

# Grondstoffenefficiëntie

Van biomassa naar levensmiddelen - macronutriënten perspectief

Jan Broeze, Martijntje Vollebregt



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



---

# Grondstoffenefficiëntie

Van biomassa naar levensmiddelen - macronutriënten perspectief

Auteurs: Jan Broeze, Martijntje Vollebregt

Instituut: Wageningen Food & Biobased Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Food & Biobased Research in opdracht van en gefinancierd door Provincie Gelderland, in het kader van Grondstoffenefficiëntie (projectnummer 6239188000).

Wageningen Food & Biobased Research  
Wageningen, juli 2021

---

Rapport 2099

---

Versie: finale versie  
Reviewer: Toine Timmermans  
Goedgekeurd door: Ben Langelaan  
Opdrachtgever: Provincie Gelderland  
Financier: Provincie Gelderland

Bronvermelding figuur voorkant: Voedingscentrum (2020), Schijf van Vijf

© 2021 Wageningen Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research. Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/534659> of op [www.wur.nl/wfbr](http://www.wur.nl/wfbr) (onder publicaties).

Postbus 17, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 00 84, E [info.wfbr@wur.nl](mailto:info.wfbr@wur.nl), [www.wur.nl/wfbr](http://www.wur.nl/wfbr).  
Wageningen Food & Biobased Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

---

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Methodologie</b>	<b>9</b>
2.1	Ketenafbakening	9
2.2	De begrippen efficiëntie en conversie	9
2.3	Focus op macronutriënten	9
2.4	Methodes en bronnen voor samenstelling en rendementen van productieprocessen	10
2.4.1	Samenstelling ingrediënten en levensmiddelen	10
2.4.2	Productie van dierlijke voedselproducten	10
2.4.3	Landgebruik van grondstoffen en levensmiddelen	10
2.4.4	Voedselverspilling in de keten	11
2.5	Efficiëntie berekeningen	11
<b>3</b>	<b>Efficiënties voor levensmiddelen</b>	<b>12</b>
3.1	Van grondstof naar levensmiddel	12
3.1.1	Verliezen in de keten	12
3.1.2	Rundvlees	13
3.1.3	Kippenvlees	13
3.1.4	Varkensvlees	14
3.1.5	Melkvee	14
3.1.6	Eieren	17
3.1.7	Vleesvervangers	17
3.1.7.1	Kipstuckjes	17
3.1.7.2	Bonenburger	18
3.1.8	Brood	19
3.1.9	Aardappelen, groenten en fruit (AGF)	20
3.2	Vergelijking van efficiëntie van de producten	21
3.3	In perspectief van consumptiepatroon	22
3.4	Vergelijking op landgebruik	23
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>25</b>
	<b>Appendix A</b>	<b>26</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>27</b>

---

# Samenvatting

Verduurzamen van onze samenleving vergt dat we minder afhankelijk worden van fossiele grondstoffen en meer gebruik maken van hernieuwbare grondstoffen. Dat zal onder andere betekenen dat biomassa meer voor andere toepassingen naast voedsel en veevoeder zal worden ingezet. Omdat het productiepotentieel begrensd is, zal de beschikbare biomassa efficiënter moeten worden benut. In bijvoorbeeld de 'eiwittransitie' wordt beoogd de stap van dierlijke productie (met inherente inefficiëntie) te vervangen door plantaardige eiwitten direct in voedsel te gebruiken. Echter, ook in een dergelijke keten is sprake van inefficiënties (zoals eiwitextractie). Een kwantitatieve vergelijking van verschillende routes geeft een beter begrip van (in)efficiëntie, en kan bijvoorbeeld helpen om nieuwe ideeën te beoordelen op duurzaamheid. Let op: naast grondstofefficiëntie zijn er veel andere duurzaamheidsindicatoren, zoals broeikasgasuitstoot, stikstofemissies, waterverbruik, dierenwelzijn, etc.; deze studie beperkt zich tot de grondstofefficiëntie.

## Het begrip grondstofefficiëntie

Deze studie geeft een onderbouwing van efficiëntie van verschillende voedselproducten uitgedrukt in gewicht van het voedselproduct ten opzichte van het gewicht van benodigde gewassen (beide in droge stof):

$$\text{Grondstofefficiëntie} = \frac{\text{productgewicht (droge stof)}}{\text{gewicht van benodigde gewassen (droge stof)}}$$

Ter verduidelijking specificeren we de droge stof op macronutriënten (eiwitten, koolhydraten en oliën/vetten), vezels en restmaterialen. Een andere indicator om productie-efficiëntie te kwantificeren is de 'conversiefactor'. Deze 'conversiefactor' is gedefinieerd als het gewicht van de benodigde grondstof voor één eenheid gewicht product (dus het omgekeerde van 'grondstofefficiëntie').

Deze analyse gaat uit van gewassen en toont de efficiëntie van dierlijke productie en verwerking van plantaardige en dierlijke producten tot enkele levensmiddelen. De complete productieketen van geoogste biomassa tot aankoop door de consument is meegenomen. Dat betekent voor dierlijke producten: van gewas naar veevoer, van veevoer naar vlees, eieren en melk en bewerkte dierlijke levensmiddelen. Voor plantaardige producten is de conversie van geoogst product naar een plantaardig, eventueel bewerkt, levensmiddel uitgewerkt. Een gecombineerde aanpak is toegepast voor samengestelde levensmiddelen. De gemiddelde verliezen per schakel in de keten, de voedselverspilling, zijn meegenomen in de analyse.

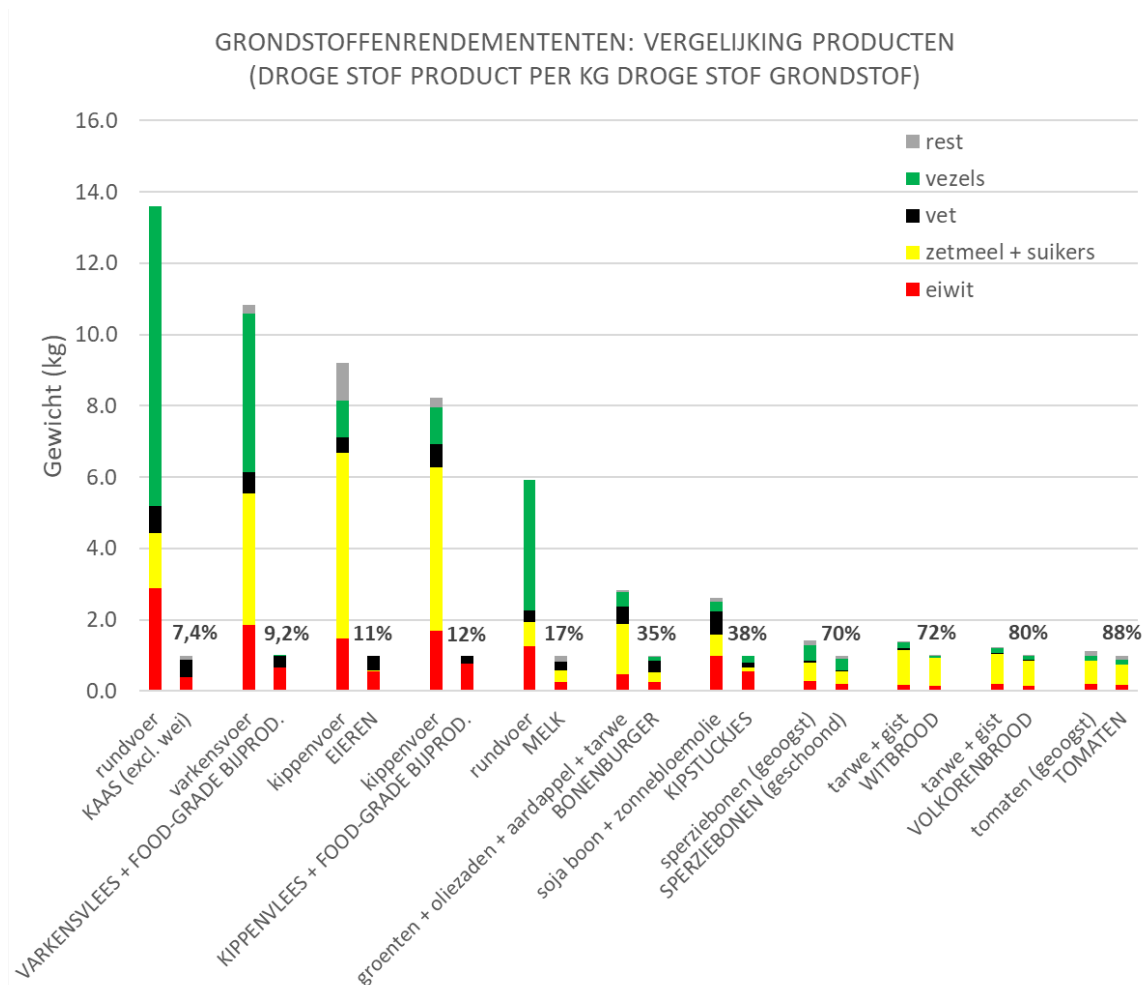
## Grondstofefficiëntie van voorbeeldproducten

De efficiënties van dierlijke productie en verwerkingsprocessen zijn veelal flink lager dan 1. In voedselverwerkingsprocessen treden vaak verliezen op, zoals bij isolatieprocessen, waarbij enkele componenten geconcentreerd worden en andere dus afgescheiden worden, of bij sorteren, snijden, enzovoorts. In dierlijke productie worden nutriënten omgezet, zoals vorming van vetten op basis van koolhydraten en eiwitten. Daarnaast verbruiken dieren een aanzienlijk deel van de nutriënten voor onderhoud (verbranding, productie van energie, waarbij de nutriënten worden omgezet in o.a. CO<sub>2</sub> en water) en wordt mest uitgescheiden. Een aanzienlijk deel van de vezels, mineralen en andere stoffen komen in die mestfractie terecht.

De complexiteit van voedselproductieketens is in beperkte mate meegenomen in de berekeningen:

- In berekening van efficiënties van scheidingsprocessen waarin naast het levensmiddel(ingrediënt) ook bijproducten worden gegenereerd worden de bijproducten veelal niet meegerekend
- Verschillen tussen kwaliteit (bijvoorbeeld aandeel essentiële aminozuren in de eiwitsamenstelling) en nutriënten beschikbaarheid voor vertering in het menselijk lichaam zijn buiten beschouwing gelaten.

De berekende grondstofefficiëntie is voor verschillende levensmiddelen in Figuur 1 weergegeven. Daarin zijn de massabalansen genormaliseerd op 1 kilogram droge stof levensmiddel.



**Figuur 1 Grafische weergave van conversiefactoren van biomassa naar levensmiddelen, uitgedrukt in droge stof (DS). De in de grafiek getoonde getallen zijn de grondstofrendementen.**

**N.B. Voor melkvee geldt dat als ook het voerverbruik voor de jongveefase en droogstandperiode alsmede de vleesproductie wordt meegerekend daalt het grondstofrendement naar ongeveer 12%.**

De figuur toont aanzienlijke verschillen in efficiëntie tussen de levensmiddelen. De relatief lage efficiëntie voor dierlijke producten hangt samen met het onderhoud (verbranding van nutriënten, resulterend in CO<sub>2</sub>) en onbenutte en uitgescheiden stoffen in mest. Het verschil in efficiënties tussen soorten vlees is in lijn met verschillen in voederconversies<sup>1</sup>, maar de verschillen in grondstofefficiëntie voor varkensvlees, kip, melk en eieren zijn relatief klein. Gecorrigeerd voor de voedselverliezen in de keten is er bijvoorbeeld 6 kilogram droge stof voeder nodig voor 1 kilogram droge stof melkproduct. Voor een verder verwerkt product als kaas blijkt de grondstofefficiëntie lager dan voor melk: per kilogram kaas droge stof is bijna 14 kilogram voer (droge stof) nodig. Dat hangt samen met het feit dat slechts een deel van de droge stof uit melk in de kaas wordt gebruikt; het restant wordt afgescheiden (wei). Als de verwaarding van de wei wordt meegerekend met de kaas, is het totale grondstofrendement (hoeveelheid voer per kilogram producten kaas + wei) weer gelijk aan de efficiëntie van melkproductie.

In deze studie is gekeken naar de conversie naar dierlijke en plantaardige levensmiddelen waarvoor de dieren of planten in Nederland geproduceerd worden. Omdat rundvlees van Nederlandse bodem

<sup>1</sup> Voederconversie: prestatie indicator die wordt gebruikt in de veehouderij: aantal kilogram voer die nodig is per kilogram product (bijvoorbeeld diergewicht of melk). Omdat hierbij ook het water in het product wordt meegerekend, wijkt de voederconversie in absolute zin sterk af van de rendementen volgens deze studie.

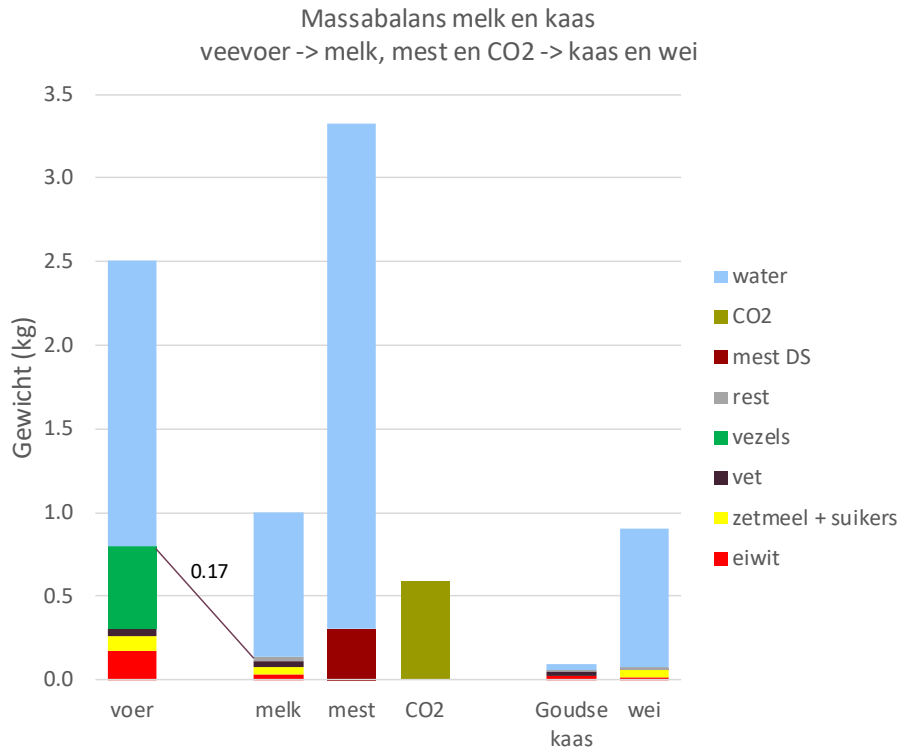
voor 95% afkomstig is van melkkoeien, wordt rundvlees als bijproduct van de melkproductie gezien, en is niet zomaar een conversiecijfer van voer naar vlees te geven.

Voor niet of minimaal bewerkte (plantaardige) producten is de efficiëntie hoger dan voor dierlijke producten. Voor de plantaardige producten blijven de macronutriënten, vezels en restfractie grotendeels in de productieketen behouden. Dat de efficiëntie kleiner (maar bijna gelijk aan) dan 1 is wordt bepaald door de voedselverliezen in de keten en omzettingen tijdens de verwerking, zoals bijvoorbeeld tijdens het rijzen (fermenteren) bij broodproductie. Zo is voor 1 kilogram geschoonde sperziebonen ongeveer 1,25 kilogram geogste sperziebonen nodig.

De efficiënties voor de bekeken vleesvervangers liggen tussen de efficiënties voor dierlijke en andere plantaardige producten. Het beperktere rendement ten opzichte van de andere plantaardige levensmiddelen komt door gebruik van bewerkte, geconcentreerde ingrediënten. (Bij)producten van de ingrediëntproductie, bijvoorbeeld bij oliewinning en eiwitextractie, zijn niet meegerekend.

Inefficiënties in verwerkingsprocessen, zoals ook in het hiervoor genoemde voorbeeld van kaas, lijken aanzienlijk, maar nevenstromen worden vaak wel hoogwaardig gebruikt, onder meer als ingrediënt voor levensmiddelen of voor diervoeder.

Grondstofinefficiënties zoals hierboven omschreven worden duidelijker in een kwantitatieve massabalans waarin ook nevenstromen zijn weergegeven. Een typisch product is kaas, met 'nevenproducten' mest en CO<sub>2</sub> in de dierlijke productie en wei in de kaasproductie (Figuur 2). Merk op dat de mest- en CO<sub>2</sub> productie zelfs aanzienlijk groter zijn dan de melkproductie.



**Figuur 2** Massabalans van veevoer naar melk, mest en CO<sub>2</sub>, en vanuit melk naar kaas en wei. Drinkwaterverbruik en zuurstofopname door de ademhaling is niet weergegeven.

### Efficiëntie van landgebruik

Voor een goede afweging van productie-efficiëntie dient ook de land-productiviteit van de gewassen meegenomen te worden. De productiviteit van gewassen verschilt behoorlijk; producten met een hoge efficiëntie in Figuur 1 vergen merendeels gewassen met een lage opbrengst per hectare ten opzichte van de producten met lage grondstofefficiëntie. Een goede vergelijking naar landgebruik is complex omdat productiviteit sterk afhangt van o.a. productiesystemen en klimaat. In een summiere vergelijking van grondstofefficiënties en landgebruik blijft de gunstiger efficiëntie van veel plantaardige producten ten opzichte van dierlijke producten redelijk overeind, maar de gunstiger

---

grondstoffenefficiëntie van vleesvervangers ten opzichte van bijvoorbeeld melk verdwijnt door de lagere opbrengst van eiwitgewassen.

### **Positionering in het perspectief van het consumptiepatroon**

Veranderingen in wat we eten, zoals reductie in consumptie van dierlijke producten, kunnen leiden tot een betere totale efficiëntie en daarmee tot een duurzamer keten. De hoeveelheid biomassa heeft per slot van rekening een rechtstreekse relatie met duurzaamheid door onder meer het landgebruik gealloceerd aan de productie van die biomassa en de broeikasgas- en andere emissies ten gevolge van de productie en handelingen in de naoogstketen.

De efficiëntie moet worden gezien in relatie tot het consumptiepatroon. Vleesproducten, inclusief vleesvervangers, zijn in Nederland goed voor 8% van de inname aan vast voedsel en zuivelranken, en zuivelproducten zijn hier bijna 30% van volgens de laatste Voedselconsumptiepeiling (2016).

Vervanging van vlees en zuivel door plantaardige alternatieven verbetert de totale efficiëntie.

Gebaseerd op een efficiëntie bandbreedte van 0,10-0,15 voor dierlijke producten en van 0,70-0,85 voor plantaardige levensmiddelen impliceert een volledige vervanging van dierlijk naar plantaardig een verandering van de totale efficiëntie van 0,53 naar 0,78 voor de consumptie van levensmiddelen in huishoudens (exclusief niet-zuivel dranken). Dit is een efficiëntieverbetering van ruim 45%. Reductie van voedselverliezen in de keten verhoogt de efficiënties eveneens. Het stimuleren van de transitie naar plantaardige levensmiddelen en van het reduceren van voedselverspilling door middel van beleid draagt aan efficiëntieverbetering bij.

Het verkregen inzicht in de efficiëntie van grondstoffen naar levensmiddelen draagt bij aan het prioriteren van onderwerpen om concreet aan duurzaamheid bij te dragen. Deze informatie kan als input dienen voor de formulering van beleid gericht op verhogen van de efficiëntie van het gebruik van grondstoffen.

### **Tenslotte**

Deze studie heeft een aantal inzichten kwantitatief gemaakt:

- De resultaten van deze studie bevestigen de hogere grondstoffefficiëntie voor plantaardige eiwitproducten ten opzichte van dierlijke producten. In dierlijke productie wordt een groot deel van de veevoedergrondstoffen omgezet in mest en CO<sub>2</sub>; beide stromen zijn aanzienlijk groter dan de producten zelf.
- Het vergelijken van dierlijke productiesystemen op basis van voederconversies geeft slechts een beperkt beeld omdat deze op basis van de vochtrijke producten gebaseerd is, terwijl de meeste dierlijke producten lagere vochtgehalten hebben dan veevoerders, bovendien varieert het drogestofgehalte van dierlijke productgroepen.
- Dierlijke productievormen hebben een aanzienlijk lagere grondstoffefficiëntie dan plantaardige; echter doordat veel veevoerders en veevoedergrondstoffen een hogere productiviteit per hectare hebben dan verschillende grondstoffen voor plantaardige levensmiddelen, liggen productiviteiten per hectare minder ver uiteen. Dit wordt versterkt doordat in veevoerders veel bijproducten uit de levensmiddelenindustrie worden gebruikt.
- Als het productierendement van een scheidingsproces alleen voor één resulterende fractie wordt bekeken, kan het rendement laag zijn. Echter, als meerdere fracties van de scheiding waardevol worden toegepast is het correcter om de afzonderlijke rendementen te combineren. Ontwikkelingen waarbij reststromen die voorheen als afval werden beschouwd maar nu hoogwaardig worden ingezet, leiden daarom tot verbetering van grondstoffefficiëntie.

### **Aanbevelingen**

De grondstoffefficiëntie, gezien vanuit het perspectief van macronutriënten, kan verbeterd worden door het stimuleren van de volgende zaken:

- Consumptie van plantaardige levensmiddelen (met aandacht voor een gebalanceerd dieet);
- Voedselverspilling reduceren in de hele keten;
- Voedselresten zo hoog mogelijk verwaarden, met toepassing in veevoer of conversie naar levensmiddelen worden nutriënten beter behouden;
- Verhoging van de opbrengsten van gewassen om de duurzaamheidsimpact te verkleinen.

Deze zaken sluiten aan bij onder meer de transitie van dierlijk naar meer plantaardig eiwit, naar volledig grondstofgebruik en naar meer duurzame voedselketens.

---

# 1 Inleiding

Het verduurzamen van voedselproductie en -consumptie is een grote maatschappelijke uitdaging. Verduurzamen vergt dat we minder afhankelijk worden van fossiele grondstoffen en meer gebruik maken van hernieuwbare grondstoffen. Dat zal onder andere betekenen dat biomassa meer voor andere toepassingen naast voedsel en veevoeder zal worden ingezet. Omdat het productiepotentieel begrensd is, zal de beschikbare biomassa efficiënter moeten worden benut.

In bijvoorbeeld de 'eiwittransitie' wordt beoogd de stap van dierlijke productie (met inherente inefficiëntie) te vervangen door plantaardige eiwitten direct in voedsel te gebruiken. Echter, ook in een dergelijke keten is sprake van inefficiënties (zoals eiwitextractie). Een kwantitatieve vergelijking van verschillende routes geeft een beter begrip van (in)efficiëntie, en kan bijvoorbeeld helpen om nieuwe ideeën te beoordelen op duurzaamheid.

Verduurzaming van de voedselketen is een drijfveer voor het invullen van beleid van de overheid op landelijk en regionaal niveau. De Provincie Gelderland ziet grondstofefficiëntie als een belangrijke indicator van duurzaamheid. In het kader van de uitwerking van beleid voor Circulaire Economie heeft de Provincie behoefte aan inzicht in efficiëntie van voedselproducten op hoofdlijnen, met name ten aanzien van eiwitten. Wageningen Food & Biobased Research heeft daartoe kennis over efficiëntie van verschillende stappen in voedselproductieketens gecombineerd in één indicator voor grondstofefficiëntie. Resultaten van de betreffende studie worden in dit rapport gepresenteerd.

De indicator *grondstofefficiëntie* duidt op het rendement van omzetting van gewassen in een voedselproduct. De gewassen dienen in deze vergelijking als veevoeder of grondstof voor voedsel of verwerkingsprocessen. De indicator *grondstofefficiëntie* geeft aan hoeveel grondstof er nodig is voor een kg voedselproduct. Omdat water niet bijdraagt aan de voedingswaarde is de efficiëntie gewogen in droge stof. De samenstelling van de grondstoffen en voedselproducten worden gespecificeerd in macronutriënten (eiwitten, vet/olie en koolhydraten), vezels en restfractie; deze resultaten bieden daardoor waardevolle inzichten in bijvoorbeeld eiwitrendementen. De aanpak wordt verder toegelicht in Hoofdstuk 2.

De resultaten zijn gegeven in Hoofdstuk 3. De conversie van biomassa naar ingrediënt en naar levensmiddel wordt grafisch weergegeven waardoor efficiëntie voor verschillende typen levensmiddelen duidelijk inzichtelijk wordt. Hiermee kunnen levensmiddelen met elkaar vergeleken worden.

Enkele conclusies en aanbevelingen voor het verhogen van de grondstofefficiëntie op basis van het kwantitatieve onderzoek worden gegeven in hoofdstuk 4.

Dit project is gefinancierd door de Provincie Gelderland. Wageningen Food & Biobased Research heeft het onderzoek onafhankelijk uitgevoerd, in 2020.

---

## 2 Methodologie

### 2.1 Ketenaafbakening

De complete productieketen van geoogste biomassa tot aankoop door de consument is meegenomen. Dat betekent voor dierlijke producten: van gewas naar veevoer, van veevoer naar vlees, eieren en melk en bewerkte dierlijke levensmiddelen. Voor plantaardige producten is de conversie van geoogst product naar een plantaardig, eventueel bewerkt, levensmiddel uitgewerkt. De gemiddelde verliezen per schakel in de keten, de voedselverspilling, zijn meegenomen in de analyse.

### 2.2 De begrippen efficiëntie en conversie

Deze studie geeft een onderbouwing van efficiëntie van verschillende voedselproducten uitgedrukt in gewicht van het voedselproduct ten opzichte van het gewicht van benodigde gewassen (beide in droge stof):

$$\text{Grondstofefficiëntie} = \frac{\text{productgewicht (droge stof)}}{\text{gewicht van benodigde gewassen (droge stof)}}$$

We specificeren de droge stof op macronutriënten (eiwitten, koolhydraten en oliën/vetten), vezels en restmaterialen. Een efficiëntie gelijk aan 1 impliceert geen verlies aan deze componenten van biomassa naar levensmiddel. Een getal kleiner dan 1 duidt op een verlies, een inefficiëntie.

In efficiëntie vergelijkingen wordt ook vaak de term *conversie* gebruikt. Daarmee wordt de hoeveelheid grondstof per eenheid product bedoeld:

$$\text{Conversie} = \frac{\text{gewicht van benodigde grondstoffen}}{\text{productgewicht}}$$

Als conversie wordt uitgedrukt in droge stof, is de *conversie* het omgekeerde van de *grondstofefficiëntie*. In de veehouderij wordt het afgeleide begrip voederconversie gehanteerd. Dit cijfer geeft aan hoeveel veevoeder nodig is per kilogram product (levend diergewicht of kilogram melk). Let op: deze worden dan bepaald inclusief aanwezig vocht.

### 2.3 Focus op macronutriënten

Deze studie onderscheidt macronutriënten vanuit de gedachte dat een gezond voedingspatroon overeenkomt met een bepaalde samenstelling in macronutriënten. De beschouwde macronutriënten zijn: eiwitten, koolhydraten (zetmeel + suikers) en olie/vetten. Samen met de vezels en restfractie vormen ze de droge stof fractie. Eiwitten hebben de meeste interesse, deels worden de resultaten gepresenteerd aan de hand van deze macronutriënt.

In veel bewerkingsprocessen gaan macronutriënten verloren, in de vorm van productdelen of specifieke componenten (zoals bij scheidingsprocessen, snijden en malen). In dierlijke productie worden ook nutriënten omgezet in een andere vorm, zoals productie van vetten op basis van koolhydraten en eiwitten, en bij het verbranden van 'energie' door dieren). Voor onbewerkte of minimaal bewerkte plantaardige voedselproducten verandert het gehalte aan macronutriënten in de keten nauwelijks van primaire productie tot consumptie.

Voor samengestelde en bewerkte producten zijn de aandelen van de ingrediënten in het levensmiddel leidend om te bepalen welke hoeveelheid biomassa er nodig is voor de productie van dit levensmiddel.

---

## 2.4 Methodes en bronnen voor samenstelling en rendementen van productieprocessen

### 2.4.1 Samenstelling ingrediënten en levensmiddelen

Gegevens over de samenstelling van ingrediënten en levensmiddelen zijn uit de volgende bronnen gehaald: de encyclopedie van het Voedingscentrum<sup>2</sup>, de NEVO database<sup>3</sup> en de USDA database<sup>4</sup>. Voor ontbrekende gegevens zijn aanvullende bronnen gebruikt, deze zijn vermeld in Hoofdstuk 3.

### 2.4.2 Productie van dierlijke voedselproducten

Voor dierlijke productie onderscheiden we de productiefase (veehouderij: dier/melkproductie, met nevenproducten mest en CO<sub>2</sub>) en verwerking (slacht met vlees en foodgrade bijproducten en overige bijproducten, productie van kaas + wei).

Veevoeder wordt door de dieren gebruikt voor onderhoud, energie, groei en productie. Hoeveel er nodig is voor onderhoud, energie en niet product gerelateerde groei verschilt per diersoort. Voor vleesvee wordt de grondstofefficiëntie van de dierlijke productiefase veehouderij uitgedrukt in voederconversie. In deze studie wordt uitgegaan van een gemiddeld voederconversiefactor per productcategorie. Let op: voederconversie is gedefinieerd als de hoeveelheid voer per kg gewichtstoename, beide uitgedrukt in nat-gewicht. In deze studie wordt dat teruggerekend naar droge stof. Gegevens over samenstelling van veevoer zijn betrokken van Nevedi<sup>5</sup> en van NZO<sup>6</sup>. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde samenstelling van veevoer per diersoort in macronutriënten, vezels en restfractie in deze bronnen.

Een aanzienlijk deel van de droge stof blijft achter in de mest. Ook wordt een deel van de organische stof verbrand voor levensonderhoud; daarbij komt water vrij. Alleen de directe mest en CO<sub>2</sub>-emissies van de productiedieren (mestkuikens, mestvarkens, koeien lactatie-leeftijd) worden in onze resultaten weergegeven, die van bijvoorbeeld moederdieren of de opgroeifase van koeien zijn niet meegenomen. Aangezien de Nederlandse rundveehouderij is gericht op melkproductie (daarvan worden stieren en oude melkkoeien worden geslacht voor vlees), worden voeropname en emissies tijdens de opgroeifase toegekend aan dat vlees en niet aan de melk toegekend. De in Nederland geproduceerde hoeveelheid voer voor rundvleesproductie is beperkt. Om deze reden is rundvlees niet apart geanalyseerd.

Bij de slacht wordt een groot deel van het dier versneden tot vlees; de slachtbijproducten worden deels verwaard in de voedselketen (food-grade bijproducten) en andere bijproducten (Luske, 2009). Food-grade bijproducten zijn bijvoorbeeld dierlijk vet en hiervan afgeleide producten en orgaanvlees. Als efficiëntie van het slachtproces nemen wij de opbrengsten in vers vlees en food-grade bijproducten ten opzichte van het levend gewicht van het dier. In dit rapport wordt het restant aangeduid met 'andere bijproducten'. Voor de samenstelling van vlees + food-grade bijproducten wordt de samenstelling van een gangbaar vleesproduct gekozen. Voor de categorie 'andere bijproducten' is de gemiddelde samenstelling niet bekend; we schatten – vanwege het hoge aandeel beenderen – het drogestofgehalte aanzienlijk hoger dan vlees: 50%.

### 2.4.3 Landgebruik van grondstoffen en levensmiddelen

Cijfers over landgebruik voor veevoergrondstoffen zijn ontleend aan onder andere studie uitgevoerd door Blonk<sup>7</sup>. Voor een bredere groep van levensmiddelen zijn cijfers over milieubelasting, waaronder landgebruik, beschikbaar gesteld via de RIVM<sup>8</sup>.

---

<sup>2</sup> <https://www.voedingscentrum.nl>

<sup>3</sup> <https://nevo-online.rivm.nl>

<sup>4</sup> <https://fdc.nal.usda.gov/>

<sup>5</sup> <https://www.nevedi.nl/feiten-cijfers/samenstelling-rantsoen-per-diersoort>

<sup>6</sup> [http://www.nzo.nl/sites/default/files/page/attachment/wat\\_eet\\_een\\_nederlandse\\_koe\\_infographic\\_nzo.jpg](http://www.nzo.nl/sites/default/files/page/attachment/wat_eet_een_nederlandse_koe_infographic_nzo.jpg)

<sup>7</sup> <https://www.blonkconsultants.nl/nieuws/publicaties-duurzaamheid/>

<sup>8</sup> RIVM, 2016, statline.rivm.nl/#/RIVM/nl/dataset/50060NED

## 2.4.4 Voedselverspilling in de keten

In de efficiëntieberekeningen wordt ook rekening gehouden met de voedselverliezen die optreden in de keten. Daarvoor is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van cijfers die betrekking hebben op de Nederlandse of Noordwest-Europese situatie. Er is, voor zover mogelijk, onderscheid gemaakt naar ketenschakels en productgroepen. Primaire productie betreft de productie door boeren en tuinders van dieren, melk en eieren en van gewassen bedoeld voor (verwerking naar) producten voor humane consumptie. Opslag en handel betreft de opslag tot verdere verwerking en het eerste deel van de handelsketen van primaire producenten naar industrie en handelsbedrijven. Onder distributie wordt het aanbieden van voedsel aan consumenten in winkels verstaan. Verliezen bij de consument zijn aanzienlijk, maar deze zijn buiten deze studie gelaten (Voedingscentrum, 2019).

De cijfers over verliezen in de primaire productie en deels van opslag en handel zijn afkomstig uit een Vlaamse studie (Sarlee, 2012). Voor overige verliezen in opslag en handel en verliezen in verwerking wordt gebruik gemaakt van (gemiddelde) cijfers in Europa van Porter (Porter *et al*, 2016). Voor distributie zijn de percentages afkomstig uit een recente studie naar de Nederlandse retail (WFBR, 2020). Voedselverspilling bij consumptie, dat wil zeggen in huishoudens of bij consumptie buitenhuis is niet meegenomen.

In de presentatie van de resultaten wordt de voedselverspilling van de distributie fase in de keten verwerkt in de hoeveelheid ingrediënten nodig voor 1 kilogram levensmiddel. De verspilling van de ketenschakels primaire productie, opslag en handel, verwerking en distributie wordt verwerkt in de hoeveelheid biomassa die nodig is om deze hoeveelheid ingrediënten te produceren. De efficiënties zijn eveneens gecorrigeerd voor verspilling van voedergrondstoffen in de primaire productie.

## 2.5 Efficiëntie berekeningen

De efficiënties zijn op de volgende wijze uit de voederconversie, voedselverspilling en samenstellingsdata afgeleid.

De hoeveelheid grondstof  $H$ , of biomassa, nodig voor het aandeel van een dierlijk ingrediënt in 1 kilogram levensmiddel is gelijk aan:

$$H = \frac{\prod_i (1 + V_i/100) * C * J * P}{A}$$

Met  $V_i$  (%) de voedselverspilling in ketenschakel  $i$ ,  $C$  (kg veevoer / kg dier of ei) de voederconversie,  $J$  (kg ingrediënt / kg levensmiddel) het aandeel van het ingrediënt in het levensmiddel,  $A$  (kg vers vlees en food-grade bijproducten / kg dier) het aandeel in het dier aan producten geschikt voor levensmiddelen en  $P$  (kg ingrediënt / kg biomassa) de fractie aan resulterend ingrediënt als de biomassa hiervoor bewerkt wordt.  $\prod_i$  (..) staat voor het product van correcties nodig om verliezen in verschillende ketenschakels te adresseren.

Voor een plantaardig ingrediënt dat volledig benut wordt is de voederconversie niet relevant en geldt de volgende formule:

$$H = \frac{\prod_i (1 + V_i) * J * P}{A}$$

Voor bewerkte en/of samengestelde levensmiddelen is de samenstelling leidend om te bepalen hoeveel er van de ingrediënten nodig is. De som van de samenstellingen van de ingrediënten moet voorzien in de samenstelling van het levensmiddel.

## 3 Efficiënties voor levensmiddelen

In sectie 3.1 worden de conversies van grondstoffen naar levensmiddelen gepresenteerd. In sectie 3.2 worden de resulterende efficiënties samengevat. Ten slotte worden de efficiënties in het perspectief van het typische Nederlandse consumptiepatroon geplaatst in sectie 3.3 en vanuit landgebruik beschouwd in sectie 3.4.

### 3.1 Van grondstof naar levensmiddel

De efficiënties voor levensmiddelen worden gepresenteerd voor de volgende categorieën levensmiddelen:

- Vlees en vleesproducten
- Melk en afgeleide producten
- Eieren
- Vleesvervangers
- Brood
- Aardappels, groenten en fruit

#### 3.1.1 Verliezen in de keten

De gebruikte cijfers voor voedselverliezen (gebaseerd op bronnen volgens paragraaf 2.4.4) per ketenschakel voor verschillende producten zijn gegeven in Tabel 1.

**Tabel 1** Voedselverliezen (% van inkomend volume per ketenschakel) van diverse producten in verschillende ketenschakels afgerond op 0,5% (voor bronnen zie paragraaf 2.4.4).

Product	Primaire productie	Opslag en handel	Verwerking	Distributie
Fruit	4.0	7.0	2.0	2.5
groente	7.5	7.0	2.0	2.5
Glasgroenten	1.5	7.0	2.0	2.5
aardappels (onbewerkt)	3.75	10.0	2.0	2.5
Vlees en vleeswaren	0.0	0.5	5.0	3.0
Soja	5.0	1.0	5.0	*
zuivel	1.0	N.v.t.	1.50	1.5
kaas	N.v.t.	N.v.t.	1.50	1.5
eieren	1.0	2.0	*	1.5
GRAnen	1.0	2.0	10.5	*
brood	N.v.t.	N.v.t.	2.00	7.5

Nvt: niet van toepassing. \*: niet beschouwd omdat het product in deze vorm in deze studie niet geanalyseerd is.

Voor verliezen in de productie- en aanvoerketen voor veevoerders en ruwvoer zijn geen cijfers bekend; als work-around is besloten om gemiddelden van typische veevoedergrondstoffen soja en granen te gebruiken: 12% tot en met verwerking. Gecombineerd met een geschatte 2% verlies in distributie/gebruik wordt het totale verlies in de veevoederketen geschat op 14%.

### 3.1.2 Rundvlees

De productie van rundvlees in Nederland is in dit rapport niet uitgewerkt. De belangrijkste reden is dat rundvlees van Nederlandse bodem voor 95% afkomstig is van melkkoeien, het restant komt van gespecialiseerde vleesstierhouderijen<sup>9</sup>. Het vlees is dan merendeels een bijproduct van de melkproductie, en de vleesproductie is niet zomaar direct aan het voer te relateren. Dat geldt zelfs voor kalfsvlees; de nuchtere kalveren volgen uit het zuivelsysteem.

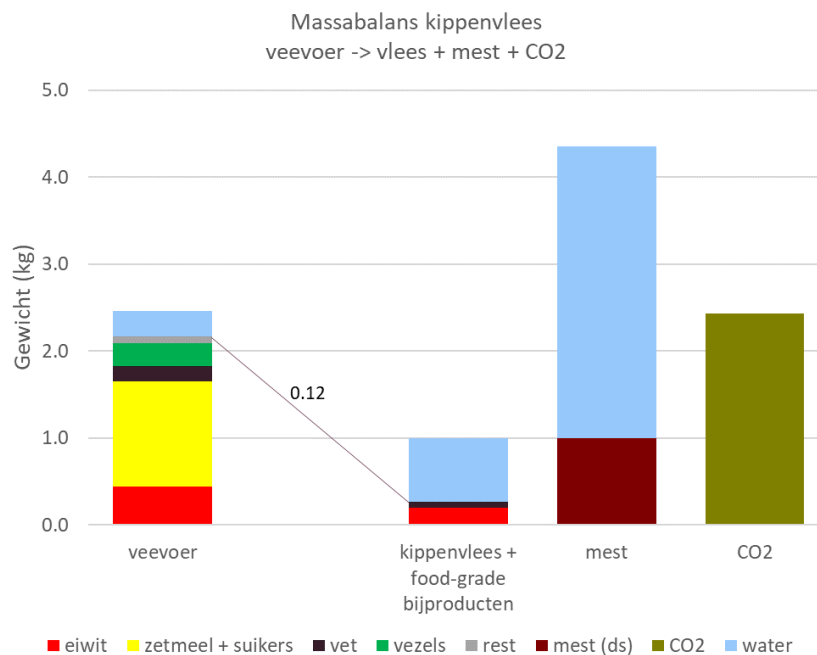
Het aandeel rundvlees van Nederlandse runderen die specifiek gefokt worden voor vlees is klein ten opzichte van geïmporteerd rundvlees. Dat geïmporteerde vlees valt buiten de scope van het onderzoek.

### 3.1.3 Kippenvlees

Voor vleeskuikens worden voederconversie rond 1,6<sup>3</sup> gemeld. Bij slacht wordt gemiddeld 630 gram vlees en 80 gram food-grade bijproduct geproduceerd per kg levend gewicht kip (Luske & Blonk, 2009), totaal rendement 'voedselwaardig product' 71%.

De mestproductie wordt geschat 30% van de voeropname, op droge stof basis (Middelkoop, 1993). De CO<sub>2</sub> productie is sterk afhankelijk van de leeftijd van het vleeskuiken: voor kuikens onder de 3 weken gemiddeld 0,23 ml/s, en voor oudere kuikens 0,88 ml/s (Liu et al., 2016). Met slacht op een leeftijd van 6 weken (slachtgewicht rond 2,5kg) resulteert dit in een CO<sub>2</sub> productie van 3,9 kilogram per dier.

Figuur 3 geeft de resulterende massabalans voor 1 kilogram kippenvlees weer. Op basis van droge stof resulteert een grondstofefficiëntie van 12%. Merk op dat van de vaste stof in het voer voor een groot deel in de mest (1 kg) en in de (koolstof)fractie van de uitgeademde CO<sub>2</sub> (2,4 kg) terecht komt.



**Figuur 3** Massabalans van kippenvoeder naar kippenvlees, mest en CO<sub>2</sub>.

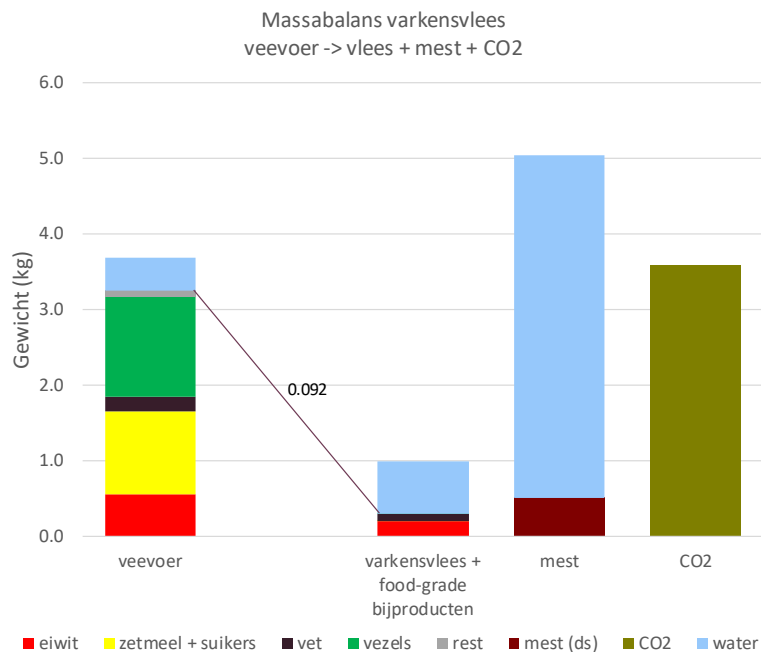
<sup>9</sup> [www.vlees.nl](http://www.vlees.nl)

### 3.1.4 Varkensvlees

De voederconversie<sup>10</sup> voor mestvarkens varieert rond 2,6<sup>11</sup>. We gaan uit van een groei van gemiddeld 830 gram per dag (CBS, 2019). Het slachtrendement (vlees + food-grade bijproducten) wordt geschat op 77% (Luske & Blonk, 2009).

De mestproductie ligt rond 1000 kilogram per dier per jaar (CBS, 2019), met een drogestof gehalte van ongeveer 10% (Eurolab, 2020). CO<sub>2</sub> productie bedraagt ongeveer 11,5 ml/s, ofwel 1,95 kg/dag (Liu et al., 2016).

Figuur 4 geeft de resulterende massabalans van mengvoer naar varkensvlees, mest en CO<sub>2</sub>. Van de vaste stof in het voer komt een deel in de mest terecht (0,5 kg) en een deel in de (koolstof)fractie van de uitgeademde CO<sub>2</sub> (3,6 kg) terecht. Op basis van droge stof resulteert een grondstofefficiëntie van ruim 9%.



**Figuur 4** Massabalans van mengvoer naar varkensvlees, mest en CO<sub>2</sub>.

### 3.1.5 Melkvee

Een melkveebedrijf produceert naast melk ook dieren (zoals nuchtere kalveren, dat zijn kalveren die op jonge leeftijd worden verkocht, en andere verkochte dieren). Hieronder wordt als eerste een globale massabalans voor de combinatie van melk en dieren gepresenteerd. Daarna volgt een gedetailleerdere analyse voor alleen de melkproductie.

Op basis van een cijfers voor een gemiddeld melkveebedrijf is een massabalans van voer naar producten melk en vlees opgesteld. Daarbij is detaillering van macro-nutriënten achterwege gelaten omdat de informatiebron waarmee deze analyse is uitgevoerd die details niet geeft. Een uitgebreide analyse naar voerdosering en -samenstelling voor de diverse levensfasen van de dieren past niet in de omvang van het huidige onderzoek. Omdat voor de lactatie-fase van melkkoeien wel voldoende cijfers beschikbaar zijn om de massabalansen op macronutriënten te detailleren, wordt de efficiëntie van melkkoeien in de lactatiefase tot het niveau van macronutriënten uitgewerkt.

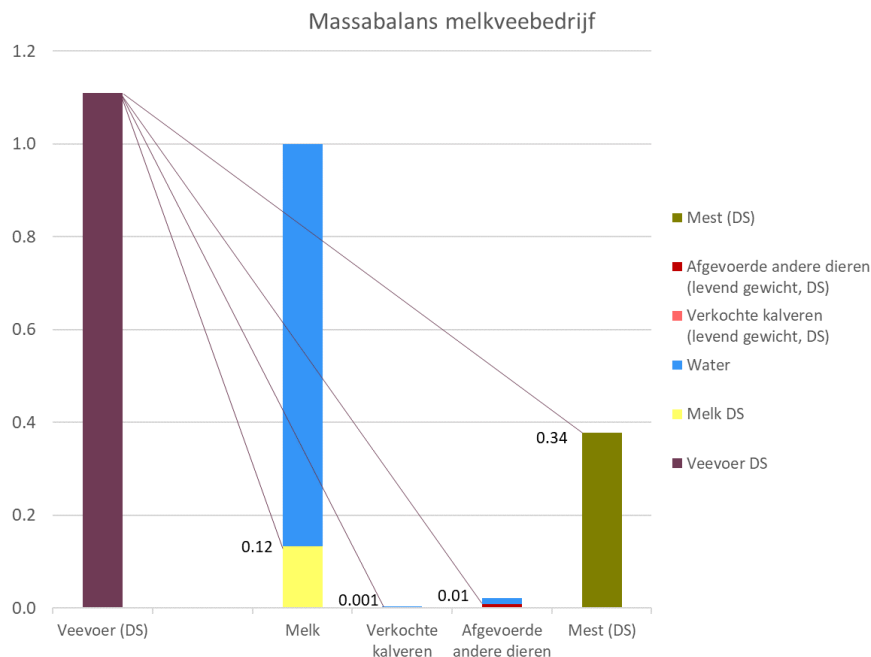
#### Massabalans van een gemiddeld melkveebedrijf met productie van melk en vlees

Op basis van typering van een gemiddeld melkveebedrijf in Nederland, inclusief verbruikte hoeveelheid voer, melk, mest en afvoer van dieren door Durlinger e.a. (2017) is de conversie zoals weergegeven in Figuur 5 afgeleid (genormeerd op 1 liter melk, om de resultaten vergelijkbaar te

<sup>10</sup> Let op: genoemde conversiefactoren zijn indicatief; de werkelijke waarden zullen variëren, afhankelijk van voersamenstelling, diermanagement en andere factoren.

<sup>11</sup> <https://www.boerderij.nl/Varkenshouderij/Achtergrond/2016/4/Hogere-productie-op-steeds-grotere-varkensbedrijven-2782849W/>

maken met de analyse naar melk in de volgende paragraaf). Hierin is te zien dat het aandeel aan afgevoerde dieren (uitgedrukt in droge stof) ongeveer 10% van de melk bedraagt.



**Figuur 5** Massabalans gemiddeld melkveebedrijf in Nederland (DS = droge stof) per kilogram melk.

### Melk en kaas, efficiëntie van melkvee in de lactatiefase

(in onderstaande analyse is de voerconsumptie tijdens de opgroefase van een koe en de tijd buiten de lactatieperiode buiten beschouwing gelaten, waarin energie wordt gebruikt voor (aan)groei, ook van het kalf)

Voor melkvee in de lactatiefase wordt efficiëntie veelal uitgedrukt in voeder-efficiëntie (kilogram melk per kilogram droge stof voeder); typisch gemiddelde waarde is 1,3<sup>12</sup>. Het rantsoen voor melkvee bestaat voor ongeveer 90% uit ruwvoer, de overige 10% is krachtvoer (NZO).

Een melkkoe produceert 29 ton mest per jaar (CBS, 2019). Het droge stofgehalte van runderdrijfmest ligt rond 9% (Eurolab 2020, Gemiddelde samenstelling organische meststoffen), dus de totale jaarlijkse mestproductie is 2,5 ton droge stof per melkkoe per jaar. Bij een gemiddelde melkgifte van 9000 liter (CBS, 2019) impliceert dit per kilogram melk een mestproductie van 0,29 kilogram droge stof met 2,9 kilogram water. De CO<sub>2</sub> productie is in 2008 geschat op ongeveer 6 m<sup>3</sup> per koe per dag (Pedersen, 2008). Met de toegenomen productiviteit in de afgelopen ruim 10 jaar nemen we aan dat die CO<sub>2</sub> productie opgelopen is naar 7 m<sup>3</sup> per koe per dag, dat is ongeveer 5000 kg per koe per jaar. Dit komt overeen met 0,56 kilogram CO<sub>2</sub> per liter melk. Let op: de CO<sub>2</sub> productie is niet gelijk aan de broeikasgasuitstoot; andere broeikasgassen, met name methaan en lachgas, zijn in volume en gewicht lager<sup>13</sup>.

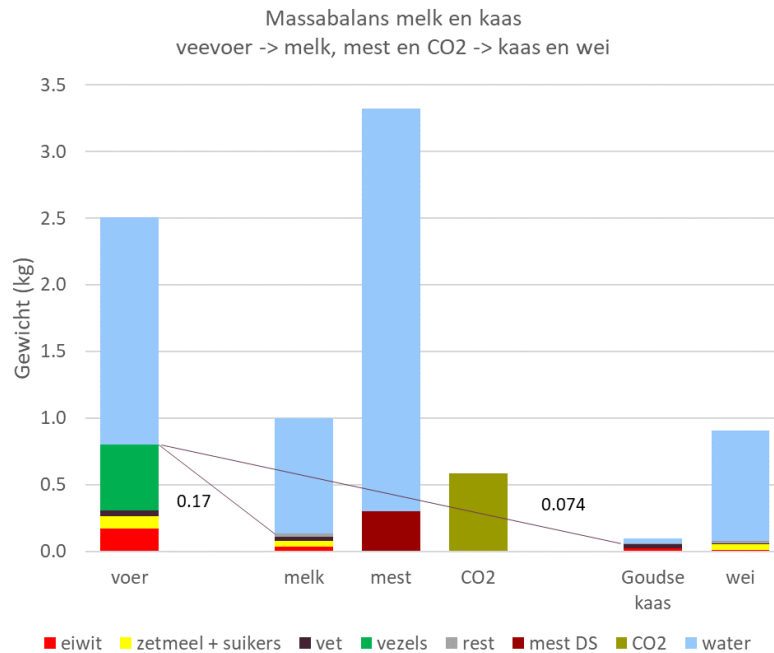
Er is ongeveer 10 liter melk nodig voor 1 kilogram kaas. Een groot deel van de eiwitten en vet komt terecht in de kaas; ongeveer 25% van het eiwit en 8,5% van het vet komt in de wei (Fox, 2000). Het aandeel aan zetmeel + suikers in wei is ongeveer gelijk aan het totaal aan eiwit en vet (Duynie productblad). Bijdrages van de andere grondstoffen in kaasbereiding, zout, stremsel en zuursel, aan de conversie en efficiëntie berekeningen zijn niet in de massabalansen meegenomen.

Figuur 6 geeft de resulterende massabalans voor 1 liter melk weer, en van hieruit de hoeveelheid kaas en wei. Op basis van droge stof resulteert een efficiëntie van 17% voor melk en 7,4% voor kaas.

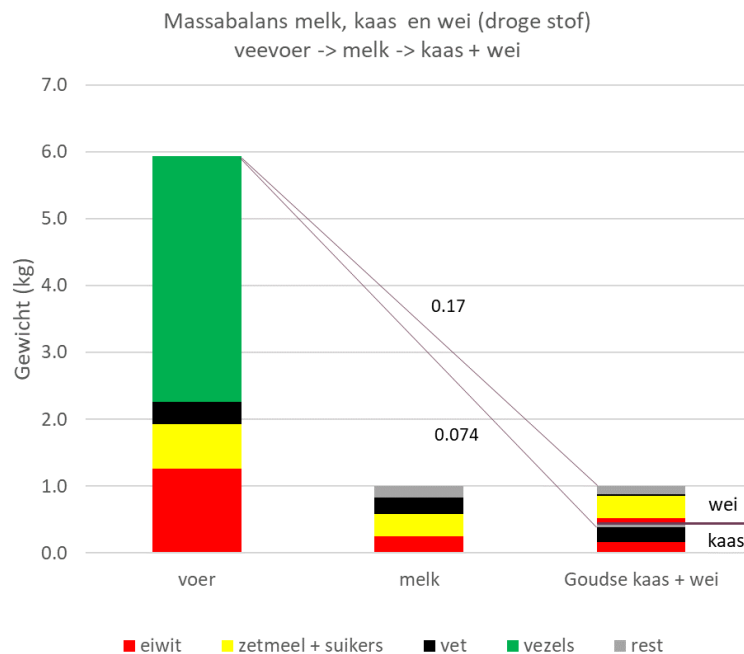
<sup>12</sup> <https://www.melkvee.nl/artikel/216788-fransen-en-denen-aan-de-top-qua-voerefficiëntie/>

<sup>13</sup> Omdat deze gassen een hoger broeikasgas effect per kg hebben dan CO<sub>2</sub>, is de bijdrage van methaan en lachgas wel substantieel, maar dat valt buiten de scope van deze studie.

Het droge-stofrendement van omzetting van melk in kaas is aanzienlijk lager dan 1 (Figuur 6); het 'verlies' in verwerkingsprocessen lijkt hierdoor aanzienlijk, maar de nevenstroom, de wei, wordt wel hoogwaardig gebruikt, onder meer als ingrediënt voor levensmiddelen. De grondstofefficiëntie (in droge stof) van voer naar melk en vervolgens kaas (0,074 volgens Figuur 6) wordt van voer naar melk en van melk naar kaas + wei gelijk aan 0,17 zoals weergegeven in Figuur 7.



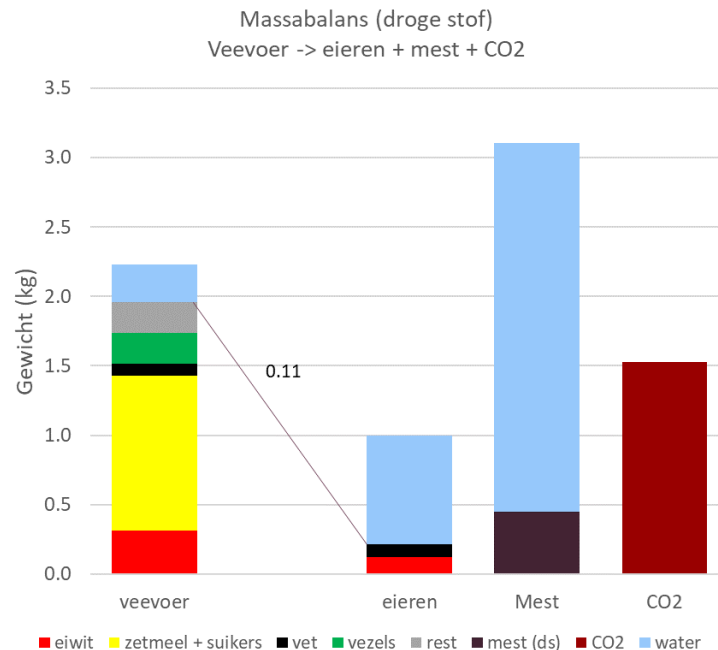
**Figuur 6** Massabalans van veevoer naar melk, mest en CO<sub>2</sub>, en vanuit melk naar kaas en wei.



**Figuur 7** Massabalans (alleen droge stof) van veevoer naar melk, en vanuit melk naar kaas en wei (gecombineerd).

### 3.1.6 Eieren

Voederconversie, mest en CO<sub>2</sub> productie zijn uit dezelfde bronnen afgeleid als voor de hierboven genoemde producten. De mestproductie is daarbij ingeschat op basis van cijfers meest recente cijfers voor kippendrijfmest, en niet die van droge kippenmest omdat daar strooiselmateriaal bij zit. Figuur 8 geeft de resulterende massabalans van voeder naar eieren. Van het voer komt bijna 0,5 kg in de mest terecht, en komt een andere deel terecht in de 1,5 kg uitgedemde CO<sub>2</sub>. Op basis van droge stof resulteert een efficiëntie gelijk aan 11%.



**Figuur 8** Massabalans van voeder naar eieren.

### 3.1.7 Vleesvervangers

Vleesvervangers worden in toenemende mate aangeboden en geconsumeerd. Vaak worden deze producten gemaakt van plantaardige ingrediënten rijk aan eiwit, zoals peulvruchten of eiwit concentraten of isolaten. Naast een bijdrage aan eiwit leveren deze ingrediënten vaak een functionaliteit zoals structuur, mondgevoel en binding. In deze studie geven we twee voorbeelden van de conversie van geoogste producten naar levensmiddel: kipstuckjes van de Vegetarische Slager en de bonenburger van HAK.

#### 3.1.7.1 Kipstuckjes

De kipstuckjes bestaan uit de volgende ingrediënten: water (65%), soja-eiwit concentraat (28%), zonnebloemolie (4,5%), natuurlijke aroma's en zout (2,5%) (Broekema, 2017). Sojaconcentraat is afkomstig uit sojabonen en wordt gewonnen uit de pulp die ontstaat bij het persen van olie uit sojabonen. Sojabonen bestaan voor bijna 20% uit olie, hiervan blijft 1,2% in het meel<sup>14</sup>. Uit het sojameel wordt concentraat gewonnen met een opbrengst van 75%, in een eiwitgehalte van 70%<sup>15</sup>. Gecombineerd van sojaboon tot eiwit concentraat resulteert dat uit 1 kilogram sojabonen 610 gram soja-eiwit concentraat wordt gewonnen. Zonnebloemolie is afkomstig uit zonnebloempitten. Uit 100 kg pitten wordt 45 liter olie gewonnen<sup>16</sup>.

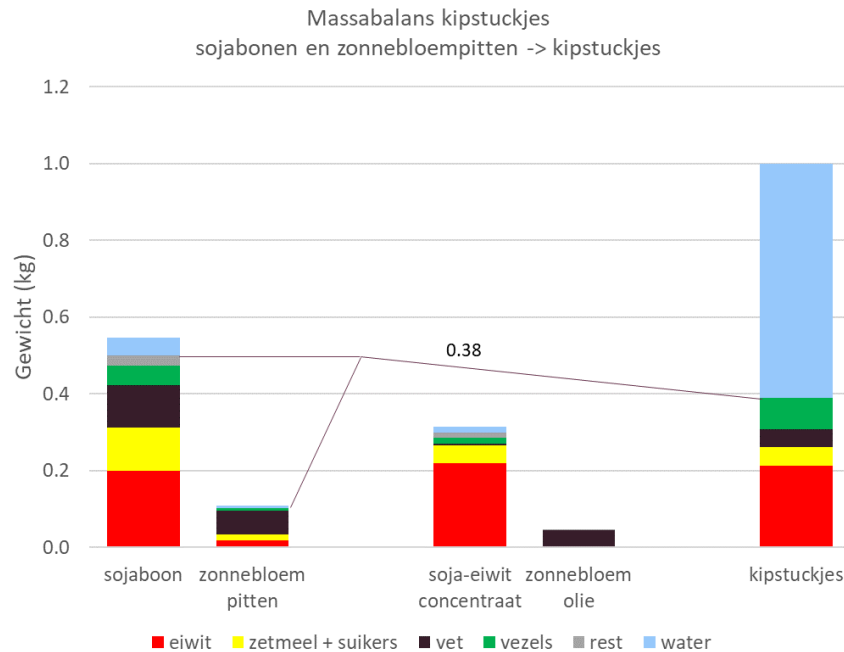
Figuur 9 toont de resulterende conversie van sojabonen en zonnebloempitten, via soja-eiwit concentraat en zonnebloemolie, naar kipstuckjes. Het eiwit is afkomstig uit het concentraat, met mogelijk ook een bijdrage uit de aroma's. Het vet in de kipstuckjes komt bijna volledig uit de

<sup>14</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Soybean>

<sup>15</sup> <https://www.soya.be/soy-protein-concentrate.php>

<sup>16</sup> <https://www.mvo.nl/zonnebloemen-een-hernieuwbare-grondstof-rechtstreeks-uit-de-natuur#>

zonnebloemolie, met een kleine bijdrage uit het concentraat. Koolhydraten, exclusief de vezels, zijn afkomstig uit het concentraat. De vezels zijn niet helemaal te herleiden uit de ingrediënten. Deels komt dit doordat de exacte specificaties van de ingrediënten niet bekend is, en mogelijk bevatten de aroma's ook vezels. Op basis van droge stof resulteert een efficiëntie gelijk aan 0,38, ofwel 38%.



**Figuur 9** Massabalans van sojabonen en zonnebloempitten naar soja eiwit-isolaat en zonnebloemolie en van daaruit naar kipstuckjes.

### 3.1.7.2 Bonenburger

De bonenburgers is geproduceerd uit peulvruchten (bruine bonen, tuinbonen en erwten, 45%) ui, paprika en knoflook (samen 16%), plantaardige eiwitten (tarwe gluten en aardappeleiwit, 10%), oliën (raapolie en zonnebloemolie, 15%), zetmeel, aardappelpuree en kruiden/specerijen (Broekema, 2017).

Verschillende ingrediënten dragen bij aan het eiwit in de bonenburger waarvan het eiwitgehalte 10,8 g/100 g is<sup>17</sup>. De tarwe gluten worden verkregen voor het uitspoelen van bloem, 8-10% van het bloem is gluten<sup>18</sup>. Voor 1 kilogram bloem is 1,22 kilogram tarwe nodig. De combinatie van deze factoren geeft dat er voor 1 kilogram gluten 12,2 kilogram tarwe nodig is. Het aardappeleiwit wordt beschouwd als bijproduct van de aardappelzetmeelproductie, de benodigde hoeveelheid aardappelen hiervoor wordt niet meegenomen in de efficiëntie. Zetmeel en suikers zijn voornamelijk afkomstig uit de groentes en het zetmeel. Er is aangenomen dat het zetmeel aardappelzetmeel is. Er resulteert 175 kilogram zetmeel uit 1 ton aardappels (<sup>19</sup>; Grommers, 2009). Voor de groenten is de samenstelling gebaseerd op het op aandeel ingrediënt gewogen gemiddelde van de samenstelling van de individuele groenten. De verwerking van 5,7 kilogram tomaten resulteert in 1 kilogram tomatenpuree. Het vet is afkomstig uit de zonnebloemolie en de raapolie. De benodigde hoeveelheden aan oliegewassen is gebaseerd op olieopbrengsten, respectievelijk 45% voor zonnebloempitten en 32% voor raapzaad<sup>20</sup>.

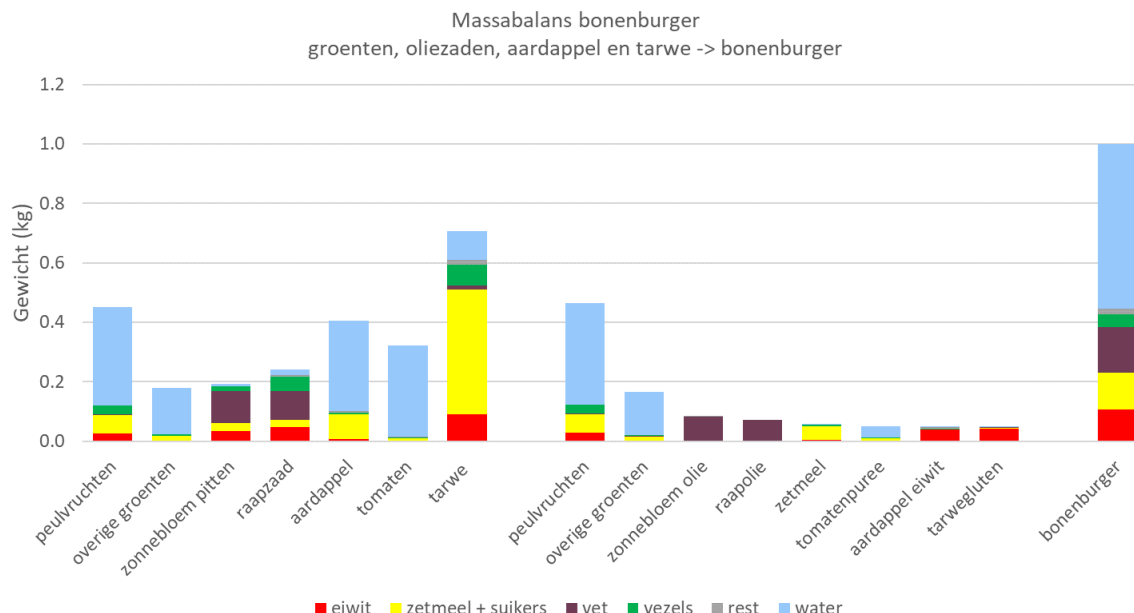
Figuur 10 geeft de massabalans voor de bonenburger gebaseerd op bovenstaande informatie. De ingrediënten en grondstoffen zijn gesorteerd naar gewichtsbijdrage van de ingrediënten aan de burger. Op basis van droge stof resulteert een efficiëntie gelijk aan 0,35.

<sup>17</sup> <https://superkeuze.nl/p/344863/hak-pittige-hollandse-bonenburger-2-stuks>

<sup>18</sup> [https://instituutblokdijk.nl/fileman/Uploads/Nieuws/Voeding/h100\\_Gluten.pdf](https://instituutblokdijk.nl/fileman/Uploads/Nieuws/Voeding/h100_Gluten.pdf)

<sup>19</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Starch\\_production](https://en.wikipedia.org/wiki/Starch_production)

<sup>20</sup> <https://www.mvo.nl/zonnebloemen-een-hernieuwbare-grondstof-rechtstreeks-uit-de-natuur#>, raapzaak: persoonlijke communicatie WFBR.



**Figuur 10** Massabalans van groenten, oliezaden, aardappel en tarwe via de afgeleide ingrediënten naar een bonenburger. De totale efficiëntie van grondstoffen naar de bonenburger in droge stof is 0,35.

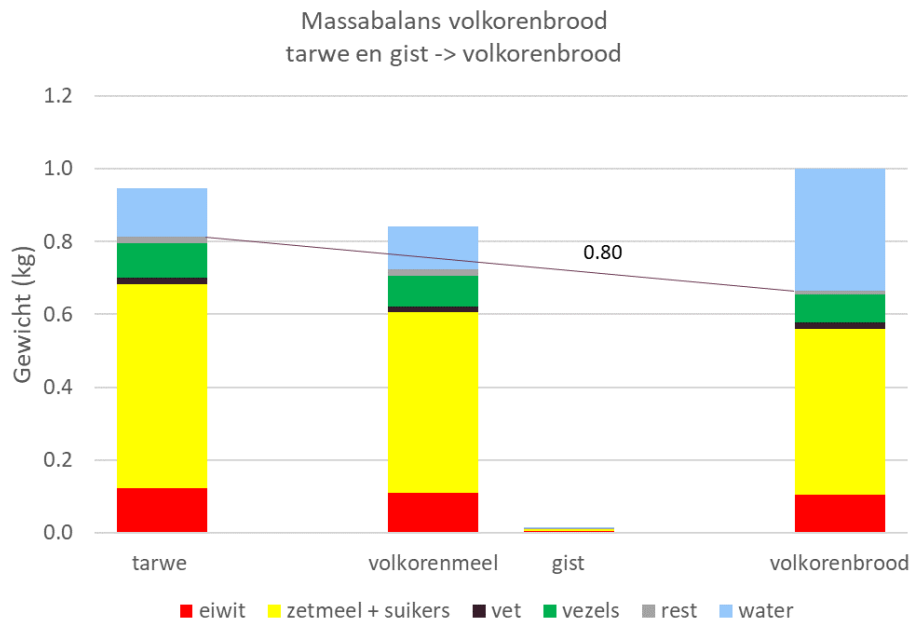
Opmerking: Een groot deel van de ingrediënten van de vleesvervangers is afkomstig van scheidingsprocessen. Het meerekenen van alle benutten (bij)producten kan daarom de grondstofefficiënties aanzienlijk verbeteren. Bij voorkeur wordt dat gecombineerd met een allocatieverdeling. Dat valt echter buiten de scope en mogelijkheden van dit project.

### 3.1.8 Brood

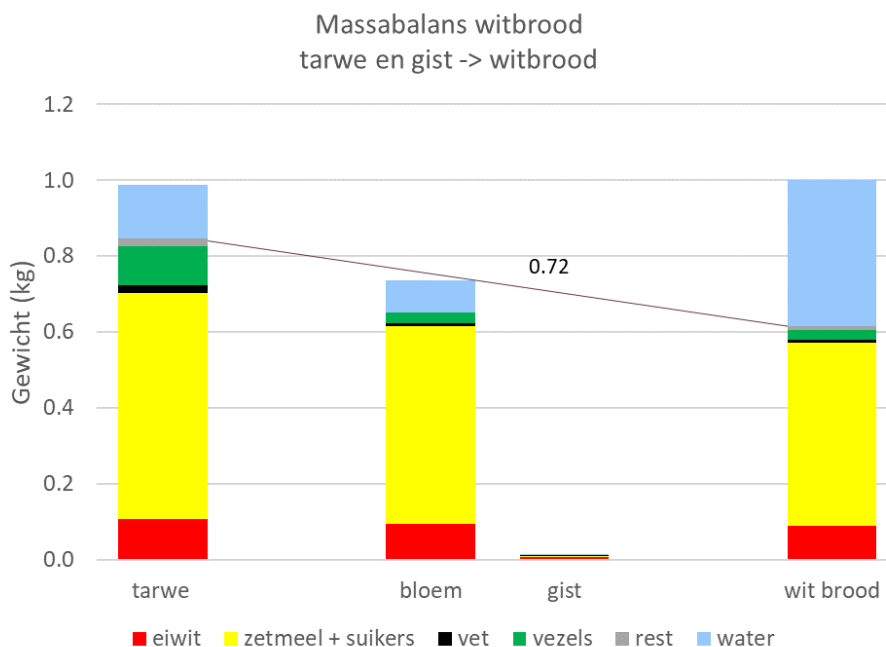
Brood bestaat uit meel, water, gist, zout en additieven. Het meel en de gist zijn bepalend voor de samenstelling in termen van macronutriënten en vezels. Hoewel de hoeveelheid gist klein is (typisch 1% instant gist) is de bijdrage aan vooral eiwit in het brood substantieel: een kleine 5% van het totale eiwit in brood. Voor de productie van brood uit de grondstoffen zijn twee conversies relevant voor de efficiëntie. Ten eerste, de winning van meel uit het geoogste graan. Indien volkorenmeel wordt gebruikt zijn er geen raffinageverliezen en is de samenstelling van het meel gelijk gesteld aan de samenstelling van de geoogste tarwe. Voor wit brood wordt bloem gebruikt, er is ongeveer 1,22 kilogram tarwe nodig voor 1 kilogram bloem<sup>21</sup>.

Figuur 11 toont de massabalans voor volkorenbrood. Op basis van droge stof resulteert een efficiëntie gelijk aan 0,80. Gist is hierbij meegenomen als ingrediënt, de productie van gist is buiten beschouwing gelaten. De efficiëntie voor witbrood is met 0,72 lager ten gevolge van de winning van bloem uit tarwemeel, zie Figuur 12.

<sup>21</sup> <https://www.dosschemills.com/nl/gamma/tarwebloem>



**Figuur 11** Massabalans van tarwe en instant gist naar volkorenbrood.

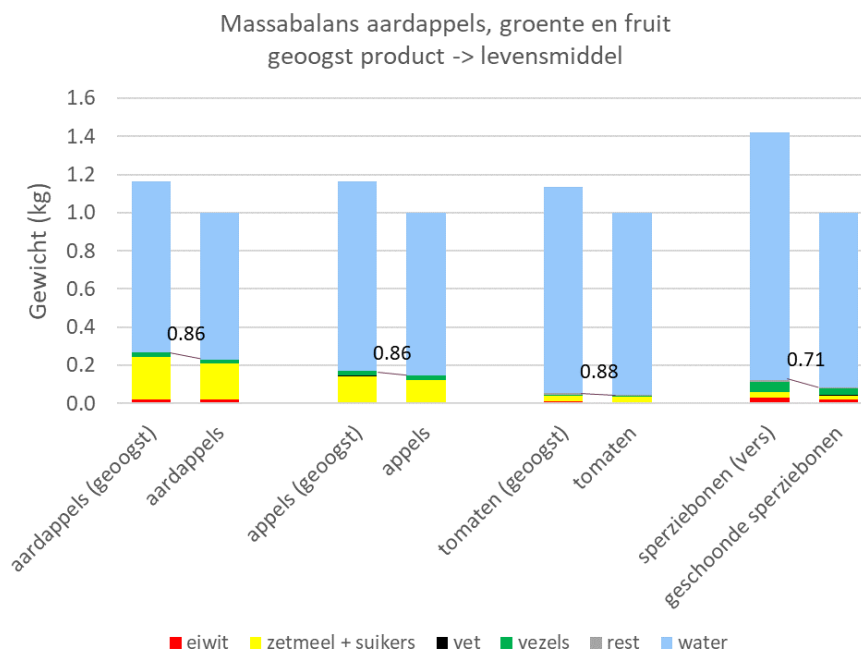


**Figuur 12** Massabalans van tarwe en gist naar witbrood.

### 3.1.9 Aardappelen, groenten en fruit (AGF)

Voor onbewerkte producten zoals tafelaardappelen en verse groenten en fruit resulteren de verliezen in agrarische productie en na-oogst ketens tot geringe efficiëntieverliezen. Voor een verwerkt product, zoals frites, ontstaan wat procesverliezen in de keten (zoals schillen en afsnijdsels) en worden andere ingrediënten toegevoegd, zoals olie, waardoor het schema complexer wordt, zie bovenstaande voorbeelden van kaas en vleesvervangers.

Figuur 13 toont de conversie van geoogst product naar levensmiddel voor een aantal AGF producten. Voor onbewerkt product zijn de efficiënties hoog, >0,85. Voor gesneden of geschoonde producten is er sprake van procesverliezen en wordt de efficiëntie lager zoals in de figuur geïllustreerd voor geschoonde sperziebonen. Voor bereiding of consumptie thuis of in een restaurant wordt AGF mogelijk ook geschoond, in diverse gevallen betreft dit onvermijdelijke verliezen, of oneetbare delen. Deze verliezen zijn niet meegenomen, ook voedverspilling in restaurants, of andere buitenshuis consumptie, en in huishoudens zijn niet meegenomen.



**Figuur 13** Massabalans voor een aantal minimaal bewerkte aardappels, groente en fruit.

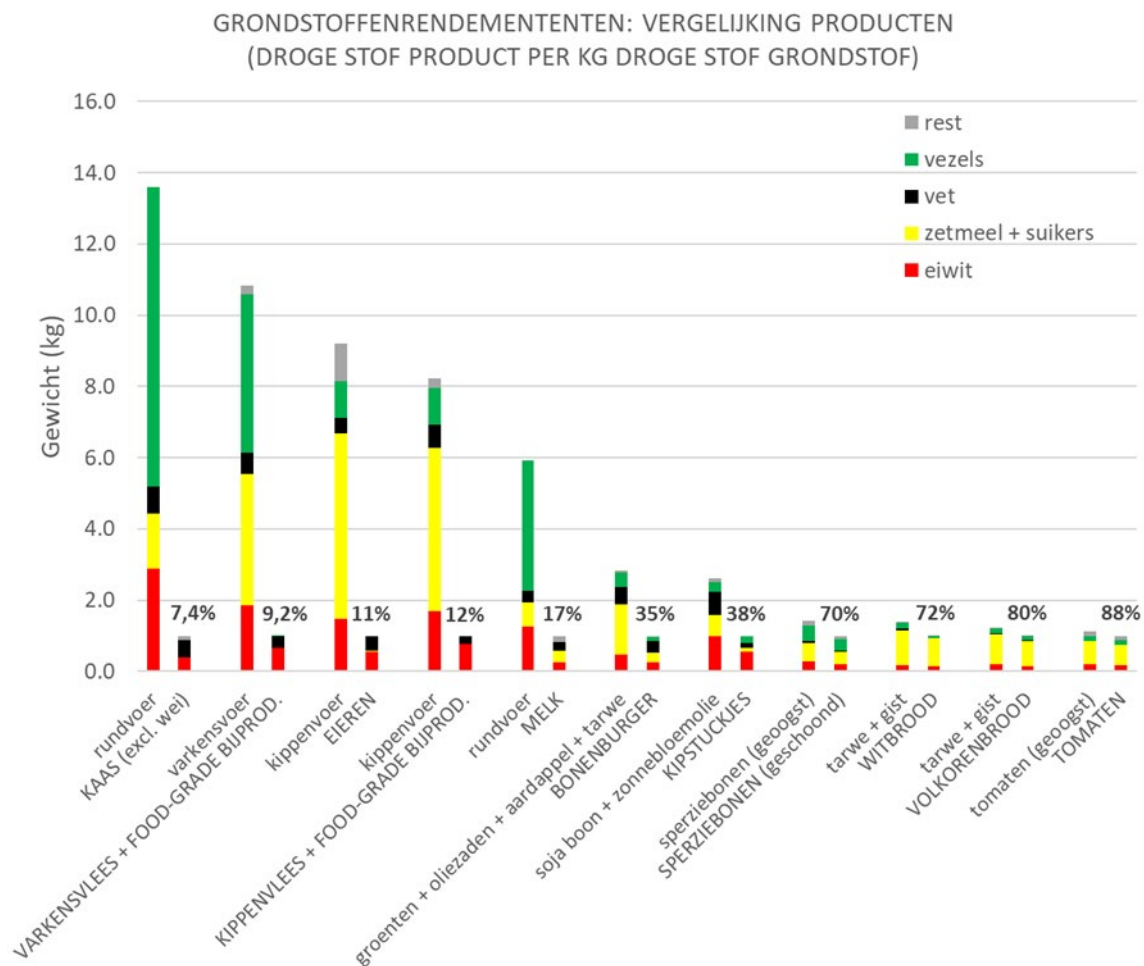
## 3.2 Vergelijking van efficiëntie van de producten

Uit de figuren uit sectie 3.1 blijkt dat er een verschil is tussen de conversie van veevoer naar de producten zoals ze zijn, of bekeken vanuit het perspectief van het aandeel droge stof. Dit komt doordat het vlees, de melk en de eieren voor een groot deel uit water bestaan en veel veevoedergrondstoffen een veel hoger drogestofgehalte hebben. Bij samengestelde dierlijke of plantaardige producten kan dit eveneens het geval zijn, zoals bij brood en vleesvervangers zichtbaar is. Bij (minimaal bewerkte) aardappel, groente en fruit is dit niet het geval en is de verandering in hoeveelheid macronutriënten alleen het gevolg van voedselverliezen in de keten.

In deze studie is de efficiëntie bepaald op basis van droge stof verhoudingen. Figuur 14 toont de hoeveelheid grondstof benodigd voor 1 kilogram droge stof aan product voor diverse levensmiddelen. Het grote verschil in efficiëntie tussen dierlijke en plantaardige levensmiddelen is duidelijk zichtbaar. De dierlijke producten hebben een efficiëntie onder 0,2, dus hebben minimaal 5x de totale hoeveelheid macronutriënten nodig ten opzichte van de hoeveelheid in het levensmiddel. Een scheidingsproces resulteert in verlies van product (tenzij de reststroom ook als waardevol product wordt meegerekend). Bijvoorbeeld in het geval van kaas leidt dit tot een grote hoeveelheid grondstofbehoefte per kilogram levensmiddel, en dus tot een slechtere efficiëntie, tenzij de het bijproduct wei ook wordt meegerekend. Voor een onbewerkt product, zoals melk of eieren is de efficiëntie beter.

De enkelvoudige, minimaal bewerkte plantaardige producten hebben een efficiëntie boven 0,70; het verlies is vooral het gevolg van de voedselverliezen in de keten. De efficiëntie van de getoonde vleesvervangers liggen tussen dierlijke en overige plantaardige producten in. De lagere berekende efficiëntie dan de andere plantaardige producten is het gevolg van scheidingsprocessen.

In deze studie zijn conversies in macronutriënten geanalyseerd. In Appendix A is weergegeven hoe de grondstofrendementen zich verhouden genormaliseerd naar eiwitgehalte.



**Figuur 14** Grondstofrendementen van biomassa naar levensmiddelen, uitgedrukt in droge stof (DS). Genoemde percentages geven aan hoeveel levensmiddel (DS) uit 1 kilogram gewas (DS) wordt geproduceerd.

**N.B.** Voor melkvee geldt dat als ook het voerverbruik voor de jongveefase en droogstandperiode alsmede de vleesproductie wordt meegerekend daalt het grondstofrendement naar ongeveer 12%.

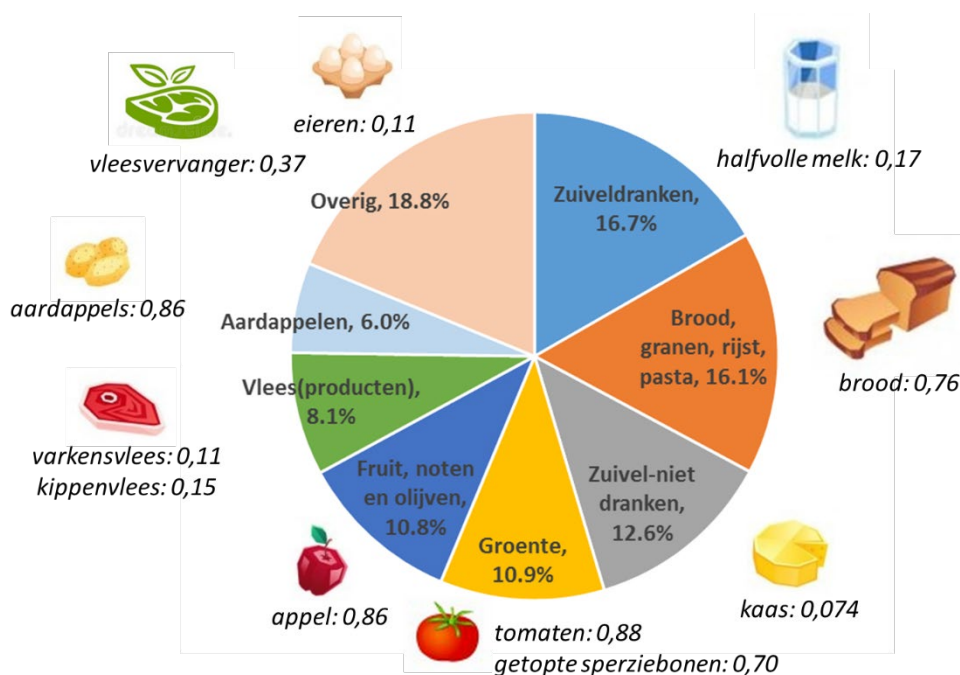
### 3.3 In perspectief van consumptiepatroon

Voor begrip van grondstofbehoefte bij een consumptiepatroon moeten grondstofefficiëntiecijfers gecombineerd worden met het aandeel van de voedselproducten in het totale dieet. Daartoe plaatsen we de efficiënties in het perspectief van het typische Nederlandse consumptiepatroon.

Middels de grafieken uit sectie 3.2 kunnen levensmiddelen met elkaar vergeleken worden op efficiëntie van primaire productie, of biomassa, naar consumptie, of levensmiddel. Echter, de mens consumeert diverse levensmiddelen om aan de nutriëntbehoefte te voldoen. De gehalten aan inhoudsstoffen en samenhangend aandeel van de efficiënties moet in perspectief van het consumptiepatroon gezien worden. Figuur 15 geeft de Nederlandse levensmiddelenconsumptie weer (Rossum, 2018) en de efficiënties van de macronutriënten, vezels en restfractie op basis van droge stof voor een aantal levensmiddelen.

Veranderingen in wat we eten, zoals reductie in consumptie van dierlijke producten, kunnen leiden tot een betere totale efficiëntie en daarmee tot een duurzamere voedselketen. Het aandeel dierlijke levensmiddelen, vlees(producten) en zuivel, in het consumptiepatroon is ongeveer 37,5%. Gebaseerd op een efficiëntie bandbreedte van 0,10-0,15 voor dierlijke producten en van 0,70-0,85 voor plantaardige levensmiddelen impliceert een volledige vervanging van dierlijk naar plantaardig een verandering van de totale efficiëntie van 0,53 naar 0,78 voor de consumptie van levensmiddelen in

huishoudens (exclusief niet-zuivel dranken). Dit is een efficiëntieverbetering van ruim 45%. Deze schatting moet geverifieerd worden met een uitbreiding van de analyse van de efficiëntie van meerdere levensmiddelen.



**Figuur 15 Efficiënties van biomassa naar levensmiddelen: kilogram aan macronutriënten uit 1 kilogram biomassa voor diverse levensmiddelen op droge stof basis. Percentages: aandeel in aankopen huishoudens, exclusief overige dranken.**

### 3.4 Vergelijking op landgebruik

Voor een goede afweging van productie-efficiëntie dient ook de land-productiviteit van de gewassen meegenomen te worden. De productiviteit van gewassen verschilt behoorlijk; producten met een hoge efficiëntie in Figuur 14 vergen merendeels gewassen met een lage opbrengst per hectare ten opzichte van de producten met lage grondstofefficiëntie. Een goede vergelijking naar landgebruik is complex omdat productiviteit sterk afhangt van onder andere productiesystemen en klimaat. In een summier vergelijking van grondstofefficiënties en landgebruik blijft de gunstiger efficiëntie van veel plantaardige producten ten opzichte van dierlijke producten redelijk overeind, maar de gunstiger grondstoffenefficiëntie van vleesvervangers ten opzichte van bijvoorbeeld melk verdwijnt door de lagere opbrengst van eiwitgewassen.

Tabel 2 toont het agrarisch landgebruik voor een aantal levensmiddelen, uitgedrukt in vierkante meter per jaar voor 1 kilogram van het levensmiddel, gesorteerd op landgebruik. De informatie over vlees, vleesproducten en vleesvervangers is afkomstig uit het rapport van Blonk (Broekema, 2017). Voor de overige levensmiddelen is de bron de RIVM website met informatie over de milieubelasting van voedingsmiddelen. Beide bronnen hebben de milieu-impact van biomassa tot en met consumptie bepaald en er is rekening gehouden met voedselverliezen in de keten.

Evenals in bovenstaande grondstofefficiëntieresultaten is het landgebruik bepaald voor 1 kilogram levensmiddel.

**Tabel 2 Landgebruik (m<sup>2</sup>/jaar) van wieg tot en met consumptie van diverse levensmiddelen.<sup>22</sup>**

Levensmiddel	Landgebruik (m <sup>2</sup> /jaar) voor 1 kg	Landgebruik (m <sup>2</sup> /jaar) voor 1 kg droge stof
Hamburger – rund	30,38	77,70
Gehakt – half/half	20,33	56,00
Zonnebloemolie	15,09	15,09
Worstjes – varken	9,11	24,36
Kipstukjes – kip	7,99	30,73
Bonenburger	5,30	7,54
Kaas, 20+	4,23	8,15
Kipstuckjes	4,16	10,69
Eieren	3,79	17,79
Bruine bonen (conserven)	2,13	6,44
Broccoli	1,65	20,89
Tarwebloem	1,42	1,65
Sperziebonen (plastic)	1,23	14,30
Volkorenbrood	0,91	1,48
Halfvolle melk	0,78	5,82
Tomatensaus (glas)	0,40	1,48
Ui, rauw	0,28	2,57
Paprika, rauw	0,09	1,20
Tomaat, rauw	0,04	0,83

In algemene zin is het landgebruik van dierlijke producten hoger dan van plantaardige producten, met één uitzondering namelijk melk. Per kilogram droge stof is voor rundvlees(producten) is het landgebruik het hoogst. Het landgebruik voor eieren, kaas en de geanalyseerde vleesvervangers is vergelijkbaar en lager dan voor vlees. Voor de plantaardige producten is het landgebruik lager dan voor dierlijke producten en vleesvervangers en verschilt per type producten. Dit verschil is grotendeels bepaald door de oogstopbrengst per areaal. Bewerking van een plantaardige grondstof naar een verwerkt product leidt vaak tot enige verliezen, in de tabel geïllustreerd door verschillen tussen landgebruik voor rauwe tomaat en tomatensaus en het hogere landgebruik voor een (deel van de ingrediënten van) vleesvervangers<sup>23</sup>.

Uitgedrukt in landgebruik per kilogram droge stof, ofwel de totale hoeveelheid macronutriënten, verandert de verhouding tussen de producten zoals te zien is in Tabel 2. Het hoge waterhalte in plantaardige levensmiddelen maakt het verschil met dierlijke levensmiddelen kleiner.

<sup>22</sup> We merken op dat de informatie over landgebruik exemplarisch is, deze zijn niet kritisch gereviewed. Om deze reden is de data niet geschikt voor een strikte vergelijking tussen de levensmiddelen (Bron: uitleg bij RIVM tabel).

<sup>23</sup> Een deel van de getoonde effecten van bewerkingen op landgebruik zijn ook toe te rekenen aan verbruik van energie en verpakkingsmateriaal. Broekema (2017) rekent namelijk ook landgebruik aan deze functies.

---

## 4 Conclusies en aanbevelingen

De efficiëntie is gedefinieerd als de hoeveelheid droge stof aan levensmiddel uit 1 kilogram biomassa geproduceerd kan worden. Biomassa heeft betrekking op de grondstoffen voor veevoer voor productie van dierlijke levensmiddelen en op geoogste producten voor de productie van plantaardige producten.

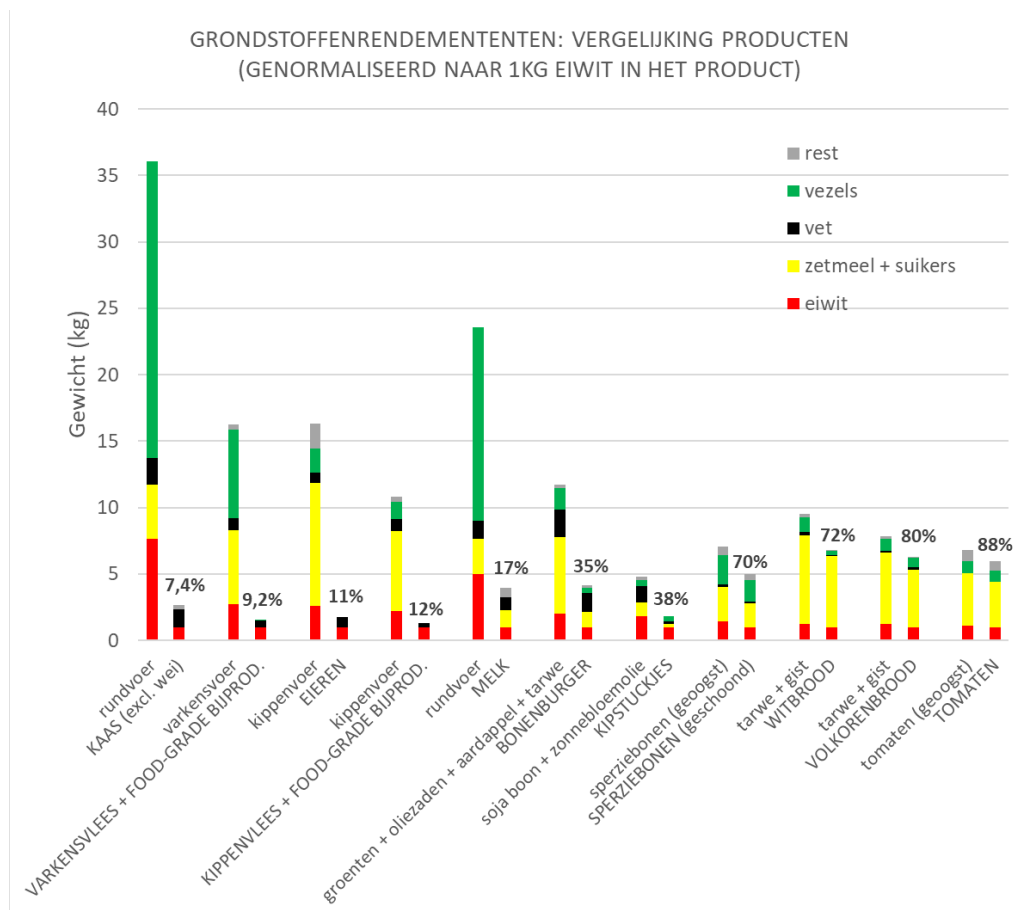
De grondstofefficiëntie van biomassa naar levensmiddel is afhankelijk van het type levensmiddel. Voor dierlijke producten is de efficiëntie het laagst. Er is 5-10 x meer veevoer nodig in droge stof dan er aan onbewerkt vers vlees, eieren, melk of kaas droge stof mee geproduceerd wordt. Het veevoer komt ten dele ten gunste van de dierlijke producten, een aanzienlijk deel wordt omgezet naar mest en CO<sub>2</sub>. De efficiëntie voor plantaardige producten is hoger. Voor de bekeken vleesvervangers is er een factor 2,5 meer aan geoogste grondstoffen nodig. Voor minimaal bewerkte plantaardige levensmiddelen wordt de efficiëntie bepaald voor de voedselverspilling en resulteert een factor 1,1-1,4. Met toenemende mate van bewerking waarbij minder van de biomassa in het eindproduct belandt neemt de efficiëntie af voor de plantaardige producten.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de efficiëntie in droge stof bekeken is, en er dus niet gekeken is naar de nutritionele waarde van de inhoudsstoffen voor een evenwichtige voeding. Eveneens moet bij dierlijke producten het gebruik van biomassa die geen direct voedsel voor mensen is beschouwd worden als een belangrijk onderdeel van de voedselkringloop. De gepresenteerde efficiëntie is slechts één onderdeel van een complexe set factoren.

De efficiënties zijn te verbeteren door het verminderen van de consumptie van dierlijke producten ten gunste van plantaardige producten. Dit sluit aan bij de eiwittransitie. Verminderen van voedselverspilling en het hoogwaardig benutten van bijproducten heeft eveneens een positief effect op de efficiëntie en reductie van landgebruik. Verhoging van de opbrengsten van gewassen draagt bij aan een reductie van de duurzaamheidimpact.

# Appendix A

In Figuur 16 is weergegeven hoeveel biomassa aan veevoer of geoogste plantaardige producten nodig is om 1 kilogram eiwit aan de beschouwde levensmiddelen beschikbaar te hebben. Hiermee kunnen levensmiddelen als bron van, bijvoorbeeld, eiwit met elkaar vergelen worden. Het uitdrukken per kilogram eiwit verandert de ranking van de levensmiddelen.



**Figuur 16** Grondstofrendementen van biomassa naar levensmiddelen, uitgedrukt in droge stof (DS) en genormaliseerd op 1 kilogram eiwit. De efficiëntie getallen geven aan hoeveel levensmiddel (DS) uit 1 kilogram gewas (DS) wordt geproduceerd.

---

# Literatuur

Bos, H.K., M.J.A. van den Oever, K.P.H. Meesters, 2014, *Kwantificering van volumes en prijzen van biobased en fossiele producten in Nederland – De waardepyramide en cascadering in de biobased economy*, Wageningen UR Food & Biobased Research, Rapport 1493

Broekema, R., M. van Passen, 2017, *Milieueffecten van vlees en vleesvervanger – Eindrapport v1.2*, Blonk Consultants, Gouda

CBS, 2019, *Dierlijke mest en mineralen 1990-2018*, Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag

Dooren, C. van, 2019, *Synthese rapport Voedselverspilling bij huishoudens in Nederland in 2019*, Stichting Voedingscentrum Nederland, Den Haag

Durlinger, B., B. Koukouna, R. Broekema, M. van Paassen, J. Scholten, 2017, *Agri-footprint 4.0, Part 2: Description of data*, Rapport, Blonk Consultants. <https://simapro.com/wp-content/uploads/2018/02/Agri-Footprint-4.0-Part-2-Description-of-data.pdf>

Duynie productblad kaaswei, <https://www.duynie.nl/producten/voerselektor/kaaswei-c/1593>

Eurolab, 2020, *Gemiddelde samenstelling organische meststoffen*, <http://www.eurolab.nl/meststof-organisch-v.htm>, geraadpleegd april 2020

Fox, P.F., T.P. Guinee, T.M. Cogan, P.L.H. McSweeney, 2000, *Fundamentals of cheese science*, Aspen Publishers, Gaithersburg, US.

Grommers, H.E., D.A. van der Krogt, 2009, *Chapter 11 - Potato Starch: Production, Modifications and Uses*, Editor(s): James BeMiller, Roy Whistler, In Food Science and Technology, Starch (Third Edition), Academic Press, Pages 511-539

Liu, Z., W. Powers, J.D. Harmon, 2016, Estimating ventilation rates of animal houses through CO<sub>2</sub> balance, *Transactions of the ASABE* **59**, 321–328

Luske, B., H. Blok, 2009, *Milieueffecten van dierlijke bijproducten*, Blonk Milieu Advies, Gouda

Middelkoop, J.H., 1993, *Hoeveel mest produceert een kip?*, Praktijkonderzoek voor de Pluimveehouderij 93/3

NZO, [http://www.nzo.nl/sites/default/files/page/attachment/wat\\_eet\\_een\\_nederlandse\\_koe\\_infographic\\_nzo.jpg](http://www.nzo.nl/sites/default/files/page/attachment/wat_eet_een_nederlandse_koe_infographic_nzo.jpg)

Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalobog, A. Haeussermann, M.J.W. Heetkamp, A.J.A. Aarnink, 2008, Carbon dioxide production in animal houses: a literature review, *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December

Porter, S.D., D.S. Reay, P. Higgins, E. Bomberg, 2016, A half-century of production-phase greenhouse gas emissions from food loss & waste in the global food supply chain, *Science of The Total Environment*, 571, 721-729

Rossum, C. van, K. Nelis, C. Wilson, M. Ocké, 2018, *National dietary survey in 2012-2016 on the general population aged 1-79 years in The Netherlands*, EFSA supporting publication 2018:EN-1488. 25 pp. 10.2903/sp.efsa.2018.EN-1488

Sarlee, W. J. van Cuyck, A. Andries, K. Huygh, K. Roels, 2012, *Voedselverlies in ketenperspectief*, OVAM, Mechelen

---

Schooten, H. van, H. Dirksen, 2013, *Meten van voerefficiëntie voor betere benutting eigen ruwvoer*, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad

*Voedselverspilling in retail*, <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/food-biobased-research/Show-fbr/Nederlandse-supermarkten-maken-voedselverspilling-inzichtelijk.htm>, Wageningen Food & Biobased Research, 2020

Wikipedia, vleesvarken: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Vleesvarken>



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen Food & Biobased Research  
Bornse Weiland 9  
6708 WG Wageningen  
[www.wur.nl/wfbr](http://www.wur.nl/wfbr)  
[info.wfbr@wur.nl](mailto:info.wfbr@wur.nl)

Rapport 2099

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

