



Begleittext zum Vortrag an der SGE-Fachtagung vom 15.9.23 von Dr. sc. nat. ETH Zürich P. Colombani, Consulting Colombani GmbH. Der Text ist eine Überarbeitung von diversen im Kompetenzzentrum Notabene Nutrition veröffentlichten Beiträgen (www.notabenenutrition.media).

Proteine: Wovon sprechen wir überhaupt?

Die Proteine gelten wortwörtlich als «primäre» Nährstoffe. Seit ihrer Entdeckung ist ihre Vielfalt bekannt und bereits vor 130 Jahren wurde der unterschiedliche Nährwert zwischen Proteinen pflanzlicher und tierischer Herkunft erkannt. Dennoch finden diese frühen Erkenntnisse – wie auch die Forschung zu den Proteinen der letzten rund 30 Jahren – oft nicht ihren Weg in die Überlegungen rund um die Proteinzufuhr. Es wäre an der Zeit, dies zu ändern.

Die Klimakrise führt richtigerweise zu vielen Diskussionen über eine nachhaltige Ernährung. Dabei steht bei den empfohlenen Massnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung durch die Ernährung die Reduktion der Produktion tierischer Lebensmittel oft an erster Stelle. Als Alternative zu den Lebensmitteln tierischen Ursprungs gelten in erster Linie proteinreiche, pflanzliche Lebensmittel, aber auch neuartige Produkte wie das «Fleisch aus dem Labor» oder für unsere Kultur exotische Lebensmittel wie die Insekten. Eine Diskussion zu den Proteinen erfordert somit immer auch die Betrachtung der Umweltbelastung entsprechender Lebensmittel.

Treibhausgas-Emissionen durch die Ernährung

Gemäss des *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* erfasst jede Nation ihre Emissionen der Treibhausgase (THG) nach dem Territorialprinzip. In der Schweiz ist das Bundesamt für Umwelt für die THG-Emissionen verantwortlich und es fasst diese im sogenannten THG-Inventar zusammen. Im Jahr 2021 entstanden in der Schweiz rund 45 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, entsprechend einer knapp 20-prozentigen Reduktion seit dem Jahr 1990¹. Im Vergleich zu den global entstandenen, knapp 52 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalente, tragen die Emissionen auf Schweizer Boden 0.1 Prozent zu den globalen Gesamtemissionen bei².

Die gesamten Emissionen, die für die Schweiz entstehen, sind aber viel grösser. Der sogenannte «Rucksack an Emissionen», also die im Ausland für Schweizer Produkte und Dienstleistungen anfallenden Emissionen, sind mehr als doppelt so hoch wie die territorial-Schweizer Emissionen. Der gesamte Schweizer THG-Fussabdruck beträgt rund 103 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente³. Bei globalen THG-Emissionen im Jahr 2020 von knapp 50 Milliarden Tonnen beträgt somit der Anteil an gesamten Schweizer THG-Emissionen etwa 0.2 Prozent.

Das Bundesamt für Statistik weist den Schweizer «THG-Fussabdruck der Ernährung» separat aus, der die entsprechenden Emissionen aus dem Ausland inkludiert. Insgesamt beträgt dieser 16.5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, entsprechend 16 Prozent der gesamten Emissionen von 103 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente⁵. Seit dem Jahr 2023 lässt sich die Berechnung der THG-Emissionen durch die Ernährung aber auch anhand neuer, wissenschaftlicher Publikationen unabhängig von spezialisierten Firmen oder Behörden nachvollziehen. Für die

Schweiz ergibt sich mit diesen Forschungsdaten für das Jahr 2020 ein THG-Fussabdruck der Ernährung von 14 Prozent, also erfreulicherweise fast gleich wie die Berechnung durch das Bundesamt für Statistik ⁴⁻⁶.

Schweizer THG-Fussabdruck tierischer und pflanzlicher Lebensmittel

Das Bundesamt für Statistik dokumentiert den THG-Fussabdruck der Ernährung als Total aller Lebensmittel, ohne Aufschlüsselung nach Lebensmitteln. Die aktuellen Forschungsdaten ermöglichen aber nun eine Auftrennung nach Quelle der Lebensmittel. Die entsprechenden Berechnungen ergeben 5.5 Prozent (der gesamten 103 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente) für die Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs und 8.5 Prozent für diejenigen tierischen Ursprungs ⁴⁻⁶. Diese Berechnung basiert aber auf der üblicherweise genutzten Formel zur Schätzung der THG-Emissionen, die nachweislich die Emissionen durch das Methan massiv überschätzt.

Überschätzte Methanwirkung auf die Temperaturerwärmung

Die IPCC selbst ist sich der Problematik rund um das Methan und ihrer überschätzten Wirkung auf die Temperaturerhöhung bewusst. Denn sie sagt in ihrem wissenschaftlichen Bericht ganz konkret, dass der aktuelle Algorithmus zur Berechnung der THG-Emissionen zu einer Überschätzung der Veränderung der globalen Temperatur über die Zeit führt ⁷. Auch die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz kennt dieses Problem. Sie hat ermittelt, dass eine neue Schätzung der THG-Emissionen mit angepasster Methanwirkung auf die Temperatur den Schweizer THG-Fussabdruck der Ernährung um 85 Prozent reduziert ⁸.

Die Einführung der neuen Schätzung wird aber kaum erfolgen, denn die IPCC hält noch an der alten Berechnung mit überschätzter Methanwirkung fest. Ihre Begründung lautet unter anderem, dass sie ihre Schätzungen schon seit längerer Zeit mit der überschätzten Methanwirkung durchführen und diese Schätzung die in der Literatur am meisten genutzte ist ⁹. Diese Begründung ist für eine wissenschaftliche Organisation seltsam. Denn ein Grundprinzip der Wissenschaft ist die Anpassung bestehender Theorien und Modelle im Lichte neuer, validierter Erkenntnisse. Ohne dieses Grundprinzip käme es in der Forschung und Wissenschaft zum Stillstand.

Die Schätzung des Schweizer THG-Fussabdrucks der Ernährung mit angepasster Methanwirkung auf die globale Temperaturerwärmung führt zu identischen Emissionen von je 5.0 Prozent der gesamten THG-Emissionen durch pflanzliche und tierische Lebensmittel ⁴⁻⁶. Würde man nun die Produktion tierischer Lebensmittel senken und durch eine bezüglich des Nährwerts äquivalente Menge an pflanzlichen Lebensmitteln ersetzen, muss man mit einem Anstieg – und nicht mit einer Reduktion – des Schweizer THG-Fussabdrucks der Ernährung rechnen.

Globale Umweltbelastung der Ernährung: Fokus Transport und Waste

Auch bei der globalen Betrachtung aller Umweltaspekte, also nicht nur der THG, zeigen aktuelle Forschungsdaten ein anderes Bild als üblicherweise dargestellt wird. Dieser in der Fachzeitschrift *Nature Sustainability* veröffentlichte globale Fussabdruck der Lebensmittelproduktion, der die THG-Emissionen, die Wassernutzung, die Landnutzung und die Düngung berücksichtigt, kommt selbst bei Berechnung mit der überschätzten Methanwirkung auf eine Gesamtbelastung, die je hälftig auf Lebensmittel pflanzlichen und tierischen Ursprungs zurückzuführen ist ¹⁰. Eine Reduktion der tierischen Lebensmittel mit gleichzeitiger Kompensation durch pflanzliche Lebensmittel wird daher nicht zu einer

Reduktion der globalen Umweltbelastung führen können (sofern der Nährwert berücksichtigt wird).

Wesentlich wichtiger als die Frage, ob die Produktion bestimmter Lebensmittel oder Lebensmittelgruppen gefördert oder gebremst werden soll, wäre hingegen der Fokus auf die beiden Aspekte der Ernährung mit starkem Einfluss auf die Umweltbelastung: Der «Food-Transport» und der «Food-Waste». Jüngsten und in der Fachzeitschrift *Nature Food* veröffentlichten, wissenschaftlichen Daten zufolge verursachen auf globaler Ebene der Food-Transport rund 20 Prozent aller Lebensmittel-Emissionen und die Lebensmittel-Verschwendung sogar 50 Prozent der THG-Emissionen ^{11,12}.

Der Gehalt der Proteine wird prinzipiell falsch deklariert und der Nährwert der Proteine oft nicht berücksichtigt

Die Geschichte der täuschenden Proteindeklaration beginnt in den Niederlanden. Protagonist ist der Mediziner Gerrit Mulder. Neben seiner medizinischen Praxis lehrt er Ende der 1820er-Jahre in Rotterdam Botanik, Chemie, Geologie, Mineralogie, Pharmazie, Physik und Zoologie ¹³. Nach einem Burn-out und Kollaps nimmt er sich etwas zurück und fokussiert sich fortan nur noch auf die Chemie ¹⁴.

Proteine: Der Namensgeber

Mitte der 1830er-Jahre untersucht Mulder die elementare Zusammensetzung verschiedener Eiweisse. Er realisiert dabei, dass diese Eiweisse eine ähnliche Grundstruktur aufweisen, und sucht nach der entsprechenden molekularen Formel. Akribisch bestimmt Mulder in diversen Substanzen den atomaren Gehalt der Eiweisse, unter anderem in Rinderfasern, Hühnereiern, Käse und «Pflanzen-Eiweiss». Die ermittelten Mengen an Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff listet er schliesslich minutiös in einer 1838 erscheinenden Publikation auf.

In dieser Publikation bezeichnet Mulder zum ersten Mal die Eiweisse als «Proteine», die ersten oder primären Stoffe ¹⁵. Der Begriff Protein stammt aber nicht von ihm selbst. Es ist einer der grössten Chemiker dieser Zeit, der Schwede Jacob Berzelius, der den Begriff vorschlägt. Mulder unterhielt mit Berzelius einen regen Austausch und in einem Brief vom 10. Juli 1838 meint Berzelius: «Diesem Stoff muss man einen einzigartigen Namen geben, zum Beispiel Protein» ¹³.

Der Beginn der Täuschung: Eine zu starke Vereinfachung

Ein Ergebnis aus der über 70-seitigen Publikation von Mulder legt den Grundstein für die heute immer noch übliche analytische Bestimmung der Proteine. Die im Labor von Mulder ermittelte atomare Zusammensetzung des Eiweisses der Rinderfasern und Eier ergibt einen Anteil von nicht ganz 16 Prozent Stickstoff ¹⁵.

Als molekulare Formel für diese beiden Proteine identifiziert Mulder schliesslich $C_{40}H_{62}N_{10}O_{12}$, gemäss derer der Stickstoff einen Gewichtsanteil von exakt 16 Prozent haben muss. Da bei molekularen Formeln das Gewicht und Verhältnis der Atome per Definition immer exakt sind und bei einzelnen Analysen immer kleine Messfehler vorkommen, übernimmt man schliesslich die «Mulder-Formel» als die exakte Zusammensetzung aller Proteine ¹⁴.

Die 16 Prozent Stickstoff aus Mulders Formel sind heute sogar gesetzlich verankert. In Europa und in der Schweiz schreiben die rechtlichen Verordnungen über die Information von Lebensmitteln vor, der deklarierte Gehalt der Proteine müsse auf der indirekten, atomaren

Analyse des Stickstoffs fassen und mittels eines einzigen Stickstoff-zu-Protein-Umrechnungsfaktor von 6.25 berechnet werden ($1 \text{ g Stickstoff} \times 6.25 = 6.25 \text{ g Protein}$)^{16,17}.

Der Faktor von 6.25 entspricht dabei nichts anderem als den 16 Prozent Stickstoff aus der Mulder-Formel ($100:16=6.25$). Dass die Herleitung des Gehalts der Proteine mit immer demselben Faktor von 6.25, wie nachfolgend beschrieben, für viele Lebensmittel zu einem falschen Proteingehalt führen kann, wäre schon aus der 1838er-Publikation von Mulder ersichtlich gewesen. Denn er selbst erwähnt zum Beispiel beim «Pflanzen-Eiweiss» einen Anteil von 18.4 und nicht 16.0 Prozent Stickstoff¹⁵. Aber es ist einfacher, wenn nur ein Faktor existiert, und vermutlich hat sich die Nutzung von 6.25 als einzigen Faktor aus diesem Grund durchgesetzt.

Jedenfalls bestimmt man den Proteingehalt mittlerweile aus Tradition über die Analyse des Stickstoffs und anschliessender Umrechnung mit dem Faktor von 6.25. Aus physiologischer Sicht ist dies aber nicht akzeptabel. Denn die Kenntnis des echten Gehalts an Proteinen in den Lebensmitteln ist eine von mehreren Voraussetzungen, um deren Zufuhr beurteilen zu können. Die Vereinfachung eines Sachverhalts hat oft viele Vorteile, aber manchmal führt sie leider zu eklatanten Fehlern. Oder wie Einstein gesagt haben soll: «Alles sollte so einfach wie möglich gemacht werden. Aber nicht einfacher»¹⁸.

Jones' Kritik am Faktor 6.25 und die Jones-Faktoren

Eine der grössten Kritiken über die Folgen der Nutzung des einzigen Faktors von 6.25 stammt aus der Feder des amerikanischen Chemikers D. B. Jones. Er hält bereits im Jahr 1931 unaufgeregt, aber unmissverständlich fest: «Die Prozente für Proteine in Büchern und Tabellen über die Zusammensetzung von Lebensmitteln sind nur eine Darstellung des Gehaltes an Stickstoff, und in vielen Fällen weit davon entfernt, den echten Gehalt an Proteinen darzustellen»¹⁹. Jones trägt die damals analysierten Gehalte an Stickstoff in den Proteinen von über 120 Lebensmitteln zusammen und dokumentiert so einen variierenden Gehalt von 13.4 Prozent Stickstoff bei der Avocado bis 19.3 Prozent Stickstoff bei den Mandeln (und daraus abgeleitete Faktoren von 7.46 bis 5.18).

Der Proteingehalt der Mandeln von 26 Gramm pro 100 Gramm wird also aus einem Gehalt von $26:6.25=4.16$ Gramm Stickstoff berechnet. Mit dem richtigen Faktor von 5.18 würde aber eine knapp 20 Prozent geringere Menge an Proteinen von 21.5 Gramm resultieren. Aber dies ist nicht der einzige Grund, weshalb die Ermittlung des Gehalts an Proteinen über den analysierten Stickstoff fehlerbehaftet ist.

Nicht aller Stickstoff stammt aus den Proteinen

Die Stickstoff-zu-Protein-Umrechnung basiert gleich auf zwei falschen Annahmen, die bereits Jones im Jahr 1931 aufdeckte. Neben der Annahme, alle Proteine enthielten exakt 16 Prozent Stickstoff, ist gemäss Jones auch die zweite Annahme, aller Stickstoff komme nur in den Proteinen vor, nicht korrekt. Jones lag damit goldrichtig.

In Lebensmitteln und auch Futtermitteln ist der Stickstoff in verschiedenen Substanzen enthalten. Der Stickstoff, der nicht in den Proteinen vorkommt, trägt die simple Bezeichnung «Nicht-Protein-Stickstoff» (zum Beispiel in Amiden oder in Harnstoff). Während die Bedeutung und Problematik des Nicht-Protein-Stickstoffs bei den Futtermitteln in der Tierernährung bestens bekannt sind, ignoriert man ihn in der Ernährung des Menschen bis heute fast vollständig.

Das Problem mit dem Nicht-Protein-Stickstoff ist in der chemischen Analyse des Stickstoffs begründet. Sie kann nicht zwischen dem Stickstoff in den Proteinen und dem Nicht-Protein-Stickstoff unterscheiden. Daraus folgt: Der Nicht-Protein-Stickstoff führt zu einer Überschätzung des Gehalts an Proteinen, da er fälschlicherweise als Protein-Stickstoff interpretiert wird.

Wäre die Menge an Nicht-Protein-Stickstoff gering, ergäbe sich auch nur eine geringe Überschätzung des Gehalts an Proteinen und man könnte den Nicht-Protein-Stickstoff vernachlässigen. Aber einerseits kann er tatsächlich in nennenswerten Menge vorkommen und andererseits kann sein Anteil auch stark schwanken, wie das Beispiel von 20 bis 60 Prozent des als Nicht-Protein-Stickstoff vorliegenden Stickstoffs in Hülsenfrüchten zeigt²⁰. Eine pauschale Korrektur für den Nicht-Protein-Stickstoff, im Sinne, alle Gehalte an Proteinen sind um XY Prozent zu hoch und entsprechend zu reduzieren, lässt sich somit nicht anwenden.

Nährstoffgehalt und Nährwert der Proteine sind unterschiedliche Dinge

Es gibt zweierlei Empfehlungen in der Ernährung. Die einen basieren auf Nährstoffen und die anderen auf Lebensmitteln. Die auf Lebensmittel basierten Empfehlungen gruppieren die Lebensmittel oft anhand eines «Leit-Nährstoffs», der in bedeutenden Mengen in diesen Lebensmitteln vorhanden ist. Das Paradebeispiel dieses Prinzips sind die Gruppe der Proteinlieferanten wie beispielsweise Fleisch, Fisch, Bohnen oder Tofu, deren empfohlene Menge eine äquivalente Menge an Proteinen enthalten soll^{21,22}.

Die Berechnung solcher Proteinäquivalenzen fusst aber allein auf dem Gehalt der Proteine, der über die Analyse des Stickstoffs ermittelt wurde. Da diese Analysen, wie oben dargestellt, oft zu falschen Proteingehalten führen, ist eine solche Berechnung der Äquivalenzen bereits aus diesem Grund fachlich infrage zu stellen. Ein weiterer Aspekt macht aber solche Proteinäquivalenzen vollends unbrauchbar: Sie ignorieren die physiologische Qualität der Proteine.

Das Ergebnis einer Untersuchung des Teams um Professor Robert Wolfe, einem Top-Forschenden auf dem Gebiet der Proteine, unterstreicht die Untauglichkeit solcher Proteinäquivalenzen. Bei Erwachsenen war der Nettoaufbau an Körperproteinen nach der Einnahme von äquivalenten Mengen an pflanzlichen Proteinlieferanten wesentlich geringer als nach Einnahme von tierischen Proteinlieferanten. Im Extremfall betrug der Unterschied fast das Fünffache (Gemisch an Nüssen versus Rindfleisch)²³.

Proteine dürfen nicht nur anhand ihrer Menge beurteilt werden

Robert Wolfe und sein Team kommen zum Schluss, dass die physiologische Äquivalenz für die Proteine in den US-Empfehlungen nicht gewährleistet ist. Daher sei bei der Entwicklung neuer Empfehlungen insbesondere die geringere anabole Antwort der pflanzenbasierten Proteine neu zu berücksichtigen²³.

Die US-Forschende sprechen damit einen Aspekt an, der eigentlich schon lange bekannt ist: Eine physiologische Beurteilung der Proteine, die allein auf ihrer eingenommenen Menge basiert, ist fachlich nicht haltbar. Der Grund liegt auf der Hand: Der Körper benötigt nicht «Proteine», sondern seine Bausteine, die Aminosäuren. Der entscheidende Faktor für die physiologische Beurteilung der Proteine ist dementsprechend die Verfügbarkeit der einzelnen Aminosäuren am Ort ihrer Nutzung in den Körperzellen²⁴. Proteine gelten dabei als umso hochwertiger, je mehr von ihnen im Körper genutzt werden kann²⁵. Mit ihrer Untersuchung

bestätigen Wolfe und sein Team auch Erkenntnisse, die sie schon vor Jahrzehnten zu Tage brachten. Die metabolische Wirkung der Proteine hängt nur von einem Teil der Proteine ab: Dem Gehalt der verfügbaren, essenziellen Aminosäuren ^{26,27}.

Physiologische Beurteilung der Proteine: Ein multifaktorieller Prozess

Die Beurteilung der physiologischen Qualität der Proteine in Bezug auf das Körperprotein ist nicht trivial. Ideal bräuchte es dafür eine direkte Analyse des Proteinumsatzes im Stoffwechsel nach der Einnahme eines Proteins, so wie Wolfe und sein Team es jeweils durchführen ^{28,29}. Solche Analysen sind aber hochkomplex, teuer und nur wenige Forschungsstätten sind dazu in der Lage. Als Alternative bleibt daher die indirekte Auswertung bereits erhobener Daten. Auch diese ist aber nicht simpel. So ist es nicht erstaunlich, dass man immer wieder auf Auswertungen trifft, die zentrale Aspekte ausser Acht lassen oder sogar auf einer falschen Datengrundlage basieren.

Wie erwähnt, ist die Verfügbarkeit der essenziellen Aminosäuren in Körperzellen der massgebende, proteinbezogene Faktor für die physiologische Beurteilung der Proteine. Um diese zu berechnen, müssen folgende Daten bekannt sein ^{30,31}:

- der Gehalt der Proteine des Lebensmittels
- der Gehalt der Aminosäuren im Gesamtprotein, insbesondere der essenziellen Aminosäuren und des Leucins
- der Gehalt an Nicht-Protein-Stickstoff im Lebensmittel
- die Verdaulichkeit des Lebensmittels sowie diejenige der Proteine und Aminosäuren.

Die variierende Verdaulichkeit der Proteine

Die Verdaulichkeit der Proteine, also diejenige Menge der Proteine, die über das Magen-Darm-System effektiv in den Körper gelangt und verstoffwechselt wird, hängt von vielen Faktoren ab. Dazu zählen die physikalische Struktur der Proteine, wie und in welcher Reihenfolge die einzelnen Aminosäuren in den Proteinen verknüpft sind, das Vorhandensein von anderen Nährstoffen oder antinutritiven Substanzen wie zum Beispiel die Trypsin-Inhibitoren oder Tannine im Lebensmittel sowie auch die generelle Verarbeitung des Lebensmittels ^{32,33}. Proteine in pflanzlichen Lebensmitteln sind generell schlechter verdaulich als diejenigen aus tierischen Quellen, da sie in den pflanzlichen Zellen eingeschlossen und so für den Aufschluss durch die Enzyme im Darm schlechter zugänglich sind. So schätzt man die Verdaulichkeit der Proteine in Ländern mit hauptsächlich pflanzlichen Proteinquellen auf 55 bis 80 Prozent, währendem sie bei typischem, nordamerikanischem Ernährungsverhalten um die 90 Prozent beträgt ³³.

Die Verdaulichkeit der Proteine wird zusätzlich durch die technologische oder küchentechnische Verarbeitung stark beeinflusst. Sie führt dazu, dass die Verdaulichkeit selbst bei identischen Proteinen enorm variieren kann. Während die Verdaulichkeit von Kartoffelproteinen in Form von Chips bei knapp 50 Prozent liegt, beträgt sie bei gedämpften Kartoffeln etwa 60 Prozent und bei Konzentraten sind es um die 85 bis 90 Prozent ³⁴.

Letzteres zeigt auch, wie die Extraktion der Proteine aus ihrer natürlichen Umgebung der Lebensmittel-Matrix die Verdaulichkeit erheblich verbessern kann. Aber dabei können positive Aspekte, die mit dem nicht oder wenig verarbeiteten Lebensmittel zusammenhängen, verloren gehen. Die Proteine sind per se zwar besser verdaulich, aber man generiert auf diese Weise

schnell ein übermässig verarbeitetes Produkt, das man lieber nicht in der Basisernährung haben möchte.

Gehalt an essenziellen Aminosäuren ist massgebend

Einer der wesentlichen Faktoren für die Beurteilung der physiologischen Qualität der Proteine ist die Art und Menge der in den Proteinen enthaltenen Aminosäuren ²⁵. Massgebend sind dabei die Summe aller essenziellen Aminosäuren sowie der Gehalt der essenziellen Aminosäure Leucin ^{23,35}.

Wie bei der Verdaulichkeit schneiden die Proteine pflanzlichen Ursprungs auch bezüglich der essenziellen Aminosäuren generell schlechter ab als Proteine tierischen Ursprungs. Wiederholt hat man nach der Einnahme von Molkenprotein den höchsten Aufbau von Körperproteinen gemessen (Proteinsynthese). Um identische Mengen an essenziellen Aminosäuren und Leucin wie im Molkenprotein zu erhalten und damit eine vergleichbare Proteinsynthese zu erzielen, braucht man zum Beispiel die doppelte Menge an Hanf- oder Lupinenprotein und die eineinhalbfache Menge an Erbsenprotein ³⁶.

Kombination pflanzlicher Proteine zur Optimierung der Aminosäuren

Der geringere Gehalt an essenziellen Aminosäuren bei den pflanzlichen Proteinen ist seit langem bekannt. Oft wird aber argumentiert, dass sich ungünstige Muster an Aminosäuren pflanzlicher Lebensmittel durch eine Kombination mit anderen pflanzlichen Lebensmitteln, die sich bei den essenziellen Aminosäuren ergänzen, aufgewertet werden könnten.

Das Erzielen einer echten physiologischen Äquivalenz, also nicht nur das Erreichen einer identischen Zusammensetzung der Aminosäuren bei gleicher Proteinmenge, sondern auch einer gleichen physiologischen Wirkung, ist aber über Mischungen verschiedener pflanzlicher Lebensmittel in ihrer ursprünglichen Form alles andere als einfach. Über die Kombination von Proteinkonzentraten oder -isolaten aus pflanzlichen Lebensmitteln ist dies sicherlich einfacher zu bewerkstelligen. Bei pflanzlichen Proteinkonzentraten/-isolaten handelt es sich aber nicht mehr um Lebensmittel, sondern um sehr stark verarbeitete Produkte.

Beispiel: Physiologische Beurteilung des Erbsenproteins

Die multifaktorielle Beurteilung der Qualität der Proteine lässt sich am Beispiel der Erbsen gut demonstrieren. Bei Erbsen im natürlichen Zustand gilt es viele Faktoren zu berücksichtigen, die die physiologische Qualität beeinflussen: Der effektive Proteingehalt unter Berücksichtigung des Gehalts an Nicht-Protein-Stickstoff, die Verdaulichkeit der Erbse und der Aminosäuren sowie der Gehalt an essenziellen Aminosäuren. So lässt sich mit folgenden Daten zum Beispiel die physiologische Äquivalenz im Vergleich zu einer Portion Rindfleisch von 120 Gramm berechnen, die etwa 26 Gramm hochwertige Proteine enthält:

- Effektiver Stickstoff-zu-Protein-Umrechnungsfaktor basierend auf der Aminosäuren-Analyse der Erbsen: 4.20 bis 5.44 anstelle des gesetzlich vorgeschriebenen Faktors von 6.25 ^{37,38}. (Der Faktor variiert stark in Abhängigkeit des Nitrat-Gehalts der Erbsen sowie der angewandten Methode zur Analyse der Aminosäuren.)
- Benötigte Menge an Erbsenprotein für identischen Gehalt an Leucin & essenzielle Aminosäuren wie im Rindfleisch: +70 Prozent (bzw. 1.7fache Menge) ³⁶
- Proteinverdaulichkeit gekochte Erbsen: 73 Prozent ³⁴

Die physiologische Äquivalenz zum Rindfleischprotein beträgt somit:

- $(6.25/5.44) \times 1.5 \div 0.73 = 2.36$ bis
- $(6.25/4.20) \times 1.5 \div 0.73 = 3.06$

Dies bedeutet: Die physiologische Äquivalenz von Erbsen in unverarbeitetem Zustand im Vergleich zu einer Portion Rindfleisch mit 26 Gramm Proteinen beträgt 2.36 bis 3.06x 26 Gramm beziehungsweise 61 bis 80 Gramm deklariertes Erbsenprotein. Bei 6.6 Gramm (deklariertes) Protein pro 100 Gramm Erbsen ist die äquivalente Menge an Proteinen in 925 bis 1210 Gramm Erbsen enthalten. Dies ergibt bei einer Portionsgröße von 100 Gramm Erbsen rund 9 bis 12 Portionen Erbsen, die mit einer Portion Rindfleisch in Bezug auf das Protein physiologisch äquivalent sind.

Solche Äquivalenzberechnungen sollten die Grundlage für die Berechnung von austauschbaren Portionen an Proteinlieferanten sein und Bestandteil von allgemeinen Ernährungsempfehlungen werden. Sie zeigen aber auch auf eindrückliche Art und Weise ein Hauptproblem einer echten Austauschbarkeit der Proteine. Würde man tatsächlich eine Proteinportion Rindfleisch (oder andere tierische Proteinlieferanten) mit 9 bis 12 Portionen Erbsen ersetzen, ergäbe dies aufgrund der Stärke in den Erbsen eine massive, zusätzliche Zufuhr an Kalorien.

Wer keine Austausch Tabellen für die Proteinlieferanten zur Hand hat, die auf dem Nährwert basieren (solche basierend auf dem Gehalt der Proteine sind nicht ausreichend, auch wenn sie die Verdaulichkeit berücksichtigen), kann sich mit einer groben, dafür sehr einfachen Faustregel behelfen: Der deklarierte Gehalt an Proteinen tierischer Lebensmittel entspricht grob dem Nährwert der Proteine, derjenige pflanzlicher Proteine muss hingegen durch zwei geteilt werden, damit man den Nährwert der pflanzlichen Proteine erhält.

Die minimale Proteinempfehlung von 0.8 Gramm pro Kilogramm Gewicht

Die empfohlene Proteinzufuhr für Erwachsene von 0.8 Gramm pro Kilo Körpergewicht fusst auf Stickstoff-Nullbilanz-Studien nach Tagen bis Wochen proteinfreier Ernährung, dem sogenannten Protein hunger. Mit diesen Studien kann man den minimalen Proteinbedarf ermitteln. Der Stoffwechsel im Protein hunger und im optimalen Fall sind aber zwei unterschiedliche Paar Schuhe. Dies war bereits vor über 100 Jahren bekannt. Ein damals führender, amerikanischer Ernährungswissenschaftler nannte in seinen Lehrbüchern zur Ernährung einen Fall von rund 2.5 Kilogramm Muskelverlust am Ende der Protein hunger-Phase, also bevor die eigentliche Analyse der Stickstoff-Nullbilanz überhaupt gestartet wurde³⁹. Stickstoff-Nullbilanz-Analysen beginnen somit im Zustand eines Nettoabbaus an Körperprotein und Verlusten an Muskeln, einem Zustand, der für gesunde Personen alles andere als ideal ist.

Die Basis der aktuellen Empfehlung von 0.8 Gramm pro Kilogramm Gewicht

In Europa gelten heute 0.83 Gramm pro Kilogramm Gewicht als Referenzwert für die Proteinzufuhr von gesunden, nicht schwangeren und nicht stillenden Erwachsenen und die Schweiz hat diesen Wert im Jahr 2022 unverändert übernommen⁴⁰. Als alleinige Datengrundlage für die Herleitung dieser Empfehlung diente eine Meta-Analyse zu Stickstoff-Bilanz-Studien aus dem Jahr 2003. Alle anderen Erkenntnisse, inklusive diejenigen zur Proteinzufuhr für einen optimalen Proteinstoffwechsel (siehe unten), sind leider nicht in die Herleitung der Empfehlung eingeflossen.

Konkret gilt heute die niedrigste Proteinzufuhr, mit der bei ausgeglichener Kalorienbilanz eine Stickstoff-Nullbilanz erzielt wird, als Kriterium für eine adäquate Proteinzufuhr⁴⁰. Diese Definition ist erstaunlich. Denn selbst die drei Autoren der Meta-Analyse, die als Grundlage für die Herleitung der «adäquaten Proteinzufuhr» diente, sagen unmissverständlich:

Die Stickstoff-Nullbilanz hat für die Bestimmung des Proteinbedarfs ernste Mängel, aber es gibt keine validierte Alternative⁴¹.

Das Motto für die Herleitung des offiziellen Referenzwertes der Proteinzufuhr lautet somit: Lieber etwas Traditionelles, aber Mangelhaftes, als etwas Neues, wofür möglicherweise schon Evidenz vorliegt, aber das leider noch nicht offiziell übernommen wurde.

Proteinsynthese versus Stickstoff-Nullbilanz

Anfangs der 1990er Jahren startet eine Serie an Studien zur Analyse der direkten Wirkung der Nahrungsproteine auf den Stoffwechsel. Im Gegensatz zu den Stickstoff-Nullbilanzstudien erfolgen diese nicht im oder nahe am Proteinmangel, sondern in einem normalen Zustand des Stoffwechsels. Sie messen auch nicht mehr den Stickstoff als unspezifisches Surrogat für abgebautes Körperprotein. Diese «neuen» Studien zum Proteinbedarf messen die direkte Wirkung definierter Nahrungsproteine auf ausgewählte Körperproteine innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Häufig, aber nicht nur, handelt es sich dabei um den größten Proteinpool im Körper, das Muskelprotein^{42,43}. Die Erkenntnisse aus mittlerweile mehreren hundert Studien zur Synthese der Muskelproteine liefern ausreichend Informationen, um die Wirkung einer Proteinzufuhr auf den Stoffwechsel zu charakterisieren und daraus entsprechende Empfehlungen für einen optimalen Stoffwechsel herzuleiten.

Proteinportion versus Tagesmenge

Die Studien zur Proteinsynthese haben zu einer wesentlichen Erkenntnis geführt, die eine Anpassung der immer noch gültigen Empfehlung von «täglich 0.8 Gramm Protein pro Kilogramm Gewicht» erfordert: Der postprandiale Stoffwechsel ist für die Wirkung der Proteine genauso ausschlaggebend wie bei den Kohlenhydraten und Fetten. Die während einer Mahlzeit eingenommene Art und Menge an Proteinen determinieren dabei ihre physiologische Wirkung auf eine derart massgebende Art und Weise, dass daraus das Konzept der «Proteinportion» entwickelt wurde⁴⁴.

Auf Ebene des Gesamtkörpers erfolgt bei einer einmaligen Einnahme von bis zu mindestens 45 Gramm an hochwertigem, tierischem Protein innerhalb einer Mahlzeit eine dosisabhängige Verbesserung der Proteinbilanz⁴⁴. Auf Ebene der Muskelproteinsynthese ist hingegen eine maximale Ausnutzung der Nahrungsproteine schon bei einer Menge von 20 bis 30 Gramm an hochwertigen Proteinen pro Mahlzeit erreicht⁴⁴. Höhere Mengen in einer Proteinportion führen hier zu keiner weiteren Verbesserung der Muskelproteinsynthese.

Bei geringeren Mengen an Proteinen in einer Mahlzeit kommt es zu einer reduzierten Ausnutzung der Proteine, die man durchaus als Proteinverschwendung bezeichnen kann. Im Setting des Sports empfiehlt man deswegen schon lange, mit jeder Mahlzeit sicher 25 bis 30 Gramm an hochwertigem Protein einzunehmen. Auch wenn mit einer Proteinportion von 45 Gramm eine bessere Wirkung zu erwarten wäre, scheut man sich aufgrund der im Sport üblichen drei bis vier Mahlzeiten pro Tag diese Menge zu empfehlen. Die Gesamtaufnahme an Protein könnte dann mit 3-4x 45 Gramm Protein pro Tag und einer daraus resultierenden Menge von teils über 2 Gramm pro Kilogramm Gewicht doch sehr hoch ausfallen.

Proteinportion: Auch die Frequenz ist von Bedeutung

Neben der Menge an Protein spielt bei einer Proteinportion auch die Häufigkeit ihrer Einnahme eine zentrale Bedeutung. Dies illustrierte schon vor knapp zehn Jahren eine Studie aus der Forschungsgruppe von Douglas Paddon-Jones von der *University of Texas* auf eindrückliche Art und Weise. Bei gleicher täglicher Menge an Kalorien und Makronährstoffen, inklusive gleicher Menge an Proteinen, die aus einem Mix an pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln stammten, bestimmte die Menge an Proteinen in einer Proteinportion das Ausmass der täglichen Proteinsynthese in der Muskulatur. Enthielten alle drei Hauptmahlzeiten bei jungen, gesunden Erwachsenen jeweils 30 Gramm Protein, so war die Proteinsynthese rund 25 Prozent höher im Vergleich zu einer in den USA üblichen Verteilung der Proteinaufnahme von 10 Gramm zum Frühstück, 15 Gramm zum Mittagessen und 65 Gramm zum Abendessen ⁴⁵.

Trotz dieser und diverser weiterer Erkenntnisse zur zentralen Bedeutung der Proteinportion finden wir heute weder in offiziellen Empfehlungen zur Ernährung noch zur Proteinzufuhr einen Hinweis auf die Proteinportion. Es ist daher höchste Zeit, dass die Proteinportion ein elementarer Bestandteil jeder Empfehlung zur Ernährung wird. Nicht zu vergessen ist in diesem Kontext, dass im Falle einer ausschliesslich aus pflanzlichen Lebensmitteln bestehenden Mahlzeit die Zielmenge an Proteinen erheblich zu erhöhen ist, da der Nährwert der pflanzlichen Proteine erheblich niedriger ist als derjenige von tierischen Proteinen.

Optimale, tägliche Proteinzufuhr

Bei einer täglichen Zufuhr von 0.8 Gramm Protein pro Kilogramm Gewicht und einem Standardgewicht von 75 oder 60 Kilogramm erkennt man schnell die Problematik einer von der minimalen Proteinzufuhr ausgehenden Empfehlung zur Proteinzufuhr. Die resultierenden 48 oder 60 Gramm an Proteinen würden nur etwa zwei Mahlzeiten mit einer Proteinportion von 25 bis 30 Gramm erlauben, und das Protein müsste dann zwingend hochwertig sein. Bei einer Zufuhr von um die 100 Gramm Protein pro Tag hätten hingegen drei Proteinportionen mit ausreichend Proteinen problemlos Platz.

Die täglich rund 100 Gramm Protein decken sich mit den Erkenntnissen zur Hebelwirkung der Proteine (siehe [entsprechenden Text bei Notabene Nutrition](#)). Erhält der Mensch die Möglichkeit, ad libitum von einer breiten Palette an Lebensmitteln zu wählen, konsumiert er diese derart, dass in der Regel ein täglicher Konsum von rund 1.4 Gramm Protein pro Kilogramm Gewicht resultiert ^{46,47}. Diese 1.4 Gramm Protein entsprechen auch der Menge an Protein von 1.2 bis 1.6 Gramm Protein, die sich aus der gesamten Evidenz über eine sinnvolle Proteinzufuhr für Erwachsene herleitet und die schon seit Jahren als neuer Referenzwert gefordert wird ⁴⁸.

Proteinzufuhr in der Schweiz

Aktuelle Daten zur Proteinzufuhr in der Schweiz liegen leider nicht vor. Die einzige, nationale Verzehrsstudie menuCH erfolgte bereits vor knapp 10 Jahren und seither dürfte sich das Essverhalten aufgrund der Covid-Pandemie, der vermehrten Arbeit von zu Hause aus und des «plant-based» Zeitgeists verändert haben. Vor knapp 10 Jahren betrug jedenfalls die tägliche Proteinzufuhr bei den erwachsenen Frauen im Alter von 18 bis 75 Jahren im Durchschnitt 1.1 Gramm pro Kilogramm Gewicht, bei den Männern 1.2 Gramm ⁴⁹. Mehr als ein Viertel davon konsumierte jedoch weniger als 0.8 Gramm pro Tag. Da mit steigendem Alter die Proteinzufuhr üblicherweise abnimmt, dürfte dieser Anteil bei den nicht in menuCH erfassten

über 75-Jährigen noch höher sein, und so der Anteil an kritischer Proteinzufuhr in der Schweiz schon vor knapp 10 Jahren bei weit über 25 Prozent aller Erwachsenen liegen.

Nimmt man hingegen die täglich 1.4 Gramm Proteine pro Kilogramm Gewicht als Zielmenge an, wie es die aktuelle Forschungsliteratur fordert, so wäre die Situation schon vor 10 Jahren bei der Mehrheit der Erwachsenen richtig kritisch gewesen. Im Lichte des aktuellen Zeitgeists und der damit einhergehenden Reduktion des Konsums von tierischen Lebensmitteln, inklusive der hochwertigen Proteine, besteht heute somit eine sehr reale Gefahr einer bevölkerungsweiten Unterversorgung mit dem primären Nährstoff unserer Ernährung.

Fazit

Die Klimakrise ist ein Problem von enormen Ausmass und ohne einschneidende Veränderungen im Verhalten der Menschen werden die Folgen katastrophal sein. Viel Zeit bleibt nicht mehr übrig, um aus den gemachten Fehlern die richtigen Schlüsse zu ziehen und die Klimaerwärmung zu stoppen. Es ist daher von zentraler Bedeutung, auf die wesentlichen Aspekte zu fokussieren und keine Zeit mit Nebenschauplätzen zu verlieren, die wenig Einfluss auf die Umweltbelastung haben.

Bei den THG ist die Reduktion von neuen Emissionen der zentrale Aspekt, also ein Rückgang der Nutzung fossiler Energieträger. Ihre Nutzung trägt «neues» CO₂ in die Atmosphäre. Der grosse Teil der Emissionen aller Lebewesen, inklusive der Pflanzen und Tiere, die als Nahrung dienen, stellt hingegen keine «neuen» Emissionen dar. Ihr Ursprung ist bereits emittiertes und in der Atmosphäre vorhandenes CO₂. Dieses wird von Pflanzen assimiliert und gelangt dann in Form von kohlenstoffhaltigen Nährstoffen als Teil des Futters in die Tiere. Nach der Verstoffwechslung scheiden die Tiere den Kohlenstoff grösstenteils wieder als CO₂ oder Methan in die Atmosphäre aus (=der sogenannten Kohlenstoffkreislauf).

Im reinen Kontext der Ernährung gibt es zwei Hebel, die zu einer Reduktion der Umweltbelastung führen: der Transport und die Verschwendung von Lebensmitteln. Auf Ebene der gesamten Ernährung betrachtet belasten aktuell die pflanzlichen und tierischen Lebensmittel die Umwelt etwa im gleichen Ausmass. Würde man den Anteil an Lebensmitteln tierischen Ursprungs reduzieren und diese mit pflanzlichen Lebensmitteln ersetzen, die aber den gleichen Nährwert liefern, ergäbe dies keine Reduktion der Belastung. Und gleichzeitig müsste man mit einer Verschlechterung der Gesundheit der allgemeinen Bevölkerung rechnen, da die Gefahr einer Unterversorgung an Proteinen, aber auch an anderen hochwertigen und hochverfügbaren Nährstoffen wie Zink oder Eisen steigen würde.

Diese Gefahr verschärft sich, wenn die Forschungserkenntnisse der letzten rund 30 Jahren zur optimalen Proteinzufuhr weiterhin nicht in neue Empfehlungen zur Ernährung einfließen. Wesentliches Problem ist hier die Betrachtung der Proteinzufuhr von täglich 0.8 Gramm pro Kilogramm Gewicht als adäquat, da ihre analytische Herleitung mittels Stickstoff-Nullbilanz-Studien den adäquaten Stoffwechselzustand gar nicht ermitteln kann. Als optimale Zufuhr gelten heute rund 1.4 Gramm pro Kilogramm Gewicht und pro Tag.

Neu müsste in den Empfehlungen zur Ernährung die Proteinportion in den Vordergrund rücken. Ideal erfolgt dies Hand in Hand mit einer Darstellung einer möglichst breiten Palette an physiologisch äquivalenten, den Nährwert der Proteine berücksichtigenden Proteinlieferanten. Damit liesse sich eine vielfältige Auswahl der Proteinlieferanten einfach kommunizieren und vor allem sicherstellen, dass die verschiedenen Proteinlieferanten wirklich äquivalent sind, was

bei alleinigem Bezug auf den deklarierten Proteingehalt nicht der Fall ist. Generell ist dabei zu beachten, dass der Nährwert und somit die Qualität der pflanzlichen Proteine deutlich geringer ist als derjenige tierscher Proteine. Auf diesen relevanten Unterschied wies bereits Carl von Noorden im Jahre 1893 in seinem Werk «Pathologie des Stoffwechsels» hin. Er bezifferte eine Proteinzufuhr von 1.7 Gramm pro Kilogramm Gewicht als Normzahl, die bei vorwiegend «animalischer» Nahrung geringer sein könne, aber bei Pflanzennahrung wegen ihrer geringeren Qualität «beträchtlich zu erhöhen ist»⁵⁰.

Insgesamt erinnert die Situation zu den Empfehlungen zur Proteinzufuhr den Kommentaren einer der führenden Ernährungswissenschaftler und Mediziner unserer Zeit, Prof. Dr. Dariush Mozaffarian aus der *Tufts University* in Boston. Bereits mehrfach fragte er auf rhetorische Art und Weise, wann Ernährungsstrategien – und somit offizielle Empfehlungen – endlich zu den Erkenntnissen der Ernährungswissenschaft aufschliessen würden^{51,52}.

Quellen

1. Bundesamt für Umwelt. Kenngrössen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz: 1990-2021. BAFU. 2023.
2. European Commission. EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/climate_change. Zugriff: 31.5.2023.
3. Bundesamt für Statistik. Luftemissionskonten der Haushalte und der Wirtschaft, nach Wirtschaftssektoren. 2023. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltindikatoren/alle-indikatoren/emissionen-und-abfaelle/treibhausgasemissionen.assetdetail.23464616.html>. Zugriff: 1.6.2023.
4. Clune S, Crossin E, Verghese K. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *J.Clean.Prod.* 2017; 140:766–83; doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.082.
5. Schweizer Bauernverband (Hrsg.). Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung 2021. Kapitel 7. Brugg: Schweizer Bauernverband Agristat, 2022.
6. Ivanovich CC, Sun T, Gordon DR, Ocko IB. Future warming from global food consumption. *Nat. Clim. Chang.* 2023; 13:297–302; doi:10.1038/s41558-023-01605-8.
7. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. 10.1017/9781009157896.
8. Neu U. Klimawirkung und CO₂-Äquivalent-Emissionen von kurzlebigen Substanzen. *Swiss Academies Communications No. 17 (5)*, 2022. Swiss Academy of Sciences.
9. Shukla PR, Skea J, Reisinger A (Hrsg.). Climate change 2022: *Mitigation of climate change*. Geneva: IPCC, 2022.
10. Halpern BS, Frazier M, Verstaen J, Rayner P-E, Clawson G, Blanchard JL et al. The environmental footprint of global food production. *Nat.Sustain.* 2022; 5:1027–39; doi:10.1038/s41893-022-00965-x.
11. Li M, Jia N, Lenzen M, Malik A, Wei L, Jin Y et al. Global food-miles account for nearly 20% of total food-systems emissions. *Nat.Food.* 2022; 3:445–53; doi:10.1038/s43016-022-00531-w.
12. Zhu J, Luo Z, Sun T, Li W, Zhou W, Wang X et al. Cradle-to-grave emissions from food loss and waste represent half of total greenhouse gas emissions from food systems. *Nat.Food.* 2023; 4:247–56; doi:10.1038/s43016-023-00710-3.
13. Söderbaum HG. *Jac. Berzelius Bref.* Uppsala: Kungl. Svenska Vetenskapsakademien, 1916.
14. Brouwer E. Gerrit Jan Mulder: (1802-1880). *J.Nutr.* 1952; 46:1–11.
15. Mulder GJ. Over proteïne en hare verbindingen en ontledings-producten. *Natuur en Scheikundig Archief.* 1838; VI:87–162.
16. Schweizerische Eidgenossenschaft, Eidgenössisches Departement des Innern (EDI). Verordnung des EDI betreffend die Information über Lebensmittel (LIV) vom 16.12.2016 (Stand am 1. Juli 2020), 2020.

17. Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1924/2006 und (EG) Nr. 1925/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinie 87/250/EWG der Kommission, der Richtlinie 90/496/EWG des Rates, der Richtlinie 1999/10/EG der Kommission, der Richtlinie 2000/13/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 2002/67/EG und 2008/5/EG der Kommission und der Verordnung (EG) Nr. 608/2004 der Kommission. ABl. 2011; L304:18–63.
18. Robinson A. Did Einstein really say that? *Nature*. 2018; 557:30; doi:10.1038/d41586-018-05004-4.
19. Jones DB. Factors for converting nitrogen in foods and feeds into percentages of protein No. USDA Circular No. 183, 1931. Washington.
20. Periago MJ, Ros G, Martínez C, Rincón F. Variations of non-protein nitrogen in six Spanish legumes according to the extraction method used. *Food Res.Int.* 1996; 29:489–94; doi:10.1016/S0963-9969(96)00053-1.
21. Walter P, Infanger E, Mühlemann P. Food pyramid of the Swiss Society for Nutrition. *Ann.Nutr.Metab.* 2007; 51 (Suppl. 2):15–20.
22. USDA. MyPlate - Protein foods. <https://www.myplate.gov/eat-healthy/what-is-myplate>. Zugriff: 20.4.2022.
23. Park S, Church DD, Schutzler SE, Azhar G, Kim I-Y, Ferrando AA et al. Metabolic evaluation of the dietary guidelines' ounce equivalents of protein food sources in young adults: A randomized controlled trial. *J.Nutr.* 2021; 151:1190–6; doi:10.1093/jn/nxaa401.
24. Olaniyan ET, O'Halloran F, McCarthy AL. Dietary protein considerations for muscle protein synthesis and muscle mass preservation in older adults. *Nutr.Res.Rev.* 2021; 34:147–57; doi:10.1017/S0954422420000219.
25. Food and Agriculture Organisation. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: *Report of an FAO expert consultation, 31 March-2 April, 2011, Auckland, New Zealand*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
26. Volpi E, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, Mittendorfer B, Wolfe RR. Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults. *Am.J.Clin.Nutr.* 2003; 78:250–8.
27. Tipton KD, Ferrando AA, Phillips SM, Doyle D, Wolfe RR. Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am.J.Physiol.* 1999; 276:E628-E634; doi:10.1152/ajpendo.1999.276.4.E628.
28. Smith GI, Patterson BW, Mittendorfer B. Human muscle protein turnover - Why is it so variable? *J.Appl.Physiol.* 2010; 110:480-491; doi:10.1152/jappphysiol.00125.2010.
29. Cegielski J, Wilkinson DJ, Brook MS, Boereboom C, Phillips BE, Gladman JFR et al. Combined in vivo muscle mass, muscle protein synthesis and muscle protein breakdown measurement: A 'Combined Oral Stable Isotope Assessment of Muscle (COSIAM)' approach. *GeroScience.* 2021; 43:2653–65; doi:10.1007/s11357-021-00386-2.
30. Huang S, Wang LM, Sivendiran T, Bohrer BM. Review: Amino acid concentration of high protein food products and an overview of the current methods used to determine protein quality. *Crit.Rev.Food Sci.Nutr.* 2018; 58:2673–8; doi:10.1080/10408398.2017.1396202.
31. Boye J, Wijesinha-Bettoni R, Burlingame B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *Br.J.Nutr.* 2012; 108:S183-S211; doi:10.1017/S0007114512002309.
32. Joye I. Protein digestibility of cereal products. *Foods.* 2019; 8; doi:10.3390/foods8060199.
33. Sarwar Gilani G, Wu Xiao C, Cockell KA. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *Br.J.Nutr.* 2012; 108 Suppl 2:S315-S332; doi:10.1017/S0007114512002371.
34. FAO. Report of a Sub-Committee of the 2011 FAO Consultation on “Protein Quality. Evaluation in Human Nutrition” on: The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collation of published ileal amino acid digestibility data for human foods, 2012. FAO. Rome.

35. Witard O, Wardle S, Macnaughton L, Hodgson A, Tipton K. Protein considerations for optimising skeletal muscle mass in healthy young and older adults. *Nutrients*. 2016; 8:181; doi:10.3390/nu8040181.
36. Gorissen SHM, Crombag JJR, Senden JMG, Waterval WAH, Bierau J, Verdijk LB et al. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*. 2018; 50:1685–95.
37. Mariotti F, Tome D, Mirand PP. Converting nitrogen into protein - beyond 6.25 and Jones' factors. *Crit.Rev.Food Sci.Nutr.* 2008; 48:177–84.
38. Fujihara S, Kasuga A, Aoyagi Y. Nitrogen-to-protein conversion factors for common vegetables in Japan. *J.Food Sci.* 2001; 66:412–5; doi:10.1111/j.1365-2621.2001.tb16119.x.
39. Sherman HC. *Chemistry of food and nutrition*. New York: The Macmillan company, 1911.
40. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for protein. *EFSA J.* 2012; 10:2557.
41. Rand WM, Pellett PL, Young VR. Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in healthy adults. *Am.J.Clin.Nutr.* 2003; 77:109–27; doi:10.1093/ajcn/77.1.109.
42. Atherton PJ, Smith K. Muscle protein synthesis in response to nutrition and exercise. *J.Physiol.* 2012; 590:1049–57; doi:10.1113/jphysiol.2011.225003.
43. Witard OC, Bannock L, Tipton KD. Making sense of muscle protein synthesis: A focus on muscle growth during resistance training. *Int.J.Sport Nutr.Exerc.Metab.* 2022; 32:49–61; doi:10.1123/ijsnem.2021-0139.
44. Trommelen J, Holwerda AM, Pinckaers PJM, van Loon LJC. Comprehensive assessment of post-prandial protein handling by the application of intrinsically labelled protein in vivo in human subjects. *Proc.Nutr.Soc.* 2021; 80:221–9; doi:10.1017/S0029665120008034.
45. Mamerow MM, Mettler JA, English KL, Casperson SL, Arentson-Lantz E, Sheffield-Moore M et al. Dietary protein distribution positively influences 24-h muscle protein synthesis in healthy adults. *J.Nutr.* 2014; 144:876–80; doi:10.3945/jn.113.185280.
46. Campbell CP, Raubenheimer D, Badaloo AV, Gluckman PD, Martinez C, Gosby A et al. Developmental contributions to macronutrient selection: a randomized controlled trial in adult survivors of malnutrition. *Evol.Med.Public Health.* 2016; 2016:158–69; doi:10.1093/emph/eov030.
47. Raubenheimer D, Simpson SJ. Protein leverage: Theoretical foundations and ten points of clarification. *Obesity.* 2019; 27:1225–38; doi:10.1002/oby.22531.
48. Phillips SM, Chevalier S, Leidy HJ. Protein "requirements" beyond the RDA: implications for optimizing health. *Appl.Physiol.Nutr.Metab.* 2016; 41:565–72; doi:10.1139/apnm-2015-0550.
49. Kopf-Bolanz K, Walther B. Proteinkonsum in der Schweiz – Auswertung des menuCH Datensatzes. *Schweizer Ernährungsbulletin.* 2021:130–46; doi:10.24444/blv-2021-0111.
50. Noorden C von. *Lehrbuch der Pathologie des Stoffwechsels für Aerzte und Studierende: A.* Hirschwald, 1893.
51. Mozaffarian D. Foods, nutrients, and health: When will our policies catch up with nutrition science? *Lancet Diab.Endo.* 2017; 5:85–8; doi:10.1016/S2213-8587(16)30265-0.
52. Mozaffarian D. Sugar, sugary drinks, and health: has the evidence achieved the sweet spot for policy action? *Lancet Diab.Endo.* 2023; doi:10.1016/S2213-8587(23)00151-1.