

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Life Sciences  
Department Ökotoxikologie

# Können UV-Licht exponierte Pilze als funktionelles Lebensmittel mit Ergocalciferol die Vitamin-D-Versorgung verbessern?

Bachelorarbeit

Vorgelegt von: Elena Hein

Abgabedatum: 31.01.2022



Erstgutachterin: Prof. Dr. med. vet. Katharina Riehn (HAW Hamburg)

Zweitgutachterin: Prof. Dr. Birgit Käthe Peters (HAW Hamburg)

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	1
Abstract .....	2
1 Problem und- Zielstellung .....	3
2 Theoretische Grundlagen .....	4
2.1 Vitamin D .....	4
2.1.1 Struktur .....	5
2.1.2 Endogene Synthese und Metabolismus .....	6
2.1.3 Funktion .....	7
2.2 Vitamin-D-Mangel und dessen Folgeerkrankungen .....	8
2.3 Vitamin-D-Versorgung .....	9
2.3.1 Parameter zur Beurteilung der Versorgung .....	9
2.3.2 Versorgungslage in Deutschland .....	10
2.3.3 Zufuhrempfehlungen .....	11
2.3.4 Vitamin-D-Zufuhr über Lebensmittel .....	12
2.4 Pilze .....	12
2.4.1 Speisepilze .....	13
2.4.2 Inhaltsstoffe .....	14
2.5 UV-Licht .....	14
2.6 UV-Behandlung von Pilzen .....	15
2.7 Funktionelle Lebensmittel .....	16
2.7.1 Begriffsdefinition .....	17
2.7.2 Abgrenzung der funktionellen Lebensmittel von Novel Food .....	17
2.7.3 Abgrenzung der funktionellen Lebensmittel von Nahrungsergänzungsmitteln .....	18
3 Methodik .....	18
3.1 Systematische Literaturrecherche .....	19
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien .....	19
3.3 Recherchestrategie .....	20
3.4 Literaturbewertung .....	22
3.5 Literaturselektion und Studienauswahl .....	23
4 Ergebnisse .....	24
4.1 PICOS- Modell .....	24

4.2 Ergebnisse der Einzelstudien .....	31
4.3 Zusammenfassendes Ergebniss der Studien.....	35
5 Marktcheck.....	36
6 Diskussion .....	38
7 Fazit.....	42
Literaturverzeichnis.....	43
Eidesstattliche Erklärung.....	50

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Strukturformel von Vitamin D <sub>3</sub> und Vitamin D <sub>2</sub> , modifiziert nach (Lehmann, 2012, S. 1).....	5
Abbildung 2 Synthese und Metabolismus von Vitamin D, modifiziert nach (Lehmann, 2012, S. 4) 7	
Abbildung 3 Pilz Aufbau, modifiziert nach (Boenigk, 2021, S. 531).....	13
Abbildung 4 Schematische Darstellung der UV-Behandlung von Pilzen, (Eigene Darstellung) .....	15
Abbildung 5 Evidenzpyramide, modifiziert nach (Deutsches Netzwerk Evidenzbasierte Medizin e.V.) .....	22
Abbildung 6 PRISMA-Fluss-Diagramm, modifiziert nach (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Group, 2009, S. 54) .....	23
Abbildung 7 Übersicht der Marktbegehung, (Eigene Darstellung) .....	37

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Stadien des Vitamin-D-Status, modifiziert nach (National Institutes of Health, 2018)....	10
Tabelle 2 25(OH)D- Serumkonzentrationen von Frauen und Männern, modifiziert nach (Rabenberg & Mensink, 2016, S. 38) .....	10
Tabelle 3 Zufuhrreferenzwerte der DGE und der EFSA, modifiziert nach (DGE, 2012), (EFSA, 2016).....	11
Tabelle 4 Ein- und Ausschlusskriterien für die Auswahl der Studien, (Eigene Darstellung).....	19
Tabelle 5 Ergebnisse der Recherche, (Eigene Darstellung) .....	20
Tabelle 6 Evidenzklassen der evidenzbasierten Medizin, modifiziert nach (Centre for Evidence-Based Medicine, 2009).....	38

## Abkürzungsverzeichnis

25(OH)D	25-Hydroxyvitamin D
25(OH)D <sub>2</sub>	25-Hydroxy-Ergocalciferol
25(OH)D <sub>3</sub>	25-Hydroxy-Cholecalciferol
1,25(OH) <sub>2</sub> D	1,25-Dihydroxyvitamin D
1 $\alpha$ Hase	1-alpha-Hydroxylase
7-DHC	7-Dehydrocholesterin
$\mu$ g	Mikrogramm
n	Stichprobe
ng/mL	Nanogramm pro Milliliter
nm	Nanometer
nmol/L	Nanomol pro Liter
pg/mL	Pikogramm pro Liter
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMI	Body-Mass-Index
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
DEGS	Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EU	Europäische Union
FOSHU	Food for Specific Health Use
FUFOSE	Functional Food Science in Europe
I.E.	Internationale Einheit
IOM	Institute of Medicine
KiGGS	Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland
LSF	Lichtschutzfaktor
MEDLINE	Medical Literature Analysis and Retrieval System Online
MRI	Max Rubner-Institut
NCBI	National Center for Biotechnology Information
NemV	Nahrungsergänzungsmittelverordnung
NIH	National Institute of Health
NVS	Nationale Verzehrsstudie
ODIN	Food-based solutions for optimal Vitamin D nutrition and health through the life cycle
PICOS	Population, Intervention, Control, Outcome, Setting

PRISMA	Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses
PTH	Parathormon
RCT	Randomized Controlled Trial
UV	Ultraviolett
UVI	UV-Index
VDBP	Vitamin-D-bindende Protein
WHO	World Health Organization

## Zusammenfassung

Weltweit sind eine Milliarde Menschen von einem Vitamin-D-Mangel betroffen. Zahlreiche Forschungsarbeiten der letzten Jahre zeigen auf, dass Vitamin D nicht nur essenziell für die Knochengesundheit ist, sondern eine Vielzahl von Krankheiten mit einem Mangel einhergehen. Die Menschen decken den Großteil ihres Vitamin-D-Bedarfs durch Sonneneinstrahlung. Eine adäquate Vitamin-D-Versorgung wird jedoch aufgrund der wechselhaften Intensität der UV-Strahlung durch geografische sowie jahreszeitliche Unterschiede beeinflusst. Zur Vermeidung eines Vitamin-D-Mangels bietet sich der Verzehr von Vitamin-D-haltigen Lebensmitteln an. Es gibt aber nur begrenzte Quellen um den Vitamin-D-Bedarf ausreichend über die Nahrung zu decken. Eine mögliche Vitamin-D-Quelle bilden Pilze, allerdings werden auf dem Markt erhältliche Speisepilze unter Ausschluss von UV-Licht kultiviert, sodass die Stimulation zur Bildung von Vitamin D<sub>2</sub> unterbunden wird. Um ihr Potenzial als Vitamin-D-Lieferant auszuschöpfen, stellt der Einsatz der UV-Bestrahlung eine innovative Möglichkeit dar. Durch UV-Einwirkung wird das in der Zellmembran von Pilzen enthaltene Ergosterol, eine Vorstufe des Vitamin D<sub>2</sub>, in nennenswerte Mengen Vitamin D<sub>2</sub>, das sogenannte Ergocalciferol, umgewandelt. Inwieweit UV-Licht exponierte Pilze mit Ergocalciferol als funktionelles Lebensmittel die Vitamin-D-Versorgung verbessern können, ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Die Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche zeigen auf, dass das Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen bioverfügbar ist und den Vitamin-D<sub>2</sub>-Status (25(OH)D<sub>2</sub>) positiv beeinflusst. Uneinigkeit herrscht jedoch darüber, ob sich die Vitamin-D-Versorgung, gemessen an 25(OH)D, durch Ergocalciferol aus Vitamin-D-angereicherten Pilzen verbessern lässt. Dieser Umstand verdeutlicht, dass noch weiterer Forschungsbedarf zur Wirksamkeit von Ergocalciferol in Hinblick auf die Erhöhung des 25(OH)D-Serumspiegels besteht. UV-Licht exponierte Pilze stellen jedoch einen vielversprechenden Ansatz dar, um als funktionelles Lebensmittel die Vitamin-D-Versorgung zu verbessern.

## Abstract

Worldwide, one billion people are affected by vitamin D deficiency. Numerous research studies from recent years indicate that vitamin D is not only essential for healthy bones, but that a variety of diseases are linked to a deficiency. Humans meet most of their vitamin D requirement through sun exposure. An adequate vitamin D supply however, is affected by geographic as well as seasonal differences, due to the variable intensity of UV radiation. To avoid vitamin D deficiency, the consumption of foods containing vitamin D constitutes a valid option. Nonetheless, sources to cover the vitamin D requirement sufficiently through aliment are limited. Mushrooms are a possible source of vitamin D, though mushrooms available on the market are being cultivated under exclusion of UV light, so the stimulation for forming vitamin D<sub>2</sub> is suppressed. In order to exploit their potential as a source of vitamin D, the use of UV irradiation represents an innovative possibility. UV exposure converts ergosterol, a preliminary stage of vitamin D<sub>2</sub> contained in the cell membrane of mushrooms, into considerable amounts of vitamin D<sub>2</sub>, known as ergocalciferol. The extent to which UV light exposed mushrooms with ergocalciferol serving as a functional food can improve vitamin D supply is the subject of this work. The results of systematic literature research indicate that ergocalciferol from UV light-exposed mushrooms is bioavailable and positively affects the vitamin D<sub>2</sub> status (25(OH)D<sub>2</sub>). However, disagreement remains as to whether vitamin D supply on the basis of 25(OH)D can be improved by ergocalciferol from vitamin D-enriched mushrooms. This circumstance emphasizes the need for further research on the efficiency of ergocalciferol in increasing serum 25(OH)D levels. Nevertheless, UV light-exposed mushrooms serving as a functional food constitute a promising approach to improving vitamin D supply.

# 1 Problem und- Zielstellung

Der Vitamin-D-Status des Menschen stellt einen wichtigen Faktor für die menschliche Gesundheit dar. Vitamin D nimmt eine zentrale Rolle bei der Regulation des Calcium- und Phosphathaushalts ein und zeigt immunmodulatorische Eigenschaften auf. Neben den klassischen Krankheitsbildern wie Rachitis im Kindesalter und Osteomalazie im Erwachsenenalter, die mit einem Vitamin-D-Mangel einhergehen, scheint eine unzureichende Zufuhr das Risiko für verschiedene Krebsarten, entzündliche Erkrankungen und Autoimmunerkrankungen wie Diabetes oder neurologische Krankheiten zu erhöhen (Böckler, et al., 2011).

Unter den Vitaminen nimmt das Vitamin D eine Sonderrolle ein, da es sowohl durch endogene Synthese mithilfe der UVB-Strahlung gebildet wird, als auch exogen durch Zufuhr über die Nahrung aufgenommen werden kann (Linseisen, et al., 2011, S. 1). Beide Quellen sind jedoch begrenzt. Das liegt daran, dass nur wenige Lebensmittel nennenswerte Mengen an Vitamin D enthalten und immer mehr Menschen weniger Zeit dem Sonnenlicht ausgesetzt sind. Zur Vermeidung eines Mangels bietet sich die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln an. Jedoch nehmen lediglich 1,5 % der männlichen und 3,8 % der weiblichen Bevölkerung in Deutschland Vitamin-D-Supplemente ein (Hintzpeter, Mensink, Thierfelder, Müller, & Scheidt-Nave, 2008). Daher werden mehr Quellen von Vitamin-D-haltigen Lebensmitteln benötigt um die Vitamin-D-Versorgung über die Ernährung zu verbessern. Eine Anreicherung von Lebensmitteln mit Vitamin D kann die bestehende Vitamin-D-Unterversorgung beheben (Nikooyeh & Neyestani, 2021).

Bei stetig wachsendem Interesse an einer gesundheitlichen Optimierung gewinnt die Vitamin-D-Versorgung der Allgemeinbevölkerung an Bedeutung. Eine Möglichkeit stellt der Einsatz UV-Licht exponierter Pilze dar. Inwiefern UV-Licht angereicherte Pilze als funktionelles Lebensmittel die Vitamin-D-Versorgung verbessern können, soll Gegenstand der nachfolgenden Arbeit sein. Mittels einer systematischen Literaturrecherche soll diese Thematik behandelt werden.

Im ersten Abschnitt werden zum besseren Verständnis des Themas die theoretischen Grundlagen dargestellt. Hierbei wird zunächst im Allgemeinen auf Vitamin D und Pilze eingegangen. Darüber hinaus soll die UV-Behandlung von Pilzen erklärt und die Wirkweise der kontrollierten Lichtbehandlung ersichtlich werden. Aufgrund der vergleichsweisen neuen Technologie der UV-Bestrahlung von Pilzen gelten diese als neuartige Lebensmittel (Novel Food). Für eine Zuordnung zu der Kategorie funktionelle Lebensmittel werden die Begriffe funktionelle Lebensmittel, Novel Food und Nahrungsergänzungsmittel erläutert und voneinander abgegrenzt. Um den Einsatz UV-Licht exponierter Pilze zur Verbesserung der Vitamin-D-Versorgung zu untersuchen wird der Forschungsstand

anhand der systematischen Literaturrecherche vorgestellt und mit Hilfe eines PRISMA-Fluss-Diagramms (Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses) visualisiert. Die Rechercheergebnisse werden auf Basis des PICOS-Modells (Population, Intervention, Control, Outcome, Setting) zusammenfassend dargestellt. Zudem zeigt ein Marktcheck die aktuelle Verfügbarkeit UV-Licht exponierter Pilze im Lebensmittelhandel. Zuletzt werden die unterschiedlichen Ergebnisse diskutiert und in einem abschließenden Fazit bewertet.

## 2 Theoretische Grundlagen

Die Erläuterung der theoretischen Grundlagen soll in erster Linie dazu dienen, eine Basis für die Beantwortung der Forschungsfrage zu schaffen. Dieser Abschnitt der Arbeit gibt zunächst einen Überblick zu dem aktuellen Wissensstand über Vitamin D, beschreibt den Aufbau von Pilzen und das Verfahren zur UV-Bestrahlung und definiert darüber hinaus welche Voraussetzungen ein Lebensmittel erfüllen muss um als funktionell zu gelten.

### 2.1 Vitamin D

Vitamin D bzw. Calciferole sind eine Gruppe fettlöslicher (lipohiler) Vitamine, die zu den Steroiden gehören (Brigelius-Flohé R. , 2014, S. 712), (Lehmann, 2012, S. 1).

Die wichtigsten Calciferole sind:

- Vitamin D<sub>3</sub> (Cholecalciferol) tierischen Ursprungs oder endogener Synthese
- Vitamin D<sub>2</sub> (Ergocalciferol) pflanzlichen Ursprungs

Ausgangssubstanz von Vitamin D ist das Cholesterin. Durch Stoffwechselfvorgänge, die zusätzlich zahlreichen Steuerungsmechanismen unterliegen, wird im Körper die aktive Form des Vitamin D, das Calcitriol gebildet. Calcitriol ist mit den Steroidhormonen verwandt und wird endogen gebildet, deshalb handelt es sich bei Vitamin D um kein Vitamin im klassischen Sinne, es hat eher die Eigenschaft eines Hormons (Horn, 2021, S. 489), (Brigelius-Flohé, Blaut, & Klaus, 2009, S. 880). Bis in die 1970er Jahre hinein galt der Knochen als einziges Zielorgan der Vitamin-D-Wirkung. Mit dem Nachweis des Calcitriol, stellte sich schließlich heraus, dass dem Vitamin D eine weitreichendere Bedeutung zukommt als zuvor angenommen (Spitz, 2018, S. 25), (Gröber & Holick, 2020, S. 80-81).

Der Begriff „Vitamin D“ umfasst diverse Vitamin-D-Metaboliten, die es zu differenzieren gilt (Horn, 2021, S. 489-492):

- Cholecalciferol (Vitamin D<sub>3</sub>) entsteht endogen aus seinem Provitamin 7-Dehydrocholesterin (7-DHC) unter Lichteinfluss oder wird exogen zugeführt.
- Ergocalciferol (Vitamin D<sub>2</sub>) wird ausschließlich exogen aus pflanzlicher Nahrung zugeführt
- Calcidiol (25(OH)D) entsteht in der Leber durch eine Hydroxylierung aus Cholecalciferol oder Ergocalciferol und wird als Messgröße für den Vitamin-D-Status herangezogen, somit besteht Calcidiol aus 25-Hydroxy-Cholecalciferol (25(OH)D<sub>3</sub>) und 25-Hydroxy-Ergocalciferol (25(OH)D<sub>2</sub>).
- Calcitriol (1,25(OH)<sub>2</sub>D) entsteht in der Niere durch eine zweite Hydroxylierung aus Calcidiol und ist der biologisch aktive Metabolit des Vitamin D.

### 2.1.1 Struktur

Cholecalciferol (Vitamin D<sub>3</sub>) und Ergocalciferol (Vitamin D<sub>2</sub>) sind chemisch nicht identisch, münden jedoch in den gleichen Stoffwechselweg. Ergocalciferol unterscheidet sich vom Cholecalciferol einzig durch den Besitz einer Doppelbindung zwischen C22 und C23 sowie einer Methylgruppe an C24 der Seitenkette (siehe Abb.1) (Brigelius-Flohé R. , 2014, S. 712). Beide Formen besitzen dieselbe biologische Aktivität (1 µg = 40 I.E.) und unterscheiden sich bei täglicher Einnahme nicht in ihrer Wirkung (Gröber & Holick, 2020, S. 39).

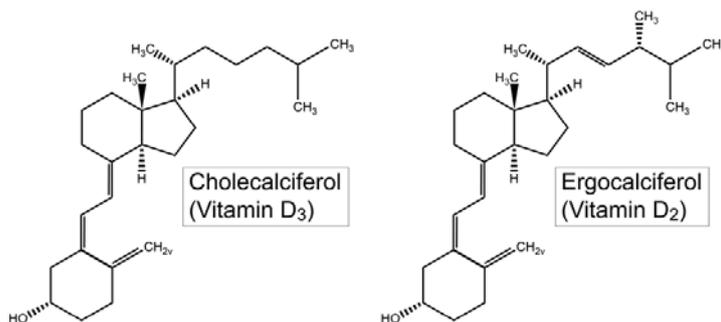


Abbildung 1 Strukturformel von Vitamin D<sub>3</sub> und Vitamin D<sub>2</sub>, modifiziert nach (Lehmann, 2012, S. 1)

Cholecalciferol (Vitamin D<sub>3</sub>) wird hauptsächlich in der Epidermis durch UVB-Strahlung gebildet, es kann aber auch oral über tierische Nahrung aufgenommen werden. Ergocalciferol (Vitamin D<sub>2</sub>) kann der Körper nicht herstellen. Ergocalciferol wird aus dem Provitamin Ergosterol, welches in Pilzen

und Hefen vorkommt, mit Hilfe von UV-Licht gebildet. Beide Calciferole haben als Ergebnis das Calcitriol ( $1,25(\text{OH})_2\text{D}$ ) (Lehmann, 2012, S. 1-4).

## 2.1.2 Endogene Synthese und Metabolismus

Der Hauptbedarf an Vitamin D wird durch die endogene Synthese gedeckt. Wenn menschliche Haut der Sonnenbestrahlung ausgesetzt wird, ist sie in der Lage diese Strahlen zu absorbieren und durch Photolyse das Prävitamin  $\text{D}_3$  zu bilden (Holick, 2012, S. 67). Zwischen 50 % und 90 % des Vitamin-D-Bedarfs könnten durch den richtigen Umgang mit der Sonne abgedeckt werden. Der Rest wird über die Nahrung aufgenommen (Sizar, Khare, Bansal, & Givler, 2021).

Die Synthese und der Metabolismus von Vitamin D laufen in mehreren Schritten ab (siehe Abb.2): Der erste Syntheseschritt beginnt in der Leber. Aus dem Cholesterin wird in der Leber das 7-DHC, das weiter zur Haut transportiert wird. Unter Einfluss von Sonnenlicht im Wellenbereich von 290-315 Nanometern (nm) wird aus dem 7-DHC das Prävitamin  $\text{D}_3$  gebildet. Damit es bei einer exzessiven Sonneneinwirkung zu keiner Vitamin-D-Intoxikation kommt, wird das Prävitamin  $\text{D}_3$  in die Abbauprodukte Lumisterol und Tachysterol aufgespalten und inaktiviert. Durch die Körpertemperatur wird das Prävitamin  $\text{D}_3$  in das Cholecalciferol (Vitamin  $\text{D}_3$ ) umgewandelt. Anschließend gelangt das Cholecalciferol über den Blutkreislauf zurück in die Leber. Dazu wird es an das Transportmolekül, das Vitamin-D-bindende Protein (VDBP), gebunden. VDBP transportiert nicht nur das aus der Haut stammende Cholecalciferol, sondern auch das aus der Nahrung aufgenommene Cholecalciferol (z.B. fetter Seefisch) bzw. Ergocalciferol (z.B. Pilze) zur Leber. Hier entsteht durch einfache Hydroxylierung aus Cholecalciferol oder Ergocalciferol das Calcidiol ( $25(\text{OH})\text{D}$ ). Der letzte Syntheseschritt erfolgt in der Niere, durch das Enzym 1-alpha-Hydroxylase ( $1\alpha\text{OHase}$ ) wird das Calcidiol in das biologisch aktive Steroidhormon Calcitriol ( $1,25(\text{OH})_2\text{D}$ ) umgewandelt. Anschließend wird das Calcitriol in den Blutkreislauf abgegeben, wo es seine Wirkung entfaltet (Gröber & Holick, 2020, S. 36-38), (Brigelius-Flohé, Blaut, & Klaus, 2009, S. 880).

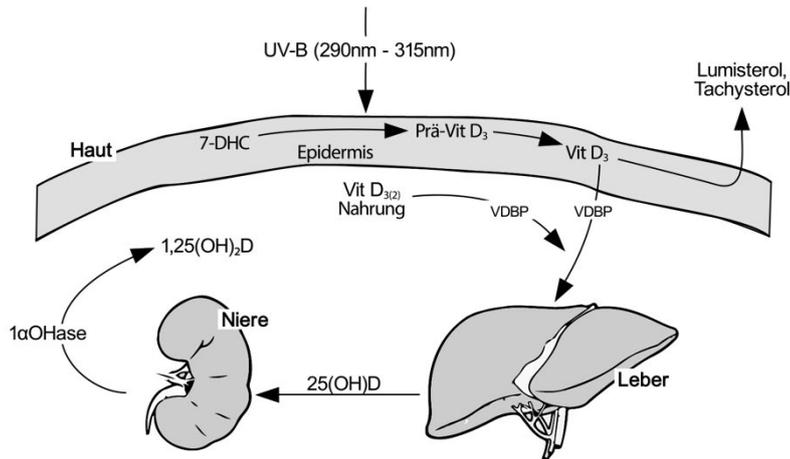


Abbildung 2 Synthese und Metabolismus von Vitamin D, modifiziert nach (Lehmann, 2012, S. 4)

Die endogene Vitamin-D-Synthese mithilfe des Sonnenlichts wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Neben dem Alter, der Hautpigmentierung und der Exposition der Körperoberfläche, hängt die Syntheseleistung wesentlich von der Wellenlänge und der Intensität der Sonnenstrahlung ab. Der UV-Index (UVI) ist ein Maß für die Intensität der Strahlung und muss Werte von 3 und höher erreichen um eine adäquate Vitamin-D-Bildung zu sichern. In Deutschland wird nur von April bis September bei optimalen Bedingungen ein UV-Index von 3 erreicht, sodass ca. 6 Monate im Jahr keine ausreichende Versorgung mit Vitamin D gewährleistet werden kann. Zudem blockiert die Verwendung von Sonnenschutzmitteln, ab einem Lichtschutzfaktor (LSF) von 30, die endogene Synthese über 95 % und wird somit zur Hürde für eine natürliche Vitamin-D-Aufnahme (Gröber & Holick, 2020, S. 33, 53-62). Die Halbwertszeit von Calcidiol beträgt nur 2-3 Wochen und von Calcitriol lediglich 2-3 Stunden. Vitamin D hat also nur eine begrenzte Speicherkapazität. Demnach ist die Annahme, im Zeitraum von April bis September gebildetes Vitamin D würde gespeichert und in den Wintermonaten freigesetzt werden, nicht zutreffend (Pilz, et al., 2018).

### 2.1.3 Funktion

Bedingt durch die Fortschritte in der Vitamin-D-Forschung wird inzwischen deutlich, dass Calcitriol an spezielle Vitamin-D-Rezeptoren (VDR), die in fast jedem Gewebe vorkommen, bindet und somit an der Steuerung von etwa 6000 Genen beteiligt ist (Linseisen, et al., 2011, S. 1), (Reinecke, 2018, S. 78). Bekanntermaßen wirkt Calcitriol an der Regulation der Calcium- und Phosphathomöostase mit und fördert dadurch den Knochenstoffwechsel. Die klassischen Zielorgane sind hierfür Knochen, Niere und Darm. Darüber hinaus ist Calcitriol an den Mechanismen der Pankreasfunktion beteiligt und damit für die Insulinsekretion erforderlich (DAZ, 2005, S. 49). Zudem wurden Calcitriolwirkungen unter anderem in Endothelzellen der Aorta, Prostatazellen, Muskelzellen (Herz), Monozyten,

Neuronen, Keratinozyten der Haut, Zellen der Plazenta und T-Lymphozyten gefunden. Demnach wurden VDR in mehr als 30 Zielgeweben nachgewiesen (Pietrzik, Golly, & Loew, 2008, S. 261).

## 2.2 Vitamin-D-Mangel und dessen Folgeerkrankungen

In unseren Breitengraden gilt Vitamin D als ein besonders kritischer Nährstoff, da in Deutschland aufgrund des Sonnenstandes nur zwischen April und September genügend Ultraviolettes Licht auf die Haut strahlt, um eine Vitamin-D-Synthese anzuregen. Die Konsequenz aus einer unzureichenden Sonnenbestrahlung schlägt sich besonders im Winterhalbjahr in einem Vitamin-D-Mangel der Bevölkerung nieder (Rabenberg & Mensink, 2016, S. 39). Die Klassifizierung eines Vitamin-D-Mangels wird seit einigen Jahren kontrovers diskutiert. Als Standard zur Beurteilung gilt die Bestimmung von 25(OH)D (Calcidiol) im Serum, auf die im Kapitel 2.3.1 ausführlicher eingegangen wird. Infolge einer ungenügenden Vitamin-D-Zufuhr fällt der Calcium- und Phosphatspiegel ab und äußert sich in Symptomen am Knochen- und Nervensystem. Neben Rachitis im Kindesalter erhöht ein Vitamin-D-Mangel das Risiko für eine Osteoporose und kann bei einem ausgeprägten Mangel eine Osteomalazie im Erwachsenenalter auslösen. Darüber hinaus werden mit einem defizitären Vitamin-D-Spiegel eine Vielzahl weiterer Krankheiten assoziiert. Dazu zählen kardiovaskuläre Herzerkrankungen, Bluthochdruck, Krebserkrankungen, Infektionskrankheiten, Psoriasis, Multiple Sklerose, Diabetes Typ 1, Diabetes Typ 2 und entzündliche Darmerkrankungen wie Colitis ulcerosa und Morbus Crohn (Pietrzik, Golly, & Loew, 2008, S. 277-278), (Amrein, et al., 2020), (Charoenngam & Holick, 2020).

Zudem gibt es spezielle Risikogruppen bei denen ein erhöhtes Risiko für einen mangelnden 25(OH)D-Serumspiegel besteht (Zittermann, 2018, S. 26):

- Menschen die ihren Alltag überwiegend in Innenräume verlagern
- Menschen die Sonnenschutzmittel mit hohem Lichtschutzfaktor verwenden
- Menschen mit dunkler Hautpigmentierung
- Menschen die sich aus kulturellen bzw. religiösen Gründen vollständig bedeckt im Freien aufhalten
- Menschen die wegen chronischen Krankheiten oder Pflegebedürftigkeit nicht nach draußen gehen können
- Menschen mit Malabsorptionssyndrom
- Menschen mit chronischen Nierenerkrankungen
- Veganerinnen und Veganer
- Säuglinge

## 2.3 Vitamin-D-Versorgung

In fast allen industrialisierten Ländern zeigen epidemiologische Studien eine mangelnde Vitamin-D-Versorgung auf (Amrein, et al., 2020, S. 1499,1500). Eine Maßnahme zur Verbesserung der Vitamin-D-Versorgung der Allgemeinbevölkerung ist seit Jahren bekannt und zielt auf die erhöhte Sonnenexposition und demzufolge auf die körpereigene Vitamin-D-Bildung in der Haut ab. Gegenwärtig wird diese Maßnahme aufgrund der karzinogenen Wirkung von UV-Licht jedoch kritisch betrachtet und nicht mehr empfohlen. Weitere Möglichkeiten zur Erhöhung der Vitamin-D-Aufnahme bieten die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln oder der Verzehr Vitamin-D-angereicherter Lebensmittel (Zittermann, 2020, S. 400). Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) weist allerdings darauf hin, dass die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln ärztlich abzuklären ist um langfristige gesundheitliche Beeinträchtigung durch hochdosierte Vitamin-D-Präparate auszuschließen (BfR, 2020, S. 1). Demnach bedarf die Einnahme von Supplementen einer klaren medizinischen Indikation. Die Vitamin-D-Anreicherung von Lebensmitteln gewährleistet hingegen eine sichere Versorgung mit Vitamin D und wird in einigen Ländern bereits erfolgreich eingesetzt. Dieser Erfolg wird durch die Ergebnisse des EU-finanzierten Projektes ODIN (Food-based solutions for optimal Vitamin D nutrition and health through the life cycle) zur Vitamin-D-Versorgung in 14 europäischen Ländern belegt. Um ein repräsentatives Abbild über den Versorgungsstatus der Allgemeinbevölkerung zu erhalten, wurden 15.844 Teilnehmer aller Altersgruppen eingeschlossen. Während im Ländervergleich Deutschland schlechte Werte erreichte, konnte Finnland den höchsten Vitamin-D-Status aufweisen. Dieses Resultat lässt sich auf den Einsatz angereicherter Lebensmittel mit Vitamin D zurückführen (Cashman, et al., 2016).

### 2.3.1 Parameter zur Beurteilung der Versorgung

Die Beurteilung der Gesamtversorgung zur Vitamin-D-Zufuhr aus der Ernährung und endogener Synthese erfolgt anhand einer labordiagnostischen Bestimmung des 25(OH)D-Spiegels im Blutserum. 25(OH)D, Calcidiol, ist die im Blut zirkulierende Transport- und Speicherform und hat als klinischer Parameter hohe Aussagekraft. Das Calcidiol im Serum besteht aus 25-Hydroxy-Cholecalciferol (25(OH)D<sub>3</sub>) und 25-Hydroxy-Ergocalciferol (25(OH)D<sub>2</sub>) (Pietrzik, Golly, & Loew, 2008, S. 29-33). Die Stadien des Vitamin-D-Status richten sich nach festgelegten Referenzwerten (siehe Tab.1). Diese werden von der Fachgesellschaft für Ernährung in Deutschland (DGE) herausgegeben und orientieren sich an den Definitionen des Institute of Medicine (IOM), des National Institute of Health (NIH) und der World Health Organization (WHO).

Tabelle 1 Stadien des Vitamin-D-Status, modifiziert nach (National Institutes of Health, 2018)

Serum-25(OH)D nmol/L	Serum-25(OH)D ng/mL	Versorgungsstatus
< 30	< 12	mangelhaft
30 - 50	12 - 20	unzureichend
≥50	≥20	ausreichend
>125	>50	potenziell schädlich
Der 25(OH)D wird in ng/mL oder in nmol/L angegeben, ng/mL werden mit dem Faktor 2,5 multipliziert um den 25(OH)D-Spiegel in nmol/L zu bestimmen.		

Nach Tabelle 1 werden 25(OH)D-Serumkonzentrationen >125 nmol/L als potenziell schädlich angesehen und erhöhen das Risiko für eine Hypercalcämie. Serumkonzentrationen ≥50 nmol/L gelten als ausreichend. Bei Konzentrationen zwischen 30 und <50 nmol/L liegt eine unzureichende Versorgung mit möglichen Folgen für die Knochengesundheit vor. Konzentrationen <30 nmol/L weisen auf eine mangelhafte Versorgung hin und erhöhen das Risiko für z.B. Rachitits und Osteomalzie.

### 2.3.2 Versorgungslage in Deutschland

Nach den Daten der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1), die zwischen 2008 und 2011 an 6.995 Teilnehmenden vom Robert Koch-Institut durchgeführt wurde, ergeben sich für die Bevölkerung zwischen 18 und 79 Jahren Defizite in der Vitamin-D-Versorgung. Zur Berechnung wurden die 25(OH)D-Serumwerte zugrunde gelegt, demnach weisen 30,2% der Erwachsenen (29,7% der Frauen und 30,8% der Männer) einen mangelnden Vitamin-D-Status auf (siehe Tab.2).

Tabelle 2 25(OH)D- Serumkonzentrationen von Frauen und Männern, modifiziert nach (Rabenberg & Mensink, 2016, S. 38)

	25(OH)D < 30 nmol/L		25(OH)D 30-<50 nmol/L		25(OH)D ≥50	
	Frauen %	Gesamt %	Frauen %	Gesamt %	Frauen %	Gesamt %
<b>Alter</b>						
18-29 Jahre	25,1	28,4	28,4	28,8	46,5	42,8
30-44 Jahre	31,8	32,8	25,9	27,2	42,4	40,0
45-64 Jahre	28,8	29,6	34,5	32,8	36,8	37,7
65-79 Jahre	32,9	30,0	36,9	36,5	30,1	33,5
<b>Sozioökonomischer Status</b>						
Niedrig	37,6	38,6	37,1	33,5	25,3	28,0
Mittel	28,7	29,0	30,5	30,8	40,7	40,2
Hoch	22,8	24,8	30,6	31,3	46,6	43,8
<b>Gesamt</b>	<b>29,7</b>	<b>30,2</b>	<b>31,8</b>	<b>31,3</b>	<b>38,6</b>	<b>38,4</b>
<b>Alter</b>						
	25(OH)D < 30 nmol/L		25(OH)D 30-<50 nmol/L		25(OH)D ≥50	
	Männer %	Gesamt %	Männer %	Gesamt %	Männer %	Gesamt %
<b>Alter</b>						

18-29 Jahre	31,6	28,4	29,1	28,8	39,3	42,8
30-44 Jahre	33,8	32,8	28,5	27,2	37,7	40,0
45-64 Jahre	30,4	29,6	31,1	32,8	38,5	37,7
65-79 Jahre	26,6	30,0	36,0	36,5	37,4	33,5
Sozioökonomischer Status						
Niedrig	39,6	38,6	29,6	33,5	30,8	28,0
Mittel	29,2	29,0	31,1	30,8	39,7	40,2
Hoch	26,5	24,8	31,9	31,3	41,6	43,8
<b>Gesamt</b>	<b>30,8</b>	<b>30,2</b>	<b>30,9</b>	<b>31,3</b>	<b>38,3</b>	<b>38,4</b>

Bei Frauen nimmt mit zunehmendem Alter der Vitamin-D-Mangel zu, während bei Männern keine Unterschiede bezüglich des Alters beobachtet werden konnten. Außerdem zeigen die Daten, dass Frauen und Männer mit niedrigem sozioökonomischem Status häufiger einen Mangel aufweisen als Frauen und Männer mit hohem sozioökonomischem Status. Zudem unterliegt die Vitamin-D-Versorgung saisonalen Schwankungen. Während im Sommer nur 8,3 % der Männer und Frauen mangelhaft mit Vitamin D versorgt sind, weisen im Winter bereits 52,0 % einen Mangel auf (Rabenberg, et al., 2015, S. 36-38). Ebenso zeigen die Daten des bundesweiten Kinder- und Jugendgesundheits-survey (KiGGS) an 3.437 deutschen Kindern und Jugendlichen im Alter von 4-17 Jahren, dass lediglich 36,1% der Kinder und Jugendlichen ausreichende 25(OH)D-Serumwerte von >50 nmol/L aufweisen (Bös, Schmidt, Bergmann, Lämmle, & Koletzko, 2012).

### 2.3.3 Zufuhrempfehlungen

Bei fehlender endogener Synthese, betroffen sind hier zum Beispiel die in Kapitel 2.2 genannten Risikogruppen, kann laut der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) die Zufuhr für eine optimale Versorgung mit Vitamin D nicht mit den üblichen Lebensmitteln sichergestellt werden. Zur Deckung des Tagesbedarfs für Kinder, Jugendliche und Erwachsene ist dann eine tägliche Zufuhr von 20 µg Vitamin D notwendig. Vitamin D wird in Mikrogramm (µg) oder in internationalen Einheiten (IE) angegeben, 1 µg entspricht 40 IE bzw. 1 IE entspricht 0,025 µg (Tab.3) (DGE, 2012).

Tabelle 3 Zufuhrreferenzwerte der DGE und der EFSA, modifiziert nach (DGE, 2012), (EFSA, 2016)

Alter	Zufuhrempfehlung der DGE bei fehlender endogener Synthese in µg/Tag	Zufuhrempfehlung der EFSA bei minimaler endogener Synthese in µg/Tag
0 bis unter 12 Monate	10	10
ab 1 Jahr und Erwachsene	20	15
1 µg = 40 Internationale Einheiten (IE)		

Bei der Annahme einer minimalen endogenen Synthese definiert die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) eine tägliche Aufnahmemenge von 15 µg Vitamin D für Kinder, Jugendliche und Erwachsene. Für Säuglinge wird ein Referenzwert von 10 µg pro Tag festgelegt (EFSA, 2016).

#### 2.3.4 Vitamin-D-Zufuhr über Lebensmittel

Der Beitrag an der Versorgung mit Vitamin D durch Lebensmittel spielt mit ca. 10-20 % eine untergeordnete Rolle, da nur wenige Lebensmittel wie zum Beispiel fetter Seefisch, bestimmte Innereien, Pilze und Eier nennenswerte Mengen an Vitamin D enthalten (Linseisen, et al., 2011, S. 3). Nach den Daten der Nationalen Verzehrstudie (NVS II) des Max Rubner-Instituts (MRI) erreichen 82 % der Männer und 91 % der Frauen die empfohlene Vitamin-D-Zufuhr nicht. Die durchschnittliche Vitamin-D-Aufnahme pro Tag liegt bei Männern bei 2,9 µg und bei Frauen bei 2,2 µg. Dabei stammt die aufgenommene Menge an Vitamin D an vorderster Stelle aus Fisch und Fischerzeugnissen, gefolgt von Eiern, Milch und Milcherzeugnissen (MRI, 2008, S. 109-110). Dennoch kann die exogene Zufuhr unter kritischen Bedingungen, wie sie beispielsweise für die Risikogruppen die unter 2.2 aufgeführt sind, von Bedeutung sein.

Die ungenügende Vitamin-D-Zufuhr über Lebensmittel ist auf den geringen Gehalt an Vitamin D in unseren Grundnahrungsmitteln zurückzuführen. Eine effektive Möglichkeit den Vitamin-D-Haushalt über die Ernährung signifikant zu verbessern, stellt eine Anreicherung von Lebensmitteln dar. In vielen Ländern wie den USA, Kanada, Indien und Finnland wird die Anreicherung erfolgreich praktiziert. Grundlagen zur Wirksamkeit und Sicherheit der Vitamin-D-Anreicherung bilden jüngste Forschungen aus Finnland (Pilz, et al., 2018). Für die Sicherheit zur Anreicherung von Lebensmitteln in Deutschland hat das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) ein Konzept erstellt. Nach dem Anreicherungskonzept werden Milch und Milchprodukte, Brot und Getreideprodukte, Streichfette, Speiseöle und zusätzlich UV-behandelte Lebensmittel berücksichtigt (BfR, 2021). Seit einigen Jahren dürfen neben Milch, Brot und Bäckerhefe auch Pilze mit UV-Strahlen behandelt werden (2017/2470/EU) (2018/1023/EU).

#### 2.4 Pilze

Die Pilze werden in der Biologie dem Pflanzenreich zugeordnet. 70.000 bis 100.000 verschiedene Arten von Pilzen sind bekannt, wovon aber nur ein kleiner Anteil essbar ist. Der Pilz besteht größtenteils aus dem Geflecht (Myzel) und den Pilzfäden (Hyphen) die unterirdisch verlaufen. Die Fruchtkörper liegen oberirdisch und dienen der Fortpflanzung (siehe Abb.3) (Rimbach, Nagursky,

& Erbersdobler, 2015, S. 200-201). Pilze zählen zu den Lagerpflanzen, durch das Fehlen des Chlorophylls haben Pilze nicht die Fähigkeit zur Assimilation. Sie leben deshalb saprophytisch, das heißt zum Leben benötigte Nährstoffe werden aus toten Substraten aufgenommen (Ternes, Täufel, Tunger, & Zobel, 2005, S. 1429). Durch diese Tatsache benötigen Pilze zum Wachstum kein Licht und können je nach Sorte unter Lichtausschluss kultiviert werden (Lelley, 1991, S. 188, 219). Pilze lassen sich in 4 Klassen gliedern: 1. Urpilze (Archimycetes), 2. Algenpilze (Phycomycetes), 3. Schlauchpilze (Ascomycetes), 4. Ständerpilze (Basidiomycetes) (Ternes, Täufel, Tunger, & Zobel, 2005, S. 1430). Im Gegensatz zu Pflanzen besitzen Pilze in den Zellmembranen Ergosterol (Provitamin D<sub>2</sub>), welches mit dem Cholesterin in tierischen Zellen vergleichbar ist. Dadurch sind Pilze in der Lage unter Einwirkung von UV-Licht Vitamin D<sub>2</sub> zu bilden (Glogowski, 2015, S. 363).

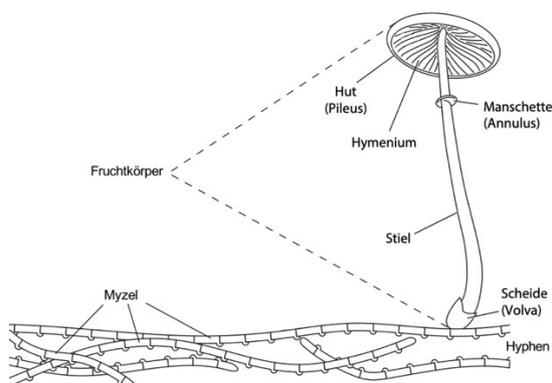


Abbildung 3 Pilz Aufbau, modifiziert nach (Boenigk, 2021, S. 531)

## 2.4.1 Speisepilze

Speisepilze werden überwiegend der Klasse der Ständerpilze (Basidiomycetes) und einige wenige der Klasse der Schlauchpilze (Ascomycetes) zugeordnet. Bei Speisepilzen handelt es sich um die essbaren Fruchtkörper, die aufgrund ihres Geschmacks und guten küchentechnischen Eigenschaften gerne verwendet werden. Das Aussehen der Speisepilze ist vielfältig und kann scheiben-, stern-, knollen-, becher- oder hutartige Formen annehmen. Inzwischen werden die meisten Speisepilze kultiviert. Dabei werden die Pilze unter optimalen Bedingungen auf verschiedenen Nährsubstraten angebaut. Als Nährsubstrate dienen je nach Pilzart Stroh, Stammabschnitte, Holz, Spähne, Rinde sowie Laub und Nadeln von Bäumen (Ternes, Täufel, Tunger, & Zobel, 2005, S. 1006-1007). Zu den kommerziell angebauten Pilzen gehören unter anderem der Kulturchampignon (*Agaricus bisporus*), der Austernpilz (*Pleurotus ostreatus*) und der Shiitake-Pilz (*Lentinus edodes*). Frischgeerntet müssen Kulturpilze aufgrund des hohen Wassergehalts und der empfindlichen Oberfläche schnellstmöglich in den Handel gebracht werden. Da es sich bei Speisepilzen um ein verderbliches Produkt handelt existieren Vorschriften zum Umgang und Vermarktung (Rimbach, Nagursky, & Erbersdobler, 2015, S. 201-203).

## 2.4.2 Inhaltsstoffe

Frische Speisepilze bestehen zum größten Teil aus Wasser, der Gehalt beträgt je nach Sorte zwischen 85 % und 95 %. Der Kohlenhydratgehalt folgt mit einem geringeren Anteil, stellt jedoch eine stabile Größe dar. Charakteristisch für die Kohlenhydrate der Pilze ist das Fehlen von Stärke. Hauptsächlich enthalten Pilze Monosaccharide wie Mannose, Glukose, Ribose, Xylose und Threhalose. Außerdem enthalten Pilze einen hohen Rohfasergehalt an Chitin, dieser Ballaststoff ist auch für die schlechte Verdaulichkeit der Pilze verantwortlich. Der Fettgehalt mit etwa 2 % bis 8 % ist sehr gering. Die Fettsäuren setzen sich aus Linolsäure, Palmitinsäure, Stearinsäure, Arachidonsäure, Ölsäure und Laurinsäure zusammen. Pilze enthalten alle essentiellen Aminosäuren wie Glutamin, Alanin, Tryptophan, Prolin, Lysin und Serin. Der Anteil des freien Aminosäurenstickstoffs beträgt zwischen 17,5 % und 18,5 %. Mit den niedermolekularen Peptiden die zu den schwerflüchtigen Inhaltsstoffen gehören, sind diese stickstoffhaltigen Inhaltsstoffe für das charakteristische Aroma verantwortlich. Zu den wichtigsten Aroma- und Geschmacksstoffen zählen (R)-1-Octen-3-ol, (S)-Morelid, L-Glutaminsäure, L-Asparaginsäure,  $\gamma$ -Aminobuttersäure, Apfelsäure, Citronensäure, Essigsäure und 1,2,3,5,6-Pentathiepan. Der Gehalt an Mineralstoffen konzentriert sich vor allem im Hut und den Lamellen der Pilze und beträgt zwischen 5 % und 12 %. Nennenswerte Mengen bilden Kalium, Phosphor und Magnesium. Kulturpilze enthalten B-Vitamine und die Vitamin-D-Vorstufe Ergosterol. Wildwachsende Pilze enthalten durch den Einfluss von Sonnenlicht auch nennenswerte Mengen an Ergocalciferol (Vitamin D<sub>2</sub>) (Rimbach, Nagursky, & Erbersdobler, 2015, S. 202), (Lelley, 1991, S. 40-50).

## 2.5 UV-Licht

Ultraviolettes Licht (UV-Licht) fällt wie das Infrarot-Licht und das sichtbare Licht unter den Begriff „Optische Strahlung“ (Bundesamt für Strahlenschutz, 2021). Da die Wellenlänge des Lichts klein ist, wird der Begriff „Strahl“ verwendet, um die Ausbreitung zu beschreiben. Während Elektromagnetische Strahlung, im Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm als sichtbares Licht wahrgenommen wird und Infrarot-Strahlung (780-1400 nm) als Wärme spürbar ist, kann UV-Strahlung nicht wahrgenommen werden (Jüstel & Schwung, 2016, S. 75,95). Dennoch ist die UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm die energiereichste Strahlung (Tipler, Mosca, Kersten, & Wagner, 2019, S. 1027,1031).

Wegen der physikalischen und biologischen Eigenschaften wird die UV-Strahlung wie folgt unterteilt (Bundesamt für Strahlenschutz, 2021):

- UVA-Strahlung (Wellenlänge 400- 315 nm)

- UVB-Strahlung (Wellenlänge 315- 280 nm)
- UVC-Strahlung (Wellenlänge 280- 100 nm)

Während die Sonne eine natürliche Quelle von UV-Strahlung darstellt, kann diese auch künstlich mittels Lampen erzeugt werden.

## 2.6 UV-Behandlung von Pilzen

UV-Strahlung wird seit 1898 vorwiegend zur Abtötung von Mikroorganismen in Lebensmitteln und damit zur Verbesserung des mikrobiologischen Status eingesetzt (Matissek & Baltes, 2016, S. 221). Abgesehen von der Oberflächenentkeimung wird die UV-Behandlung zur Stimulation der Bildung von Vitaminen und sekundären Pflanzenstoffen verwendet. Erstmals wurde das Prinzip der UV-Behandlung von Lebensmitteln, zur Stimulation der Bildung von Vitamin D<sub>2</sub> aus Ergosterol, in den 1920er Jahren beschrieben (Holick, 2012, S. 64). Seit 2014 regelt die Verordnung für neuartige Lebensmittel (Novel Food) den Einsatz zur UV-Behandlung von Lebensmitteln in Europa (2014/396/EU). 2018 wurde die UV-Behandlung von kommerziell angebauten Pilzen als Novel Food zugelassen. Demnach dürfen kommerzielle Pilze der Sorte *Agaricus bisporus* verwendet und mit ultraviolettem Licht innerhalb des Wellenlängenbereichs von 200-800 nm bestrahlt werden (2018/1023/EU, S. 127). Das Prinzip der Bestrahlung mit UV-Licht von Pilzen beruht darauf, dass Pilze die unter Ausschluss von Licht kultiviert werden, die Vitamin-D-Vorstufe Ergosterol nicht metabolisieren können. Durch die Einwirkung von UV-Licht wird das in den Zellmembranen der Pilze enthaltene Ergosterol zunächst in das Prävitamin D<sub>2</sub> umgewandelt, das dann durch einen thermischen Prozess in das Vitamin D<sub>2</sub> (Ergocalciferol) isomerisiert wird (siehe Abb.4). Zur Stimulation von Vitamin D<sub>2</sub> wird Licht im UVB- und UVC-Wellenlängenbereich eingesetzt (Glogowski, 2015, S. 363). Die Besten Ergebnisse zur Stimulation können mit UVB-Strahlung im Wellenlängenbereich von 280-315 nm erzielt werden (Cardwell, Bornman, James, & Black, 2018).

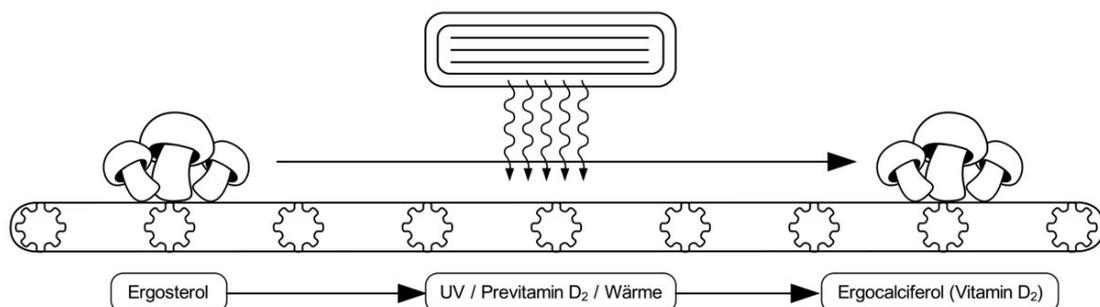


Abbildung 4 Schematische Darstellung der UV-Behandlung von Pilzen, (Eigene Darstellung)

Nach der UV-Behandlung dürfen die exponierten Pilze den Höchstgehalt von 10 µg Vitamin D<sub>2</sub> pro 100 Gramm Frischgewicht nicht überschreiten. Die UV-exponierten Pilze sind wie folgt zu Kennzeichnen (2018/1023/EU, S. 56):

- „UV-behandelte Pilze (*Agaricus bisporus*)“ und
- „der Vitamin-D-Gehalt wurde durch kontrollierte Lichtbehandlung erhöht“ oder
- „der Vitamin-D<sub>2</sub>-Gehalt wurde durch UV-Behandlung erhöht“

Eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch den Verzehr UV-Licht exponierter Pilze schließt das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) aus. Darüber hinaus liegen dem BfR keine Belege darüber vor, dass nach Aufnahme von Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht exponierten Pilzen eine Vitamin-D-Überdosierung entstehen kann (BfR, 2020, S. 1-2).

## 2.7 Funktionelle Lebensmittel

Durch die modernen Methoden der Lebensmittelherstellung und dem steigenden Interesse an der Selbstoptimierung eröffnet der Markt der funktionellen Lebensmittel gesundheitsbewussten Verbrauchern neue Optionen. Bei funktionellen Lebensmitteln handelt es sich um Lebensmittel, deren Nutzen über die primäre Funktion uns mit Nährstoffen und Energie zu versorgen hinausgeht. Neben dem Genuss tragen funktionelle Lebensmittel zur Steigerung des Wohlbefindens und zum Erhalt der Gesundheit bei (Matissek & Baltés, 2016, S. 23). Dabei können den funktionellen Lebensmitteln bei der Herstellung Pro- und Präbiotika, sekundäre Pflanzenstoffe, Omega-3-Fettsäuren, Ballaststoffe und Vitamine zugesetzt werden. Charakterisiert sind funktionelle Lebensmittel dadurch, dass es sich um konventionelle Lebensmittel des täglichen Verzehrs handelt. Der Wirkungsbereich der funktionellen Lebensmittel zielt auf den Magen-Darm-Trakt, das Herz-Kreislauf-System, das Gehirn und die Haut ab. Zur Optimierung von Lebensmitteln können sowohl traditionelle als auch modernste Technologien zum Einsatz kommen, dabei können folgende Möglichkeiten genutzt werden (Rimbach, Nagursky, & Erbersdobler, 2015, S. 374-375):

- Entfernung unerwünschter Bestandteile in Lebensmitteln (allergene Proteine)
- Erhöhung eines Inhaltsstoffes, der natürlicherweise im Lebensmittel enthalten ist (Vitamine)
- Einbringung eines Inhaltsstoffes, der nicht Bestandteil des Lebensmittels ist, aber positive Eigenschaften auf die Gesundheit bewirken kann (Präbiotika)
- Steigerung der Bioverfügbarkeit von Inhaltsstoffen im Lebensmittel, von denen bekannt ist, dass sie positive Eigenschaften besitzen

### 2.7.1 Begriffsdefinition

Der Ursprung des Terminus „funktionelle Lebensmittel“ liegt in Japan. Hier werden diese Lebensmittel als Food for Specific Health Use (FOSHU) bezeichnet und unterliegen einem staatlichen Zulassungsverfahren. In Europa wurden keine gesetzlichen Vorgaben zur Definition von funktionellen Lebensmitteln festgelegt. Es gelten die allgemeinen Vorschriften über das Inverkehrbringen von Lebensmitteln (Rimbach, Nagursky, & Erbersdobler, 2015, S. 373). Demnach bestimmt der Anbieter, ob sein Produkt die Bezeichnung „funktionelles Lebensmittel“ erhält. Eine weitere Begriffsbestimmung entstand 1995 durch eine Initiative der Europäischen Union (EU), im Rahmen des FUFOSSE-Projekts (Functional Food Science in Europe). Die erarbeitete Definition lautet demnach: „Ein Lebensmittel kann als funktionell betrachtet werden, wenn befriedigend gezeigt wurde, dass es eine oder mehrere Zielfunktionen im Körper über die entsprechenden Ernährungswirkungen hinaus positiv beeinflusst, entweder in Richtung auf Verbesserung bei Gesundheit und Wohlbefinden und/oder im Hinblick auf eine Senkung von Krankheitsrisiken. Dabei müssen Functional Food Lebensmittel bleiben und ihre Wirkungen in verzehrsüblichen Mengen entfalten. Sie sind keine Pillen oder Kapseln, sondern Bestandteile einer üblichen Ernährung“ (Hahn & Wolters, 2001, S. 357-358).

### 2.7.2 Abgrenzung der funktionellen Lebensmittel von Novel Food

Im Gegensatz zu funktionellen Lebensmitteln unterliegen Novel Foods in der Europäischen Union rechtliche Rahmenbedingungen. Novel Foods sind neuartige Lebensmittel, die vor dem 15. Mai 1997 noch nicht in nennenswertem Umfang für den menschlichen Verzehr verwendet wurden (BVL, o.J.) und in mindestens eine der in Artikel 3 der Novel Food-Verordnung (2015/2283/EU) genannten Gruppen fallen. Dazu gehören Lebensmittel:

- mit neuer oder gezielt modifizierter Molekularstruktur
- aus Pilzen, Algen, Mikroorganismen
- aus Stoffen mineralischen Ursprungs
- aus Tieren oder Teilen von Tieren
- aus Gewebekulturen
- die durch ein neuartiges Verfahren hergestellt wurden
- aus Nanomaterialien
- die Vitamine oder Mineralstoffe sind
- die in Nahrungsergänzungsmitteln nicht neuartig sind und nun in Lebensmitteln verwendet werden sollen

Neuartige Lebensmittel dürfen nur nach einem erfolgreichen Zulassungsverfahren auf den Markt gebracht werden (BVL, o.J.). Eine Abgrenzung der funktionellen Lebensmittel von Novel Food ist unproblematisch. Lebensmittel, die einen positiven Nutzen für die Gesundheit haben, gelten als funktionelles Lebensmittel. Wenn diese zusätzlich unter die in Artikel 3 der Novel Food-Verordnung genannten Kategorie fallen, müssen funktionelle Lebensmittel entsprechend der rechtlichen Vorschriften der Novel Food- Verordnung zugelassen werden.

### 2.7.3 Abgrenzung der funktionellen Lebensmittel von Nahrungsergänzungsmitteln

Nahrungsergänzungsmittel gehören zu den Lebensmitteln und unterliegen den allgemeinen Vorschriften über das Inverkehrbringen von Lebensmitteln (Matissek & Baltes, 2016, S. 24). Zusätzlich existieren für Nahrungsergänzungsmittel spezielle Vorgaben zur Kennzeichnung und Zusammensetzung. Die Umsetzung erfolgt nach der Nahrungsergänzungsmittelverordnung (NemV). Nach §1 der NemV sind Nahrungsergänzungsmittel Lebensmittel (NemV):

- die dazu bestimmt sind, die allgemeine Ernährung zu ergänzen
- die ein Konzentrat von Nährstoffen (Vitamine, Mineralstoffe, Spurenelemente) oder sonstigen Stoffen mit ernährungsspezifischer oder physiologischer Wirkung allein oder in Zusammensetzung darstellen
- die in dosierter Form, insbesondere in Form von Kapseln, Pastillen, Tabletten, Pillen, Pulverbeuteln, Flüssigampullen, Flaschen mit Tropfeinsätzen und ähnlichen Darreichungsformen von Flüssigkeiten und Pulvern zur Aufnahme in abgemessenen kleinen Mengen, in den Verkehr gebracht werden

Demnach erfolgt die Abgrenzung zu funktionellen Lebensmitteln durch die lebensmitteluntypischen Darreichungsformen und das Nahrungsergänzungsmittel lediglich ergänzend zur Ernährung der Allgemeinbevölkerung dienen (Matissek & Baltes, 2016, S. 24).

## 3 Methodik

Um die Forschungsfrage dieser Arbeit zu untersuchen, wurde die systematische Literaturrecherche als grundlegende Methode gewählt und erfolgte im Dezember 2021. Die Vorgehensweise der Literaturrecherche wurde nach den Kriterien des Manuals zur systematischen Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien durchgeführt (Blümle, et al., 2019). Die Auswertung der identifizierten,

aussortierten und ausgewählten Daten wurde anhand des PRISMA-Fluss-Diagramms dargestellt (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Group, 2009).

### 3.1 Systematische Literaturrecherche

Um Kenntnisse über den bestehenden Wissenstand zu erlangen wurde für eine erste Übersicht eine themenbezogene Vorabrecherche über die Suchmaschinen Google Scholar und ScienceDirect durchgeführt. Durch die Einarbeitung in das Themengebiet konnten wichtige Suchbegriffe eruiert und eine relevante Fragestellung abgeleitet werden. Dabei wurde das Themengebiet auf ausgewählte Suchbegriffe heruntergebrochen. Um einen möglichst umfassenden Überblick zu generieren, wurde die Literaturrecherche auf englischsprachige Veröffentlichungen ausgeweitet. Anhand der Vorabrecherche wurde für die Suche relevanter Studien die bibliografische Datenbank MEDLINE (Medical Literature Analysis and Retrieval System Online) ausgewählt. MEDLINE ist eine öffentlich zugängliche Datenbank vom National Center for Biotechnology Information (NCBI). Die Datenbank ist über die Suchoberfläche PubMed zugänglich und beinhaltet über 28 Millionen Quellen der Biomedizin. Durch den Einsatz von Filtern wird eine effiziente Suche mit Zugriff auf den Volltext ermöglicht (National Library of Medicine, 2021). Ein Zugriff auf die kostenpflichtigen Publikationen konnte zum Teil durch die institutionelle Anmeldung der Hochschule für angewandte Wissenschaften (HAW) ermöglicht werden.

### 3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Ausgehend von der Fragestellung wurden Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt, um Titel, Abstract und Volltext auf Relevanz zu überprüfen. Eingeschlossen wurden Studien aus den Jahren 2011-2021 in deutscher oder englischer Sprache. Die Ergebnisse geben Aufschluss über die Bioverfügbarkeit und Wirksamkeit von Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-bestrahlten Pilzen oder deren Extrakte und zeigen Veränderungen der 25(OH)D-Serumwerte. Entsprechend der Ausschlusskriterien wurden Publikationen, die die Veränderung der 25(OH)D-Serumwerte aus Vitamin-D<sub>2</sub>-Quellen, die nicht aus UV-Licht exponierten Pilzen stammen, nicht berücksichtigt (siehe Tab.4). Ebenso wurden in-vitro Studien ausgeschlossen.

Tabelle 4 Ein- und Ausschlusskriterien für die Auswahl der Studien, (Eigene Darstellung)

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprache: Englisch und Deutsch</li> <li>• Publikationen der letzten zehn Jahre</li> <li>• Vitamin D aus UV-bestrahlten Pilzen</li> <li>• Effekt UV-Licht exponierter Pilze auf 25(OH)D-Serumwerte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprache: andere als Englisch und Deutsch</li> <li>• Vitamin D<sub>2</sub> aus anderen Quellen als UV-Licht exponierten Pilzen</li> <li>• In-vitro Studien</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioverfügbarkeit und Wirksamkeit von Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht exponierten Pilzen</li> <li>• Vitamin D<sub>2</sub> Extrakte aus UV-Licht exponierten Pilzen</li> <li>• In-vivo Studien</li> </ul>	
---	--

### 3.3 Recherchestrategie

Die Suche nach relevanten Studien erfolgte über die Datenbank MEDLINE via Pubmed. Die für die Recherchestrategie festgelegten Suchbegriffe wurden in den Katalog eingegeben und auf das Vorhandensein von identischen Schlagwörtern überprüft. Daraus abgeleitete Schlagwörter wurden zur logischen Verknüpfung durch die Booleschen Operatoren ergänzt. Für die detaillierte Suche wurden die Operatoren AND und NOT gewählt. Die Recherche erfolgte in englischer Sprache. Die Suche wurde in verschiedenen Kombinationen durchgeführt. Demnach wurden zunächst die Schlagwörter „mushroom“, „vitamin D“, „UV“, „UVB“, „UVC“ und „bioavailability“ verwendet. Dadurch wurden vier Studien gefunden. Zusätzlich konnten über die Referenzen der Treffer drei weitere Publikationen aufgenommen werden (siehe Tab.5). Insgesamt wurden sieben Studien aufgenommen.

Tabelle 5 Ergebnisse der Recherche, (Eigene Darstellung)

Suche	Schlagwort	Filter	Tref-fer	Relevante Treffer	Studie
#1	Mushroom AND Vitamin D	2011 - 2021 Clinical Trial Meta-Analysis RCT Review Systematic Review	32	3	(Mehrotra, et al., 2014) Bioavailability of vitamin D <sub>2</sub> from enriched mushrooms in prediabetic adults: a randomized controlled trial  (Stephensen, et al., 2012) Ergocalciferol from mushrooms or supplements consumed with a standard meal increases 25-hydroxyergocalciferol but decreases 25-hydroxycholecalciferol in the serum of healthy adults  (Urbain, Singler, Ihorst, Biesalski, & Bertz, 2011) Bioavailability of vitamin D <sub>2</sub> from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial

#2	Mushroom AND Vitamin D AND UV	2011 - 2021 Clinical Trial Meta-Analysis RCT Review Systematic Review	12	3	<p>(Urbain, Singler, Ihorst, Biesalski, &amp; Bertz, 2011) Bioavailability of vitamin D<sub>2</sub> from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial</p> <p>(Stephensen, et al., 2012) Ergocalciferol from mushrooms or supplements consumed with a standard meal increases 25-hydroxyergocalciferol but decreases 25-hydroxycholecalciferol in the serum of healthy adults</p> <p>(Pinto, Merzbach, Willmott, Antonio, &amp; Roberts, 2020) Assessing the impact of a mushroom-derived food ingredient on vitamin D levels in healthy volunteers</p>
#3	Mushroom AND Vitamin D AND UVB	2011 - 2021 Clinical Trial Meta-Analysis RCT Review Systematic Review	5	2	<p>(Mehrotra, et al., 2014) Bioavailability of vitamin D<sub>2</sub> from enriched mushrooms in prediabetic adults: a randomized controlled trial</p> <p>(Urbain, Singler, Ihorst, Biesalski, &amp; Bertz, 2011) Bioavailability of vitamin D<sub>2</sub> from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial</p>
#4	Mushroom AND Vitamin D AND UVC	2011 - 2021 Clinical Trial Meta-Analysis RCT Review Systematic Review	0	0	
#5	Mushroom AND Vitamin D AND UV	2011 - 2021 Clinical Trial Meta-Analysis RCT	5	1	<p>(Urbain, Singler, Ihorst, Biesalski, &amp; Bertz, 2011) Bioavailability of vitamin D<sub>2</sub> from UV-B-irradiated button</p>

	AND Bioavail- ability	Review Systematic Re- view			mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial
Studie			Referenzenanzahl	Verwendete Studie	
(Mehrotra, et al., 2014) Bioavailability of vitamin D <sub>2</sub> from en- riched mushrooms in prediabetic adults: a randomized controlled trial			2	(Stepien, et al., 2013) Effect of supplementation with vitamin D <sub>2</sub> -enhanced mush- rooms on vitamin D status in healthy adults (Calvo, et al., 2012) Vitamin D <sub>2</sub> from light-exposed edible mushrooms is safe, bio- available and effectively sup- ports bone growth in rats	
(Kamweru & Tindibale, 2016) Vitamin D and Vitamin D from Ultravio- let-Irradiated Mushrooms (Review)			1	(Ozzard, Gurdip, Morrison, & Hoskin, 2008) Vitamin D deficiency treated by consuming UVB-irradiated mushrooms	

### 3.4 Literaturbewertung

Um eine hohe Aussagekraft der Studien zu gewährleisten erfolgte die Einschätzung der wissenschaftlichen Studien anhand der Evidenzhierarchie (siehe Abb.5). Demnach wurden, soweit es möglich war, randomisierte, doppel-blinde und Placebo-kontrollierte Studien bevorzugt. Reviews wurden ebenfalls betrachtet aber nicht herangezogen. Trotz eines niedrigen Evidenzlevels wurde eine Fallstudie aus dem Jahr 2008 mit aufgenommen. Aufgrund der geringen Anzahl an Treffern wurden die Einschlusskriterien neu definiert und in-vivo Studien mit aufgenommen. Ebenso eingeschlossen wurden Publikationen die den Verzehr aus den Extrakten von UV-Licht exponierten Pilzen untersuchten.

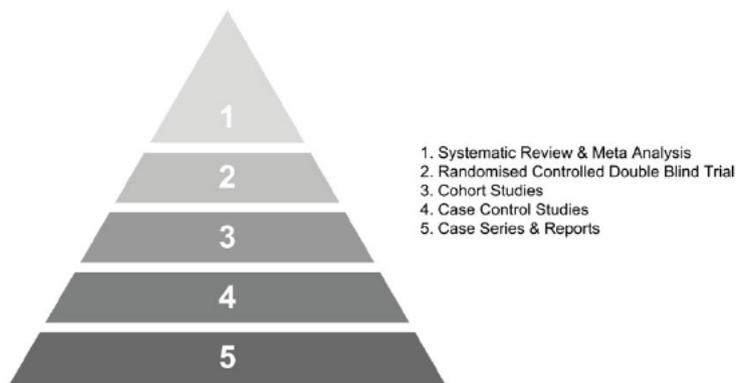


Abbildung 5 Evidenzpyramide, modifiziert nach (Deutsches Netzwerk Evidenzbasierte Medizin e.V.)

### 3.5 Literaturselektion und Studienauswahl

Bei der Recherche nach Literatur zur Beantwortung der Forschungsfrage konnten in PubMed insgesamt 54 Treffer ermittelt werden. Diese wurden in der Bibliothek des Literaturverwaltungsprogramms Zotero auf Duplikate überprüft. Durch Referenzen aus den ermittelten Studien konnten drei weitere Publikationen aufgenommen werden. Nach Ausschluss der Duplikate erfolgte zuerst ein Titel-Screening und nachfolgend zum weiteren Ausschluss ein Abstract-Screening. Zwei weitere Studien wurden nach näherer Betrachtung auf Eignung ausgeschlossen. Während die erste Studie aufgrund von fehlender Vergleichbarkeit mit den ausgewählten Studien aussortiert wurde, beantwortete die zweite Studie durch das Primär- und Sekundärziel nicht die vorliegende Forschungsfrage. Ebenso konnten drei Reviews ausgeschlossen werden da diese auf Basis bereits ausgewählter Primärstudien aufgebaut waren. Eine weitere Studie war nicht frei verfügbar. Demnach wurden insgesamt sieben Studien durch die systematische Literaturrecherche eingeschlossen (siehe Abb.6).

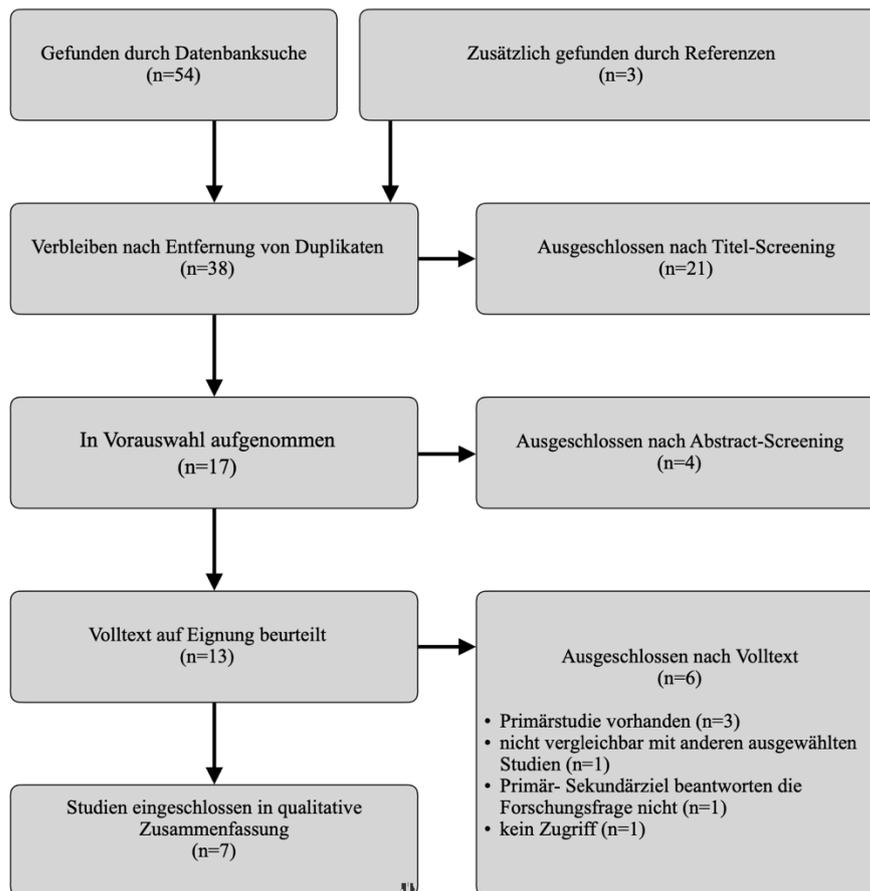


Abbildung 6 PRISMA-Fluss-Diagramm, modifiziert nach (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Group, 2009, S. 54)

## 4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche dargestellt. Nach Eignung der Treffer wurden insgesamt sieben Studien für die Ergebnisdarstellung herangezogen. Anschließend folgen die Ergebnisse der Marktbegehung für eine Einschätzung zur aktuellen Verfügbarkeit auf dem Markt.

### 4.1 PICOS- Modell

Folgend werden die sieben ausgewählten Studien nach dem PICOS-Modell (Population, Intervention, Control, Outcome, Setting) veranschaulicht.

Ziel	Population	Intervention	Control	Outcome	Setting
(Calvo, et al., 2012) Studie 1: Vitamin D <sub>2</sub> from light-exposed edible mushrooms is safe, bioavailable and effectively supports bone growth in rats					
Wirkung von Vitamin D <sub>2</sub> aus UVB-Licht exponierten Pilzen in Bezug auf die: 1. Bioverfügbarkeit 2. Wirksamkeit auf das Knochenwachstum 3. Sicherheit	Weibliche Sprague-Dawley Raten (Laborratten), 3 Wochen alt  10 Gruppen mit 30 Raten: n= 300	Diät 1: 2,5 % UVB-exponiertes Pilzpulver (300 I.E. Vit.D <sub>2</sub> pro Tag)  Diät 2: 5% UVB-exponiertes Pilzpulver (600 I.E. Vit.D <sub>2</sub> pro Tag)  10-wöchige in-vivo Intervention mit täglicher Fütterung eines Pilzpulvers aus UVB-behandelten weißen Zuchtchampignons mit einer 2,5% Konzentration und 5,0% Konzentration	Diät 3: 5% nicht exponiertes Pilzpulver (2,4 I.E. Vit.D <sub>2</sub> pro Tag)  Diät 4: Pulver mit (Vit.D <sub>3</sub> 20 I.E. pro Tag)  Diät 5: Pulver ohne Vitamin D	25(OH)D in ng/ml Diät 1: 118±28 Diät 2: 159±29  Diät 3: 4±3 Diät 4: 32±11 Diät 5: 4±3  PTH in pg/ml Diät 1: 35±51 Diät 2: 28±50  Diät 3: 66±91 Diät 4: 59±69 Diät 5: 147±181  Signifikanter Unterschied der 25(OH)D-Serumwerte in den Interventionsgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Vitamin D <sub>2</sub> aus UV-exponierten Pilzen ist sicher, bioverfügbar und beeinflusst positiv das Knochenwachstum	Randomisiert und Placebo-kontrolliert

(Stephensen, et al., 2012)					
Studie 2: Ergocalciferol from mushrooms or supplements consumed with a standard meal increases 25-hydroxyergocalciferol but decreases 25-hydroxycholecalciferol in the serum of healthy adults					
Auswirkung auf 25(OH)D <sub>2</sub> - Serumwerte durch den Verzehr einer Mittagsmahlzeit mit UV-behandelten Pilzen	<p>Gesunde Erwachsene von 20 bis 59 Jahren, Serum 25(OH)D &gt;50 nmol/L</p> <p>Gruppe M1: n= 9 Gruppe M2: n= 9 Gruppe C: n= 10 Gruppe S: n= 7</p>	<p>Gruppe M1: Mittagessen aus UV-behandelten Pilzen 10 mg (400 I.E.) Ergocalciferol/Portion &amp; Placebokapsel</p> <p>Gruppe M2: Mittagessen aus UV-behandelten Pilzen mit 25 (1.000 I.E.) mg Ergocalciferol/Portion &amp; Placebokapsel</p> <p>6-wöchige Intervention und täglicher Verzehr (7 Tage/Woche) einer Mittagsmahlzeit mit 87,9 g UVB-behandelten/unbehandelten gekochten weißen Zuchtchampignons</p>	<p>Gruppe C: Mittagessen aus unbehandelten Pilzen &amp; Placebokapsel</p> <p>Gruppe S: Mittagessen aus unbehandelten Pilzen &amp; Supplement mit 25 mg Ergocalciferol</p>	<p>25(OH)D in nmol/L</p> <p>Gruppe M1: 2.85±2.78 zu -6.50±3.71(↓)</p> <p>Gruppe M2 -6.08±3.70 zu -10.5±6.02(↓)</p> <p>Gruppe C: -1.29±4.20 zu 2.60±3.30 (↑)</p> <p>Gruppe S: 3.36±3.17 zu -7.2±2.86 (↓)</p> <p>25(OH)D<sub>2</sub> in nmol/L</p> <p>Gruppe M1: 6.72±0.92 zu 13.8±2.42(↑)</p> <p>Gruppe M2: 9.53±0.87 zu 12.7±1.22(↑)</p> <p>Gruppe C: 1.32±1.03 zu 1.22±1.65(↓)</p> <p>Gruppe S: 22.1±1.64 zu 32.8±1.26(↑)</p> <p>25(OH)D<sub>3</sub> in nmol/L</p> <p>Gruppe M1: -1.49±3.06 zu -10.4±2.14(↓)</p> <p>Gruppe M2: -10.3±1.75 zu -20.6±4.86(↓)</p> <p>Gruppe C: -7.89±6.98 zu 3.93±5.16(↑)</p> <p>Gruppe S: -17.1±5.45 zu -29.5±6.01(↓)</p> <p>Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-behandelten Pilzen erhöht 25(OH)D<sub>2</sub>, leichter Abfall der 25(OH)D</p>	Randomisiert, doppel-blind und Placebo-kontrolliert

(Pinto, Merzbach, Willmott, Antonio, & Roberts, 2020)					
Studie 3: Assessing the impact of a mushroom-derived food ingredient on vitamin D levels in healthy volunteers					
Auswirkungen auf den Vitamin-D-Status (25(OH)D) und 25(OH)D <sub>2</sub> durch ein Vitamin D <sub>2</sub> Supplement aus UV-Licht behandelten Pilzen	Gesunde Erwachsene davon 16 Männer und 12 Frauen 4%= Serum 25(OH) <30 nmol/L 14%= Serum 25(OH) >50 nmol/L 82% = Serum 25(OH) 30-50 nmol/L  Gruppe 1: n= (10) Gruppe 2: n= (10) Gruppe 3: n= (8)	Gruppe 1: Kapseln mit 25 µg (1.000 I.E.) Vitamin D <sub>2</sub> aus pulverisierten UV-behandelten Pilzen  12-wöchige Intervention und tägliche Einnahme von Vitamin D <sub>2</sub> Supplement aus UV-Licht behandelten Pilzen	Gruppe 2: Kapseln mit 25 µg (1.000 I.E.) Vitamin D <sub>3</sub>  Gruppe 3: Placebo-Kapsel	25(OH)D in nmol/L Gruppe 1: 25(OH)D: Erhöhung um 14% auf 65.8±4.3 (↑) 25(OH)D <sub>2</sub> : 7.0±1.1 zu 31.4 ± 2.1(↑) 25(OH)D <sub>3</sub> : 50.8±9.7 zu 34.4±4.2 (↓)  Gruppe 2: 25(OH)D: 46.1±5.3 zu 88.0 ± 8.6(↑) 25(OH)D <sub>2</sub> : / 25(OH)D <sub>3</sub> : 72.3±4.5 zu 82.0±7.9 (↑)  Gruppe 3: 25(OH)D: Reduktion um 15%  Vitamin D <sub>2</sub> Supplement aus pulverisierten UV-behandelten Pilzen erhöht den 25(OH)D-Serumwert	Randomisiert, doppel-blind und Placebo-kontrolliert

(Mehrotra, et al., 2014) Studie 4: Bioavailability of vitamin D2 from enriched mushrooms in prediabetic adults: a randomized controlled trial					
Bioverfügbarkeit und positive Effekte von Vitamin D <sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen in Erwachsenen mit Prädiabetes und Body-Mass-Index (BMI) >25	Erwachsene von 30 bis 90 Jahren und Serum 25(OH)D ≥20 ng/ml mit BMI >25  Gruppe 1: n= (8) Gruppe 2: n= (12) Gruppe 3: n= (8) Gruppe 4: n= (8)	Gruppe 1: UV-behandelte Pilze, mit 500 I.E. D <sub>2</sub> /Tag & Placebokapseln  Gruppe 2: UV-behandelte Pilze, mit 2600 I.E. D <sub>2</sub> /Tag & Placebokapseln  16-wöchige Intervention und täglicher Verzehr von 100g UV-behandelten frischen, geschnittenen und zubereiteten Pilzen im Menü	Gruppe 3: unbehandelte Pilze & Supplement mit 1200 I.E. D <sub>3</sub> /Tag  Gruppe 4: unbehandelte Pilze & Supplement mit 7300 I.E. D <sub>3</sub> /Tag	25(OH)D in ng/ml Gruppe 1 + Gruppe 2: nicht signifikant Gruppe 3: 16,1±3,5 auf 28,5±1,1(↑) Gruppe 4: 18,8±4,2 auf 32,5±3,8(↑)  25(OH)D <sub>2</sub> in ng/ml Gruppe 1: 4.3±4.7 zu 6.5±4.6 (-) Gruppe 2: 2.5±1.2 zu 9.3±8.3 (↑)  25(OH)D <sub>3</sub> in ng/ml Gruppe 3: 13.6±5.7 zu 21.6±7.0 (↑) Gruppe 4: 15.6±6.2 zu 15.6±6.2 (↑)  Kein signifikanter Anstieg der 25(OH)D <sub>2</sub> -Serumwerte aus UV-behandelten Pilzen bei Erwachsenen mit Prädiabetes und BMI >25, kein Zusatznutzen	Randomisiert und Placebo-kontrolliert

(Stepien, et al., 2013) Studie 5: Effect of supplementation with vitamin D2-enhanced mushrooms on vitamin D status in healthy adults					
<p>Primäres Ziel: Auswirkungen auf den Vitamin-D-Status (25(OH)D) durch den täglichen Verzehr von 15 µg Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht behandelten Pilzen im Vergleich zu den Auswirkungen auf den Vitamin-D-Status von 15 µg Vitamin D<sub>3</sub> aus einem Supplement</p> <p>Sekundäres Ziel: Auswirkungen einer erhöhten Zufuhr von Vitamin D<sub>2</sub> und Vitamin D<sub>3</sub> auf Marker des metabolischen Syndroms</p>	<p>Gesunde Erwachsene von 40 bis 65 Jahren</p> <p>56,6% = Serum 25(OH)D &gt;50nmol/L</p> <p>11,8% = Serum 25(OH)D &gt;75nmol/L</p> <p>31,8% = Serum 25(OH)D 50-75nmol/L</p> <p>Gruppe 1 = n (24) Gruppe 2 = n (22) Gruppe 3 = n (22) Gruppe 4 = n (22)</p>	<p>Gruppe 1: Pilzpulver mit 15 µg Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-behandelten Pilzen im Sacht</p> <p>Gruppe 3: 15 µg Vitamin D<sub>3</sub> Supplement in Kapselform</p> <p>4-wöchige Intervention und täglicher Verzehr von 15 µg Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-behandelten braunen Kulturchampignons oder 15 µg Vitamin D<sub>3</sub> Supplement</p>	<p>Gruppe 2: Placebo-Pilzpulver im Sacht</p> <p>Gruppe 4: Placebo-Kapsel</p>	<p>25(OH)D in nmol/L</p> <p>Gruppe 1: 25(OH)D: 36.8±16.6 25(OH)D<sub>2</sub>: 8.9±5.8 (↑) 25(OH)D<sub>3</sub>: 27.9±13.5</p> <p>Gruppe 2: 25(OH)D: 30.6±15.1 25(OH)D<sub>2</sub>: 4.3± 2.2 25(OH)D<sub>3</sub>: 26.3±15.7</p> <p>Gruppe 3: 25(OH)D: 57.3±17.7 (↑) 25(OH)D<sub>2</sub>: 3.5±1.8 25(OH)D<sub>3</sub>: 53.8±18.0 (↑)</p> <p>Gruppe 4: 25(OH)D: 41.7±20.1 25(OH)D<sub>2</sub>: 6.2± 5.2 25(OH)D<sub>3</sub>: 35.5±18.4</p> <p>Primäres Ziel: Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-behandelten Pilzen erhöht 25(OH)D<sub>2</sub>. Hat keine Auswirkungen auf den Vitamin-D-Status (25(OH)D). Vitamin D<sub>3</sub> als Supplement erhöht sowohl 25(OH)D<sub>3</sub> als auch 25(OH)D</p> <p>Sekundäres Ziel: keine klare Aussage möglich</p>	<p>Randomisiert, doppel-blind und Placebo-kontrolliert</p>

(Ozzard, Gurdip, Morrison, & Hoskin, 2008) Studie 6: Vitamin D deficiency treated by consuming UVB-irradiated mushrooms					
Anstieg der 25(OH)D-Serumwerte durch UVB-bestrahlte Pilze am Menschen	Gesunder Erwachsener Mann 30 Jahre und Serum 25(OH)D =17 nmol/L	3-monatige Intervention und täglicher Verzehr von 200g gebratenen UVB-bestrahlten Kulturchampignons	-	25(OH)D in nmol/L 17.0 zu 39.0 = 129% (↑)  Signifikanter Anstieg der 25(OH)D-Serumwerte	Fallstudie
(Urbain, Singler, Ihorst, Biesalski, & Bertz, 2011) Studie 7: Bioavailability of vitamin D <sub>2</sub> from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial					
Primäres Ziel: Bioverfügbarkeit von Vitamin D <sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen in gesunden Erwachsenen mit Vitamin D-Mangel  Sekundäres Ziel: Vergleich zwischen der Bioverfügbarkeit von Vitamin D <sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen und einem Vitamin D <sub>2</sub> Supplement	Gesunde Erwachsene < 45 Jahren und Serum 25(OH)D ≥20 ng/mL  Gruppe A: n= (8) Gruppe B: n= (9) Gruppe C: n= (9)	A: 28.000 I.E. (700,07 µg) Vitamin D <sub>2</sub> in Form einer Pilzsuppe aus UVB-behandelten Pilzen und ein Placebo in Form eines normalen Orangensaft  5-wöchige Intervention und Verzehr von 365g (28.000IE) Pilzsuppe einmal Wöchentlich innerhalb von 4 Wochen	B: normale Pilzsuppe (1,6 µg Vitamin D <sub>2</sub> ) und 28.000 I.E. (700 µg) Vitamin D <sub>2</sub> in Form eines Präparates in Orangensaft aufgelöst  C: normale Pilzsuppe mit 60 IE Vitamin D <sub>2</sub> und ein Placebo in Form eines normalen Orangensaft	25(OH)D in nmol/L A: 34.0±11.0 zu 56.7±7.2 (↑) B: 28.7±10.0 zu 58.0±11.2(↑) C: 38.7±14.2 zu 28.7±8.7 (↓)  Primäres Ziel: Vitamin D <sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen für den Menschen bioverfügbar  Sekundäres Ziel: Kein Unterschied zwischen der Bioverfügbarkeit von Vitamin D <sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen und einem Vitamin D <sub>2</sub> Supplement	Randomisiert, einfach-blind und Placebo-kontrolliert

## 4.2 Ergebnisse der Einzelstudien

1. Vitamin D<sub>2</sub> from light-exposed edible mushrooms is safe, bioavailable and effectively supports bone growth in rats (Calvo, et al., 2012)

In der randomisierten und Placebo-kontrollierten in-vivo Studie an 300 Weiblichen Sprague-Dawley Ratten (Laborratten) wurde die Wirkung von Vitamin D<sub>2</sub> aus UVB-Licht exponierten Pilzen in Bezug auf die Bioverfügbarkeit untersucht. Ebenso nahmen die Autoren an, dass Vitamin D<sub>2</sub> aus UVB-Licht exponierten Pilzen einen positiven Effekt auf das Knochenwachstum ausübt und der Verzehr keine Sicherheitsbedenken aufzeigt. Um die Unbedenklichkeit zu untermauern und auf den Menschen übertragen zu können, wurden die Ratten mit einer 30-fachen Dosis von Vitamin D<sub>2</sub> aus UVB-Licht exponierten Pilzen gefüttert. Über einen Zeitraum von 10 Wochen wurden die Ratten auf fünf Gruppen aufgeteilt. Dazu wurden den Interventionsgruppen jeweils Diäten mit 2,5 % (300 I.E. Vitamin D<sub>2</sub>) und 5 % (600 I.E. Vitamin D<sub>2</sub>) angereichertem Vitamin D<sub>2</sub> Pilzpulver verabreicht. Die Kontrollgruppen erhielten ein unbehandeltes Pilzpulver (2,4 I.E. Vitamin D<sub>2</sub>), ein Vitamin D<sub>3</sub> Supplement (20 I.E. Vitamin D<sub>3</sub>) und ein Placebo-Pilzpulver. Als Marker für die Bioverfügbarkeit und den Vitamin-D-Status dienten der 25(OH)D-Wert und Parathormon (PTH). Die Mäuse in der Interventionsgruppe hatten nach Abschluss der Untersuchung einen signifikant höheren 25(OH)D-Spiegel (118±28 ng/mL bei 2,5 % und 159±29 ng/mL bei 5 %) als die Kontrollgruppen (4±3 ng/mL, 4±3 ng/mL und 32±11 ng/mL bei 20 IE Vitamin D<sub>3</sub>). Die PTH-Spiegel waren in den Interventionsgruppen signifikant niedriger (28±50 pg/mL bei 5 % UV-exponiertem Pilzpulver und 147±181pg/mL Placebo). Hohe PTH-Werte korrelieren mit einem Vitamin-D-Mangel. Somit konnte diese Studie am Tiermodell belegen, dass Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-exponierten Pilzen bioverfügbar ist und den Vitamin-D-Status positiv beeinflusst. Während der gesamten Studiendauer traten keine Nebenwirkungen auf.

2. Ergocalciferol from mushrooms or supplements consumed with a standard meal increases 25-hydroxyergocalciferol but decreases 25-hydroxycholecalciferol in the serum of healthy adults (Stephensen, et al., 2012)

In der randomisierten, doppel-blinden und Placebo-kontrollierten Studie wurde die Auswirkung auf den 25(OH)D<sub>2</sub>-Serumwert und die Verbesserung des Vitamin-D-Status, gemessen an 25(OH)D, durch den Verzehr einer Mittagsmahlzeit mit UV-behandelten Pilzen untersucht. In der 6-wöchigen Intervention nahmen 35 gesunde Erwachsene im Alter zwischen 20 und 59 Jahren täglich eine Mahlzeit aus 87,9 g UVB-behandelten oder unbehandelten gekochten weißen Kulturchampignons ein. Der Verzehr der Mahlzeiten fand im Studienzentrum statt. War es den Teilnehmern nicht möglich die Mahlzeit vor Ort zu konsumieren, wurde es zur Abholung bereitgestellt. Die Studienteilnehmer

wurden auf vier Gruppen aufgeteilt: Die Gruppe C erhielt ein Mittagessen aus unbehandelten Pilzen und eine Placebokapsel; Gruppe M1 erhielt ein Mittagessen aus UV-behandelten Pilzen mit einem Ergocalciferol-Gehalt von 10 mg pro Portion und eine Placebokapsel; Gruppe M2 erhielt ein Mittagessen aus UV-behandelten Pilzen mit einem Ergocalciferol-Gehalt von 25 mg pro Portion und eine Placebokapsel; Gruppe S erhielt ein Mittagessen aus unbehandelten Pilzen und ein Nahrungsergänzungsmittel mit 25 mg Ergocalciferol. Als Biomarker im Serum dienten, 25(OH)D, 25(OH)D<sub>2</sub> und 25(OH)D<sub>3</sub>. Die Studie zeigte auf, dass in Gruppe M1 und Gruppe M2 der 25(OH)D<sub>2</sub>-Serumwert signifikant im Vergleich zum Ausgangswert gestiegen ist (M1 6.72±0.92 zu 13.8±2.42 nmol/L, M2 9.53±0.87 zu 12.7±1.22 nmol/L), jedoch der Zuwachs in Gruppe S durch die Gabe des Nahrungsergänzungsmittel stärker ausfiel. Der 25(OH)D<sub>3</sub> ist in Gruppe M1 und M2 erwartungsgemäß gesunken. Ebenfalls wurde ein leichter Abfall der 25(OH)D-Serumwerte verzeichnet. Daraus wurde abgeleitet, dass Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht exponierten Pilzen bioverfügbar ist aber keinen positiven Einfluss auf den Vitamin-D-Status nimmt.

3. Assessing the impact of a mushroom-derived food ingredient on vitamin D levels in healthy volunteers (Pinto, Merzbach, Willmott, Antonio, & Roberts, 2020)

Diese randomisierte, doppel-blinde und Placebo- kontrollierte Studie hatte zum Ziel die Auswirkungen auf den Vitamin-D-Status (25(OH)D) durch ein Vitamin D<sub>2</sub> Supplement aus UV-Licht behandelten Pilzen zu untersuchen. In der 12-wöchigen Intervention wurden 28 gesunde Erwachsene angewiesen, täglich ein Vitamin D<sub>2</sub> oder Vitamin D<sub>3</sub> Supplement einzunehmen. Als Parameter für die Untersuchung diente der 25(OH)D-, 25(OH)D<sub>2</sub>- und 25(OH)D<sub>3</sub>- Serumwert. Die Kontrolle erfolgte anhand einer Blutanalyse zu Beginn der Studie, nach einem Zeitraum von sechs Wochen und nach Beendigung der Studie. Um gleichbleibende Verhältnisse zu schaffen, wurden die Teilnehmer aufgefordert ihre Essens- und Sportgewohnheiten zu dokumentieren. Für die Untersuchung wurden die Probanden in drei Gruppen eingeteilt. Gruppe 1 wurde mit 25 µg (1.000 I.E.) Vitamin D<sub>2</sub> Kapseln aus pulverisierten UV-behandelten Pilzen behandelt, Gruppe 2 erhielt 25 µg (1.000 I.E.) Vitamin D<sub>3</sub> Kapseln und Gruppe 3 wurde mit einem Placebo in Kapselform behandelt. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten auf, dass der Vitamin-D-Status durch Vitamin D<sub>3</sub> signifikant ansteigt (25(OH)D 46.1±5.3 zu 88.0 ± 8.6 nmol/L) und durch die Einnahme von Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht behandelten Pilzen ein moderater Anstieg von 14 % zu verzeichnen war. Der 25(OH)D<sub>2</sub>-Serumwert ist um 347 % von 7.0±1.1 auf 31.4 ± 2.1 nmol/L gestiegen und belegte damit eine gute Bioverfügbarkeit.

#### 4. Bioavailability of vitamin D<sub>2</sub> from enriched mushrooms in prediabetic adults (Mehrotra, et al., 2014)

Die oben genannte Studie hatte zum Ziel die Bioverfügbarkeit von Vitamin D<sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen in Erwachsenen mit Prädiabetes und Übergewicht (Body-Mass-Index >25) zu untersuchen. In der randomisierten und Placebo-kontrollierten Studie wurden 36 Teilnehmer eingeschlossen und in einem Zeitraum von 16 Wochen beobachtet. Das Durchschnittsalter betrug 49±12 Jahre, weiterhin waren die Probanden Nichtraucher und hatten mindestens zwei Anzeichen für ein metabolisches Syndrom. Der Vitamin-D-Status wurde zu Beginn der Studie, nach Ablauf der 16 Wochen und einen Monat nach dem Studienende gemessen. Um Aufschluss über die Bioverfügbarkeit von Vitamin D<sub>2</sub>-bestrahlten Pilzen zu erlangen, dienten als Marker die Serumwerte 25(OH)D, 25(OH)D<sub>2</sub> und 25(OH)D<sub>3</sub>. Die zwei Interventionsgruppen erhielten täglich über den Zeitraum von 16 Wochen eine standardisierte Mahlzeit mit 100 g behandelter Pilze. Diese wurden nach UV-Behandlung in Laborverhältnissen zubereitet und bei minus 20 Grad Celsius schockgefroren. Die gefrorene Mahlzeit mit 2600 I.E. oder 500 I.E. Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-behandelten Pilzen wurden den Probanden zum Verzehr nach Hause geliefert. Die Erwärmung der Mahlzeit im häuslichen Umfeld wurde nicht kontrolliert. Die zwei Kontrollgruppen erhielten eine Mahlzeit mit unbehandelten Pilzen und einem Vitamin D<sub>3</sub> Supplement mit einer Dosierung von 1200 I.E. pro Kapsel oder 7300 I.E. pro Kapsel. Nach Beendigung der Studie konnten bei den Interventionsgruppen keine Veränderung der 25(OH)D-Serumwerte festgestellt werden. Bei den Kontrollgruppen hatte die Mahlzeit mit 2600 I.E. einen geringen Einfluss auf den 25(OH)D<sub>2</sub>-Spiegel, dieser stieg von 2,5±1,2 ng/mL auf 9,3± 8,3 ng/mL. Die Einnahme der Vitamin D<sub>3</sub> Supplemente konnte sowohl die Serumwerte von 25(OH)D<sub>3</sub> als auch die von 25(OH)D anheben. Das Supplement mit der niedrigen Dosis verändert den 25(OH)D-Serumwert von 16,1±3,5 auf 28,5±1,1 ng/mL und das hochdosierte Supplement von 18,8±4,2 auf 32,5±3,8 ng/mL. Die Autoren schlussfolgerten, dass der BMI >25 einen negativen Effekt auf die Aufnahme von Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-behandelten Pilzen ausübt.

#### 5. Effect of supplementation with vitamin D<sub>2</sub>-enhanced mushrooms on vitamin D status in healthy adults (Stepien, et al., 2013)

In dieser Studie war das Primärziel, die Auswirkungen auf den Vitamin-D-Status (25(OH)D) durch den täglichen Verzehr von Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht behandelten Pilzen im Vergleich zu den Auswirkungen auf den Vitamin-D-Status von Vitamin D<sub>3</sub> aus einem Supplement zu untersuchen. Das Sekundärziel war es, die Auswirkungen einer erhöhten Zufuhr von Vitamin D<sub>2</sub> und Vitamin D<sub>3</sub> auf Marker des metabolischen Syndroms zu betrachten. In der randomisierten, doppel-blinden und Placebo-kontrollierten Studie wurden in einem Zeitraum von vier Wochen 90 gesunde Erwachsene im Alter zwischen 40 und 65 Jahren beobachtet. Die Probanden wurden in vier Gruppen eingeteilt und

erhielten eine Wochenration die sie zuhause einnahmen. Davon erhielt die erste Interventionsgruppe ein Pilzpulver mit 15 µg Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht behandelten Pilzen und die Kontrollgruppe das Placebo-Pilzpulver. Die zweite Interventionsgruppe erhielt ein Supplement in Kapselform mit 15 µg Vitamin D<sub>3</sub> und die Kontrollgruppe ein Placebo. Um die Auswirkungen der Präparate zu untersuchen wurden die 25(OH)D-Serumwerte zu Beginn und nach Beendigung der Intervention untersucht. Darüber hinaus wurden die 25(OH)D<sub>2</sub>- und 25(OH)D<sub>3</sub>- Serumwerte zu Beginn und nach Ablauf der Intervention aufgezeichnet. Durch den Verzehr von Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht behandelten Pilzen kam es zu einem Anstieg von 128 % des 25(OH)D<sub>2</sub>- Serumwert, die 25(OH)D-Konzentration blieb unverändert. Durch das Supplement mit Vitamin D<sub>3</sub> konnte eine Erhöhung der 25(OH)D- und der 25(OH)D<sub>3</sub>-Serumwerte erreicht werden. Folglich lassen sich die Aussagen treffen, dass Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-Licht behandelten Pilzen keinen Einfluss auf den 25(OH)D-Serumwert ausübt und somit den Vitamin-D-Status nicht beeinflusst. Der Anstieg der 25(OH)D<sub>2</sub>-Spiegel zeigt aber auf, dass das Vitamin D<sub>2</sub> bioverfügbar ist. Das Sekundärziel konnte anhand der Ergebnisse nicht eindeutig beantwortet werden.

#### 6. Vitamin D deficiency treated by consuming UVB-irradiated mushrooms (Ozzard, Gurdip, Morrison, & Hoskin, 2008)

Die Fallstudie belegte, dass eine mangelhafte Versorgung mit Vitamin D durch den täglichen Verzehr von UV-Licht exponierten Pilzen behandelt werden kann. Ein Dreißigjähriger Proband unternahm ein Selbstversuch, indem er im häuslichen Umfeld täglich 200 g frische Kulturchampignons mit UVB-Licht behandelte und anschließend durch das Braten der Pilze für den Verzehr vorbereitete. Der Mann führte den Selbstversuch über einen Zeitraum von drei Monaten durch. In dieser Zeit wurde der Lebensstil nicht verändert um mögliche Störfaktoren auszuschließen. Das Ergebnis der Studie belegte einen Anstieg von 129 % der 25(OH)D-Serumkonzentration (von 17 nmol/L auf 39 nmol/L).

#### 7. Bioavailability of vitamin D<sub>2</sub> from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D (Urbain, Singler, Ihorst, Biesalski, & Bertz, 2011)

Die randomisierte, einfach verblindete und Placebo-kontrollierte Studie kam zu folgenden Ergebnissen: Frische braune Kulturchampignons wurden durch UVB-Licht mit einer Wellenlänge von 306 nm 25 Minuten bestrahlt. Der Vitamin-D-Gehalt der Pilze wurde damit von <1 µg auf 491 µg/ 100g gesteigert und für die Untersuchung als Pilzsuppe vorbereitet. Für die Studie wurden 26 gesunde Teilnehmer mit einem Vitamin-D-Mangel (25(OH)D <20 ng/mL) und einem Body-Mass-Index (BMI) von 18,5- 26 kg/m<sup>2</sup> aufgenommen. Diese wurden einer Verumgruppe, Supplementgruppe und Placebogruppe zugewiesen. Über einen 5-wöchigen Zeitraum kamen die Probanden an

sechs Kontrollterminen zur Blutentnahme. Als Parameter für die Untersuchung diente der 25(OH)D-Serumwert. Die fünf Wochen wurden in eine Interventions-Phase (Woche 0,1,2,3) und eine Follow-Up-Phase (Woche 4,5) eingeteilt. Innerhalb der Interventionsphase wurde die Suppe einmal die Woche verabreicht. Bereits nach einer Woche stiegen die Serumwerte signifikant in der Verumgruppe um 33,1 % und in der Supplementgruppe um 46,1 % an. Das primäre Studienziel konnte bereits in Woche zwei bestätigt werden. Demnach war der Serumwert in der Verumgruppe von  $47,2 \pm 8,0$  nmol/L signifikant höher als in der Placebogruppe mit einem Serumwert von  $31,2 \pm 9,7$  nmol/L. Hiermit wurde belegt, dass Vitamin D<sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen für den Menschen bioverfügbar ist. Ebenso konnte die Studie belegen, dass die Bioverfügbarkeit von Vitamin D<sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen und einem Supplement mit Vitamin D<sub>2</sub> eine gleichwertige Bioverfügbarkeit besitzt, da während der Studie die Serumwerte der Verum- und Supplementgruppe kaum Unterschiede in der Konzentration aufzeigten. Während der gesamten Studiendauer wurden keine Nebenwirkung beobachtet.

### 4.3 Zusammenfassendes Ergebniss der Studien

Die aufgeführten Studien hatten zum Ziel die Bioverfügbarkeit von Vitamin D<sub>2</sub> aus UVB-bestrahlten Pilzen und den Einfluss auf den Vitamin-D-Status zu untersuchen. Als klinischer Parameter konnte anhand des 25(OH)D-Spiegels im Blutserum eine Aussagekraft zu dem Vitamin-D-Status und der Versorgung mit Vitamin D getroffen werden. Der 25(OH)D<sub>2</sub>-Serumspiegel diente als zusätzliche Messgröße für die Bioverfügbarkeit von Vitamin D<sub>2</sub>. Zum Vergleich wurden Placebo oder Vitamin-D<sub>3</sub>-Zubereitungen eingesetzt und durch den Parameter 25(OH)D<sub>3</sub> im Blutserum kontrolliert. In den Studien wurden die UV-bestrahlten Pilze unterschiedlich für den Verzehr aufbereitet. Die Probanden erhielten die Pilze in Form einer gekochten Pilzsuppe, gebraten als Hauptbestandteil einer Mahlzeit, pulverisiert zum Auflösen oder verkapselt in Form eines Supplements. Dabei fällt in der Studie von Mehrotra et al. auf, dass sich ein mehrstufiger Zubereitungsprozess negativ auf den Gehalt von Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen auswirkt. Bis auf eine Studie, die an Laborratten durchgeführt wurde handelt es sich um Humanstudien. Bei den Probanden handelte es sich hauptsächlich um gesunde Erwachsene. Urbain et al., hatten für Ihre Studie ausschließlich Menschen mit einem Vitamin-D-Mangel (25(OH)D >20 ng/ml) aufgenommen. Mehrotra et al., untersuchte die Bioverfügbarkeit an übergewichtigen Erwachsenen (BMI >25), mit Prädiabetes und einem Vitamin-D-Mangel (25(OH)D >20 ng/ml). Hier wurde die Annahme geäußert, dass ein BMI >25 mit einer geringen Bioverfügbarkeit einhergeht. Insgesamt verdeutlichen die aufgeführten Studien, dass Vitamin D<sub>2</sub> aus UV-bestrahlten Pilzen eine gute Bioverfügbarkeit aufweist. Bezüglich des Vitamin-D-Status gemessen am 25(OH)D-Serumspiegel ergeben sich widersprüchliche Ergebnisse. Urbain et.al konnten in Ihrer Studie einen signifikanten Anstieg der 25(OH)D-Serumwerte bereits nach zwei Wochen

nachweisen. Ebenso belegte die Untersuchung von Calvo et al., an Laborratten eine positive Wirkung auf den 25(OH)D-Spiegel. Ozzard et al., zeigten anhand einer Fallstudie, die im häuslichen Umfeld durchgeführt wurde einen deutlichen Zuwachs an 25(OH)D nach Konsum einer Mahlzeit mit UV-Licht exponierten Pilzen. Pinto et.al belegten, dass ein Supplement aus UV-Licht exponierten Pilze einen moderaten Anstieg der 25(OH)D-Spiegel bewirkt. Mehrotra et al., Stepien et al. und Stephensen et al., konnten keine Auswirkung auf den 25(OH)D-Serumwert feststellen. Insgesamt sind sich die Autoren einig, dass es weiterer Forschung bedarf.

## 5 Marktcheck

Das Ernährungsverhalten hat sich in den letzten Jahren aufgrund von zahlreichen Faktoren verändert, die Ernährung ist stark mit dem individuellen Lebensstil verknüpft. Das damit verbundene Interesse zeigt sich durch eine gestiegene Warenvielfalt und neue Lebensmitteltrends auf dem deutschen Markt. Während mit Vitaminen und Mineralstoffen angereicherte Lebensmittel mittlerweile ein fester Bestandteil des Produktsortiments im deutschen Lebensmitteleinzelhandel sind, bilden Vitamin-D-angereicherte Pilze auf dem Markt zwar ein innovatives aber kein gängiges Lebensmittel.

Um die Verfügbarkeit UV-Licht exponierter Pilze zu prüfen, wurde eine stichpunktartig Marktbegehung durchgeführt. Der Umfang der Erhebung ergab sich aus den folgenden Kriterien:

- der Region
- dem Zeitraum
- dem Bezirk
- einer Kategorisierung der Märkte
- welche Märkte vom Verkauf UV-Licht exponierter Pilze profitieren würden
- einer potenziellen Zielgruppe oder den Kundenbedürfnissen

Der Marktcheck wurde in Hamburg im Zeitraum vom 13.12. bis 17.12.2021 in den Bezirken Altona, Eimsbüttel, Nord und Wandsbek durchgeführt. Insgesamt wurde anhand der Kriterien das Sortiment auf UV-Licht exponierte Pilze in 43 Märkten untersucht. Die Einteilung der Märkte gestaltet sich dabei wie folgt: 15 Discounter, 18 Supermärkte und 10 Naturkostläden (siehe Abb.7).

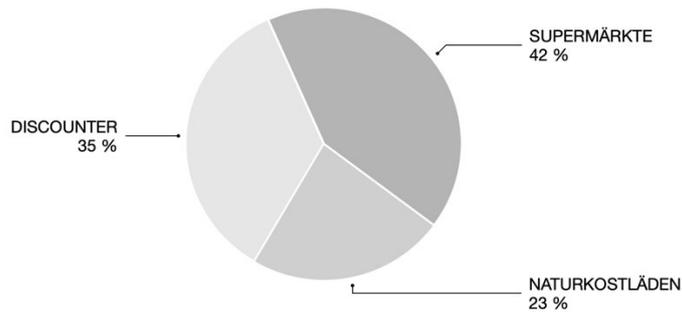


Abbildung 7 Übersicht der Marktbegehung, (Eigene Darstellung)

Während der stichprobenartigen Marktbegehung konnten keine UV-Licht exponierten Pilze aufgefunden werden. Die Pilzland Vertriebs GmbH, ein Vertriebsunternehmen für UV-Licht exponierte Pilze, wies darauf hin, dass die Distributionswege vom Kunden (dem Lebensmitteleinzelhandel) individuell gewählt werden. Aktuell sind die Vitamin-D-Pilze in einigen Filialen von Kaufland und Bunting erhältlich, dies gilt jedoch nicht für den gesamtdeutschen Markt. Auch die Verbraucherzentrale berichtet in ihrem Marktcheck vom 20.04.2021 bis 17.05.2021 über Vitamin-D-angereicherte Pilze auf dem deutschen Markt, macht aber keine Angaben wo die Pilze angeboten wurden (Verbraucherzentrale e.V., 2021, S. 7,18). Laut der Stiftung Warentest wurden die Pilze 2019 in den Filialen von Kaufland angeboten (Stiftung Warentest, 2019), die Begehung sowie eine telefonische Anfrage in den Hamburger Filialen zeigte jedoch, dass die Pilze aktuell nicht im Sortiment sind. Insgesamt zeigt das Resultat für die Region Hamburg, dass Vitamin-D-angereicherte Pilze nicht zum Standardsortiment der Lebensmittelhändler gehören.

## 6 Diskussion

Die Diskussion wird anhand der systematisch recherchierten Studienergebnisse geführt. Unter Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien wurde in systemischer Weise nach Studien zu der Auswirkung von Ergocalciferol auf die Vitamin-D-Versorgung gesucht. Demnach konnten sieben Studien identifiziert werden. Der Hauptteil der Studien sind randomisierte- kontrollierte Studien (RCT). Bei diesem Studiendesign wird die Intervention mit einer Kontrolle verglichen. Die Zuordnung der Probanden zu der einen oder anderen Gruppe erfolgt bei diesem Studientyp nach einem Zufallsprinzip (Randomisierung) und hilft so Selektionsbias vorzubeugen. Weiterhin hilft eine Verblindung systemische Fehler im Studienverlauf zu minimieren. Die doppel-blinde Durchführung gewährleistet, dass weder der Proband noch die Untersucher wissen wer welche Substanz erhält. Wenn nur der Proband nicht weiß welche Substanz er bekommt, spricht man von einfach-blinden Studien. Ist keine Verblindung möglich, spricht man von offenen Studien. Durch die genannten Möglichkeiten der randomisierten klinischen Studien, können systematische Verzerrungen minimiert werden (Schumacher & Schulgen, 2008, S. 197-204). Um die Wirksamkeit und Effektivität einer Intervention nachzuweisen, haben randomisiert-kontrollierte Studien (Evidenzklasse 1b) höchste Aussagekraft. Andere Studien haben eine geringere Aussagekraft (siehe Tab.7).

Tabelle 6 Evidenzklassen der evidenzbasierten Medizin, modifiziert nach (Centre for Evidence-Based Medicine, 2009)

Grad	Evidenz-Typ
1a	systematischer Review von randomisierten kontrollierten Studien
1b	randomisierte kontrollierte Studien
2a	systematischer Review von Kohortenstudien
2b	Kohortenstudien
3a	systematischer Review von Fall-Kontroll-Studien
3b	Fall-Kontroll-Studien
4	Fallserien
5	Expertenmeinung aufgrund von Grundlagenwissen

Unter Bezugnahme der oben genannten Merkmale, weisen sechs von den Studien eine gute Qualität und Validität auf. Wegen dem Mangel an randomisierten klinischen Studien, wurde zusätzlich eine

Fallstudie (Evidenzklasse 4) mit aufgenommen. Diese hat aufgrund des niedrigen Evidenzlevels eine geringe Aussagekraft. Der Nachteil besteht darin, dass in der aufgeführten Fallstudie die Kontrolle von Einflussgrößen nicht gegeben ist. Diese können weder ausgeschlossen noch ermittelt werden. Ebenso besteht durch die isolierte Betrachtungsweise keine Möglichkeit eines Vergleichs. Durch die Konzentration auf den Einzelfall wurde die externe Validität stark begrenzt. Ein zentraler Aspekt im Hinblick auf weitere Limitationen der vorliegenden Forschungsfrage stellt die Zusammensetzung und Anzahl der Studienteilnehmer dar. Die Stichprobengröße in den aufgeführten randomisierten klinischen Studien wurden bei einer kleinen Anzahl an Studienteilnehmern ( $n < 100$ ) durchgeführt, wodurch ihre Evidenz begrenzt ist und die Wahrscheinlichkeit reduziert wurde signifikante Unterschiede aufzuzeigen. Damit ergab sich die Limitation der vorliegenden Arbeit vorwiegend aus dem Mangel an repräsentativen Studien. Ein Forschungsüberblick zu der Wirksamkeit von Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen und der Vitamin-D-Versorgung ist dennoch möglich.

Zum Verständnis der Wirksamkeit von Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen und der Auswirkung auf die Vitamin-D-Versorgung ist der Begriff der Bioverfügbarkeit essenziell. Dieser beschreibt die Verfügbarkeit sowohl eines Wirkstoffes aus Arzneimitteln als auch von Nährstoffen aus Lebensmitteln für den Menschen. Weiterhin beschreibt er den Anteil der aufgenommenen Substanz, der unverändert im systemischen Kreislauf zur Verfügung steht (Schwedt, 2018, S. 11). Zum Aufschluss der Bioverfügbarkeit von Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen diente in den Studien zum einen der  $25(\text{OH})\text{D}_2$ -Spiegel im Serum, als auch der  $25(\text{OH})\text{D}$ -Serumspiegel als Barometer für die gesamte Versorgung mit Vitamin D. Darüber hinaus wurden die  $25(\text{OH})\text{D}_3$ -Spiegel gemessen, um Aussagen über die Effektivität von Vitamin  $\text{D}_3$  (Cholecalciferol) im Vergleich zu Vitamin  $\text{D}_2$  (Ergocalciferol) treffen zu können. Durch diese Messgrößen weisen die eingeschlossenen Studien eine gute Vergleichbarkeit auf und konnten unabhängig vom Ergebnis bei der Bewertung berücksichtigt werden. Jedoch bilden die unterschiedlichen Dosierungen und Zubereitungsformen der Pilze eine insgesamt begrenzte Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse.

Die sechs eingeschlossenen Humanstudien wurden durch eine Studie am Tiermodell (Studie 1) ergänzt. Die in- vivo Studie präsentierte an 300 Ratten eine hohe Bioverfügbarkeit von Ergocalciferol aus UVB-bestrahltem Pilzen, die in Form eines Pilzpulvers verabreicht wurden. Ebenso wurde die Unbedenklichkeit von Ergocalciferol aus UVB-bestrahlten Pilzen nachgewiesen. Inwieweit sich die Wirksamkeitsbefunde von Ratten auf den Menschen übertragen lassen, müssen weitere klinische Untersuchungen zeigen. Die Studien 2 und 3 gewährleisteten durch die Randomisierung und Verblindung eine gute Aussagefähigkeit und bieten gleichzeitig durch ähnliche Bedingungen eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Jedoch kommen die Studien zu unterschiedlichen Resultaten. Anhand

der 25(OH)D-Serumspiegel wurde in Studie 2 keine Verbesserung der Vitamin-D-Versorgung nachgewiesen. Dem widerspricht Studie 3 und belegte immerhin eine moderate Anhebung von 14 %. Eine Erklärung der unterschiedlichen Ergebnisse könnte der Ausgangswert der 25(OH)D-Serumkonzentration der Probanden zu Beginn der Studie sein. Die Probanden in Studie 2 hatten einen Serumspiegel >50 nmol/L, dieser könnte die Aufnahme von Ergocalciferol aus Pilzen wohlmöglich erschwert haben.

Die Studie 4 an Erwachsenen mit Prädiabetes und Übergewicht (Body-Mass-Index >25) konnte keinen Effekt auf die Bioverfügbarkeit und Auswirkung auf den 25(OH)D-Serumspiegel feststellen. Außerdem ist anzumerken, dass die Dosierungen bei Kontrollgruppe und Interventionsgruppe nicht vergleichbar waren. Dies könnte zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben. Deshalb wurde für die Untersuchung der vorliegenden Forschungsfrage diese Untersuchung nur unter Vorbehalt berücksichtigt. Ebenso konnten die Autoren aus Studie 5 keine Auswirkung von Ergocalciferol aus UV-behandelten Pilzen auf den 25(OH)D-Serumspiegel nachweisen. Allerdings wurde aufgezeigt, dass Vitamin D<sub>3</sub> in Bezug auf die Erhöhung des 25(OH)D-Serumspiegels wirksamer ist als Vitamin D<sub>2</sub>.

Die Autoren der Studie 6 konnten einen signifikanten Anstieg von 129 % des 25(OH)D-Serumspiegels feststellen. Da das Ergebnis auf einer Fallstudie beruht wurde es zwar berücksichtigt hat aber nur eine geringe Evidenz. Die Ergebnisse der Studie 7 untermauern das Resultat aus Fallstudie 6 mittels eines randomisierten und Placebo-kontrollierten Studiendesigns. Die Untersuchung zeigte eine gute Bioverfügbarkeit von Ergocalciferol und einen signifikanten Anstieg des 25(OH)D-Serumspiegels der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe. Jedoch muss kritisch betrachtet werden, dass die Mahlzeiten der Interventionsgruppe mit einem sehr hohen Gehalt von Ergocalciferol aus UVB-bestrahlten Pilzen hergestellt wurden. Der Anstieg des Serumspiegels stellte daher kein erwartungswidriges Resultat dar. Außerdem ist die hohe Initialdosis in dieser Studie nicht vergleichbar mit den Dosierungen aus den anderen Studien.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Variablen der betrachteten Studien wie die Form der Darreichung, die Dauer der Intervention, der Ausgangspunkt des Vitamin-D-Status und die Dosierung, in ihrer Heterogenität eine Limitation bei der Auswertung darstellten. Zudem konnten durch eine fehlende oder zu kurze Nachbeobachtung keine eindeutigen Aussagen über den Langzeitnutzen von Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen getroffen werden. Die Wirkung von Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen bezogen auf den 25(OH)D-Serumspiegel wurde durch einige Studien zwar nachgewiesen, für eine Evidenz bedarf es allerdings weiterer Forschung. Offen

bleibt, inwieweit sich die Ergebnisse auf die Grundgesamtheit generalisieren lassen. Die Aussagen bezüglich der Bioverfügbarkeit von Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen stehen jedoch im Einklang und verdeutlichen den potenziellen Nutzen UV-Licht exponierter Pilze zur Verbesserung der Vitamin-D-Versorgung.

Der Einsatz UV-Licht exponierter Pilze zur Verbesserung der Vitamin-D-Versorgung setzt die Verfügbarkeit auf dem Markt voraus. Diese wurde für die vorliegende Arbeit durch einen Marktcheck überprüft und ergab für die Region Hamburg keine Treffer. Dabei ist explizit zu erwähnen, dass es sich um eine stichpunktartige Begehung über einen begrenzten Zeitraum handelte, die nicht den gesamten Markt abbilden konnte. In welchem Umfang UV-Licht exponierte Pilze auf dem deutschen Markt vertreten sind müsste anhand einer umfassenden Marktanalyse ermittelt werden und war im Rahmen dieser Arbeit nicht vorhergesehen.

## 7 Fazit

Die hier betrachteten Studien weisen unterschiedliche Ergebnisse auf jedoch zeigt die Untersuchung, dass UV-Licht exponierte Pilze mit Ergocalciferol als funktionelles Lebensmittel zumindest einen vielversprechenden Ansatz zur Verbesserung der Vitamin-D-Versorgung darstellen. Insgesamt ist festzuhalten, dass der Einsatz der UV-Bestrahlung die Bildung nennenswerter Mengen an Ergocalciferol bewirkt, dessen Bioverfügbarkeit im menschlichen Organismus nachgewiesen wurde. Ebenso besteht durch den Verzehr UV-Licht angereicherter Pilze kein erhöhtes Gesundheitsrisiko. Entsprechend dieser Studienergebnisse bilden UV-Licht exponierte Pilze eine sinnvolle und sichere Ergänzungsmaßnahme um vor allem in den Wintermonaten den Vitamin-D-Status zu erhöhen oder zu erhalten.

Bei der Frage, ob Ergocalciferol aus UV-Licht exponierten Pilzen den 25(OH)D-Serumspiegel erhöhen und die Vitamin-D-Versorgung nachhaltig verbessern kann, waren sich die Autoren der hier aufgeführten Studien uneinig. Es muss also weiter unter standardisierten Bedingungen geforscht werden. Ebenfalls sollte die optimale Verzehrsmenge ermittelt werden um bestmögliche Voraussetzungen für einen ernährungsphysiologischen Nutzen zu gewährleisten. Generell gilt allerdings, dass es bei UV-Licht exponierten Pilzen nicht darum geht durch therapeutische Dosierungen spezifische Effekte zu erzielen, sondern vielmehr eine Basisversorgung durch den Verzehr von Lebensmitteln sicherzustellen.

Unter diesen Gesichtspunkten und um eine Etablierung auf dem Markt zu unterstützen sollten gesetzliche Vorgaben dem Forschungsstand angepasst, erweitert und neue Erkenntnisse an den Konsumenten weitergetragen werden. In Hinblick auf die wachsende Nachfrage nach pflanzlichen Lebensmittelalternativen und dem damit einhergehenden Nachhaltigkeitsdiskurs, bilden UV-Licht exponierte Pilze eine nützliche und ressourcenschonende Variante. Diesbezüglich wäre eine Etablierung am Markt wünschenswert. Der Marktcheck der vorliegenden Arbeit ergab zwar keine Treffer für die Region Hamburg, ein Fortbestand der Forschung auf diesem Gebiet lässt aber den Gedanken zu, dass UV-angereicherte Pilze in Zukunft zum Standardsortiment des Lebensmitteleinzelhandels gehören könnten.

## Literaturverzeichnis

- 2014/396/EU. (24. Juni 2014). *Durchführungsbeschluss der Kommission zur Genehmigung des Inverkehrbringens von UV-behandelter Bäckerhefe (Saccharomyces cerevisiae) als neuartige Lebensmittelzutat gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates*. Abgerufen am 30. Dezember 2021 von EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32014D0396>
- 2015/2283/EU. (25. November 2015). *Verordnung (EU) 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates über neuartige Lebensmittel, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 258/97*. Abgerufen am 31. Dezember 2021 von EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32015R2283>
- 2017/2470/EU. (20. Dezember 2017). *Durchführungsverordnung (EU) 2017/2470 der Kommission zur Erstellung der Unionsliste der neuartigen Lebensmittel gemäß der Verordnung (EU) 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates über neuartige Lebensmittel*. Abgerufen am 31. Dezember 2021 von EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32017R2470>
- 2018/1023/EU. (23. Juli 2018). *Durchführungsverordnung der Kommission zur Berichtigung der Durchführungsverordnung (EU) 2017/2470 zur Erstellung der Unionsliste der neuartigen Lebensmittel*. Abgerufen am 30. Dezember 2021 von EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1023&qid=1547547832170&from=DE>
- Amrein, K., Scherkl, M., Hoffmann, M., Neuwersch-Sommeregger, S., Köstenberger, M., Berisha, A. T., . . . Malle, O. (20. Januar 2020). *Vitamin D deficiency 2.0: an update on the current status worldwide*. Abgerufen am 28. Dezember 2021 von European Journal of Clinical Nutrition: <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0558-y>
- Böckler, F., Dill, B., Eisenbrand, G., Faupel, F., Fugmann, B., Gamse, T., . . . Sprenger, G. (Januar 2011). *Vitamin D*. Abgerufen am 6. Dezember 2021 von RÖMPP [Online]: <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-22-00962>
- Bös, K., Schmidt, S., Bergmann, K., Lämmle, L., & Koletzko, B. (5. September 2012). *Einflussfaktoren auf die Vitamin-D-Versorgung deutscher Kinder und Jugendlicher*. Abgerufen am 30. Dezember 2021 von Ernährungs Umschau: <https://www.ernaehrungs-umschau.de/print-artikel/05-09-2012-einflussfaktoren-auf-die-vitamin-d-versorgung-deutscher-kinder-und-jugendlicher/>

- Berekoven, L., Eckert, W., & Ellenrieder, P. (2009). *Marktforschung*. (G. G. GmbH, Hrsg.) Wiesbaden.
- BfR. (30. März 2020). *Ergosterin in Obst - ein Hinweis auf Schimmelpilzgifte?* Abgerufen am 31. Dezember 2021 von Bundesinstitut für Risikobewertung: DOI 10.17590/20200330-144308
- BfR. (31. Juli 2020). *Vitamin D: Einnahme hochdosierter Nahrungsergänzungsmittel unnötig*. Abgerufen am 28. Dezember 2021 von Bundesinstitut für Risikobewertung: DOI 10.17590/20200731-141633
- BfR. (15. März 2021). *Höchstmengenvorschläge für Vitamin D in Lebensmitteln inklusive Nahrungsergänzungsmitteln*. Abgerufen am 30. Dezember 2021 von Bundesinstitut für Risikobewertung: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/hoechstmengenvorschlaege-fuer-vitamin-d-in-lebensmitteln-inklusive-nahrungsergaenzungsmitteln.pdf>
- Blümle, A., Sow, D., Nothacker, M., Schaefer, C., Motschall, E., Boeker, M., . . . Meerpohl, J. J. (1. April 2019). *Manual systematische Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien*. Abgerufen am 31. Dezember 2021 von Uni Freiburg: 10.6094/UNIFR/149324
- Boenigk, J. (2021). *Biologie*. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag GmbH.
- Brigelius-Flohé, R. (2014). Fettlösliche Vitamine. In P. Heinrich, M. Müller, & L. Graeve, *Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie* (9. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Brigelius-Flohé, R., Blaut, M., & Klaus, S. (2009). Verdauung und Ernährung. In M. Schartl, M. Gessler, & A. von Eckardstein, *Biochemie und Molekularbiologie des Menschen* (1. Aufl.). München: Urban & Fischer Verlag.
- Bundesamt für Strahlenschutz. (8. Juli 2021). *Was ist UV-Strahlung?* Abgerufen am 2. Januar 2022 von BfS: [https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/einfuehrung/einfuehrung\\_node.html](https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/einfuehrung/einfuehrung_node.html)
- BVL. (o.J.). *Neuartige Lebensmittel – Novel Foods*. Abgerufen am 31. Dezember 2021 von Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: [https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/01\\_Lebensmittel/04\\_AntragstellerUnternehmen/05\\_NovelFood/lm\\_novelFood\\_node.html](https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/01_Lebensmittel/04_AntragstellerUnternehmen/05_NovelFood/lm_novelFood_node.html)
- Calvo, M., Babu, U., Garthoff, L., Woods, T. O., Dreher, M., Hill, G., & Nagaraja, S. (23. Februar 2012). *Vitamin D2 from light-exposed edible mushrooms is safe, bioavailable and effectively supports bone growth in rats*. Abgerufen am 12. Dezember 2021 von Osteoporos Int 24, 197–207: <https://doi.org/10.1007/s00198-012-1934-9>
- Cardwell, G., Bornman, J. F., James, A. P., & Black, L. J. (13. Oktober 2018). *A Review of Mushrooms as a Potential Source of Dietary Vitamin D*. Abgerufen am 30. Dezember 2021 von Nutrients: doi: 10.3390/nu10101498

- Cashman, K. D., Dowling, K. G., Škrabáková, Z., Gonzalez-Gross, M., Valtueña, J., De Henauw, S., . . . Kiely, M. (April 2016). *Vitamin D deficiency in Europe: pandemic?* Abgerufen am 29. Dezember 2021 von The American Journal of Clinical Nutrition: doi.org/10.3945/ajcn.115.120873
- Centre for Evidence-Based Medicine. (März 2009). *Oxford Centre for Evidence-Based Medicine: Levels of Evidence (March 2009)*. Abgerufen am 6. Januar 2021 von <https://www.cebm.ox.ac.uk/resources/levels-of-evidence/oxford-centre-for-evidence-based-medicine-levels-of-evidence-march-2009>
- Charoenngam, N., & Holick, M. F. (12. Juni 2020). *Immunologic Effects of Vitamin D on Human Health and Disease*. Abgerufen am 30. Dezember 2021 von Nutrients: doi.org/10.3390/nu12072097
- DAZ. (1. September 2005). *Neue Erkenntnisse zu Vitamin D und Vitamin B12*. Abgerufen am 27. Dezember 2021 von Deutsche Apotheker Zeitung: <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2005/daz-2-2005/uid-13266>
- Deutsches Netzwerk Evidenzbasierte Medizin e.V. (kein Datum). *Klassifikation von Studiendesigns*. Abgerufen am 5. Januar 2022 von Deutsches Netzwerk Evidenzbasierte Medizin e.V.: <https://www.ebm-netzwerk.de/de/service-ressourcen/ebm-basics/arbeitsmaterialien>
- DGE. (23. Februar 2012). *New Reference Values for Vitamin D*. (Karger, Hrsg.) Abgerufen am 23. Dezember 2021 von Deutsche Gesellschaft für Ernährung: DOI: 10.1159/000337547
- EFSA. (28. Oktober 2016). *Vitamin D: EFSA legt Referenzwerte für Aufnahme fest*. Abgerufen am 23. Dezember 2021 von European Food Safety Authority: <https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/161028>
- Glogowski, S. (Juni 2015). UVB-Bestrahlung bei Pilzen zur Erhöhung des Vitamin-D2-Gehalts: Wirkungsweise, Effizienz und Umsetzung in Europa. *Ernährungs Umschau*.
- Gröber, U., & Holick, M. F. (2020). *Vitamin D Die Heilkraft des Sonnenvitamins*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.
- Hahn, A., & Wolters, M. (2001). Maßgeschneiderte Ernährung Functional Foods – Lebensmittel der Zukunft? *Biologie in unserer Zeit*(31).
- Hintzpeter, B., Mensink, G., Thierfelder, W., Müller, M., & Scheidt-Nave, C. (September 2008). *Vitamin D status and health correlates among German adults*. Abgerufen am 20. Dezember 2021 von Eur J Clin Nutr 62, 1079–1089: doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602825
- Holick, M. (2012). In J. Reichrath, B. Lehmann, & J. Spitz, *Vitamin D Update 2012 Von der Rachitisprophylaxe zur allgemeinen Gesundheitsvorsorge* (1. Ausg.). München: Dustri-Verlag Dr. Karl Feistle.

- Horn, F. (2021). Wasser, Elektrolyte und Mineralstoffe. In F. Horn, *Biochemie des Menschen* (8. Ausg.). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Jüstel, T., & Schwung, S. (2016). *Leuchtstoffe, Lichtquellen, Laser, Lumineszenz*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kamweru, P. K., & Tindibale, E. L. (2016). *Vitamin D and Vitamin D from Ultraviolet-Irradiated Mushrooms (Review)*. Abgerufen am 12. Dezember 2021 von International Journal of Medicinal Mushrooms;18(3):205-14: 10.1615/IntJMedMushrooms.v18.i3.30
- Keegan, R.-J. H., Lu, Z., Bogusz, J. M., Williams, J. E., & Holick, M. F. (01. Januar 2013). *Photobiology of vitamin D in mushrooms and its bioavailability in humans*. Von Dermato-Endocrinology Volume 5, 2013 - Issue 1: <https://doi.org/10.4161/derm.23321> abgerufen
- Lehmann, B. (2012). Zur Physiologie von Vitamin D. In J. Reichrath, B. Lehmann, & J. Spitz, *Vitamin D Update 2012 Von der Rachitisprophylaxe zur allgemeinen Gesundheitsvorsorge* (1. Ausg.). München: Dustri-Verlag Dr. Karl Feistle.
- Lelley, J. (1991). *Pilzanbau Biotechnologie der Kulturspeisepilze* (2. Ausg.). Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Linseisen, J., Bechthold, A., Bischoff-Ferrari, H. A., Hintzpete, B., Leschik-Bonnet, E., Reichrath, J., . . . Zittermann, A. (2011). *Vitamin D und Prävention ausgewählter chronischer Krankheiten*. (D. G. e.V., Hrsg.) Abgerufen am 15. Dezember 2021 von Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.: <https://www.dge.de/fileadmin/public/doc/ws/stellungnahme/DGE-Stellungnahme-VitD-210803.pdf>
- Matissek, R., & Baltes, W. (2016). *Lebensmittelchemie* (8. Ausg.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Mehrotra, A., Calvo, M. S., Beelman, R. B., Levy, E., Siuty, J., Kalaras, M., & Uribarri, J. (13. August 2014). *Bioavailability of vitamin D2 from enriched mushrooms in prediabetic adults: a randomized controlled trial*. Abgerufen am 12. Dezember 2021 von European Journal of Clinical Nutrition 68, 1154–1160 : <https://doi.org/10.1038/ejcn.2014.157>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, P. (21. juli 2009). *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement*. Abgerufen am 1. Januar 2022 von NIH National Library of Medicine: 10.1371/journal.pmed.1000097
- MRI. (2008). *Nationale Verzehrsstudie II*. Abgerufen am 30. Dezember 2021 von Max Rubner-Institut: [https://www.mri.bund.de/fileadmin/MRI/Institute/EV/NVSII\\_Abschlussbericht\\_Teil\\_2.pdf](https://www.mri.bund.de/fileadmin/MRI/Institute/EV/NVSII_Abschlussbericht_Teil_2.pdf)
- National Institutes of Health. (2018). *Vitamin D*. Abgerufen am 30. Dezember 2021 von National Institutes of Health: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminD-HealthProfessional/>

- National Library of Medicine. (10. Februar 2021). *MEDLINE: Overview*. Abgerufen am 1. Januar 2022 von NIH: [https://www.nlm.nih.gov/medline/medline\\_overview.html](https://www.nlm.nih.gov/medline/medline_overview.html)
- NemV. (24. Mai 2004). *Verordnung über Nahrungsergänzungsmittel (Nahrungsergänzungsmittelverordnung - NemV)*. Abgerufen am 31. Dezember 2021 von [gesetze-im-internet.de](https://www.gesetze-im-internet.de): <https://www.gesetze-im-internet.de/nemv/NemV.pdf>
- Nikooyeh, B., & Neyestani, T. (26. Juli 2021). *The effects of vitamin D-fortified foods on circulating 25(OH)D concentrations in adults: A systematic review and meta-analysis*. Abgerufen am 23. Dezember 2021 von *British Journal of Nutrition*, 1-18: doi:10.1017/S0007114521002816
- Ozzard, A., Gurdip, H., Morrison, G., & Hoskin, M. (1. September 2008). *Vitamin D deficiency treated by consuming UVB-irradiated mushrooms*. Abgerufen am 12. Dezember 2021 von *British Journal of General Practice*; 58 (554): 644-645.: <https://doi.org/10.3399/bjgp08X341959>
- Pietrzik, K., Golly, I., & Loew, D. (2008). *Handbuch Vitamine Für Prophylaxe, Beratung und Therapie* (Bd. 1). München: Urban & Fischer.
- Pilz, S., März, W., Cashman, K. D., Kiely, M., Whiting, S. J., Holick, M. F., . . . Zittermann, A. (17. Juli 2018). *Rationale and Plan for Vitamin D Food Fortification: A Review and Guidance Paper*. Abgerufen am 25. Dezember 2021 von *Front. Endocrinol.*: <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00373>
- Pilzland Vetriebs GmbH. (kein Datum). *Sonnys dein Vitamin D-Lieferant*. Abgerufen am 8. Januar 2022 von <https://www.pilzland.de/sonnys>
- Pinto, J. M., Merzbach, V., Willmott, A. G., Antonio, J., & Roberts, J. (11. November 2020). *Assessing the impact of a mushroom-derived food ingredient on vitamin D levels in healthy volunteers*. Abgerufen am 12. Dezember 2021 von *Journal of the International Society of Sports Nutrition* volume 17, Article number: 54: <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00387-0>
- Rabenberg, M., & Mensink, G. B. (2016). *Vitamin-D-Status in Deutschland*. (R. Koch-Institut, Hrsg.) Abgerufen am 27. Dezember 2021 von *Journal of Health Monitoring* 1(2): DOI 10.17886/RKI-GBE-2016-036
- Rabenberg, M., Scheidt-Nave, C., Busch, M., Rieckmann, N., Hintzpeter, B., & Mensink, G. (11. Juli 2015). *Vitamin D status among adults in Germany – results from the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGSI)*. Abgerufen am 15. Dezember 2021 von *BMC Public Health*: doi: 10.1186/s12889-015-2016-7
- Reinecke, C. (2018). *Vitamin D verändert das Epigenom*. Abgerufen am 28. Dezember 2021 von *Deutsche Apotheker Zeitung*: <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2018/daz-17-2018/vitamin-d-veraendert-das-epigenom>

- Rimbach, G., Nagursky, J., & Erbersdobler, H. F. (2015). *Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger* (2. Ausg.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schumacher, M., & Schulgen, G. (2008). *Methodik klinischer Studien* (3. Ausg.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schwedt, G. (2018). *Chemische Elemente und ihre Spezies Mobilität, Bioverfügbarkeit, Toxizität und Analytik*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Sizar, O., Khare, A., Bansal, P., & Givler, A. (21. Juli 2021). *Vitamin D Deficiency*. Abgerufen am 25. Dezember 2021 von National Center for Biotechnology Information : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532266/>
- Spitz, J. (2018). Die Bildung von Vitamin D als Sonnenhormon in unserer Haut und seine Verteilung in unserem Körper. In J. Spitz, *Vitamin-D-Mangel Die unterschätzte Gefahr* (1. Ausg.). Wien: Verlagshaus der Ärzte GmbH.
- Stephensen, C. B., Zerofsky, M., Burnett, D. J., Lin, Y.-p., Hammock, B. D., Hall, L. M., & McHugh, T. (23. Mai 2012). *Ergocalciferol from Mushrooms or Supplements Consumed with a Standard Meal Increases 25-Hydroxyergocalciferol but Decreases 25-Hydroxycholecalciferol in the Serum of Healthy Adults*. Abgerufen am 12. Dezember 2021 von The Journal of Nutrition, Volume 142, Issue 7, July 2012, Pages 1246–1252,: <https://doi.org/10.3945/jn.112.159764>
- Stepien, M., O'Mahony, L., O'Sullivan, A., Collier, J., Fraser, W. D., Gibney, M. J., . . . Brennan, L. (29. August 2013). *Effect of supplementation with vitamin D2-enhanced mushrooms on vitamin D status in healthy adults*. Abgerufen am 12. Dezember 2021 von Journal of nutritional science, 2, e29: <https://doi.org/10.1017/jns.2013.22>
- Stiftung Warentest. (14. Januar 2019). *Stiftung Warentest*. Abgerufen am 20. Dezember 2021 von Vitamin-D-Pilze Halten diese Champignons, was sie versprechen?: <https://www.test.de/Vitamin-D-Pilze-Halten-diese-Champignons-was-sie-versprechen-5419461-0/>
- Ternes, W., Täufel, A., Tunger, L., & Zobel, M. (2005). *Lebensmittel-Lexikon* (4. Ausg.). Hamburg: B.Behr's Verlag GmbH & Co.KG.
- Tipler, P. A., Mosca, G., Kersten, P., & Wagner, J. (2019). *Physik für Studierende der Naturwissenschaften und Technik* (8. Ausg.). Berlin: Springer Spektrum.
- Urbain, P., Singler, F., Ihorst, G., Biesalski, H.-K., & Bertz, H. (4. Mai 2011). *Bioavailability of vitamin D<sub>2</sub> from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial*. Abgerufen am 2012. Dezember 2021 von European Journal of Clinical Nutrition volume 65, pages965–971: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2011.53>

- Verbraucherzentrale e.V. (Oktober 2021). *Verbraucherzentrale*. Abgerufen am 18. Dezember 2021 von MIT VITAMIN D ANGEREICHETERE LEBENSMITTEL Marktcheck der Verbraucherzentralen im stationären Handel: [https://www.verbraucherzentrale.de/sites/default/files/2021-10/marktcheck-report-vitamin\\_d.pdf](https://www.verbraucherzentrale.de/sites/default/files/2021-10/marktcheck-report-vitamin_d.pdf)
- Zajac, I. T., Barnes, M., Cavuoto, P., Wittert, G., & Noakes, M. (16. Dezember 2020). *The Effects of Vitamin D-Enriched Mushrooms and Vitamin D3 on Cognitive Performance and Mood in Healthy Elderly Adults: A Randomised, Double-Blinded, Placebo-Controlled Trial*. Abgerufen am 12. Dezember 2021 von *Nutrients* 2020, 12, 3847: <https://doi.org/10.3390/nu12123847>
- Zittermann, A. (März 2018). Neuere Erkenntnisse über Vitamin D Was soll der niedergelassene Arzt berücksichtigen. *Ernährung und Medizin*.
- Zittermann, A. (2020). *Unzureichende Vitamin-D-Versorgung im Alter: Konsequenzen und Lösungsansätze für die Praxis*. (G. T. KG, Hrsg.) Abgerufen am 29. Dezember 2021 von Aktuelle Ernährungsmedizin: DOI 10.1055/a-1560-1998

## Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, 31.01.2022, Elena Hein