

Eiwitkwaliteit

No. 2023/19A3, Den Haag, 13 december 2023

Achtergronddocument bij:

Gezonde eiwittransitie

2023/19, Den Haag, 13 december 2023



Inhoud

1.1	Eiwitnormen en onderliggende uitgangspunten.....	3
1.2	Aminozuurbehoefte en referentiepatroon voor aminozuren.....	4
1.3	PDCAAS en DIAAS	6
1.4	Methodologische kanttekeningen bij berekeningen eiwitkwaliteit	10
1.5	Voorbeeldberekeningen eiwitkwaliteit en conversiefactoren voor aanbevolen hoeveelheid eiwit.....	11
1.6	Aminozuursamenstellingen ten behoeve van voorbeeldberekeningen	18
	Literatuur	20

1.1 Eiwitnormen en onderliggende uitgangspunten

Eiwitten zijn opgebouwd uit aminozuren. Stikstof vormt een belangrijk onderdeel van deze aminozuren. Om te bepalen hoeveel eiwit een gemiddeld persoon per kilogram lichaamsgewicht moet innemen voor het behoud van lichaamsfuncties (de gemiddelde behoefte) worden stikstofbalansstudies gebruikt. Daarin wordt de stikstofinname (via voeding) en het stikstofverlies (grotendeels via urine en ontlasting) gemeten. Er wordt bepaald bij welk niveau de stikstofinname en het stikstofverlies in balans zijn.¹ Deze studies leveren ook informatie over de efficiëntie van het lichaam om voedingseiwit om te zetten naar lichaamseiwit. Deze factor, die geschat is op 47%,² wordt de NPU ('net protein utilization') genoemd. De NPU wordt bepaald door de mate waarin eiwit wordt verteerd en opgenomen door het lichaam (dus ter beschikking komt), en de mate waarin de eiwitten in de voeding de aminozuren leveren die het lichaam nodig heeft.³ Een NPU van 47% betekent dat gemiddeld genomen van elke 100 gram ingenomen eiwit, uiteindelijk 47 gram door het lichaam gebruikt wordt voor eiwitsynthese. De NPU wordt gebruikt als factor om te bepalen hoeveel eiwit geconsumeerd moet worden om te voldoen aan de eiwit- en aminozuurbehoefte, dus om de eiwitnormen te bepalen.¹

Voedingsnormen

Er zijn verschillende voedingsnormen. De gemiddelde behoefte is het niveau van inname dat voor de helft van de bevolking in de eigen behoefte zou voorzien, maar voor de andere helft niet. De gemiddelde behoefte wordt gebruikt om in te schatten of de inname van een populatie toereikend is. De individuele behoefte is onbekend. Daarom worden er ook voedingsnormen afgeleid die voldoende worden geacht voor vrijwel alle mensen in de betreffende groep (de aanbevolen hoeveelheid of de adequate behoefte).

De gemiddelde eiwitbehoefte voor volwassenen is vastgesteld op 0,66 gram eiwit per kilogram lichaamsgewicht en de aanbevolen hoeveelheid op 0,83 gram eiwit per kilogram lichaamsgewicht. Bij de eiwitnormen wordt ervan uitgegaan dat de eiwitkwaliteit van een voedingspatroon goed/optimaal is.¹

De eiwitkwaliteit geeft aan in hoeverre een voedingsmiddel, maaltijd of voedingspatroon de door het lichaam benodigde essentiële aminozuren levert. Dit hangt af van zowel de verteerbaarheid van het eiwit alsook van het aminozuurprofiel van de verteerde eiwitten. Eiwitkwaliteit wordt daarom veelal uitgedrukt in de PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) waarin de verteerbaarheid (PD) en het aminozuurprofiel (AAS) worden verrekend. Een PDCAAS-waarde < 100% betekent dat het aminozuurprofiel van een voedingsmiddel, maaltijd of voedingspatroon op ten minste een van de essentiële aminozuren limiterend is.⁴ De lagere eiwitkwaliteit kan echter gecompenseerd worden door een hogere eiwitinname, mits alle essentiële aminozuren aanwezig zijn. Met andere woorden: ook producten van lage eiwitkwaliteit kunnen voldoende essentiële aminozuren leveren als men maar genoeg van het

betreffende product eet. Bij voldoende essentiële aminozuren zal de PDCAAS een waarde van 100% of meer aannemen en wordt het teveel aan aminozuren niet gebruikt voor de synthese van lichaamseiwitten, maar als bron van energie.

Een gevarieerd (omnivoor) voedingspatroon levert doorgaans een goede eiwitkwaliteit.⁵ Over het algemeen hebben dierlijke voedingsmiddelen een hogere eiwitkwaliteit-score dan plantaardige producten. Nb. De eiwitkwaliteit van isolaten en concentraten kan anders zijn dan de producten waar ze uit komen.⁶

De Gezondheidsraad heeft in 2001 op basis van de PDCAAS conversiefactoren berekend om de eiwitbehoefte voor vegetariërs en veganisten te schatten. De aanbevolen hoeveelheid eiwit werd hierop vervolgens aangepast (d.w.z. verhoogd) bij de genoemde voedingspatronen.⁷ In het huidige rapport van de Gezondheidsraad wordt opnieuw aandacht besteed aan de conversiefactor voor vegetariërs. De bevindingen daarover staan in paragraaf 1.5 van dit achtergronddocument.

1.2 Aminozuurbehoefte en referentiepatroon voor aminozuren

Het referentiepatroon is een schatting van de behoefte aan essentiële aminozuren. Deze is gebaseerd op de aminozuursamenstelling die nodig is om het lichaamssweefsel te onderhouden en voor kinderen tot 18 jaar ook op groei. Voor het onderhoud wordt voor alle leeftijden dus hetzelfde aminozuurpatroon gebruikt. Daaraan wordt toegevoegd de leeftijdsspecifieke extra behoefte voor groei. Het referentiepatroon wordt bepaald door de leeftijdsafhankelijke behoefte aan de individuele essentiële aminozuren te delen door de leeftijdsafhankelijke eiwitbehoefte (gemiddelde behoefte). Er zijn dus verschillende referentiepatronen per leeftijdscategorie (zie kopie van tabel 3 uit het FAO rapport uit 2013).^{3,8} Het referentiepatroon wordt gebruikt om eiwitkwaliteit te kunnen berekenen.^{3,4}

Experts vragen aandacht voor de kwaliteit van de data van de referentiepatronen en stellen dat de behoefte van (bepaalde) essentiële aminozuren in werkelijkheid hoger zouden kunnen liggen, (zie bijvoorbeeld deze referenties^{9,10,11}) maar vooralsnog worden internationaal gezien berekeningen gedaan met de referentiepatronen van de FAO uit 2013.⁴

De FAO adviseert het referentiepatroon voor 3-10-jarigen te gebruiken om de score voor eiwitkwaliteit te berekenen voor iedereen vanaf 3 jaar. Voor zuigelingen en jongere kinderen wordt elk een apart referentiepatroon geadviseerd (zie kopie van tabel 5 uit het FAO rapport uit 2013).^{3,4} Een uitgebreid beschrijving van de achtergrond van de referentiepatronen wordt gegeven in een publicatie van Millward.⁸ In het huidige advies van de Gezondheidsraad worden, zoals aanbevolen, de PDCAAS-berekeningen gebaseerd op het referentiepatroon van 3-10 jarigen.

Het aminozuur dat in verhouding tot de behoefte (het referentiepatroon) in de laagste concentratie in een individueel voedingsmiddel, of een combinatie daarvan (maaltijd of

voedingspatroon) aanwezig is, is het zogenoemde limiterende aminozuur.⁴ Bijvoorbeeld, in graanproducten is over het algemeen lysine het limiterende aminozuur, en in peulvruchten zijn dit over het algemeen de zwavelhoudende aminozuren (methionine en/of cysteïne).

De experts van de consultatie van de FAO vragen in hun rapport uit 2013 ook aandacht voor de beschikbaarheid van lysine, deze kan namelijk veranderen bij de bereiding van producten. Het is belangrijk de ontwikkelingen op dit gebied te volgen om in te schatten in hoeverre er consequenties zijn voor de eiwitkwaliteit berekeningen. Dit omdat lysine vaak een limiterend aminozuur is.^{4,12}

TABLE 3.
Amino acid scoring patterns for toddlers, children, adolescents and adults (amended values from the 2007 WHO/FAO/UNU report)

			His	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
Tissue amino acid pattern (mg/g protein) ¹			27	35	75	73	35	73	42	12	49
Maintenance amino acid pattern (mg/g protein) ²			15	30	59	45	22	38	23	6	39
Protein requirements (g/kg/d)											
Age (yr)	Maintenance	Growth³	<i>amino acid requirements (mg/kg/d)⁴</i>								
0.5	0.66	0.46	22	36	73	63	31	59	35	9.5	48
1-2	0.66	0.20	15	27	54	44	22	40	24	6	36
3-10	0.66	0.07	12	22	44	35	17	30	18	4.8	29
11-14	0.66	0.07	12	22	44	35	17	30	18	4.8	29
15-18	0.66	0.04	11	21	42	33	16	28	17	4.4	28
>18	0.66	0.00	10	20	39	30	15	25	15	4.0	26
			<i>scoring pattern mg/g protein requirement⁵</i>								
0.5			20	32	66	57	27	52	31	8.5	43
1-2			18	31	63	52	25	46	27	7	41
3-10			16	30	61	48	23	41	25	6.6	40
11-14			16	30	61	48	23	41	25	6.6	40
15-18			16	30	60	47	23	40	24	6.3	40
>18			15	30	59	45	22	38	23	6.0	39

His, histidine; Ile, isoleucine; Leu, leucine; SAA, sulphur amino acids; AAA, aromatic amino acids, Thr, threonine, Trp, tryptophan; Val, valine

¹ Amino acid composition of whole-body protein.

² Adult maintenance pattern.

³ Calculated as average values for the age range: growth adjusted for protein utilization of 58%.

⁴ Sum of amino acids contained in the dietary requirement for maintenance (maintenance protein x the adult scoring pattern) and growth (tissue deposition adjusted for a 58% dietary efficiency of utilization x the tissue pattern).

⁵ Amino acid requirements/protein requirements for the selected age groups. Note that these values, some of which are slightly amended from the 2007 report, are the correctly calculated values. In the published report, the value for the SAA requirement for children aged 3-10 is incorrect (18mg/kg/d) as are the SAA patterns for infants preschool and school children up to 10, (28, 26 and 24 mg/g protein).

Table 5.

Recommended amino acid scoring patterns for infants, children and older children, adolescents and adults

Age Group	His	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
	<i>scoring pattern mg/g protein requirement</i>								
Infant (birth to 6 months) ¹	21	55	96	69	33	94	44	17	55
Child (6 months to 3 year) ²	20	32	66	57	27	52	31	8.5	43
Older child, adolescent, adult ³	16	30	61	48	23	41	25	6.6	40

¹ Infant is based on the gross amino acid content of human milk from Table 4.

² Child group is from the 6 month (0.5 y) values from Table 3.

³ Older child, adolescent, adult group is from the 3-10 y values from Table 3.

1.3 PDCAAS en DIAAS

1.3.1 Verschillen en overeenkomsten

De PDCAAS en DIAAS-methode bevatten de volgende drie elementen:

- 1) een verteerbaarheidscomponent,
- 2) gehalten aan essentiële aminozuren per gram eiwit van de voedingsbron,
- 3) de behoefte aan aminozuren zoals vastgesteld in het referentiepatroon van de FAO

De scores geven aan in welke mate het aminozuurpatroon na vertering en absorptie overeenkomt met het referentiepatroon van aminozuren.

Echter, er zijn belangrijke verschillen tussen de DIAAS en de PDCAAS. Zoals aangegeven in tekst box 1 hangt het verschil tussen PDCAAS en DIAAS nauw samen met de gebruikte onderzoeksmethoden waarmee de beschikbare aminozuren uit een voedingsmiddel, maaltijd of voedingspatroon worden vastgesteld:⁴

Tekst box 1 Factoren in de berekening van eiwitkwaliteit met PDCAAS en DIAAS.

Verteerbaarheid: dikke darm vs. dunne darm	De PDCAAS wordt berekend op basis van fecale verteerbaarheid aan het einde van de dikke darm. Echter, er vindt in de dikke darm nauwelijks tot geen opname plaats van aminozuren ¹³ en de darmflora kan de samenstelling van het aminozuurpatroon in de feces sterk beïnvloeden. De DIAAS is gebaseerd op metingen van vertering van aminozuren aan het einde van de dunne darm, ook wel ileale verteerbaarheid genoemd. ¹⁴ Rondom verteerbaarheidscijfers in zijn algemeenheid bestaan een aantal onzekerheden. Bijvoorbeeld hoe de bereiding van het voedsel van invloed is op de verteerbaarheid of wat de effecten zijn van het combineren van voedingsmiddelen.
Verteerbaarheid: gehele eiwit vs. individuele aminozuren	De PDCAAS wordt berekend op basis van verteerbaarheid van het hele eiwit. De DIAAS daarentegen op basis van de verteerbaarheid van de individuele aminozuren in het eiwit. De verteerbaarheid van individuele aminozuren kan verschillen, ook afhankelijk van de eiwitbron waarin ze zitten. Uitgaan van de verteerbaarheid van de individuele aminozuren van een eiwitbron is dus preciezer. ¹⁴⁻¹⁶
Afronden tot 100%: wel vs. niet	Voor zowel de DIAAS als de PDCAAS geven waarden onder de 100% aan dat er sprake is van tenminste één limiterend aminozuur, m.a.w. er kan niet aan de betreffende aminozuurbehoefte worden voldaan. De PDCAAS-waarde van een voedingsmiddel wordt afgekapt op een maximum van 100%. Bij een combinatie van voedingsmiddelen (bijv. een maaltijd of voedingspatroon) wordt dit gedaan nadat de PDCAAS is berekend van de combinatie van de voedingsmiddelen. Uitgangspunt hierbij is dat de (op dat moment) onnodige aminozuren gebruikt zullen worden als bron voor energie en dus niet voor de synthese van eiwitten. De DIAAS van voedingsmiddelen wordt niet afgerond; om ook de voedingsmiddelen die boven de 100% scoren ten opzichte van elkaar goed te kunnen ordenen. De DIAAS van een voedingspatroon wordt, net als de PDCAAS, wel gemaximeerd op 100%.

Diverse studies hebben de afgelopen jaren vergelijkingen gedaan van de twee methodes. Hoewel het aantal onderzochte voedingsmiddelen beperkt is, lijkt het erop dat bij gebruik van de PDCAAS de eiwitkwaliteit van plantaardige voedingsmiddelen of patronen (iets) hoger uitvalt ten opzichte van de DIAAS.

Hieronder enkele artikelen die deze vergelijking maken:^{14,17,18}

- Rutherford et al (2015)¹⁴ concludeerde op basis van onderzoek bij ratten dat PDCAAS-waarden over het algemeen hoger waren dan DIAAS-waarden (beiden in onafgeronde vorm), vooral bij de eiwitten met een lagere eiwitkwaliteit, op basis van 14 eiwitbronnen.
- Mathai et al (2017)¹⁷ onderzocht de PDCAAS-waarden^a bij 9 groeiende gecasteerde varkens en vergeleek deze in niet-afgeronde vorm met DIAAS-waarden voor acht

^a De PDCAAS gaat uit van verteerbaarheid van eiwitten/aminozuren gemeten in rattenonderzoek, Mathai et al. (2017) gebruiken echter onderzoek in varkens om de verteerbaarheid te schatten. Hoewel de onderzoekers het niet expliciet benoemen, acht de commissie het aannemelijk dat Mathai et al. (2017) daarom de term PDCAAS-like values i.p.v. PDCAAS-values gebruiken.

eiwitbronnen. Er werd gerekend met de aminozuur-referentiewaarden voor kinderen tussen 0,5 jaar en 3 jaar oud.⁴ Een beperking die de onderzoekers noemen is dat de eiwitbronnen onbewerkt ("without processing" d.w.z. anders dan bij menselijke consumptie) aan de varkens werden aangeboden. De conclusie van het onderzoek was dat de PDCAAS de eiwitkwaliteit vooral voor eiwitten met een lagere eiwitkwaliteit overschat en dat daarom de DIAAS gebruikt zou moeten worden. Er is niet gekeken naar de oudere leeftijdsgroep (conform de humane groep van 3-10 jaar).

- Abelilla et al (2018)¹⁸ onderzochten de eiwitkwaliteit van haver in 10 groeiende, gecastreerde varkens voor de drie leeftijdsgroepen zoals gedefinieerd door de FAO in 2013.⁴ Abelilla et al vonden geen grote verschillen tussen de PDCAAS en de DIAAS, maar de DIAAS-waarden waren iets lager dan de PDCAAS-waarden, wat in overeenstemming is met Rutherford et al¹⁴ en Mathai et al.¹⁷

1.3.2 DIAAS-berekeningen geadviseerd door FAO

In 2013 heeft een expertgroep van de FAO geadviseerd om de eiwitkwaliteit bij voorkeur te berekenen met de DIAAS-methode (Digestible Indispensible Amino Acid Score) in plaats van de tot dan toe gebruikelijke PDCAAS-methode. Een voorbeeldberekening van de DIAAS is weergegeven in een kopie van Tabel 2 uit het FAO rapport uit 2013.⁴

TABLE 2.
Calculation of DIAAS value for a mixture of wheat, peas and whole milk powder

	Composition ¹						True ileal IAA Digestibility ¹				Protein content in mixture (g)	True ileal digestible IAA content in mixture ²			
	Weight	Protein	Lys	SAA	Thr	Trp	Lys	SAA	Thr	Trp		Lys	SAA ³	Thr	Trp
	(g)	(g/100g)	(mg/g protein)									(mg)			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		AxB	(AxB)xCxG	(AxB)xDxH	(AxB)xExI
Wheat	400	11	28	38	29	12	0.82	0.895	0.86	0.91	44	1 010	1488	1 097	480
Pea	100	21	71	25	37	9	0.79	0.69	0.73	0.66	21	1 178	362	567	125
Milk powder	35	28	78	35	44	13	0.95	0.94	0.90	0.90	10	726	322	388	115
Totals	535										75	2 914	2 172	2 052	720
Amino acids: mg/g protein (total for each amino acid/total protein)											38.9	29.0	27.4	9.6	
Age group	Reference pattern: mg/g protein (Refer to Table 5 in this report)				Digestible IAA reference ratio				DIAAS for mixture (%)						
	Lys	SAA	Thr	Trp	Lys	SAA	Thr	Trp							
Infant (birth to 6 months)	69	33	44	17	0.56	0.88	0.62	0.56	56 (Lys)						
Child (6 months to 3 yrs)	57	27	31	8.5	0.68	1.08	0.88	1.13	68 (Lys)						
Older child, adolescent, adult	48	23	25	6.6	0.82	1.26	1.10	1.45	82 (Lys)						

¹ Reference: CVB Feed Tables (2007). Chemical compositions and nutritional values of feed ingredients. Product Board Animal Feed, CVB, The Hague. True ileal indispensable amino acid (IAA) digestibility coefficients are based on the predicted human values obtained from pig data.

² For the sake of example, calculation is shown for four amino acids; where possible all IAA should be included in the calculation.

³ Digestible IAA reference ratio (Digestible IAA in 1 g protein of mixed diet /mg of the same dietary indispensable amino acid in 1g of the reference protein)

⁴ DIAAS for mixed diet (Lowest value of the "digestible IAA reference ratio" expressed as % for each reference pattern; for infants the mixed food has a calculated DIAAS of 56; for children 68 and for older children, adolescents and adults 82; NB: In this case as this is a mixed diet if the calculated DIAAS exceeded 100%, it would be truncated to 100%).

⁵ These are the weighted average of the digestibility coefficients for methionine and cysteine.

Lys=lysine, SAA=sulphur amino acids (methionine + cysteine), Thr = threonine, Trp = tryptophan.

Ondanks dit advies van de expertgroep waren ileale verteerbaarheidscijfers van individuele aminozuren die nodig zijn voor DIAAS-berekeningen nog niet of nauwelijks beschikbaar. Het rapport stelde daarom voor om fecale verteerbaarheid van *aminozuren* te gebruiken, en als deze data (ook) niet beschikbaar zijn, om de fecale verteerbaarheid van het *eiwit* als geheel te gebruiken.⁴ In het laatste geval wordt in feite de PDCAAS berekend. In de praktijk wordt dus nog vaak gebruikgemaakt van de PDCAAS-methode, of wordt geadviseerd dit te doen.¹⁹ Hoewel er internationaal gewerkt wordt om ileale verteerbaarheidscijfers van individuele aminozuren te genereren en te verzamelen zijn die ten tijde van dit adviestraject nog onvoldoende toegankelijk om de DIAAS te gebruiken voor het berekenen van eiwitkwaliteit voor het Nederlandse voedingspatroon. Daarom gebruikt ook de commissie de PDCAAS-methode later in dit achtergronddocument om eiwitkwaliteit van verschillende combinaties van producten te berekenen. Nb.: de commissie gebruikt dus de berekening zoals in tabel 2 uit het FAO-rapport van 2013 met daarin de fecale verteerbaarheid van het hele eiwit in plaats van de ileale verteerbaarheid van individuele aminozuren.

Eiwitkwaliteit score

Er is internationaal wetenschappelijk debat of er ten behoeve van regelgeving afkappunten gedefinieerd kunnen worden voor DIAAS-waarden die weergeven of een product bijvoorbeeld een bron is van eiwit van hoge, of goede eiwitkwaliteit. In het expert-rapport (2013) worden voorbeelden gegeven van mogelijk afkappunten die de basis zouden kunnen gaan vormen voor voedselclaims: *high or excellent quality* bij een waarde van 100 of meer, *good quality or source of quality protein* bij een waarde tussen de 75 en 99, geen claim bij een waarde onder de 75.⁴ Een andere expertgroep (FAO 2018)¹⁹ concludeerde dat een PDCAAS-waarde van 90 als adequaat gezien kan worden in relatie tot opvolgmelk en 'therapeutic foods' voor jonge kinderen in relatie tot ondervoeding en inhaalgroei.

1.4 Methodologische kanttekeningen bij berekeningen eiwitkwaliteit

In 1.5 vergelijkt de commissie de PDCAAS voor een aantal voedingspatronen die passen bij verschillende scenario's voor de eiwittransitie.

In deze paragraaf worden de methodologische kanttekeningen bij de voorbeeldberekeningen opgesomd.

Referentiepatroon aminozuren. Het referentiepatroon van aminozuren is sterk bepalend voor de PDCAAS-waarde. Zoals geadviseerd door de FAO wordt het referentiepatroon voor kinderen (3-10 jaar) gebruikt door de commissie. Er is wetenschappelijk debat gaande over de aminozuurbehoefte van bijvoorbeeld ouderen, zwangere vrouwen, vrouwen die borstvoeding geven en mensen die ziek zijn. Mochten die (sterk) afwijken van het huidige referentiepatroon dan kan dat leiden tot hogere of lagere waarden van eiwitkwaliteit.

Stikstofbalans. De berekeningen van de commissie gaan over een totale inname van stikstof die overeenkomt met de aanbevolen hoeveelheid voor eiwit (0,83 g / kg lichaamsgewicht/dag). Een PDCAAS-waarde <100% geeft daarbij aan welke combinaties van voedingsmiddelen een mindere eiwitkwaliteit leveren bij een eiwitinname volgens de aanbevolen hoeveelheid. Een PDCAAS-waarde <100% bij een eiwitinname boven de aanbevolen hoeveelheid levert, afhankelijk van hoeveel hoger de eiwitinname is, meestal geen problemen met de aminozuur behoefte op. Een lage eiwitkwaliteit van een voedingsmiddel, maaltijd of voedingspatroon kan vrijwel altijd gecompenseerd worden door een hogere (eiwit)inname.

Moment van eiwitinname. De eiwitbehoefte heeft betrekking op de hele dag.¹ Eiwitbronnen kunnen elkaar compenseren wat betreft limiterende aminozuren. Er is wetenschappelijke discussie over de tijdsperiode waarbinnen eiwitbronnen samen gegeten moeten worden om elkaars limiterende aminozuren aan te kunnen vullen.^{20 21,22} De combinaties in de eiwitkwaliteitsberekeningen in de volgende paragraaf geven niet perse maaltijdvoorbeelden weer.

Functionaliteit van eiwitten en aminozuren. Eiwitkwaliteit uitgedrukt in PDCAAS of DIAAS is gebaseerd op verteerbaarheid en aminozuurprofiel in relatie tot het referentiepatroon bij normale gezondheid. Het zegt iets over wat er beschikbaar is voor het lichaam, maar niet wat er functioneel mee gebeurt in het lichaam. Eiwitten zijn betrokken bij talloze processen. Er is nog weinig bekend over hoe voeding een rol speelt in het voldoen aan de behoefte die gerelateerd is aan verschillende functies van eiwit: voor verschillende functies zouden dus verschillende aminozuurprofielen denkbaar zijn. Bovendien kan het menselijk lichaam zich aanpassen, ook aan een situatie met minder eiwit.²³ Ook hierover is nog relatief weinig bekend.

1.5 Voorbeeldberekeningen eiwitkwaliteit en conversiefactoren voor aanbevolen hoeveelheid eiwit

In 2001 heeft de commissie die destijds adviseerde over eiwitnormen conversiefactoren berekend om de aanbevolen hoeveelheid eiwit op te hogen voor mensen die eten volgens een vegetarisch of veganistisch voedingspatroon. De conversiefactoren geven aan in hoeverre de veronderstelde mindere eiwitkwaliteit kan worden gecompenseerd door een hogere kwantiteit aan eiwitten. De aanbevolen hoeveelheid werd hierbij voor alle vegetariërs en veganisten opgehoogd door deze te delen door de PDCAAS van de betreffende voedingspatronen.⁷

In het licht van de eiwittransitie bekijkt de commissie de conversiefactor van vegetariërs opnieuw. Ten opzichte van 2001, betreffen de huidige berekeningen meer combinaties van eiwitbronnen, en nieuwere gegevens over de verteerbaarheid van eiwitten en hun aminozuur samenstelling. Tekst box 2 vergelijkt de berekeningswijze van het eerdere advies uit 2001 met die in het huidige advies.

Omdat het veganistische voedingspatroon een geheel plantaardig voedingspatroon betreft dat ver af staat van de huidige adviesvraag worden hier geen nieuwe berekeningen voor gedaan in dit adviestraject.

Tekst box 2 Vergelijking van de berekeningen van PDCAAS en conversiefactoren (2001) en PDCAAS (2023)

	Berekeningen van de PDCAAS en conversiefactoren (1/PDCAAS) in advies 2001	Berekeningen van de PDCAAS in huidig advies (2023)
Verhouding dierlijk versus plantaardig eiwit	De conversiefactor voor vegetariërs waren gebaseerd op een verhouding van 50% dierlijk eiwit en 50% plantaardig eiwit. Uit de Voedselconsumptie peilingen van 2012-2016 en 2019-2021 blijkt echter dat de gemiddelde vegetariër inmiddels ca. 40% dierlijk en 60% plantaardig eiwit consumeert. ^{24,25}	De conversiefactor voor vegetariërs wordt berekend voor de huidige verhouding van een vegetarisch voedingspatroon volgens de Voedselconsumptiepeiling (40%/60% dierlijk:plantaardig)

Aantal eiwitbronnen	In 2001 waren de PDCAAS-berekeningen gebaseerd op een viertal eiwitbronnen, te weten rundvlees, melk, tarwe en soja. De berekeningen voor het omnivore voedingspatroon op een combinatie van rundvlees, melk en tarwe. Voor een vegetarisch voedingspatroon werd gerekend met de bronnen melk en tarwe, en voor een veganistisch voedingspatroon met tarwe en soja.	De commissie gebruikt nu veertien verschillende eiwitbronnen om combinaties van voedingsmiddelen te maken.
Referentiepatroon, gegevens over verteerbaarheid van eiwitten en hun aminozuursamenstelling.	Het referentiepatroon van de FAO/WHO uit 1991 is gebruikt ²⁶ , ook zijn oudere bronnen gebruikt voor de invulling van verteerbaarheid en aminozuursamenstelling.	Het referentiepatroon voor aminozuren is aangepast door de FAO in het rapport van 2013, o.a. de behoefte aan lysine is naar beneden bijgesteld. ⁴ Daarnaast zijn er nieuwe cijfers over de aminozuursamenstelling en verteerbaarheid van voedingsmiddelen (zie paragraaf 1.6).
Berekenen van beschikbare aminozuren	De beschikbare aminozuren van een mix van voedingsmiddelen zijn berekend door de aminozuursamenstelling van een product in de mix van voedingsmiddelen te vermenigvuldigen met het gewogen gemiddelde van <i>de verteerbaarheid van de mix van voedingsmiddelen</i> . ²⁶	De beschikbare aminozuren van een mix van voedingsmiddelen zijn berekend door de aminozuursamenstelling van een product te vermenigvuldigen met <i>de verteerbaarheid van het betreffende product</i> en vervolgens een gewogen gemiddelde te berekenen van de mix. ⁴

De tabellen in deze paragraaf laten de PDCAAS-waarden zien van verschillende combinaties van eiwitbronnen. De commissie rondt daarbij de waarden niet af tot 100% (conform de DIAAS-aanpak). De commissie gaat er bij de interpretatie van de berekeningen van uit dat de totale hoeveelheid geconsumeerd eiwit gelijk staat aan de aanbevolen hoeveelheid (0,83 g/kg lichaamsgewicht voor volwassenen). Wanneer de eiwitkwaliteit uitgedrukt in PDCAAS-waarde dan op 100 of hoger uitkomt betekent dit dat aan de eiwitbehoefte wordt voldaan met de betreffende voorbeeldcombinatie.

Hoewel de voorbeeldcombinaties niet per definitie de eiwitname per maaltijd simuleren, heeft de commissie wel gepoogd om voor Nederlandse begrippen herkenbare combinaties van

eiwitbronnen te maken, gebruikmakend van de Schijf van Vijf.^{27,28} NB groente en fruit zijn hierbij weggelaten, omdat ze vrijwel geen eiwitten leveren.

- De **dierlijke component** bestaat steeds uit een van de volgende producten uit het Schijf van Vijf-vak 'Vis, peulvruchten, vlees, ei, noten en zuivel': rood vlees (NEVO-code 1540), wit vlees (NEVO-code 1392), vis (NEVO-code 919), zuivel (NEVO-code 286) of eieren (NEVO-code 84).
- Daar wordt een **plantaardige component** aan toegevoegd uit het Schijf van Vijf-vak 'Brood, graanproducten en aardappelen' te weten: brood (NEVO-code 246), pasta (NEVO-code 2157), rijst (NEVO-code 1014) of aardappelen (NEVO-code 982).
- Wanneer de commissie combinaties van drie bronnen maakt voegt zij aan bovenstaande combinaties een **extra plantaardige component** toe uit het vak 'Vis, peulvruchten, vlees, ei, noten en zuivel', te weten: noten (NEVO-code 207), sojamelk (NEVO-code 870), vegetarische schnitzel (NEVO-code 1512) of peulvruchten (NEVO-code 969). Of ze voegt paddenstoelen (NEVO-code 20) toe, of een extra graanproduct toe, te weten brood (NEVO-code 246). De commissie ziet dit als producten die door de consument in meer of mindere mate 'in plaats van' dierlijke eiwitbronnen worden genomen.

Per tabel is een andere verhouding dierlijk- en plantaardig eiwit weergegeven. In de tabellen hebben PDCAAS-waarden boven de 100 de kleur groen. Lichtgroen geeft waarden tussen de 90-100 weer en lichtoranje waarden tussen de 80-90.

Tabel 1 geeft de PDCAAS voor een omnivoor (1a) en vegetarisch (1b) voedingspatroon met 60% dierlijk eiwit en 40% plantaardig eiwit. Dit is de verhouding zoals die in de VCP 2012-2016 gold voor mensen met een omnivoor voedingspatroon.²⁴ De tabel laat zien dat wanneer dierlijk en plantaardig eiwit in deze verhouding worden gecombineerd, dit in geen enkele voorbeeldsituatie in een PDCAAS-waarde van < 100% resulteert.

In aansluiting op de adviesvraag geven tabel 2a en 2b en tabel 3a en 3b de PDCAAS bij de verhouding dierlijk: plantaardig eiwit van 40:60. Dit is ook de verhouding dierlijk- en plantaardig eiwit van een gemiddeld vegetarisch voedingspatroon in de VCP 2012-2016. Het simpelweg aanpassen van de verhouding dierlijk en plantaardig eiwit (naar 40:60) zoals in tabel 2a en 2b leidt tot lagere PDCAAS-waarden. Wel blijft de PDCAAS boven de 90% en vaak ook boven de 100% bij gebruik van volkorenpasta, zilvervriesrijst of volkorenbrood als plantaardige component. Wanneer aardappelen worden gebruikt als plantaardige component, wordt minimaal een waarden van 85% geobserveerd. Combinaties met volkorenpasta en aardappelen laten in tabel 2a en 2b de laagste PDCAAS-waarden zien.

In tabel 3a en 3b wordt aan deze combinaties een extra plantaardige bron toegevoegd (beide plantaardige bronnen leveren ieder 30% van de gemiddelde behoefte aan eiwit in deze voorbeelden) om te zien of dit de eiwitkwaliteit kan verbeteren. Het toevoegen van een extra plantaardige eiwitbron leidt inderdaad in veel gevallen tot het verhogen van de eiwitkwaliteit van de mix van producten. Veelal kan dan een PDCAAS-waarde van boven de 90-100% behaald worden. Echter, het maakt wel uit welke combinaties er gemaakt worden. Voor enkele voorbeeldcombinaties is de PDCAAS-waarde tussen de 80-90%.

Het is belangrijk op te merken dat aanduidingen van verhoudingen dierlijk en plantaardig eiwit betrekking hebben op de hoeveelheid *eiwit* en niet de hoeveelheid *voedingsmiddel*.

Plantaardige voedingsmiddelen bevatten per 100 gram over het algemeen minder eiwit dan dierlijke voedingsmiddelen.²⁸ Met andere woorden: voor dezelfde eiwitinname uit plantaardige voedingsmiddelen moeten dus meestal grotere hoeveelheden plantaardige voedingsmiddelen gegeten worden dan van dierlijke voedingsmiddelen. De verhouding dierlijk en plantaardig *eiwit* is niet hetzelfde als de bijbehorende verhouding in grammen dierlijke en plantaardige *voedingsmiddelen*. Tabel 4 geeft daar enkele voorbeelden van. Die berekeningen zijn uitgevoerd op de aanbevolen hoeveelheid in grammen eiwit per dag voor een volwassen Nederlandse vrouw. Die aanbevolen hoeveelheid is 54 gram per dag.¹

Tabel 1a Combinaties van 40% plantaardig eiwit (bron 1) en 60% dierlijk eiwit (bron 2) op basis van twee bronnen (omnivoor eetpatroon)

Bron 1:	Bron 2: Rood vlees	Bron 2: Wit vlees	Bron 2: Vis
Volkorenbrood	118	126	130
Volkorenpasta	116	125	129
Zilvervliesrijst	120	122	132
Aardappelen	100	101	124

Tabel 1b Combinaties van 40% plantaardig eiwit (bron 1) en 60% dierlijk eiwit (bron 2) op basis van twee bronnen (vegetarisch eetpatroon)

Bron 1:	Bron 2: Melk	Bron 2: Ei
Volkorenbrood	126	115
Volkorenpasta	124	113
Zilvervliesrijst	124	117
Aardappelen	103	122

Tabel 2a Combinaties van 60% plantaardig eiwit (bron 1) en 40% dierlijk eiwit (bron 2) op basis van twee bronnen (omnivoor eetpatroon)

Bron 1:	Bron 2: Rood vlees	Bron 2: Wit vlees	Bron 2: Vis
Volkorenbrood	94	100	103
Volkorenpasta	92	98	101
Zilvervliesrijst	98	103	106
Aardappelen	85	85	101

Tabel 2b Combinaties van 40% plantaardig eiwit (bron 1) en 60% dierlijk eiwit (bron 2) op basis van twee bronnen (vegetarisch eetpatroon)

Bron 1:	Bron 2: Melk	Bron 2: Ei
Volkorenbrood	100	92
Volkorenpasta	98	91
Zilvervliesrijst	103	96
Aardappelen	87	104

Tabel 3a Combinaties van 60% plantaardig eiwit (bron 1 en bron 2) en 40% dierlijk eiwit (bron 3) op basis van drie bronnen (omnivoor eetpatroon)

Bron 1 en bron 2:	Bron 3: Rood vlees	Bron 3: Wit vlees	Bron 3: Vis
Volkorenbrood en volkorenpasta	93	99	102
Volkorenbrood en Aardappelen	100	106	108
Peulvruchten en volkorenpasta	111	116	119
Peulvruchten en aardappelen	95	96	111
Paddenstoelen en volkorenpasta	100	102	108
Paddenstoelen en aardappelen	81	82	97
Noten en volkorenpasta	98	104	106
Noten en aardappelen	101	101	113
Sojamelk en volkorenpasta	120	124	129
Sojamelk en aardappelen	103	104	119

Tabel 3b Combinaties van 60% plantaardig eiwit (bron 1 en bron 2) en 40% dierlijk eiwit (bron 3) op basis van drie bronnen (vegetarisch eetpatroon)

Bron 1 en bron 2:	Bron 3: Melk	Bron 3: Ei
Volkorenbrood en volkorenpasta	99	92
Volkorenbrood en Aardappelen	106	98
Peulvruchten en volkorenpasta	117	109
Peulvruchten en aardappelen	97	116
Paddenstoelen en volkorenpasta	105	98
Paddenstoelen en aardappelen	83	105
Noten en volkorenpasta	104	96
Noten en aardappelen	103	103
Soja schnitzel en volkorenpasta	119	112
Soja schnitzel en aardappelen	115	119
Sojamelk en volkorenpasta	126	118
Sojamelk en aardappelen	105	125

Tabel 4 Voorbeelden van verhouding en hoeveelheden voedingsmiddel bij verschillende verhoudingen van dierlijk en plantaardig eiwit, uitgaande van een aanbevolen hoeveelheid eiwit voor volwassen vrouwen (54 gram per dag); bij twee of drie eiwitbronnen.

Voedingsmiddelen	Verhouding dierlijk: plantaardig eiwit	Verhouding dierlijk: plantaardig product
Wit vlees en volkorenbrood	60:40 (32,4g en 21,6g)	35:65 (105g en 195g ^a)
Vis en volkorenbrood	60:40 (32,4g en 21,6g)	40:60 (130g en 195g ^a)
Melk en volkorenbrood	60:40 (32,4g en 21,6g)	83:17 (952ml en 195g ^a)
Wit vlees en volkorenbrood	40:60 (21,6g en 32,4g)	19:81 (70g en 298g ^a)
Vis en volkorenbrood	40:60 (21,6g en 32,4g)	23:77 (87g en 298g ^a)
Melk en volkorenbrood	40:60 (21,6g en 32,4g)	68:32 (635ml en 298g ^a)
Wit vlees en volkorenpasta en peulvruchten	40:60 (21,6g en 2x16,2g)	12:88 (70g en 289g en 203g)

^a 1 snee volkorenbrood = 35 gram → 195 gram volkorenbrood is ongeveer 5,5 snee brood; 298 gram is ongeveer 8,5 snee volkorenbrood.

1.6 Aminozuursamenstellingen ten behoeve van voorbeeldberekeningen

Onderstaande tabel geeft het eiwitgehalte en het gehalte van vier aminozuren uit het referentiepatroon van de producten die gebruikt zijn in de voorbeeldberekeningen van de commissie weer, evenals de gegevens over verteerbaarheid. De aminozuren die hier zijn uitgelicht zijn dezelfde aminozuren die in het FAO-rapport 2013 worden uitgelicht in de voorbeeldberekeningen. De aminozuurgegevens zijn voor doeleinden van dit adviestraject beschikbaar gesteld door Wageningen University & Research, afdeling Humane Voeding en Gezondheid (contactpersoon Mw K. Borgonjen van den Berg, dietetiek@wur.nl). Het Nederlandse voedingsstoffenbestand (NEVO) bevat geen informatie over aminozuren.

Tabel 5 Eiwitgehalte, aminozuren en verteerbaarheid

Product-omschrijving	NEVO-code	Verteerbaarheid (%) ²⁹	Eiwitgehalte (g/100g product)	Lysine (mg/100g product)	Zwavelhoudende aminozuren (Methionine + cysteïne) (mg/100 g product)	Threonine (mg/100g product)	Tryptophan (mg/100g product)
Champignon gekookt	20	65	3,8	193,8	57	159,6	62,7
Ei kippen-gekookt gem	84	97	12,3	969,47	689,77	590,99	173,35
Noten gemengd ongezouten	207	75	21,4	875,72	709,48	701,34	342,6
Brood volkoren-gem v fijn en grof	246	90	11,1	283,79	465,74	338,72	147,62
Melk halfvolle	286	95	3,4	305,03	111,72	144,74	45,66
Drink soja-naturel	870	94	3,4	239,1	96,51	144,77	48,26
Koolvis (Atlantisch) gekookt	919	90	25,0	2460	1090	1180	370
Kapucijners gekookt	969	75	8,0	549,02	217,64	307,06	63,92
Aardappelen z schil gekookt gem	982	55	1,9	111,15	42,75	64,6	29,45
Rijst zilvervlies-gekookt	1014	70	3,1	114,7	109,53	104,37	43,74
Kipfilet bereid	1392	95	30,9	2775	988,5	1236	321
Schnitzel vegetarisch onbereid	1512	94	15,2	905,5	554,52	580,77	200,01
Gehakt runder-rul gebakken	1540	92	30,4	2601,67	992,6	1324,87	319,55
Pasta volkoren gekookt	2157	70	5,6	171,7	224	177,51	78,72

Literatuur

- 1 Gezondheidsraad. *Voedingsnormen voor eiwitten*. Den Haag, 2021; publicatie nr. 2021/10.
- 2 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(1): 109-127.
- 3 World Health Organization. *Protein and amino acid requirements in human nutrition. Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation*. Geneva, Switzerland, 2007.
- 4 FAO. *Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation*. Rome: FAO, 2013; ISSN 0254-4725.
- 5 Gardner CD, Hartle JC, Garrett RD, Offringa LC, Wasserman AS. *Maximizing the intersection of human health and the health of the environment with regard to the amount and type of protein produced and consumed in the United States*. *Nutr Rev* 2019; 77(4): 197-215.
- 6 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(12): 1685-1695.
- 7 Gezondheidsraad. *Voedingsnormen - energie, eiwitten, vetten en verteerbare koolhydraten*. Den Haag, 2001; publicatienr. 2001/19.
- 8 Millward DJ. *Amino acid scoring patterns for protein quality assessment*. *Br J Nutr* 2012; 108 Suppl 2: S31-43.
- 9 Wolfe RR, Rutherford SM, Kim IY, Moughan PJ. *Protein quality as determined by the Digestible Indispensable Amino Acid Score: evaluation of factors underlying the calculation*. *Nutr Rev* 2016; 74(9): 584-599.
- 10 Elango R, Ball RO. *Protein and Amino Acid Requirements during Pregnancy*. *Adv Nutr* 2016; 7(4): 839s-844s.
- 11 Paoletti A, Pencharz PB, Ball RO, Kong D, Xu L, Elango R, et al. *The dietary requirement for total sulfur amino acids in adults aged ≥ 60 years appears to be higher in males than in females*. *Am J Clin Nutr* 2023; 118(3): 538-548.
- 12 Hodgkinson SM, Stroebinger N, Montoya CA, Moughan PJ. *Available lysine in foods as determined in adult ileostomates*. *J Nutr* 2023; 153(2): 505-510.
- 13 van der Wielen N, Moughan PJ, Mensink M. *Amino acid absorption in the large intestine of humans and porcine models*. *Journal of Nutrition* 2017; 147(8): 1493-1498.
- 14 Rutherford SM, Fanning AC, Miller BJ, Moughan PJ. *Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats*. *J Nutr* 2015; 145(2): 372-379.
- 15 Schaafsma G. *The protein digestibility-corrected amino acid score*. *J Nutr* 2000; 130(7): 1865S-1867S.

- 16 Schaafsma G. *The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)--a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review*. J AOAC Int 2005; 88(3): 988-994.
- 17 Mathai JK, Liu Y, Stein HH. *Values for digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) for some dairy and plant proteins may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS)*. Br J Nutr 2017; 117(4): 490-499.
- 18 Abelilla JJ, Liu Y, Stein HH. *Digestible indispensable amino acid score (DIAAS) and protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) in oat protein concentrate measured in 20- to 30-kilogram pigs*. J Sci Food Agric 2018; 98(1): 410-414.
- 19 FAO. *Protein quality assessment in follow-up formula for young children and ready to use therapeutic foods*. Rome: FAO, 2018.
- 20 Adhikari S, Schop M, de Boer IJM, Huppertz T. *Protein quality in perspective: a review of protein quality metrics and their applications*. Nutrients 2022; 14(5): 947
- 21 Young VR, Pellett PL. *Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition*. Am J Clin Nutr 1994; 59(5 Suppl): 1203S-1212S.
- 22 Melina V, Craig W, Levin S. *position of the Academy of Nutrition and Dietetics: vegetarian diets*. J Acad Nutr Diet 2016; 116(12): 1970-1980.
- 23 Millward DJ. *An adaptive metabolic demand model for protein and amino acid requirements*. Br J Nutr 2003; 90(2): 249-260.
- 24 van Rossum CTM, Buurma-Rethans E, Dinnissen CS, Beukers MH, Brants HAM, Dekkers ALM, et al. National Institute for Public Health and the Environment. *The diet of the Dutch. Results of the Dutch National Food Consumption Survey 2012-2016*. Bilthoven, 2020.
- 25 RIVM. *Memo analyses VCP 2019-2021 t.b.v. GR-advies Eiwittransitie*. Bilthoven: RIVM, 2023.
- 26 FAO/WHO. *Protein quality evaluation*. Rome: FAO, 1991.
- 27 Voedingscentrum. *Richtlijnen Schijf van Vijf 2016*. Den Haag: Voedingscentrum, Februari 2020; 6e druk.
- 28 *Nederlands Voedingsstoffenbestand (NEVO)*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: <https://www.rivm.nl/nederlands-voedingsstoffenbestand>.
- 29 Heerschop SN, Kanellopoulos A, Biesbroek S, van 't Veer P. *Shifting towards optimized healthy and sustainable Dutch diets: impact on protein quality*. Eur J Nutr 2023; 62(5):2115-2128

De Gezondheidsraad, ingesteld in 1902, is een adviesorgaan met als taak de regering en het parlement 'voor te lichten over de stand der wetenschap ten aanzien van vraagstukken op het gebied van de volksgezondheid en het gezondheids(zorg)onderzoek' (art. 22 Gezondheidswet). De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn en Sport; Infrastructuur en Waterstaat; Sociale Zaken en Werkgelegenheid en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. De raad kan ook op eigen initiatief adviezen uitbrengen, en ontwikkelingen of trends signaleren die van belang zijn voor het overheidsbeleid. De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden als regel opgesteld door multidisciplinaire commissies van – op persoonlijke titel benoemde – Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.

U kunt dit document downloaden van www.gezondheidsraad.nl.

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

Gezondheidsraad. Eiwitkwaliteit.

Achtergronddocument bij: Gezonde eiwittransitie.

Den Haag; Gezondheidsraad 2023; publicatienr. 2023/19A3.

Auteursrecht voorbehouden

