten des metabolischen Syndroms. Dies wird in der wissenschaftlichen Literatur zunehmend bestätigt. Der positive Effekt einer pflanzenbasierten Ernährung kann auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden, darunter ein hoher Gehalt an Ballaststoffen, Antioxidantien, Vitaminen, Mineralien und anderen wertvollen Nährstoffen. Im Gegensatz dazu ist der Anteil an gesättigten Fetten und Cholesterin in einer pflanzenbasierten Ernährung gering, was als Risikofaktor für Herzkrankheiten und andere Gesundheitsprobleme gilt.

Die randomisierte, kontrollierte Studie "CardioVeg" hatte zum Ziel, die potenziellen Vorteile einer pflanzlichen Ernährung für die Herzgesundheit zu untersuchen. Eingeschlossen wurden Probanden, bei denen mindestens drei der fünf definierten Kriterien des Metabolischen Syndroms zutrafen. Während der Studienintervention erhielten die Studienteilnehmer regelmäßige Beratungsgespräche zur Umstellung auf eine vollwertige Pflanzenbasierte Ernährung (PBD). Die Interventions- und Kontrollgruppe wurden umfangreichen Erhebungen zu physiologischen, psychologischen und ernährungsbezogenen Parametern unterzogen.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Subgruppe der CardioVeg-Studien-Population im Hinblick auf ihre Ernährungsdaten analysiert. Es erfolgte ein Vergleich der Ernährungsqualität und -quantität zu den aktuellen D-A-CH-Empfehlungen. Dies ist insbesondere wichtig, da häufig die These vertreten wird, dass eine PBD nicht alle essenziellen Nährstoffe liefert und dadurch Mangelzustände hervorgerufen werden könnten.

Die vorliegende Analyse ergab, dass die Nährstoffzusammensetzung der Teilnehmer, die sich pflanzenbasiert ernährten, im Vergleich zu den Teilnehmern mit omnivorer Diät günstiger für die kardiovaskuläre Gesundheit war. Besonders vorteilhafte Merkmale der PBD waren eine geringere Energiedichte, eine niedrigere Aufnahme von gesättigten Fettsäuren und Cholesterin, ein höherer Verzehr von Ballaststoffen und eine geringere Salzaufnahme. Die meisten Vitamine und Mineralstoffe wurden in ausreichender Menge zugeführt. Wie erwartet erreichten die Teilnehmer der PBG die empfohlene Zufuhr von Vitamin B12 nicht, weshalb eine Supplementierung von Anfang an empfohlen wurde. In beiden Gruppen wurde eine mangelnde Zufuhr mehrerer Nährstoffe (Vitamin D, Vitamin B5/Pantothensäure, Jod) festgestellt, was darauf hindeutet, dass diese Nährstoffe für die

öffentliche Gesundheit von Bedeutung sind und nicht nur mit der PBD in Zusammenhang gebracht werden sollten.

Die Vorteile und die präventive Wirkung der PBD für die Herzgesundheit sind anhand dieser Daten vielversprechend, sodass diese Ernährungsweise als Teil der Therapie für Patienten mit erhöhtem kardiovaskulärem Risiko betrachtet werden sollte.

## Abstract

There is a growing body of scientific evidence indicating that a whole-food plant-based diet is associated with a lower risk of diet-related diseases compared to a diet containing animal products. Among these diseases are obesity, type 2 diabetes mellitus, hypertension and dyslipidaemia - all components of the metabolic syndrome.

There are several factors that can contribute to the health-promoting effects of a plant-based diet. A plant-based diet is typically rich in fibre, antioxidants, vitamins, minerals and other beneficial nutrients that can help reduce the risk of diet-related health problems. Plant-based diets may also help reduce the consumption of saturated fat and cholesterol, which are considered risk factors for heart disease and other health problems. The randomized controlled trial "CardioVeg" aims to investigate the potential benefits of a plant-based diet for heart health. Subjects aged 25 to 75 years who met at least three of the five defined criteria for metabolic syndrome were included.

During the study intervention, the study participants, who previously ate a normal mixed diet, received regular counselling sessions on how to switch to a whole-food, plant-based diet. The control group continued to eat as usual but was given the opportunity to complete the same therapy program at the end of the study. Extensive surveys of physiological and nutritional parameters as well as psychological well-being were conducted in both groups.

In the present work, a subpopulation of the CardioVeg study population was studied in more detail, and nutritional data were analysed. A comparison of diet quality and quantity with respect to current D-A-CH recommendations was performed. This is particularly important as it is often argued that a plant-based diet does not provide all essential nutrients and could therefore cause deficiencies.

According to the current analysis, individuals following a plant-based diet demonstrated a more advantageous nutrient profile for cardiovascular well-being in comparison to those following an omnivorous diet. Notably, the plant-based diet showcased beneficial characteristics such as reduced energy density, lower intake of saturated fats and cholesterol, increased fiber consumption, and lower salt intake. Most vitamins and minerals were provided in adequate amounts. As expected, participants in the plant-based group did not reach the recommended intake of vitamin B12, therefore supplementation was recommended from the beginning. Both groups were found to be deficient in several critical

nutrients (vitamin D, pantothenic acid, iodine), suggesting that these nutrients are important for public health and should not be associated only with the plant-based diet.

Overall, the benefits and preventive effects of the plant-based diet for heart health are so promising that this diet should be considered as part of therapy for patients at increased cardiovascular risk.

# 1 Einleitung

## 1.1 Das Metabolische Syndrom (MetS)

### 1.1.1 Definition des MetS

Fettleibigkeit, Bluthochdruck, Fettstoffwechselstörungen und Diabetes-Mellitus-Typ-2 sind häufige Erkrankungen, die oft gemeinsam auftreten und in der Kombination als das Metabolische Syndrom (MetS) bezeichnet werden (Alberti et al., 2009; Castro-Barquero et al., 2020). Von einem Syndrom spricht man, wenn verschiedene Symptome gleichzeitig auftreten, die jedoch jeweils unterschiedliche Ursachen haben können. Obwohl die Definition des MetS hierzulande anderer internationaler Organisationen wie der International Diabetes Federation (IDF) ähnelt, gibt es doch feine Unterschiede. Nach deutschen Kriterien der Deutschen Diabetes Gesellschaft (DDG) und der Deutschen Gesellschaft für Endokrinologie (DGE) wird ein MetS diagnostiziert, wenn mindestens drei der folgenden fünf Kriterien erfüllt sind:

1. Zentrale Adipositas, definiert durch einen Taillenumfang von  $\geq 94$  cm bei Männern und  $\geq 80$  cm bei Frauen
2. Erhöhte Triglyceride ( $\geq 150$  mg/dL)
3. Vermindertes HDL-Cholesterin ( $< 40$  mg/dL bei Männern und  $< 50$  mg/dL bei Frauen)
4. Erhöhter Blutdruck (systolisch  $\geq 130$  mmHg oder diastolisch  $\geq 85$  mmHg)
5. Erhöhter Nüchternblutzucker ( $\geq 100$  mg/dL)

Alle diese einzelnen Symptome oder Krankheitsbilder des MetS können die Blutgefäße beschädigen und das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, wie Herzinfarkt und Schlaganfall erhöhen (Bonora et al., 2004). Je nachdem, wie viele dieser gefäßschädigenden Symptome gleichzeitig auftreten, steigt das Risiko weiter an (Isomaa et al., 2001; Lakka et al., 2002; Ballantyne et al., 2008)

### 1.1.2 Inzidenz und Prävalenz des MetS

Das MetS ist stark verbreitet und betrifft viele Menschen weltweit. Es gilt als ein wichtiger Risikofaktor für die Entwicklung von chronischen Krankheiten wie Diabetes-Mellitus-Typ-2 und Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Paulweber et al., 2010). Dennoch gibt es keine Erhebung, die genau besagt, welcher Anteil der Bevölkerung an einem MetS leidet. Das liegt unter anderem an den vielfältigen Kriterien und unterschiedlichen Definitionen. Die Prävalenz bei Erwachsenen im Alter von 18 bis 99 Jahren schwankt abhängig von der Datenquelle zwischen 19,8 und 23,8 % (Moebus et al., 2008; Castro-Barquero et al., 2020). Das bedeutet, dass ungefähr jeder fünfte Erwachsene in Deutschland von diesem Syndrom betroffen ist. Das MetS tritt am häufigsten bei Menschen über 60 Jahren auf, wobei auch immer mehr Kinder und Jugendliche an der Krankheit leiden. Männer scheinen etwas häufiger betroffen zu sein als Frauen, wobei die Prävalenz bei Männern zwischen 22,7 und 26,6 % und bei Frauen zwischen 18,0 und 21,0 % liegt (Neuhauser et al., 2005; Moebus et al., 2006). Weltweit sind die Raten für das MetS hoch und nehmen aufgrund von Veränderungen in der Ernährung und dem Lebensstil weiter zu (Ford et al., 2008; Pan et al., 2008). Laut einer Schätzung der Weltgesundheitsorganisation sind weltweit etwa 20-25 % der Erwachsenen von dem Syndrom betroffen (World Health Organization, 2011). In einigen Ländern ist die Prävalenzrate noch höher. Zum Beispiel haben Studien in den USA gezeigt, dass etwa 35-40 % der Erwachsenen betroffen sind (Ford et al., 2008; Benjamin et al., 2018). Aufgrund von Veränderungen im Lebensstil und Ernährung steigt die Prävalenz auch in einigen asiatischen Ländern wie Indien und China (Cameron et al., 2004; Pan et al., 2008).

### 1.1.3 Ursachen und Behandlung des MetS

Häufig wird das MetS als Wohlstandskrankheit bezeichnet, da sich die Anzeichen der Krankheit oft als Folge eines modernen westlichen Lebensstils entwickeln. Obwohl die genauen Ursachen des MetS nicht vollständig verstanden sind, wird vermutet, dass sowohl genetische als auch Umweltfaktoren eine Rolle bei seiner Entwicklung spielen. Angesichts der multifaktoriellen Ursachen des MetS, einschließlich einer ungesunden Ernährung, Bewegungsmangel, Insulinresistenz und Diabetes-Mellitus-Typ-2, Hypercholesterinämie oder Hypertonie, ist eine umfassende und multidisziplinäre Herangehensweise in der Regel erforderlich, um eine ganzheitliche Behandlung zu gewährleisten.

Diese interdisziplinäre Herangehensweise kann eine Kombination aus medikamentöser Behandlung, Bewegungstherapie, sowie Ernährungsmodifikationen umfassen. Vor allem kann eine PBD ein vielversprechender therapeutischer Ansatz beim MetS sein. Diverse Studien haben gezeigt, dass eine PBD die Symptome des MetS wie beispielsweise die Insulinresistenz, Übergewicht, Bluthochdruck und erhöhte Blutfettwerte verbessern kann (Barnard et al., 2005; Kahleova et al., 2020).

## 1.2 Definition Pflanzenbasierte Ernährung (PBD)

Im Allgemeinen konzentrieren sich pflanzenbasierte Ernährungsformen auf Lebensmittel pflanzlicher Herkunft und bestehen aus einem reduzierten Konsum oder sogar dem Verzicht auf tierische Produkte (Tuso et al., 2013; Storz, 2022). Im Idealfall besteht die PBD aus Gemüse, Obst, Vollkornprodukten, Hülsenfrüchten, Nüssen und Samen und beinhaltet eine Vielzahl von Vitaminen, Mineralien, Ballaststoffen und Antioxidantien. Eine PBD schließt in der Regel auch vielfältige pflanzliche Fette, wie Olivenöl, Leinöl oder Avocado ein. Auch eiweißreiche Lebensmittel aus pflanzlichen Quellen, wie zum Beispiel Bohnen, Linsen, Erbsen, Nüsse, Samen und Soja sind Bestandteil einer vollwertigen PBD. Nahrungsmittel tierischen Ursprungs, wie Milch und Milchprodukte, Fisch und Meeresfrüchte, Fleisch und Eier gilt es bei der PBD zu reduzieren und idealerweise zu vermeiden.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Definitionen von vegetarischen Ernährungsformen je nach Region, Kultur und individuellen Präferenzen variieren können (Clarys et al., 2014; Lemale et al., 2019; Vergeer et al., 2020). Eine PBD kann auch in verschiedenen Varianten auftreten, wie zum Beispiel eine vegane Ernährung, bei der keinerlei tierische Produkte konsumiert werden, oder eine vegetarische Ernährung, bei der auf Fleisch verzichtet wird, aber Milchprodukte und Eier erlaubt sind. Die Unterscheidung zwischen den verschiedenen Formen des Vegetarismus erfolgt nach dem Anteil der tierischen Lebensmittel, sowie der Art und Zubereitung der pflanzlichen Lebensmittel (Richter et al., 2016).

In

Tabelle 1 sind einige etablierte Kategorien dargestellt.

Tabelle 1 *Definition von Ernährungsbegriffen modifiziert nach (Richter et al., 2016)*

<b>Bezeichnung der Ernährungsform</b>	<b>Definition</b>
Vegane Ernährung	Enthält keine tierischen Produkte (Fleisch, Fisch, Geflügel, Eier oder Milchprodukte), sondern legt den Schwerpunkt auf pflanzliche Lebensmittel (wie Obst, Gemüse, Vollkornprodukte und Hülsenfrüchte/Bohnen), zusätzlicher Verzicht auf andere tierische Produkte wie Honig und Gelatine
Vegetarische Ernährung	Enthält kein Fleisch, Fisch oder Geflügel, aber Eier und Milchprodukte sowie pflanzliche Lebensmittel (wie Obst, Gemüse, Vollkornprodukte und Hülsenfrüchte/Bohnen)
Pesco-vegetarische Ernährung	Enthält kein Fleisch oder Geflügel, aber Fisch und Schalentiere, Eier und Milchprodukte, zusätzlich zu pflanzlichen Lebensmitteln (wie Obst, Gemüse, Vollkornprodukte und Hülsenfrüchte/Bohnen)
Semi-/Flexi-vegetarische Ernährung	Enthält alle Lebensmittel, einschließlich Fleisch, Geflügel, Fisch und Schalentiere, Eier und Milchprodukte, zusätzlich zu pflanzlichen Lebensmitteln (wie Obst, Gemüse, Vollkornprodukte und Hülsenfrüchte/Bohnen). Der Verzehr von rotem Fleisch und Geflügel ist jedoch eingeschränkt.
Omnivore Ernährung	Enthält alle Lebensmittelgruppen

In der vorliegenden Arbeit wird die pflanzliche Ernährung als Oberbegriff für eine vollwertige Ernährungsweise verstanden, die weitgehend auf tierische Produkte verzichtet, vergleichbar mit der veganen Ernährungsform.



### 1.3 Wirkmechanismen der PBD zur Verbesserung des MetS

Die Mechanismen, auf denen die positiven Auswirkungen einer vollwertigen PBD auf das Herz-Kreislauf-System beruhen, sind eng miteinander verknüpft und können synergetisch auf die kardiovaskuläre Gesundheit wirken.

Eine PBD kann dazu beitragen, das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen zu reduzieren, indem sie mehrere Komponenten des MetS verbessert. In Abbildung 1 sind die Punkte aufgeführt, die im Folgenden genauer erläutert werden.

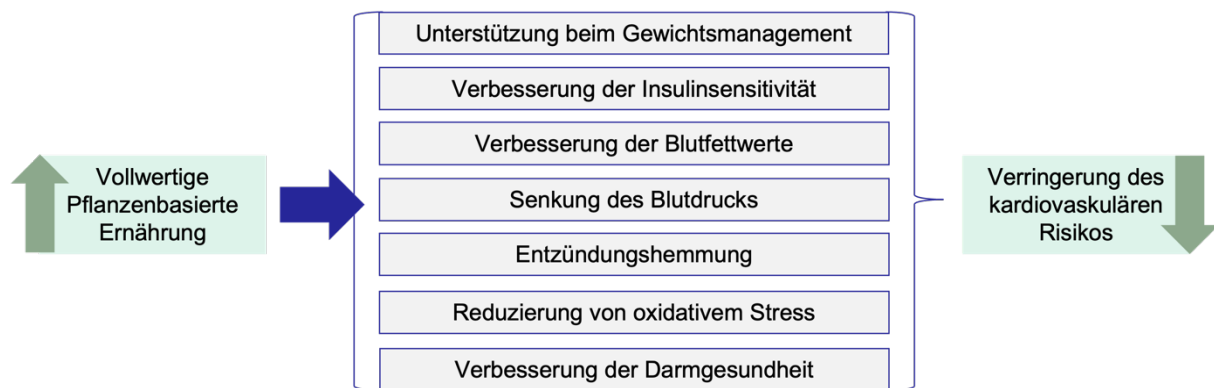


Abbildung 1 Mögliche Mechanismen, die den kardiovaskulären Auswirkungen einer gesunden pflanzlichen Ernährung zugrunde liegen; eigene Abb. modifiziert nach (Satija et al., 2018)

#### 1.3.1 Unterstützung beim Gewichtsmanagement

Eine PBD kann für die Kontrolle des Körpergewichts vorteilhaft sein, da die Energiedichte geringer ist als bei der omnivoren Ernährungsweise (Clarys et al., 2014). In der Regel enthält eine PBD eine höhere Ballaststoff-, Wasser- und Nährstoffdichte und dennoch weniger Kalorien als eine Ernährung mit einem höheren Anteil an tierischen Produkten (Rolls, 2009). Ballaststoffreiche Nahrungsmittel sind in der Lage aufgrund ihrer hohen Füllkraft und Verzögerung der Magenentleerung ein längeres Sättigungsgefühl zu vermitteln und können dadurch dazu beitragen, dass man weniger isst und insgesamt weniger Kalorien zu sich nimmt (Barnard et al., 2005; Higdon et al., 2012; Slavin, 2013). In Studien konnte nachgewiesen werden, dass Menschen, die sich nach der PBD ernähren, in der Regel ein niedrigeres Körpergewicht haben als Personen, die sich nach anderen Ernährungsmustern ernähren, was darauf hindeutet, dass die PBD bei der Vorbeugung oder Behandlung von Übergewicht hilfreich sein könnte (Berkow et al., 2006).

Eine PBD kann vor allem dabei helfen, viszerales Bauchfett zu reduzieren (Barnard et al., 2005; Tuso et al., 2013). Viszerales Fett ist jenes, das sich um die inneren Organe im Bauchraum ansammelt und mit einem erhöhten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes-Mellitus-Typ-2 und anderen gesundheitlichen Problemen in Verbindung gebracht wird (Blüher, 2009). Überschüssiges Bauchfett kann Hormone und Entzündungsmediatoren, wie TNF-alpha oder IL-6, freisetzen, die den Stoffwechsel stören und zur Entwicklung einer Insulinresistenz beitragen können (Maury et al., 2010). Sowohl eine Gewichtsabnahme als auch die Verringerung des Bauchfetts können folglich vor einer Insulinresistenz, einem der Risikofaktoren des MetS schützen (Trapp et al., 2010; Barnard et al., 2015).

### 1.3.2 Verbesserung der Insulinsensitivität

Insulinresistenz ist eine grundlegende Komponente des MetS und ein Zustand, in dem der Körper weniger empfindlich auf Insulin anspricht, was zu einem erhöhten Blutzucker und einem erhöhten Insulinspiegel führen kann. Insulinresistenz kann durch verschiedene Faktoren verursacht werden, wie beispielsweise genetische Veranlagung, Bewegungsmangel und Fettleibigkeit (Maury et al., 2010; Hajian-Tilaki et al., 2014; Ranasinghe et al., 2017). Ballaststoffe können den Blutzuckeranstieg verlangsamen, den Blutzuckerspiegel stabilisieren und somit den Insulinspiegel reduzieren (Salas-Salvadó et al., 2011; Jenkins et al., 2012). Damit kann das Risiko von Übergewicht, Diabetes-Mellitus-Typ-2 und Herzkrankheiten gesenkt werden (Kahleova et al., 2020). Des Weiteren können ungesättigte Omega-3-Fettsäuren Entzündungen senken und die Insulinempfindlichkeit der Zellen verbessern, was zu einer besseren Glukosekontrolle führen kann (Lepretti et al., 2018). Darüber hinaus können Antioxidantien, die in einer Vielzahl in pflanzlichen Lebensmitteln enthalten sind, die Insulinempfindlichkeit verbessern, indem sie die Expression von Genen, die mit der Insulinresistenz in Verbindung stehen, regulieren (Hänninen et al., 2000; González-Gallego et al., 2010). Über verschiedene Inhaltsstoffe und Signalwege, kann eine PBD dazu beitragen, die Insulinresistenz zu reduzieren und die Insulinsensitivität zu erhöhen und somit diese Komponente des MetS zu verbessern.

### 1.3.3 Verbesserung der Blutfettwerte

Eine PBD, die wenig gesättigte Fette und Cholesterin enthält und reich an Ballaststoffen und ungesättigten Fettsäuren ist, kann dazu beitragen, den LDL-Cholesterinspiegel im Blut zu senken (Ornish et al., 1990; Yokoyama et al., 2014). Ein hoher LDL-Cholesterinspiegel ist ein bekannter Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen (Mensink et al., 1992). Stattdessen enthält die PBD oft ungesättigte Fettsäuren, die helfen können, das HDL-Cholesterin zu erhöhen, was wiederum mit einem geringeren Risiko für Herzkrankheiten verbunden ist (Barter et al., 2007). So zeigten die Ergebnisse einer in Slowenien durchgeführten Querschnittsstudie bei einer langfristigen Umstellung auf eine PBD niedrigere Triglycerid- und LDL-Plasmaspiegel (Jakše et al., 2020). Eine mögliche Erklärung ist der vermehrte Verzehr von Nüssen, Samen und hochwertigen pflanzlichen Ölen, als eine wichtige Komponente einer PBD. Diese kann helfen, den Cholesterinspiegel und andere Risikofaktoren für Herzerkrankungen zu senken (Kim et al., 2017).

### 1.3.4 Senkung des Blutdrucks

Diverse Studien zeigen, dass eine PBD mit einem niedrigeren Blutdruck und einem geringeren Risiko für Herzkrankheiten und Schlaganfälle assoziiert sind (Streppel et al., 2005; Grooms et al., 2013; Orlich et al., 2013). Auch eine Metaanalyse aus dem Jahr 2014 ergab, dass eine pflanzliche Ernährung den systolischen und diastolischen Blutdruck senken kann (Yokoyama et al., 2014). Eine mögliche Erklärung dafür liegt in den Nähr- und Begleitstoffen, wie auch sekundären Pflanzenstoffen, die in einer PBD enthalten sind. Ballaststoffreiche Lebensmittel können die Absorption von Glukose im Darm verlangsamen und die Insulinsensitivität verbessern, was folglich den Blutzucker- und Blutdruckspiegel senken kann (Tighe et al., 2010).

Eine weitere mögliche Erklärung liegt in der Zusammensetzung der Fette, die in einer PBD enthalten sind. Eine Ernährung, die reich an ungesättigten Fettsäuren ist, wie sie in Nüssen, Samen und Pflanzenölen vorkommen, kann dazu beitragen, den Blutdruck zu senken (Mozaffarian et al., 2010). Dies liegt daran, dass diese Fette die Entzündungsreaktionen im Körper reduzieren, welche wiederum den Blutdruck erhöhen können.

Schließlich kann eine PBD auch dazu beitragen, das Körpergewicht zu reduzieren oder zu kontrollieren, was wiederum den Blutdruck senken kann. Übergewicht ist eine der

Hauptursachen für Bluthochdruck. Eine Studie aus dem Jahr 2017 zeigte, dass eine vegane Ernährung bei übergewichtigen Erwachsenen mit hohem Blutdruck signifikante Verbesserungen im systolischen Blutdruck bewirken kann (Kahleova et al., 2020). Ein weiterer nicht zu vernachlässigbarer und positiver Aspekt der PBD ist die Reduzierung der Natriumaufnahme und die Erhöhung der Kaliumaufnahme in einer PBD (Key et al., 2006; He et al., 2011).

### 1.3.5 Entzündungshemmung

Das MetS ist ein Zustand, bei dem Entzündungen eine wichtige Rolle spielen können. Eine PBD kann entzündungshemmende Auswirkungen haben, was zu einer Verringerung des Risikos für das MetS beitragen kann (Sánchez-Rosales et al., 2022).

Pflanzliche Lebensmittel enthalten viele Nährstoffe, die entzündungshemmende Eigenschaften haben, wie beispielsweise ungesättigte Fettsäuren, Ballaststoffe und bestimmte Vitamine und Mineralstoffe. Pflanzliche Lebensmittel wie Leinsamen, Chiasamen, Walnüsse und grünes Blattgemüse enthalten Omega-3-Fettsäuren. Während gesättigte Fettsäuren pro-inflammatorische Signalwege aktivieren (Jenkins et al., 2009), die die Freisetzung von Zytokinen auslösen und einen chronischen Entzündungszustand begünstigen können, aktivieren mehrfach ungesättigte Omega-3-Fettsäuren (PUFA) entzündungshemmende Signalwege (O'Neill, 2006; Hwang et al., 2016).

Des Weiteren ist eine PBD mit einem höheren Anteil an Obst und Gemüse verbunden und es konnte gezeigt werden, dass dies mit einem geringeren Risiko für ein MetS korreliert (Xia et al., 2016; Bacchetti et al., 2019). Eine Meta-Analyse randomisierter kontrollierter Studien bestätigte, dass der Verzehr von Obst und Gemüse mit einer signifikanten Verringerung von Entzündungsmarkern und einer Zunahme der antioxidativen Kapazität verbunden ist (Hosseini et al., 2018).

Eine Erhöhung des täglichen Verzehrs von grünem Blattgemüse kann außerdem das Risiko für Diabetes-Mellitus-Typ-2 senken und somit eine weitere Komponente des MetS verbessern (Carter et al., 2010).

### 1.3.6 Reduzierung von oxidativem Stress

Das MetS ist ein Zustand, der durch verschiedene metabolische Störungen wie Insulinresistenz, Dyslipidämie und Entzündungen gekennzeichnet ist, die oxidative Stressreaktionen im Körper auslösen können. Oxidativer Stress kann Zellschäden verursachen und ist an der Entstehung von Herzerkrankungen beteiligt (Halliwell et al., 2015).

Pflanzenbasierte Lebensmittel enthalten eine Vielzahl von Antioxidantien, einschließlich Vitamin C, Vitamin E, Beta-Carotin und Polyphenolen, welche dazu beitragen können, oxidativen Stress im Körper zu reduzieren (Quiñones et al., 2013). Polyphenole aus PBDs können die Produktion reaktiver Sauerstoffspezies durch Hemmung verschiedener ROS-produzierender Enzyme verhindern (Manach et al., 2005). Mehrere In-vitro-Studien haben gezeigt, dass Polyphenole aufgrund ihrer Fähigkeit, reaktive Sauerstoffspezies zu neutralisieren, eine hohe antioxidative Kapazität aufweisen (Tangney et al., 2013). Über diese antioxidative Eigenschaft kann die PBD dazu beitragen, den oxidativen Stress im Körper zu reduzieren, der mit dem MetS in Verbindung gebracht wird.

### 1.3.7 Verbesserung der Darmgesundheit

Eine PBD ist reich an Ballaststoffen und Präbiotika. Durch den Verzehr einer ballaststoffreichen und präbiotischen Ernährung, insbesondere einer pflanzlichen Ernährung, wird die Entwicklung eines vielfältigen Mikrobioms gefördert (Glick-Bauer et al., 2014; Noce et al., 2019). Dies hat positive Auswirkungen auf die Gesundheit, da das Mikrobiom kurzkettige Fettsäuren produziert, die entzündungshemmende Wirkungen haben (Human Microbiome Project Consortium, 2012). Darüber hinaus ist bei PBDs der Konsum von gesättigten Fettsäuren reduziert. Gesättigte Fettsäuren beeinflussen das Darmmikrobiom und fördern die Freisetzung von Lipopolysaccharid, einem starken entzündungsfördernden Endotoxin (Fritsche, 2015). Die Modulation des Mikrobioms durch eine PBD kann ein Ansatzpunkt sein, um die Entzündung zu senken und somit auch das Risiko für Herzerkrankungen zu minimieren (Kelly et al., 2016; J. Li et al., 2017; Bhat et al., 2022).

## 1.4 PBD und das Risiko eines Nährstoffmangels

Alle oben genannten Wirkmechanismen können dazu beitragen, die kardiovaskulären Auswirkungen einer gesunden pflanzlichen Ernährung zu erklären. Dies gilt jedoch nur für eine vollwertige und gut geplante PBD, die keine Nährstoffe mangelt. Grundsätzlich kann eine PBD, die ausgewogen und abwechslungsreich gestaltet ist, alle notwendigen

Nährstoffe liefern, die der Körper benötigt. Eine Ausnahme ist Vitamin B12, da dieses fast ausschließlich in tierischen Lebensmitteln vorkommt. Von besonderem Interesse sind zudem Eisen, Kalzium, Omega-3-Fettsäuren und Vitamin D (Richter et al., 2016).

## 1.5 Fragestellung und Ziel der vorliegenden Arbeit

Wie oben beschrieben, kann PBD zahlreiche gesundheitliche Vorteile mit sich bringen, insbesondere für Patienten mit MetS und kardiovaskulären Risikofaktoren. Es gibt einige Bedenken hinsichtlich der Nährstoffversorgung bei einer PBD, insbesondere bei einer reinen PBD, bei der sämtliche tierische Lebensmittel ausgeschlossen werden. Eine unzureichend geplante PBD birgt tatsächlich die Gefahr eines Mangels an bestimmten Makro- und Mikronährstoffen (Hemler et al., 2019; Alcorta et al., 2021). Laut der DGE ist es mit einer rein pflanzlichen Ernährung „schwierig bis unmöglich“, eine ausreichende Nährstoffversorgung zu gewährleisten. Einer der kritischsten Nährstoffe ist Vitamin B12. Weitere potenziell kritische Nährstoffe umfassen Protein, Omega-3-Fettsäuren sowie Vitamine wie Vitamin B2 (Riboflavin) und Vitamin D, sowie auch Mineralstoffe wie Kalzium, Eisen, Jod, Zink und Selen (Richter et al., 2016). Doch auch wenn die Aufnahme und Verfügbarkeit bestimmter Mikronährstoffe, wie Eisen, Vitamin A und Zink, in pflanzlichen Lebensmitteln geringer ist als in tierischen, können die empfohlenen Mengen dieser Mikronährstoffe mit einer entsprechend geplanten veganen Ernährung, die eine Vielzahl verschiedener pflanzlicher Lebensmittel umfasst, erreicht werden (Melina et al., 2016).

Im Rahmen der randomisierten kontrollierten „CardioVeg“-Studie wurden die Auswirkungen einer PBD auf kardiovaskuläre Risikofaktoren untersucht. Ziel dieser Datenanalyse zur Nahrungsaufnahme war es, die Makro- und Mikronährstoffaufnahme vor und nach einer achtwöchigen PBD-Intervention bei Patienten mit erhöhten kardiometabolischen Risikofaktoren zu bewerten (Dressler et al., 2022). Die Ergebnisse wurden den aktuellen D-A-CH Ernährungsempfehlungen gegenübergestellt (D-A-CH-Referenzwerte, 2018).

Die Hypothese war, dass eine sorgfältig konzipierte PBD-Ernährung alle D-A-CH-Empfehlungen für Makro- und Mikronährstoffe (mit Ausnahme von Vitamin B12) erfüllen kann und sich sogar durch eine vorteilhafte Zusammensetzung für die kardiovaskuläre Gesundheit auszeichnet.

## 2 Methodik

Die Einzelheiten zur Methodik der Studie wurden in der Zeitschrift „Nutrients“ veröffentlicht (Dressler et al., 2022). In dieser Zusammenfassung werden nur die wesentlichen Bestandteile der Methodik dargestellt. Insbesondere werden Arbeitsschritte, die in der Veröffentlichung nicht detailliert beschrieben wurden, genauer erläutert.

### 2.1 Stichprobenauswahl und Definition der Ein- und Ausschlusskriterien

Die Stichprobenauswahl für die "CardioVeg"-Studie erfolgte unter Berücksichtigung klar definierter Kriterien, um eine repräsentative und aussagekräftige Untersuchung sicherzustellen.

Da es sich um eine Pilotstudie handelte, wurde keine spezifische Fallzahlberechnung durchgeführt. Dennoch war geplant, mindestens 100 Patienten in die Studie einzubeziehen, um trotz möglicher Studienabbrüche eine ausreichende statistische Aussagekraft zu gewährleisten. Eine optimale Stichprobengröße von  $n = 45$  pro Gruppe wurde ermittelt, um eine statistische Power von 80 % zu gewährleisten und signifikante Unterschiede zwischen den beiden Ernährungsgruppen zu erfassen, wenn vorhanden. Leider konnte aufgrund unvorhersehbarer Ereignisse, insbesondere der COVID-19-Pandemie, die geplante Teilnehmerzahl nicht erreicht werden. Die Studie wurde vorzeitig beendet, nachdem 70 Studienteilnehmer eingeschlossen waren. Diese vorliegende Analyse zur Nährstoffaufnahme basierte zudem ausschließlich auf einer Teilgruppe von Studienteilnehmern, die vollständige Ernährungsdaten lieferten (siehe Abschnitt 2.3.).

Im Rahmen der Einschlusskriterien wurde festgelegt, dass die Teilnehmer ein diagnostiziertes Metabolisches Syndrom haben sollten. Dies umfasste typischerweise eine Kombination von Faktoren wie abdominelles Übergewicht, erhöhter Blutdruck, erhöhte Nüchternblutzuckerspiegel, niedrige HDL-Cholesterinspiegel und erhöhte Triglyceridwerte. Die Teilnehmer sollten gegenüber einer Lebensstiländerung und einer pflanzlichen Ernährung aufgeschlossen sein.

Um die Gruppe der Studienteilnehmer genau abzugrenzen und sicherzustellen, dass das Studienergebnis nicht durch bestimmte Faktoren beeinflusst wird, wurden die folgenden Ausschlusskriterien festgelegt: Alle Probanden, die in den letzten 2 Monaten ihre Ernährung umgestellt oder eingeschränkt haben und/oder eine pflanzliche Ernährung praktizie-

ren, wurden ausgeschlossen. Personen mit schlechtem Allgemeinzustand oder schweren akuten oder chronischen Begleiterkrankungen wurden ebenfalls ausgeschlossen. Aufgrund des deutlich erhöhten Krankheitsrisikos bei Rauchern wurde beschlossen, diese Personengruppe ebenfalls von der Teilnahme an der Studie auszuschließen. Mit diesen Ausschlusskriterien sollte sichergestellt werden, dass die Studienteilnehmer repräsentativ für die zu untersuchende Bevölkerungsgruppe sind und dass das Studienergebnis nicht durch frühere Ernährungsgewohnheiten, Gesundheitszustände oder andere Faktoren beeinflusst wird. Die detaillierten Ein- und Ausschlusskriterien übersetzt aus der Veröffentlichung (Dressler et al., 2022) sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Ein- und Ausschlusskriterien der CardioVeg Studie übersetzt aus (Dressler et al. 2022)

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personen zwischen 25 und 75 Jahren (m / w)</li> <li>• Bluthochdruck (ab &gt;140 mmHg systolisch und/oder &gt;90 mmHg diastolisch),</li> <li>• zentrale Adipositas (Taillen Umfang &gt; 94 cm bei Männern, &gt;80 cm bei Frauen),</li> <li>• Eine nicht-vegetarische Ernährung in den letzten 6 Monaten (mindestens 4× Fleisch und/oder Fleischprodukte pro Woche, mindestens 5× Milchprodukte pro Woche)</li> <li>• Kein Fasten, keine spezielle Diät oder Ernährungsumstellung in den letzten 2 Monaten</li> <li>• Gewichtsstabilität in den letzten zwei Monaten (<math>\pm 3</math> kg)</li> <li>• Unveränderte Medikation seit mindestens einem Monat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlechter Allgemeinzustand</li> <li>• Koronare Herzkrankheit</li> <li>• Zerebrovaskuläre Erkrankungen</li> <li>• Psychische Erkrankungen</li> <li>• Schwere akute oder chronische Komorbidität</li> <li>• Schwangerschaft und Stillzeit</li> <li>• Bestehende Essstörung</li> <li>• Alkoholkonsum &gt; 50g Männer/&gt;25g Frauen</li> <li>• Raucher</li> <li>• Medikamente mit Auswirkung auf das Gewicht</li> <li>• größere Operation &lt;6 Monate vor der Randomisierung</li> <li>• BMI &gt; 39 kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Nahrungsmittelallergien oder Empfindlichkeit gegenüber Nahrungsbestandteilen (z. B. Nüsse, Soja, Weizen, Gluten, Hafer)</li> <li>• Bestehende vegetarische oder pflanzenbasierte Ernährung</li> <li>• Gleichzeitige Teilnahme an einer anderen klinischen Studie</li> <li>• Teilnahme an einer klinischen Studie innerhalb der letzten 3 Monate vor Studieneinschluss</li> <li>• Fehlende Einwilligung zur Studienteilnahme</li> </ul>

Die o.g. Definition der Ein- und Ausschlusskriterien für die CardioVeg-Studie basierte auf einer gründlichen Literaturrecherche und der Zielsetzung der Studie. Die Literaturrecherche umfasste eine systematische Überprüfung bereits veröffentlichter Studien und wissenschaftlicher Arbeiten zum Thema „Metabolisches Syndrom und pflanzenbasierte Ernährung“. Es wurden relevante Informationen über die Auswirkungen einer pflanzlichen



Ernährung auf Parameter des metabolischen Syndroms erfasst. Dies ermöglichte ein fundiertes Verständnis der Zusammenhänge und der potenziellen Wirksamkeit einer solchen Ernährungsintervention.

## **2.2 Rekrutierung der CardioVeg Studienteilnehmer**

Um eine vielfältige Studienpopulation zu erreichen, wurde eine umfassende Strategie zur Patientenrekrutierung entwickelt, die die o.g. Ein- und Ausschlusskriterien erfüllt. Diese Strategie umfasste mehrere Komponenten. Es wurden Aufklärungsmaterialien und Flyer erstellt, um den potenziellen Teilnehmern die Ziele, den Nutzen und den Ablauf der Studie zu erläutern. Besonderer Wert wurde daraufgelegt, die Vorteile einer pflanzlichen Ernährung für die metabolische Gesundheit darzustellen und den Patienten fachkundige Unterstützung anzubieten. Es wurde beschrieben, wie die Studie abläuft, über welchen Zeitraum die Studie läuft und darüber informiert, dass es kostenlose Kontrolluntersuchungen und Ernährungsberatungen geben wird. Letzteres sollte den größten Anreiz bieten. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass es sich bei der Studie um eine randomisierte kontrollierte Studie handelt, bei der die Teilnehmer nach dem Zufallsprinzip entweder der Interventions- oder der Kontrollgruppe zugewiesen werden. Um alle potenziellen Probanden zur Teilnahme zu motivieren und die Vergleichsgruppe nicht zu entmutigen, wurden Anreize geboten, die denjenigen der Interventionsgruppe gleichwertig waren. Dazu gehörten eine hochwertige Ernährungsberatung, kostenlose Gesundheitschecks und Beratungsdienste direkt nach Ablauf des Studienzeitraums.

In den Praxen im Raum Berlin-Südwest wurden Flyer verteilt, und Ärzte, die das Projekt unterstützten, empfahlen ihren jeweiligen Patienten die Teilnahme an der Studie. Es wurde eine enge Zusammenarbeit mit Praxen im Umland aufgebaut. Es wurden zudem Kooperationen mit Patientenverbänden und Selbsthilfegruppen im Berliner Raum angestrebt, die sich mit Adipositas, Diabetes mellitus Typ 2 und dem Metabolischen Syndrom beschäftigten. Diese Organisationen wurden über die CardioVeg-Studie informiert und konnten in ihren Netzwerken für die Studie werben und potenzielle Teilnehmer vermitteln.

Die Studie wurde auch auf Fachveranstaltungen in der Immanuel Klinik am Wannsee vorgestellt, um die Klinikpatienten zu informieren und diejenigen zu erreichen, die den Kriterien entsprachen. Auch von der Online-Präsenz des Immanuel Krankenhauses wurde profitiert: Website, soziale Medien und Foren wurden genutzt, um Informationen

über die CardioVeg-Studie zu verbreiten und die Studie bekannt zu machen. Über die Nachbarschaftsplattform „nebenan.de“ wurden Anzeigen geschaltet, um die Patienten am Wannsee und in der Umgebung auf die Studie aufmerksam zu machen. Darüber hinaus wurden Plakatanzeigen in der S-Bahn Wannsee geschaltet, um potenzielle Teilnehmer anzusprechen.

Durch das Zusammenspiel all dieser Maßnahmen und diese umfassende und vielfältige Strategie, konnte ein breites Spektrum von Teilnehmern erreicht werden, die auf den ersten Blick die geforderten Kriterien erfüllten.

### **2.3 Auswahl und Randomisierung der CardioVeg Studienteilnehmer**

Nach dem Erstkontakt, einem telefonischen Screening-Interview, wurden die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft und die Studienbedingungen mit den Probanden besprochen. Bei 256 Probanden waren die Einschlusskriterien erfüllt und es lagen keine Ausschlusskriterien vor, sodass sie zu einem persönlichen Gespräch mit dem Studienarzt in das Studienzentrum am Immanuel Krankenhaus Wannsee eingeladen wurden. Im weiteren Verlauf des Rekrutierungsprozesses wurden 186 potenzielle Studienteilnehmer ausgeschlossen: Wider Erwarten erfüllten 84 der potenziellen Studienteilnehmer nach einer gründlichen Untersuchung die Kriterien für die Aufnahme in die Studie nicht; 102 lehnten die Teilnahme nachträglich ab. Schlussendlich wurden 70 Probanden in die Studie aufgenommen, 36 wurden nach dem Zufallsprinzip der pflanzenbasierten Interventionsgruppe (PBG) und 34 der omnivoren Kontrollgruppe (KG) zugewiesen. Die Zuteilung erfolgte auf der Grundlage eines computergenerierten Randomisierungsprotokolls und wurde von einem zertifizierten Biostatistiker überwacht. Weil es sich um eine offenkundige Lebensstilintervention handelte, konnte die Zuteilung zu den beiden Gruppen weder für die Teilnehmer noch für das medizinische Personal verblindet werden.

7 Teilnehmer zogen ihre Teilnahme im Laufe der Studie zurück. 22 Teilnehmer legten keine Ernährungsprotokolle vor und wurden daher von der vorliegenden Analyse ausgeschlossen. Darüber hinaus wurden 4 Teilnehmer nicht berücksichtigt, weil sie sich nicht an das Studienprotokoll hielten. Die endgültige Analyse basiert auf den Daten von 37 Teilnehmern, die sich entweder pflanzenbasiert (n=18) oder omnivor (n=19) ernährten.

## 2.4 Studiendesign und Studiendauer der CardioVeg Studie

Die CardioVeg-Studie ist eine randomisierte kontrollierte Studie, die die Auswirkungen einer pflanzlichen Ernährung auf die kardiovaskuläre Gesundheit von Personen mit MetS untersucht. Sie vergleicht dabei die Auswirkungen einer PBD in der Interventionsgruppe mit einer normalen omnivoren Ernährung in der KG bei Personen mit MetS. Die Teilnehmer beider Studiengruppen nahmen zu Beginn und nach 8 Wochen an Untersuchungen teil, bei denen anthropometrische Daten (Gewicht und Taillenumfang), Labordaten (Blutzucker, Insulinresistenz, HbA1c, Triglyceride und Cholesterinspiegel) und eine ambulante 24-Stunden-Blutdruckmessung (ABPM) durchgeführt wurden. Die Nahrungsaufnahme wurde in beiden Gruppen zu beiden Terminen anhand regelmäßiger 3-Tage-Ernährungsprotokolle erfasst. Die Interventionsgruppe erhielt Beratungstermine, bei denen Inhalte zur pflanzlichen Ernährung vermittelt wurden. Diese Beratungstermine wurden nach einem festgelegten Lehrplan durchgeführt, um theoretische und praktische Fertigkeiten in pflanzenbasierter Ernährung zu schulen. Die KG wurde angewiesen, ihre derzeitige omnivore Ernährung beizubehalten, erhielt aber die Möglichkeit, nach Abschluss der Studie an demselben Ernährungsberatungsprogramm teilzunehmen (Wartelisten-KG).

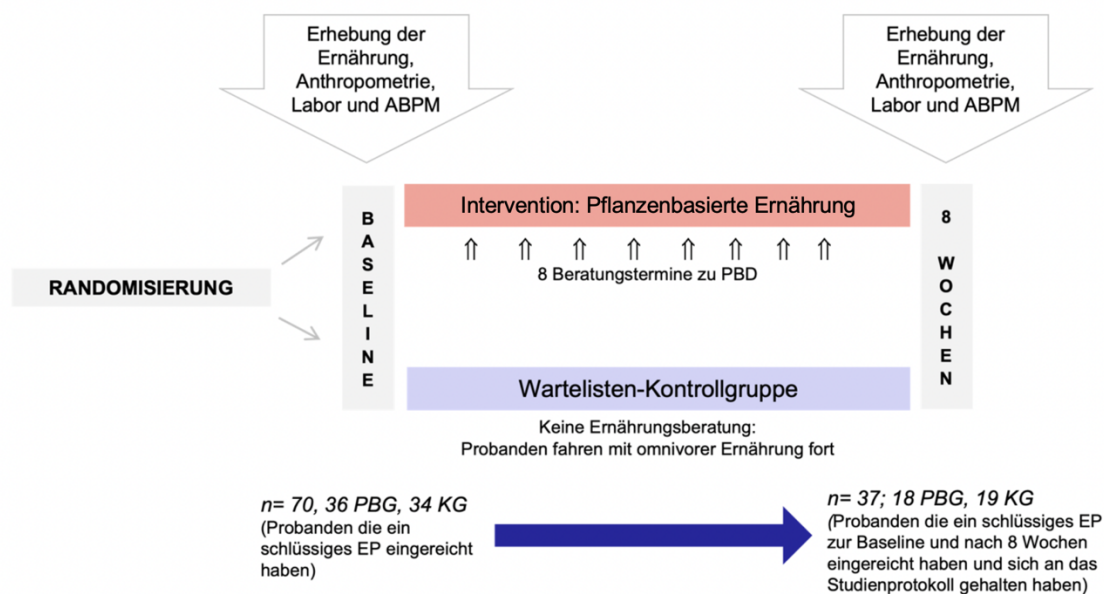


Abbildung 2 Vereinfachte Darstellung des Studiendesigns und Auswahl der Studienteilnehmer (eigene Darstellung, J. Dressler); Abkürzungen: ABPM, Ambulante Blutdrucküberwachung; PBD, Pflanzenbasierte Gruppe; KG Kontrollgruppe

Neben dem randomisierten-kontrollierten Studiendesign wurde auch die Studiendauer sorgfältig ausgewählt: Eine zeitlich begrenzte Dauer von 8 Wochen gewährleistet, dass die Teilnehmer motiviert bleiben und das vorgeschriebene Ernährungsmuster konsistent einhalten. Außerdem erlaubt es der Zeitrahmen den Teilnehmern, gesunde Gewohnheiten zu entwickeln (Lally et al., 2010). Zudem verbessert eine überschaubare Zeitspanne die Compliance und die Bereitschaft der Teilnehmer, die vorgeschriebenen Ernährungsprotokolle einzuhalten, was wiederum eine sorgfältige Aufzeichnung der Ernährungsgewohnheiten ermöglicht und die Zuverlässigkeit der Studienergebnisse erhöht. Bei einer längeren Interventionsdauer könnte es zu einer höheren Abbrecherquote und einer geringeren Compliance kommen.

Die CardioVeg-Studie wurde an der Charité – Universitätsmedizin Berlin durchgeführt und von der Ethikkommission genehmigt (Genehmigungsnummer: EA4/025/19). Alle Teilnehmer gaben eine schriftliche Einverständniserklärung ab. Die Studie wurde vor der Patientenrekrutierung bei ClinicalTrials.gov registriert (NCT03901183).

## **2.5 Lerninhalte und Definition der Lernziele der Interventionsgruppe**

Im Rahmen der Beratungseinheiten der Interventionsgruppe wurden den Teilnehmern theoretische und praktische Kenntnisse über pflanzliche Ernährung vermittelt. Die Informationen wurden nach einem festgelegten Lehrplan (siehe Tabelle 3) zusammengestellt. Die Teilnehmer erhielten Anweisungen zu einer PBD, die sich auf Gemüse, Getreide, Hülsenfrüchte und Obst konzentrierte, während tierische Produkte so weit wie möglich zu meiden waren. Die Interventionsgruppe hatte keine Kalorienbeschränkungen und durfte ad libitum essen. Die Beratungstermine fanden regelmäßig statt und wurden von zertifizierten Diätassistenten und Ernährungsberatern in Form von Gruppensitzungen durchgeführt. Insgesamt wurden acht 90-minütige Sitzungen über einen Zeitraum von acht Wochen abgehalten. Zusätzlich wurden zwei 120-minütige Lehrküchen-Sitzungen durchgeführt, um den Teilnehmern die praktischen Aspekte einer vollwertigen pflanzlichen Ernährung zu vermitteln. Die Ernährungsexperten veranschaulichten den Teilnehmern während dieser Sitzungen die Konzepte einer vollwertigen pflanzlichen Ernährung.

Tabelle 3 *Lehrplan für eine vollwertige Pflanzenbasierte Diät (PBD) im Rahmen der CardioVeg Studienintervention*

Thema	Lerninhalte und -ziele
Einstieg PBD	Einführung in die pflanzliche Ernährung: Hier wurden die Grundlagen der pflanzlichen Ernährung behandelt, einschließlich der gesundheitlichen Vorteile einer vollwertigen pflanzlichen Ernährung, der Nährstoffdichte pflanzlicher Lebensmittel und der Rolle der pflanzlichen Ernährung bei der Vorbeugung und Behandlung chronischer Krankheiten.
Vertiefung: Gesundheitliche Vorteile der PBD (2 Termine)	Ernährungswissenschaftliche Überlegungen: Hier ging es um die besonderen Ernährungsbedürfnisse von Menschen, die sich pflanzlich ernähren, einschließlich Informationen über Eiweiß, Eisen, Kalzium und Vitamin B12. Darüber hinaus wird auf allgemeine Bedenken hinsichtlich eines Nährstoffmangels eingegangen und es werden Hinweise gegeben, wie der Nährstoffbedarf durch eine pflanzliche Ernährung gedeckt werden kann. Die Lerninhalte wurden stets mit den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und Richtlinien für eine gesunde vollwertige pflanzliche Ernährung aktualisiert.
Lehrküche (2 Termine)	Der umfassende Lehrplan wurde auch durch zwei praktische Kochkurse (je 120 Minuten) begleitet. Hier konnten die Teilnehmer die erlernten Fähigkeiten in einem unterstützenden Umfeld üben.
Mahlzeitenplanung und Nahrungszubereitung	Der Schwerpunkt lag hier auf der Vermittlung von Kenntnissen über die Planung und Zubereitung gesunder, ausgewogener Mahlzeiten auf der Grundlage vollwertiger pflanzlicher Lebensmittel. Dazu gehören Anweisungen zur Verwendung verschiedener pflanzlicher Zutaten wie Vollkornprodukte, Hülsenfrüchte, Obst und Gemüse sowie Tipps für die Planung und Zubereitung von Mahlzeiten.
Essen und Achtsamkeit	Strategien zur Verhaltensänderung: Hier ging es um die psychologischen und verhaltensbezogenen Aspekte einer pflanzlichen Ernährung, einschließlich Zielsetzung, Achtsamkeit, Selbstkontrolle und Strategien zur Überwindung von Hindernissen und zum Durchhalten des Plans.
PBD und Alltag	Überwindung von Hindernissen und Herausforderungen: Hier ging es um die praktischen Aspekte einer pflanzlichen Ernährung, z. B. wie man sich in sozialen Situationen zurechtfindet, wie man auswärts isst, wie man die Umstellung auf eine pflanzliche Ernährung schafft und wie man mit Heißhungerattacken und emotionalem Essen umgeht.

## 2.6 Monitoring der CardioVeg Studie

Im Rahmen der CardioVeg Studie wurden die Ernährungsprotokolle von allen Teilnehmern zu Beginn der Studie und nach 8 Wochen zu einem festgelegten Messzeitpunkt erhoben. Um ein umfassendes Bild der Ernährung zu erhalten, wurden die Essgewohnheiten der Teilnehmer über einen Zeitraum von drei Tagen dokumentiert: 3 aufeinanderfolgende Tage, davon 2 Wochentage und ein Tag am Wochenende. Unter der Annahme, dass sich Menschen gewöhnlich an Wochenenden mehr Zeit für ausgiebige Mahlzeiten und Restaurantbesuche nehmen, umfasst diese Ernährungserhebung sowohl das normale Essverhalten während der Arbeitswoche als auch die erhöhte Nahrungsaufnahme an den Wochenenden. Die Teilnehmer wurden gebeten, vor den geplanten Terminen im Studienzentrum Ernährungsprotokolle zu führen und diese dann zum Termin mitzubringen und abzugeben. Um sicherzustellen, dass so viele Daten wie möglich gesammelt wurden, erhielten die Teilnehmer eine Erinnerungs-E-Mail. Wenn die Teilnehmer das Protokoll nicht zum Termin mitbrachten, wurde ihnen eine längere Frist gesetzt und regelmäßig per E-Mail und Telefon daran erinnert.

### 2.6.1 Dokumentation der Ernährungsdaten

Um eine genaue und einheitliche Erfassung der Ernährungsdaten sicherzustellen, wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen. Zunächst erhielten die Studienteilnehmer Anweisungen und Vorlagen zur sorgfältigen Dokumentation ihrer Nahrungsaufnahme, einschließlich der Portionsgrößen der verzehrten Lebensmittel und Getränke. Die genaue Erfassung der Portionsgrößen war ein Schwerpunkt. Die Angaben wurden idealerweise in Gramm gemacht, jedoch wurden bei fehlenden Gewichtsangaben Tee- und Esslöffel als akzeptable Alternativen verwendet. Probanden ohne Küchenwaage wurden zu Beginn der Studie mit einem validierten Gerät ausgestattet.

Bei fehlenden Gewichtsangaben der Mahlzeiten wurde die MONICA Mengenliste (Bundeszentrum für Ernährung, 2009) als Hilfsmittel verwendet, um die Portionsgrößen abzuschätzen. Diese Liste gibt das Gewicht von häufig konsumierten Lebensmitteln in Gramm an und unterstützt die Nutzung von Nährwerttabellen, die normalerweise Angaben zu 100 g des jeweiligen Lebensmittels enthalten.

Zusätzlich wurden Informationen zur Zubereitungsart der Lebensmittel, wie roh, gekocht, gebacken, gegrillt usw., festgehalten. Die Angabe von Zugaben wie Bratöl wurde ebenfalls vereinbart. Eine klare Beschreibung der Lebensmittel wurde festgelegt, wobei bei

pflanzenbasierten Ersatzstoffen der Handelsname und die Marke angegeben wurden, um Verwirrungen und Fehler bei der Identifizierung zu vermeiden. Bei Restaurantbesuchen wurde den Probanden nahegelegt, eine Beschreibung des Gerichts zu machen und ein Foto beizulegen, um die Genauigkeit der Erfassung außerhalb des häuslichen Umfelds zu verbessern.

Die Probanden wurden ermutigt, die Angaben sorgfältig und wahrheitsgetreu zu machen, um eine Verzerrung der Ergebnisse zu minimieren. Selbst gelegentliche Ausnahmen oder „Sünden“ sollten im Protokoll vermerkt werden, um eine realistische Erfassung der Ernährungsgewohnheiten zu ermöglichen. Auch die Flüssigkeitszufuhr sollte stets protokolliert werden, um ein vollständiges Bild der Nahrungsaufnahme zu erhalten.

Durch die Berücksichtigung dieser verschiedenen Maßnahmen wurde eine zuverlässige und standardisierte Übertragung der analogen Protokolle in die Ernährungssoftware gewährleistet, um genaue Daten für die weitere Analyse und Auswertung der Studie zur Verfügung zu haben. Dies wiederum stärkt die Qualität und Gültigkeit der Studienergebnisse.

### 2.6.2 Digitalisierung der Ernährungsdaten

Die Erfassung und Digitalisierung der Nahrungsaufnahme-Daten erfolgte mithilfe der Software NutriGuide 4.7 Plus (Nutri-Science GmbH, Hausach, Deutschland). NutriGuide ist eine Ernährungssoftware, die zur Überwachung und Analyse der Ernährung verwendet wird. Sie ermöglicht die Erfassung von Informationen über die Art und Menge der konsumierten Lebensmittel und Getränke. Die Software kann diese Informationen analysieren und Berichte erstellen, die über den Nährstoffgehalt, die Energieaufnahme und andere wichtige Ernährungsparameter informieren. Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurden die Drei-Tages-Durchschnittswerte für die Energie-, Kohlenhydrat-, Fett-, Protein- und Mikronährstoffaufnahme berechnet. NutriGuide führte die Analyse auf der Grundlage der Nährwerttabellen des Bundeslebensmittelschlüssels (BLS 3.02) durch, ein Standardklassifikationssystem, das in Deutschland für die Dokumentation und Analyse der Nahrungsaufnahme verwendet wird. Es dient als Werkzeug zur Klassifizierung von Lebensmitteln und Getränken in einheitliche Kategorien, basierend auf ihren Nährwerten und sonstigen charakteristischen Eigenschaften.

## 2.7 Vergleich der Nährwerte mit studienspezifischen D-A-CH-Referenzwerten

Die tägliche Aufnahme von Energie, Kohlenhydraten, Proteinen, Fetten und Mikronährstoffen wurde ausgewertet und mit den Referenzwerten der D-A-CH verglichen. Diese sog. „D-A-CH Referenzwerte“ beziehen sich auf die Empfehlungen für die tägliche Nährstoffzufuhr in Deutschland (D), Österreich (A) und der Schweiz (Confoederatio Helvetica, CH). Sie wurden von den zuständigen Gesundheitsbehörden der drei Länder, der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE), der Österreichischen Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung (SGE) entwickelt und dienen als Leitlinie für eine ausgewogene und gesunde Ernährung (D-A-CH-Referenzwerte, 2018). In Deutschland werden die D-A-CH-Referenzwerte auch als DGE-Empfehlung bezeichnet, entsprechend den Empfehlungen der DGE. Basierend auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen zu den Nährstoffbedürfnissen des menschlichen Körpers, werden verschiedene Faktoren wie Alter, Geschlecht, körperliche Aktivität und Gesundheitszustand berücksichtigt. Die Referenzwerte geben an, wie viel von jedem Nährstoff eine Person täglich benötigt, um ihre körperlichen Funktionen zu erhalten und zu fördern. Die Referenzwerte sind wichtig, da sie eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für die Ernährungsempfehlungen für die D-A-CH Region bieten. Die täglich Einnahmeempfehlung (engl. „Daily Recommended Intake“, DRI) im Rahmen der Studie wurde an das Geschlecht, das Alter und das körperliche Aktivitätsniveau (PAL) angepasst. Für die Studienpopulation wurde ein PAL von 1,6 (vorwiegend sitzender Lebensstil) angenommen. Die geschlechts- und altersspezifische DRI für ein PAL von 1,6 ist in Tabelle 4 aufgeführt (D-A-CH-Referenzwerte, 2018). Für die nachfolgende Analyse wurden sowohl absolute Werte als auch prozentuale Werte im Hinblick auf den DRI verwendet.





## 2.8 Statistische Auswertung

Um die statistischen Analysen durchzuführen, wurde SPSS Version 27.0 und Microsoft Excel verwendet. Ein p-Wert von  $<0.05$  wurde als Schwellenwert festgelegt, um die statistische Signifikanz zu bestimmen.

Die Ergebnisse werden für die Merkmale der Teilnehmer und die biochemischen Parameter als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen und mit einem 95 % Konfidenzintervall angegeben.

Um die Normalität der Labordaten zu bestimmen, wurde der Shapiro-Wilk-Test verwendet. Wenn die Normalverteilung bestätigt war, wurden die Merkmale der Teilnehmer und die biochemischen Parameter mit einem Zweistichproben t-Test analysiert, um die Unterschiede zwischen den Gruppen festzustellen.

Der Wilcoxon-Signed-Rank-Test für gepaarte Stichproben wurde verwendet, um die Nährstoffzufuhr innerhalb der Gruppen zu vergleichen.

Der Mann-Whitney-U-Test wurde durchgeführt, um den Therapieeffekt und den p-Wert zwischen den Gruppen zu ermitteln. Dabei wurde die Differenz in der Nährstoffaufnahme ( $\Delta$  = Aufnahme zu Beginn vs. Aufnahme nach 8 Wochen) verglichen. Die Ergebnisse werden als Mittelwert mit einem 95 % Konfidenzintervall (CI) dargestellt.

Diese statistischen Analysemethoden wurden angewendet, um die Daten ausführlich zu untersuchen und Schlussfolgerungen über die Auswirkungen der Intervention zu ziehen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Demografische Charakteristika der Studienpopulation

Die demografischen Merkmale sind in Tabelle 5 aufgeführt. Die Mehrheit der Teilnehmer in beiden Gruppen war weiblich – 61,1 % in der pflanzenbasierten Gruppe und 89,5 % in der omnivoren Gruppe. Abgesehen von der Geschlechterverteilung, gab es keine relevanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Das Durchschnittsalter betrug in der PGB  $61,1 \pm 7,0$  Jahre und  $62,8 \pm 7,0$  Jahre in der omnivoren Gruppe. Der Beziehungsstatus der Teilnehmer war in beiden Gruppen gleich verteilt – die Mehrheit war verheiratet. Das Bildungsniveau der Studienteilnehmer in dieser Teilanalyse lag überwiegend bei einem höheren Schulabschluss (Abitur), und auch die Erwerbstätigkeit war in beiden Gruppen gleich verteilt, wobei die Mehrheit in Vollzeit beschäftigt war.

Tabelle 5 Demografische Daten der CardioVeg-Subgruppenpopulation

	PBG	KG
<b>Probanden [n]</b>	18	19
<b>Geschlecht [n (%)]</b>		
Weiblich	11 (61,1)	17 (89,5)
Männlich	7 (38,9)	2 (10,5)
<b>Alter [Jahre, Mittelwert <math>\pm</math> SD]</b>	$61,1 \pm 7,0$	$62,8 \pm 7,0$
<b>Familienstand [n (%)]</b>		
Alleinstehend	2 (11,1)	2 (10,5)
Verheiratet	12 (66,7)	12 (63,2)
Geschieden	2 (11,1)	4 (21,1)
Verwitwet	-	1 (5,3)
Andere / keine Angabe	2 (11,1)	-
<b>Bildung [n (%)]</b>		
Hauptschulabschluss	-	1 (5,3)
Schulabschluss (Realschule)	3 (16,7)	2 (10,5)
Ausbildung (Lehrberuf)	1 (5,6)	3 (15,8)
Abitur / Hochschulabschluss	13 (72,2)	13 (68,4)
Sonstiges / keine Angabe	1 (5,6)	-
<b>Erwerbstätigkeit [n (%)]</b>		
Vollzeit	5 (27,8)	5 (26,3)
Teilzeit	3 (16,7)	4 (21,1)
Gelegentlich	2 (11,1)	1 (5,3)
Krankgeschrieben	-	1 (5,3)
Arbeitslos	3 (16,7)	-
Im Ruhestand	3 (16,7)	6 (31,6)
Haushälterin	1 (5,6)	1 (5,3)
Andere / nicht angegeben	1 (5,6)	1 (5,3)

Abkürzungen: PBG, Pflanzenbasierte Gruppe; KG, Kontrollgruppe

### 3.2 Anthropometrische, klinische und hämodynamische Charakteristika der Studienpopulation

Tabelle 6 zeigt die anthropometrischen Daten und die Labordaten bei Studienbeginn und nach 8 Wochen. Die PBD führte zu einer signifikanten Abnahme des Körpergewichts, des BMI und des Taillenumfangs. Darüber hinaus wurde in der PBG eine signifikante Senkung des HbA1c und des Nüchternblutzuckerspiegels beobachtet. Im Vergleich zu den KG waren alle oben genannten Charakteristika signifikant. HOMA-Index, Triglyceride, Cholesterin (LDL, HDL) sowie ABPM waren zwischen den Gruppen nicht signifikant verändert, obwohl die PBG insgesamt günstigere Effekte zeigte.

Tabelle 6 Anthropometrische, klinische und hämodynamische Charakteristika der CardioVeg Subgruppenpopulation, übersetzt aus (Dressler et al., 2022)

Anthropometrische Daten	PBG (n=18)			KG (n=19)			p-Wert
	Baseline	8 Wochen	Δ [95% CI]	Baseline	8 Wochen	Δ [95% CI]	
Gewicht [kg]	93,0 ± 16,6	89,5 ± 15,5	-3,5 [-5,3 – -1,7]	80,7 ± 11,9	80,4 ± 12,1	-0,3 [-1,1 – 0,5]	<b>0,0022</b>
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	31,7 ± 4,6	30,5 ± 4,1	-1,2 [-1,8 – -0,6]	29,5 ± 4,5	29,4 ± 4,8	-0,1 [-0,4 – 0,3]	<b>0,0021</b>
Taillenumfang [cm]	109,9 ± 11,1	106,7 ± 9,4	-3,2 [-5,1 – -1,3]	101,2 ± 7,0	101,5 ± 7,1	0,2 [-0,9 – 1,4]	<b>0,0044</b>
<b>Klinische Daten</b>							
Nüchtern-Blutzucker [mg/dl]	99,7 ± 15,5	93,9 ± 12,9	-5,8 [-9,1 – -2,6]	93,1 ± 16,2	92,5 ± 15,1	-0,6 [-3,9 – 2,8]	<b>0,0417</b>
Hba1c [mmol/mol]	40,1 ± 6,5	38,4 ± 5,4	-1,7 [-2,8 – -0,6]	36,5 ± 3,1	36,8 ± 3,8	0,3 [-0,5 – 1,2]	<b>0,0094</b>
HOMA-Index	3,7 ± 2,7	2,9 ± 1,8	-0,8 [-1,4 – -0,1]	2,6 ± 1,9	2,4 ± 1,7	-0,2 [-0,6 – 0,3]	0,1699
Triglyceride [mg/dl]	112,1 ± 36,5	126,6 ± 48,5	14,6 [-2,5 – 31,6]	120,1 ± 58,1	135,6 ± 76,7	15,6 [-1,0 – 32,2]	0,9360
Cholesterin [mg/dl]	214,1 ± 26,8	198,7 ± 28,1	-15,4 [-27,4 – -3,5]	227,4 ± 46,1	223,9 ± 53,7	-3,5 [-15,5 – 8,4]	0,1913
LDL [mg/dl]	137,3 ± 26,0	125,0 ± 27,6	-12,3 [-23,9 – -0,7]	147,4 ± 44,8	147,0 ± 52,7	-0,4 [-11,6 – 10,8]	0,1711
HDL [mg/dl]	63,6 ± 15,9	56,3 ± 13,4	-7,4 [-10,1 – -4,7]	66,3 ± 21,1	62,4 ± 20,2	-3,9 [-6,9 – -0,9]	0,1167
<b>Hämodynamik</b>							
SBD [mmHg]	135,9 ± 11,0	130,3 ± 14,7	-5,6 [-10,6 – -0,5]	130,6 ± 13,3	131,9 ± 13,1	1,3 [-3,5 – 6,1]	0,0882
DBD [mmHg]	83,3 ± 8,8	80,1 ± 9,3	-3,2 [-6,2 – -0,3]	76,9 ± 5,8	78,0 ± 6,8	1,1 [-1,8 – 3,9]	0,0690

Abkürzungen: PBG, Pflanzenbasierte Gruppe; KG, Kontrollgruppe, BMI, Body Mass Index, SBD, Systolischer Blutdruck; DBD, Diastolischer Blutdruck

### 3.3 Ernährungsdaten der Studienpopulation

Alle 37 Teilnehmer dieser Untergruppenanalyse ernährten sich vor der Intervention omnivor. Den Ernährungsprotokollen zufolge behielten alle 19 Teilnehmer der KG ihre omnivore Ernährung während des gesamten Studienverlaufs bei. Die Teilnehmer der PBG stellten ihre Ernährung auf eine PBD um. In der CardioVeg Studie hatten die Teilnehmer die Freiheit, ihre pflanzenbasierte Ernährungsform (siehe Tabelle 1) frei zu wählen, wobei es der Anspruch sein sollte, möglichst auf tierische Lebensmittel (einschließlich Milchprodukte) zu verzichten. Elf Teilnehmer ernährten sich demnach streng vegan. Sechs Teilnehmer ernährten sich vegetarisch und ein Teilnehmer pesco-vegetarisch. Die durchschnittliche tägliche Zufuhr der wichtigsten Nährstoffkomponenten und der prozentuale Anteil der adäquaten Nährstoffzufuhr (angepasst an Geschlecht, Alter und körperliche Aktivität) sind im Verhältnis zu den D-A-CH-Empfehlungen in Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellt.

#### 3.3.1 Makronährstoffaufnahme im Rahmen der CardioVeg Studie

In Bezug auf die Makronährstoffzufuhr gab es nach 8 Wochen folgende signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen: Die tägliche Energie-, Protein- und Fettzufuhr war in der PBG signifikant niedriger (alle  $p < 0,001$  zwischen den Gruppen, siehe Tabelle 7). Die PBG nahm signifikant weniger gesättigte Fettsäuren (SFA,  $p < 0,001$ ) und weniger einfach ungesättigte Fettsäuren (MUFA) zu sich ( $p = 0,001$ ). Die Aufnahme von mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) stieg leicht an, aber der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant ( $p = 0,129$ ). Die PBG nahm signifikant mehr Alpha-Linolensäure (ALA) ( $p = 0,013$ ) zu sich als die KG-Gruppe. Die Cholesterinzufuhr zeigte ebenfalls signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) zwischen den Gruppen, wobei die PBG weniger exogenes Cholesterin zuführte. Die PBG nahm signifikant mehr Ballaststoffe ( $p = 0,002$ ) und signifikant weniger (-27 %,  $p = 0,001$ ) Salz, eine Verbindung aus Natrium und Chlorid, zu sich.

Abbildung 3 veranschaulicht die Aufnahme von Makronährstoffen und Begleitstoffen im Verhältnis zu den D-A-CH-Referenzwerten. Die Fehlerbalken repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall für die durchschnittliche tägliche Nährstoffzufuhr. Der p-Wert basiert auf dem Vergleich der absoluten Werte innerhalb der Gruppe und wurde mit dem Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben ermittelt.

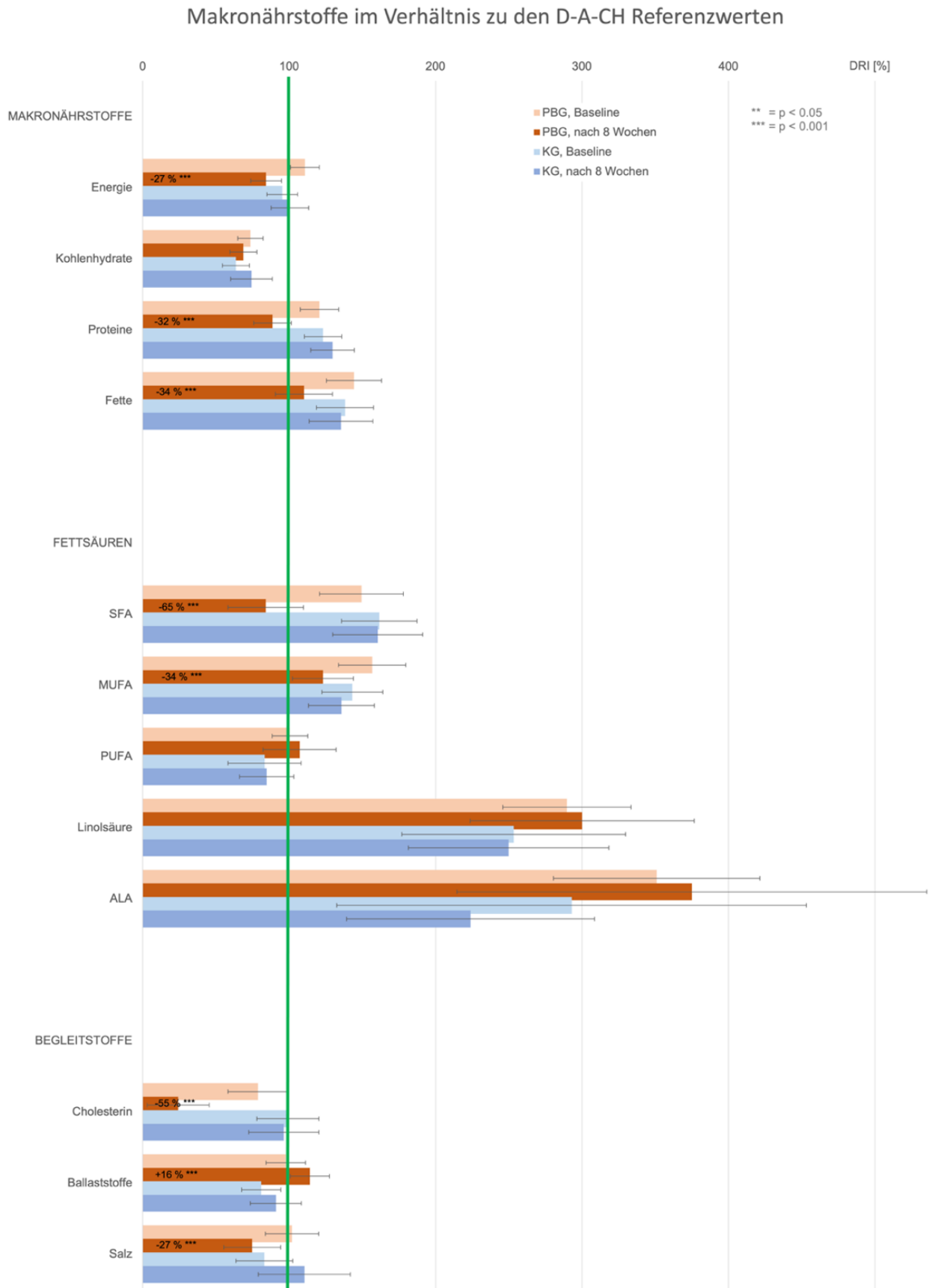


Abbildung 3 Aufnahme von Makronährstoffen und Begleitstoffen im Rahmen der CardioVeg Studie. Abkürzungen: PBG, Pflanzenbasierte Gruppe; KG, Kontrollgruppe

Tabelle 7 Tägliche Makronährstoffaufnahme absolut und relativ zum DRI vor und nach der Intervention sowie zwischen den Gruppen, übersetzt aus (Dressler et al., 2022)

	PBG (n=18)						KG (n=19)						Thera- pieeffekt	p-Wert
	Baseline		8 Wochen		Δ		Baseline		8 Wochen		Δ			
	Aufnahme <sup>a</sup>	% DRI <sup>c</sup>	Aufnahme	% DRI	Aufnahme	p-Wert <sup>a</sup>	Aufnahme	% DRI	Aufnahme	% DRI	Aufnahme	p-Wert		
<b>Energie [kcal]</b>	2392,2 ± 382,6	111 [101;121]	1798,1 ± 315,1	84 [78;90]	-594,1 ± 374,9	<0,001	1955,4 ± 452,0	95 [85;106]	1955,1 ± 477,1	101 [88;113]	-0,3 ± 357,0	0,777	0,66	<0,001
Kohlenhydrate [g]	217,2 ± 58,9	74 [65;82]	189,7 ± 41,6	69 [62;75]	-27,5 ± 42,4	0,043	178,8 ± 52,7	64 [54;73]	187,9 ± 47,2	74 [60;89]	9,2 ± 58,9	0,616	0,29	0,078
Ballaststoffe [g]	24,2 ± 8,7	98 [84;111]	31,3 ± 8,6	114 [98;130]	7,1 ± 6,5	<0,001	24,9 ± 8,3	81 [68;94]	24,5 ± 8,1	91 [74;108]	-0,4 ± 8,0	0,777	0,50	0,002
Nichtlösliche Ballaststoffe [g]	15,9 ± 5,9	---	20,2 ± 5,2	---	4,4 ± 4,7	0,003	15,9 ± 4,8	---	15,2 ± 5,2	---	-0,6 ± 4,2	0,557	0,48	0,003
Lösliche Ballaststoffe [g]	7,1 ± 2,3	---	9,2 ± 2,9	---	2,1 ± 2,3	0,001	7,5 ± 2,1	---	7,6 ± 2,7	---	0,1 ± 2,8	0,679	0,39	0,016
Proteine [g]	90,3 ± 15,0	121 [108;134]	56,2 ± 10,1	89 [80;98]	-34,1 ± 13,3	<0,001	74,4 ± 15,5	123 [110;136]	75,8 ± 18,4	123 [110;136]	1,4 ± 17,4	0,679	0,78	<0,001
Essenzielle Aminosäuren [g]	43,9 ± 7,9	---	24,9 ± 5,9	---	-19,0 ± 6,6	<0,001	36,0 ± 8,1	---	36,1 ± 9,2	---	0,1 ± 8,5	0,983	0,80	<0,001
Nicht essenzielle Aminosäuren [g]	44,2 ± 7,9	---	28,4 ± 6,0	---	-15,8 ± 6,3	<0,001	36,2 ± 7,3	---	36,5 ± 8,6	---	0,35 ± 8,1	0,948	0,78	<0,001
Fett [g]	112,6 ± 22,3	144 ± 41 [125;163]	78,1 ± 18,3	110 [98;122]	-34,5 ± 31,0	0,001	91,3 ± 29,5	138 [119;158]	87,5 ± 30,8	135 [114;157]	-3,8 ± 26,9	0,286	0,46	0,005
SFA[g]	45,3 ± 12,7	149 [121;178]	21,3 ± 9,0	84 [70;98]	-24,1 ± 14,3	0,001	35,6 ± 12,8	162 [136;187]	34,7 ± 14,7	161 [130;191]	-0,9 ± 9,7	0,446	0,72	<0,001
MUFA[g]	41,1 ± 9,1	157 [134;180]	28,3 ± 8,2	123 [105;141]	-12,8 ± 12,4	0,003	31,2 ± 10,5	143 [122;164]	29,5 ± 10,6	136 [113;158]	-1,8 ± 9,8	0,267	0,55	0,001
PUFA [g]	18,3 ± 5,3	101 [88;113]	23,7 ± 8,4	107 [92;122]	5,4 ± 11,5	0,078	18,4 ± 12,1	83 [58;108]	17,6 ± 8,4	85 [66;103]	-0,7 ± 13,5	0,983	0,25	0,129
Linolsäure (LA) [g]	14,4 ± 5,2	290 [246;333]	19,1 ± 7,4	300 [244;357]	4,7 ± 10,3	0,071	14,0 ± 9,4	253 [177;330]	14,1 ± 7,6	250 [181;318]	0,2 ± 11,7	0,711	0,21	0,191
Alpha-Linolensäure (ALA) [g]	2,5 ± 1,8	351 [280;421]	4,1 ± 3,3	375 [231;519]	1,6 ± 2,6	0,028	3,2 ± 3,8	293 [133;453]	2,3 ± 2,1	224 [139;309]	-1,0 ± 2,6	0,151	0,41	0,013
Cholesterin [g]	383,7 ± 133,1	79 [58;99]	76,7 ± 58,8	24 [16;33]	-307,0 ± 144,8	<0,001	301,9 ± 142,6	99 [78;120]	294,7 ± 163,8	96 [72;120]	-7,2 ± 160,2	0,586	0,74	<0,001
Salz [g]	6,5 ± 2,0	102 [84;120]	3,7 ± 2,1	75 [56;94]	-2,8 ± 2,8	0,003	4,3 ± 2,0	83 [64;102]	5,0 ± 1,8	110 [79;142]	0,7 ± 2,0	0,286	0,60	<0,001

Die Daten basieren auf 3-Tage-Ernährungsprotokolle, analysiert mit der Software NutriGuide Plus unter Anwendung des deutschen Bundeslebensmittelschlüssels.

- Die Nährstoffaufnahme wird als Mittelwert ± SD dargestellt und innerhalb der Gruppen mit dem Wilcoxon Signed Rank Test für gepaarte Stichproben verglichen.
- Der Behandlungseffekt und der p-Wert zwischen den Gruppen wurde mit dem Mann-Whitney-U-Test ermittelt, wobei das Delta der Nährstoffzufuhr (=Zufuhr nach 8 Wochen -Zufuhr bei Studienbeginn) verglichen wurde.
- Die adäquate Nährstoffzufuhr wird als Mittelwert [95% Konfidenzintervall] dargestellt. Sie wurde als Prozentsatz des DRI berechnet und an Geschlecht, Alter und Bewegung angepasst.

Abkürzungen: PBG, Pflanzenbasierte Gruppe; KG, Kontrollgruppe; DRI, Daily Recommended Intake; SFA Short Chain Fatty Acids; MUFA, Monounsaturated Fatty Acids; PUFA, Polyunsaturated Fatty Acids

### 3.3.2 Mikronährstoffaufnahme im Rahmen der CardioVeg Studie

In der PBG wurde ein signifikanter Rückgang der Aufnahme von essenziellen Vitaminen (Vitamine B2, B3, B5, B6, B12 und Vitamin D) beobachtet. Vitamin A, Vitamin B1, Biotin und Folsäure waren alle leicht reduziert, aber innerhalb der PBG nicht statistisch signifikant. Bei Vitamin C und Vitamin E war ein leichter, aber nicht signifikanter Anstieg innerhalb der PBG zu verzeichnen. Ein Blick auf mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen zeigt, dass nur bei Vitamin B3, B6 und B12 signifikante Unterschiede bestehen.

Im Vergleich zur KG nahm die Aufnahme bestimmter Mineralstoffe in der PBG signifikant ab: Die Natriumaufnahme sank in der Interventionsgruppe um mehr als 1,1 g ( $p < 0,001$ ). Außerdem wurden in der PBG im Vergleich zur KG weniger Chlorid ( $p < 0,001$ ), Kalium ( $p = 0,021$ ), Zink ( $p < 0,001$ ), Phosphor ( $p < 0,001$ ), Kalzium ( $p < 0,001$ ) und Jod ( $p < 0,001$ ) aufgenommen (siehe Tabelle 8).

Abbildung 4 verbildlicht die Aufnahme der Makronährstoffe sowie Begleitstoffe im Verhältnis zu den D-A-CH-Referenzwerten. Die Fehlerbalken stellen das 95%-Konfidenzintervall der durchschnittlichen täglichen Nährstoffzufuhr dar. Der p-Wert basiert auf dem Vergleich der absoluten Werte innerhalb der Gruppe und wurde mit dem Wilcoxon-Test für gepaarten Stichproben ermittelt.



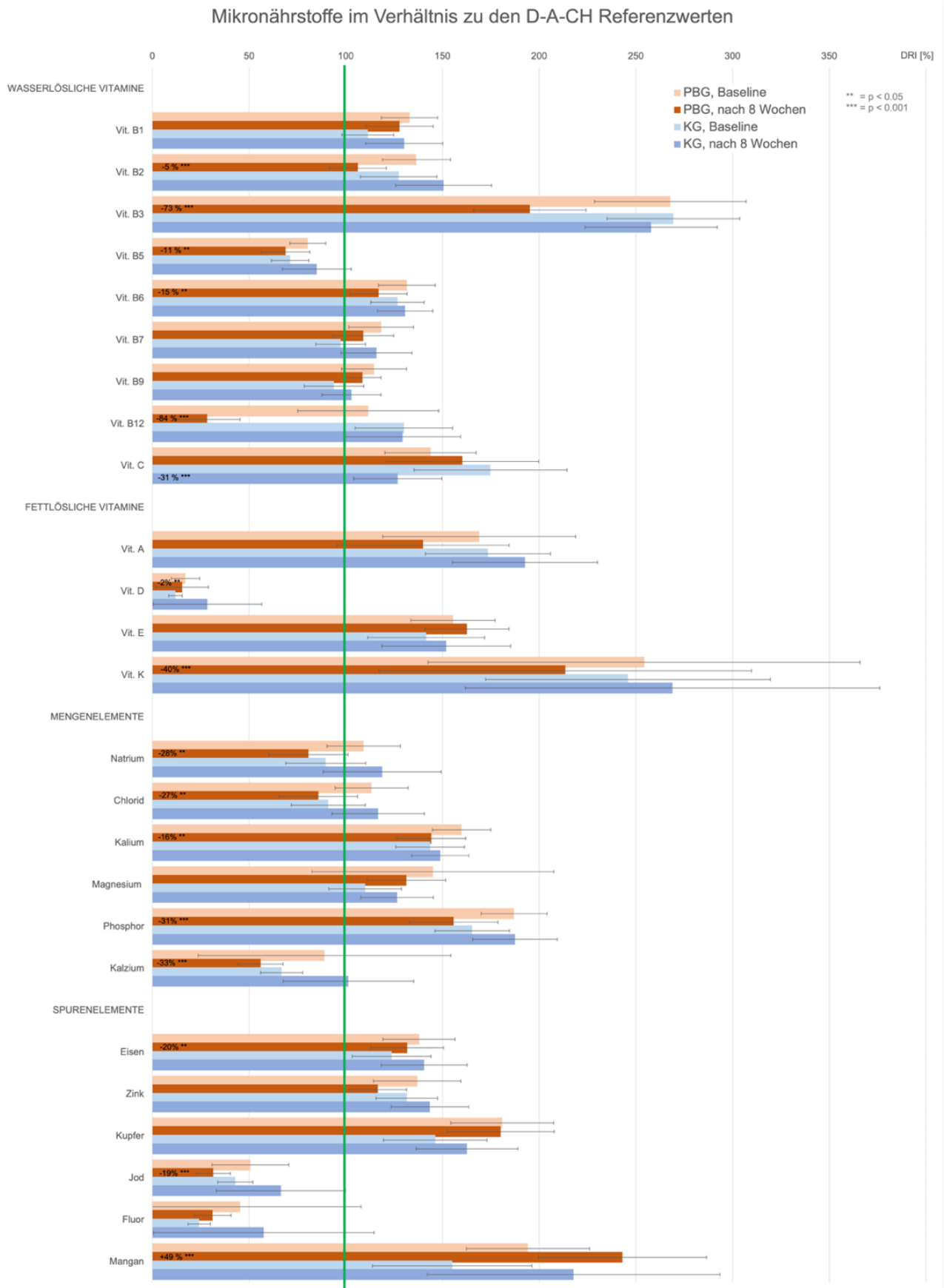


Abbildung 4 Aufnahme von Mikronährstoffen (Vitamine und Mineralien) im Rahmen der CardioVeg Studie  
 Abkürzungen: PBG, Pflanzenbasierte Gruppe; KG, Kontrollgruppe

Tabelle 8

Tägliche Mikronährstoffaufnahme absolut und relativ zum DRI vor und nach der Intervention sowie zwischen den Gruppen, übersetzt aus (Dressler et al., 2022);

	PBG (n=18)						KG (n=19)						Therapieeffekt	
	Baseline		8 Wochen		Δ		Baseline		8 Wochen		Δ			
	Aufnahme <sup>a</sup>	% DRI <sup>c</sup>	Aufnahme	% DRI	Aufnahme	p-Wert <sup>a</sup>	Aufnahme	% DRI	Aufnahme	% DRI	Aufnahme	p-Wert	p-Wert	
Vitamin A, Retinol Equivalent [µg]	1660,6 ± 865,3	169 [119;219]	1230,4 ± 771,3	140 [95;184]	-430,1 ± 1275,4	0,184	1575,9 ± 8401	173 [141;206]	1578,3 ± 632,6	193 [155;230]	2,4 ± 1034,3	0,845	0,21	0,202
Vitamin B1 [mg]	1,4 ± 0,3	133 [118;148]	1,4 ± 0,4	128 [110;145]	-0,1 ± 0,5	0,632	1,2 ± 0,3	111 [98;125]	1,3 ± 0,4	130 [110;150]	0,1 ± 0,3	0,107	0,24	0,136
Vitamin B2 [mg]	1,7 ± 0,4	136 [119;154]	1,1 ± 0,3	106 [92;121]	-0,5 ± 0,4	<0,001	1,4 ± 0,4	127 [108;147]	1,5 ± 0,5	151 [126;175]	0,1 ± 0,4	0,157	0,19	0,242
Vitamin B3, Niacin Equivalent [mg]	38,3 ± 8,1	268 [229;307]	24,7 ± 5,5	195 [166;224]	-13,6 ± 7,3	<0,001	31,1 ± 7,8	269 [235;304]	30,1 ± 8,2	258 [224;292]	-1,0 ± 7,6	0,528	0,67	<0,001
Vitamin B5 [mg]	5,0 ± 1,2	80 [71;90]	4,0 ± 1,6	69 [56;81]	-1,1 ± 1,6	0,012	4,5 ± 1,2	71 [62;81]	4,7 ± 1,7	85 [67;103]	0,1 ± 1,8	0,711	0,30	0,068
Vitamin B6 [mg]	1,8 ± 0,4	132 [117;146]	1,5 ± 0,4	117 [102;132]	-0,3 ± 0,4	0,016	1,6 ± 0,3	127 [113;141]	1,6 ± 0,4	131 [116;145]	0,0 ± 0,3	0,913	0,46	0,005
Vitamin B7, Biotin [µg]	52,3 ± 16,3	118 [102;135]	48,5 ± 14,8	109 [93;125]	-3,9 ± 20,7	0,586	46,3 ± 11,7	97 [84;110]	49,5 ± 15,2	116 [98;134]	3,2 ± 15,6	0,349	0,17	0,288
Vitamin B9, Folsäure [µg]	350,9 ± 109,1	115 [98;131]	310,9 ± 70,6	109 [99;118]	-40,1 ± 97,5	0,184	291,6 ± 94,3	94 [79;109]	292,1 ± 75,9	103 [88;118]	0,5 ± 82,1	0,616	0,19	0,236
Vitamin B12 [µg]	5,7 ± 2,4	112 [75;148]	1,0 ± 1,2	28 [11;45]	-4,6 ± 2,9	<0,001	3,9 ± 1,7	130 [105;155]	4,0 ± 2,0	129 [99;159]	0,1 ± 2,3	0,983	0,73	<0,001
Vitamin C [mg]	125,5 ± 54,3	144 [120;167]	144,1 ± 84,6	160 [121;200]	18,6 ± 101,3	0,42	157,1 ± 80,1	175 [135;214]	126,4 ± 47,3	127 [104;150]	-30,7 ± 72,1	0,043	0,25	0,121
Vitamin D [µg]	3,8 ± 3,2	17 [10;24]	1,7 ± 1,5	15 [2;29]	-2,1 ± 3,7	0,031	3,9 ± 6,3	12 [8;15]	2,7 ± 1,5	28 [-1;58]	-1,2 ± 6,2	0,983	0,24	0,136
Vitamin E [mg]	16,8 ± 6,0	155 [134;177]	19,8 ± 5,4	163 [141;184]	3,0 ± 8,0	0,184	16,1 ± 7,7	142 [111;172]	18,0 ± 8,0	152 [119;185]	1,9 ± 11,0	0,5	0,09	0,574
Vitamin K [µg]	195,6 ± 193,3	254 [143;366]	152,2 ± 131,3	214 [117;310]	-43,4 ± 227,0	0,557	161,4 ± 108,5	246 [172;320]	190,2 ± 152,7	269 [162;376]	28,8 ± 114,7	0,446	0,16	0,316
<b>Mineralien</b>	<b>Aufnahme<sup>a</sup></b>	<b>% DRI<sup>c</sup></b>	<b>Aufnahme</b>	<b>% DRI</b>	<b>Aufnahme</b>	<b>p-Wert<sup>a</sup></b>	<b>Aufnahme</b>	<b>% DRI</b>	<b>Aufnahme</b>	<b>% DRI</b>	<b>Aufnahme</b>	<b>p-Wert</b>		
Natrium [mg]	2753,5 ± 822,2	109 [90;128]	1620,7 ± 870,7	81 [60;101]	-1132,8 ± 1202,1	0,004	1861,1 ± 863,5	90 [69;110]	2147,6 ± 820,4	119 [88;149]	286,5 ± 800,2	0,286	0,61	<0,001
Chlorid [mg]	4170,7 ± 1222,8	113 [94;132]	2563,5 ± 1298,8	86 [66;106]	-1607,3 ± 1754,9	0,003	2814,6 ± 1189,6	91 [72;110]	3291,0 ± 1150,5	117 [93;141]	476,4 ± 1387,2	0,231	0,58	<0,001
Kalium [mg]	3402,8 ± 651,3	160 [145;175]	2970,9 ± 655,5	144 [126;162]	-431,9 ± 670,2	0,02	3001,4 ± 627,3	144 [126;161]	3046,4 ± 581,7	149 [134;164]	45,1 ± 513,7	0,616	0,38	0,021
Magnesium [mg]	498,1 ± 401,7	145 [83;208]	428,3 ± 107,4	131 [111;152]	-69,9 ± 408,8	0,557	348,4 ± 117,6	110 [91;129]	362,4 ± 99,6	127 [108;145]	14,1 ± 94,8	0,349	0,06	0,715
Zink [mg]	11,9 ± 2,6	137 [114;160]	8,9 ± 2,2	117 [102;131]	-2,9 ± 3,1	0,002	9,6 ± 2,5	132 [116;148]	10,6 ± 3,6	143 [123;164]	1,0 ± 3,3	0,215	0,55	0,001
Kupfer [µg]	2260,1 ± 720,2	181 [154;207]	2372,7 ± 603,8	180 [152;208]	112,6 ± 734,7	0,231	1896,4 ± 658,7	146 [119;173]	1931,5 ± 613,2	163 [136;189]	35,1 ± 598,2	0,679	0,05	0,738
Schwefel [mg]	971,0 ± 243,1	---	566,6 ± 131,5	---	-404,4 ± 238,8	<0,001	781,6 ± 191,6	---	790,5 ± 193,5	---	8,9 ± 194,2	0,811	0,75	<0,001
Phosphor [mg]	1453,4 ± 258,4	187 [170;204]	1127,2 ± 303,5	156 [133;179]	-326,2 ± 210,5	<0,001	1210,0 ± 246,9	165 [146;185]	1289,6 ± 331,4	187 [166;209]	79,6 ± 311,2	0,215	0,64	<0,001
Fluorid [µg]	2004,3 ± 4179,9	45 [-17;108]	953,0 ± 501,6	31 [22;41]	-1051,3 ± 4202,8	0,396	789,0 ± 377,2	24 [18;30]	872,4 ± 435,6	58 [-1;116]	83,5 ± 351,9	0,133	0,24	0,136
Kalzium [µg]	1174,5 ± 1412,9	89 [24;154]	551,4 ± 188,7	56 [44;68]	-623,1 ± 1419,1	<0,001	708,4 ± 203,7	67 [56;78]	849,8 ± 260,5	101 [68;135]	141,4 ± 316,6	0,071	0,68	<0,001
Eisen [mg]	14,3 ± 3,8	138 [119;157]	13,8 ± 3,7	132 [113;151]	-0,5 ± 4,0	0,948	13,5 ± 4,0	124 [103;144]	13,6 ± 4,1	141 [118;163]	0,1 ± 3,9	0,777	0,06	0,727
Jod [µg]	121,9 ± 77,2	51 [31;71]	54,7 ± 25,5	32 [23;40]	-67,2 ± 81,4	<0,001	91,9 ± 55,1	43 [34;52]	92,3 ± 28,0	66 [33;100]	0,4 ± 62,7	0,327	0,66	<0,001
Mangan [µg]	5402,7 ± 2411,8	194 [162;226]	8038,3 ± 3563,5	243 [200;287]	2635,7 ± 2617,2	0,001	5630,7 ± 2979,4	155 [114;196]	6324,4 ± 3642,3	218 [142;293]	693,7 ± 2123,9	0,199	0,38	0,019

Die Daten basieren auf 3-Tage-Ernährungsprotokolle, analysiert mit der Software NutriGuide Plus unter Anwendung des deutschen Bundeslebensmittelschlüssels.

- Die Nährstoffaufnahme wird als Mittelwert ± SD dargestellt und innerhalb der Gruppen mit dem Wilcoxon Signed Rank Test für gepaarte Stichproben verglichen.
- Der Behandlungseffekt und der p-Wert zwischen den Gruppen wurde mit dem Mann-Whitney-U-Test ermittelt, wobei das Delta der Nährstoffzufuhr (=Zufuhr nach 8 Wochen -Zufuhr bei Studienbeginn) verglichen wurde.
- Die adäquate Nährstoffzufuhr wird als Mittelwert [95% Konfidenzintervall] dargestellt. Sie wurde als Prozentsatz des DRI berechnet und an Geschlecht, Alter und Bewegung angepasst.

Abkürzungen: PBG, Pflanzenbasierte Gruppe; KG, Kontrollgruppe

## **4 Diskussion**

### **4.1 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse**

Das Hauptziel der vorliegenden Ernährungsanalyse bestand darin, die Nährstoffqualität einer PBD mit der einer omnivoren Ernährung zu vergleichen. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob eine vollwertige pflanzenbasierte Vollwerternährung alle D-A-CH-Empfehlungen erfüllen kann. Das Hauptaugenmerk lag auf den Nährstoffen, die bei einer PBD kritisch hinterfragt werden und für die Gesundheit von Patienten mit MetS von Bedeutung sein könnten (Alexy et al., 2021; Richter et al., 2016).

Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass die Teilnehmer, die der PBG zugewiesen wurden, angemessene Mengen an Makronährstoffen sowie essenziellen Mikronährstoffen zu sich nahmen und in den meisten Fällen die D-A-CH-Empfehlungen erfüllten. Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass die PBD verschiedene vorteilhafte Komponenten enthält, unter anderem eine geringere Energiedichte, eine geringere Aufnahme von Cholesterin und gesättigten Fettsäuren, eine erhöhte Einnahme von Ballaststoffen und eine geringere Menge Speisesalz.

### **4.2 Interpretation und Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand**

Bei Makronährstoffen handelt es sich um biochemische Verbindungen, die der menschliche Körper in großen Mengen benötigt, um Energie zu produzieren, Körpergewebe aufzubauen und den Stoffwechsel aufrechtzuerhalten (Berg et al., 2014). Zu ihnen gehören die Kohlenhydrate, Proteine und Fette.

Aus den vorliegenden Ergebnissen geht hervor, dass die Protein- und Fettzufuhr in der PBG signifikant reduziert wurde. Die Kohlenhydrataufnahme war entgegen der Erwartung in beiden Gruppen während des Interventionszeitraums ähnlich wie zu Beginn der Studie. Obwohl für beide Gruppen keine Beschränkung der Portionsgröße galt, zeigte sich bei der PBG im Vergleich zur KG eine signifikant niedrigere Kalorienzufuhr. Als Folge dieser geringeren Kalorienzufuhr konnte in der Interventionsgruppe sowohl das Gewicht, der BMI als auch das abdominelle Fett signifikant reduziert werden. Es ist bereits bekannt, dass PBDs tendenziell die Gewichtsabnahme fördern (Berkow et al., 2006; Clarys et al., 2014). Dabei ist es sehr wahrscheinlich, dass die niedrigere Energiedichte der PBD zur

Gewichtsabnahme in der PBG beigetragen hat (Rolls, 2009). Da Übergewicht als einer der stärksten Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen gilt (Khan et al., 2018), könnte die pflanzliche Ernährung demnach zu einer negativen Energiebilanz beitragen und somit das Risiko bei Patienten mit MetS verringern.

#### 4.2.1 Makronährstoffe

##### Kohlenhydrate

Wie oben beschrieben, führte die PBD im Vergleich zur konventionellen Ernährung zu einer signifikanten Verringerung der Protein- und Fettaufnahme. Interessanterweise blieb die Kohlenhydratzufuhr in beiden Gruppen während des Interventionszeitraums ähnlich wie zur Baseline. Kohlenhydrate sind komplexe organische Verbindungen, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen und eine wichtige Energiequelle für den Körper darstellen (Berg et al., 2014). Sie können in einfache Zucker wie Glukose aufgespalten werden, die in den Zellen zur Energiegewinnung verwendet werden. Es gibt mehrere Erklärungen, warum die offensichtliche Kohlenhydratzufuhr bei der PBG im Vergleich zur KG nicht stieg. Erstens enthält die PBG eine höhere Konzentration an komplexen Kohlenhydraten, die langsamer verdaut und aufgenommen werden als einfache Kohlenhydrate (Slavin, 2013). Dies führt zu einer längeren Sättigung und könnte dazu beigetragen haben, dass insgesamt weniger Kohlenhydrate aufgenommen wurden. Zweitens könnte die PBD, obwohl sie mehr Kohlenhydrate enthält, auch mehr Ballaststoffe enthalten, die den Körper sättigen und das Hungergefühl reduzieren. Dies könnte dazu geführt haben, dass weniger gegessen und insgesamt weniger Kohlenhydrate aufgenommen wurden (Barnard et al., 2005; Higdon et al., 2012; Slavin, 2013) oder die Daten anders erfasst wurden, denn sättigende Ballaststoffe werden von der NutriGuide Software gesondert betrachtet und stellen einen eigenen Diskussionspunkt dar.

##### Proteine

Proteine sind lange Ketten von Aminosäuren, die als Bausteine für den Körper dienen und in vielen verschiedenen Geweben und Organen vorkommen. Sie haben wichtige Funktionen bei der Reparatur und dem Aufbau von Muskel-, Haut-, Haar- und Knochengewebe (Berg et al., 2014). Da sie auch als Enzyme, Hormone und Antikörper dienen, spielen sie eine wichtige Rolle bei der Regulierung des Stoffwechsels und können daher sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf das MetS haben, je nach Art und

Menge der Proteinzufuhr (El Khoury et al., 2013; Chalvon-Demersay et al., 2017). Proteine sind ein kontrovers diskutiertes Thema im Zusammenhang mit einer PBD. Oft wird kritisiert, dass eine vegane Ernährung nicht genügend vollwertiges Protein liefert und, dass pflanzliche Proteinquellen nicht so gut absorbiert werden wie tierische (Richter et al., 2016). Dementsprechend sollte beim Verzehr einer PBD besonders auf eine ausreichende Proteinzufuhr geachtet werden. Diese Ernährungsempfehlung wurde in den wöchentlichen Beratungsterminen der Interventionsgruppe eindrücklich vermittelt, spiegelt sich aber in den Ernährungsdaten der PBG nicht wider. Die Ergebnisse zeigen, dass die PBD im Vergleich zur omnivoren Ernährung zu einer signifikanten Verringerung der Proteineinnahme führte. Die PBG nahm nur 89 % Protein zu sich, somit 11 % weniger als von der D-A-CH empfohlen.

Obwohl es grundsätzlich erstrebenswert ist, die D-A-CH Nährstoffempfehlungen einzuhalten, könnte eine zeitweilige Einschränkung der Proteinzufuhr, wie es in der vorliegenden CardioVeg Studie der Fall war, in bestimmten Fällen vorteilhaft sein. So zeigte eine Studie von Gannon et al., dass eine kurzfristige Reduktion der Proteinzufuhr bei übergewichtigen Menschen mit MetS zu einer Verbesserung der Insulinsensitivität führte. Die Ergebnisse zeigten vice versa, dass eine hohe Proteinzufuhr mit einer Verschlechterung der Insulinsensitivität einherging (Gannon et al., 2004). Darüber hinaus wurde in einer Meta-Analyse die Wirkung von pflanzlichem Eiweiß im Vergleich zu tierischem Eiweiß in 32 Interventionsstudien bei Patienten mit erhöhtem Cholesterinspiegel untersucht (Zhao et al., 2020). Es gab Hinweise darauf, dass pflanzliche Proteine das Lipidprofil senken können und demnach zuträglich bei MetS sind.

Während eine kurzfristige Einschränkung der Proteinzufuhr für Patienten mit MetS von Vorteil sein könnte, sollte ein langfristiger Verzicht vermieden werden, um eine ausreichende Versorgung mit essenziellen Aminosäuren und anderen Nährstoffen zu gewährleisten. Die empfohlene Proteinaufnahme kann aber durchaus aus pflanzlichen Quellen stammen wie z. B. Hülsenfrüchten, Nüssen, Samen, Vollkornprodukten und Gemüse. Die Kombination von verschiedenen pflanzlichen Proteinquellen kann dazu beitragen, eine ausreichende Versorgung mit allen essenziellen Aminosäuren sicherzustellen (Perraud et al., 2022). Zahlreiche Studien zeigen, dass eine PBD ausreichend Protein liefert, solange man eine Vielfalt an pflanzlichen Proteinquellen konsumiert (Marsh et al., 2013; Hertzler et al., 2020).

## Fette

Fette stellen eine Gruppe von Verbindungen dar, bestehend aus Glycerin und Fettsäuren. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Aufnahme fettlöslicher Vitamine, der Isolierung von Nerven, der Regulation von Hormonen sowie dem Schutz von Organen. Fette dienen außerdem als wichtige Energiequelle für den Körper, insbesondere im Hungerzustand (Berg et al., 2014). Aus den vorliegenden Ergebnissen geht hervor, dass die Fettzufuhr in der PBG insgesamt reduziert wurde. Die Daten zeigen, dass die Aufnahme von SFA und MUFA reduziert wurde, hingegen die Aufnahme von PUFA leicht, aber nicht signifikant, gesteigert werden konnte.

Gesättigte Fettsäuren sind eine Art von Fettsäuren, die in tierischen Produkten wie Fleisch, Milchprodukten und Eiern sowie in einigen pflanzlichen Ölen wie Kokosöl und Palmöl vorkommen. Im Gegensatz zu ungesättigten Fettsäuren haben gesättigte Fettsäuren keine Doppelbindungen in ihrer Kohlenstoffkette und sind daher bei Raumtemperatur in der Regel fest (Berg et al., 2014). SFA können eine Rolle bei der Entwicklung des MetS spielen, da sie das Risiko für die Entwicklung von Adipositas, Insulinresistenz, hohem Blutdruck und hohen Cholesterinwerten erhöhen (Siri-Tarino et al., 2010). Es wird von Ernährungsgesellschaften, u.a. D-A-CH, empfohlen, den Konsum von gesättigten Fettsäuren zu reduzieren und durch ungesättigte Fettsäuren wie Omega-3-Fettsäuren zu ersetzen (Dinter et al., 2015). Der SFA-Gehalt bei einer PBD ist in der Regel besonders niedrig (Bradbury et al., 2014; Kahleova et al., 2019). Auch in der vorliegenden Analyse spiegelt sich das wider: Die Teilnehmer der PBG verzehrten nach der Intervention weniger SFAs (-65 %;  $p=0,001$ ). Der Vergleich zwischen den Gruppen war ebenfalls signifikant: Während die KG die empfohlene tägliche Zufuhr von SFA deutlich überschritt (161 %), gelang es der PBG, ihren Konsum unter den Grenzwert zu senken (84 %).

Es ist bekannt, dass ein niedriger Gehalt an SFA mit einer Verbesserung des Lipidprofils und Senkung des Blutdrucks in Verbindung gebracht wird und dient somit der Prävention koronarer Herzkrankheiten (Melina et al., 2016; Satija et al., 2017; Desmond et al., 2018). Die Laborparameter der ausgewählten Probanden zeigen eine signifikante Verbesserung des Blutzuckers und HbA1c Werts. Eine Verringerung des Serum-Cholesterins und Blutdrucks konnte ebenfalls festgestellt werden, wenn auch nicht signifikant.

Die Teilnehmer der PBG verzehrten signifikant weniger einfach ungesättigte Fettsäuren, sog. MUFAs (engl.: „Monounsaturated Fatty Acids“) wobei der Verzehr dennoch deutlich über dem D-A-CH Grenzwert lag.

Bei den MUFAs handelt es sich um eine Art von Fettsäuren, die in verschiedenen Lebensmitteln wie Olivenöl, Nüssen, Samen und Avocados vorkommen. Studien haben gezeigt, dass eine höhere Aufnahme von MUFA mit einer Verringerung des Risikos für metabolische Störungen sein kann: MUFA kann dazu beitragen, den Blutzuckerspiegel und die Insulinempfindlichkeit zu verbessern, die HDL-Cholesterinwerte zu erhöhen und die Triglyceridspiegel zu senken (Schwingshackl et al., 2011; Schwingshackl et al., 2012). Darüber hinaus kann MUFA auch Entzündungen im Körper reduzieren und die Funktion von Blutgefäßen verbessern. (Paniagua et al., 2007; Guasch-Ferré et al., 2015).

PUFA steht für „Polyunsaturated Fatty Acids“ und bezieht sich auf eine Klasse von Fettsäuren mit mehreren Doppelbindungen (Berg et al., 2014). Es gibt zwei Arten von PUFA: Omega-3-Fettsäuren und Omega-6-Fettsäuren. Beide sind essenzielle Fettsäuren, die der Körper nicht selbst produzieren kann und daher über die Nahrung aufgenommen werden müssen. Ein ausgewogenes Verhältnis von Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren ist wichtig für eine gesunde Körperfunktion und wird mit vielen gesundheitlichen Vorteilen in Verbindung gebracht (Simopoulos, 2002, 2016).

Omega-3-Fettsäuren sind vor allem in Fisch enthalten, daher sind sie bei Personen, die sich hauptsächlich pflanzlich ernähren, kritisch (Richter et al., 2016). Pflanzliche Lebensmittel enthalten hauptsächlich die Omega-3-Fettsäure  $\alpha$ -Linolensäure (ALA), die in begrenztem Umfang in die essenziellen Omega-3-Fettsäuren Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) umgewandelt werden kann. Diese beiden Fettsäuren sind kardioprotektiv (Russo, 2009; Melina et al., 2016; Lemale et al., 2019; Thumann et al., 2019). Studien haben gezeigt, dass eine höhere Aufnahme von ALA mit einem niedrigeren Risiko für Stoffwechselstörungen in Verbindung gebracht werden kann, einschließlich einer geringeren Insulinresistenz, einem niedrigeren Blutzuckerspiegel und einer geringeren Wahrscheinlichkeit, Fettleibigkeit und Diabetes-Mellitus-Typ-2 zu entwickeln (Zong et al., 2019). Es gibt jedoch auch widersprüchliche Ergebnisse in anderen Studien (Wu et al., 2022).

Linolsäure ist eine Omega-6-Fettsäure, die hauptsächlich in pflanzlichen Ölen und auch in Fleisch vorkommt. Eine höhere Aufnahme von Linolsäure wurde mit einer Verbesserung des Cholesterinstoffwechsels und einer Verringerung des Risikos für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, insbesondere Schlaganfälle, in Verbindung gebracht (Allaire et al., 2016; Marklund et al., 2019). Ein hoher Konsum von Linolsäure kann den Cholesterinspiegel senken und das Risiko von metabolischem Syndrom und Herz-Kreislauf-Erkrankungen verringern (Lepretti et al., 2018).

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Aufnahme von PUFA leicht gesteigert werden konnte, jedoch nicht signifikant. Die Interventionsgruppe erreichte bereits vor der Intervention die empfohlenen Referenzwerte für PUFA, während die KG eine unzureichende Aufnahme hatte, die während der Studie unverändert blieb. Eine Ernährung mit einem höheren Anteil an ungesättigten Fettsäuren, insbesondere Omega-3-Fettsäuren, kann den Cholesterinspiegel senken, Entzündungen reduzieren und das Risiko für metabolisches Syndrom und damit verbundene Gesundheitsprobleme verringern.

#### 4.2.2 Nahrungsbegleitstoffe

Nahrungsbegleitstoffe sind Stoffe, die in Lebensmitteln in geringen Mengen vorkommen, keine Nährstoffe sind, aber dennoch eine wichtige Rolle im Körper spielen können. (Föller et al., 2021)

##### Ballaststoffe

Ballaststoffe sind eine Art von Nahrungsbegleitstoffen, die aus pflanzlichen Zellwänden stammen und nicht vom Körper verdaut werden können. Obwohl Ballaststoffe in dem Sinne keine Energie liefern, können sie dennoch sehr wertvoll für den Organismus sein. Es wird von der D-A-CH empfohlen, täglich mindestens 30 g/Tag an Ballaststoffen aufzunehmen, um von den gesundheitlichen Vorteilen zu profitieren (D-A-CH-Referenzwerte, 2018). Die Teilnehmer der PBG übertrafen diese Empfehlung, während die KG den D-A-CH Grenzwert nicht erreichte. Die Aufnahme von ballaststoffreichen Lebensmitteln kann helfen, die Faktoren, die mit dem MetS assoziiert sind, zu reduzieren. Sie helfen die Verdauung zu regulieren, indem sie Wasser aufnehmen und den Stuhl aufweichen, was die Bewegung des Darms unterstützt. Das Volumen des Nahrungsbreis kann das Sättigungsgefühl erhöhen (Barnard et al., 2005; Higdon et al., 2012; Slavin, 2013). Ihr Verzehr senkt somit das Risiko von Fettleibigkeit sowie das Risiko von Bluthochdruck und koronarer Herzkrankheit (Sánchez-Muniz, 2012; Slavin, 2013). Durch die Senkung der Gesamt- und LDL-Cholesterinkonzentration verringern Ballaststoffe auch das Risiko einer Dyslipidämie (Jenkins et al., 2008; Gulati et al., 2017; Wang et al., 2017; L. Li et al., 2018). Darüber hinaus können Ballaststoffe dazu beitragen, den Blutzuckerspiegel zu regulieren, indem sie die Aufnahme von Glukose im Darm verlangsamen und so den Anstieg des Blutzuckerspiegels nach einer Mahlzeit reduzieren (Tighe et al., 2010;



Salas-Salvadó et al., 2011; Jenkins et al., 2012). Ballaststoffe tragen zudem zur Erhaltung einer gesunden Darmflora bei, indem sie das Wachstum von nützlichen Bakterien fördern (Human Microbiome Project Consortium, 2012).

### Cholesterin

Auch Cholesterin ist ein Nahrungsbegleitstoff und kein Nährstoff im eigentlichen Sinne. Das bedeutet, dass Nahrungscholesterin nicht als Energielieferant oder zur Unterstützung von Wachstum und Körperfunktionen verwendet wird (Berg et al., 2014). Cholesterin ist ein steroid-ähnlicher Stoff, der in tierischen Lebensmitteln wie Fleisch, Eiern und Milchprodukten vorkommt. Zwar ist Cholesterin ein wichtiger Bestandteil von Zellmembranen und wird für die Produktion von Hormonen, Vitamin D und Gallensäuren benötigt, kann allerdings vom Körper selbst produziert werden (Berg et al., 2014). Ein zu hoher Cholesterinspiegel im Blut, resultiert aus der Summe von eigens produziertem, „endogenem“ Cholesterin und über die Nahrung aufgenommenem, „exogenem“ Cholesterin und kann das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöhen (FERENCE et al., 2017; Virani et al., 2020). Es wird angenommen, dass eine hohe Aufnahme von Nahrungscholesterin zu einem Anstieg des LDL-Cholesterins im Blut führen kann, was das Risiko für Herzerkrankungen erhöht (Rouhani et al., 2018). Eine geringe exogene Aufnahme von Nahrungscholesterin wird oft als eine mögliche Strategie zur Verbesserung des Stoffwechselprofils bei Personen mit MetS vorgeschlagen. Demnach empfiehlt auch die D-A-CH die Cholesterinaufnahme auf etwa 300 mg pro Tag zu begrenzen. Beide Studiengruppen dieser Analyse konnten der D-A-CH Empfehlung entsprechen. Es ist jedoch offensichtlich, dass die Probanden der PBG durch die Intervention deutlich weniger Cholesterin mit der Nahrung zu sich nahmen als die Probanden der KG.

### Salz

Salz ist ein Nahrungsmittelbegleitstoff, der oft in Lebensmitteln als Geschmacksverstärker und zur Konservierung verwendet wird. Salz ist kein energiereicher Nährstoff, stattdessen liefert Salz Natrium und Chlorid, die in kleinen Mengen für den Körper wichtig sind, um eine ordnungsgemäße Funktion von Nerven und Muskeln zu unterstützen, sowie zur Aufrechterhaltung des Flüssigkeitsgleichgewichts und des Blutdrucks nötig sind (Föller et al., 2021).

Der physiologische Bedarf an Salz beträgt lediglich 2 bis 3 g pro Tag, wobei die durchschnittlichen Aufnahmewerte der Bevölkerung deutlich über den empfohlenen Höchstwerten bei etwa 10 g pro Tag liegen (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 2017). Der PBG gelang es, ihre Salzaufnahme von  $6,5 \pm 2,0$  g auf  $3,7 \pm 2,1$  g deutlich zu senken, während die KG keinen Rückgang verzeichnete.

Studien haben gezeigt, dass eine Reduktion der Natriumaufnahme mit einer Abnahme des systolischen Blutdrucks verbunden sein kann (He et al., 2013; Filippou et al., 2020; Huang et al., 2020). Eine erhöhte Aufnahme von Natrium und Chlorid kann zu einer Erhöhung des Blutvolumens führen, was wiederum zu einem Anstieg des Blutdrucks führen kann. Bluthochdruck ist ein wichtiger Risikofaktor für Herzerkrankungen und Schlaganfall, die häufig mit dem MetS assoziiert sind (Kotchen, 2005). Es gibt auch Hinweise darauf, dass eine hohe Salzzufuhr mit einem erhöhten Risiko für Fettleibigkeit verbunden sein kann (Zhou et al., 2019). Eine Reduktion der Salzzufuhr kann demnach dazu beitragen, Bluthochdruck, Fettleibigkeit und Insulinresistenz zu reduzieren und somit zur Verbesserung der MetS beitragen.

#### 4.2.3 Mikronährstoffe

Mikronährstoffe sind biochemische Verbindungen, die in kleineren Mengen als Makronährstoffe benötigt werden, aber dennoch entscheidend für die Aufrechterhaltung eines gesunden Körpers sind (Föller et al., 2021). Zu den Mikronährstoffen gehören Vitamine, Mineralstoffe (Mengen und Spurenelemente) sowie sekundäre Pflanzenstoffe. Nach Angaben der Deutschen Gesellschaft für Ernährung ist bei einer strikten PBD die Versorgung mit einigen Mikronährstoffen nicht oder nur schwer möglich. Zu den potenziell kritischen Mikronährstoffen bei einer veganen Ernährung gehören Vitamine, wie Vitamin B12, Vitamin B2/Riboflavin und Vitamin D sowie bestimmte Mineralstoffe wie Kalzium, Eisen, Jod, Zink, und Selen (Richter et al., 2016).

#### Vitamine

Vitamine sind organische Verbindungen, die in geringen Mengen benötigt werden, um spezifische Stoffwechselprozesse im Körper zu unterstützen. Es gibt insgesamt 13 Vitamine, die in zwei Gruppen unterteilt werden: fettlösliche Vitamine wie Vitamin A, D, E und K, sowie wasserlösliche Vitamine wie Vitamin C und alle B-Vitamine (Föller et al., 2021). Tatsächlich konnte in der vorliegenden Untersuchung die Mikronährstoffzufuhr für einige

Vitamine nicht erreicht werden: Vitamin B5, Vitamin B12, Vitamin D. Die Zufuhr von Vitamin D und Vitamin B5/Pantothensäure war in beiden Gruppen unzureichend, was darauf hindeutet, dass diese Nährstoffe für die öffentliche Gesundheit von Bedeutung sind.

### Vitamin B12

Wie erwartet lag die Vitamin-B12-Aufnahme in der PBG deutlich unter dem von der D-A-CH empfohlenen DRI. Vitamin B12 kommt hauptsächlich in tierischen Produkten wie Fleisch, Fisch, Eiern und Milchprodukten vor. Zwar gibt es einige pflanzliche Lebensmittel, die geringe Mengen an Vitamin B12 enthalten, wie z. B. angereicherte Getreideprodukte, Sojamilch und einige Algen, jedoch ist es schwierig, genügend Vitamin B12 allein durch pflanzliche Quellen aufzunehmen, um den täglichen Bedarf zu decken (Richter et al., 2016). Auch in Studien wurde bestätigt, dass Veganer und Vegetarier ein höheres Risiko für einen Vitamin-B12-Mangel aufweisen als Menschen, die Fleisch essen (Pawlak et al., 2014; Rizzo et al., 2016). Ein Defizit an Vitamin B12 kann zu perniziöser Anämie, neurologischen Störungen und anderen gesundheitlichen Problemen führen (Föller et al., 2021). Ein solcher Mangel könnte auch das MetS verschlimmern, da Vitamin B12 eine wichtige Rolle bei der Homocystein-Metabolisierung und somit bei der Aufrechterhaltung eines gesunden kardiovaskulären Systems spielt (Yajnik et al., 2006). Menschen, die sich pflanzenbasiert ernähren, sollten daher Vitamin-B12-Ergänzungen oder angereicherte Lebensmittel zu sich nehmen, um sicherzustellen, dass sie ausreichend mit diesem wichtigen Vitamin versorgt sind und das Risiko für das MetS und seine Folgen verringern.

### Vitamin B5

Vitamin B5, auch als Pantothensäure bekannt, ist ein wasserlösliches Vitamin, das an verschiedenen Stoffwechselprozessen im Körper beteiligt ist.

In der vorliegenden Analyse lag sowohl bei der PBG als auch KG eine unzureichende Aufnahme von Pantothensäure vor. Diese konnte auch durch die Intervention nicht signifikant verändert werden. Eine niedrige Zufuhr von Pantothensäure in beiden Gruppen deutet darauf hin, dass dieser Nährstoff für die öffentliche Gesundheit von Bedeutung sein könnte.

Pantothensäure ist an der Synthese von Coenzym A beteiligt, das eine wichtige Rolle bei der Energieproduktion im Körper spielt, sowie bei der Produktion von Fettsäuren und Cholesterin (Miller et al., 2012; Föller et al., 2021). Es gibt Hinweise darauf, dass ein

Mangel an Vitamin B5 mit einigen Symptomen des MetS in Verbindung gebracht werden und eine gezielte Supplementierung das Lipidprofil und den LDL-C signifikant senken kann (Rumberger et al., 2011; Evans et al., 2014).

### Vitamin D

Vitamin D ist wichtig für die Aufrechterhaltung der Knochenmineralisierung, indem es die Kalzium- und Phosphorhomöostase reguliert (Föller et al., 2021). Ein Mangel hat jedoch nicht nur negative Auswirkungen auf das menschliche Skelettsystem, sondern begünstigt auch die Entstehung und das Fortschreiten zahlreicher Volkskrankheiten, darunter Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes-Mellitus-Typ-2, Autoimmunerkrankungen und Krebs (Zmijewski, 2019).

Laut den vorliegenden Daten der CardioVeg Studie war die Aufnahme von Vitamin D in beiden Gruppen unzureichend. Dies deutet darauf hin, dass diese Nährstoffe nicht nur für Veganer und Vegetarier wichtig, sondern ebenfalls für die öffentliche Gesundheit von Bedeutung ist.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Vitamin-D-Aufnahme bei Veganern aufgrund der geringen Anzahl von natürlichen Quellen und der eingeschränkten Sonnenexposition im Allgemeinen niedriger sein kann als bei Menschen, die tierische Produkte konsumieren. Eine regelmäßige Überprüfung des Vitamin-D-Spiegels und gegebenenfalls eine Supplementierung kann daher für Veganer empfehlenswert sein.

### Mineralstoffe

Mineralstoffe sind anorganische Substanzen, die in kleinen Mengen benötigt werden, um Körperfunktionen zu regulieren. Sie werden nochmal in Mengen- und Spurenelemente unterteilt. Einige dieser Elemente, sollten in einer veganen Ernährung genauer berücksichtigt werden.

### Mengenelemente

Mengenelemente sind Mineralstoffe, die der Körper in größeren Mengen benötigt, in der Regel mehr als 100 mg pro Tag. Zu den wichtigsten Mengenelementen gehören Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium, Phosphor und Chlorid. Diese Mineralstoffe haben diverse Funktionen bei der Aufrechterhaltung des Flüssigkeitshaushalts, der Knochengesundheit, der Muskelkontraktion und der Signalübertragung zwischen den Zellen (Föller et al., 2021).

Anhand der vorliegenden Ergebnisse wurde die Aufnahme von Natrium und Chlorid durch die PBD reduziert. Dies wurde bereits im Abschnitt „Salz“ ausführlicher beschrieben und verdeutlicht die positiven Auswirkungen eines geringeren Salzkonsums (siehe Abschnitt 4.2.2. Nahrungsbegleitstoffe).

Laut der vorliegenden Ergebnisse wurde außerdem die Aufnahme von Kalium, Magnesium und Phosphor verringert, wobei die Empfehlungen der D-A-CH dennoch weit übertroffen wurde. Demnach besteht kein Grund zur Sorge hinsichtlich einer ausreichenden Zufuhr.

Die Kalziumzufuhr hingegen nahm in der PBG deutlich ab und entsprach nicht der D-A-CH-Empfehlung. Kalzium erfüllt eine wichtige Funktion als essenzieller Bestandteil von Knochen und Zähnen und spielt zudem eine Rolle als Botenstoff in den Signalwegen der Zellen. Vegane Quellen sind grünes Blattgemüse, Tofu, Sojamilch und angereicherte pflanzliche Milchprodukte. Ein regelmäßiger Konsum dieser könnte dabei unterstützen, dass genügend Kalzium aufgenommen wird.

### Spurenelemente

Spurenelemente sind Mineralstoffe, die in noch geringeren Mengen als Mengenelemente benötigt werden. In der Regel weniger als 100 mg pro Tag. Dazu gehören Eisen, Zink, Selen, Kupfer, Mangan und Jod. Diese Spurenelemente sind wichtig für die Bildung von Enzymen und Hormonen im Körper, die Regulierung des Stoffwechsels und die Unterstützung des Immunsystems (Föller et al., 2021).

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass der Konsum von kritischen Nährstoffen wie Eisen und Zink in der PBG abnahm, jedoch über den empfohlenen DRI Werten lag und demnach kein Mangel befürchtet werden muss.

In den Ergebnissen sieht man außerdem, dass die Aufnahme des Spurenelements Jod in beiden Gruppen unzureichend war. Jod ist ein wesentlicher Bestandteil der Schilddrüsenhormone, die während des gesamten Lebens für normales Wachstum, neurologische Entwicklung und Stoffwechsel benötigt werden. Eine unzureichende Jodzufuhr beeinträchtigt die Produktion von Schilddrüsenhormonen und führt zu einer sogenannten Hypothyreose. Dies führt zu einer Reihe von gesundheitlichen Beeinträchtigungen (Laurberg, 2014). Obwohl eine unzureichende Deckung des Tagesbedarfs an Jod nicht nur in der PDG, sondern auch in der KG zu sehen war, ist es gerade bei PBD besonders wichtig, darauf zu achten. In der omnivoren Ernährung werden die Jodreferenzwerte

hauptsächlich durch Fisch abgedeckt. Zu den veganen Jodquellen gehören weniger alltägliche Nahrungsmittel, wie z. B. Algen. Die regelmäßige Verwendung von Jodsalz oder die Einnahme von Jodpräparaten könnte dabei unterstützen, dass genügend Jod aufgenommen wird.

Die vorliegenden Daten deuten zudem auf eine unzureichende Aufnahme von Fluorid sowohl in PBG als auch in KG hin. Fluorid ist kein essenzielles Spurenelement, da der Körper kein biologisches Bedürfnis nach Fluor hat (Nielsen, 1999). Das bedeutet, dass es kein spezifisches physiologisches System im Körper gibt, das Fluorid erfordert, um richtig zu funktionieren. Fluorid wird allerdings oft als „bedingt essenziell“ bezeichnet, da es eine wichtige Rolle bei der Erhaltung der Gesundheit von Zähnen und Knochen spielt (Föller et al., 2021). Sowohl bei pflanzlicher als auch bei omnivorer Ernährung könnte eine fluoridhaltige Zahnpasta dazu beitragen, einen Mangel an dem Spurenelement Fluorid zu verhindern.

Eine offensichtliche Steigerung ist bei dem essenziellen Spurenelement Mangan zu verzeichnen. Mangan wird für eine Vielzahl von Stoffwechselprozessen im Körper benötigt. Es ist an der Bildung von Knochen, Knorpel und Bindegewebe beteiligt und spielt auch eine Rolle bei der Regulierung des Blutzuckerspiegels und Fettstoffwechsels (Avila et al., 2013). Zu Beginn der Studie hatten sowohl PDG als auch KG eine ausreichende Manganaufnahme. Die PBG erhöhte jedoch ihre Manganzufuhr während des Studienzeitraums signifikant um 49 %.

Es gibt einige Hinweise darauf, dass Mangan bei der Vorbeugung und Behandlung des MetS vorteilhaft sein könnte. Eine höhere Zufuhr von Mangan wird unter anderem mit einem niedrigeren Risiko für die Entwicklung von Adipositas, Insulinresistenz und Diabetes-Mellitus-Typ-2 in Verbindung gebracht (Mancini et al., 2018).

### **4.3 Stärken und Schwächen der Studie**

Die CardioVeg Ernährungsstudie weist einige Limitationen und Schwächen auf, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten.

In Ernährungsstudien gibt es viele Herausforderungen, die auch wir in unserer Studie erfahren haben. Es ist schwierig, alle Störfaktoren zu kontrollieren, die die Ergebnisse von Ernährungsstudien beeinflussen können, wie z. B. körperliche Aktivität, soziale und genetische Unterschiede und psychologische Aspekte.

Aufgrund der zahlreichen Confounder in Ernährungsstudien ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass zwar Korrelationen zwischen Ernährungsfaktoren und Gesundheitsergebnissen aufgezeigt werden können, diese aber nicht immer Ursache-Wirkungs-Beziehungen belegen. Alle Teilnehmer der CardioVeg Studie waren zu Beginn motiviert, ihre Ernährung umzustellen, um von den potenziellen Vorteilen einer PBD zu profitieren. Der sogenannte Reporting Bias spielt hier eine grundlegende Rolle und ist eine Schwäche der Ernährungsstudie: Es ist wahrscheinlich, dass einige Probanden in der KG ihre Ernährung nicht beibehielten, mindestens geringfügig veränderten, obwohl sie dazu aufgefordert wurden sich weiterhin omnivor zu ernähren. Hingegen wurden bestimmte unerwünschte Lebensmittel in der Interventionsgruppe in den Tagen der Protokollführung unbewusst weggelassen oder sogar weniger konsumiert, um sich von der besten Seite zu zeigen. Teilnehmer in Studien machen oft sozial erwünschte Aussagen und stellen ihre Ernährung positiver dar als sie ist.

Eine große Herausforderung war die Durchführung der Intervention unter pandemischen Bedingungen, die dazu führte, dass die Ernährungsberatung ab der Hälfte der Studie nur noch online durchgeführt werden konnte. Es besteht die Möglichkeit, dass die Probanden, die nur online teilnahmen, Schwierigkeiten hatten, das neue Ernährungsmuster zu etablieren, da der persönliche Austausch mit dem Betreuer und den anderen Studienteilnehmern fehlte. Auch die Protokollführung erwies sich als Herausforderung, da nicht alle eingeschlossenen Probanden die gewünschten Protokolle führten. Dies führte zu einer geringen Stichprobengröße bei der Subgruppenanalyse und begrenzter Aussagekraft. Ein weiteres Problem besteht darin, dass wir außerhalb der Messzeitpunkte der Studie nicht wissen, ob die Ernährung, wie sie protokolliert wurde, repräsentativ für den gesamten Studienzeitraum ist. Daher ist es wichtig, diese Einschränkungen zu berücksichtigen, um die Ergebnisse unserer Studie angemessen zu interpretieren.

Neben den genannten Limitationen und Schwächen weist die vorliegende Studie auch Stärken auf. Die Probanden erhielten eine qualifizierte und individuelle Betreuung sowohl persönlich als auch online von erfahrenen Ernährungsberatern. Sie erhielten wissenschaftlich fundierte Informationen und ihre individuellen Bedürfnisse und Ziele wurden berücksichtigt. Die in der Studie verwendete Methode zur Erfassung der Ernährung durch 3-Tage-Ernährungsprotokolle gilt als hochwertig und liefert trotz einer geringen Proban-

denzahl gute Hinweise auf die Nährstoffaufnahme einer PBD. Die Erfassung der Protokolle erfolgte durch eine einzige geschulte und erfahrene Ernährungswissenschaftlerin, was zu einer geringen Verzerrung bei der Datenerfassung beiträgt.

Die Untersuchung einer kurzfristigen 8-wöchigen Umstellung auf eine PBD und die Auswertung der Nährstoffzufuhr in der RCT wurde bisher in keiner anderen Studie untersucht und liefert somit erste Hinweise auf die Auswirkungen einer solchen Ernährungsumstellung.

#### **4.4 Implikationen für Praxis und zukünftige Forschung**

##### **4.4.1 Klinische Relevanz**

Die vorliegende Analyse bestätigt, dass eine PBD Personen mit MetS unterstützen kann und die Zusammensetzung der Nährstoffe vorteilhaft für die kardiovaskuläre Gesundheit ist. Zahlreiche wissenschaftliche Studien belegen, dass eine gut geplante vegane Ernährung mehrere gesundheitliche Vorteile bieten kann, darunter eine Verringerung des Risikos von Herzerkrankungen, Insulinresistenz, Typ-2-Diabetes, Entzündungen, Bluthochdruck und Fettleibigkeit. Demnach ist eine PBD zunehmend klinisch relevant, insbesondere im Zusammenhang mit bestimmten Gesundheitszuständen und Präventivmaßnahmen. Aus verschiedenen Gründen hat sich die PBD jedoch im Alltag und auch in Krankenhäusern bisher nicht durchgesetzt. Ein Grund könnten traditionelle Ernährungsgewohnheiten sein. Fleischerzeugnisse und andere tierische Produkte sind seit langem fester Bestandteil vieler Kulturen und traditioneller Ernährungsgewohnheiten. Diese Gewohnheiten zu ändern und vollständig auf eine PBD umzustellen, kann schwierig sein. Ein weiterer Grund könnte ein Mangel an Informationen und Wissen sein. Zahlreiche Menschen haben nur begrenztes Fachwissen über die Vorteile und die Umsetzung einer PBD. Es kann eine Ungewissheit darüber bestehen, wie man eine ausgewogene vegane Ernährung erreichen kann, die alle Nährstoffbedürfnisse abdeckt. Ein wichtiger Aspekt ist außerdem der tiefliegende Zweifel hinsichtlich eines Nährstoffmangels: Manche Menschen haben Bedenken wegen möglicher Nährstoffdefizite bei einer rein pflanzlichen Ernährung, insbesondere im Hinblick auf eine ausreichende Aufnahme von Vitamin B12, Eisen, Kalzium und Omega-3-Fettsäuren. Es verlangt eine sorgfältige Planung und Aufmerksamkeit, um sicherzustellen, dass alle Nährstoffbedürfnisse gedeckt werden.



Die Kosten einer PBD im Vergleich zu einer omnivoren Ernährung werden aus verschiedenen Blickwinkeln und auf unterschiedliche Weise betrachtet. Es ist wichtig zu beachten, dass die Kosten von einer Vielzahl von Faktoren abhängen können, beispielsweise von der regionalen Verfügbarkeit von Lebensmitteln, den individuellen Essgewohnheiten und dem Einkommensniveau. Es gibt Situationen, in denen eine PBD als teurer empfunden werden kann. So können beispielsweise bestimmte pflanzliche Eiweißersatzstoffe oder bestimmte Bioprodukte teurer sein. Darüber hinaus können frische Produkte wie Obst und Gemüse saisonal oder regional begrenzt sein, was zu höheren Preisen führen kann. Andererseits kann eine PBD auch kostengünstig sein, vor allem wenn Sie sich auf Grundnahrungsmittel wie Hülsenfrüchte, Getreide, Obst und Gemüse konzentrieren. Diese Lebensmittel sind oft preiswert und können eine wichtige Rolle in einer ausgewogenen Ernährung spielen.

Ein weiterer Grund könnte die Verfügbarkeit von veganen Optionen sein. Auch wenn das Angebot an veganen Lebensmitteln wächst, so sind sie möglicherweise nicht so weit verbreitet oder leicht zugänglich wie traditionelle tierische Produkte, wie Fleisch, Wurstwaren und Käse und Milchprodukte. Dies kann die Umsetzung einer veganen Ernährung erschweren, insbesondere in bestimmten Regionen oder Einrichtungen wie Krankenhäusern.

Auch Vorurteile und soziale Normen können ein Grund dafür sein, dass sich die PBD noch nicht durchgesetzt hat. Veganismus wird von manchen Menschen immer noch skeptisch betrachtet und mit negativen Vorurteilen in Verbindung gebracht. Gesellschaftliche Normen und Erwartungen können dazu führen, dass sich Menschen seltener für eine PBD entscheiden. Anzumerken ist aber, dass die Akzeptanz und das Angebot an pflanzlichen Nahrungsmitteln immer besser wird und sich immer mehr Menschen für diese Ernährungsweise entscheiden. Auch in Krankenhäusern und anderen Gesundheitseinrichtungen gibt es zunehmend Initiativen, die pflanzenbasierte Optionen anbieten und verstärkt auf die Bedeutung von Lebensmitteln aufmerksam machen.

#### 4.4.2 Perspektiven

Um die Ergebnisse der vorliegenden Studie zu verifizieren und zu verbessern, sollten zukünftige Studien einige Aspekte berücksichtigen. Eine größere Studienpopulation könnte dazu beitragen, die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen und mögliche Un-

terschiede zwischen verschiedenen Untergruppen aufzudecken. Außerdem ist ein längerer Beobachtungszeitraum empfehlenswert, um den Einfluss der Ernährung auf die Entwicklung chronischer Erkrankungen wie dem MetS im Laufe der Zeit zu bewerten.

In der vorliegenden Studie konzentrierten wir uns auf die Nährstoffaufnahme und verzichteten auf Blutuntersuchungen von Mikro-/Makronährstoffen. Es wäre besonders interessant, Blutparameter wie B12, Kalzium, Vitamin D und Pantothenensäure zu erheben, da wir in unserer Studie beobachtet haben, dass diese kritischen Nährstoffe oft unzureichend zugeführt wurden. Eine solche Analyse würde helfen, Defizite zu erkennen und die Auswirkungen der Ernährung auf den Körper genauer zu beurteilen.

Konsequenteres Monitoring des Essverhaltens der Probanden könnte ebenfalls dazu beitragen, genauere Daten zu erheben. Ein digitales Monitoring und App-basierte Ernährungserhebungen sind hierbei besonders vielversprechend, da sie eine lückenlose Erfassung des Essverhaltens ermöglichen und somit auch einen Einblick in die tägliche Ernährung geben können.

Die Kombination dieser Methoden unter randomisierten, kontrollierten Bedingungen und einem längeren Beobachtungszeitraum kann dazu beitragen, dass die Ernährungsforschung im Bereich der PBD aussagekräftigere und belastbarere Ergebnisse liefert. Durch hochwertige Forschung in diesem Bereich können mehr Wissen und Vertrauen in die Ernährung als Medizin geschaffen werden. Dies trägt zur Anerkennung und Akzeptanz der pflanzenbasierten Ernährung sowohl im privaten Alltag als auch im klinischen Umfeld bei.

Bereits Hippokrates sagte einst: „Deine Nahrung sollte dein Heilmittel sein und dein Heilmittel sollte deine Nahrung sein.“ Diese Erkenntnis gewinnt heute mehr denn je an Bedeutung und verdeutlicht den potenziellen Wert einer vollwertigen Ernährung für Gesundheit und Wohlbefinden.

## 5 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Analyse der Nahrungsaufnahme zeigte, dass die Nährstoffzusammensetzung der Teilnehmer mit PBD im Vergleich zu den Teilnehmern mit omnivorer Diät günstiger für die kardiovaskuläre Gesundheit war. Zu den vorteilhaften Merkmalen der PBD gehörten eine geringere Energiedichte, eine geringere Aufnahme von SFA und Cholesterin, ein erhöhter Verzehr von Ballaststoffen und eine geringere Salzaufnahme. Die empfohlene Zufuhr der meisten Vitamine und Mineralstoffe wurde eingehalten. Erwartungsgemäß erreichten die Teilnehmer der PBG nicht die Empfehlungen für Vitamin B12, sodass eine Supplementierung gerechtfertigt ist. Bei einer rein pflanzenbasierten Ernährungsweise sollte auch Kalzium ergänzt werden, sofern keine fortifizierten Lebensmittel konsumiert werden. In beiden Gruppen wurde eine niedrige Zufuhr mehrerer kritischer Nährstoffe (Vitamin D, Pantothen säure, Jod) festgestellt, was darauf hindeutet, dass diese Nährstoffe auch für die öffentliche Gesundheit von Bedeutung sind. Eine gezielte Supplementierung mit den oben genannten Mikronährstoffen könnte die Ernährungsqualität der PBD verbessern und die Entstehung von Nährstoffmängeln verhindern.

Für Patienten mit MetS sind die zahlreichen Vorteile und die präventive Wirkung der PBD besonders wertvoll, da dieser Ernährungsansatz das Risiko für diese Krankheit über verschiedene Mechanismen verringern kann. Aus diesem Grund sollte die PBD als wertvolle Ergänzung zur medikamentösen Standardbehandlung und Bewegungstherapie empfohlen werden.

## Literaturverzeichnis

- Alberti, K. G., Eckel, R. H., Grundy, S. M., Zimmet, P. Z., Cleeman, J. I., Donato, K. A., Fruchart, J. C., James, W. P., Loria, C. M., & Smith, S. C., Jr. (2009). Harmonizing the metabolic syndrome: a joint interim statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity. *Circulation*, *120*(16), 1640-1645. doi:10.1161/circulationaha.109.192644
- Alcorta, A., Porta, A., Tárrega, A., Alvarez, M. D., & Vaquero, M. P. (2021). Foods for Plant-Based Diets: Challenges and Innovations. *Foods*, *10*(2), 293. doi:10.3390/foods10020293
- Alexy, U., Fischer, M., Weder, S., Längler, A., Michalsen, A., Sputtek, A., & Keller, M. (2021). Nutrient Intake and Status of German Children and Adolescents Consuming Vegetarian, Vegan or Omnivore Diets: Results of the VeChi Youth Study. *Nutrients*, *13*(5), 1707. doi:10.3390/nu13051707
- Allaire, J., Couture, P., Leclerc, M., Charest, A., Marin, J., Lépine, M. C., Talbot, D., Tchernof, A., & Lamarche, B. (2016). A randomized, crossover, head-to-head comparison of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid supplementation to reduce inflammation markers in men and women: the Comparing EPA to DHA (ComparED) Study. *Am J Clin Nutr*, *104*(2), 280-287. doi:10.3945/ajcn.116.131896
- Avila, D. S., Puntel, R. L., & Aschner, M. (2013). Manganese in health and disease. *Met Ions Life Sci*, *13*, 199-227. doi:10.1007/978-94-007-7500-8\_7
- Bacchetti, T., Turco, I., Urbano, A., Morresi, C., & Ferretti, G. (2019). Relationship of fruit and vegetable intake to dietary antioxidant capacity and markers of oxidative stress: A sex-related study. *Nutrition*, *61*, 164-172. doi:10.1016/j.nut.2018.10.034
- Ballantyne, C. M., Hoogeveen, R. C., McNeill, A. M., Heiss, G., Schmidt, M. I., Duncan, B. B., & Pankow, J. S. (2008). Metabolic syndrome risk for cardiovascular disease and diabetes in the ARIC study. *Int J Obes (Lond)*, *32* Suppl 2(Suppl 2), S21-24. doi:10.1038/ijo.2008.31
- Barnard, N. D., Levin, S. M., & Yokoyama, Y. (2015). A systematic review and meta-analysis of changes in body weight in clinical trials of vegetarian diets. *J Acad Nutr Diet*, *115*(6), 954-969. doi:10.1016/j.jand.2014.11.016
- Barnard, N. D., Scialli, A. R., Turner-McGrievy, G., Lanou, A. J., & Glass, J. (2005). The effects of a low-fat, plant-based dietary intervention on body weight, metabolism, and insulin sensitivity. *The American journal of medicine*, *118*(9), 991-997. doi:10.1016/j.amjmed.2005.03.039
- Barter, P., Gotto, A. M., LaRosa, J. C., Maroni, J., Szarek, M., Grundy, S. M., Kastelein, J. J., Bittner, V., & Fruchart, J. C. (2007). HDL cholesterol, very low levels of LDL cholesterol, and cardiovascular events. *N Engl J Med*, *357*(13), 1301-1310. doi:10.1056/NEJMoa064278
- Benjamin, E. J., Virani, S. S., Callaway, C. W., Chamberlain, A. M., Chang, A. R., Cheng, S., Chiuve, S. E., Cushman, M., Delling, F. N., Deo, R., de Ferranti, S. D., Ferguson, J. F., Fornage, M., Gillespie, C., Isasi, C. R., Jiménez, M. C., Jordan, L. C., Judd, S. E., Lackland, D., Lichtman, J. H., Lisabeth, L., Liu, S., Longenecker, C. T., Lutsey, P. L., Mackey, J. S., Matchar, D. B., Matsushita, K., Mussolino, M. E., Nasir, K., O'Flaherty, M., Palaniappan, L. P., Pandey, A., Pandey, D. K.,

- Reeves, M. J., Ritchey, M. D., Rodriguez, C. J., Roth, G. A., Rosamond, W. D., Sampson, U. K. A., Satou, G. M., Shah, S. H., Spartano, N. L., Tirschwell, D. L., Tsao, C. W., Voeks, J. H., Willey, J. Z., Wilkins, J. T., Wu, J. H., Alger, H. M., Wong, S. S., & Muntner, P. (2018). Heart Disease and Stroke Statistics-2018 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*, *137*(12), e67-e492. doi:10.1161/cir.0000000000000558
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2014). *Biochemie*: Springer-Verlag.
- Berkow, S. E., & Barnard, N. (2006). Vegetarian diets and weight status. *Nutr Rev*, *64*(4), 175-188. doi:10.1111/j.1753-4887.2006.tb00200.x
- Bhat, M. A., Mishra, A. K., Tantray, J. A., Alatawi, H. A., Saeed, M., Rahman, S., & Jan, A. T. (2022). Gut Microbiota and Cardiovascular System: An Intricate Balance of Health and the Diseased State. *Life (Basel)*, *12*(12). doi:10.3390/life12121986
- Blüher, M. (2009). Adipose tissue dysfunction in obesity. *Exp Clin Endocrinol Diabetes*, *117*(6), 241-250. doi:10.1055/s-0029-1192044
- Bonora, E., Targher, G., Formentini, G., Calcaterra, F., Lombardi, S., Marini, F., Zenari, L., Saggiani, F., Poli, M., Perbellini, S., Raffaelli, A., Gemma, L., Santi, L., Bonadonna, R. C., & Muggeo, M. (2004). The Metabolic Syndrome is an independent predictor of cardiovascular disease in Type 2 diabetic subjects. Prospective data from the Verona Diabetes Complications Study. *Diabet Med*, *21*(1), 52-58. doi:10.1046/j.1464-5491.2003.01068.x
- Bradbury, K. E., Crowe, F. L., Appleby, P. N., Schmidt, J. A., Travis, R. C., & Key, T. J. (2014). Serum concentrations of cholesterol, apolipoprotein A-I and apolipoprotein B in a total of 1694 meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans. *Eur J Clin Nutr*, *68*(2), 178-183. doi:10.1038/ejcn.2013.248
- Bundeszentrum für Ernährung. (2009). *MONICA-Mengenliste*: Bundeszentrum für Ernährung.
- Cameron, A. J., Shaw, J. E., & Zimmet, P. Z. (2004). The metabolic syndrome: prevalence in worldwide populations. *Endocrinol Metab Clin North Am*, *33*(2), 351-375, table of contents. doi:10.1016/j.ecl.2004.03.005
- Carter, P., Gray, L. J., Troughton, J., Khunti, K., & Davies, M. J. (2010). Fruit and vegetable intake and incidence of type 2 diabetes mellitus: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, *341*, c4229. doi:10.1136/bmj.c4229
- Castro-Barquero, S., Ruiz-León, A. M., Sierra-Pérez, M., Estruch, R., & Casas, R. (2020). Dietary Strategies for Metabolic Syndrome: A Comprehensive Review. *Nutrients*, *12*(10). doi:10.3390/nu12102983
- Chalvon-Demersay, T., Azzout-Marniche, D., Arfsten, J., Egli, L., Gaudichon, C., Karagounis, L. G., & Tomé, D. (2017). A Systematic Review of the Effects of Plant Compared with Animal Protein Sources on Features of Metabolic Syndrome. *The Journal of Nutrition*, *147*(3), 281-292. doi:10.3945/jn/116.239574
- Clarys, P., Deliens, T., Huybrechts, I., Deriemaeker, P., Vanaelst, B., De Keyzer, W., Hebbelinck, M., & Mullie, P. (2014). Comparison of nutritional quality of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pesco-vegetarian and omnivorous diet. *Nutrients*, *6*(3), 1318-1332. doi:10.3390/nu6031318
- D-A-CH-Referenzwerte. (2018). *D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr*. Bonn: Neuer Umschau Buchverlag.
- Desmond, M. A., Sobiecki, J., Fewtrell, M., & Wells, J. C. K. (2018). Plant-based diets for children as a means of improving adult cardiometabolic health. *Nutrition Reviews*, *76*(4), 260-273. doi:10.1093/nutrit/nux079
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung. (2017). DGE aktualisiert die Referenzwerte für Natrium, Chlorid und Kalium. Retrieved from

<https://www.dge.de/uploads/media/DGE-Pressemeldung-aktuell-01-2017-Ref-FAQ-Na-Cl-K.pdf>

- Dinter, J., Boeing, H., Leschik-Bonnet, E., & Wolfram, G. (2015). Fat intake and prevention of selected nutrition-related diseases. Summary of the revised version (2015) of the evidence-based fat guideline of the German Nutrition Society (DGE). *Ernahrungs Umschau* 63(05): 104–109.
- Dressler, J., Storz, M. A., Müller, C., Kandil, F. I., Kessler, C. S., Michalsen, A., & Jeitler, M. (2022). Does a Plant-Based Diet Stand Out for Its Favorable Composition for Heart Health? Dietary Intake Data from a Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, 14(21), 4597. doi:10.3390/nu14214597
- El Khoury, D., & Anderson, G. H. (2013). Recent advances in dietary proteins and lipid metabolism. *Curr Opin Lipidol*, 24(3), 207-213. doi:10.1097/MOL.0b013e3283613bb7
- Evans, M., Rumberger, J. A., Azumano, I., Napolitano, J. J., Citrolo, D., & Kamiya, T. (2014). Pantethine, a derivative of vitamin B5, favorably alters total, LDL and non-HDL cholesterol in low to moderate cardiovascular risk subjects eligible for statin therapy: a triple-blinded placebo and diet-controlled investigation. *Vasc Health Risk Manag*, 10, 89-100. doi:10.2147/vhrm.S57116
- Ference, B. A., Ginsberg, H. N., Graham, I., Ray, K. K., Packard, C. J., Bruckert, E., Hegele, R. A., Krauss, R. M., Raal, F. J., Schunkert, H., Watts, G. F., Borén, J., Fazio, S., Horton, J. D., Masana, L., Nicholls, S. J., Nordestgaard, B. G., van de Sluis, B., Taskinen, M. R., Tokgözoğlu, L., Landmesser, U., Laufs, U., Wiklund, O., Stock, J. K., Chapman, M. J., & Catapano, A. L. (2017). Low-density lipoproteins cause atherosclerotic cardiovascular disease. 1. Evidence from genetic, epidemiologic, and clinical studies. A consensus statement from the European Atherosclerosis Society Consensus Panel. *Eur Heart J*, 38(32), 2459-2472. doi:10.1093/eurheartj/ehx144
- Filippou, C. D., Tsioufis, C. P., Thomopoulos, C. G., Mihas, C. C., Dimitriadis, K. S., Sotiropoulou, L. I., Chrysochoou, C. A., Nihoyannopoulos, P. I., & Tousoulis, D. M. (2020). Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) Diet and Blood Pressure Reduction in Adults with and without Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Adv Nutr*, 11(5), 1150-1160. doi:10.1093/advances/nmaa041
- Föller, M., & Stangl, G. I. (2021). *Ernährung - Physiologische und Praktische Grundlagen* (G. I. S. Michael Föller Ed. 1 ed.): Springer Spektrum Berlin, Heidelberg.
- Ford, E. S., Li, C., Zhao, G., Pearson, W. S., & Mokdad, A. H. (2008). Prevalence of the metabolic syndrome among U.S. adolescents using the definition from the International Diabetes Federation. *Diabetes Care*, 31(3), 587-589. doi:10.2337/dc07-1030
- Fritsche, K. L. (2015). The science of fatty acids and inflammation. *Adv Nutr*, 6(3), 293s-301s. doi:10.3945/an.114.006940
- Gannon, M. C., & Nuttall, F. Q. (2004). Effect of a high-protein, low-carbohydrate diet on blood glucose control in people with type 2 diabetes. *Diabetes*, 53(9), 2375-2382. doi:10.2337/diabetes.53.9.2375
- Glick-Bauer, M., & Yeh, M. C. (2014). The health advantage of a vegan diet: exploring the gut microbiota connection. *Nutrients*, 6(11), 4822-4838. doi:10.3390/nu6114822
- González-Gallego, J., García-Mediavilla, M. V., Sánchez-Campos, S., & Tuñón, M. J. (2010). Fruit polyphenols, immunity and inflammation. *Br J Nutr*, 104 Suppl 3, S15-27. doi:10.1017/s0007114510003910

- Grooms, K. N., Ommerborn, M. J., Pham, D. Q., Djoussé, L., & Clark, C. R. (2013). Dietary Fiber Intake and Cardiometabolic Risks among US Adults, NHANES 1999-2010. *The American journal of medicine*, *126*(12), 1059-1067.e1054. doi:10.1016/j.amjmed.2013.07.023
- Guasch-Ferré, M., Babio, N., Martínez-González, M. A., Corella, D., Ros, E., Martín-Peláez, S., Estruch, R., Arós, F., Gómez-Gracia, E., Fiol, M., Santos-Lozano, J. M., Serra-Majem, L., Bulló, M., Toledo, E., Barragán, R., Fitó, M., Gea, A., & Salas-Salvadó, J. (2015). Dietary fat intake and risk of cardiovascular disease and all-cause mortality in a population at high risk of cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*, *102*(6), 1563-1573. doi:10.3945/ajcn.115.116046
- Gulati, S., Misra, A., & Pandey, R. M. (2017). Effects of 3 g of soluble fiber from oats on lipid levels of Asian Indians - a randomized controlled, parallel arm study. *Lipids in Health and Disease*, *16*(1), 71. doi:10.1186/s12944-017-0460-3
- Hajian-Tilaki, K., Heidari, B., Firouzjahi, A., Bagherzadeh, M., Hajian-Tilaki, A., & Halalkhor, S. (2014). Prevalence of metabolic syndrome and the association with socio-demographic characteristics and physical activity in urban population of Iranian adults: a population-based study. *Diabetes Metab Syndr*, *8*(3), 170-176. doi:10.1016/j.dsx.2014.04.012
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free Radicals in Biology and Medicine*: Oxford University Press.
- Hänninen, O., Kaartinen, K., Rauma, A. L., Nenonen, M., Törrönen, R., Häkkinen, A. S., Adlercreutz, H., & Laakso, J. (2000). Antioxidants in vegan diet and rheumatic disorders. *Toxicology*, *155*(1-3), 45-53. doi:10.1016/s0300-483x(00)00276-6
- He, F. J., Li, J., & MacGregor, G. A. (2013). Effect of longer term modest salt reduction on blood pressure: Cochrane systematic review and meta-analysis of randomised trials. *BMJ : British Medical Journal*, *346*, f1325. doi:10.1136/bmj.f1325
- He, F. J., & MacGregor, G. A. (2011). Salt reduction lowers cardiovascular risk: meta-analysis of outcome trials. *Lancet*, *378*(9789), 380-382. doi:10.1016/s0140-6736(11)61174-4
- Hemler, E. C., & Hu, F. B. (2019). Plant-Based Diets for Personal, Population, and Planetary Health. *Adv Nutr*, *10*(Suppl\_4), S275-s283. doi:10.1093/advances/nmy117
- Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C., Weiler, M., & Allgeier, C. (2020). Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*, *12*(12). doi:10.3390/nu12123704
- Higdon, J., & Drake, V. J. (2012). *An evidence-based approach to dietary phytochemicals*. Thieme.: Thieme.
- Hosseini, B., Berthon, B. S., Saedisomeolia, A., Starkey, M. R., Collison, A., Wark, P. A. B., & Wood, L. G. (2018). Effects of fruit and vegetable consumption on inflammatory biomarkers and immune cell populations: a systematic literature review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr*, *108*(1), 136-155. doi:10.1093/ajcn/nqy082
- Huang, L., Trieu, K., Yoshimura, S., Neal, B., Woodward, M., Campbell, N. R. C., Li, Q., Lackland, D. T., Leung, A. A., Anderson, C. A. M., MacGregor, G. A., & He, F. J. (2020). Effect of dose and duration of reduction in dietary sodium on blood pressure levels: systematic review and meta-analysis of randomised trials. *BMJ*, *368*, m315. doi:10.1136/bmj.m315
- Human Microbiome Project Consortium. (2012). Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature*, *486*(7402), 207-214. doi:10.1038/nature11234

- Hwang, D. H., Kim, J. A., & Lee, J. Y. (2016). Mechanisms for the activation of Toll-like receptor 2/4 by saturated fatty acids and inhibition by docosahexaenoic acid. *Eur J Pharmacol*, *785*, 24-35. doi:10.1016/j.ejphar.2016.04.024
- Isomaa, B., Almgren, P., Tuomi, T., Forsén, B., Lahti, K., Nissén, M., Taskinen, M. R., & Groop, L. (2001). Cardiovascular morbidity and mortality associated with the metabolic syndrome. *Diabetes Care*, *24*(4), 683-689. doi:10.2337/diacare.24.4.683
- Jakše, B., Jakše, B., Pinter, S., Jug, B., Godnov, U., Pajek, J., & Fidler Mis, N. (2020). Dietary Intakes and Cardiovascular Health of Healthy Adults in Short-, Medium-, and Long-Term Whole-Food Plant-Based Lifestyle Program. *Nutrients*, *12*(1). doi:10.3390/nu12010055
- Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Augustin, L. S., Mitchell, S., Sahye-Pudaruth, S., Blanco Mejia, S., Chiavaroli, L., Mirrahimi, A., Ireland, C., Bashyam, B., Vidgen, E., de Souza, R. J., Sievenpiper, J. L., Coveney, J., Leiter, L. A., & Josse, R. G. (2012). Effect of legumes as part of a low glycemic index diet on glycemic control and cardiovascular risk factors in type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial. *Arch Intern Med*, *172*(21), 1653-1660. doi:10.1001/2013.jamainternmed.70
- Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Nguyen, T. H., Marchie, A., Faulkner, D. A., Ireland, C., Josse, A. R., Vidgen, E., Trautwein, E. A., Lapsley, K. G., Holmes, C., Josse, R. G., Leiter, L. A., Connelly, P. W., & Singer, W. (2008). Effect of plant sterols in combination with other cholesterol-lowering foods. *Metabolism*, *57*(1), 130-139. doi:10.1016/j.metabol.2007.08.016
- Jenkins, D. J., Wong, J. M., Kendall, C. W., Esfahani, A., Ng, V. W., Leong, T. C., Faulkner, D. A., Vidgen, E., Greaves, K. A., Paul, G., & Singer, W. (2009). The effect of a plant-based low-carbohydrate ("Eco-Atkins") diet on body weight and blood lipid concentrations in hyperlipidemic subjects. *Arch Intern Med*, *169*(11), 1046-1054. doi:10.1001/archinternmed.2009.115
- Kahleova, H., Hlozkova, A., Fleeman, R., Fletcher, K., Holubkov, R., & Barnard, N. D. (2019). Fat Quantity and Quality, as Part of a Low-Fat, Vegan Diet, Are Associated with Changes in Body Composition, Insulin Resistance, and Insulin Secretion. A 16-Week Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, *11*(3). doi:10.3390/nu11030615
- Kahleova, H., Petersen, K. F., Shulman, G. I., Alwarith, J., Rembert, E., Tura, A., Hill, M., Holubkov, R., & Barnard, N. D. (2020). Effect of a Low-Fat Vegan Diet on Body Weight, Insulin Sensitivity, Postprandial Metabolism, and Intramyocellular and Hepatocellular Lipid Levels in Overweight Adults: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Netw Open*, *3*(11), e2025454. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.25454
- Kelly, T. N., Bazzano, L. A., Ajami, N. J., He, H., Zhao, J., Petrosino, J. F., Correa, A., & He, J. (2016). Gut Microbiome Associates With Lifetime Cardiovascular Disease Risk Profile Among Bogalusa Heart Study Participants. *Circ Res*, *119*(8), 956-964. doi:10.1161/circresaha.116.309219
- Key, T. J., Appleby, P. N., & Rosell, M. S. (2006). Health effects of vegetarian and vegan diets. *Proc Nutr Soc*, *65*(1), 35-41. doi:10.1079/pns2005481
- Khan, S. S., Ning, H., Wilkins, J. T., Allen, N., Carnethon, M., Berry, J. D., Sweis, R. N., & Lloyd-Jones, D. M. (2018). Association of Body Mass Index With Lifetime Risk of Cardiovascular Disease and Compression of Morbidity. *JAMA Cardiol*, *3*(4), 280-287. doi:10.1001/jamacardio.2018.0022
- Kim, Y., Keogh, J. B., & Clifton, P. M. (2017). Benefits of Nut Consumption on Insulin Resistance and Cardiovascular Risk Factors: Multiple Potential Mechanisms of Actions. *Nutrients*, *9*(11). doi:10.3390/nu9111271



- Kotchen, T. A. (2005). Contributions of sodium and chloride to NaCl-induced hypertension. *Hypertension*, 45(5), 849-850. doi:10.1161/01.Hyp.0000164629.94634.27
- Lakka, H. M., Laaksonen, D. E., Lakka, T. A., Niskanen, L. K., Kumpusalo, E., Tuomilehto, J., & Salonen, J. T. (2002). The metabolic syndrome and total and cardiovascular disease mortality in middle-aged men. *Jama*, 288(21), 2709-2716. doi:10.1001/jama.288.21.2709
- Lally, P., van Jaarsveld, C. H. M., Potts, H. W. W., & Wardle, J. (2010). How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *European Journal of Social Psychology*, 40(6), 998-1009. doi:10.1002/ejsp.674
- Laurberg, P. (2014). Iodine. In *Modern Nutrition in Health and Disease* (11th ed., pp. 217-224.): Lippincott Williams & Wilkins.
- Lemale, J., Mas, E., Jung, C., Bellaiche, M., & Tounian, P. (2019). Vegan diet in children and adolescents. Recommendations from the French-speaking Pediatric Hepatology, Gastroenterology and Nutrition Group (GFHGNP). *Arch Pediatr*, 26(7), 442-450. doi:10.1016/j.arcped.2019.09.001
- Lepretti, M., Martucciello, S., Burgos-Aceves, M. A., Putti, R., & Lionetti, L. (2018). Omega-3 Fatty Acids and Insulin Resistance: Focus on the Regulation of Mitochondria and Endoplasmic Reticulum Stress. *Nutrients*, 10(3). doi:10.3390/nu10030350
- Li, J., Zhao, F., Wang, Y., Chen, J., Tao, J., Tian, G., Wu, S., Liu, W., Cui, Q., Geng, B., Zhang, W., Weldon, R., Auguste, K., Yang, L., Liu, X., Chen, L., Yang, X., Zhu, B., & Cai, J. (2017). Gut microbiota dysbiosis contributes to the development of hypertension. *Microbiome*, 5(1), 14. doi:10.1186/s40168-016-0222-x
- Li, L., Lietz, G., Bal, W., Watson, A., Morfey, B., & Seal, C. (2018). Effects of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Consumption on Markers of CVD Risk. *Nutrients*, 10(6), 777.
- Manach, C., Mazur, A., & Scalbert, A. (2005). Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases. *Curr Opin Lipidol*, 16(1), 77-84. doi:10.1097/00041433-200502000-00013
- Mancini, F. R., Dow, C., Affret, A., Rajaobelina, K., Dartois, L., Balkau, B., Bonnet, F., Boutron-Ruault, M. C., & Fagherazzi, G. (2018). Micronutrient dietary patterns associated with type 2 diabetes mellitus among women of the E3N-EPIC (Etude Epidémiologique auprès de femmes de l'Education Nationale) cohort study. *J Diabetes*, 10(8), 665-674. doi:10.1111/1753-0407.12654
- Marklund, M., Wu, J. H. Y., Imamura, F., Del Gobbo, L. C., Fretts, A., de Goede, J., Shi, P., Tintle, N., Wennberg, M., Aslibekyan, S., Chen, T. A., de Oliveira Otto, M. C., Hirakawa, Y., Eriksen, H. H., Kröger, J., Laguzzi, F., Lankinen, M., Murphy, R. A., Prem, K., Samieri, C., Virtanen, J., Wood, A. C., Wong, K., Yang, W. S., Zhou, X., Baylin, A., Boer, J. M. A., Brouwer, I. A., Campos, H., Chaves, P. H. M., Chien, K. L., de Faire, U., Djoussé, L., Eiriksdottir, G., El-Abbadi, N., Forouhi, N. G., Michael Gaziano, J., Geleijnse, J. M., Gigante, B., Giles, G., Guallar, E., Gudnason, V., Harris, T., Harris, W. S., Helmer, C., Hellenius, M. L., Hodge, A., Hu, F. B., Jacques, P. F., Jansson, J. H., Kalsbeek, A., Khaw, K. T., Koh, W. P., Laakso, M., Leander, K., Lin, H. J., Lind, L., Luben, R., Luo, J., McKnight, B., Mursu, J., Ninomiya, T., Overvad, K., Psaty, B. M., Rimm, E., Schulze, M. B., Siscovick, D., Skjelbo Nielsen, M., Smith, A. V., Steffen, B. T., Steffen, L., Sun, Q., Sundström, J., Tsai, M. Y., Tunstall-Pedoe, H., Uusitupa, M. I. J., van Dam, R. M., Veenstra, J., Monique Verschuren, W. M., Wareham, N., Willett, W., Woodward, M., Yuan, J. M., Micha, R., Lemaitre, R. N., Mozaffarian, D., & Risérus, U. (2019). Biomarkers

- of Dietary Omega-6 Fatty Acids and Incident Cardiovascular Disease and Mortality. *Circulation*, 139(21), 2422-2436. doi:10.1161/circulationaha.118.038908
- Marsh, K. A., Munn, E. A., & Baines, S. K. (2013). Protein and vegetarian diets. *Med J Aust*, 199(S4), S7-s10. doi:10.5694/mja11.11492
- Maury, E., & Brichard, S. M. (2010). Adipokine dysregulation, adipose tissue inflammation and metabolic syndrome. *Mol Cell Endocrinol*, 314(1), 1-16. doi:10.1016/j.mce.2009.07.031
- Melina, V., Craig, W., & Levin, S. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J Acad Nutr Diet*, 116(12), 1970-1980. doi:10.1016/j.jand.2016.09.025
- Mensink, R. P., & Katan, M. B. (1992). Effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins. A meta-analysis of 27 trials. *Arterioscler Thromb*, 12(8), 911-919. doi:10.1161/01.atv.12.8.911
- Miller, J. W., & Rucker, R. B. (2012). Pantothenic acid. In *Present Knowledge in Nutrition. 10th* (pp. 375-390): Wiley-Blackwell.
- Moebus, S., Hanisch, J., Bramlage, P., Lösch, C., Hauner, H., Wasem, J., & Jöckel, K. H. (2008). Regional unterschiedliche Praevalenz des metabolischen Syndroms. *Dtsch Arztebl International*, 105(12), 207-213. Retrieved from <https://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=59407>
- Moebus, S., Hanisch, J. U., Neuhäuser, M., Aidelsburger, P., Wasem, J., & Jöckel, K. H. (2006). Assessing the prevalence of the Metabolic Syndrome according to NCEP ATP III in Germany: feasibility and quality aspects of a two step approach in 1550 randomly selected primary health care practices. *Ger Med Sci*, 4, Doc07.
- Mozaffarian, D., Micha, R., & Wallace, S. (2010). Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS Med*, 7(3), e1000252. doi:10.1371/journal.pmed.1000252
- Neuhauser, H., & Ellert, U. (2005). Prävalenz des metabolischen Syndroms in Deutschland: eine Sensitivitäts-analyse. Retrieved from [www.egms.de/static/en/meetings/gmds2005/05gmds183.shtml](http://www.egms.de/static/en/meetings/gmds2005/05gmds183.shtml)
- Nielsen, F. H. (1999). Ultratrace minerals. . In O. J. In: Shils M, Shike M, Ross AC, eds. (Ed.), *Modern Nutrition in Health and Disease*. (9th ed. ed., pp. 283-303.): Williams & Wilkins.
- Noce, A., Marrone, G., Di Daniele, F., Ottaviani, E., Wilson Jones, G., Bernini, R., Romani, A., & Rovella, V. (2019). Impact of Gut Microbiota Composition on Onset and Progression of Chronic Non-Communicable Diseases. *Nutrients*, 11(5). doi:10.3390/nu11051073
- O'Neill, L. A. (2006). Targeting signal transduction as a strategy to treat inflammatory diseases. *Nat Rev Drug Discov*, 5(7), 549-563. doi:10.1038/nrd2070
- Orlich, M. J., Singh, P. N., Sabaté, J., Jaceldo-Siegl, K., Fan, J., Knutsen, S., Beeson, W. L., & Fraser, G. E. (2013). Vegetarian dietary patterns and mortality in Adventist Health Study 2. *JAMA Intern Med*, 173(13), 1230-1238. doi:10.1001/jamainternmed.2013.6473.
- Ornish, D., Brown, S. E., Scherwitz, L. W., Billings, J. H., Armstrong, W. T., Ports, T. A., McLanahan, S. M., Kirkeeide, R. L., Brand, R. J., & Gould, K. L. (1990). Can lifestyle changes reverse coronary heart disease? The Lifestyle Heart Trial. *Lancet*, 336(8708), 129-133. doi:10.1016/0140-6736(90)91656-u
- Pan, W. H., Yeh, W. T., & Weng, L. C. (2008). Epidemiology of metabolic syndrome in Asia. *Asia Pac J Clin Nutr*, 17 Suppl 1, 37-42.

- Paniagua, J. A., de la Sacristana, A. G., Sánchez, E., Romero, I., Vidal-Puig, A., Berral, F. J., Escribano, A., Moyano, M. J., Pérez-Martínez, P., López-Miranda, J., & Pérez-Jiménez, F. (2007). A MUFA-rich diet improves postprandial glucose, lipid and GLP-1 responses in insulin-resistant subjects. *J Am Coll Nutr*, 26(5), 434-444. doi:10.1080/07315724.2007.10719633
- Paulweber, B., Valensi, P., Lindström, J., Lalic, N. M., Greaves, C. J., McKee, M., Kissimova-Skarbek, K., Liatis, S., Cosson, E., Szendroedi, J., Sheppard, K. E., Charlesworth, K., Felton, A. M., Hall, M., Rissanen, A., Tuomilehto, J., Schwarz, P. E., Roden, M., Paulweber, M., Stadlmayr, A., Kedenko, L., Katsilambros, N., Makrilakis, K., Kamenov, Z., Evans, P., Gilis-Januszewska, A., Lalic, K., Jotic, A., Djordevic, P., Dimitrijevic-Sreckovic, V., Hühmer, U., Kulzer, B., Puhl, S., Lee-Barkey, Y. H., Alkerwi, A., Abraham, C., Hardeman, W., Acosta, T., Adler, M., Alkerwi, A., Barengo, N., Barengo, R., Boavida, J. M., Charlesworth, K., Christov, V., Claussen, B., Cos, X., Cosson, E., Deceukelier, S., Dimitrijevic-Sreckovic, V., Djordjevic, P., Evans, P., Felton, A. M., Fischer, M., Gabriel-Sanchez, R., Gilis-Januszewska, A., Goldfracht, M., Gomez, J. L., Greaves, C. J., Hall, M., Handke, U., Hauner, H., Herbst, J., Hermanns, N., Herreburch, L., Huber, C., Hühmer, U., Huttunen, J., Jotic, A., Kamenov, Z., Karadeniz, S., Katsilambros, N., Khalangot, M., Kissimova-Skarbek, K., Köhler, D., Kopp, V., Kronsbein, P., Kulzer, B., Kyne-Grzebalski, D., Lalic, K., Lalic, N., Landgraf, R., Lee-Barkey, Y. H., Liatis, S., Lindström, J., Makrilakis, K., McIntosh, C., McKee, M., Mesquita, A. C., Misina, D., Muylle, F., Neumann, A., Paiva, A. C., Pajunen, P., Paulweber, B., Peltonen, M., Perrenoud, L., Pfeiffer, A., Pölonen, A., Puhl, S., Raposo, F., Reinehr, T., Rissanen, A., Robinson, C., Roden, M., Rothe, U., Saaristo, T., Scholl, J., Schwarz, P. E., Sheppard, K. E., Spiers, S., Stemper, T., Stratmann, B., Szendroedi, J., Szybinski, Z., Tankova, T., Telle-Hjellset, V., Terry, G., Tolks, D., Toti, F., Tuomilehto, J., Undeutsch, A., Valadas, C., Valensi, P., Velickiene, D., Vermunt, P., Weiss, R., Wens, J., & Yilmaz, T. (2010). A European evidence-based guideline for the prevention of type 2 diabetes. *Horm Metab Res*, 42 Suppl 1, S3-36. doi:10.1055/s-0029-1240928
- Pawlak, R., Lester, S. E., & Babatunde, T. (2014). The prevalence of cobalamin deficiency among vegetarians assessed by serum vitamin B12: a review of literature. *Eur J Clin Nutr*, 68(5), 541-548. doi:10.1038/ejcn.2014.46
- Perraud, E., Wang, J., Salomé, M., Huneau, J. F., Lapidus, N., & Mariotti, F. (2022). Plant and Animal Protein Intakes Largely Explain the Nutritional Quality and Health Value of Diets Higher in Plants: A Path Analysis in French Adults. *Front Nutr*, 9, 924526. doi:10.3389/fnut.2022.924526
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2013). Beneficial effects of polyphenols on cardiovascular disease. *Pharmacol Res*, 68(1), 125-131. doi:10.1016/j.phrs.2012.10.018
- Ranasinghe, P., Mathangasinghe, Y., Jayawardena, R., Hills, A. P., & Misra, A. (2017). Prevalence and trends of metabolic syndrome among adults in the asia-pacific region: a systematic review. *BMC Public Health*, 17(1), 101. doi:10.1186/s12889-017-4041-1
- Richter, M., Boeing, H., Grünewald-Funk, D., Heseker, H., Kroke, A., Leschik-Bonnet, E., Oberritter, H., Strohm, D., & Watzl, B. (2016). Vegan diet. Position of the German Nutrition Society (DGE). *Ernahrungs Umschau* 63(04): 92– 102.
- Rizzo, G., Laganà, A. S., Rapisarda, A. M., La Ferrera, G. M., Buscema, M., Rossetti, P., Nigro, A., Muscia, V., Valenti, G., Sapia, F., Sarpietro, G., Zigarelli, M., & Vitale, S.

- G. (2016). Vitamin B12 among Vegetarians: Status, Assessment and Supplementation. *Nutrients*, 8(12). doi:10.3390/nu8120767
- Rolls, B. J. (2009). The relationship between dietary energy density and energy intake. *Physiol Behav*, 97(5), 609-615. doi:10.1016/j.physbeh.2009.03.011
- Rouhani, M. H., Rashidi-Pourfard, N., Salehi-Abargouei, A., Karimi, M., & Haghghatdoost, F. (2018). Effects of Egg Consumption on Blood Lipids: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *J Am Coll Nutr*, 37(2), 99-110. doi:10.1080/07315724.2017.1366878
- Rumberger, J. A., Napolitano, J., Azumano, I., Kamiya, T., & Evans, M. (2011). Pantethine, a derivative of vitamin B(5) used as a nutritional supplement, favorably alters low-density lipoprotein cholesterol metabolism in low- to moderate-cardiovascular risk North American subjects: a triple-blinded placebo and diet-controlled investigation. *Nutr Res*, 31(8), 608-615. doi:10.1016/j.nutres.2011.08.001
- Russo, G. L. (2009). Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical Pharmacology*, 77(6), 937-946. doi:10.1016/j.bcp.2008.10.020
- Salas-Salvadó, J., Bulló, M., Babio, N., Martínez-González, M., Ibarrola-Jurado, N., Basora, J., Estruch, R., Covas, M. I., Corella, D., Arós, F., Ruiz-Gutiérrez, V., & Ros, E. (2011). Reduction in the incidence of type 2 diabetes with the Mediterranean diet: results of the PREDIMED-Reus nutrition intervention randomized trial. *Diabetes Care*, 34(1), 14-19. doi:10.2337/dc10-1288
- Sánchez-Muniz, F. J. (2012). Dietary fibre and cardiovascular health. *Nutr Hosp*, 27(1), 31-45. doi:10.1590/s0212-16112012000100005
- Sánchez-Rosales, A. I., Guadarrama-López, A. L., Gaona-Valle, L. S., Martínez-Carrillo, B. E., & Valdés-Ramos, R. (2022). The Effect of Dietary Patterns on Inflammatory Biomarkers in Adults with Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*, 14(21), 4577. doi:10.3390/nu14214577
- Satija, A., Bhupathiraju, S. N., Spiegelman, D., Chiuve, S. E., Manson, J. E., Willett, W., Rexrode, K. M., Rimm, E. B., & Hu, F. B. (2017). Healthful and Unhealthful Plant-Based Diets and the Risk of Coronary Heart Disease in U.S. Adults. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(4), 411-422. doi:10.1016/j.jacc.2017.05.047
- Satija, A., & Hu, F. B. (2018). Plant-based diets and cardiovascular health. *Trends Cardiovasc Med*, 28(7), 437-441. doi:10.1016/j.tcm.2018.02.004
- Schwingshackl, L., & Hoffmann, G. (2012). Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease: synopsis of the evidence available from systematic reviews and meta-analyses. *Nutrients*, 4(12), 1989-2007. doi:10.3390/nu4121989
- Schwingshackl, L., Strasser, B., & Hoffmann, G. (2011). Effects of monounsaturated fatty acids on glycaemic control in patients with abnormal glucose metabolism: a systematic review and meta-analysis. *Ann Nutr Metab*, 58(4), 290-296. doi:10.1159/000331214
- Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed Pharmacother*, 56(8), 365-379. doi:10.1016/s0753-3322(02)00253-6
- Simopoulos, A. P. (2016). An Increase in the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio Increases the Risk for Obesity. *Nutrients*, 8(3), 128. doi:10.3390/nu8030128
- Siri-Tarino, P. W., Sun, Q., Hu, F. B., & Krauss, R. M. (2010). Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*, 91(3), 535-546. doi:10.3945/ajcn.2009.27725

- Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, *5*(4), 1417-1435. doi:10.3390/nu5041417
- Storz, M. A. (2022). What makes a plant-based diet? a review of current concepts and proposal for a standardized plant-based dietary intervention checklist. *European Journal of Clinical Nutrition*, *76*(6), 789-800. doi:10.1038/s41430-021-01023-z
- Streppel, M. T., Arends, L. R., van 't Veer, P., Grobbee, D. E., & Geleijnse, J. M. (2005). Dietary fiber and blood pressure: a meta-analysis of randomized placebo-controlled trials. *Arch Intern Med*, *165*(2), 150-156. doi:10.1001/archinte.165.2.150
- Tangney, C. C., & Rasmussen, H. E. (2013). Polyphenols, inflammation, and cardiovascular disease. *Curr Atheroscler Rep*, *15*(5), 324. doi:10.1007/s11883-013-0324-x
- Thumann, T. A., Pferschy-Wenzig, E. M., Moissl-Eichinger, C., & Bauer, R. (2019). The role of gut microbiota for the activity of medicinal plants traditionally used in the European Union for gastrointestinal disorders. *Journal of Ethnopharmacology*, *245*, 112153. doi:10.1016/j.jep.2019.112153
- Tighe, P., Duthie, G., Vaughan, N., Brittenden, J., Simpson, W. G., Duthie, S., Mutch, W., Wahle, K., Horgan, G., & Thies, F. (2010). Effect of increased consumption of whole-grain foods on blood pressure and other cardiovascular risk markers in healthy middle-aged persons: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*, *92*(4), 733-740. doi:10.3945/ajcn.2010.29417
- Trapp, C. B., & Barnard, N. D. (2010). Usefulness of vegetarian and vegan diets for treating type 2 diabetes. *Curr Diab Rep*, *10*(2), 152-158. doi:10.1007/s11892-010-0093-7
- Tuso, P. J., Ismail, M. H., Ha, B. P., & Bartolotto, C. (2013). Nutritional update for physicians: plant-based diets. *Perm J*, *17*(2), 61-66. doi:10.7812/tpp/12-085
- Vergeer, L., Vanderlee, L., White, C. M., Rynard, V. L., & Hammond, D. (2020). Vegetarianism and other eating practices among youth and young adults in major Canadian cities. *Public Health Nutr*, *23*(4), 609-619. doi:10.1017/s136898001900288x
- Virani, S. S., Alonso, A., Benjamin, E. J., Bittencourt, M. S., Callaway, C. W., Carson, A. P., Chamberlain, A. M., Chang, A. R., Cheng, S., Delling, F. N., Djousse, L., Elkind, M. S. V., Ferguson, J. F., Fornage, M., Khan, S. S., Kissela, B. M., Knutson, K. L., Kwan, T. W., Lackland, D. T., Lewis, T. T., Lichtman, J. H., Longenecker, C. T., Loop, M. S., Lutsey, P. L., Martin, S. S., Matsushita, K., Moran, A. E., Mussolino, M. E., Perak, A. M., Rosamond, W. D., Roth, G. A., Sampson, U. K. A., Satou, G. M., Schroeder, E. B., Shah, S. H., Shay, C. M., Spartano, N. L., Stokes, A., Tirschwell, D. L., VanWagner, L. B., & Tsao, C. W. (2020). Heart Disease and Stroke Statistics-2020 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*, *141*(9), e139-e596. doi:10.1161/cir.0000000000000757
- Wang, Y., Harding, S. V., Thandapilly, S. J., Tosh, S. M., Jones, P. J. H., & Ames, N. P. (2017). Barley  $\beta$ -glucan reduces blood cholesterol levels via interrupting bile acid metabolism. *Br J Nutr*, *118*(10), 822-829. doi:10.1017/s0007114517002835
- World Health Organization, W. (2011). Global status report on noncommunicable diseases 2010 [Press release]. Retrieved from [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44579/9789240686458\\_eng.pdf;jsessionid=2BF6ED5EB39671F247417F879BF44E85?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44579/9789240686458_eng.pdf;jsessionid=2BF6ED5EB39671F247417F879BF44E85?sequence=1)
- Wu, J. H., Qiu, M., Sun, L., Wen, J., Liang, D., Zheng, S., & Huang, Y. (2022).  $\alpha$ -Linolenic Acid and Risk of Heart Failure: A Meta-Analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, *8*. doi:10.3389/fcvm.2021.788452

- Xia, Y., Gu, Y., Yu, F., Zhang, Q., Liu, L., Meng, G., Wu, H., Du, H., Shi, H., Guo, X., Liu, X., Li, C., Han, P., Dong, R., Wang, X., Bao, X., Su, Q., Fang, L., Liu, F., Yang, H., Kang, L., Ma, Y., Yu, B., Sun, S., Wang, X., Zhou, M., Jia, Q., Guo, Q., Wu, Y., Song, K., Huang, G., Wang, G., & Niu, K. (2016). Association between dietary patterns and metabolic syndrome in Chinese adults: a propensity score-matched case-control study. *Scientific Reports*, *6*(1), 34748. doi:10.1038/srep34748
- Yajnik, C. S., Deshpande, S. S., Lubree, H. G., Naik, S. S., Bhat, D. S., Uradey, B. S., Deshpande, J. A., Rege, S. S., Refsum, H., & Yudkin, J. S. (2006). Vitamin B12 deficiency and hyperhomocysteinemia in rural and urban Indians. *J Assoc Physicians India*, *54*, 775-782.
- Yokoyama, Y., Nishimura, K., Barnard, N. D., Takegami, M., Watanabe, M., Sekikawa, A., Okamura, T., & Miyamoto, Y. (2014). Vegetarian diets and blood pressure: a meta-analysis. *JAMA Intern Med*, *174*(4), 577-587. doi:10.1001/jamainternmed.2013.14547
- Zhao, H., Song, A., Zheng, C., Wang, M., & Song, G. (2020). Effects of plant protein and animal protein on lipid profile, body weight and body mass index on patients with hypercholesterolemia: a systematic review and meta-analysis. *Acta Diabetol*, *57*(10), 1169-1180. doi:10.1007/s00592-020-01534-4
- Zhou, L., Stamler, J., Chan, Q., Van Horn, L., Daviglius, M. L., Dyer, A. R., Miura, K., Okuda, N., Wu, Y., Ueshima, H., Elliott, P., & Zhao, L. (2019). Salt intake and prevalence of overweight/obesity in Japan, China, the United Kingdom, and the United States: the INTERMAP Study. *Am J Clin Nutr*, *110*(1), 34-40. doi:10.1093/ajcn/nqz067
- Zmijewski, M. A. (2019). Vitamin D and Human Health. *Int J Mol Sci*, *20*(1). doi:10.3390/ijms20010145
- Zong, G., Liu, G., Willett, W. C., Wanders, A. J., Alssema, M., Zock, P. L., Hu, F. B., & Sun, Q. (2019). Associations Between Linoleic Acid Intake and Incident Type 2 Diabetes Among U.S. Men and Women. *Diabetes Care*, *42*(8), 1406-1413. doi:10.2337/dc19-0412

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Justina Dressler, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Nährstoffaufnahme und Vorteile pflanzenbasierter Ernährung für die kardiovaskuläre Gesundheit bei Patienten mit metabolischem Syndrom (CardioVeg-Studie) / Nutrient intake and potential benefits of a plant-based diet for cardiovascular health in patients with metabolic syndrome (CardioVeg study)“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

22.08.2023

Datum

Unterschrift

## Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen

Justina Dressler hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Dressler, J.; Storz, M.A.; Müller, C.; Kandil, F.I.; Kessler, C.S.; Michalsen, A.; Jeitler, M. Does a Plant-Based Diet Stand Out for Its Favorable Composition for Heart Health? Dietary Intake Data from a Randomized Controlled Trial. *Nutrients* **2022**, *14*, 4597. <https://doi.org/10.3390/nu14214597>

Beitrag im Einzelnen:

### Sammlung der Daten und Datenaufbereitung

- Ich war verantwortlich für die Sammlung der Daten, einschließlich der 3-Tage-Wiege-Protokolle. Ich habe die Daten sorgfältig überprüft, bereinigt und für die weitere Analyse vorbereitet.
- Ich habe die Software Nutriguide 4.7 Plus verwendet, um eine detaillierte Analyse der Nährstoffaufnahme basierend auf den 3-Tage-Wiege-Protokollen durchzuführen. Dies umfasste die Digitalisierung der Ernährungsprotokolle, Berechnung der Nährwerte für jede Mahlzeit und den Gesamtverzehr der Teilnehmer.
- Basierend auf den D-A-CH Referenzwerten und den Studiendaten habe ich eine umfassende Datenbank erstellt. Diese ermöglichte es, die Nährstoffaufnahme der Teilnehmer mit den empfohlenen Referenzwerten zu vergleichen und potenzielle Mängel oder Überschüsse zu identifizieren.
- Absprache mit dem Statistiker des Instituts habe ich die geeigneten statistischen Methoden ausgewählt, um die Daten zu analysieren. Ich führte statistische Tests und Analysen durch, um signifikante Unterschiede und Zusammenhänge zu identifizieren. Die Ergebnisse wurden sorgfältig validiert, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der statistischen Ergebnisse zu gewährleisten.
- Auswahl und Umsetzung der Datenvisualisierung: Ich habe alle Tabellen und Grafiken erstellt, um die Ergebnisse der Analyse klar und anschaulich darzustellen. Dies ermöglichte eine einfache Interpretation der Daten und half dabei, komplexe Zusammenhänge zu verstehen.
  - Alle Abbildungen (**Abb. 1 und Abb. 2**) der Publikation wurden von mir erstellt
  - Die Charakteristika der Studienpopulation in **Tabelle 2** und die Nährstoffdaten in **Tabelle 3** wurden von mir generiert
  - Auch die Tabellen in den „Supplementary Materials“ der Publikation (**Tabelle S1 und S2**) wurden von mir erstellt

### Veröffentlichung der Daten:

- Ich habe das Manuskript verfasst. Dies beinhaltete die Zusammenstellung der Forschungsergebnisse, Erstellung relevanter Abbildungen, die Auswahl einschlägiger Literatur zur Unterstützung der Ergebnisse und die sorgfältige Formulierung der Ergebnisse und Diskussion. Das Manuskript wurde schließlich im Fachblatt *Nutrients* eingereicht.
- Nach der Einreichung erhielten wir Rückmeldungen von den Reviewern des Fachblatts. Ich habe die erhaltenen Kommentare sorgfältig analysiert und das Manuskript entsprechend überarbeitet, um den Anforderungen und Empfehlungen der Reviewer gerecht zu werden.

Insgesamt habe ich einen aktiven Beitrag zur Datenanalyse, Interpretation und Berichterstattung geleistet, um schließlich die Forschungsergebnisse in einer wissenschaftlichen Publikation zu präsentieren.

---

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin



# Druckexemplar der Publikation



nutrients



Article

## Does a Plant-Based Diet Stand Out for Its Favorable Composition for Heart Health? Dietary Intake Data from a Randomized Controlled Trial

Justina Dressler <sup>1,\*</sup>, Maximilian Andreas Storz <sup>2</sup>, Carolin Müller <sup>1</sup>, Farid I. Kandil <sup>1</sup>, Christian S. Kessler <sup>1,3</sup>, Andreas Michalsen <sup>1,3</sup> and Michael Jeitler <sup>1,3</sup>

- <sup>1</sup> Institute of Social Medicine, Epidemiology and Health Economics, Charité–Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin and Humboldt-Universität zu Berlin, 10117 Berlin, Germany  
<sup>2</sup> Department of Internal Medicine II, Center for Complementary Medicine, Freiburg University Hospital, Faculty of Medicine, University of Freiburg, 79106 Freiburg, Germany  
<sup>3</sup> Department of Internal and Integrative Medicine, Immanuel Hospital Berlin, 14109 Berlin, Germany  
 \* Correspondence: justina.dressler@charite.de; Tel.: +49-30-80505691

**Abstract:** A plant-based diet (PBD) can provide numerous health benefits for patients with cardiovascular risk factors. However, an inadequately planned PBD also bear the potential for deficiencies in certain macro- and micronutrients. The present study analyzed nutrient profiles of individuals who adopted a PBD as part of the CardioVeg study. Participants with cardiovascular risk factors were randomly assigned to either a whole-food PBD intervention ( $n = 36$ ; eight 90 min group meetings including two 120 min cooking sessions) or a control group asked to maintain an omnivorous diet ( $n = 34$ ) for eight weeks. Food intake data were collected using three-day weighed food records and analyzed with NutriGuide software, including the German Nutrient Data Base (German: Bundeslebensmittelschlüssel). Nutrient intake was compared before and after eight weeks as well as between the groups. The results for both groups were then contrasted to the current dietary recommendations published by the societies for nutrition in Germany, Austria, and Switzerland. Moreover, anthropometric/laboratory data and ambulatory blood pressure monitoring were determined at baseline and after 8 weeks. Data of a subsample ( $n = 18$  in the PBD group and  $n = 19$  in the control group) were used for the present analyses of the dietary intake data. A PBD yielded several benefits including (but not limited to) a lower energy density, a lower intake of cholesterol and saturated fat, an increased consumption of fiber, and a lower intake of salt. Recommended intakes of most vitamins and minerals were generally met, except for vitamin B12 in the PBD group. A low intake of several other critical nutrients (vitamin D, iodine) was observed in both groups. Compared with the control group, PBD resulted in a significant decrease in body weight, body mass index, waist circumference, HbA1c, and fasting blood glucose after 8 weeks. Overall, it can be concluded that a PBD had a more favorable nutrient composition for cardiovascular health than the omnivorous dietary pattern of the control group.

**Keywords:** plant-based diet; nutrient supply; cardiovascular risk; dietary intake; vegan; vegetarian; micronutrients; macronutrients



**Citation:** Dressler, J.; Storz, M.A.; Müller, C.; Kandil, F.I.; Kessler, C.S.; Michalsen, A.; Jeitler, M. Does a Plant-Based Diet Stand Out for Its Favorable Composition for Heart Health? Dietary Intake Data from a Randomized Controlled Trial. *Nutrients* **2022**, *14*, 4597. <https://doi.org/10.3390/nu14214597>

Academic Editors: Anna Bach-Faig, Angeliki Papadaki and Rosa Casas

Received: 28 September 2022

Accepted: 27 October 2022

Published: 1 November 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 1. Introduction

Plant-based diets (PBD) are becoming increasingly popular for their many health benefits, both in the prevention and treatment of disease. PBD have been shown to convey protective effects against obesity, diabetes, and other metabolic disorders [1–3]. In addition, there is mounting evidence that a plant-based diet is beneficial for heart health [4–9].

PBDs maximize the consumption of nutrient-dense plant foods while minimizing (or eliminating) processed foods, oils, and animal products [10,11]. Thus, PBD are abundant in vegetables, fruits, legumes, and other unprocessed plant products. Systematic reviews

and meta-analyses have demonstrated that the intake of fruits and vegetables [12–16], legumes [17], dietary fiber [18], nuts [19], and unsaturated fatty acids [20] provide multiple health benefits and are associated with a reduced frequency of cardiovascular events. The consumption of animal products (including red and processed meats) on the other hand is associated with an increased cardiovascular risk [21].

Results from the Adventist cohort study showed that people who eat a PBD reduced their risk of developing hypertension by almost 75% [22]. Vegetarian diets were also associated with significantly lower medical care expenditure in patients with cardiovascular disease and were suggested as an effective strategy to alleviate the medical-economic burden in selected populations [23].

Although PBD may offer numerous health benefits, it is often claimed that inadequately planned and non-diversified PBDs bear the potential of macro- and micronutrient deficiencies [24,25]. According to the Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE, German Nutrition Society), it is “difficult or impossible to achieve an adequate supply of some nutrients with a purely plant-based diet” [26]. Vitamin B12, among others, is the most critical nutrient [26]. Further potentially critical nutrients are protein, long-chain n-3 fatty acids, as well as other vitamins (riboflavin, vitamin D) and minerals (calcium, iron, iodine, zinc, and selenium) [26].

We conducted a randomized controlled trial (the “CardioVeg” study) to investigate the effects of a PBD on cardiovascular risk factors. The aim of this dietary intake data analysis was to evaluate the macro- and micronutrient intake before and after an eight-week PBD intervention in patients with cardiometabolic risk factors. The results were contrasted with the current dietary recommendations published by the Societies for Nutrition in Germany (DGE), Austria (Österreichische Gesellschaft für Ernährung, ÖGE) and Switzerland (Schweizerische Gesellschaft für Ernährung, SGE)—the so-called D-A-CH (D—Deutschland, Germany), A—Austria, CH—Confoederatio Helvetica, Switzerland) recommendations [27]. We hypothesized that a properly composed PBD diet could meet all D-A-CH recommendations for macro- and micronutrient (except for vitamin B12) and may even excel with a beneficial dietary composition for cardiovascular health.

## 2. Materials and Methods

The CardioVeg study was a randomized controlled trial that examined the effects of PBD on health outcomes in relation to cardiovascular risk factors. Participants with an increased cardiometabolic risk (see Table 1) were randomized to follow a PBD (plant-based group, PBG) or to continue an omnivorous diet (waiting list control group, CG).

The CardioVeg study had been approved by the ethics committee of the Charité-Universitätsmedizin Berlin (approval number: EA4/025/19). Written, informed consent was obtained from all participants. The study was registered at ClinicalTrials.gov (NCT03901183) prior to patient recruitment. The present analysis is limited to a subsample of participants in the CardioVeg study. Only individuals that submitted a complete and plausible dietary protocol were considered. Further clinical parameters will be reported elsewhere. The allocation was based on a computer-generated randomization protocol and was supervised by a certified biostatistician. Due to an obvious lifestyle intervention, the assignment could not be blinded for participants.

### 2.1. Dietary Intervention

Participants in the PBG were asked to follow an ad libitum whole-food PBD, consisting of vegetables, grains, legumes, and fruits. We instructed participants to avoid animal products to the greatest extent possible [11,28]. The term PBD is frequently used as an umbrella term comprising various dietary patterns: veganism (complete avoidance of animal products), pescetarianism (including seafood), ovo-vegetarianism (including eggs), lacto-vegetarianism (including dairy products), ovo-lacto-vegetarianism (including eggs and dairy products) [28–30]. In our study, participants were free to choose their dietary pattern from the above-mentioned selection. All participants received nutritional

counseling to establish a healthy whole-food PBD. The sessions were held by certified dietitians and nutrition scientists within eight group sessions of 90 min over a total period of 8 weeks in Berlin. During the counseling sessions, the nutritionists illustrated a whole-food plant-based diet. The sessions were structured into themes such as healthy plant-based proteins, fats, complex carbohydrates, vitamins, etc. Food recipes were handed out and substitutes for animal foods were recommended. At the weekly meetings, progress was shared initially, and participants exchanged their experience with the nutritionist. The consultation included 2 cooking sessions (120 min each) focusing on practical suggestions to implement a well-balanced PBD. Due to the COVID-19 pandemic, external regulations forced us to conduct the nutrition course online after inclusion of half of the subjects. An 8-week intervention period represents a time frame that is considered acceptable, and not too long to commit to weekly counseling sessions, and at the same time long enough to develop healthy habits [31].

**Table 1.** Inclusion and exclusion criteria for the CardioVeg study.

Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
<p>Men and women aged 25 to 75 and diagnosed with:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• hypertension (from &gt;140 mmHg systolic and/or &gt;90 mmHg diastolic),</li> <li>• central obesity (waist circumference &gt; 94 cm for men, &gt;80 cm for women),</li> <li>• A non-vegetarian diet in the past 6 months (at least 4× meat and/or meat products per week, at least 5× dairy products per week)</li> <li>• No fasting, no specific diet or change of diet in the last 2 months</li> <li>• Weight stable over the last two months (<math>\pm 3</math> kg)</li> <li>• Medication unchanged for at least one month</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a poor general condition</li> <li>• diagnosed coronary heart disease</li> <li>• diabetes mellitus type I</li> <li>• cerebrovascular disease</li> <li>• severe mental illness</li> <li>• severe acute or chronic comorbidity</li> <li>• pregnancy and lactation or planned pregnancy in the next 6 months</li> <li>• eating disorder</li> <li>• alcohol consumption more than 2 beers 0.5l or 2 wines 0.2l per day</li> <li>• no alcohol abstinence 48 h before blood samples possible</li> <li>• over 5 cigarettes/day</li> <li>• medication that affect weight</li> <li>• antibiotics within the last 6 months</li> <li>• major surgery &lt;6 months prior to randomization</li> <li>• BMI over 40 kg/m<sup>2</sup></li> <li>• existing vegetarian or plant-based diet</li> <li>• bariatric surgery</li> <li>• simultaneous participation in another clinical trial</li> <li>• participation in a clinical trial within the last 3 months prior to inclusion in the study</li> <li>• lack of consent to participate in the study</li> </ul>

The waiting list CG was instructed to maintain their current omnivorous diet but was offered to participate in the nutritional counseling program after completion of the last study visit.

Participants received no remuneration.

## 2.2. Dietary Intake and Monitoring

Dietary intake was assessed using 3-day weighed food records (3 consecutive days, with 2 weekdays and one weekend day). Participants were instructed and given templates to accurately protocol food intake (portion sizes of various foods and beverages consumed). These records were logged by all participants at baseline and after 8 weeks at the same time of the study visits, when also laboratory and anthropometric measurements were assessed (see Section 2.3).

Dietary intake data were collected and digitalized by a nutrition scientist, using the Software NutriGuide 4.7 Plus (Nutri-Science GmbH, Hausach, Germany). NutriGuide performs its analysis based on the nutritional charts of the German Nutrient Data Base (German: Bundeslebensmittelschlüssel, BLS 3.02), containing about 14.800 food items split by their nutrients. Three-day average values for energy, carbohydrate, protein, fat, and micronutrient intake were calculated. Absolute values and percentage values in relation to the Daily Recommended Intake (DRI) of the D-A-CH were used for further analysis. The D-A-CH reference values for nutrient intake are published collaboratively by the Societies for Nutrition in Germany (DGE), Austria (ÖGE) and Switzerland (SGE) [27].

The daily recommended intake was individually adjusted to gender, age, and estimated to the physical activity level (PAL) of 1.6 indicating a sedentary lifestyle (with occasionally additional energy expenditure for walking and standing activity). The gender- and age-specific DRI for a PAL of 1.6 can be obtained from the Supplementary Materials, Table S1 [27].

### 2.3. Anthropometric/Laboratory Data and Blood Pressure

Anthropometric and laboratory data as well as ambulatory blood pressure monitoring (ABPM) were determined at baseline and after 8 weeks. Blood tests assessed blood sugar, insulin resistance (Homeostasis Model Assessment, HOMA-Index), hemoglobin A1c (HbA1c), triglycerides, low-density lipoprotein (LDL), and high-density lipoprotein (HDL) cholesterol levels. Blood samples were collected after a 10 h overnight fast from the antecubital vein into vacutainer tubes and analyzed using the Modular P analyzer (Roche, Mannheim, Germany).

Trained staff measured participants' weight and height, which was used to calculate body mass index (BMI). Abdominal obesity was determined by waist circumference, which was measured by the study nurse at midpoint between the last rib and the iliac crest. Twenty-four-hour ambulatory systolic and diastolic blood pressure were measured using a digital blood pressure monitor validated for clinical studies (Spacelabs 90217A). The monitoring software automatically removed incorrect measurements using build-in algorithms.

### 2.4. Statistical Analysis

SPSS Version 27.0 and Microsoft Excel were used to complete all statistical analyses. A *p*-value of <0.05 was used to determine statistical significance.

- Data are presented as means  $\pm$  standard deviations and 95% confidence interval
- For laboratory data the Shapiro–Wilk test was used to determine normality.
- When normality was confirmed, participants characteristics and biochemistry was analyzed with a two samples *t*-test to assess differences between groups.
- Dietary nutrient intake was compared within the groups with the related-samples Wilcoxon signed rank test.
- Treatment effect and *p*-value between groups was determined using the Mann–Whitney–U test, comparing the difference of nutrient intake ( $\Delta$  = intake at baseline vs. intake after 8 weeks). The difference is depicted as mean and 95% confidence interval (CI).

## 3. Results

### 3.1. Randomization/Participants

Participants (*n* = 70) with increased cardiometabolic risk factors were randomized to follow a plant-based (*n* = 36) or to continue an omnivorous diet (*n* = 34). Patients were recruited between May 2019 and February 2021. From initially 70 participants recruited to complete the CardioVeg study, 7 participants withdrew. Twenty-two participants did not return their dietary records for nutritional analyses and were thus excluded from the present analysis. We removed four participants due to noncompliance with the study protocol. A total sample size of 37 (*n* = 18 in the PBG and *n* = 19 in the CG) was used for the present analyses of the dietary intake data. Figure 1 shows the participant inclusion flow chart for the present analysis.

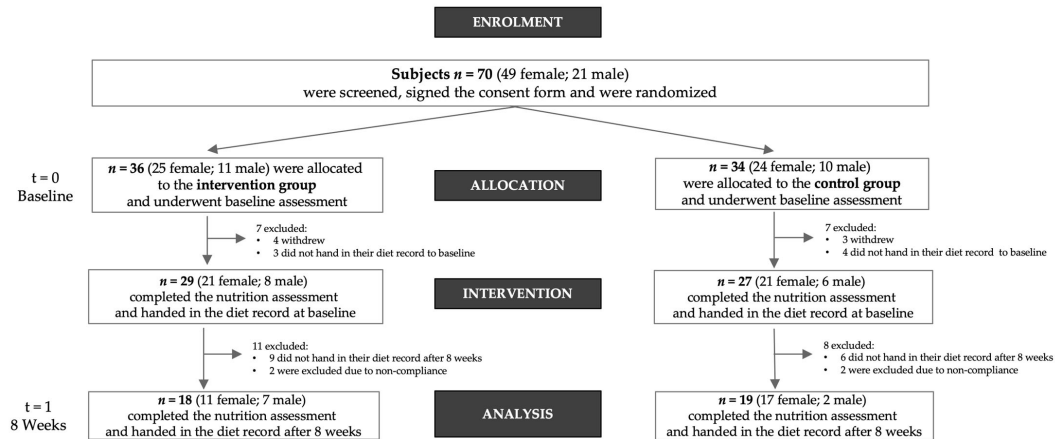


Figure 1. Flowchart of the study population.

The majority of participants of this subgroup were women: 61.1% in the PBG ( $n = 18$ ) and 89.5% in the CG ( $n = 19$ ). The mean age of participants in the PBG was  $61.1 \pm 7.0$  years and  $62.8 \pm 7.0$  years in the CG.

### 3.2. Anthropometric/Laboratory Data and Blood Pressure

Table 2 shows anthropometric and laboratory data at baseline and after 8 weeks. The PBG resulted in a significant decrease in body weight after 8 weeks (mean difference [95% CI] =  $-3.5$  kg [ $-5.3$ – $-1.7$ ]), BMI ( $-1.2$  kg/m<sup>2</sup> [ $-1.8$ – $-0.6$ ]), and waist circumference ( $-3.2$  cm [ $-5.1$ – $-1.3$ ]), see Table 2. In addition to that, we observed a significant reduction in HbA1c ( $-1.7$  mmol/mol [ $-2.8$ – $-0.6$ ]) and fasting blood glucose levels ( $-5.8$  mg/dl [ $-9.1$ – $-2.6$ ]) in the PBG. Compared to the CG, all above values were significant (Table 2). HOMA Index, triglycerides, cholesterol (LDL, HDL) as well as ABPM were not significant between the groups, although PBG showed more favorable effects.

Table 2. Characteristics of the study population before and after 8 weeks.

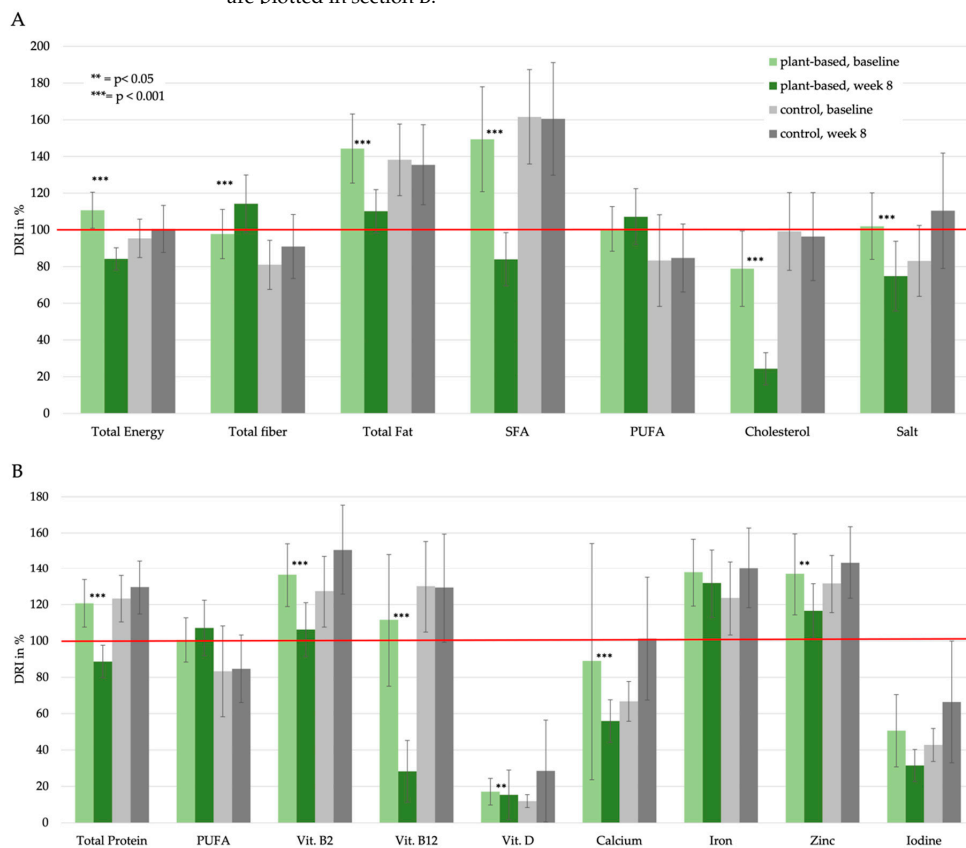
	Plant-Based Group ( $n = 18$ )			Control Group ( $n = 19$ )			<i>p</i> -Value *
	Baseline	Week 8	$\Delta$ [95% CI]	Baseline	Week 8	$\Delta$ [95% CI]	
<b>Anthropometrics</b>							
Weight [kg]	93.0 $\pm$ 16.6	89.5 $\pm$ 15.5	$-3.5$ [ $-5.3$ – $-1.7$ ]	80.7 $\pm$ 11.9	80.4 $\pm$ 12.1	$-0.3$ [ $-1.1$ – $0.5$ ]	0.002
Body mass index [kg/m <sup>2</sup> ]	31.7 $\pm$ 4.6	30.5 $\pm$ 4.1	$-1.2$ [ $-1.8$ – $-0.6$ ]	29.5 $\pm$ 4.5	29.4 $\pm$ 4.8	$-0.1$ [ $-0.4$ – $0.3$ ]	0.002
Waist circumference [cm]	109.9 $\pm$ 11.1	106.7 $\pm$ 9.4	$-3.2$ [ $-5.1$ – $-1.3$ ]	101.2 $\pm$ 7.0	101.5 $\pm$ 7.1	0.2 [ $-0.9$ – $1.4$ ]	0.004
<b>Laboratory data</b>							
Fasting blood glucose [mg/dl]	99.7 $\pm$ 15.5	93.9 $\pm$ 12.9	$-5.8$ [ $-9.1$ – $-2.6$ ]	93.1 $\pm$ 16.2	92.5 $\pm$ 15.1	$-0.6$ [ $-3.9$ – $2.8$ ]	0.042
HbA1c [mmol/mol]	40.1 $\pm$ 6.5	38.4 $\pm$ 5.4	$-1.7$ [ $-2.8$ – $-0.6$ ]	36.5 $\pm$ 3.1	36.8 $\pm$ 3.8	0.3 [ $-0.5$ – $1.2$ ]	0.009
HOMA Index	3.7 $\pm$ 2.7	2.9 $\pm$ 1.8	$-0.8$ [ $-1.4$ – $-0.1$ ]	2.6 $\pm$ 1.9	2.4 $\pm$ 1.7	$-0.2$ [ $-0.6$ – $0.3$ ]	0.170
Triglycerides [mg/dl]	112.1 $\pm$ 36.5	126.6 $\pm$ 48.5	14.6 [ $-2.5$ – $31.6$ ]	120.1 $\pm$ 58.1	135.6 $\pm$ 76.7	15.6 [ $-1.0$ – $32.2$ ]	0.936
Cholesterol [mg/dl]	214.1 $\pm$ 26.8	198.7 $\pm$ 28.1	$-15.4$ [ $-27.4$ – $-3.5$ ]	227.4 $\pm$ 46.1	223.9 $\pm$ 53.7	$-3.5$ [ $-15.5$ – $8.4$ ]	0.191
LDL [mg/dl]	137.3 $\pm$ 26.0	125.0 $\pm$ 27.6	$-12.3$ [ $-23.9$ – $-0.7$ ]	147.4 $\pm$ 44.8	147.0 $\pm$ 52.7	$-0.4$ [ $-11.6$ – $10.8$ ]	0.171
HDL [mg/dl]	63.6 $\pm$ 15.9	56.3 $\pm$ 13.4	$-7.4$ [ $-10.1$ – $-4.7$ ]	66.3 $\pm$ 21.1	62.4 $\pm$ 20.2	$-3.9$ [ $-6.9$ – $-0.9$ ]	0.117
<b>Ambulatory blood pressure monitoring</b>							
ABPM SBP [mm Hg]	135.9 $\pm$ 11.0	130.3 $\pm$ 14.7	$-5.6$ [ $-10.6$ – $-0.5$ ]	130.6 $\pm$ 13.3	131.9 $\pm$ 13.1	1.3 [ $-3.5$ – $6.1$ ]	0.088
ABPM DBP [mm Hg]	83.3 $\pm$ 8.8	80.1 $\pm$ 9.3	$-3.2$ [ $-6.2$ – $-0.3$ ]	76.9 $\pm$ 5.8	78.0 $\pm$ 6.8	1.1 [ $-1.8$ – $3.9$ ]	0.069

Data is presented as mean  $\pm$  SD; the difference is depicted as mean and 95% Confidence Interval; \* *p*-value between groups was determined using a two samples *t*-test.

### 3.3. Results of the Dietary Intake Data

All 37 participants of this subgroup analysis followed an omnivorous diet before the intervention. According to the food records, 19 participants of the CG remained their omnivorous diet for the course of the study. Participants of the PBD adjusted their diet as follows: Eleven participants adopted a strict vegan diet. Four participants adopted a lacto-vegetarian diet, two adopted a lacto-ovo-vegetarian and one participant switched to a pesco-vegetarian diet.

Ultimately, we examined the effects of the plant-based intervention on diet quality. Mean daily intakes of the major nutrient components and the percentage of adequate nutrient intake (adjusted to gender, age and physical activity) in relation to the D-A-CH recommendations are shown in Table 3 and in detail in Table S2 in the Supplementary Materials. Figure 2 shows nutrient intakes in relation to D-A-CH reference values: Potentially beneficial nutrients in a PBD are shown in section A. Potentially critical nutrients in a PBD are plotted in section B.



**Figure 2.** Nutrient intake in relation to the D-A-CH reference values: (A) potential beneficial nutrients in a PBD; (B) potential critical nutrients in a PBD. The error bars represent the 95% Confidence Interval of the average daily nutrient intake. *p*-value is based on the comparison of absolute values within the group and assessed by related-samples Wilcoxon signed rank test (absolute values are listed in Table S2).

**Table 3.** Absolute and relative daily nutrient intake before and after 8 weeks and comparison between the groups (extract from Table S2 in the Supplementary Materials).

	Plant-Based Group (n = 18)				Control Group (n = 19)				p-Value <sup>b</sup>
	Baseline		Week 8		Baseline		Week 8		
	Intake <sup>a</sup>	% of DRI <sup>c</sup>	Intake	% of DRI	Intake	% of DRI	Intake	% of DRI	
<b>Macronutrients</b>									
Energy [kcal]	2392.2 ± 382.6	111 [101;121]	1798.1 ± 315.1	84 [78;90]	1955.4 ± 452.0	95 [85;106]	1955.1 ± 477.1	101 [88;113]	<0.001
Total carbohydrates [g]	217.2 ± 58.9	74 [65;82]	189.7 ± 41.6	69 [62;75]	178.8 ± 52.7	64 [54;73]	187.9 ± 47.2	74 [60;89]	0.078
Total dietary fiber [g]	24.2 ± 8.7	98 [84;111]	31.3 ± 8.6	114 [98;130]	24.9 ± 8.3	81 [68;94]	24.5 ± 8.1	91 [74;108]	0.002
Total Protein [g]	90.3 ± 15.0	121 [108;134]	56.2 ± 10.1	89 [80;98]	74.4 ± 15.5	123 [110;136]	75.8 ± 18.4	123 [110;136]	<0.001
Total Fat [g]	112.6 ± 22.3	144 ± 41 [125;163]	78.1 ± 18.3	110 [98;122]	91.3 ± 29.5	138 [119;158]	87.5 ± 30.8	135 [114;157]	0.005
SFA [g]	45.3 ± 12.7	149 [121;178]	21.3 ± 9.0	84 [70;98]	35.6 ± 12.8	162 [136;187]	34.7 ± 14.7	161 [130;191]	<0.001
MUFA [g]	41.1 ± 9.1	157 [134;180]	28.3 ± 8.2	123 [105;141]	31.2 ± 10.5	143 [122;164]	29.5 ± 10.6	136 [113;158]	0.001
PUFA [g]	18.3 ± 5.3	101 [88;113]	23.7 ± 8.4	107 [92;122]	18.4 ± 12.1	83 [58;108]	17.6 ± 8.4	85 [66;103]	0.129
LA [g]	14.4 ± 5.2	290 [246;333]	19.1 ± 7.4	300 [244;357]	14.0 ± 9.4	253 [177;330]	14.1 ± 7.6	250 [181;318]	0.191
ALA [g]	2.5 ± 1.8	351 [280;421]	4.1 ± 3.3	375 [231;519]	3.2 ± 3.8	293 [133;453]	2.3 ± 2.1	224 [139;309]	0.013
Cholesterol [mg]	383.7 ± 133.1	79 [58;99]	76.7 ± 58.8	24 [16;33]	301.9 ± 142.6	99 [78;120]	294.7 ± 163.8	96 [72;120]	<0.001
Salt [g]	6.5 ± 2.0	102 [84;120]	3.7 ± 2.1	75 [56;94]	4.3 ± 2.0	83 [64;102]	5.0 ± 1.8	110 [79;142]	<0.001
<b>Vitamins</b>									
Retinol equivalent [µg]	1660.6 ± 865.3	169 [119;219]	1230.4 ± 771.3	140 [95;184]	1575.9 ± 8401	173 [141;206]	1578.3 ± 632.6	193 [155;230]	0.202
Vitamine B1 [mg]	1.4 ± 0.3	133 [118;148]	1.4 ± 0.4	128 [110;145]	1.2 ± 0.3	111 [98;125]	1.3 ± 0.4	130 [110;150]	0.136
Vitamine B2 [mg]	1.7 ± 0.4	136 [119;154]	1.1 ± 0.3	106 [92;121]	1.4 ± 0.4	127 [108;147]	1.5 ± 0.5	151 [126;175]	0.242
Vitamine B3, Niacin equivalent [mg]	38.3 ± 8.1	268 [229;307]	24.7 ± 5.5	195 [166;224]	31.1 ± 7.8	269 [235;304]	30.1 ± 8.2	258 [224;292]	<0.001
Vitamine B5 [mg]	5.0 ± 1.2	80 [71;90]	4.0 ± 1.6	69 [56;81]	4.5 ± 1.2	71 [62;81]	4.7 ± 1.7	85 [67;103]	0.068
Vitamine B6 [mg]	1.8 ± 0.4	132 [117;146]	1.5 ± 0.4	117 [102;132]	1.6 ± 0.3	127 [113;141]	1.6 ± 0.4	131 [116;145]	0.005
Vitamine B7, Biotin [µg]	52.3 ± 16.3	118 [102;135]	48.5 ± 14.8	109 [93;125]	46.3 ± 11.7	97 [84;110]	49.5 ± 15.2	116 [98;134]	0.288
Vitamine B9, Folate [µg]	350.9 ± 109.1	115 [98;131]	310.9 ± 70.6	109 [99;118]	291.6 ± 94.3	94 [79;109]	292.1 ± 75.9	103 [88;118]	0.236
Vitamine B12 [µg]	5.7 ± 2.4	112 [75;148]	1.0 ± 1.2	28 [11;45]	3.9 ± 1.7	130 [105;155]	4.0 ± 2.0	129 [99;159]	<0.001
Vitamine C [mg]	125.5 ± 54.3	144 [120;167]	144.1 ± 84.6	160 [121;200]	157.1 ± 80.1	175 [135;214]	126.4 ± 47.3	127 [104;150]	0.121
Vitamine D [µg]	3.8 ± 3.2	17 [10;24]	1.7 ± 1.5	15 [2;29]	3.9 ± 6.3	12 [8;15]	2.7 ± 1.5	28 [-1;58]	0.136
Vitamine E [mg]	16.8 ± 6.0	155 [134;177]	19.8 ± 5.4	163 [141;184]	16.1 ± 7.7	142 [111;172]	18.0 ± 8.0	152 [119;185]	0.574
Vitamine K [µg]	195.6 ± 193.3	254 [143;366]	152.2 ± 131.3	214 [117;310]	161.4 ± 108.5	246 [172;320]	190.2 ± 152.7	269 [162;376]	0.316
<b>Minerals</b>									
Sodium [mg]	2753.5 ± 822.2	109 [90;128]	1620.7 ± 870.7	81 [60;101]	1861.1 ± 863.5	90 [69;110]	2147.6 ± 820.4	119 [88;149]	<0.001
Chloride [mg]	4170.7 ± 1222.8	113 [94;132]	2563.5 ± 1298.8	86 [66;106]	2814.6 ± 1189.6	91 [72;110]	3291.0 ± 1150.5	117 [93;141]	<0.001
Potassium [mg]	3402.8 ± 651.3	160 [145;175]	2970.9 ± 655.5	144 [126;162]	3001.4 ± 627.3	144 [126;161]	3046.4 ± 581.7	149 [134;164]	0.021
Magnesium [mg]	498.1 ± 401.7	145 [183;208]	428.3 ± 107.4	131 [111;152]	348.4 ± 117.6	110 [91;129]	362.4 ± 99.6	127 [108;145]	0.715
Zinc [mg]	11.9 ± 2.6	137 [114;160]	8.9 ± 2.2	117 [102;131]	9.6 ± 2.5	132 [116;148]	10.6 ± 3.6	143 [123;164]	0.001
Copper [µg]	2260.1 ± 720.2	181 [154;207]	2372.7 ± 603.8	180 [152;208]	1896.4 ± 658.7	146 [119;173]	1931.5 ± 613.2	163 [136;189]	0.738
Phosphorus [mg]	1453.4 ± 258.4	187 [170;204]	1127.2 ± 303.5	156 [133;179]	1210.0 ± 246.9	165 [146;185]	1289.6 ± 331.4	187 [166;209]	<0.001
Fluoride [µg]	2004.3 ± 4179.9	45 [-17;108]	953.0 ± 501.6	31 [22;41]	789.0 ± 377.2	24 [18;30]	872.4 ± 435.6	58 [-1;116]	0.136
Calcium [µg]	1174.5 ± 1412.9	89 [24;154]	551.4 ± 188.7	56 [44;68]	708.4 ± 203.7	67 [56;78]	849.8 ± 260.5	101 [68;135]	<0.001
Iron [mg]	14.3 ± 3.8	138 [119;157]	13.8 ± 3.7	132 [113;151]	13.5 ± 4.0	124 [103;144]	13.6 ± 4.1	141 [118;163]	0.727
Iodine [µg]	121.9 ± 77.2	51 [31;71]	54.7 ± 25.5	32 [23;40]	91.9 ± 55.1	43 [34;52]	92.3 ± 28.0	66 [33;100]	<0.001
Manganese [µg]	5402.7 ± 2411.8	194 [162;226]	8038.3 ± 3563.5	243 [200;287]	5630.7 ± 2979.4	155 [114;196]	6324.4 ± 3642.3	218 [142;293]	0.019

Data results from three-day weighed food records analyzed with NutriGuide software, including the German Nutrient Data Base (German: Bundeslebensmittelschlüssel). <sup>a</sup> Nutrient intake is presented as mean ± SD and compared within the groups with the Wilcoxon signed rank test for paired samples. <sup>b</sup> Treatment effect and p-value between groups was determined using the Mann-Whitney U test, comparing the delta of the nutrient intake (=intake at baseline vs. intake after 8 weeks). <sup>c</sup> The adequate nutrient supply is depicted as mean [95% confidence interval]. It was calculated as a percentage of the daily recommended intake (DRI) and adjusted to gender and age and under the assumption of moderate movement (Physical Activity Level, PAL 1.6). D-A-CH Reference values are defined by the German (D), Austrian (A), and Swiss (CH) nutrition societies.

### 3.4. Macronutrient Intake

In terms of macronutrient intake, there were following significant between-group differences after 8 weeks: total daily intakes of energy, total protein, total fat, and cholesterol were significantly lower in the PBG (all  $p < 0.001$  between the groups). The PBG consumed significantly less saturated fatty acids (SFA,  $p < 0.001$ ) and less monounsaturated fatty acids (MUFA) ( $p = 0.001$ ). Polyunsaturated fatty acid (PUFA) intake increased slightly, but the difference was not significant between the groups ( $p = 0.129$ ). PBG participants consumed significantly more dietary fiber ( $p = 0.002$ ) and Alpha-Linolenic Acid (ALA) ( $p = 0.013$ ) than participants in the CG.

### 3.5. Micronutrient Intake/Vitamins

We observed a significant decrease in the intake of essential vitamins (vitamins B2, B3, B5, B6, B12, and vitamin D) within the PBG. Retinol equivalent, vitamin B1, biotin and folate were all slightly reduced but the decrease was not statistically significant within the PBG. Concerning vitamin C and vitamin E there was a modest but not significant increase within the PBG. Glancing at potential between-group differences, only vitamin B3, B6, and B12 differed significantly.

### 3.6. Micronutrient Intake/Minerals

Compared to the CG, intake of certain minerals significantly decreased in the PBG: Sodium intake decreased by more than 1.1 g in the intervention group ( $p < 0.001$ ). Additionally lower chloride ( $p < 0.001$ ), potassium ( $p = 0.021$ ), zinc ( $p < 0.001$ ), sulfur ( $p < 0.001$ ), phosphorus ( $p < 0.001$ ), calcium ( $p < 0.001$ ), and iodine ( $p < 0.001$ ) were present in the PBG compared to the CG.

## 4. Discussion

The primary aim of the present dietary data analysis was to contrast the nutritional quality of a PBD to an omnivorous diet. Moreover, we sought to examine whether a properly composed whole-food PBD could meet all D-A-CH recommendations. We put a major focus on nutrients of potential public health concern [26,32]. Our data suggest that the PBD had various beneficial components including but not limited to a lower energy density, a lower intake of cholesterol and saturated fat, an increased consumption of dietary fiber, and a lower intake of salt. It is worth mentioning that most participants voluntarily chose a purely “vegan diet”.

### 4.1. Potential Beneficial Nutrient Intake in a PBD

#### 4.1.1. Energy Intake

Excess weight, as shown by a higher BMI or waist circumference, is one of the strongest risk factors for cardiovascular disease [33]. Plant-based foods are characterized by lower energy density and a higher nutrient density. Thus, they tend to promote weight loss [28]. Consistent with our results, the PBG consumed significantly fewer calories compared to the CG although neither group had any quantity restrictions. It is conceivable that the reduced energy density contributed to weight loss in the PBG [34].

#### 4.1.2. Dietary Fiber Intake

Other nutrient-related benefits of the PBD intervention included a high intake of dietary fiber. Dietary fiber is a component of plant foods that cannot be broken down by enzymes in the human gastrointestinal tract. Its consumption reduces the risk of obesity in adults, as well as the risk of hypertension and coronary heart disease [35,36]. By lowering total and LDL cholesterol concentrations, dietary fiber also diminishes the risk of dyslipidemia [37–40]. As a guideline, D-A-CH recommends a dietary fiber intake of at least 30 g/day. Participants in the PBG achieved this recommendation, while the CG failed.



#### 4.1.3. Saturated Fatty Acids (SFA) and Cholesterol Intake

Participants allocated to the PBG consumed less SFA and less MUFA while their intake of PUFA increased slightly but not significantly. SFA content is particularly low in a PBD [41,42], which has been linked to coronary heart disease prevention by improving lipid profiles and lowering blood pressure [43–45]. Notably, the between-group differences were also significant: While CG substantially exceeded the recommended daily intake of SFA, the PBG was able to successfully reduce its consumption below the limit.

Throughout the study the intake of PUFAs increased slightly in the PBG but not significantly. There was no insufficient intake before and after the intervention in the PBG. Differently, the intake of PUFAs in the CG was already low at the beginning of the study and remained low during the 8 weeks of the study. Plant foods contain just small amounts of MUFA and PUFA, mainly  $\alpha$ -linolenic acid (ALA). ALA is a short-chain n-3 PUFA that occurs in plant derived sources such as vegetable oils, walnuts, rapeseed, linseed, and hemp. ALA can be converted to a limited extent to essential omega-3 fatty acids (eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid) that are known to be cardioprotective [29,44,46,47].

A high intake of saturated fat has been shown to adversely affect serum LDL concentrations [48]. Moreover, several studies suggested an association between dietary cholesterol and serum cholesterol [49,50]. While some international dietary associations have removed the target values for dietary cholesterol, D-A-CH maintains its recommendation and still advises limiting cholesterol intake to about 300 mg per day. Both study groups did not exceed this recommendation. However, it is evident that subjects in the PBG group consumed significantly less dietary cholesterol than subjects in the CG group and were able to reduce this consumption during the intervention.

Despite a close relationship between SFA, cholesterol intake and blood lipid levels, our analysis did not show significant results regarding lipid panels. One potential reason is the short intervention duration. Non-statistical differences may also be a result of under-powering (see Section 5).

#### 4.1.4. Salt Intake

Sodium and chloride are essential for various metabolic pathways and fluid regulation, however, a high consumption of salt is a major cause of hypertension and an independent risk factor for coronary heart disease and stroke [51]. There is consistent evidence that a moderate reduction in salt intake (i.e., a reduction of 3 to 5 g) can lead to a decrease in blood pressure [52,53]. Although the physiological requirement is only 2 to 3 g per day, the D-A-CH recommends a maximum of 5 g per day. The PBG group managed to significantly lower their salt intake from  $6.5 \pm 2.0$  g to  $3.7 \pm 2.1$  g, while the CG did not show any decrease.

### 4.2. Potential Critical Nutrients in a PBD

Our data suggest that participants allocated to the PBG consumed adequate amounts of macronutrients and essential vitamins and met the D-A-CH recommendations in most cases.

#### 4.2.1. Protein Intake

The adequacy of protein intake in PBDs is controversial. Proteins are required for the structure, function, and regulation of the body's cells, tissues, and organs, and each protein has unique functions. Although protein-rich plant foods such as traditional legumes, nuts, and seeds may be sufficient to achieve complete protein intake in adults following a PBD, our dietary data analysis showed otherwise. The PBG consumed only 89% [95% CI: 89;98] protein, which is 11% less than recommended by D-A-CH.

#### 4.2.2. Critical Micronutrients

According to the German Nutrition Society, a strict PBD does not provide an adequate supply of some nutrients or provides them only with difficulty. Potentially critical nutrients in a vegan diet include vitamins (vitamin B12, riboflavin/vitamin B2 and vitamin D) as

well as certain minerals (calcium, iron, iodine, zinc, selenium) [26]. The most critical nutrient is certainly vitamin B12 [26]. As expected, vitamin B12 intake in the PBG decreased significantly below the DRI. Since vitamin B12 is an important component of various metabolic pathways, it is strongly recommended to supplement this essential nutrient when adopting a PBD.

In our analysis riboflavin, also known as vitamin B2, also declined slightly in the PBG, yet it remained above the recommended daily intake. As for vitamin D and pantothenic acid (vitamin B5), both groups showed inadequate intakes, suggesting that these nutrients are not only critical for vegans, but nutrients of public health concern.

Pantothenic acid is a water-soluble vitamin and a precursor for the synthesis of coenzyme A. In fact, coenzyme A is essential for many biochemical reactions that maintain life [54].

Vitamin D is essential for maintaining bone mineralization by regulating calcium and phosphorus homeostasis. However, a deficiency has not only negative effects on the human skeletal system but also facilitates the development and progression of numerous common diseases, including cardiovascular disease, diabetes, autoimmune diseases, and cancer [55].

The intake of the trace element iodine was also insufficient in both groups. Iodine is an essential component of thyroid hormones, which are needed throughout life for normal growth, neurological development and metabolism. Insufficient iodine intake impairs the production of thyroid hormones and leads to a condition called hypothyroidism. This leads to a range of health impairments of varying severity [56].

Calcium intakes decreased in the PBG and did not meet the D-A-CH guideline. As a major component of bones and teeth, calcium also plays an important role as a second messenger in cell signaling pathways [57].

Other critical nutrients such as iron, and zinc decreased in PBG, but levels were still above recommended values.

## 5. Limitations

The present study has several strengths and limitations that warrant further discussion. We conducted most of the study under pandemic conditions—external regulations and lockdowns forced us to switch from face-to-face training to online sessions. Despite these difficulties, we managed to recruit a total of 70 people. The main limitation of this subsample analysis is that not all participants provided plausible and complete food records. Therefore, the current analysis is limited to 37 participants. Our study may thus be underpowered and unable to detect smaller group differences.

Adopting a PBD may be difficult in the first weeks and requires external support. It is conceivable that online education sessions are less effective and do not allow for the same personal interaction that is possible during in-person events. Whether this affected adherence in the PBG, however, remains a subject to speculations.

Another limitation of this study results from the dietary protocols: The direct form of a dietary survey by keeping protocols causes a higher awareness among the participants. This may lead to a more conscious perception of their own diet. Foods that are assumed to be positively evaluated by the investigator (e.g., vegetables, fruits) are usually overestimated in quantity or even consumed more frequently during the protocol days. In contrast, other foods that are considered undesirable (e.g., sweets, alcoholic beverages) tend to be underestimated or consumed less. This effect, which is desirable in nutrition education, is a potential source of error in the analysis of our nutrition data.

Although three-day weighed food records are the gold standard in nutritional monitoring, they are also susceptible to various bias, including reporting bias. More solid results on nutrient absorption and acquired deficiencies can be obtained by blood analysis. In our study, we focused on dietary intake and omitted blood tests regarding micro-/macronutrients; however, we would recommend and perform them in future studies. Concerning our study, it would be particularly interesting to determine in the blood whether the critical nutrients were too low in the intake but possibly still sufficiently present in the organism. Furthermore, these parameters could be complemented by microbiome and

multi-omics data, since our microbiota produces vitamins, among other substances, and thus contributes to a healthy diet [58].

## 6. Conclusions

The present analysis of dietary intake showed that the nutrient composition of participants in the whole-food PBG was more favorable for cardiovascular health compared with participants to the omnivorous CG. Beneficial features of the PBD included a lower energy density, a lower intake of SFA and cholesterol, an increased consumption of dietary fiber, and a lower intake of salt. The recommended intake for most vitamins and minerals were met. As expected, participants in the PBG did not meet the recommendations for vitamin B12, and supplementation may thus be warranted. A low intake of several critical nutrients (vitamin D, pantothenic acid, and iodine) was observed in both groups, suggesting that these are nutrients of public health concern. Targeted supplementation with the previously mentioned micronutrients could improve the nutritional quality of the PBD and prevent the development of nutritional deficiencies. Overall, however, the benefits and the preventive effect that PBD offers for heart health are so valuable that we recommend PBD as adjunct therapy to the patient's medication and usual diet.

**Supplementary Materials:** The following supporting information can be downloaded at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/nu14214597/s1>, Table S1. D-A-CH reference values: Gender- and age-specific DRI for a PAL of 1.6; Table S2. Absolute and relative daily nutrient intake before and after the intervention and comparison between the groups.

**Author Contributions:** Conceptualization, J.D. and M.J.; Data curation, J.D.; Formal analysis, J.D.; Funding acquisition, M.J.; Investigation, J.D., C.M. and M.J.; Methodology, J.D.; Project administration, M.J.; Resources, J.D.; Software, J.D.; Supervision, F.I.K., C.S.K., A.M. and M.J.; Validation, J.D. and F.I.K.; Visualization, J.D.; Writing—original draft, J.D.; Writing—review and editing, M.A.S., C.M., F.I.K., C.S.K., A.M. and M.J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** The study was funded by the Karl und Veronika Carstens Foundation Essen, Germany. We acknowledge financial support from the Open Access Publication Fund of Charité-Universitätsmedizin Berlin and the German Research Foundation (DFG).

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of Charité-Universitätsmedizin Berlin (EA4/025/19).

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

**Data Availability Statement:** Data from the study are available upon reasonable request.

**Acknowledgments:** Special thanks to Nadine Sylvester and Miriam Rösner, without whom this study would not have been possible. Many thanks also to Alexandra Prüß, Julia Schneider, Elektra Polychronidou for their support of the study.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

## Abbreviations

ALA	$\alpha$ -Linolenic Acid
ABPM	Ambulatory blood pressure monitoring
BMI	Body Mass Index
BLS	German Nutrient Data Base; german: Bundeslebensmittelschlüssel
CI	Confidence Interval
CG	Control Group
CVD	Cardiovascular Disease
D-A-CH	Association of nutritional societies of Germany (D), Austria (A) and Switzerland (CH)

DBP	24 h Diastolic Blood Pressure
DGE	Society for Nutrition in Germany (Deutsche Gesellschaft für Ernährung)
DRI	Daily Recommended Intake
HbA1c	Hemoglobin A1c
HDL	High Density Lipoprotein
HOMA	Homeostasis Model Assessment
LDL	Low Density Lipoprotein
MUFA	Monounsaturated Fatty Acids
ÖGE	Society for Nutrition in Austria
PAL	Physical Activity Level
PBD	Plant-Based Diet
PBG	Plant-Based Group
PUFA	Polyunsaturated fatty Acids
SBP	24 h Systolic Blood Pressure
SD	Standard Deviation
SFA	Saturated Fatty Acids
SGE	Society for Nutrition in Switzerland

## References

- Jardine, M.A.; Kahleova, H.; Levin, S.M.; Ali, Z.; Trapp, C.B.; Barnard, N.D. Perspective: Plant-Based Eating Pattern for Type 2 Diabetes Prevention and Treatment: Efficacy, Mechanisms, and Practical Considerations. *Adv. Nutr.* **2021**, *12*, 2045–2055. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Qian, F.; Liu, G.; Hu, F.B.; Bhupathiraju, S.N.; Sun, Q. Association Between Plant-Based Dietary Patterns and Risk of Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Intern. Med.* **2019**, *179*, 1335–1344. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Storz, M.A. The Role of Vegan Diets in Lipotoxicity-induced Beta-cell Dysfunction in Type-2-Diabetes: A Narrative Review. *J. Popul. Ther. Clin. Pharmacol.* **2020**, *27 Pt 2*, e22–e38. [\[CrossRef\]](#)
- Kaiser, J.; van Daalen, K.R.; Thayyil, A.; Cocco, M.; Caputo, D.; Oliver-Williams, C. A Systematic Review of the Association Between Vegan Diets and Risk of Cardiovascular Disease. *J. Nutr.* **2021**, *151*, 1539–1552. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Jabri, A.; Kumar, A.; Verghese, E.; Alameh, A.; Kumar, A.; Khan, M.S.; Khan, S.U.; Michos, E.D.; Kapadia, S.R.; Reed, G.W.; et al. Meta-analysis of effect of vegetarian diet on ischemic heart disease and all-cause mortality. *Am. J. Prev. Cardiol.* **2021**, *7*, 100182. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Tong, T.Y.N.; Appleby, P.N.; Bradbury, K.E.; Perez-Cornago, A.; Travis, R.C.; Clarke, R.; Key, T.J. Risks of ischaemic heart disease and stroke in meat eaters, fish eaters, and vegetarians over 18 years of follow-up: Results from the prospective EPIC-Oxford study. *BMJ* **2019**, *366*, 14897. [\[CrossRef\]](#)
- Ornish, D.; Brown, S.E.; Scherwitz, L.W.; Billings, J.H.; Armstrong, W.T.; Ports, T.A.; McLanahan, S.M.; Kirkeeide, R.L.; Brand, R.J.; Gould, K.L. Can lifestyle changes reverse coronary heart disease? The Lifestyle Heart Trial. *Lancet* **1990**, *336*, 129–133. [\[CrossRef\]](#)
- Storz, M.A.; Helle, P. Atrial fibrillation risk factor management with a plant-based diet: A review. *J. Arrhythm.* **2019**, *35*, 781–788. [\[CrossRef\]](#)
- Müller, A.; Zimmermann-Klemd, A.M.; Lederer, A.K.; Hannibal, L.; Kowarschik, S.; Huber, R.; Storz, M.A. A Vegan Diet Is Associated with a Significant Reduction in Dietary Acid Load: Post Hoc Analysis of a Randomized Controlled Trial in Healthy Individuals. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 9998. [\[CrossRef\]](#)
- Storz, M.A. What makes a plant-based diet? A review of current concepts and proposal for a standardized plant-based dietary intervention checklist. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2022**, *76*, 789–800. [\[CrossRef\]](#)
- Tuso, P.J.; Ismail, M.H.; Ha, B.P.; Bartolotto, C. Nutritional update for physicians: Plant-based diets. *Perm J.* **2013**, *17*, 61–66. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Boeing, H.; Bechthold, A.; Bub, A.; Ellinger, S.; Haller, D.; Kroke, A.; Leschik-Bonnet, E.; Müller, M.J.; Oberritter, H.; Schulze, M.; et al. Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *Eur. J. Nutr.* **2012**, *51*, 637–663. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Fujioka, N.; Fritz, V.; Upadhyaya, P.; Kassie, F.; Hecht, S.S. Research on cruciferous vegetables, indole-3-carbinol, and cancer prevention: A tribute to Lee W. Wattenberg. *Mol. Nutr. Food Res.* **2016**, *60*, 1228–1238. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Lee, A.; Beaubernard, L.; Lamothe, V.; Bennetau-Pelissero, C. New Evaluation of Isoflavone Exposure in the French Population. *Nutrients* **2019**, *11*, 2308. [\[CrossRef\]](#)
- Rajaram, S.; Jones, J.; Lee, G.J. Plant-Based Dietary Patterns, Plant Foods, and Age-Related Cognitive Decline. *Adv. Nutr.* **2019**, *10* (Suppl. S4), S422–S436. [\[CrossRef\]](#)
- Verneau, F.; La Barbera, F.; Furno, M. The Role of Health Information in Consumers' Willingness to Pay for Canned Crushed Tomatoes Enriched with Lycopene. *Nutrients* **2019**, *11*, 2173. [\[CrossRef\]](#)

17. Vigiouliou, E.; Glenn, A.J.; Nishi, S.K.; Chiavaroli, L.; Seider, M.; Khan, T.; Bonaccio, M.; Iacoviello, L.; Mejia, S.B.; Jenkins, D.J.A.; et al. Associations between Dietary Pulses Alone or with Other Legumes and Cardiometabolic Disease Outcomes: An Umbrella Review and Updated Systematic Review and Meta-analysis of Prospective Cohort Studies. *Adv. Nutr.* **2019**, *10* (Suppl. S4), S308–S319. [[CrossRef](#)]
18. Veronese, N.; Solmi, M.; Caruso, M.G.; Giannelli, G.; Osella, A.R.; Evangelou, E.; Maggi, S.; Fontana, L.; Stubbs, B.; Tzoulaki, I. Dietary fiber and health outcomes: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Am. J. Clin. Nutr.* **2018**, *107*, 436–444. [[CrossRef](#)]
19. Mayhew, A.J.; de Souza, R.J.; Meyre, D.; Anand, S.S.; Mente, A. A systematic review and meta-analysis of nut consumption and incident risk of CVD and all-cause mortality. *Br. J. Nutr.* **2016**, *115*, 212–225. [[CrossRef](#)]
20. Schwingshackl, L.; Hoffmann, G. Monounsaturated fatty acids, olive oil and health status: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Lipids Health Dis.* **2014**, *13*, 154. [[CrossRef](#)]
21. Zeraatkar, D.; Han, M.A.; Guyatt, G.H.; Vernooij, R.W.M.; El Dib, R.; Cheung, K.; Milio, K.; Zworth, M.; Bartoszko, J.J.; Valli, C.; et al. Red and Processed Meat Consumption and Risk for All-Cause Mortality and Cardiometabolic Outcomes: A Systematic Review and Meta-analysis of Cohort Studies. *Ann. Intern. Med.* **2019**, *171*, 703–710. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Le, L.T.; Sabaté, J. Beyond meatless, the health effects of vegan diets: Findings from the Adventist cohorts. *Nutrients* **2014**, *6*, 2131–2147. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Lin, C.-L.; Wang, J.-H.; Chang, C.-C.; Chiu, T.H.T.; Lin, M.-N. Vegetarian Diets and Medical Expenditure in Taiwan—A Matched Cohort Study. *Nutrients* **2019**, *11*, 2688. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Alcorta, A.; Porta, A.; Tárrega, A.; Alvarez, M.D.; Vaquero, M.P. Foods for Plant-Based Diets: Challenges and Innovations. *Foods* **2021**, *10*, 293. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Hemler, E.C.; Hu, F.B. Plant-Based Diets for Personal, Population, and Planetary Health. *Adv. Nutr.* **2019**, *10* (Suppl. S4), S275–S283. [[CrossRef](#)]
26. Richter, M.; Boeing, H.; Grünewald-Funk, D.; Hesecker, H.; Kroke, A.; Leschik-Bonnet, E.; Oberritter, H.; Strohm, D.; Watzl, B. Vegan diet. Position of the German Nutrition Society (DGE). *Ernähr. Umsch.* **2016**, *63*, 92–102, Erratum in *Ernähr. Umsch.* **2016**, *63*, M262.
27. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE); Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE); Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (SGE). *D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr*; Neuer Umschau Buchverlag: Bonn, Germany, 2018.
28. Clarys, P.; Deliens, T.; Huybrechts, I.; Deriemaeker, P.; Vanaelst, B.; De Keyzer, W.; Hebbelinck, M.; Mullie, P. Comparison of nutritional quality of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pescovegetarian and omnivorous diet. *Nutrients* **2014**, *6*, 1318–1332. [[CrossRef](#)]
29. Lemale, J.; Mas, E.; Jung, C.; Bellaiche, M.; Tounian, P. Vegan diet in children and adolescents. Recommendations from the French-speaking Pediatric Hepatology, Gastroenterology and Nutrition Group (GFHGNP). *Arch. Pediatr.* **2019**, *26*, 442–450. [[CrossRef](#)]
30. Vergeer, L.; Vanderlee, L.; White, C.M.; Rynard, V.L.; Hammond, D. Vegetarianism and other eating practices among youth and young adults in major Canadian cities. *Public Health Nutr.* **2020**, *23*, 609–619. [[CrossRef](#)]
31. Lally, P.; van Jaarsveld, C.H.M.; Potts, H.W.W.; Wardle, J. How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *Eur. J. Soc. Psychol.* **2010**, *40*, 998–1009. [[CrossRef](#)]
32. Alexy, U.; Fischer, M.; Weder, S.; Längler, A.; Michalsen, A.; Sputtek, A.; Keller, M. Nutrient Intake and Status of German Children and Adolescents Consuming Vegetarian, Vegan or Omnivore Diets: Results of the VeChi Youth Study. *Nutrients* **2021**, *13*, 1707. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Khan, S.S.; Ning, H.; Wilkins, J.T.; Allen, N.; Carnethon, M.; Berry, J.D.; Sweis, R.N.; Lloyd-Jones, D.M. Association of Body Mass Index With Lifetime Risk of Cardiovascular Disease and Compression of Morbidity. *JAMA Cardiol.* **2018**, *3*, 280–287. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Rolls, B.J. The relationship between dietary energy density and energy intake. *Physiol. Behav.* **2009**, *97*, 609–615. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Sánchez-Muniz, F.J. Dietary fibre and cardiovascular health. *Nutr. Hosp.* **2012**, *27*, 31–45. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Slavin, J. Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. *Nutrients* **2013**, *5*, 1417–1435. [[CrossRef](#)]
37. Li, L.; Lietz, G.; Bal, W.; Watson, A.; Morfey, B.; Seal, C. Effects of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Consumption on Markers of CVD Risk. *Nutrients* **2018**, *10*, 777. [[CrossRef](#)]
38. Wang, Y.; Harding, S.V.; Thandapilly, S.J.; Tosh, S.M.; Jones, P.J.H.; Ames, N.P. Barley  $\beta$ -glucan reduces blood cholesterol levels via interrupting bile acid metabolism. *Br. J. Nutr.* **2017**, *118*, 822–829. [[CrossRef](#)]
39. Gulati, S.; Misra, A.; Pandey, R.M. Effects of 3 g of soluble fiber from oats on lipid levels of Asian Indians—A randomized controlled, parallel arm study. *Lipids Health Dis.* **2017**, *16*, 71. [[CrossRef](#)]
40. Jenkins, D.J.; Kendall, C.W.; Nguyen, T.H.; Marchie, A.; Faulkner, D.A.; Ireland, C.; Josse, A.R.; Vidgen, E.; Trautwein, E.A.; Lapsley, K.G.; et al. Effect of plant sterols in combination with other cholesterol-lowering foods. *Metabolism* **2008**, *57*, 130–139. [[CrossRef](#)]
41. Bradbury, K.E.; Crowe, F.L.; Appleby, P.N.; Schmidt, J.A.; Travis, R.C.; Key, T.J. Serum concentrations of cholesterol, apolipoprotein A-I and apolipoprotein B in a total of 1694 meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2014**, *68*, 178–183. [[CrossRef](#)]

42. Kahleova, H.; Hlozkova, A.; Fleeman, R.; Fletcher, K.; Holubkov, R.; Barnard, N.D. Fat Quantity and Quality, as Part of a Low-Fat, Vegan Diet, Are Associated with Changes in Body Composition, Insulin Resistance, and Insulin Secretion. A 16-Week Randomized Controlled Trial. *Nutrients* **2019**, *11*, 615. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Desmond, M.A.; Sobiecki, J.; Fewtrell, M.; Wells, J.C.K. Plant-based diets for children as a means of improving adult cardiometabolic health. *Nutr. Rev.* **2018**, *76*, 260–273. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Melina, V.; Craig, W.; Levin, S. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J. Acad. Nutr. Diet.* **2016**, *116*, 1970–1980. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Satija, A.; Bhupathiraju, S.N.; Spiegelman, D.; Chiuve, S.E.; Manson, J.E.; Willett, W.; Rexrode, K.M.; Rimm, E.B.; Hu, F.B. Healthful and Unhealthful Plant-Based Diets and the Risk of Coronary Heart Disease in U.S. Adults. *J. Am. Coll. Cardiol.* **2017**, *70*, 411–422. [[CrossRef](#)]
46. Russo, G.L. Dietary n–6 and n–3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochem. Pharmacol.* **2009**, *77*, 937–946. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Thumann, T.A.; Pferschy-Wenzig, E.-M.; Moissl-Eichinger, C.; Bauer, R. The role of gut microbiota for the activity of medicinal plants traditionally used in the European Union for gastrointestinal disorders. *J. Ethnopharmacol.* **2019**, *245*, 112153. [[CrossRef](#)]
48. NCEP. Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation* **2002**, *106*, 3143–3421. [[CrossRef](#)]
49. Hegsted, D.M. Serum-cholesterol response to dietary cholesterol: A re-evaluation. *Am. J. Clin. Nutr.* **1986**, *44*, 299–305. [[CrossRef](#)]
50. Weggemans, R.M.; Zock, P.L.; Katan, M.B. Dietary cholesterol from eggs increases the ratio of total cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol in humans: A meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* **2001**, *73*, 885–891. [[CrossRef](#)]
51. Kotchen, T.A. Contributions of sodium and chloride to NaCl-induced hypertension. *Hypertension* **2005**, *45*, 849–850. [[CrossRef](#)]
52. He, F.J.; Li, J.; MacGregor, G.A. Effect of longer term modest salt reduction on blood pressure: Cochrane systematic review and meta-analysis of randomised trials. *BMJ Br. Med. J.* **2013**, *346*, f1325. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
53. Huang, L.; Trieu, K.; Yoshimura, S.; Neal, B.; Woodward, M.; Campbell, N.R.C.; Li, Q.; Lackland, D.T.; Leung, A.A.; Anderson, C.A.M.; et al. Effect of dose and duration of reduction in dietary sodium on blood pressure levels: Systematic review and meta-analysis of randomised trials. *BMJ* **2020**, *368*, m315. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
54. Miller, J.W.; Rucker, R.B. Pantothenic acid. In *Present Knowledge in Nutrition*, 10th ed.; Wiley-Blackwell: New York, NY, USA, 2012; pp. 375–390.
55. Zmijewski, M.A. Vitamin D and Human Health. *Int. J. Mol. Sci.* **2019**, *20*, 145. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Laurberg, P. Iodine. In *Modern Nutrition in Health and Disease*, 11th ed.; Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA, 2014; pp. 217–224.
57. Weaver, C.M. Calcium. In *Present Knowledge in Nutrition*, 10th ed.; Sons, J.W., Ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2012; pp. 434–446.
58. Maifeld, A.; Bartolomeaus, H.; Löber, U.; Avery, E.G.; Steckhan, N.; Markó, L.; Wilck, N.; Hamad, I.; Šušnjar, U.; Mähler, A.; et al. Fasting alters the gut microbiome reducing blood pressure and body weight in metabolic syndrome patients. *Nat. Commun.* **2021**, *12*, 1970. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

---

## Komplette Publikationsliste

- 1) Dressler, J.; Storz, M.A.; Müller, C.; Kandil, F.I.; Kessler, C.S.; Michalsen, A.; Jeitler, M. Does a Plant-Based Diet Stand Out for Its Favorable Composition for Heart Health? Dietary Intake Data from a Randomized Controlled Trial. *Nutrients* 2022, 14, 4597. <https://doi.org/10.3390/nu14214597>
  
- 2) Jeitler M, Storz MA, Steckhan N, Matthiae D, Dressler J, Hanslian E, Koppold DA, Kandil FI, Michalsen A, Kessler CS. Knowledge, Attitudes and Application of Critical Nutrient Supplementation in Vegan Diets among Healthcare Professionals—Survey Results from a Medical Congress on Plant-Based Nutrition. *Foods*. 2022; 11(24):4033. <https://doi.org/10.3390/foods11244033>
  
- 3) Dressler, J.; Journal Club; Comment on “Courie R ,Gaillard M ,Lainas P, Hansel B, Naveau S, Dagher I, Tranchart H: Weight outcome after 2 years of a diet that excludes six processed foods: exploratory study of the ‘1,2,3 diet’ in a moderately obese population. *Diabetes Metab Syndr Obes* 2018;11:345–355.” *Complement Med Res* 2019;26:53–61, doi: 10.1159/000497030



## Danksagung

Ich möchte meinen aufrichtigen und herzlichen Dank an all die wunderbaren Menschen aussprechen, die es mir ermöglicht haben, diese Dissertation zu verfassen. Ihr habt mich in den letzten Jahren unterstützt und damit sowohl zu meiner beruflichen als auch persönlichen Entwicklung beigetragen.

An erster Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. Andreas Michalsen bedanken, dessen Forschung mich während meines Studiums inspiriert hat und der mir als Inhaber des Lehrstuhls für Klinische Naturheilkunde die Möglichkeit gab, an seinem Institut zu promovieren. Meine Betreuer Dr. Christian Kessler und Dr. Michael Jeitler haben mich mit guten Ratschlägen und viel Engagement unterstützt und mit ihrer konstruktiven Kritik zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen. Ein besonderer Dank geht an Dr. Jeitler, der mir ermöglichte, wissenschaftliche Fragestellungen und Methoden eigenständig zu entwickeln und mir durch seine qualifizierte Betreuung bei der Umsetzung dieser Ansätze half. Mein Dank gilt ebenfalls Miriam Rösner, ohne die diese Studie nicht möglich gewesen wäre. Sie hat mit ihrer herzlichen und hilfsbereiten Art bei allen Probanden und Promovierenden einen bleibenden Eindruck hinterlassen. Herrn Dr. Farid Kandil danke ich für seine motivierende und kompetente Unterstützung bei Fragen zur statistischen Auswertung. An dieser Stelle möchte ich außerdem der gesamten Hochschulambulanz für Naturheilkunde am Wannsee für ihre Unterstützung herzlich danken. Mein Dank gilt außerdem allen Probanden, die diese Arbeit durch ihre Teilnahme und motivierte Mitarbeit sowie durch die detaillierte Protokollierung ihrer Ernährung ermöglicht haben.

Abschließend möchte ich mich von ganzem Herzen bei meiner geliebten Familie für ihre geduldige, fürsorgliche und liebevolle Unterstützung in den letzten Jahren bedanken!