



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

# Voedselveiligheid bij hergebruik van reststromen in een circulair voedselsysteem



# **Voedselveiligheid bij hergebruik van reststromen in een circulair voedselsysteem**

RIVM-rapport 2025-0105

## Colofon

© RIVM 2025

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2025-0105

R. de Jonge (auteur), RIVM  
J.P. van der Berg (auteur), WFSR  
W. Tao (auteur), WFSR  
M. Levisson (auteur), RIVM

Contact:

Rob de Jonge

Centrum Zoönosen en Omgevingsmicrobiologie (Z&O)

[rob.de.jonge@rivm.nl](mailto:rob.de.jonge@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van NVWA-BuRO in het kader van Kennisvraag 9.2.44.B Voedselveiligheid Circulaire Economie.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Voedselveiligheid bij hergebruik van reststromen in een circulair voedselsysteem**

Met een circulair voedselsysteem kan verspilling worden tegengegaan door resten, van de productie en consumptie van voedsel, opnieuw te gebruiken. Zo kunnen resten van gewassen uit de landbouw, zoals bladeren of stengels, worden gebruikt om nieuwe voedselproducten te maken. Dat geldt ook voor resten die vrijkomen bij de productie van vlees, vis en zuivel, zoals botten, vissenkoppen of wei.

Het RIVM en de Wageningen Food Safety Research (WFSR) onderzochten welke soorten resten vrijkomen bij de productie en consumptie van voedsel en in welke hoeveelheden. Daar is nog weinig over bekend. Het grootste deel van de resten blijkt te ontstaan in de landbouw en de voedselverwerkende industrie. Vooral bij de teelt en verwerking van suikerbieten. De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) wil weten of het veilig is om de resten opnieuw te gebruiken. En of ziekteverwekkers zoals bacteriën of virussen via deze resten in voedsel kunnen terechtkomen.

Het onderzoek laat zien dat voedselresten veilig opnieuw kunnen worden gebruikt wanneer producenten de regels voor voedselveiligheid volgen. Zij zijn wettelijk verplicht om veilige producten te maken. In het begin van de voedselketen – bij de teelt van gewassen – zijn er minder regels voor voedselveiligheid. In deze fase kunnen ziekteverwekkers via bodem, mest of water in de resten komen. Zo kunnen ze uiteindelijk in voedsel terechtkomen.

Het RIVM beveelt daarom de NVWA en andere toezichthouders aan om in het begin van de voedselketen meer controle uit te voeren. Vooral als resten worden gebruikt voor voedsel of diervoeder. Ook zijn duidelijke regels nodig voor boeren en producenten. Sommige bedrijven maken nieuwe producten van voedselresten, maar kennen de regels daarvoor niet altijd goed. Zonder goede voorlichting over voedselveiligheid en toezicht kunnen risico's ontstaan. Verder is het belangrijk om voedselresten te registreren en monitoren, want anders blijven risico's onzichtbaar.

Kernwoorden: voedselverlies, voedselverspilling, voedselreststromen, valorisatie, microbiologische risico's, wet- en regelgeving



## Synopsis

### **Food safety when reusing residual streams in a circular food system**

In a circular food system, waste can be reduced by reusing residual streams from food production and consumption. For example, parts of crops like leaves or stems can be used to make new food products. This also applies to residual streams from meat, fish, and dairy production, such as bones, fish heads, or whey.

RIVM and Wageningen Food Safety Research (WFSR) studied what types of residual streams are generated during food production, and how large each of these residual streams is. Not much is known about this yet. Most residual streams come from farming and the food industry, especially from the growing and processing of sugar beets. The Dutch Food and Consumer Product Safety Authority (NVWA) would like to know if it is safe to reuse these residual streams. They would also like to know if pathogens such as bacteria or viruses could end up in food through these streams.

This study shows that food residual streams can be reused safely if producers follow food safety rules. They are legally required to make safe products. At the start of the food chain – during the cultivation of crops – there are fewer rules. In this phase, pathogens such as bacteria or viruses can contaminate residual streams through soil, manure, or water. These pathogens could end up in food.

That is why RIVM advises NVWA and other authorities to carry out more checks at the start of the food chain, especially when residual streams are used for food or animal feed. Clear rules are also needed for farmers and producers. Some companies make new products from food residual streams, but do not always know the rules. Without clear information and proper oversight, risks may arise. It is also important to register and monitor food residual streams, because otherwise risks may stay hidden.

**Keywords:** food loss, food waste, food residual streams, valorisation, microbiological risks, legislation and regulations



## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 11**

#### **1 Inleiding — 13**

- 1.1 Transitie naar een circulaire economie — 13
- 1.2 Stikstof in het voedselsysteem — 14
  - 1.2.1 Stikstofbalans in de Nederland — 14
  - 1.2.2 Stikstofverliezen als indicator — 15
- 1.3 Projectbeschrijving — 17
  - 1.3.1 Reststromen in de voedselproductieketen — 18
  - 1.3.2 Focus van de studie — 19
  - 1.3.3 Leeswijzer — 19

#### **2 Definities — 21**

- 2.1 Circulaire economie — 21
- 2.2 Kringlooplandbouw — 22
- 2.3 Circulair voedselsysteem — 22
- 2.4 Begrippenlijst — 23

#### **3 Projecten voedselveiligheid en circulariteit — 25**

- 3.1 WFSR-projecten — 25
- 3.2 RIVM-projecten — 27
  - 3.2.1 Ontwikkeling afwegingskaders — 27
  - 3.2.2 Normering — 29

#### **4 Reststromen uit de primaire productie — 31**

- 4.1 Plantaardige sector — 31
  - 4.1.1 Selectie van gewassen — 31
  - 4.1.2 Reststromen uit akker- en tuinbouw — 33
  - 4.1.3 Samenvatting plantaardige sector — 38
- 4.2 Dierlijke sector — 38
  - 4.2.1 Berekenen hoeveelheid stikstof — 38
  - 4.2.2 Runderen — 39
  - 4.2.3 Varkens — 39
  - 4.2.4 Pluimvee — 39
  - 4.2.5 Samenvatting dierlijke sector — 39
- 4.3 Zuivelsector — 40
- 4.4 Visserijsector — 40
- 4.5 Samenvatting van reststromen uit de primaire productie — 41

#### **5 Reststromen uit de industriële verwerking — 45**

- 5.1 Plantaardige sector — 45
  - 5.1.1 Mais — 45
  - 5.1.2 Aardappelen — 45
  - 5.1.3 Tarwe — 46
  - 5.1.4 Suikerbieten — 46
  - 5.1.5 Wortelen — 47
  - 5.1.6 Uien — 47
  - 5.1.7 Tomaten — 47
  - 5.1.8 Paprika — 48
  - 5.1.9 Komkommer — 48

|          |                                                                    |
|----------|--------------------------------------------------------------------|
| 5.1.10   | Witlof — 48                                                        |
| 5.1.11   | Bruine bonen — 49                                                  |
| 5.1.12   | Samenvatting plantaardige sector — 49                              |
| 5.2      | Dierlijke sector — 49                                              |
| 5.2.1    | Stikstofberekening — 50                                            |
| 5.2.2    | Runderen — 50                                                      |
| 5.2.3    | Varkens — 50                                                       |
| 5.2.4    | Pluimvee — 51                                                      |
| 5.2.5    | Samenvatting dierlijke sector — 51                                 |
| 5.3      | Zuivelsector — 51                                                  |
| 5.4      | Visserijsector — 52                                                |
| 5.5      | Samenvatting van reststromen uit de industriële verwerking — 52    |
| <b>6</b> | <b>Reststromen uit de foodservices, retail en consumenten — 55</b> |
| 6.1      | Foodservices en retail — 55                                        |
| 6.1.1    | Stikstofberekening — 55                                            |
| 6.2      | Consument — 56                                                     |
| 6.2.1    | Stikstofberekening — 56                                            |
| <b>7</b> | <b>Valorisatie — 57</b>                                            |
| 7.1      | Plantaardige reststromen — 57                                      |
| 7.1.1    | Zoekstrategie — 57                                                 |
| 7.1.2    | Valorisatiemogelijkheden — 58                                      |
| 7.1.3    | Verwerkingsmethoden — 60                                           |
| 7.1.4    | Organisaties en initiatieven in Nederland — 64                     |
| 7.1.5    | Samenvatting plantaardige reststromen — 64                         |
| 7.2      | Dierlijke reststromen — 64                                         |
| 7.2.1    | Zoekstrategie — 65                                                 |
| 7.2.2    | Dierlijke bijproducten — 65                                        |
| 7.2.3    | Pluimveereststromen — 66                                           |
| 7.2.4    | Varkensreststromen — 67                                            |
| 7.2.5    | Overige initiatieven — 67                                          |
| 7.2.6    | Verwerkingsmethoden — 68                                           |
| 7.2.7    | Samenvatting dierlijke reststromen — 68                            |
| 7.3      | Zuivelreststromen — 69                                             |
| 7.3.1    | Zoekstrategie — 69                                                 |
| 7.3.2    | Melkreststromen — 70                                               |
| 7.3.3    | Overige zuivelreststromen — 72                                     |
| 7.3.4    | Samenvatting zuivelreststromen — 73                                |
| 7.4      | Visserijreststromen — 73                                           |
| 7.4.1    | Zoekstrategie — 73                                                 |
| 7.4.2    | Visrestenverwerking — 73                                           |
| 7.4.3    | Vismeel en visolie — 73                                            |
| 7.4.4    | Chitine — 74                                                       |
| 7.4.5    | Samenvatting visserijreststromen — 74                              |
| 7.5      | Reststromen uit foodservices en retail — 74                        |
| 7.5.1    | Voedselverspilling voorkomen — 74                                  |
| 7.5.2    | Reststromen uit de retail — 76                                     |
| <b>8</b> | <b>Microbiologische gevaren — 79</b>                               |
| 8.1      | Plantaardige reststromen — 79                                      |
| 8.1.1    | Besmettingsroutes plantaardige reststromen — 79                    |
| 8.1.2    | Microbiologische gevaren bij verwerking — 81                       |
| 8.1.3    | Microbiologische veiligheidsevaluaties — 83                        |

|           |                                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|
| 8.1.4     | Beoordelen microbiologische veiligheid — 84                       |
| 8.1.5     | Borging van microbiologische veiligheid — 85                      |
| 8.2       | Dierlijke reststromen — 86                                        |
| 8.2.1     | Besmettingsroutes dierlijke reststromen — 86                      |
| 8.2.2     | Microbiologische gevaren in dierlijke reststromen — 86            |
| 8.2.3     | Veiligheidsbeoordeling dierlijke reststromen — 87                 |
| 8.2.4     | Borging van de microbiologische veiligheid — 87                   |
| 8.3       | Zuivelreststromen — 88                                            |
| 8.3.1     | Microbiologische gevaren in zuivelreststromen — 88                |
| 8.4       | Visserijreststromen — 90                                          |
| 8.4.1     | Microbiologische gevaren in visserijreststromen — 90              |
| 8.5       | Reststromen uit foodservices, retail en consumenten — 91          |
| 8.5.1     | Foodservices en retail — 91                                       |
| 8.5.2     | Consumenten — 91                                                  |
| <b>9</b>  | <b>Wettelijke aspecten — 93</b>                                   |
| 9.1       | Registratie van reststromen — 93                                  |
| 9.1.1     | Europese Unie — 93                                                |
| 9.1.2     | Nederland — 94                                                    |
| 9.2       | Gebruik van reststromen — 94                                      |
| 9.2.1     | Afvalstatusbeoordeling — 96                                       |
| 9.2.2     | Milieu- en gezondheidsrisico's — 97                               |
| 9.2.3     | Safe-by-design-benadering — 99                                    |
| 9.3       | Aandachtspunten bij reststroomgebruik — 99                        |
| <b>10</b> | <b>Conclusies — 101</b>                                           |
| 10.1      | Omvang van reststromen — 101                                      |
| 10.2      | Microbiologische veiligheid bij valorisatie van reststromen — 103 |
| 10.2.1    | Plantaardige sector — 103                                         |
| 10.2.2    | Dierlijke sector — 104                                            |
| 10.2.3    | Zuivelsector — 104                                                |
| 10.2.4    | Visserijsector — 105                                              |
| 10.2.5    | Foodservices, retail en consumenten — 105                         |
| 10.3      | Algemene conclusie en aanbevelingen — 106                         |
| <b>11</b> | <b>Refentielijst — 109</b>                                        |



## Samenvatting

In een circulaire economie worden reststromen uit de voedselproductieketen zoveel mogelijk hergebruikt om verspilling tegen te gaan en duurzaamheid te bevorderen. Deze reststromen bestaan uit plantaardige of dierlijke biomassa die afkomstig is van organismen die primair zijn geproduceerd voor menselijke consumptie, maar uiteindelijk niet als voedsel worden geconsumeerd.

Het RIVM en Wageningen Food Safety Research (WFSR) hebben in opdracht van NVWA-BuRO onderzocht welke reststromen in Nederland vrijkomen bij de productie en consumptie van voedsel, in welke hoeveelheden dat gebeurt, en welke microbiologische risico's mogelijk optreden bij hergebruik. Het doel is om inzicht te krijgen of deze reststromen veilig kunnen worden ingezet binnen een circulair voedselsysteem. Daarbij is gekeken naar de primaire productie, industriële verwerking, foodservices, retail en consumenten.

Het onderzoek volgt een systematische benadering waarbij eerst de omvang en aard van de reststromen in kaart is gebracht, gevolgd door de mogelijkheden voor valorisatie en ten slotte een beoordeling van mogelijke microbiologische gevaren en een overzicht van relevante wet- en regelgeving. Daarbij is stikstofverlies gebruikt als indicator voor eiwitverlies, wat inzicht geeft in de efficiëntie van nutriëntenkringlopen en de potentie voor valorisatie. Dit draagt bij aan het bredere streven naar voedselzekerheid en een duurzamer voedselsysteem.

Bij de productie en consumptie van voedsel ontstaan aanzienlijke reststromen. De grootste hoeveelheid reststromen komt vrij in de primaire productie van gewassen. Ook in de industriële verwerking leveren plantaardige reststromen de grootste bijdrage. Hoewel veel reststromen al worden ingezet als diervoeder of meststof, is er nog veel potentieel voor hoogwaardige valorisatie, zoals verwerking tot voedsel voor mensen. Dit rapport geeft een overzicht van technologische mogelijkheden voor deze valorisatie, waaronder fermentatie, extractie, insectenkweek en het gebruik van paddenstoelen. Ook juridische aspecten, zoals de afvalstatus en het 'safe-by-design'-principe, worden besproken.

Het onderzoek laat zien dat voedselresten veilig opnieuw kunnen worden gebruikt, mits producenten zich houden aan de geldende wet- en regelgeving. Vooral in de primaire productie, waar het grootste deel van de reststromen ontstaat, ontbreekt vaak structurele borging van voedselveiligheid. Dit vergroot de kans op microbiologische besmetting, bijvoorbeeld via bodem, mest of water. Voor een circulair voedselsysteem is het daarom belangrijk om het toezicht en de monitoring in deze fase te versterken en specifieke HACCP-richtlijnen te ontwikkelen. In latere schakels van de keten zijn de risico's beter beheerst dankzij bestaande borgingssystemen zoals HACCP.

Daarnaast is het nodig om reststromen beter te registreren en te monitoren, zodat risico's zichtbaar worden en beheersmaatregelen

gericht kunnen worden ingezet. Bij innovatieve toepassingen, zoals het gebruik van insecten of reststromen uit andere sectoren, is aanvullende risicobeoordeling vereist. Een safe-by-design aanpak, waarbij voedselveiligheid al in de ontwerpfase wordt meegenomen, kan helpen om risico's structureel te beperken. Tot slot is bewustwording en begeleiding van ondernemers essentieel, omdat circulaire initiatieven soms starten zonder voldoende kennis van de regels.

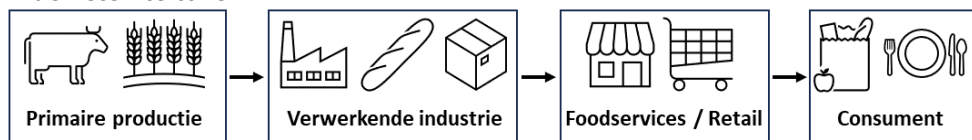
Reststromen bieden grote kansen voor een duurzamer voedselsysteem. Voedselveiligheid hoeft daarbij geen belemmering te zijn, zolang risico's goed worden ingeschat en beheerst. Door verantwoord hergebruik kunnen zowel duurzaamheid als volksgezondheid worden versterkt.

# 1 Inleiding

## 1.1 Transitie naar een circulaire economie

Ons huidige voedselproducerende systeem is voornamelijk lineair en begint bij de primaire productie. Hierbij worden bemestingsstoffen, mest, voer en diverse hulpstoffen gebruikt voor de productie van gewassen, dieren en dierlijke producten, zoals eieren en melk. Producten uit de primaire productie kunnen direct worden gedistribueerd of verder worden verwerkt in de industrie tot levensmiddelen die aan de foodservices of retail worden verkocht. Uiteindelijk belandt het voedsel op het bord van de consument (Figuur 1).

*Figuur 1 Schematisch overzicht van de voedselproductieketen, bestaande uit vier hoofdschakels: primaire productie, verwerkende industrie, foodservices en retail, en consument. De schakels zijn met pijlen aan elkaar verbonden om de volgorde in de keten te tonen.*



De productie en consumptie van voedsel gaan gepaard met aanzienlijke verliezen. Wereldwijd wordt geschat dat ongeveer een derde van al het geproduceerde voedsel verloren gaat ([Milieu Centraal - Voedselverspilling](#)). Er kan onderscheid worden gemaakt tussen verliezen in de primaire en verwerkende fase enerzijds, en verliezen in de retail, foodservices en bij consumenten anderzijds. In Europa gaat het meeste voedsel verloren in de consumentenfase (590 miljoen kg), wat 55 procent van het totale voedselverlies vertegenwoordigt. Retail en foodservices zijn verantwoordelijk voor 16 procent van het verlies, terwijl 29 procent van het voedsel verloren gaat in de landbouw en tijdens industriële verwerking ([EUFIC - Food waste in Europe](#)). Door verliezen te beperken en reststromen op te waarderen, blijft meer voedsel beschikbaar voor humane consumptie.

Een circulaire landbouw en circulaire economie staan in Nederland hoog op de agenda. De Rijksoverheid heeft de ambitie om tegen 2030 het gebruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) met 50 procent te verminderen ([Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030](#) (NPCE)). Daarnaast is de '[Transitie-agenda Circulaire Economie - Biomassa & Voedsel](#)' van groot belang. Die richt zich op de omslag naar een circulair voedselsysteem in 2030. Deze transitieagenda beschrijft verschillende actielijnen die relevant zijn voor de voedselproductieketen:

- Stimuleren van circulaire biobased-producten, die geheel of gedeeltelijk zijn gemaakt van biomassa en reststromen.
- Circulair maken van bodem en voedingsstoffen om de bodemgezondheid te herstellen.
- Verminderen van voedselverliezen en -verspilling.
- Gebruik van plantaardige eiwitten, in plaats van dierlijke eiwitten.

De verliezen en verspilling bij de productie en consumptie van voedsel dienen verminderd te worden om op een duurzame manier aan de groeiende behoefte aan voedsel te kunnen voldoen. Om aan de groeiende behoefte aan eiwitten te kunnen voldoen, zullen de eiwitverliezen (dus stikstof) tijdens de voedselproductie en de mate van consumptie van dierlijke eiwitten verminderd moeten worden ([Gezondheidsraad - Advies gezonde eiwittransitie](#)).

## 1.2 Stikstof in het voedselsysteem

### 1.2.1 Stikstofbalans in de Nederland

De productie van ons voedsel begint bij de plantaardige productie. Daarbij worden grote hoeveelheden stikstof gebruikt in de vorm van dierlijke mest en kunstmest (zie Tabel 1). Een ander deel van de stikstof dat wordt gebruikt, komt uit depositie vanuit de lucht en uit stikstoffixatie door micro-organismen. Van alle stikstofinput die wordt benut, komt een groot deel terecht in ruwvoer. Ruwvoer (tezamen met krachtvoer) vormt een belangrijke stikstofbron voor de productie van vlees, zuivel en eieren. Slechts een klein gedeelte komt terecht in akker- en tuinbouwproducten. Er gaat ook een deel verloren door vervluchtiging. Een groot deel van de input aan stikstof blijft onbenut in de bodem (bodemverlies).

*Tabel 1 Stikstofinput en -output (in miljoen kg N) in de productie van plantaardige gewassen in Nederland (2021).*

| <b>Input</b> | <b>N (x 10<sup>6</sup> kg)</b> | <b>Output</b>  | <b>N (x 10<sup>6</sup> kg)</b> |
|--------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Kunstmest    | 212                            | Ruwvoer        | 276                            |
| Mest         | 347                            | Bodemverlies   | 209                            |
| Depositie    | 38                             | Akkerbouw      | 65                             |
| N-fixatie    | 8                              | Tuinbouw       | 18                             |
|              |                                | Vervluchtiging | 37                             |

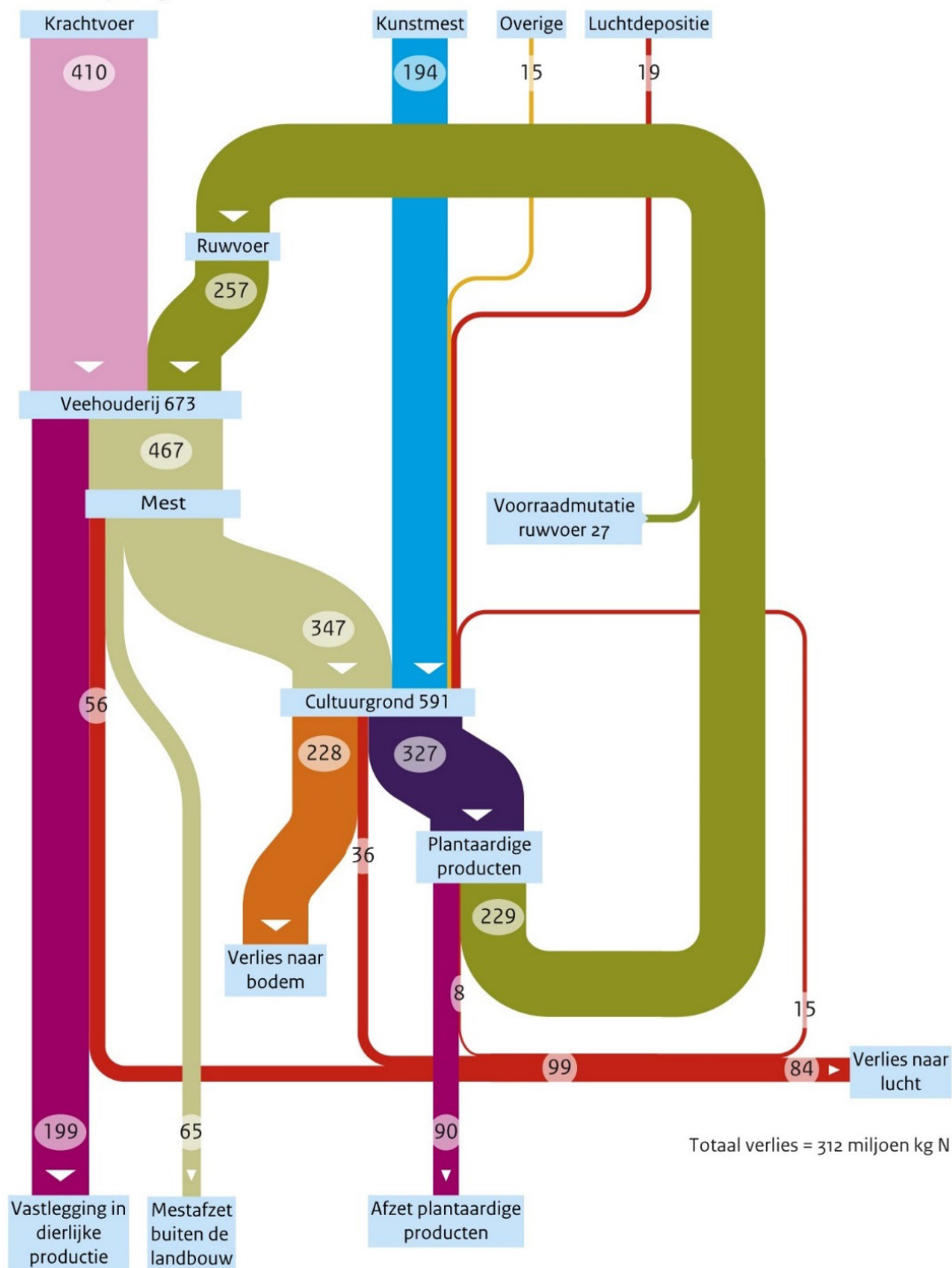
Bron: [CBS StatLine - Mineralenbalans landbouw](#).

Dit jaar is door het CLO (Compendium voor de Leefomgeving) een infographic gepubliceerd waarin alle stikstofstromen in de land- en tuinbouw staan (Figuur 2). De figuur baseert zich op CBS-data over 2022 (die iets afwijken van de data uit 2021 in Tabel 1) en laat zien hoe akkerbouw, tuinbouw en veeteelt met elkaar verweven zijn als het gaat om stikstofstromen. Het overgrote deel van alle stikstof komt ons voedselsysteem binnen als kunstmest of krachtvoer en eindigt in het systeem nuttig in voornamelijk dierlijke producten (31%). Een kleiner deel (circa 14%) van alle stikstofinput komt terecht in plantaardig voedsel. Een aanzienlijk deel (36%) van alle stikstofinput komt echter niet ten goede aan de productie van voedsel, maar blijft in de bodem.

Figuur 2 Schematische stikstofbalans van de Nederlandse landbouw in 2022.

### Stikstof 2022

Eenheid: miljoen kg stikstof



Bron: [CLO - Stroomschema voor stikstof en fosfor in de landbouw](#).

#### 1.2.2

#### Stikstofverliezen als indicator

De 'Transitie-agenda Circulaire Economie - Biomassa & Voedsel' richt zich op een circulair voedselproducerend systeem. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is het streven naar een verminderd gebruik van

dierlijk eiwit en een verhoogd gebruik van plantaardig eiwit. Deze eiwittransitie draagt bij aan een efficiënter gebruik van stikstof en een lagere milieubelasting. Een circulair systeem vereist daarom zowel het beperken van verliezen in de productie en verwerking van dierlijke eiwitten, zodat de stikstofefficiëntie binnen de keten toeneemt, als het verhogen van het gebruik van plantaardige eiwitten, die doorgaans gepaard gaan met een lagere stikstofinput en -uitstoot per geproduceerde eiwiteenheid. Daarnaast biedt het terugwinnen van eiwit uit reststromen (uit bijvoorbeeld de voedselverwerking of landbouw) kansen om hoogwaardige eiwitten opnieuw beschikbaar te maken voor humane (of dierlijke) consumptie. Dit draagt niet direct bij aan de verschuiving van dierlijk naar plantaardig eiwit, maar verhoogt de efficiëntie van het bestaande systeem en beperkt onnodige stikstofverliezen.

Naast aandacht voor microbiologische gevaren in reststromen, brengt dit rapport ook de omvang van deze reststromen in kaart. Dit is van belang voor zowel de risicoschatting als het identificeren van economisch relevante reststromen. We verwachten dat economische activiteiten in een circulair voedselproducerend systeem zich vooral zullen richten op het terugwinnen van hoogwaardig eiwit. Daarom wordt bij het in kaart brengen van reststromen niet alleen gekeken naar de totale omvang, maar ook naar het totale eiwitverlies, waarbij eiwitverlies wordt vertaald naar stikstofverlies.

Door stikstofverliezen te berekenen (in plaats van eiwitverliezen), kunnen we beter begrijpen waar in de primaire productie de meeste verliezen optreden. Bovendien kunnen we door stikstofverliezen te berekenen verschillende reststromen (uit verschillende sectoren) met elkaar vergelijken en vaststellen in welke reststroom de meeste verliezen optreden.

Zodoende wordt de omvang van de reststromen in dit rapport weergegeven in kilogrammen en in kilogrammen stikstof (N). Dit maakt het mogelijk om de omvang van reststromen te vergelijken. Maar het uitdrukken van reststromen in kilogrammen stikstof biedt ook verschillende andere voordelen:

- Het geeft inzicht in de stikstofstromen binnen de voedselketen.
- Het helpt bij het identificeren van kritieke punten van stikstofverlies en mogelijke interventies.
- Het maakt vergelijking tussen verschillende sectoren en processen mogelijk.

De stikstofproblematiek in Nederland vormt bovendien een belangrijke stimulans voor de transitie naar kringlooplandbouw. Hoewel het streven blijft om voldoende en kwalitatief hoogwaardig voedsel te produceren, is het essentieel om stikstofverliezen te beperken om ecologische schade te voorkomen.

Deze benadering sluit direct aan bij de strategische doelen van de [Transitie-agenda Circulaire Economie - Biomassa & Voedsel](#), waarin het optimaal benutten van biomassa, het verminderen van voedselverspilling en de eiwittransitie naar meer plantaardige eiwitten centraal staan. Het gebruik van stikstofverliezen als indicator

ondersteunt deze doelen, door inzicht te geven in de efficiëntie van nutriëntenkringlopen en de mogelijkheden voor verbetering binnen het voedselsysteem.

### 1.3 Projectbeschrijving

De ambitie voor een circulaire economie heeft geleid tot diverse initiatieven in de landbouw en voedselproducerende industrie die bijdragen aan een circulaire economie. Hoewel deze ontwikkelingen positief zijn en bijdragen aan duurzaamheid, brengen ze ook risico's voor de voedselveiligheid met zich mee. Voor het vakgebied chemie zijn al stappen gezet om chemische risico's in kaart te brengen. Voor microbiologische risico's is dit echter nog niet voldoende gebeurd. Microbiologische risico's kunnen bijvoorbeeld ontstaan door het hergebruik van reststromen in de voedselproductieketen. Deze risico's moeten goed worden begrepen en worden beheerd om te voorkomen dat pathogenen en andere schadelijke micro-organismen in ons voedsel terechtkomen.

Om inzicht te krijgen in mogelijke microbiologische risico's die verbonden zijn aan initiatieven die bijdragen aan een circulair voedselsysteem, organiseerden NVWA, RIVM en WFSR in 2022 een workshop over circulariteit en voedselveiligheid voor hun eigen medewerkers. Deze workshop was bedoeld om in discussie te gaan, raakvlakken te identificeren en kansrijke ideeën voor samenwerking tussen WFSR en RIVM te verkennen. De workshop vormde het begin van het project 'Voedselveiligheid in een Circulaire Economie'. Dit project heeft als doel om de microbiologische risico's verbonden aan circulaire initiatieven in de voedselproductieketen te identificeren en te beoordelen. De specifieke deliverables van dit project zijn:

1. Definiëren van een circulaire economie/circulair voedselsysteem. Een duidelijke definitie zorgt ervoor dat iedereen dezelfde termen en ideeën gebruikt. Dit helpt bij een gezamenlijke en consistente aanpak binnen het project.
2. Het inventariseren van projecten bij WFSR en RIVM die zich richten op voedselveiligheid en circulaire economie. Door bestaande projecten te inventariseren, kunnen we inzicht krijgen in de huidige stand van zaken en de kennis en ervaringen die al zijn opgedaan. Dit bevordert de samenwerking en helpt bij het identificeren van lacunes.
3. Het in kaart brengen van microbiologische gevaren die gepaard gaan met reststromen uit de voedselproductieketen en hun verwerking. Door een gedetailleerde analyse van reststromen en hun microbiologische gevaren kunnen we strategieën ontwikkelen om deze risico's te beheersen en zo de voedselveiligheid te waarborgen in een circulaire economie.

Dit rapport geeft een verslag van het project en schetst overzichten van:

- Wat verstaan wordt onder een circulaire economie, inclusief definities en concepten.
- Projecten bij WFSR en RIVM op het gebied van microbiologische veiligheid van reststromen uit de voedselproductieketen.
- De soort en omvang van reststromen die vrijkomen bij de productie van voedsel.
- Technologieën die worden ingezet voor de valorisatie van reststromen.
- Microbiologische gevaren die gepaard gaan met reststromen en de valorisatie ervan.
- Wettelijke aspecten om de microbiologische veiligheid te borgen bij de verwerking van reststromen.

### 1.3.1 *Reststromen in de voedselproductieketen*

Dit rapport biedt een overzicht van de reststromen die vrijkomen bij de primaire productie en verwerking van plantaardige gewassen en dierlijke producten zoals vlees, melk en eieren. Daarnaast gaat dit rapport in op reststromen uit de zuivel- en visverwerkende industrie, waarbij het specifiek gaat om in het wild gevangen vis. Vis uit viskwekerijen is niet meegenomen in deze inventarisatie. Dit vanwege de relatief kleine sector in Nederland en de beperkte beschikbare data die zijn bijgehouden door CBS Statline. Nederlandse viskwekerijen richten zich voornamelijk op export naar andere EU-landen ([Abbink, 2017](#)). Ook worden verliezen in foodservices, retail en bij consumenten gerapporteerd.

Bij het inventariseren van reststromen tijdens de verschillende fasen van de voedselketen is geprobeerd om een kwantitatief beeld te schetsen van de verschillende reststromen op basis van literatuuronderzoek, interviews en gegevens van CBS Statline.

Reststromen van voedsel ontstaan in verschillende onderdelen van de voedselketen. In Nederland werd volgens Eurostat en WUR ([Soethoudt, 2024](#)) in 2021 per persoon per jaar het meeste verspild tijdens de industriële verwerking (65 kg) en bij de consument (48 kg). De totale geschatte verspilling van voedsel in Nederland bedraagt 148 kg per persoon per jaar (zie Tabel 2). In de Europese Unie (27 landen) wordt jaarlijks per persoon gemiddeld zo'n 134 kg voedsel verspild.

*Tabel 2 Jaarlijkse voedselverspilling per persoon (in kg) in verschillende schakels van de voedselketen in Europa en Nederland (2021).*

| Onderdeel van de voedselketen | Europa     | Nederland  |
|-------------------------------|------------|------------|
| Primaire productie            | 11         | 18         |
| Industriële verwerking        | 24         | 65         |
| Foodservices                  | 13         | 5          |
| Retail                        | 10         | 12         |
| Consument                     | 75         | 48         |
| <b>Totaal</b>                 | <b>134</b> | <b>148</b> |

Bronnen: [Eurostat - Food waste and food waste prevention](#); [Soethoudt, 2024](#).

Voor het verzamelen van de gegevens die in Tabel 2 staan, zijn iets andere definities gehanteerd dan in deze studie (zie definities in hoofdstuk 2). Een belangrijk verschil is bijvoorbeeld de verwerking van reststromen tot diervoeder. Volgens Eurostat en WUR ([Soethoudt, 2024](#)) worden deze reststromen niet als verlies beschouwd, omdat ze behouden blijven voor gebruik. In deze studie worden ze echter wel als verlies beschouwd, omdat ze niet behouden blijven voor humane consumptie. Stiertjes die worden geproduceerd in de melkproductieketen worden in deze studie bijvoorbeeld niet als reststroom beschouwd, omdat ze door mensen worden gegeten. Haantjes die verwerkt worden tot diervoeder worden wel als reststroom beschouwd. Daarom wijken de resultaten die in dit rapport staan af van de data uit Tabel 2.

### 1.3.2 *Focus van de studie*

Bij de productie van voedsel ontstaan naast biomassa ook andere reststromen, zoals water, CO<sub>2</sub> en verpakkingsmateriaal. Deze studie richt zich uitsluitend op de omvang en inzet van biomassa-reststromen die vrijkomen bij de primaire productie van voedsel, bij de industriële verwerking, bij foodservices en retail, en bij consumenten. Andere aspecten, zoals het gebruik en de impact van chemische stoffen, bodemgezondheid, biodiversiteit, en het stimuleren van lokale productie en consumptie, worden buiten beschouwing gelaten.

Reststromen die vrijkomen bij consumenten worden in dit project in kaart gebracht, maar initiatieven van consumenten die bijdragen aan een circulair voedselproducerend systeem worden in een ander rapport beschreven (De Jonge, 2025). Hoewel het beperken van verlies en verspilling ook kan bijdragen aan een circulair voedselsysteem, valt dit buiten de context van deze studie. Verder richt het onderzoek zich uitsluitend op microbiologische voedselveiligheid en niet op chemische voedselveiligheid of gezonde voeding. Daarnaast wordt er niet gekeken naar de duurzaamheid van de processen en de eindproducten.

### 1.3.3 *Leeswijzer*

De volgorde van de hoofdstukken in dit rapport is zorgvuldig gekozen om een systematische benadering van risicoschatting en hazardidentificatie te volgen. Eerst wordt gekeken naar de blootstelling, waarbij de grootte en soort van de reststromen die vrijkomen bij de voedselproductie worden geanalyseerd. Dit omvat een gedetailleerd overzicht van de verschillende reststromen en hun omvang, gebaseerd op literatuuronderzoek, interviews en gegevens van CBS Statline.

Na het vaststellen van de blootstelling richt het rapport zich op de identificatie van gevaren. Hierbij worden de microbiologische gevaren die gepaard gaan met de reststromen en hun valorisatie onderzocht. Dit deel van het rapport behandelt de potentiële risico's die kunnen ontstaan door het hergebruik van reststromen in de voedselproductieketen, en hoe deze risico's kunnen worden beheerst om de voedselveiligheid te waarborgen.

Door deze volgorde aan te houden, wordt eerst een duidelijk beeld geschetst van de omvang en aard van de reststromen, wat essentieel is voor het begrijpen van de blootstelling. Vervolgens wordt ingegaan op de specifieke microbiologische gevaren.



## 2 Definities

### 2.1 Circulaire economie

De circulaire economie is een concept dat verschillende definities kent, afhankelijk van de bron. Zo definieert de Rijksoverheid de circulaire economie als een economisch systeem waarin grondstoffen steeds opnieuw worden gebruikt en afval wordt geminimaliseerd (zie Kader 1, [Rijksoverheid – circulaire economie](#)). Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) benadrukt daarnaast het belang van het sluiten van kringlopen en het verminderen van de afhankelijkheid van primaire grondstoffen (zie Kader 2, [PBL – circulaire economie](#)). Het Europees Parlement zegt dat het om een economisch model gaat (zie Kader 3; [Europees Parlement – circulaire economie](#)).

#### Kader 1: Rijksoverheid

In een circulaire economie worden spullen die nu nog als afval worden gezien hergebruikt. Zo hebben we minder of geen nieuwe grondstoffen uit de aarde nodig.

#### Kader 2: Planbureau voor de leefomgeving

In een circulaire economie staat het efficiënter gebruiken van grondstoffen centraal. Een circulaire economie is gericht op het langer in de productieketen houden van grondstoffen, met als doel een optimaal gebruik en hergebruik van grondstoffen, dus met de hoogste waarde voor de economie en de minste schade voor het milieu.

#### Kader 3: Europees Parlement

Circulaire economie is een model van productie en consumptie, waarbij bestaande materialen en producten zo lang mogelijk worden gedeeld, verhuurd, hergebruikt, hersteld, opgeknapt en gerecycleerd om meer waarde te creëren. Op deze manier wordt de levenscyclus van producten uitgebreid.

Al deze definities leggen de nadruk op duurzaamheid en het efficiënter omgaan met hulpbronnen, maar benaderen het concept vanuit verschillende invalshoeken. Een circulaire economie is geen vaststaand concept, maar een ambitie om de manier waarop we produceren en consumeren te veranderen. Het is moeilijk om een vaste definitie op te stellen omdat de principes en toepassingen voortdurend evolueren en ook afhankelijk zijn van verschillende contexten en sectoren. De aanpak en implementatie kunnen sterk variëren, afhankelijk van de specifieke situatie en industrie. Daarnaast moet er een balans zijn tussen economische, sociale en ecologische aspecten. Hieronder gaan we verder in op wat een circulaire economie betekent voor de voedselproductieketen

## 2.2 Kringlooplandbouw

In het realisatieplan van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) uit 2018 getiteld '[Landbouw, natuur en voedsel: waardevol en verbonden. Nederland als koploper in kringlooplandbouw](#)' is de transitieagenda Biomassa en voedsel uitgewerkt. In deze uitwerking wordt gestreefd naar een kringlooplandbouw: *"In een stelsel van kringlooplandbouw gebruiken akkerbouw, veehouderij en tuinbouw in de eerste plaats grondstoffen uit elkaars ketens en reststromen uit de voedingsmiddelenindustrie en voedingsketens. Die circulaire ketens kunnen verschillend zijn ingericht: binnen een bedrijf, een regio, Nederland of grensoverschrijdend. Het motto is: lokaal wat kan, regionaal of internationaal wat moet. Resten uit de agrarische sector en de voedselketen (gewasresten, voedselresten, procesafval, mest, compost) worden opnieuw benut of verwerkt tot nieuwe (hulp)producten. Kringloopbedrijven verbruiken zo min mogelijk energie en gebruiken zo veel mogelijk hernieuwbare energie."*

In de kringlooplandbouw heeft ook de consument een belangrijke rol: *"Het is belangrijk dat zij/hij weet dat de voedselproductie van grote invloed is op onze leefomgeving. Dat vraagt om een omslag, want tot nog toe kiest de meerderheid van de consumenten vooral voor een lage prijs en veel gemak, terwijl veel mensen wel steeds hogere eisen stellen aan hun leefomgeving en aan de boeren en tuinders die daarin werken."*

## 2.3 Circulair voedselsysteem

Een circulair voedselsysteem richt zich specifiek op het gehele voedselsysteem, in plaats van een benadering op boerderijniveau of waardeketen te gebruiken. Een circulair voedselsysteem kan als volgt worden gedefinieerd ([Bonilla Cedrez, 2023](#)): *"Circulaire voedselsystemen zijn voedselsystemen waarin afvalstromen tot een minimum worden beperkt en onvermijdelijk afval wordt benut in processen voor de productie van voedsel, energie of non-foodproducten. Verliezen van grondstoffen in de productie van biomassa worden tot een minimum beperkt door een gesloten kringloop na te streven waarin alle geproduceerde biomassa maximaal wordt benut. Dergelijke circulaire voedselsystemen passen praktijken en technologieën toe die de input van eindige hulpbronnen (bijvoorbeeld fosfaatgesteente, fossiele brandstoffen en land) minimaliseren, het gebruik van regeneratieve hulpbronnen (bijvoorbeeld wind- en zonne-energie) aanmoedigen, het lekken van natuurlijke hulpbronnen uit het voedselsysteem (bijvoorbeeld stikstof (N), fosfor (P)) voorkomen, en het recyclen van onvermijdelijke hulpbronnen op een manier stimuleren die de hoogste waarde toevoegt aan het voedselsysteem. De voordelen van circulaire voedselsystemen gaan naar verwachting verder dan de vermindering van broeikasgasemissies en voedselzekerheid, en kunnen ook een verhoogde biodiversiteit en de ontwikkeling van kansen voor ecosysteemdiensten omvatten."*

In een circulair voedselsysteem wordt gestreefd naar maximale waarde creatie. Het voorkomen van voedselverliezen en verspilling heeft de hoogste prioriteit, gevolgd door het gebruik van reststromen voor de productie van voedsel voor menselijke consumptie. De productie van

veevoeders, het winnen van componenten ter vervanging van fossiele grondstoffen, vergisting, composteren, verbranden en storten staan lager op de waarderingssladder.

## 2.4 Begrippenlijst

Bij het beschrijven van reststromen in de voedselketen worden verschillende termen gehanteerd. Het is belangrijk om onderscheid te maken tussen deze begrippen, omdat ze verschillende fasen en vormen van verlies of benutting aanduiden. In dit project hanteren we de volgende definities van de termen voedselverlies, voedselverspilling en reststromen:

**Voedselverlies** verwijst naar het deel van de plantaardige en dierlijke biomassa dat tijdens de primaire productie en industriële verwerking is geproduceerd met het doel van humane consumptie, maar uiteindelijk niet als zodanig wordt geconsumeerd. Voorbeelden zijn misvormde groenten die op het veld blijven liggen, melk die wordt weggegooid vanwege overschrijding van kwaliteitsnormen, of granen die verloren gaan tijdens opslag of transport. In deze studie wordt uitsluitend gekeken naar de Nederlandse situatie; verliezen die optreden bij de productie en verwerking van geïmporteerde producten vallen buiten beschouwing.

**Voedselverspilling** betreft voedsel dat aan het einde van de voedselketen – bijvoorbeeld bij retail, foodservices en consumenten – wordt weggegooid omdat het bedorven, vervallen of niet meer gewenst is. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen:

- *Vermijdbare verspilling*: eetbaar voedsel dat wordt weggegooid.
- *Onvermijdbare verspilling*: niet-eetbare delen zoals schillen, botten, eierschalen, et cetera (volgens [UNEP - Food Waste Index Report 2024](#)).

Voorbeelden zijn brood dat in de supermarkt niet wordt verkocht en wordt weggegooid, restjes van maaltijden in restaurants, of yoghurt die thuis wordt weggegooid, omdat de houdbaarheidsdatum is verstreken.

**Reststromen** worden in deze studie gedefinieerd als plantaardige of dierlijke biomassa die afkomstig is van organismen die primair zijn geproduceerd voor menselijke consumptie, maar die uiteindelijk niet als voedsel worden geconsumeerd. Dit omvat zowel eetbare als niet-eetbare delen die tijdens productie, verwerking, distributie of consumptie vrijkomen en niet als voedsel worden benut, ondanks hun oorsprong in de voedselketen.

Reststromen kunnen dus bestaan uit: voedsel dat verloren of verspild wordt (zoals misvormde groenten of weggegooid brood), én niet-eetbare delen van planten en dieren (zoals stro, koffieprut, sinaasappelschillen, haantjes, eierschalen, botten, veren, stengels en bladeren van gewassen, zoals suikerbiet of aardappel). Ook mest en slib die van dieren of processen komen die primair gericht zijn op humane voedselproductie (zoals runderen, varkens, kippen of slib uit voedselverwerkende industrieën), worden in deze studie als reststroom beschouwd, mits deze biomassa (potentieel) kan worden gevaloriseerd.

Biomassa die niet primair voor humane consumptie is geproduceerd (zoals gras of hout) valt buiten deze definitie.

Sommige reststromen kunnen juridisch of praktisch ook als afval worden beschouwd, afhankelijk van of de houder zich ervan ontdoet en of er nog een nuttige toepassing mogelijk is. In deze studie worden dergelijke stromen als reststroom beschouwd, zolang ze afkomstig zijn van plantaardige of dierlijke biomassa en (potentieel) kunnen worden gevaloriseerd.

Voor deze studie onderscheiden we vier hoofdschakels binnen de voedselketen, elk met een eigen rol in de productie, verwerking en consumptie van voedsel:

**Primaire productie** verwijst naar het startpunt van de voedselketen, waar voedselgrondstoffen zoals gewassen en vee worden geproduceerd.

**Industriële verwerking** is het proces waarbij voedselgrondstoffen worden omgezet in voedselproducten via mechanische, chemische of biologische methoden. Dit omvat activiteiten zoals snijden, malen, koken, bakken, drogen, koelen, fermenteren, verpakken en distribueren. Industriële verwerking zorgt ervoor dat voedsel langer houdbaar, veiliger en gemakkelijker te gebruiken is.

**Retail en foodservices** verwijzen naar de schakels in de voedselketen waar voedselproducten worden aangeboden aan consumenten, hetzij via commerciële verkoop (zoals supermarkten en speciaalzaken), hetzij via bereiding en consumptie buitenshuis (zoals restaurants, kantines, cateringbedrijven en andere horecagelegenheden).

**Consument** verwijst naar de eindgebruiker in de voedselketen: individuen of huishoudens die voedsel kopen, bereiden en consumeren.

Overige relevant termen:

**Afval** wordt opgevat als elke stof of elk voorwerp waarvan de houder zich ontdoet, wil ontdoen of moet ontdoen ([Kaderrichtlijn Afvalstoffen 2008/98/EG](#)).

**Bijproducten** zijn materialen die ontstaan tijdens de verwerking van grondstoffen tot hoofdproduct. Ze worden geproduceerd als integraal onderdeel van het productieproces (zoals melasse bij suikerproductie) en kunnen zonder verdere behandeling nuttig worden gebruikt, rechtmatig en zonder ongunstige effecten op het milieu of de menselijke gezondheid ([Kaderrichtlijn Afvalstoffen 2008/98/EG](#)).

**Co-producten** omvatten alle niet-vleesonderdelen van het dier die geschikt zijn voor humane consumptie ([Mullen, 2017](#)), en zijn vergelijkbaar met food grade-bijproducten.

**Valorisatie** is het proces waarbij reststromen worden omgezet in waardevolle producten zoals voedsel, diervoeder, energie, materialen, of chemicaliën. Het doel is om de economische waarde van reststromen te maximaliseren en (bij voorkeur) tegelijkertijd de milieu-impact te minimaliseren.

### 3 Projecten voedselveiligheid en circulariteit

Dit overzicht biedt een beknopt inzicht in lopende en recente projecten van het Wageningen Food Safety Research (WFSR) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) die zich richten op voedselveiligheid en circulaire economie. De projecten illustreren hoe beide instituten bijdragen aan een veilig, duurzaam en circulair voedselsysteem in Nederland. Daarnaast helpt dit overzicht om inzicht te krijgen in de huidige stand van zaken binnen dit onderzoeksveld en vormt het een basis voor verdere samenwerking en kennisdeling.

#### 3.1 WFSR-projecten

Binnen WFSR wordt aan de diverse projecten gewerkt die zich richten op circulariteit- en voedselveiligheidsvraagstukken (zie Tabel 3). Binnen de verschillende projecten wordt de microbiële veiligheid van reststromen onderzocht op voedselpathogenen waar normen voor zijn, zoals *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter* spp., *Escherichia coli*, *Salmonella* en *Clostridium perfringens*.

De projecten bestaan onder andere uit het EU-project GiantLeaps. Dit project heeft een sterke link met eiwittransitie en circulariteit, vanwege de mogelijke inzet van insecten voor food en feed en het valoriseren van reststromen.

Naast EU-projecten is er ook een aantal publiek-private samenwerkingsprojecten (PPS) binnen WFSR die zich focussen op het valoriseren van reststromen met insecten, namelijk CoMySect en Safe Insects. Vanuit het PPS CoMySect is gebleken dat maaisels microbiologisch veilig zijn voor het gebruik als diervoeder voor insecten. De insecten kunnen vervolgens dienen als hoogwaardige diervoeders. De reststromen die gebruikt worden in PPS Safe Insects betreffen afval uit keukens (restaurants), supermarkten en slachtafval. De eerste resultaten van dit project laten zien dat sporenvormende voedselpathogenen verwacht kunnen worden in reststromen. Ook het gebruikte slachtafval (Cat-2 beendermeel) is in het algemeen microbiologisch veilig voor gebruik als diervoeder voor insecten (opmerking: er is mogelijk een TSE/BSE-risico gekoppeld aan slachtafval van runderen en schapen). Dit project heeft onderzocht of insecten veilig kunnen groeien op slachtafval en op deze manier kunnen dienen als alternatieve eiwitbron.

Daarnaast lopen er ook de volgende Kennisbasis-projecten (KB) waarin gekeken wordt naar: 1) Inzet van slib en mariene reststromen, die mogelijk kunnen dienen als insectenvoer (KB-34 Food safety in our future circular society. 2) Mogelijke microbiële gevaren in plant-based-reststromen (KB-37 Detection methodology of biological contaminants in food systems in transition). En: 3) De inzet van bijproducten van plantengewassen en fruit (KB-WOT Changing food systems). In het KB-34-project is geconstateerd dat in slib van rioolwaterzuivering en voedselproducerende bedrijven voedselpathogenen aanwezig zijn, zoals *E. coli* en *Listeria*. Binnen dit project worden insecten gekweekt op de verschillende slibmonsters. Overdracht van de pathogene micro-organismen naar insectenlarven wordt nog onderzocht.

*Tabel 3 Voorbeelden van WFSR-projecten waarin veilig gebruik van reststromen centraal staat, met bijbehorende gevaren en looptijd.*

| <b>Project (URL)</b>                                                                                                 | <b>Reststroom</b>                                                             | <b>Gevaren</b>                       | <b>Duur</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| EFSA WASHTOP (water associated safety hazards in the treatment of produce) ( <a href="#">URL</a> )                   | Hergebruik van water gebruikt in post-harvest processing van groente en fruit | Microbiologisch                      | 2022-24     |
| EFSA WG Water in post-harvest processing of FVHs (fresh, frozen, Fruits, Vegetables & Herbs) ( <a href="#">URL</a> ) | Hergebruik van water gebruikt in post-harvest processing van groente en fruit | Microbiologisch                      | 2021-24     |
| EU GIANT LEAPS ( <a href="#">URL</a> )                                                                               | Onder andere reststromen met een hoog vezelgehalte als insectenvoer           | Toxines, allergenen, microbiologisch | 2022-26     |
| KB-34 Food safety in our future circular society ( <a href="#">URL</a> )                                             | Slib, mariene afvalstromen                                                    | Toxines, chemisch, microbiologisch   | 2023-24     |
| KB-37 Detection methodology of biological contaminants in food systems in transition ( <a href="#">URL</a> )         | Plantaardige reststromen                                                      | Microbiologisch                      | 2023-24     |
| KB WOT changing food systems ( <a href="#">URL</a> )                                                                 | Bijproducten van gewassen en fruit                                            | Toxines, chemisch, microbiologisch   | 2021-24     |
| PPS Safe Insects ( <a href="#">URL</a> )                                                                             | Voedselresten, slachtafval en kippenmest                                      | Toxines, chemisch, microbiologisch   | 2021-24     |
| PPS CoMySect ( <a href="#">URL</a> )                                                                                 | Plantaardige reststromen en kippenmest                                        | Chemisch, microbiologisch            | 2022-25     |
| PPS Circular urban food production ( <a href="#">URL</a> )                                                           | Organisch keukenafval, GFT, biowaste                                          | Chemisch, microbiologisch            | 2023-26     |
| PPS Safe & save water ( <a href="#">URL</a> )                                                                        | Hergebruik proces- en waswater voor groente en fruit                          | Microbiologisch                      | 2021-23     |
| PPS Voedselveiligheid in een circulair water- en voedselsysteem ( <a href="#">URL</a> )                              | Risicoanalyse model voor een circulair water- en voedselsysteem               | Chemisch, microbiologisch            | 2022-25     |

Overige PPS-projecten binnen WFSR met een sterke link met circulariteit en eiwittransitie zijn: 1) PPS Circular urban food production, waarin wordt gekeken naar vermicompostering (of wormcompostering) en

valorisatie van 'ground kitchen waste', GFT, en professional bio-waste. 2) PPS Safe & save water, waarin het hergebruik van irrigatie en proceswater centraal staat en wordt gekeken naar microbiële en chemische hazards, in het bijzonder ook *Listeria* wanneer dergelijk water wordt hergebruikt. 3) PPS Safe-by-design, waarin ook naar de veilige inzet van nieuwe circulaire ingrediënten wordt gekeken. En: 4) PPS Voedselveiligheid in een circulair water- en voedselsysteem waarin wordt gefocust op de ontwikkeling van een integraal risicoanalysemodel dat de basis vormt voor risico-gebaseerde monitoring van humane pathogenen in oppervlaktewater.

Dit laatste onderwerp heeft ook overlap met andere projecten die kijken naar verduurzaming van het gebruik van water, namelijk de projecten voor EFSA: EFSA WASHTOP en werkzaamheden voor een EFSA-werkgroep waarin is gekeken naar de microbiële gevaren van proceswater voor het wassen van groente, kruiden en fruit en mogelijkheden om waterverspilling tegen te gaan. In deze projecten is gekeken naar het gebruik van desinfectiemiddelen in proceswater, zoals chloorhoudende stoffen en alternatieven hiervan, zoals perazijnzuur, waterstofperoxide, en gebruik van bijvoorbeeld UV-licht. Geoptimaliseerd gebruik van desinfectiemethoden om pathogenen zoals *Listeria* en *Salmonella* te bestrijden, kan bijvoorbeeld bijdragen aan duurzamer gebruik van proceswater.

Zoals hierboven beschreven, zijn er verschillende projecten binnen WFSR afgerond of die nog doorlopen, met een focus op valorisatie van reststromen en mogelijke microbiologische gevaren. Dit zijn voornamelijk projecten op het vlak van inzet van insecten om nog onbenutte stromen te valoriseren, het hergebruiken of duurzamer gebruik van water, alsmede verschillende projecten met een specifieke focus op circulariteit. Deze verschillende initiatieven zijn opgezet om bij te dragen aan de veiligheid van circulaire voedselsystemen.

## 3.2 RIVM-projecten

In een circulaire economie worden alle reststromen zo hoogwaardig mogelijk hergebruikt, ook wanneer deze reststromen potentiële risico's voor de volksgezondheid of voedselveiligheid met zich meebrengen. Binnen het RIVM lopen diverse projecten die zich richten op duurzaamheid, veiligheid en de transitie naar een circulaire economie (zie Tabel 4). Deze projecten onderzoeken onder meer hoe risico's beheerst kunnen worden bij het hergebruik van materialen, en hoe veiligheid geborgd blijft binnen circulaire systemen.

Hoewel deze RIVM-projecten aandacht besteden aan zowel chemische als microbiologische risico's, is er tot op heden geen specifieke focus op combinaties van pathogenen en reststromen.

### 3.2.1 Ontwikkeling afwegingskaders

Hoe kun je de voordelen van het hergebruik van reststromen afwegen tegen de mogelijke risico's? De projecten 'Wat ligt er op ons bord', FairPlay4Food, Bigfood en SSML besteden uitvoerig aandacht aan dit onderwerp.

*Tabel 4 Voorbeelden van RIVM-projecten waarin circulariteit en de veilige omgang met reststromen centraal staan, inclusief gevaren en looptijd.*

| <b>Project (URL)</b>                                                                                 | <b>Reststroom</b>                | <b>Gevaren</b>                              | <b>Duur</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|-------------|
| SSML – Safe and Sustainable Material Loops ( <a href="#">URL</a> )                                   | Alle                             | Chemisch, microbiologisch, radioactief      | Tot 2019    |
| FairPlay4Food ( <a href="#">URL</a> )                                                                | n.v.t.                           |                                             | Tot 2024    |
| Renew ( <a href="#">URL</a> )                                                                        | Alle                             | Chemisch, microbiologisch, radioactief      | Tot 2022    |
| Bigfood ( <a href="#">URL</a> )                                                                      | n.v.t.                           |                                             |             |
| Saferment ( <a href="#">URL</a> )                                                                    | n.v.t.                           |                                             | lopend      |
| Biotische reststromen ( <a href="#">URL</a> )                                                        | Afvalwater (struviet, cellulose) | Chemisch, microbiologisch                   | Tot 2017    |
| WHO-CC / JEMRA ( <a href="#">URL</a> )                                                               | Water                            | Microbiologisch                             | Tot 2023    |
| Synthetische biologie ( <a href="#">URL</a> )                                                        | n.v.t.                           | Microbiologisch                             | lopend      |
| Normenkader voor hergebruik van stedelijk afvalwater voor irrigatie landbouw ( <a href="#">URL</a> ) | Water                            | Chemisch, microbiologisch                   | lopend      |
| WaterResist ( <a href="#">URL</a> )                                                                  | Water                            | Microbiologisch, antimicrobiële resistentie | lopend      |
| Decontaminatie waswater ( <a href="#">URL</a> )                                                      | Water                            | Chemisch, microbiologisch                   | lopend      |
| Hergebruik voedsel-contactmaterialen ( <a href="#">URL</a> )                                         | Divers, waaronder plastic        | Chemisch, microbiologisch                   | Tot 2023    |
| Wat ligt er op ons bord? ( <a href="#">URL</a> )                                                     | n.v.t.                           | Chemisch, microbiologisch                   | Tot 2016    |

SSML (Creating safe and sustainable material loops in a circular economy) biedt een systematische aanpak om chemische, radioactieve en microbiologische (inclusief antimicrobiële resistentie (AMR)) gevaren in verschillende reststromen in kaart te brengen. Daarnaast biedt het de mogelijkheid om de bijdrage van het hergebruik van reststromen aan duurzaamheid te schatten. SSML is toegepast en verder uitgewerkt in het project Renew waarin onder andere het hergebruik van cellulose uit afvalwater is beoordeeld.

'Wat ligt er op ons bord?' en FairPlay4Food zijn gericht op de integrale afweging van veiligheid, gezondheid en duurzaamheid van voedsel, waarbij ook socio-economische aspecten worden meegenomen. De methodiek is gebaseerd op Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) en maakt het mogelijk om verschillende scenario's met elkaar te vergelijken.

Deze methodiekkontwikkeling wordt vervolgd in BigFood. Dat project onderzoekt hoe grote databestanden bruikbaar en toepasbaar zijn in het

beoordelen van de veiligheid, duurzaamheid en gezondheid van voedsel, al dan niet met behulp van artificial intelligence (AI).

### 3.2.2 *Normering*

Huidige productnormen zijn vooral gebaseerd op de productie van goederen/producten op basis van primaire grondstoffen. Deze normen zijn mogelijk niet geschikt voor dezelfde producten als er gebruik wordt gemaakt van grondstoffen uit reststromen. Denk bijvoorbeeld aan het hergebruik van stikstof en fosfaat uit afvalwater (struviet; project Biotische reststromen) als bemestingsstof in plaats van kunstmest. Daarnaast kan het zijn dat door het streven naar een duurzame samenleving nieuwe producten gemaakt en vermarkt kunnen worden waarvoor nog geen/onvoldoende normen bestaan. Producten die mogelijk minder schadelijk zijn voor mens en milieu, zoals microbiologische gewasbeschermingsmiddelen of microbiologische reinigingsmiddelen.

Het RIVM werkt binnen een aantal projecten aan het ontwikkelen van normen voor hergebruik, voor producten waarin reststromen zijn verwerkt en voor nieuwe, duurzamere producten. Denk bijvoorbeeld aan matrassen en luiers (Circulaire economie), struviet en cellulose dat gewonnen wordt uit afvalwater (Biotische reststromen). Maar ook aan proceswater in de voedingsindustrie (WHO-CC/JEMRA), gezuiverd afvalwater voor irrigatiedoeleinden (Normenkader voor hergebruik van stedelijk afvalwater voor irrigatie landbouw) en microbiologische reinigers en microbiologische gewasbeschermingsmiddelen. De projecten SSML, met een algemeen karakter, en de projecten Saferment (in samenwerking met WFSR) en Synthetische biologie richten zich op het ontwikkelen van veilige productieprocessen.

Voor verwerkers van reststromen en vergunningverleners is niet altijd duidelijk welke gevaren, chemisch, dan wel microbiologisch, aanwezig kunnen zijn in reststromen. Binnen de projecten Normenkader voor hergebruik van stedelijk afvalwater voor irrigatie landbouw, Biotische reststromen, SSML, WateResist, Decontaminatie en Hergebruik van voedselcontactmaterialen wordt gewerkt aan het identificeren van gevaren, met daarbij aandacht voor mens en milieu.



## 4 Reststromen uit de primaire productie

### 4.1 Plantaardige sector

In Nederland worden in de akkerbouw en tuinbouw veel verschillende gewassen verbouwd. Akkerbouw omvat het telen van gewassen op akkers (velden) in de buitenlucht. Tuinbouw omvat het telen van gewassen in afgesloten ruimtes, zoals kassen, tunnels of onder glas. Het is niet mogelijk om van alle gewassen die in Nederland verbouwd worden de reststromen in kaart te brengen. Daarom hebben we een selectie van gewassen gemaakt.

#### 4.1.1 *Selectie van gewassen*

De selectie van gewassen is gemaakt op basis van drie criteria: 1) Beschikbaarheid van data. 2) Omvang van productie in Nederland; en: 3) (vermoedelijke) Grootte van de omvang van de reststromen. Het CBS beschikt over data omtrent de omvang van de productie van gewassen in Nederland, zowel in hectare landgebruik als in hoeveelheid product geoogst (in kg). Bij aanvang van dit project waren de definitieve oogstramingen beschikbaar tot en met 2021. Daarom zijn de meest recente gegevens van 2021 gebruikt voor het maken van een selectie van gewassen.

De grootste akkerbouwgewassen in Nederland zijn mais, aardappel, tarwe, suikerbieten, wortelen en uien. Voor tuinbouwgewassen is tomaat het grootste gewas, gevolgd door paprika en komkommer. Vanwege hun grote omvang zijn deze gewassen geselecteerd.

Hoewel mais voornamelijk wordt verbouwd als diervoeder en niet voor directe humane consumptie, is het toch meegenomen in de inventarisatie. Mais valt binnen de definitie van reststromen in dit rapport, omdat het geschikt is voor humane consumptie en een belangrijke bron van eiwit kan zijn. Het evalueren van deze reststromen is essentieel, aangezien ze een significante impact kunnen hebben op de landbouw- en voedselproductieketen.

Verder zijn ook witlof en bruine bonen geselecteerd. Bij witlof vermoeden we een relatief grote reststroom, doordat de teelt uit twee fasen bestaat: het forceren van de wortels en vervolgens het forceren van de scheuten. De bruine boon is de enige peulvrucht waarvoor data beschikbaar zijn (bij het CBS). De verwachting is dat de komende jaren de teelt van eiwitrijke peulvruchten in Nederland zal toenemen, als onderdeel van de [Nationale Eiwitstrategie](#) (NES, 2020), om minder afhankelijk te zijn van importstromen van eiwitrijke grondstoffen (zoals soja) van buiten de EU.

In de akkerbouw en tuinbouw zijn er diverse bekende reststromen die ontstaan tijdens de primaire productie van gewassen, zoals loof, stengels, bladeren, wortels, stoppels, afgekeurde producten en overschotten. Ook bij bewaren gaat er product verloren ([Sarlee, 2012](#); [Didde, 2014](#); [Hartikainen, 2016](#); [Braekevelt, 2023](#)). Een minder bekende reststroom bestaat uit niet-geoogste gewassen. Over niet-

geoogste gewassen is veel minder bekend. De focus van de landbouwsector ligt vaak op de geoogste gewassen, omdat deze directe economische waarde hebben.

#### 4.1.1.1 *Gewas- of oogstresten*

Tijdens de oogstperiode in de akkerbouw en tuinbouw blijven na het oogsten van de gewassen verschillende delen van de plant over. Deze omvatten het loof, de stengels, de bladeren, de wortels en de stoppels. De resten, vaak aangeduid als oogstresten, vormen een belangrijk onderdeel van het landbouwecosysteem. Ze kunnen worden teruggebracht naar de bodem als groenbemester. Dat draagt bij aan de verbetering van de bodemstructuur en -vruchtbaarheid ([Zwart, 2004](#); [Corré, 2008](#)).

#### 4.1.1.2 *Oogstverliezen*

Oogstverliezen treden op wanneer gewassen tijdens het oogsten niet volledig uit de grond worden verwijderd ([Hartikainen, 2016](#)). Dit kan verschillende oorzaken hebben, zoals onvolledige mechanische verwijdering, onnauwkeurige oogstechnieken of moeilijke bodemomstandigheden (zie bijvoorbeeld de [IRS-teelthandleiding voor suikerbieten](#)). Het achterblijven van aardappels, wortels of andere gewassen in de grond resulteert in economisch verlies voor boeren. Gewassen die achterblijven in de grond na het oogsten, worden meestal omgeploegd. Het omgeploegde materiaal wordt vervolgens afgebroken en dient als organische bodemstof ([Zwart, 2004](#)).

#### 4.1.1.3 *Afgekeurd product*

Tijdens de oogstperiode van gewassen kan een deel van het product worden afgekeurd, omdat het niet voldoet aan de kwaliteitseisen vanwege verschillende redenen, zoals ziekte, beschadiging, insectenschade, onvolgroeidheid (te klein). Of producten voldoen niet aan de cosmetische eisen van de inkopers ([Gellynck, 2017](#); [Kips, 2014](#)). Dit afgekeurde product wordt vaak gecomposteerd en teruggebracht naar de bodem om de bodemvruchtbaarheid te verbeteren. Ook dient het als voer voor vee, of wordt het gebruikt voor de productie van biogas.

#### 4.1.1.4 *Overschotten*

Tijdens de oogstperiode van gewassen kunnen er overschotten ontstaan. Dit zijn gewassen die zijn geoogst, maar vanwege verschillende redenen niet worden verkocht of gebruikt, zoals vanwege overproductie of vraagtekort. Deze overschotten zijn echter op verschillende manieren te benutten. Soms worden ze bijvoorbeeld gedoneerd aan voedselbanken of andere liefdadigheidsinstellingen. Ze worden ook verwerkt tot veevoer of gebruikt voor de productie van biogas. Daarnaast worden ze ook gecomposteerd en gebruikt als bodemverbeteraar. Er worden (voor zover wij weten) geen gegevens over overschotten bijgehouden, maar ze komen wel zo nu en dan in het nieuws (zie bijvoorbeeld dit artikel in de [Volkskrant: Hoe raken we de 100 miljoen kilo uien kwijt?](#)).

#### 4.1.1.5 *Niet-geoogste gewassen*

Tijdens de oogstperiode van akkerbouwgewassen blijft altijd een deel on-geoogst. Dit kan komen door onvoorspelbare weersomstandigheden

zoals regen, hagel of vorst, die de oogst verstoren. De kwaliteit van het gewas speelt ook een rol; gewassen die niet aan de kwaliteitseisen voldoen door ziekten, plagen of onkruid worden vaak niet geoogst. Marktomstandigheden kunnen invloed hebben; bij lage marktprijzen kan het financieel niet rendabel zijn om het volledige gewas te oogsten. Technische problemen met oogstmachines kunnen eveneens leiden tot een onvolledige oogst. Milieubeleid kan ervoor zorgen dat gewassen niet worden geoogst om ecologische redenen, zoals het behoud van biodiversiteit. Tot slot kan het voordelig zijn om gewassen als groenbemesters in de grond te laten zitten om de bodemstructuur en -vruchtbaarheid te verbeteren.

Hoewel er geen exacte hoeveelheden bekend zijn van het niet-geoogste deel van gewassen, zijn er bij het CBS wel relevante cijfers voor een paar specifieke gewassen in Nederland ([CBS - Akkerbouwgewassen; voorlopige en definitieve oogstraming](#)). Door te kijken naar het verschil tussen de betaalde en geoogste oppervlakte van een gewas, kan het niet-geoogste deel geschat worden. De definitieve oogstraming komt tot stand op basis van cijfers uit een CBS-steekproefonderzoek onder bedrijven met akkerbouw. Bij de definitieve uitkomsten wordt de betaalde oppervlakte verminderd met de oppervlakte waarvan niet geoogst wordt ([CBS - Oogstraming akkerbouw](#)). In 2021 bijvoorbeeld was de betaalde oppervlakte tarwe (winter) in Nederland 106.819 hectare, waarvan 105.987 hectare werd geoogst. Het verschil tussen betaalde en geoogste oppervlakte was -0,8 procent. Schattingen van niet-geoogste gewassen worden meegenomen in het overzicht voor de gewassen waarvoor data aanwezig zijn.

#### 4.1.2 *Reststromen uit akker- en tuinbouw*

Verliezen in de primaire productie van akker- en tuinbouwproducten bestaan uit gewasresten, oogstverliezen, afgekeurde producten, overschotten en niet-geoogste gewassen (bestaande uit het gewas en hun reststromen). Voor het verzamelen van data over reststromen uit de plantaardige primaire productie is geput uit verschillende publicaties. Sommige gegevens zijn onvolledig en bepaalde informatie ontbreekt. Wanneer gegevens ontbreken omdat ze onbekend zijn, wordt dit aangegeven met 'nb' (niet bekend).

##### 4.1.2.1 *Stikstofberekening*

In een circulair voedselproducerend systeem wordt gestreefd naar minimale verliezen, ook van nutriënten zoals stikstof in de primaire productie. Door stikstofverliezen te berekenen (in plaats van eiwitverliezen), krijgen we beter inzicht in waar in de keten de grootste verliezen optreden. Bovendien maakt deze benadering het mogelijk om reststromen uit verschillende sectoren met elkaar te vergelijken en vast te stellen in welke reststroom de meeste stikstofverliezen plaatsvinden. Om de hoeveelheid stikstof in plantaardige reststromen te berekenen, wordt gestart met het bepalen van het eiwitgehalte van de reststroom. Het gemiddelde eiwitgehalte van plantaardige reststromen kan variëren.

Rekenvoorbeeld:

Stel: een reststroom van 1.000 kg bevat 2 procent eiwit. Dat betekent dat de reststroom 20 kg eiwit bevat ( $1.000 \text{ kg} \times 0,02$ ). Eiwit bestaat gemiddeld voor ongeveer 16 procent uit stikstof. Om de hoeveelheid

stikstof te berekenen, vermenigvuldig je de hoeveelheid eiwit met 0,16. In dit voorbeeld bevat de reststroom dus 3,2 kg stikstof ( $20 \text{ kg} \times 0,16$ ).

#### 4.1.2.2 *Mais*

Snijmais, corn-cob-mix (CCM) en korrelmais zijn verschillende vormen van mais die vaak gebruikt worden als diervoeder. Snijmais is de hele maisplant, inclusief de stengels, bladeren en kolven, die wordt gehakseld, ingekuuld en gebruikt als veevoer. CCM is een mix van maiskorrels en een deel van de maiskolf. CCM heeft een hogere energiedichtheid dan snijmais en wordt ook gebruikt als veevoer. Korrelmais zijn alleen de rijpe maiskorrels die van de kolf zijn verwijderd. Een zeer klein aandeel mais bestaat uit energiemais en suikermis. Het is echter onbekend hoeveel hiervan geproduceerd wordt. Van alle maisvormen blijven de wortels en stoppels achter op de akker. Van korrel en CCM-mais is er ook een reststroom aan blad en stengels.

| <b>Reststromen mais</b>        | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – wortels/stoppels | 760.000.000        | 2.430.000     |
| Gewasresten – blad/stengels    | 441.000.000        | 1.412.000     |
| Oogstverliezen                 | nb                 | nb            |
| Afgekeurd product              | nb                 | nb            |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | 147.827.000        | 473.000       |
| Niet-geoogst gewas reststromen | 23.892.000         | 76.000        |

Bronnen: [Lesschen, 2008](#); [Zwart, 2004](#).

#### 4.1.2.3 *Aardappelen*

In Nederland worden verschillende soorten aardappelen geteeld, waaronder pootaardappelen, zetmeelaardappelen en consumptieaardappelen. Pootaardappelen dienen als basis voor nieuwe aardappelplanten, consumptieaardappelen zijn voor menselijke consumptie. Zetmeelaardappelen leveren zetmeel voor industriële doeleinden. Tijdens de oogst van aardappelen op de akker wordt het bovengrondse loof verwijderd. Het verwijderen van het loof gebeurt om verschillende redenen, waaronder het verminderen van het volume van het geoogste materiaal en het verbeteren van de bewaaromstandigheden van de aardappelen. In het verleden werd het loof dikwijls afgedood en verwijderd via chemische middelen. Tegenwoordig zijn er ook andere technieken om het loof te doden, zoals loofklappen, looftrekken en loofbranden; met ongeveer gelijkwaardige resultaten ([Bus, 2003](#)). Welke techniek wordt gebruikt, hangt sterk af van de weersomstandigheden, maar bijvoorbeeld ook van de aanwezigheid van zieke planten in de percelen.

| <b>Reststromen aardappelen</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – blad/stengels    | 898.000.000        | 2.873.000     |
| Oogstverliezen                 | 267.000.000        | 855.000       |
| Afgekeurd product              | 445.000.000        | 1.424.000     |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | 57.408.000         | 183.000       |
| Niet-geoogst gewas reststromen | 13.014.000         | 42.000        |

Bronnen: [Zwart, 2004](#).

#### 4.1.2.4 Tarwe

In Nederland worden twee soorten tarwe geteeld; zomer- en wintertarwe. Wintertarwe is het grootste graangewas in Nederland en wordt gebruikt voor verschillende doeleinden, waaronder de productie van brood, voer voor dieren en als grondstof voor bio-energie. Zomertarwe is vooral geschikt als bak- en maaltarwe. Na de oogst wordt de stro gebruikt voor verschillende doeleinden, waaronder bodemverbetering en veevoer.

| <b>Reststromen tarwe</b>       | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – wortels/stoppels | 302.000.000        | 965.000       |
| Gewasresten – blad/stengels    | 515.000.000        | 1.649.000     |
| Oogstverliezen                 | nb                 | nb            |
| Afgekeurd product              | nb                 | nb            |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | 9.843.000          | 189.000       |
| Niet-geoogst gewas reststromen | 8.372.000          | 26.000        |

Bronnen: [Lesschen, 2008](#); [Zwart, 2004](#).

#### 4.1.2.5 Suikerbieten

De suikerbiet is een wortelgewas dat wordt geteeld voor de winning van suiker. Tijdens de oogst van suikerbieten worden het bietenblad en de bietenkoppen meestal verwijderd. Het verwijderen van het blad en de koppen gebeurt om verschillende redenen, waaronder het verminderen van het volume van het geoogste materiaal en het verbeteren van de bewaaromstandigheden van de bieten. Deze reststromen worden bijvoorbeeld weer als veevoer of bodemverbeteraar gebruikt.

| <b>Reststromen suikerbieten</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|---------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – loof/koppen       | 3.228.000.000      | 10.329.000    |
| Oogstverliezen                  | 242.000.000        | 387.000       |
| Afgekeurd product               | nb                 | nb            |
| Overschotten                    | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas              | 17.098.000         | 27.000        |
| Niet-geoogst gewas reststromen  | 8.320.000          | 27.000        |

Bronnen: [Smit, 2016](#); [IRS - Nieuwe hulpmiddelen tegen rooiverliezen](#).

#### 4.1.2.6 Wortelen (winter-, was-, en bospeen)

In Nederland worden verschillende soorten wortelen geteeld, waaronder winterpeen, waspeen en bospeen. Winterpeen is een grote, vlezige wortel met een feloranje kleur. Bospeen heeft een karakteristieke oranje kleur en een zoete smaak. Waspeen is niets anders dan de bekende bospeen, alleen dan zonder loof en gewassen.

| <b>Reststromen wortelen</b>    | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – loof             | 245.000.000        | 785.000       |
| Oogstverliezen                 | 39.000.000         | 62.000        |
| Afgekeurd product              | 161.000.000        | 257.000       |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas reststromen | nb                 | nb            |

Bronnen: [Kips, 2014](#); [Hartikainen, 2016](#); [Kaur, 2022](#).

#### 4.1.2.7 *Uien*

In Nederland worden uien op grote schaal geteeld. Na de oogst blijven reststromen over, zoals uienloof en schillen. Het loof kan worden gecomposteerd of gebruikt als veevoer.

| <b>Reststromen uien</b>        | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – loof             | 123.000.000        | 394.000       |
| Gewasresten – schillen         | nb                 | nb            |
| Oogstverliezen                 | 400.000            | 1000          |
| Afgekeurd product              | 395.000.000        | 632.000       |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas reststromen | nb                 | nb            |

Bronnen: [Van der Voort, 2006](#); [Van Dijke, 2012](#); [Kips, 2014](#).

#### 4.1.2.8 *Tomaten*

In Nederland worden verschillende rassen geteeld in kassen, zoals de vleestomaat, roma-tomaat en cherrytomaat. De grootste teeltoppervlakte wordt gebruikt voor de trostomaat. Na de oogst blijven reststromen over, zoals stengels en bladeren. Deze delen van de plant bevatten nog waardevolle voedingsstoffen en worden gebruikt voor compost of veevoer.

| <b>Reststromen tomaten</b>     | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – blad/stengels    | 55.000.000         | 177.000       |
| Oogstverliezen                 | 2.000.000          | 3.000         |
| Afgekeurd product              | 13.000.000         | 21.000        |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas reststromen | nb                 | nb            |

Bronnen: [Kips, 2014](#); [Gellynck, 2017](#).

#### 4.1.2.9 *Paprika*

In Nederland wordt de teelt van paprika's voornamelijk uitgevoerd in de glastuinbouw. Tijdens het groeiproces van paprika's komen verschillende plantaardige reststromen vrij, zoals bladeren, stengels en afgekeurde vruchten. Deze reststromen worden hergebruikt voor compostering of als biomassa voor energieproductie.

| <b>Reststromen paprika</b>     | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – blad/stengels    | 41.000.000         | 130.000       |
| Oogstverliezen                 | 2.000.000          | 3.000         |
| Afgekeurd product              | 7.000.000          | 11.000        |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas reststromen | nb                 | nb            |

Bronnen: [Kips, 2014](#); [Gellynck, 2017](#).

#### 4.1.2.10 *Komkommer*

In Nederland is de teelt van komkommers een belangrijk onderdeel van de glastuinbouwsector. Tijdens de teelt ontstaan verschillende plantaardige reststromen, zoals bladeren, stengels en afgekeurde

vruchten. Deze reststromen worden gebruikt voor compostering, als veevoer of voor de productie van biogas.

| <b>Reststromen komkommer</b>   | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – blad/stengels    | 16.000.000         | 51.000        |
| Oogstverliezen                 | 1.000.000          | 1.000         |
| Afgekeurd product              | 7.000.000          | 11.000        |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas reststromen | nb                 | nb            |

Bronnen: [Kips, 2014](#); [Gellynck, 2017](#).

#### 4.1.2.11 Witlof

Witlof groeit in twee fases. In de eerste fase worden de wortels, ook wel witlofpennen genoemd, op het land geteeld. In de herfst wordt het loof verwijderd en de wortels geoogst. Daarna ondergaan de wortels gedurende enkele dagen, weken of maanden een koelperiode in een koelcel. Na ontdooien vindt de trekfase plaats: dan ontstaan de witte kropjes. Na de witloftrek blijven de wortels over en die worden hoofdzakelijk gebruikt als diervoeder.

| <b>Reststromen witlof</b>      | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – loof             | 83.000.000         | 266.000       |
| Gewasresten – pennen           | 87.000.000         | 139.000       |
| Oogstverliezen                 | nb                 | nb            |
| Afgekeurd product              | nb                 | nb            |
| Overschotten                   | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas             | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas reststromen | nb                 | nb            |

Bronnen: [Kips, 2014](#); [Bosch, 1989](#); [Van Arkel, 2022](#).

#### 4.1.2.12 Bruine bonen

Bruine bonen worden geoogst wanneer de peulen volledig rijp en droog zijn. Dit gebeurt meestal in de late zomer of vroege herfst. Na de oogst worden de planten vaak nog een paar dagen op het veld gelaten om verder te drogen. Dit helpt om de bonen gemakkelijker uit de peulen te krijgen tijdens het dorsen. Na het dorsen worden de bonen gereinigd om eventuele resten van de peulen en andere onzuiverheden te verwijderen. Na het dorsen blijft er ook een aanzienlijke hoeveelheid plantaardig materiaal over zoals stengels, bladeren en wortels van de plant. Deze resten worden gebruikt voor compostering, groenbemesting of diervoeder. De gedroogde en gereinigde bonen worden opgeslagen in een koele, droge omgeving, totdat ze klaar zijn voor verdere verwerking of verkoop.

| <b>Reststromen bruine bonen</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|---------------------------------|--------------------|---------------|
| Gewasresten – blad/stengels     | 6.000.000          | 20.000        |
| Oogstverliezen                  | nb                 | nb            |
| Afgekeurd product               | nb                 | nb            |
| Overschotten                    | nb                 | nb            |
| Niet-geoogst gewas              | 0                  | 0             |
| Niet-geoogst gewas reststromen  | 0                  | 0             |

Bronnen: [Zwart, 2004](#).

#### 4.1.3 *Samenvatting plantaardige sector*

De door ons uitgevoerde inventarisatie van plantaardige reststromen in de Nederlandse akkerbouw en tuinbouw toont aan dat er jaarlijks minimaal 8,6 miljard kilogram aan reststromen vrijkomt, gebaseerd op de geselecteerde gewassen en beschikbare data (zie Tabel 5). De grootste reststromen komen van suikerbieten, aardappelen en mais, waarbij gewasresten meer dan 80 procent van de totale reststromen uitmaken. Het loof van suikerbieten alleen al vertegenwoordigt bijna 40 procent van alle stikstof in de reststromen.

Belangrijke gegevens over oogstverliezen, afgekeurde producten, verliezen tijdens bewaring en overschotten ontbreken vaak, wat de nauwkeurigheid van de schattingen beïnvloedt. Kortom, hoewel er een aanzienlijke hoeveelheid reststromen is geïdentificeerd, zijn er nog hiaten in de data die verdere verfijning en onderzoek vereisen om een volledig beeld te krijgen van de verliezen in de primaire productie.

*Tabel 5 Geïnventariseerde plantaardige reststromen uit de primaire voedselproductie in Nederland (2021), met bijbehorende stikstofinhoud.*

| <b>Reststromen</b>             | <b>Omvang (kg)</b>   | <b>N (kg)</b>     |
|--------------------------------|----------------------|-------------------|
| Gewasresten                    | 6.800.000.000        | 21.620.000        |
| Oogstverliezen                 | 553.000.000          | 1.312.000         |
| Afgekeurd product              | 1.027.000.000        | 2.355.000         |
| Overschotten                   | nb                   | nb                |
| Niet-geoogst gewas             | 229.000.000          | 873.000           |
| Niet-geoogst gewas reststromen | 47.000.000           | 172.000           |
| <b>TOTAAL</b>                  | <b>8.655.000.000</b> | <b>26.332.000</b> |

## 4.2 **Dierlijke sector**

Voor het verzamelen van data over reststromen uit de dierlijke primaire productie is vooral geput uit de publicatie van Broeze et al (2023) ([Broeze, 2023](#)) en uit de cijfers gepubliceerd door CBS StatLine. Op reststromen uit de dierlijke sector is wetgeving van toepassing ([Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#)) waarmee de veiligheid van de voedsel- en voederketen wordt beschermd. Deze verordening onderscheidt (op basis van risico voor de volksgezondheid en diergezondheid) drie verschillende categorieën bijproducten: Cat-1, Cat-2 en Cat-3, waarbij bijproducten behorend tot Cat-1-materiaal betreft met het hoogste risico.

#### 4.2.1 *Berekenen hoeveelheid stikstof*

Om de stikstofverliezen tijdens de primaire productie van dierlijke producten (zoals vlees en eieren) te berekenen, zijn specifieke omrekeningsfactoren toegepast. Deze factoren geven aan hoeveel kilogram stikstof (N) aanwezig is per kilogram van het betreffende restproduct:

- $N \text{ (kg)} = 0,0349 \times \text{gewicht kadaver (kg)}$
- $N \text{ (kg)} = 0,0213 \times \text{gewicht ei (kg)}$
- $N \text{ (kg)} = 0,0349 \times \text{gewicht haantjes (kg)}$

De data over stikstofverliezen via mest zijn afkomstig van het CBS/Statline ([CBS StatLine - Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding](#)).

#### 4.2.2 *Runderen*

Verliezen in de primaire productie van vleeskoeien, melkkoeien en melk bestaan uit mest, melk en kadavers. Melk wordt verder behandeld in hoofdstuk 4.3 (Zuivel). Mest wordt momenteel ingezet in de primaire productie van plantaardige gewassen of kan worden vergist. Kadavers zijn van dieren uit de primaire productie die volgens [Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#) worden verwerkt als een Cat-1-bijproduct. De voor de productie van melk geproduceerde kalveren die geen melk geven (stiertjes), worden als vleesdier geconsumeerd en gelden dus niet als reststroom.

| <b>Reststromen runderen</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Kadavers                    | 60.781.000         | 2.127.335     |
| Mest                        | 60.522.000.000     | 306.000.000   |

Bronnen: [Broeze, 2023](#); [CBS StatLine - Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding](#).

#### 4.2.3 *Varkens*

Verliezen in de primaire productiefase van varkens bestaan uit mest en kadavers. In geval van varkens worden kadavers beschouwd als een Cat-2-bijproduct.

| <b>Reststromen varkens</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|----------------------------|--------------------|---------------|
| Kadavers                   | 46.580.000         | 1.625.433     |
| Mest                       | 9.097.000.000      | 89.000.000    |

Bronnen: [Broeze, 2023](#); [CBS StatLine - Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding](#).

#### 4.2.4 *Pluimvee*

De primaire productie van pluimvee (hier: kippen) betreft de productie van legkippen, eieren en vleeskuikens. Tot de legkippen behoren ook de ouder- en grootouderkoppels. Reststromen ontstaan door sterfte, door verlies van eieren en ontstaan na het uitbroeden van eieren in de vorm van schalen. Haantjes worden gebruikt als diervoeder en dus niet ingezet voor humane voeding en daarom ook als reststroom beschouwd. Reststromen uit de primaire fase voor de productie van pluimvee producten worden als cat-2-bijproduct beschouwd.

| <b>Reststromen pluimvee</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Kadavers                    | 21.532.000         | 751.370       |
| Eieren                      | 2.000.000          | 42.560        |
| Schalen (na uitbroeden)     | 4.700.000          | nb            |
| Haantjes                    | 103.000            | 3.605         |
| Mest                        | 1.273.000.000      | 54.000.000    |

Bronnen: [Broeze, 2023](#); [CBS StatLine - Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding](#).

#### 4.2.5 *Samenvatting dierlijke sector*

De dierlijke sector genereert aanzienlijke reststromen, met name in de vorm van mest en kadavers. Jaarlijks wordt er ongeveer 70,9 miljard kilogram mest geproduceerd, wat neerkomt op 449 miljoen kilogram stikstof (N). Daarnaast ontstaat er een reststroom van 128,9 miljoen kilogram kadavers, goed voor 4,5 miljoen kilogram stikstof.

De grootste hoeveelheden reststromen komen uit de rundersector. In vergelijking met de varkens- en pluimveesector wordt er meer

rundermest geproduceerd, en ook het volume aan kadavers is bij runderen het hoogst.

Kadavers worden in Nederland ingezameld en verwerkt door Rendac Son, het enige erkende verwerkingsbedrijf voor categorie 1- en 2-materiaal. De verwerking vindt plaats volgens de wettelijke eisen van [Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#), die gezondheidsvoorschriften bevat voor dierlijke bijproducten die niet bestemd zijn voor menselijke consumptie. Na een voorbehandeling worden de kadavers vernietigd, volgens de richtlijnen voor categorie 1-materiaal.

Mest daarentegen wordt hoofdzakelijk gebruikt als meststof in de landbouw. Wanneer er sprake is van een overschot, wordt de mest geëxporteerd naar het buitenland.

#### 4.3 Zuivelsector

De productie van koeienmelk voor directe consumptie en koeienmelk voor verdere verwerking vormen de primaire productie van zuivel. Verliezen bestaan voornamelijk uit afgekeurde melk. Vanwege het geval dat gegevens over afgekeurde melk niet worden gemonitord en centraal worden bijgehouden, zijn de data hierover niet beschikbaar in bijvoorbeeld CBS Statline. Een schatting is gemaakt op basis van een artikel over afgekeurde melk in Schotland ([March, 2019](#)). Afkeuring van melk kan voorkomen als er niet wordt voldaan aan de kwaliteitseisen van de melkverwerker, of bij aanwezigheid van antibioticaresiduen. Verlies van melk treedt ook op door overproductie, morsen of achterblijven van melk tijdens de verplaatsing ervan naar opslagtanks of verwerkingsplekken. Over reststromen die vrijkomen bij de productie van schapen- en geitenmelk zijn geen data gevonden. Deze vallen daarmee buiten de focus van dit rapport.

| <b>Reststromen zuivel</b>          | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|------------------------------------|--------------------|---------------|
| Melk afgekeurd: verwerker          | 12.300.000         | 70.651        |
| Melk afgekeurd: wegens antibiotica | 75.300.000         | 432.523       |
| Melk verspilling                   | 68.400.000         | 392.890       |

Bron: [March, 2019](#).

Toelichting: De omvang van de zuivel reststromen zijn schattingen. Voor melk wordt het stikstofgehalte (N in kg) berekend op basis van het eiwitgehalte (gemiddeld 3,59%) en het stikstofgehalte van eiwit (16%), volgens de formule:  $N \text{ (kg)} = \text{hoeveelheid melk (kg)} \times 0,0359 \times 0,16$ .

#### 4.4 Visserijsector

In Nederland werd in 2021 voornamelijk blauwe wijting (136 miljoen kg), haring (132 miljoen kg) en makreel (72 miljoen kg) in de Nederlandse havens aan wal gebracht ([CBS StatLine - Visserij en aquacultuur](#)). De totale visvangst per jaar (2021) wordt geschat op 444 miljoen kg ([CBS - Hoeveel vis wordt aan wal gebracht?](#)). Niet verkochte vis en teruggooi van vis vormen de grootste reststromen van deze sector (zie hieronder). De gegevens over onder andere de aantallen afgekeurde en niet verkochte vis worden momenteel niet centraal bijgehouden. In een studie door Hanseeuw & Vanderperren (2014) wordt geschat dat gemiddeld 1,8 procent van de visvangst niet verkocht wordt en dat 0,02 procent wordt afgekeurd ([Hanseeuw, 2014](#)). Dit komt jaarlijks neer op 7,9 miljoen kilogram niet-verkochte vis en 88.000

kilogram afgekeurde vis voor de Nederlandse visserijsector. Niet verkochte vis kan in sommige gevallen worden ingevroren en later opnieuw op de markt worden gebracht voor verkoop ([Hanseeuw, 2014](#)).

Voor vissoorten waarvoor een vangstquotum geldt, is in de Europese Unie een aanlandplicht van kracht. Dit betekent dat vissers deze soorten niet meer overboord mogen gooien, maar verplicht moeten aanlanden, ook als het gaat om ondermaatse of ongewenste bijvangst. Deze aangelande vis mag echter niet worden verkocht voor humane consumptie. Wel kunnen deze vissoorten worden verwerkt tot vismeel, gebruikt als diervoeder, of verwerkt in kuilvoer (silage), bijvoorbeeld als voer voor varkens. Ook mogen deze aangelande visstromen, die niet geschikt zijn voor humane consumptie in hun oorspronkelijke vorm, worden verwerkt tot grondstoffen voor de extractie van functionele eiwitten ([Baarssen, 2015](#)). Deze eiwitten kunnen vervolgens worden toegepast in producten die indirect bestemd zijn voor humane consumptie, zoals voedingssupplementen, ingrediënten voor bewerkte voedingsmiddelen of technologische hulpstoffen. Dit is toegestaan, mits de verwerking voldoet aan de geldende Europese regelgeving, waaronder de [Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#) en [Verordening \(EU\) Nr. 142/2011](#).

| <b>Reststromen visserij</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Niet verkochte vis          | 7.992.000          | 249.350       |
| Afgekeurde vis              | 88.800             | 2.771         |
| Teruggooi vis               | 2.300.000          | 71.760        |
| Teruggooi schol             | 1.700.000          | 44.608        |
| Teruggooi tong              | 60.000             | 1.440         |

Bronnen: [Hanseeuw, 2014](#); [NVWA - Aanlandplicht en hoeveelheid teruggeworpen vis](#).

Toelichting: Berekening van het stikstofgehalte van algemene visserij reststromen is op basis van het gemiddelde eiwitgehalte van vis van 19,5 procent (voor schol: 16,4% en tong: 15%). Voor vis wordt het stikstofgehalte (N in kg) berekend op basis van het eiwitgehalte (gemiddeld 19,5%) en het stikstofgehalte van eiwit (16%), volgens de formule:  $N \text{ (kg)} = \text{hoeveelheid vis (kg)} \times 0,195 \times 0,16$ .

#### 4.5 Samenvatting van reststromen uit de primaire productie

Wanneer mest buiten beschouwing wordt gelaten, vinden de grootste stikstofverliezen plaats in de plantaardige productie (zie Figuur 3 en Tabel 6). Dit geldt zowel voor de totale hoeveelheid reststromen (ongeveer 8,7 miljard kg) als voor het stikstofverlies (ongeveer 32 miljoen kg).

Binnen de plantaardige sector zijn de verliezen het grootst bij de teelt van suikerbieten en aardappelen, met respectievelijk ruim 11 miljoen kg en 5 miljoen kg stikstofverlies.

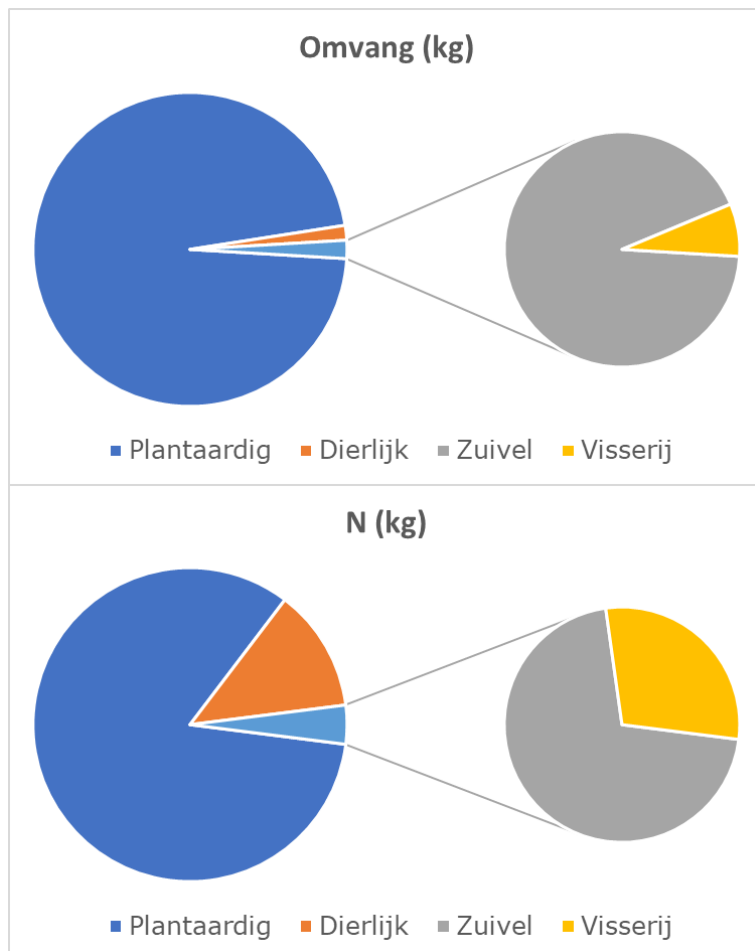
In de dierlijke productie treden de grootste stikstofverliezen op bij runderen. Hier gaat naar schatting 2 miljoen kg stikstof verloren, afkomstig uit ongeveer 61 miljoen kg runderkadavers die als categorie 1-materiaal worden afgevoerd.

In deze analyse zijn stikstofverliezen via mest niet meegenomen. Toch gaat via rundermest een aanzienlijke hoeveelheid stikstof verloren: ongeveer 306 miljoen kg. Een groot deel van deze mest wordt echter

hergebruikt in de gewasproductie. Slechts een deel wordt elders afgezet, wat leidt tot een verlies van ongeveer 65 miljoen kg stikstof.

Daarnaast wordt een groot deel van de stikstof die als bemesting wordt ingezet niet door gewassen opgenomen. Dit resulteert in een bodemverlies van ongeveer 228 miljoen kg. Van de totale stikstofinput in de primaire productie (638 miljoen kg) gaat uiteindelijk circa 379 miljoen kg verloren via bodemverliezen, kadavers, plantaardige resten, mestexport en vervluchtiging.

*Figuur 3 Vergelijking van de omvang van geïnventariseerde reststromen uit de primaire voedselproductie (in 2021). Het bovenste cirkeldiagram toont de totale massa van reststromen (in kg), geschat op 8,96 miljard kg. Het grootste deel hiervan bestaat uit plantaardige reststromen. Het onderste cirkeldiagram geeft de verdeling weer op basis van de hoeveelheid stikstof (N, in kg) in deze reststromen. De onderliggende data is weergegeven in Tabel 6.*



*Tabel 6 Overzicht van de omvang van geïnventariseerde reststromen uit de primaire voedselproductie (in 2021). De totale massa van reststromen (in kg) en de hoeveelheid stikstof (N, in kg) in deze reststromen.*

| <b>Reststroom</b>      | <b>Omvang (kg)</b>   | <b>N (kg)</b>     |
|------------------------|----------------------|-------------------|
| Plantaardig            | 8.655.000.000        | 26.332.000        |
| Waarvan suikerbiet     | 3.495.418.000        | 10.770.000        |
| Waarvan aardappel      | 1.680.422.000        | 5.377.000         |
| Dierlijk               | 135.992.000          | 4.000.000         |
| Waarvan runderkadavers | 60.781.000           | 2.127.335         |
| Zuivel                 | 156.000.000          | 896.064           |
| Visserij               | 12.140.800           | 369.929           |
| <b>Totaal</b>          | <b>8.959.132.800</b> | <b>31.597.993</b> |



## 5 Reststromen uit de industriële verwerking

### 5.1 Plantaardige sector

Gewassen uit de akker- en tuinbouw worden vaak naar de versmarkt gebracht voor directe consumptie. Een aanzienlijk deel van deze gewassen is echter bestemd voor industriële verwerking. Daarbij worden ze omgezet in producten zoals suiker, sappen, conserven en diepvriesproducten. Tijdens deze processen ontstaan er reststromen, zoals schillen, steeltjes en andere plantendelen, die vaak worden hergebruikt voor diervoeding, compostering of andere toepassingen om verspilling te minimaliseren. Een deel van de reststromen komt terecht in het afvalwater. Sommige verwerkende bedrijven beschikken over een afvalwaterzuiveringsinstallatie (awzi). Slib dat daarbij ontstaat, wordt ook als een reststroom beschouwd. Voor het verzamelen van data over reststromen uit de plantaardige primaire productie is geput uit verschillende publicaties. In veel gevallen zijn gegevens onvolledig en/of bepaalde informatie ontbreekt. Wanneer gegevens ontbreken omdat ze onbekend zijn, geven we dit aan met 'nb' (niet bekend). Voor de berekening van stikstofverliezen (N in kg) verwijzen we naar hoofdstuk 4.1.2.1.

#### 5.1.1 *Mais*

De verwerking van mais door de industrie is sterk gericht op de productie van veevoeder en biogas (Bijna het gehele areaal mais (>99%) wordt verbouwd als veevoedergewas (data CBS). Snijmais wordt voornamelijk gebruikt als ruwvoer voor rundvee, terwijl korrelmais doorgaans als kippenvoer dient en corn-cob-mix vooral aan varkens wordt gevoerd. Energiemais wordt geteeld voor de productie van biogas in vergisters ([Booij, 2018](#)). Suikermais wordt geteeld voor menselijke consumptie en gaat grotendeels direct naar supermarkten zonder verdere industriële verwerking ([Blok, 2023](#)). Zodoende ondergaat het overgrote deel van de mais geen industriële verwerking.

| Reststromen mais | Omvang (kg) | N (kg) |
|------------------|-------------|--------|
| Geen             | 0           | 0      |

Bron: [EOS Wetenschap - Tracé van Mais](#).

#### 5.1.2 *Aardappelen*

De verwerking van (vrijwel) alle Nederlandse zetmeelaardappelen vindt plaats door de coöperatie AVEBE ([Elbersen, 2011](#)). Deze aardappelen worden voornamelijk omgezet in zetmeel, dat vervolgens wordt gebruikt in diverse industriële toepassingen. De aardappelverwerkende industrie verwerkt daarnaast 65 procent van de Nederlandse consumptieaardappelen tot producten zoals friet, chips en aardappelpuree ([WUR agrimatie - Aardappel](#)). Tijdens deze processen ontstaan bijproducten en reststromen, zoals aardappelschillen, die voornamelijk worden gebruikt als diervoeder.

| <b>Reststromen</b>          | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-----------------------------|--------------------|---------------|
| <b>Zetmeelaardappelen</b>   |                    |               |
| Aardappelpersvezel          | 281.000.000        | 449.000       |
| Aardappeleiwit              | 26.000.000         | 3.000.000     |
| Protamylasse/vloeibare kali | 71.000.000         | 0             |
| Proceswater                 | nb                 | nb            |
| Zuiveringsslib              | nb                 | nb            |

| <b>Reststromen</b>             | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>Consumptieaardappelen</b>   |                    |               |
| Afgekeurd product              | nb                 | nb            |
| Aardappelstoomschillen         | 268.000.000        | 858.000       |
| Snijresten - aardappelsnippers | 112.000.000        | 360.000       |
| Aardappelzetmeel               | 81.000.000         | 261.000       |
| Restproduct - aardappelproduct | 53.000.000         | 168.000       |
| Restdeeltjes frituren          | 1.000.000          | 5.000         |
| Frituurvet                     | 90.000.000         | 0             |
| Proceswater                    | nb                 | nb            |
| Zuiveringsslib                 | 51.000.000         | nb            |

Bronnen zetmeel- en consumptieaardappelen: [Elbersen 2011](#); [Locker 2021](#); [WUR Agrimatie - Aardappel](#); [Zwart 2004](#); [Janssens 2011](#); [EOS Wetenschap - Tracé van Aardappel](#).

### 5.1.3

#### *Tarwe*

De verwerking van tarwe door de industrie begint met het malen van de korrels om bloem en andere producten te produceren. Tijdens dit proces ontstaan verschillende reststromen, zoals zemelen, kiemen en gries. Deze reststromen worden voornamelijk gebruikt als diervoeder ([WUR Agrimatie - Granen](#); [Stichting Ambachtelijke Bakkerij - Alles over tarwe](#)). In Nederland is de binnenlandse tarweproduktie niet voldoende om aan de vraag te voldoen; meer dan 80 procent van het verbruik wordt geïmporteerd. Ongeveer 60 procent van de geïmporteerde en geteelde tarwe wordt verwerkt tot veevoeders, terwijl circa 40 procent bestemd is voor humane consumptie. De exacte omvang van de bijproducten en reststromen in de verwerkende industrie is onbekend, maar ze spelen een belangrijke rol in de diervoedersector.

| <b>Reststromen tarwe</b>      | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-------------------------------|--------------------|---------------|
| Tarwezetmeel                  | 810.000.000        | 3.888.000     |
| Tarwegries                    | 607.000.000        | 11.654.000    |
| Tarwekiemen                   | nb                 | nb            |
| Tarwezemelen                  | 78.000.000         | 1.491.000     |
| Tarwegluten                   | 13.000.000         | 1.512.000     |
| Restproduct - brood en overig | 208.000.000        | 2.995.000     |

Bronnen: [Jukema, 2021](#); [Veraart, 2023](#); [Circular Feed Association](#).

### 5.1.4

#### *Suikerbieten*

De verwerking van suikerbieten tot suiker begint met de oogst, die plaatsvindt tussen september en januari. Deze periode staat bekend als 'de bietencampagne'. De bieten worden direct naar de verwerker gebracht om suikerverlies te voorkomen. Tijdens het verwerkingsproces worden de bieten gewassen, gesneden en gekookt om het suiker eruit te halen. Hierbij ontstaan bijproducten en reststromen, zoals bietenpulp en melasse. Deze worden voornamelijk gebruikt als diervoeder of voor vergisting. De suikerverwerkende industrie richt zich ook op het winnen

van Rubisco-eiwit uit bietenblad ([Busmann, 2020](#)). Vrijwel alle Nederlandse suikerbieten worden in Nederland verwerkt, want de import en export van suikerbieten zijn beperkt en vinden vooral plaats tussen Duitsland en België om transportafstanden te minimaliseren.

| <b>Reststromen suikerbieten</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|---------------------------------|--------------------|---------------|
| Bietenstaartjes                 | 79.000.000         | 126.000       |
| Bietenperspulp                  | 1.442.000.000      | 4.615.000     |
| Betacal (schuimaarde)           | 157.000.000        | 0             |
| Melasse                         | 229.000.000        | 2.570.000     |
| Vinasse                         | nb                 | nb            |
| Proceswater                     | nb                 | nb            |
| Zuiveringsslib                  | nb                 | nb            |

Bron: [Locker, 2021](#); [Smit, 2016](#); [EOS Wetenschap – Tracé van suiker](#).

#### 5.1.5

##### *Wortelen*

De verwerking van wortels door de industrie tot wortelsap en andere producten omvat verschillende stappen, waaronder wassen, schillen, en persen. Tijdens dit proces ontstaan bijproducten en reststromen, zoals wortelschillen, -schraapsel en -pulp. Deze bijproducten worden vanwege hun voedingswaarde vaak als diervoeder gebruikt. Het is onbekend hoeveel wortels jaarlijks door de industrie in Nederland worden verwerkt.

| <b>Reststromen wortelen</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Wortelschillen en -toppen   | nb                 | nb            |
| Wortelschraapsel            | nb                 | nb            |
| Wortelpulp                  | nb                 | nb            |

Bronnen: [Food from Food – Wortelen](#); [Kaur 2022](#).

#### 5.1.6

##### *Uien*

De verwerking van uien in de industrie resulteert in diverse producten, zoals uienolie en gesneden uien. Tijdens het pellen en snijden van uien ontstaan reststromen, zoals uienstaarten, wortels, pellen en sap. Geschat wordt dat in dit proces ongeveer 35 procent van de ui verloren gaat. Deze reststromen worden vaak gebruikt voor diervoeder of vergisting. Bij de productie van uienolie komen uienpulp en uienwater vrij als bijproducten. Het is onbekend hoeveel uien in Nederland verwerkt worden tot gesneden ui of uienolie.

| <b>Reststromen uien</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-------------------------|--------------------|---------------|
| Uienstaarten en wortels | nb                 | nb            |
| Uienpellen              | nb                 | nb            |
| Uiensap                 | nb                 | nb            |
| Uienpulp                | nb                 | nb            |
| Uienwater               | nb                 | nb            |

Bronnen: [Meeusen-van Onna, 2013](#); [Van Dijke, 2012](#); [Agro & Chemie - Mogelijkheden voor reststromen van uien](#).

#### 5.1.7

##### *Tomaten*

Tijdens de industriële verwerking van tomaten tot producten, zoals sap, sauzen en andere voedingsmiddelen, ontstaan verschillende reststromen, goed voor 3-5 procent (w/w) van de totale rauwe tomaten.

Deze reststromen bestaan uit velletjes, zaden en een kleine hoeveelheid pulp. Die vormen de belangrijkste reststromen voor de tomaten-verwerkende industrie die deze verwerkt tot veevoeder. In Nederland worden tomaten geteeld voor de versmarkt. Deze zijn zodoende niet bestemd voor industriële verwerking.

| <b>Reststromen tomaten</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|----------------------------|--------------------|---------------|
| Tomatenvellen              | nb                 | nb            |
| Tomatenzaadjes             | nb                 | nb            |
| Steeltjes                  | nb                 | nb            |
| Tomatenpulp                | nb                 | nb            |

Bronnen: [Eslami, 2023](#); [EOS Wetenschap – Tracé van tomaat](#).

#### 5.1.8

##### *Paprika*

Paprika's worden in de voedselindustrie verwerkt tot verschillende producten, zoals sauzen, soepen, en kant-en-klaarmaaltijden. Bij de industriële verwerking van paprika's komen verschillende reststromen vrij, waaronder zaden, velletjes en steeltjes, die kunnen worden gebruikt voor compost of als ingrediënt in diervoeding. Er is geen specifieke informatie beschikbaar over het exacte aantal paprika's dat door de voedselindustrie wordt verwerkt.

| <b>Reststromen paprika</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|----------------------------|--------------------|---------------|
| Paprikazaden               | nb                 | nb            |
| Paprikavellen              | nb                 | nb            |
| Steeltjes                  | nb                 | nb            |

Bronnen: [Anaya-Esparza, 2021](#); [EOS Wetenschap – Tracé van paprika](#).

#### 5.1.9

##### *Komkommer*

Komkommer wordt verwerkt voor conservering of als verse stukken voor 'ready-to-eat'-groenten in diverse producten, zoals salades, tzatziki, atjar, en smoothies. Het belangrijkste afval van de komkommerverwerking is ofwel de schil of hele plakjes. De schatting is dat deze reststromen ongeveer 12 procent van de verwerkte komkommers uitmaken. Het exacte aantal komkommers dat jaarlijks in Nederland tot verschillende producten wordt verwerkt, is niet bekend.

| <b>Reststromen komkommer</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|------------------------------|--------------------|---------------|
| Komkommerschil               | nb                 | nb            |
| Komkommerzaadjes             | nb                 | nb            |
| Steeltjes                    | nb                 | nb            |
| Snijresten                   | nb                 | nb            |

Bron: [Szymańska-Chargot, 2017](#).

#### 5.1.10

##### *Witlof*

Bij het markt-klaarmaken van de witlofkropjes zijn de reststromen vooral de verwijderde blaadjes en het niet-vermarktbare witlof. Dit loopt op tot 20 à 25 procent van het totale gewicht. Witlof gaat na het markt-klaarmaken grotendeels direct naar supermarkten zonder verdere industriële verwerking. Witlof is het hele jaar door vers te krijgen, zodat er geen verwerking nodig is om die in alle seizoenen verkrijgbaar te maken. Bovendien kan de consument witlof klaarmaken zonder al te

veel werk, zodat een door de industrie verwerkt product minder kansen maakt.

| <b>Reststromen witlof</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|---------------------------|--------------------|---------------|
| Kuisen/marktklaar maken   | 13.000.000         | 21.000        |

Bronnen: [Roels, 2011](#); [VILT - Witloofresten](#); [EOS Wetenschap – Tracé van witloof](#).

#### 5.1.11 *Bruine bonen*

Bij de industriële verwerking van bruine bonen tot conserven worden de bonen eerst gesorteerd en gewassen. Vervolgens worden ze geblancheerd om enzymen te inactiveren en micro-organismen te doden. Daarna worden de bonen in blikken of glazen potten verpakt en gesteriliseerd om ze langer houdbaar te maken. Tijdens dit proces komen verschillende reststromen vrij, zoals peulenschillen, afvalwater en niet-conforme producten (bonen die niet voldoen aan de kwaliteitsnormen). Deze reststromen worden vaak hergebruikt of verwerkt tot diervoeder of compost. De verwachting is dat vrijwel alle bruine bonen die in Nederland geteeld worden, verwerkt worden tot conserven in blik of pot. Het is echter niet bekend hoe groot de bijbehorende reststromen zijn.

| <b>Reststromen bruine bonen</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|---------------------------------|--------------------|---------------|
| Peulenschillen                  | nb                 | nb            |
| Proceswater                     | nb                 | nb            |
| Niet-conforme producten         | nb                 | nb            |

Bronnen: [De Groene Keuken van HAK](#); [EOS Wetenschap – Tracé van peulvruchten](#).

#### 5.1.12 *Samenvatting plantaardige sector*

De door ons uitgevoerde inventarisatie van reststromen in de verwerking van akker- en tuinbouwgewassen in de industrie toont aanzienlijke hoeveelheden reststromen, met een totaal van bijna 4,7 miljard kilogram en 34 miljoen kilogram stikstof. De grootste reststromen komen van suikerbieten, tarwe en aardappelen. Daarbij vormt bietenperspulp de grootste reststroom, goed voor ongeveer 30 procent van de totale geïnventariseerde reststromen. Tarwe draagt ook aanzienlijk bij aan de reststromen, voornamelijk door de import van veel graan. Veel van deze reststromen worden opnieuw gebruikt voor het maken van diervoeder. Dat draagt bij aan het verminderen van verspilling en het bevorderen van een circulaire economie.

Er zijn echter veel hiaten in de gegevens, zoals het ontbreken van informatie over de hoeveelheid product die in Nederland door de industrie wordt verwerkt, de omvang van de reststromen die daarbij vrijkomen, en de rol van import en export op de omvang van de industriële reststromen. Deze hiaten belemmeren een volledig inzicht in de reststromen.

## 5.2 **Dierlijke sector**

Dieren vanuit de primaire fase worden geslacht en verwerkt. Ook worden slachtdieren geïmporteerd en verwerkt. Daarnaast worden op industriële schaal eieren verwerkt. Daarbij ontstaan reststromen. Deze reststromen worden in Nederland verwerkt en/of naar het buitenland geëxporteerd. Ook worden reststromen (food grade en Cat-3-bijproducten)

geïmporteerd. Sommige verwerkende bedrijven beschikken over een afvalwaterzuiveringsinstallatie (awzi). Slib dat daarbij ontstaat, wordt ook als een reststroom beschouwd.

#### 5.2.1 Stikstofberekening

Om stikstofverliezen in overige dierlijke reststromen uit de industriële verwerking te berekenen, zijn omrekeningsfactoren toegepast. Deze geven aan hoeveel kilogram stikstof (N) aanwezig is per kilogram van het betreffende restproduct, afhankelijk van de categorie waarin de reststroom valt:

- $N \text{ (kg)} = 0,0349 \times \text{gewicht (kg)}$  Food grade-reststromen
- $N \text{ (kg)} = 0,015 \times \text{gewicht (kg)}$  Categorie 3-reststromen
- $N \text{ (kg)} = 0,01 \times \text{gewicht (kg)}$  Categorie 2 en 1-reststromen

Deze omrekeningsfactoren zijn gebaseerd op de geschatte samenstelling van de reststromen en op expert-judgement van het projectteam.

#### 5.2.2 Runderen

Slachtafval uit de runderslachterijen bestaat uit food grade-slachtafval (wel geschikt voor humane consumptie, maar afgewaardeerd tot Cat-3-materiaal) en niet-food grade, Cat-3 en Cat-1- + Cat-2-materiaal. Tot het runder Cat-3-materiaal behoren organen, ingewanden, bloed, beenderen en huid. De inhoud van het maagdarmkanaal en mest behoren tot Cat-2, terwijl de dunne darm, het ruggenmerg, de wervelkolom, hersenen, oog, schedel en tonsillen behoren tot Cat-1 (info: [NVWA - Afvoermogelijkheden van dierlijke bijproducten](#)). Slachtafval (food grade en Cat-3) wordt ook geïmporteerd en geëxporteerd.

| Reststromen runderen | Omvang (kg) | N (kg)    |
|----------------------|-------------|-----------|
| Food grade           | 52.615.718  | 1.836.052 |
| Cat-3                | 216.000.000 | 3.240.000 |
| Cat-2 + 1            | 138.000.000 | 1.380.00  |
| Slib                 | nb          | nb        |

Bronnen: [Broeze, 2023](#); [CBS Statline - Goederensoorten naar EU, niet-EU - natuur, voeding en tabak, 2008-2022](#).

#### 5.2.3 Varkens

Slachtafval uit varkensslachterijen bestaat uit food grade-slachtafval, Cat-3- en Cat-2-materiaal. De categorie food grade bestaat uit voor humane consumptie geschikt materiaal dat wordt afgewaardeerd, Cat-3 omvat alle globaal de ingewanden (inclusief darmen), los van het karkas gesneden delen als kop en onderpoten, en de haren. Alleen mest, darminhoud en fecaal bezoedelde delen moeten als Cat-2 worden beschouwd (info: [NVWA - Afvoermogelijkheden van dierlijke bijproducten](#)). Ook voor varkensslachtafval geldt dat er food grade en Cat-3-materiaal geïmporteerd en geëxporteerd wordt.

| Reststromen varkens | Omvang (kg) | N (kg)     |
|---------------------|-------------|------------|
| Food grade          | 627.888.203 | 21.908.559 |
| Cat-3               | 75.000.000  | 1.125.000  |
| Cat-2               | 33.500.000  | 335.000    |
| Slib                | nb          | nb         |

Bronnen: [Broeze, 2023](#); [CBS Statline - Goederensoorten naar EU, niet-EU - natuur, voeding en tabak, 2008-2022](#).

#### 5.2.4 *Pluimvee*

De omvang van de reststromen die bij het slachten van kippen vrijkomen, is relatief klein. Naast eieren, veren en food grade-materiaal vormen, net als bij varkens, de ingewanden en de delen die tijdens het slachten (tot panklaar karkas) los gesneden worden van het karkas het Cat-3-materiaal en vormen mest en darminhoud tezamen het Cat-2-materiaal (info: [NVWA - Afvoermogelijkheden van dierlijke bijproducten](#)). Food grade- en Cat-3-materiaal worden ook geïmporteerd en geëxporteerd. Eieren kunnen in een industriële fase verwerkt worden. Eieren kunnen bijvoorbeeld gescheiden worden tot eiwit en eiwit, waarbij reststromen ontstaan. Hierover zijn geen gegevens gevonden.

| <b>Reststromen pluimvee</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Food grade                  | 46.067.390         | 1.607.545     |
| Cat-3                       | 291.000.000        | 4.365.000     |
| Cat-2                       | 69.500.000         | 695.000       |
| Slib                        | nb                 | nb            |

Bronnen: [Broeze, 2023](#); [CBS Statline - Goederensoorten naar EU, niet-EU - natuur, voeding en tabak, 2008-2022](#).

#### 5.2.5 *Samenvatting dierlijke sector*

Bij de industriële verwerking van dieren en eieren ontstaat jaarlijks een reststroom van circa 1,5 miljard kilogram, waarvan ongeveer 36 miljoen kilogram stikstof. Deze reststromen worden niet benut voor menselijke consumptie. Het grootste deel van deze reststromen bestaat uit zogenoemd food grade-materiaal: producten die technisch geschikt zijn voor menselijke consumptie, maar om andere redenen niet als zodanig worden gebruikt. Dit betreft ongeveer 726 miljoen kilogram, goed voor ongeveer 25 miljoen kilogram stikstof. De varkens verwerkende industrie levert hierin het grootste aandeel, met circa 628 miljoen kilogram food grade-reststromen, waarin 22 miljoen kilogram stikstof is vervat. Daarnaast is er sprake van internationale handel in dierlijke reststromen. Per saldo wordt er ongeveer 263 miljoen kilogram geëxporteerd, wat overeenkomt met een stikstofhoeveelheid van circa 6 miljoen kilogram.

### 5.3 **Zuivelsector**

Bij de verwerking van koemelk tot zuivelproducten ontstaan diverse reststromen. Op basis van literatuuronderzoek (waaronder raadpleging van de Scopus-database) en gesprekken met experts uit de zuivelsector zijn deze reststromen zo volledig mogelijk in kaart gebracht. Deze analyse is voornamelijk kwalitatief van aard, aangezien er van veel reststromen geen centrale of systematische gegevensregistratie beschikbaar is.

Tijdens de verwerking van rauwe melk tot magere, halfvolle en volle melk wordt de melk gescheiden in magere melk en room. De vrijgekomen room wordt vervolgens verder verwerkt tot room- en boterproducten. Bij deze processen ontstaan ook nevenstromen, zoals karnemelk ([Banaszewska, 2013](#)). De overblijfselen uit deze processen worden verder verwerkt tot waardevolle ingrediënten zoals melkpoeder, lactose, eiwitten en vetten, die worden toegepast in andere voedingsmiddelen en producten.

Binnen de kaasproductie ontstaan reststromen zoals perswei, evenals losse nutriënten zoals eiwitten, lactose en mineralen. Daarnaast komen er waterige reststromen vrij, zoals pekelwater, dat via filtratie kan worden gezuiverd om schoon water terug te winnen. Bij de productie van melkpoeder en gecondenseerde melk ontstaan aanvullende reststromen, waaronder zuivelspoeling, melkeiwitconcentraten, melkpermeaten en suikerrijke concentraten. Ook na verdere verwerking van zuivelproducten ontstaan reststromen. Dit betreft onder andere producten die niet geschikt zijn voor verkoop, maar nog wel voor consumptie. Deze worden vaak gedoneerd aan voedselbanken. Producten die niet meer geschikt zijn voor consumptie worden doorgaans ingezet als biomassa voor vergisting of compostering. De grootste verliespost bij de productie van zuivelproducten op basis van koemelk is doorgaans afvalwater ([Banaszewska, 2013](#); [Dolman, 2016](#)). Dit afvalwater wordt afgevoerd naar waterzuiveringsinstallaties, waarbij zuiveringsslib vrijkomt. Dit slib wordt momenteel onderzocht op toepasbaarheid als insectenvoer, onder andere binnen het WUR-project KB34 (zie hoofdstuk 3.2).

Binnen de zuivelsector zijn de stikstofverliezen relatief beperkt, doordat een groot deel van de bijproducten en reststromen opnieuw wordt benut binnen de keten. Ingrediënten zoals eiwitten, lactose, vetten en melkpoeder worden opgezuiverd en toegepast in andere voedingsmiddelen. Ook reststromen zoals perswei, melkpermeaten en karnemelk vinden vaak een nuttige bestemming, bijvoorbeeld in diervoeding of als grondstof voor andere producten. Toch zijn er enkele verliesstromen die moeilijker te verwaarden zijn. Dit betreft onder andere leidingresten die via het afvalwater verdwijnen, evenals melkproducten die om kwaliteits- of veiligheidsredenen niet geschikt zijn voor consumptie. Producten die nog wel veilig zijn, worden vaak gedoneerd aan voedselbanken; de rest wordt ingezet voor vergisting of compostering. De exacte omvang van deze verliesstromen is echter onbekend, omdat ze niet centraal worden geregistreerd of gemonitord. Wel wordt afvalwater beschouwd als de belangrijkste verliespost binnen de sector.

#### **5.4 Visserijsector**

Bij de verwerking van vis tot visfilets en vismoten ontstaan verschillende reststromen, waaronder koppen, huiden (inclusief schubben), graten, ingewanden en vinnen ([Hanseeuw, 2014](#)). Ook bij de industriële verwerking van schaal- en weekdieren ontstaan reststromen, zoals schelpen, garnalendoppen en ziftsel (zeefverliezen).

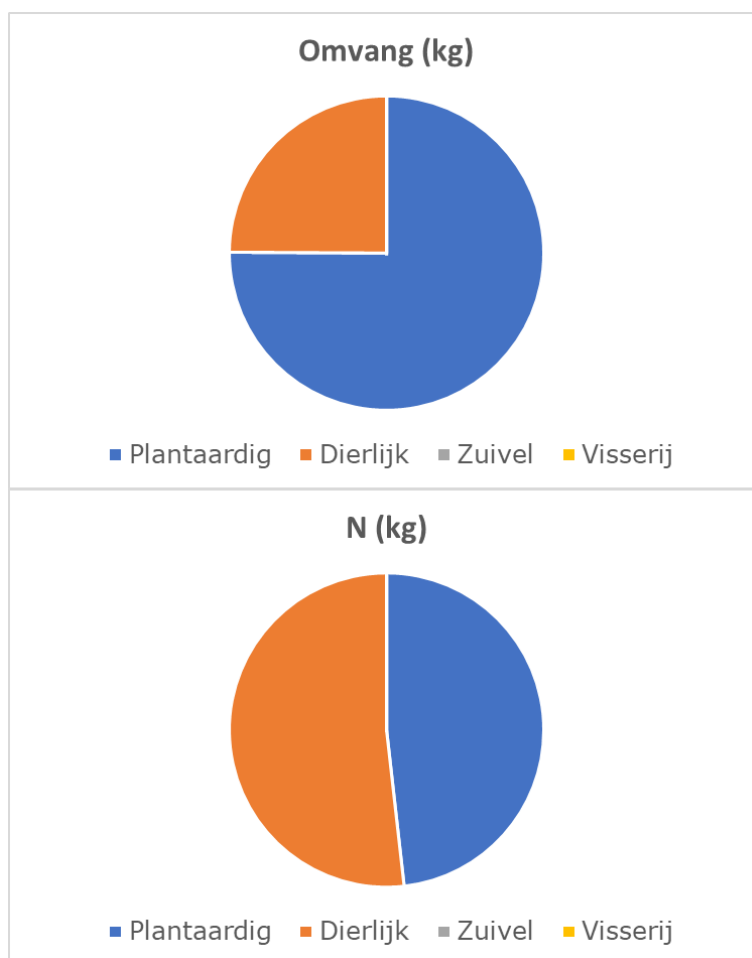
Omdat de productie van deze reststromen niet centraal wordt geregistreerd, zijn er geen betrouwbare kwantitatieve gegevens beschikbaar.

#### **5.5 Samenvatting van reststromen uit de industriële verwerking**

De totale reststroom die vrijkomt bij de industriële productie van ons voedsel in 2021 wordt geschat op ongeveer 6,2 miljard kg, waarvan 75 procent uit plantaardig materiaal bestaat. Daarnaast bedraagt de omvang van stikstof in deze reststroom ongeveer 70 miljoen kg. Deze

schatting is gebaseerd op de inventarisatie die wij binnen dit project hebben uitgevoerd (zie Figuur 4 en Tabel 7).

*Figuur 4 Vergelijking van de omvang van geïnventariseerde reststromen uit de industriële verwerking van voedsel (in 2021). Het bovenste cirkeldiagram toont de totale massa van reststromen (in kg), geschat op 6,2 miljard kg. Het grootste deel hiervan bestaat uit plantaardige reststromen. Het onderste cirkeldiagram geeft de verdeling weer op basis van de hoeveelheid stikstof (N, in kg) in deze reststromen. De omvang van de reststromen uit de zuivel- en visserij sector is niet bekend, maar deze reststromen worden als 'relatief klein' (verwaarloosbaar) geschat. De onderliggende data is weergegeven in Tabel 7.*



*Tabel 7 Overzicht van de omvang van geïnventariseerde reststromen uit de industriële verwerking van voedsel (in 2021). De totale massa van reststromen (in kg) en de hoeveelheid stikstof (N, in kg) in deze reststromen. De omvang van de reststromen uit de zuivel- en visserij sector is niet bekend (nb), maar deze reststromen worden als 'relatief klein' (verwaarloosbaar) geschat.*

| <b>Reststromen</b> | <b>Omvang (kg)</b>   | <b>N (kg)</b>     |
|--------------------|----------------------|-------------------|
| Plantaardig        | 4.672.000.000        | 33.973.000        |
| Waarvan suikerbiet | 1.907.000.000        | 7.311.000         |
| Waarvan tarwe      | 1.716.000.000        | 21.540.000        |
| Waarvan aardappel  | 1.034.000.000        | 5.101.000         |
| Dierlijk           | 1.549.516.311        | 36.492.156        |
| Waarvan varken     | 736.388.203          | 23.368.559        |
| Waarvan rund       | 406.615.718          | 6.455.052         |
| Waarvan pluimvee   | 406.567.390          | 5.973.240         |
| Zuivel             | nb                   | nb                |
| Visserij           | nb                   | nb                |
| <b>Totaal</b>      | <b>6.221.516.311</b> | <b>70.465.156</b> |

## 6 Reststromen uit de foodservices, retail en consumenten

### 6.1 Foodservices en retail

Tot de foodservices worden onder andere de hotels, restaurants en cafés (horeca) gerekend. Maar ook bijvoorbeeld bedrijfskantines, sportkantines en benzinepompstations met een voedselverkooppunt. De horeca produceert jaarlijks 61 miljoen kg maaltijdresten.

Cateringbedrijven zijn verantwoordelijk voor 5 miljoen kg maaltijdresten. In totaal genereert de foodservicesector jaarlijks dus zo'n 66 miljoen kg maaltijdresten, waarvan bijna 13 miljoen kg van dierlijke oorsprong is (de grootste stikstof bron) (zie Tabel 8). Bij hoeveelheden groter dan 200 kg worden etensresten afgevoerd als Cat-3-materiaal ([Broeze, 2023](#)). Meer relevante gedetailleerde informatie is niet gevonden over reststromen uit overige foodservices (zoals sportkantines, et cetera).

Van supermarkten is meer informatie beschikbaar over de samenstelling van hun reststromen. Deze bestaan uit: 34,5 procent aardappelen, groenten en fruit (AGF); 31,5 procent brood, afbakbrood en banket; 13,3 procent zuivel, eieren en gekoelde kant-en-klaarproducten; 7,5 procent vers vlees en verse vis; en 13,2 procent overige verse en houdbare producten ([CBL – Voedselverspilling](#)). Supermarkten produceren jaarlijks in totaal ongeveer 180 miljoen kilogram afval. Daarvan is bijna 37,5 miljoen kilogram van dierlijke oorsprong, waaronder vers vlees en verse vis, zuivelproducten, eieren, en kant-en-klaarmaaltijden ([Broeze, 2023](#); [Samen tegen Voedselverspilling - Voedselverspilling supermarkten](#)). Voor andere levensmiddelenbedrijven dan supermarkten zijn geen relevante gegevens beschikbaar. Volgens Broeze et al. (2023) wordt 80 tot 90 procent van alle vlees, zuivel en eieren verkocht via supermarkten ([Broeze, 2023](#)). Hierdoor vindt het grootste deel van het stikstofverlies plaats via supermarkten.

*Tabel 8 Reststromen en stikstofverliezen uit foodservices en retail.*

| <b>Voedselverkoop</b> | <b>Omvang (kg)</b> | <b>Dierlijk (kg)</b> | <b>N (kg)</b> |
|-----------------------|--------------------|----------------------|---------------|
| Foodservice horeca    | 61.000.000         | 11.834.000           | 189.344       |
| Foodservice catering  | 5.000.000          | 910.000              | 14.560        |
| Foodservice overig    | nb                 | nb                   | nb            |
| Supermarkten          | 180.000.000        | 37.440.000           | 599.040       |

Bronnen: [Broeze, 2023](#); [Samen tegen Voedselverspilling - Voedselverspilling supermarkten](#).

#### 6.1.1 Stikstofberekening

De gegevens over reststromen uit retail en foodservices zijn afkomstig uit Broeze et al (2023) ([Broeze, 2023](#)). In deze bron is ook de omvang van het dierlijk afval binnen deze reststromen beschreven. Voor het schatten van het stikstofverlies (N) is aangenomen dat dierlijk afval gemiddeld voor 10 procent uit eiwit bestaat. Omdat eiwit gemiddeld voor 16 procent uit stikstof bestaat, is de volgende omrekeningsfactor toegepast:

- $N \text{ (kg)} = \text{gewicht dierlijk afval (kg)} \times 0,016$   
Deze factor is gebruikt om de hoeveelheid stikstof deze reststromen te berekenen. In deze berekening is uitsluitend het stikstofverlies uit het dierlijke deel van de reststromen

meegenomen. Plantaardige reststromen of andere componenten zijn buiten beschouwing gelaten.

## 6.2 Consument

In Nederland is (in 2021) ongeveer 3.6 miljard kg restafval en 1.7 miljard kg GFT-afval verzameld door gemeenten ([CBS - Minder huishoudelijk afval in 2021](#)) (zie Tabel 9).

Het Voedingscentrum heeft de hoeveelheid voedselresten in het door Nederlandse huishoudens geproduceerd afval, restafval en GFT-afval, onderzocht ([Van Lieshout, 2022](#)). Het onderzoek van het Voedingscentrum baseert zich op zelfrapportage (door consumenten) en op de analyse van afvalsamenstelling. Hieruit is de gemiddelde hoeveelheid voedselverspilling in Nederland per persoon per jaar berekend: 33,4 kg (dit is lager dan de 48 kg die door Soethoudt & Vollebregt (2024) is gepubliceerd ([Soethoudt, 2024](#))). Brood en deegwaren (6,2 kg), groente (4,4 kg), fruit (4,3 kg), aardappelen (2,8 kg) en zuivel (2,8 kg) vormen de top vijf. Samen zorgen ze voor 61 procent van alle voedselverspilling in Nederlandse huishoudens ([Van Lieshout, 2022](#)).

Volgens het Voedingscentrum bevatte het Nederlandse restafval in 2022 circa 78 miljoen kilogram aan dierlijk materiaal ([Van Lieshout, 2022](#)). Dat komt overeen met ongeveer 2,3 miljoen kilogram stikstof (N). In het GFT-afval werd daarnaast ongeveer 13,7 miljoen kilogram aan dierlijke producten aangetroffen, goed voor een geschatte 0,5 miljoen kilogram stikstof.

*Tabel 9 Reststromen en stikstofverliezen via Nederlandse consumenten.*

| Hoeveelheid afval | Omvang (kg)   | Voedsel (kg) | Dierlijk (kg) | Stikstof (kg) |
|-------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| GFT               | 1.746.000.000 |              |               |               |
| Restafval         | 3.582.000.000 |              |               |               |
| Totaal            | 5.328.000.000 | 864.000.000  | 125.280.000   | 3.758.400     |

Bron: [Soethoudt, 2024](#).

### 6.2.1 Stikstofberekening

In Nederland verspilt een consument gemiddeld 48 kg voedsel per jaar. Bij een bevolking van circa 18 miljoen inwoners komt dit neer op een totale voedselverspilling van ongeveer 864 miljoen kilogram per jaar. Van dit totaal wordt aangenomen dat 14,5 procent (0,145) bestaat uit dierlijke producten, waaronder vlees, vleeswaren, vis, kaas, zuivel en eieren. Voor het berekenen van het stikstofverlies uit deze dierlijke fractie is uitgegaan van gemiddelde stikstofpercentages per productgroep: 4 procent voor vlees, vis en kaas; 0,56 procent voor zuivel; 1,9 procent voor eieren. Op basis van deze verhoudingen is een gemiddeld stikstofgehalte van 3 procent voor het totale dierlijke afval berekend. Deze omrekeningsfactor is toegepast om het stikstofverlies via dierlijk huishoudelijk afval te schatten:

- $N \text{ (kg)} = \text{gewicht dierlijk afval (kg)} \times 0,03$   
Deze factor is gebruikt om de hoeveelheid stikstof in deze reststromen te berekenen. In deze berekening is uitsluitend het stikstofverlies uit het dierlijke deel van de reststromen meegenomen. Plantaardige reststromen of andere componenten zijn buiten beschouwing gelaten.

## 7 Valorisatie

Een circulair voedselsysteem streeft naar maximale voedselzekerheid, waarbij reststromen uit verschillende voedselproductieketens zoveel mogelijk opnieuw worden benut. Deze reststromen kunnen direct worden ingezet voor humane consumptie, bijvoorbeeld via Voedselbanken. Wanneer dat niet mogelijk is, kunnen plantaardige reststromen worden gebruikt als diervoeder of als bemestingsstof. Ook mest en diermeel kunnen worden ingezet in de teelt van gewassen. Op die manier blijven reststromen indirect behouden voor de voedselketen en dragen ze bij aan voedselzekerheid.

Toch betekent hergebruik van reststromen niet automatisch dat de maximale voedselzekerheid behouden blijft. Sommige reststromen worden bijvoorbeeld ingezet voor de teelt van niet-eetbare gewassen, of voor de voeding van dieren die niet voor menselijke consumptie bestemd zijn. In die gevallen dragen ze niet direct bij aan de beschikbaarheid van voedsel voor mensen. Bovendien treden in de primaire productie altijd verliezen op, zoals bodemverliezen of inefficiënte omzetting van voer naar dierlijk product. Daarnaast zijn bepaalde reststromen simpelweg niet geschikt voor menselijke consumptie, waardoor ze alleen een rol kunnen spelen in andere schakels van het systeem.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de valorisatiemogelijkheden van de eerder in kaart gebrachte reststromen, evenals van de technologieën die worden ingezet om deze stromen te verwerken tot producten die geschikt zijn voor humane consumptie. Deze technologieën dragen bij aan het vergroten van de voedselzekerheid door het optimaal benutten van beschikbare biomassa binnen het voedselsysteem.

### 7.1 **Plantaardige reststromen**

#### 7.1.1 *Zoekstrategie*

De zoekstrategie voor de verwerking van plantaardige reststromen die vrijkomen bij oogsten of tijdens de verwerking van gewassen in de voedselindustrie, is uitgevoerd via websearch en literatuuronderzoek. In eerste instantie is de focus gelegd op organisaties en bedrijven binnen Nederland. Hierbij zijn bestaande initiatieven geïdentificeerd die zich inzetten voor een zo hoogwaardig mogelijke verwerking van deze reststromen. Het doel van deze initiatieven is om afval te voorkomen en de reststromen een herbestemming te geven voor menselijke consumptie. Dit omvat onder andere het voorkomen van afval en de herbewerking van plantaardige reststromen tot voedselproducten voor mensen, waardoor waardevolle voedingsstoffen behouden blijven en verspilling wordt geminimaliseerd.

Daarnaast is er uitgebreid gezocht in de literatuur en online naar bestaande en nieuwe verwerkingsmethoden van plantaardige reststromen. Hierbij zijn wetenschappelijke artikelen, rapporten en andere relevante bronnen geraadpleegd om een beeld te krijgen van de huidige stand van zaken en innovaties op dit gebied.

### 7.1.2 *Valorisatiemogelijkheden*

Bij het oogsten en verwerken van gewassen tot producten in de voedselindustrie ontstaan plantaardige bijproducten of reststromen, zoals bladeren, stengels en afgekeurde producten. Deze bijproducten worden op dit moment op verschillende manieren verwerkt, bijvoorbeeld tot diervoeder, groenbemester, compost of via vergisting tot biogas. In Nederland is de verwerking van bijproducten tot diervoeder strikt gereguleerd door de Nederlandse wetgeving. Deze wordt gecontroleerd door de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) ([NVWA - Regels voor plantaardige bijproducten als grondstof voor diervoeder](#)).

De valorisatie van plantaardige reststromen, oftewel het opwaarderen van deze materialen tot waardevolle producten, is een belangrijk aspect binnen de circulaire economie ([Kips, 2014](#)). De valorisatiemogelijkheden die in de volgende paragrafen toegelicht worden, bieden een meerwaarde ten opzichte van storten of verbranden.

#### 7.1.2.1 *Voor humane consumptie*

Er zijn veel verschillende soorten plantaardige reststromen die op creatieve manieren zijn te hergebruiken voor voedsel. Enkele voorbeelden zijn: 1) groente- en fruitresten kunnen worden gebruikt om spreads, soepen, of zelfs snacks te maken (zie bijvoorbeeld [De Verspillingsfabriek](#)). 2) oesterzwamvoetjes kunnen worden verwerkt tot vleesvervangers (in plaats van diervoeder) (zie [Flanders' FOOD - Wat met oesterzwamvoetjes?](#)). 3) bierbostel is een restproduct van de bierbrouwerij en kan worden gebruikt om brood te maken ([Vakblad Voedingsindustrie - Kansen voor bierborstel als voedingsingrediënt](#)). 4) koffiedik kan gebruikt worden voor het kweken van oesterzwammen (zie [Rotterzwam](#)).

In plaats van de reststromen in hun geheel te gebruiken, zijn ze ook op te splitsen in basiscomponenten die nuttig zijn voor de voedingsindustrie. Belangrijke componenten zijn voedingsvezels, eiwitten en secundaire metabolieten ([Capanoglu, 2022](#); [Betoret, 2024](#)). Voedingsvezels bevatten onverteerbare koolhydraten, zoals cellulose, pectine en hemicellulose. Ze kunnen technologische functies vervullen, zoals verdikkingsmiddel, emulgator of stabilisator (zie bijvoorbeeld [PeelPioneers](#)).

De extractie van eiwitten uit plantaardige reststromen krijgt steeds meer aandacht vanwege de groeiende behoefte aan duurzame eiwitbronnen ([DBC - Valorisatie van eiwithoudende gewassen en reststromen](#); [DBC - Valorisatie van eiwithoudende reststromen](#)).

Plantaardige eiwithoudende reststromen zijn bijvoorbeeld reststromen uit de aardappelverwerking, bietenloof, en bietenperspulp (bijvoorbeeld [Cosun - Focus op plantaardige eiwitten](#)). Enkele belangrijke gebruikte methoden zijn: mechanische/chemische extractie, droogfractionering en fermentatie. Plantaardige eiwithoudende reststromen zijn momenteel moeilijk te valoriseren vanwege hun hoge vochtgehalte en relatief lage eiwitconcentraties ([Kips, 2014](#)).

Secundaire metabolieten zijn complexe moleculen die door planten worden aangemaakt. Ze hebben vaak specifieke functies die de overlevingskansen van de plant vergroten. Deze metabolieten zijn niet alleen nuttig voor de plant, maar hebben soms ook een geneeskrachtige

waarde en/of kunnen worden gebruikt als kleur-, geur- of smaakstoffen in voedingsmiddelen ([Van Gils, 2017](#); [Kips, 2014](#)).

Door innovatieve technieken zijn deze reststromen om te zetten in producten die zowel gezondheidsvoordelen bieden als technologische functies vervullen. Hoewel er uitdagingen zijn bij de extractie en valorisatie van bepaalde componenten, blijft het potentieel groot voor duurzame en economische toepassingen.

#### 7.1.2.2 *Andere toepassingen dan humane consumptie*

Plantaardige reststromen die niet geschikt zijn voor menselijke consumptie, zijn nog op andere manieren te benutten. Dit hoofdstuk beschrijft enkele alternatieve toepassingen buiten de humane consumptie, waaronder gebruik als diervoeder, grondstof voor farmaceutische stoffen, materialen en chemicaliën, biociden, en voor compostering of vergisting.

##### Diervoeder:

Wanneer plantaardige reststromen niet geschikt zijn voor menselijke consumptie, zijn ze nog te gebruiken als veevoer, wat een waardevol alternatief is ([Noorduyn, 2004](#); [NMU - Reststromen](#)). Reststromen kunnen direct als ruwvoer aan veehouders worden verkocht of worden verwerkt tot mengvoer (zie bijvoorbeeld [Voerwaarts](#)). Ondanks de uitdagingen, blijft de inzet van reststromen in de diervoederindustrie een veelbelovende manier om duurzaamheid te bevorderen en voedselverspilling te verminderen ([Kips, 2014](#)).

##### Farmaceutische stoffen:

Plantaardige reststromen kunnen stoffen bevatten die waardevol zijn voor de farmaceutische en cosmetische industrie ([Adetunji, 2022](#)). Essentiële oliën uit bijvoorbeeld citrusvruchten worden gebruikt in parfums en medicijnen. Onderzoek richt zich ook op secundaire metabolieten, zoals flavonoïden en terpenen. Het gebruik van reststromen voor deze toepassingen is echter uitdagend vanwege variaties in biomassa en de hoge kwaliteits- en veiligheidseisen van farmaceutische bedrijven ([Kips, 2014](#)).

##### Materialen en chemicaliën:

Plantaardige reststromen kunnen een duurzaam alternatief vormen voor fossiele grondstoffen in de materialensector ([Mujtaba, 2023](#); [Kobayashi, 2021](#)). Ze zijn te gebruiken voor de productie van papier, karton, bioplastics en chemische bouwstenen. Bijvoorbeeld, vezels uit tomatenbladeren zijn te gebruiken voor verpakkingsmateriaal, en tomatenstengels zijn te verwerken tot karton ([Keijzers, 2013](#)). Hoewel bioplastics duurder zijn dan conventionele plastics, bieden ze voordelen, zoals lagere afhankelijkheid van olie. Kortom, plantaardige reststromen bieden veelbelovende mogelijkheden voor duurzame materialen ([Rijksoverheid – Biomaterialen](#)).

##### Biociden:

Plantaardige reststromen zijn in te zetten voor de productie van biocide producten. Dit zijn middelen die schadelijke organismen bestrijden met behulp van chemische of biologische stoffen. Deze producten kunnen onder andere functioneren als conserveermiddel of desinfectans. Door nieuwe wet- en regelgeving is er een groeiende vraag naar

milieuvriendelijke alternatieven voor conventionele biociden ([Pawłowska, 2022](#)). Biociden zijn te maken uit diverse plantaardige reststromen, zoals schillen en pulp van citrusvruchten, bladeren en stengels van munt en tijm, en reststromen van salie en lavendel. Deze natuurlijke middelen hebben bacteriedodende en schimmelwerende eigenschappen en worden gebruikt in verschillende sectoren zoals de geneeskunde, cosmetica, voeding en landbouw ([Kips, 2014](#)).

Composteren en vergisten:

Bodemverbeteraars die ontstaan door het composteren van plantaardige reststromen, verhogen het organische stofgehalte in de bodem ([WUR – Kringlooplandbouw](#)). Dit is cruciaal voor een goede bodemstructuur en waterretentie. Dat draagt bij aan de bodemvruchtbaarheid en indirect aan de productiecapaciteit van de bodem. Voor een goede bodemstructuur is echter goed bodemmanagement nodig waarbij ook diverse andere aspecten een rol spelen, zoals vruchtwisseling en grondbewerking ([De Haan, 2016](#)). Bij vergisting worden de reststromen omgezet in duurzame energie en digestaat. Vanwege het hoge vochtgehalte van deze reststromen is hun energetische waarde echter beperkt, wat resulteert in een relatief lage energieopbrengst ([Kips, 2014](#)).

### 7.1.3 *Verwerkingsmethoden*

Verschillende technologische ontwikkelingen richten zich op het hergebruiken van plantaardige reststromen om nieuwe voedselproducten te creëren. Hier volgen enkele interessante voorbeelden van technieken.

#### 7.1.3.1 *Drogen*

Het drogen van eetbare reststromen van gewassen of een overvloed aan seizoensfruit kan helpen om houdbare voedselproducten te maken. Dit proces vermindert de waterinhoud van bederfelijke materialen, waardoor ze langer houdbaar zijn. Gedroogde producten zijn te gebruiken in allerlei voedingsmiddelen, zoals snoep, soep, salades, energierepen en snacks. Hierdoor zijn er verschillende nieuwe droogtechnieken ontwikkeld ([Salim, 2017](#)).

Bijvoorbeeld: microwave-drogen maakt gebruik van microgolven om watermoleculen in het voedsel snel te verhitten en te verdampen. Dit resulteert in een snellere droogtijd en behoud van voedingsstoffen. Radiofrequentie drogen gebruikt elektromagnetische golven om warmte te genereren binnenin het product. Dit zorgt voor een gelijkmatige droging en is vooral nuttig voor grotere stukken voedsel. Infrarood drogen verwarmt het oppervlak van het voedsel, wat leidt tot een efficiënte en snelle droging. Deze methode is energiezuiniger en behoudt de kwaliteit van het voedsel. ([Hasan, 2019](#))

Een nieuwe energiezuinige techniek is ontwikkeld door het Nederlandse bedrijf [Multiphase Dryers](#). Zij gebruiken laagwaardige restwarmte die vrijkomt bij andere productieprocessen om voedsel- en drankreststromen te drogen. Dit maakt het mogelijk om reststromen betaalbaar en milieuvriendelijk te verwerken. Bijvoorbeeld, aardappelschillen kunnen worden gedroogd en verwerkt tot aardappelpuree, en bierbostel kan worden gebruikt als ingrediënt voor brood of vleesvervangers.

#### 7.1.3.2 *Extractie*

Een veelgebruikte methode om nuttige componenten uit plantaardige reststromen te halen, is door de plantencelwandstructuur af te breken. Dit kan met behulp van mechanische of chemische processen maar ook door gebruik te maken van nieuwe biologische methoden, zoals enzymatische extractie (EAE) en fermentatie-extractie (FAE). Die zijn de afgelopen jaren steeds populairder geworden als milieuvriendelijke alternatieven ([Berenguer, 2023](#)). Enzymatische extractie (EAE) maakt gebruik van specifieke enzymen om de celwanden van planten af te breken en waardevolle stoffen, zoals antioxidanten en vitamines, vrij te maken. Hierdoor kunnen deze efficiënter worden gewonnen voor gebruik in voedingsmiddelen, cosmetica of farmaceutische toepassingen. Fermentatie-extractie (FAE) daarentegen gebruikt micro-organismen om de plantencelwanden te fermenteren, wat resulteert in de productie van waardevolle metabolieten zoals organische zuren, alcoholen en enzymen. In een recent overzicht hebben onderzoekers een hulpmiddel ontwikkeld, de 'Food By-product Bioprocess Wheel' (FBBW), om de mogelijke toepassingen van EAE en FAE op drie groepen agro-industriële bijproducten (fruit, groenten, gewassen en granen) te beoordelen (Figuur 5) ([Vilas-Franquesa, 2024](#)).

Naast deze methoden zijn er ook andere innovatieve technieken in ontwikkeling, zoals superkritische CO<sub>2</sub>-extractie en ultrasone extractie. Superkritische CO<sub>2</sub>-extractie maakt gebruik van CO<sub>2</sub> in een superkritische toestand om waardevolle stoffen efficiënt en zonder gebruik van schadelijke oplosmiddelen te extraheren. Ultrasone extractie gebruikt hoogfrequente geluidsgolven om de celwanden te breken en de extractie van stoffen te verbeteren ([Berenguer, 2023](#)).

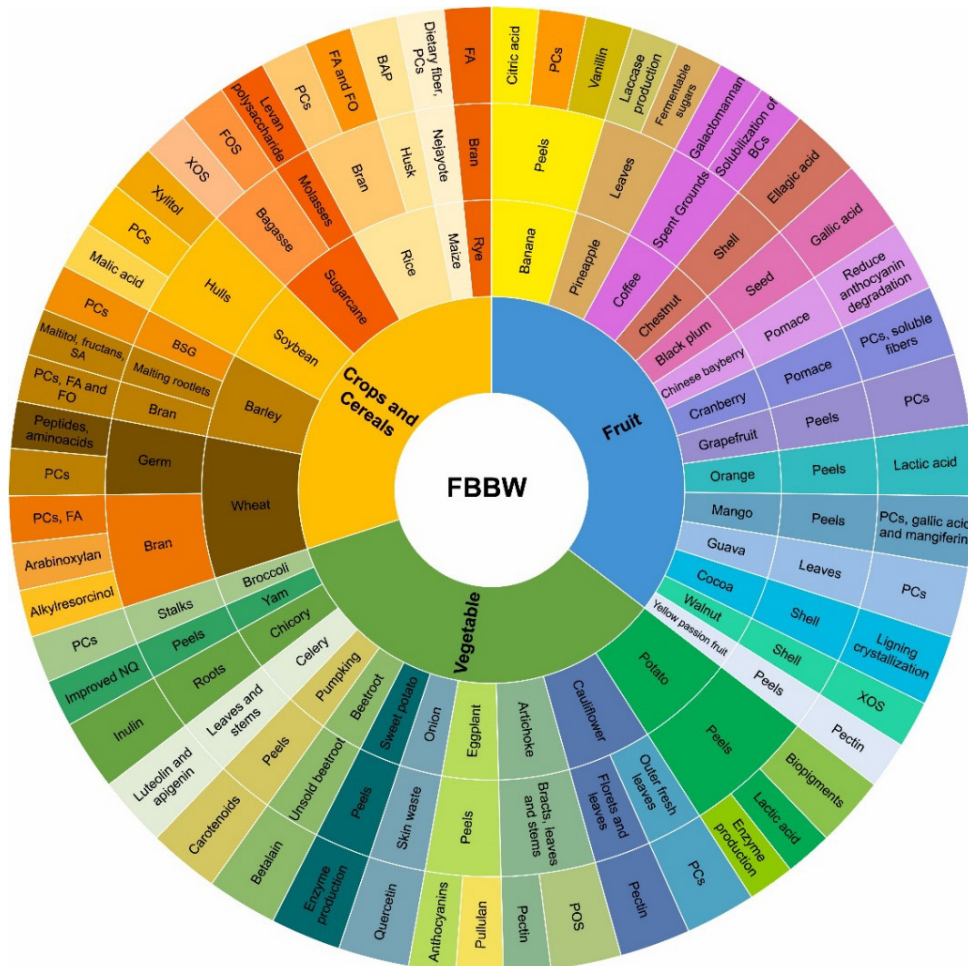
#### 7.1.3.3 *Fermentatie*

Fermentatie, ook bekend als bioconversie, wordt steeds vaker gebruikt om plantaardige reststromen om te zetten in nieuwe producten. Dit proces kan helpen bij het creëren van voedingsrijke ingrediënten, zoals eiwitten en vitamines, uit reststromen ([Sabater, 2020](#)). Resten van tomaten, zoals schillen en zaden, kunnen bijvoorbeeld worden gefermenteerd om waardevolle stoffen als lycopene en andere antioxidanten te produceren ([Moayed, 2016](#)). Naast voor de productie van voedingsingrediënten kunnen reststromen ook gefermenteerd worden voor de productie van bioplastics ([Tsang, 2019](#)), bio-energie en zelfs cosmetische producten. Deze veelzijdigheid maakt fermentatie een aantrekkelijke optie voor verschillende industrieën.

#### 7.1.3.4 *Extrusie*

Extrusie is een veelbelovende technologie voor het verwerken van plantaardige reststromen tot nieuwe, waardevolle producten voor menselijke consumptie ([Leonard, 2020](#)). Tijdens het extrusie-proces worden plantaardige materialen onder hoge druk en temperatuur door een matrijs geperst, wat leidt tot de vorming van nieuwe texturen en structuren. Dit proces kan bijvoorbeeld worden gebruikt om eiwitrijke snacks, vleesvervangers of voedzame ingrediënten te produceren uit reststromen zoals schillen, pulp en vezels ([Dey, 2021](#)).

Figuur 5 De Food By-product Bioprocess Wheel (FBBW).



Bron: [Vilas-Franquesa, 2024](#).

#### 7.1.3.5 Insecten

Insecten, zoals meelwormen en krekels, kunnen gevoed worden met reststromen uit de landbouw en voedingsindustrie, zoals groente- en fruitafval ([Mannaa, 2024](#)). Insecten zijn rijk aan eiwitten, vitaminen en mineralen, waardoor ze een voedzame aanvulling vormen op het menselijke of dierlijke dieet (diervoeder). Het kweken van insecten vereist minder land, water en voer in vergelijking met traditionele veeteelt, wat bijdraagt aan een lagere ecologische voetafdruk. Hierdoor kunnen insecten een belangrijke rol spelen in de toekomst van duurzame voedselvoorziening.

#### 7.1.3.6 Paddenstoelen

Het kweken van paddenstoelen op plantaardige reststromen biedt een duurzame en innovatieve oplossing voor voedselproductie. Door gebruik te maken van reststromen, zoals koffiedik en stro, kunnen paddenstoelen effectief groeien zonder extra belasting voor het milieu. Paddenstoelen zijn rijk aan voedingsstoffen, zoals eiwitten, vezels, vitaminen en mineralen. Hierdoor zijn ze een waardevolle toevoeging aan het menselijke dieet. Het kweken van paddenstoelen vereist een gecontroleerde omgeving met de juiste temperatuur en vochtigheid,

maar biedt een efficiënte manier om hoogwaardige voeding te produceren met minimale ecologische impact.

*Tabel 10 Voorbeelden van Nederlandse initiatieven die zich richten op de verwerking van plantaardige reststromen en het voorkomen van voedselverspilling.*

| <b>Organisatie (URL)</b>                              | <b>Beschrijving</b>                                                                   |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Caffe Inc.<br>( <a href="#">URL</a> )                 | Ontwikkelt nieuwe grondstoffen uit koffiebijproducten, zoals koffiedik.               |
| Rotterzwam<br>( <a href="#">URL</a> )                 | Verwerkt koffiedik tot oesterzwammen en andere hoogwaardige producten.                |
| PeelPioneers<br>( <a href="#">URL</a> )               | Haalt etherische oliën en vezels uit citrusschillen.                                  |
| No Waste Army<br>( <a href="#">URL</a> )              | Verwerkt groente- en fruitreststromen tot nieuwe producten.                           |
| The Banana Factory<br>( <a href="#">URL</a> )         | Maakt hoogwaardige bananenpuree van geredde bananen.                                  |
| MaGie Creations<br>( <a href="#">URL</a> )            | Zet reststromen van brouwgranen om in nieuwe voedingsingrediënten.                    |
| PectCof<br>( <a href="#">URL</a> )                    | Extraheert waardevolle componenten zoals pectine uit koffiebesenpulp.                 |
| Chaincraft<br>( <a href="#">URL</a> )                 | Produceert middellange-ketenvetzuren uit organische afvalstromen.                     |
| BrouwBrood<br>( <a href="#">URL</a> )                 | Bakt brood met bierbostel, een restproduct van bierbrouwerijen.                       |
| Revyve<br>( <a href="#">URL</a> )                     | Maakt plantaardige eiwitten en vezels uit biergist, een bijproduct van bierproductie. |
| Verspillingsfabriek<br>( <a href="#">URL</a> )        | Verwerkt reststromen uit horeca, overproductie en afwijkende groenten.                |
| Krush Food<br>( <a href="#">URL</a> )                 | Produceert ontbijtgranen van reststromen van graan, fruit en noten.                   |
| Landbouw & Voedsel Brabant<br>( <a href="#">URL</a> ) | Initieert en ondersteunt projecten tegen voedselverspilling in Brabant.               |
| Circular Food Center<br>( <a href="#">URL</a> )       | Streeft ernaar om 1 miljard kilo voedsel in de keten te behouden.                     |
| Miss Berry<br>( <a href="#">URL</a> )                 | Verwerkt klasse 3 fruit tot jam, puree en sap.                                        |
| Change Inc<br>( <a href="#">URL</a> )                 | Platform dat duurzaam ondernemen stimuleert en zichtbaar maakt.                       |
| Intelligent Food<br>( <a href="#">URL</a> )           | Ontwikkelt nieuwe producten op basis van reststromen.                                 |
| De Clique<br>( <a href="#">URL</a> )                  | Haalt organische reststromen op uit steden en verwerkt deze lokaal.                   |
| Cosun<br>( <a href="#">URL</a> )                      | Extraheert eiwitten uit bietenblad en andere plantaardige bronnen.                    |
| Milgro<br>( <a href="#">URL</a> )                     | Verbindt aanbieders van afval en reststromen met verwerkers en afnemers.              |

Paddenstoelen-vormende schimmels zijn uniek in hun vermogen om juist niet-voedingsgeschikte 'houtachtige' lignocellulose-houdende stoffen om te zetten in eetbare biomassa die eiwitten bevat. Paddenstoelen zoals champignon of oesterzwam (hierboven) zijn

bekend, maar mycelium - het netwerk van schimmeldraden waaruit paddenstoelen voortkomen - is vaak nog onbenut. Mycelium kan echter een veel efficiëntere en duurzame eiwitrijke voedselbron zijn. In dit perspectief bespreken Scholtmeijer et al. (2023) de uitdagingen van op mycelium gebaseerde voedingsmiddelen ([Scholtmeijer, 2023](#)).

Paddenstoelen kunnen ook gebruikt worden om plantaardige reststromen te recyclen tot nieuwe milieuvriendelijke biomaterialen, bekend als myco-composieten, zoals textiel gemaakt van mycelium ([Mylum](#)), leer, of verpakkings- en bouwmaterialen ([GROWN bio](#)).

#### 7.1.4 *Organisaties en initiatieven in Nederland*

Tijdens de zoekstrategie zijn verschillende initiatieven en organisaties ontdekt die zich bezighouden met de verwerking van plantaardige reststromen in Nederland. Deze initiatieven variëren van het hergebruiken van koffiedik tot het verwerken van groente- en fruitresten. In Tabel 10 staat een overzicht van enkele van deze initiatieven.

#### 7.1.5 *Samenvatting plantaardige reststromen*

Er zijn veel verschillende soorten plantaardige reststromen die op creatieve manieren kunnen worden hergebruikt voor voedsel. Technologische ontwikkelingen, zoals biorefinery en extractiemethoden, spelen een cruciale rol bij het hergebruiken van plantaardige reststromen om nieuwe voedselproducten te creëren. In Nederland zijn er veel verschillende initiatieven en organisaties gevonden die zich bezighouden met de verwerking van plantaardige reststromen, zoals Rotterzwam, PeelPioneers en The Banana Factory. Deze initiatieven variëren van het hergebruiken van koffiedik tot het verwerken van groente- en fruitresten.

## 7.2 **Dierlijke reststromen**

De verwerking van dierlijke bijproducten in Nederland valt onder strikte wet- en regelgeving en staat onder toezicht van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA). De belangrijkste kaders hiervoor zijn vastgelegd in Europese [Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#) en de bijbehorende [Verordening \(EU\) Nr. 142/2011](#). In deze Verordeningen staat aangegeven wat onder bijproducten wordt verstaan, welke categorieën onderscheiden worden, en op welke wijze de bijproducten verwijderd en verwerkt moeten worden. Het beheersen van microbiologische risico's speelt in deze verordeningen een belangrijke rol. Eenmaal gecategoriseerd als dierlijk bijproduct, is een dierlijke reststroom (wettelijk) niet als voedsel in te zetten.

Dierlijke bijproducten worden voornamelijk verwerkt tot diervoeder ([Broeze, 2023](#)). Ook slachtproducten die geschikt zijn voor humane consumptie (food grade) vinden vanwege economische redenen hun weg naar diervoeder. Dit resulteert in waardeverlies. Ondanks wettelijke restricties wordt er onderzoek gedaan naar manieren om dierlijke reststromen te behouden voor humane consumptie. In de literatuur is gezocht naar ontwikkelingen op het gebied van valorisatie van dierlijke reststromen die nu hun weg vinden naar andere bestemmingen dan voedsel.

### 7.2.1 *Zoekstrategie*

Voor het literatuuronderzoek naar de verwerking van dierlijke reststromen is gebruikgemaakt van een systematische zoekstrategie binnen de wetenschappelijke databank Scopus. Hierbij is gezocht naar relevante publicaties over de valorisatie van dierlijke bijproducten, met specifieke aandacht rund, varken, kip en eieren.

### 7.2.2 *Dierlijke bijproducten*

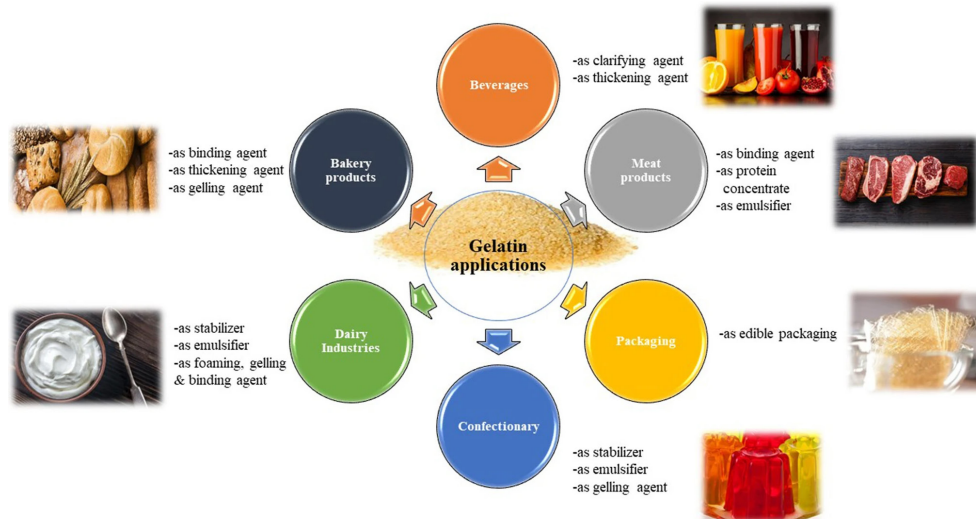
Het slachtproces van dieren levert vlees en food grade-producten die geschikt zijn voor humane consumptie en bijproducten die dat niet zijn. Van een volwassen koe kan ongeveer 51 procent gebruikt worden voor humane consumptie, van een varken 95 procent en van een vleeskuiken 74 procent ([Broeze, 2023](#)). Food grade-dierlijke reststromen, zoals bepaalde organen, zijn geschikt voor humane consumptie (zolang alle handelingen met die reststromen plaatsvinden onder GMP/HACCP), maar worden vaak om economische redenen afgewaardeerd tot Cat-3-materiaal. Diervoeder vormt een belangrijke eindbestemming van dierlijk Cat-3-materiaal. Bijproducten behorend tot Cat-2 worden traditioneel gestort, verbrand of hergebruikt als organische meststof of diervoeder voor niet-voedselproducerende dieren. Cat-1-materiaal wordt in het algemeen eerst verhit voor storten. Het is wettelijk niet toegestaan Cat-1-materiaal toe te passen in diervoeders en organische meststoffen.

Technologisch, en soms ook wettelijk (zie bijvoorbeeld [Alabrese, 2015](#)), is het mogelijk om dierlijke bijproducten een andere, hoogwaardigere bestemming te geven. Een bekend voorbeeld betreft gelatine uit huiden of botten. Gelatine wordt vanwege de gel-vormende eigenschappen veelvuldig toegepast in voedsel, maar ook in fotografische, cosmetische en farmaceutische producten (Figuur 6) ([Usman, 2023](#)). Daarnaast zijn er recent ook nieuwe toepassingen gevonden voor gelatine als emulgator of stabilisator, zowel in voedsel, als in cosmetische en farmaceutische producten ([Gomez-Guillén, 2011](#); [Pinto, 2022](#)). De toenemende vraag naar gelatine is in lijn met de trend om minder synthetische ingrediënten te gebruiken.

Zainal Arifin *et al.* (2023) gaan in op de toepassing van producten uit dierlijke reststromen in de verpakkingindustrie ([Zainal Arifin, 2023](#)). Zo zouden anti-oxidanten, antimicrobiële componenten en pH gevoelige films kunnen worden toegepast in 'active and intelligent packaging' voor visserij en dierlijke producten.

Maar er zijn meer mogelijkheden om dierlijke reststromen hoogwaardig toe te passen. Dit geldt dan vooral voor reststromen uit de pluimvee- en varkenssector. Er is geen meldenswaardige informatie gevonden over ontwikkelingen voor de valorisatie van reststromen uit de rundersector.

Figuur 6 Toepassingen van gelatine in voedselproducten.



Bron: [Usman, 2023](#).

### 7.2.3

#### Pluimveereststromen

Oude leghennen kunnen en worden toegepast als humane voeding, bijvoorbeeld in de vorm van soepkip of gehakt ([Amicarelli, 2023](#)). Fan & Wu (2022) suggereren dat oude leghennen kunnen worden ontdaan van vlees en dat dit vlees dan, rauw of verder bewerkt, verwerkt kan worden tot bijvoorbeeld gehakt, snack, of bouillon(-blokje) (Figuur 7) ([Fan, 2022](#)). Vanwege hun hoge eiwitgehalte (zo'n 20%) zijn oude leghennen interessant. Extractie van dit eiwit kan een food grade-product opleveren.

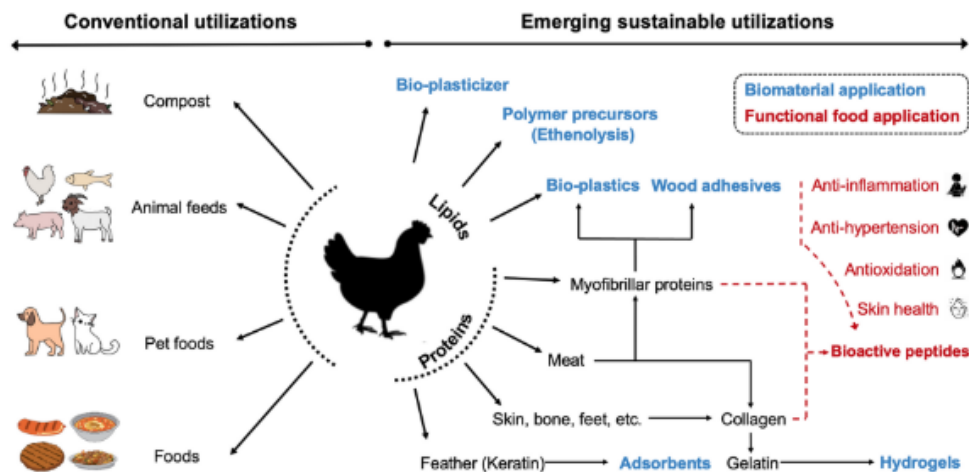
Kippenbotten leveren na extractie antioxidanten op ([Londoño-Zapata, 2022](#); [Mokrejš, 2021](#)) die in de voedselproducerende industrie kunnen worden toegepast. Kippennekken (bevatten veel collageen) kunnen na sterilisatie en drogen gehydrolyseerd worden voor de winning van aminozuren ([Pramualkijja, 2021](#)). Gelatine en aminozuren kunnen toegepast worden in de farmaceutische industrie ([Santana, 2020](#)). Biopeptiden verkregen uit slachtmateriaal van kippen (na proteolyse) zijn te gebruiken voor het tegengaan van chronische (non-communical) aandoeningen zoals hoge bloeddruk, ontstekingen en oxidatieve stress ([Ibarz-Blanch, 2023](#)).

Door veren te mengen met biopolymeren, zoals polylactic acid, ontstaan composieten die een alternatief vormen voor plastics ([Aranberri, 2017](#)). Afbraak van keratine uit veren met micro-organismen levert aminozuren op zijn toe te passen in kweekmedia of diervoeder ([Bumbra, 2022](#); [Paul, 2014](#); [Peng, 2019](#)).

In Pérez-Aguilar *et al.* (2023) wordt het terugwinnen van eiwit uit categorie-3-afvalwater van een renderingfabriek (kip) (rendering: dierlijke bijproductenverwerking) beschreven ([Pérez-Aguilar, 2023](#)). Het gaat daarbij om een hitte behandelde reststroom die gedroogd wordt tot een diermeel en waarbij tijdens het drogen eiwitrijk water vrijkomt. De vrijgekomen eiwitten kunnen worden gehydrolyseerd tot aminozuren, gedroogd en toegepast als biostimulant.

Eierschalen zijn een bron van calcium en kunnen worden verwerkt tot voedsel/voederadditief, of worden ingezet als bemestingsstof ([Iftikhar, 2024](#); [Kanani, 2020](#)).

Figuur 7 Conventionele en innovatieve toepassingen van uitgelegde leghennen in de voedsel- en reststroomketen.



Bron: [Fan, 2022](#).

#### 7.2.4 Varkensreststromen

Organen van varkens kunnen dienen als bron van vleeskleurstoffen, antioxidanten, bloeddrukverlagers ([López Pedrouso, 2023](#)), en als bron van voedseladditieven ter vervanging van vet ([Lu, 2021](#)). Ook smaakstoffen kunnen uit varkensorganen worden gehaald ([López-Martínez, 2023](#)). Het gaat dan om kleine peptiden/aminozuren uit levers, nieren, longen en hart. De huid van varkens is te gebruiken voor het winnen van functionele voedselingrediënten ([Dos Santos, 2020](#)). Varkensbloed kan bijvoorbeeld worden gebruikt als voedselingrediënt en enzymatisch behandelde dierlijke restanten leveren hydrolysaten op, waarvoor verschillende toepassingen bestaan ([Aspevik, 2017](#); [Henchion, 2018](#)).

#### 7.2.5 Overige initiatieven

Naast gelatine kunnen ook vetten, enzymen, eiwitten, peptiden en aminozuren en kleurstoffen worden gewonnen uit dierlijke reststromen. Toldrá et al. (2016) geven een overzicht van mogelijke toepassingen van dierlijke bijproducten ([Toldrá, 2016](#)). Tot de toepassingen kunnen worden gerekend: voedselingrediënten, bioactieve componenten, enzymen, diervoeder voor zowel voedselproducerende dieren als voor gezelschapsdieren, bemestingsstof en brandstof. Mullen et al. (2017) geven een meer gedetailleerd overzicht van mogelijke toepassingen van specifieke dierlijke bijproducten ([Mullen, 2017](#)). Vanwege economische redenen wordt een deel van de voor humane consumptie geschikte organen en ingewanden van slachtdieren afgevoerd als Cat-3-materiaal en verwerkt in diervoeders ([Broeze, 2023](#)). Hiermee gaat eiwit dat geschikt is voor humane consumptie verloren. Het vinden van toepassingen van deze food grade-bijproducten kan dus bijdragen aan het beperken van het verlies van eiwitrijk voedsel voor humane consumptie. Het stimuleren van de consumptie van organen en ingewanden is echter lastig ([Henchion, 2018](#); [Jiang, 2020](#); [Mullen, 2017](#); [Brennan, 2024](#)). Hoewel veilig voor humane consumptie kan een verhoogde mate van consumptie van food grade-dierlijke bijproducten leiden tot een hogere ziektelast, omdat in Nederland de consumptie van dierlijke producten de grootste bijdrage levert aan de

ziektelast. Tenzij de verhoogde mate van consumptie van dierlijke bijproducten gekoppeld wordt aan een verminderde consumptie van vlees.

*Tabel 11 Technieken voor eiwitextractie uit dierlijke bijproducten voor humane consumptie.*

| <b>Bijproduct</b> | <b>Valorisatie-techniek(en)</b>                                                                          | <b>Gewaardeerde producten</b>                                                                                                |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lever             | Enzymatische hydrolyse                                                                                   | Anti-oxidanten                                                                                                               |
| Hart              | Iso-elektrische solubilisatie / precipitatie                                                             | Eiwitten, vetten, cholesterol                                                                                                |
| Huid              | Collageenextractie, collageenhydrolyse, enzymatische hydrolyse                                           | Bio-engineered weefsel, anti-oxidanten, bloeddrukverlagers, antimicrobiële stoffen                                           |
| Bloed             | Enzymatische hydrolyse, chemische hydrolyse, ethanolprecipitatie, hoge druk, subkritische waterhydrolyse | Anti-oxidanten, bloeddrukverlagers, antimicrobiële stoffen, chelatoren, voedsel- en voedingrediënten, aminozuren en peptiden |
| Beenderen         | Subkritische waterhydrolyse, alkalische extractie                                                        | Hydroxyapatiet, collageen                                                                                                    |
| Longen            | Iso-elektrische solubilisatie / precipitatie en membraanfiltratie                                        | Functionele eiwitten                                                                                                         |
| Veren en haren    | Fermentatie, enzymatische hydrolyse                                                                      | Keratinolytische proteasen, kweekmedia                                                                                       |

Bron: [Mullen, 2017](#).

#### 7.2.6 Verwerkingsmethoden

Dierlijke bijproducten vormen een belangrijke bron van eiwit. Hydrolyse in combinatie met extractie van die eiwitten voor humane consumptie is dan ook een manier van valoriseren die in de belangstelling staat (Tabel 11) ([Mullen, 2017](#)). Naast de in Tabel 11 aangegeven technieken, zijn er ook andere technieken in ontwikkeling waarmee eiwitten kunnen worden geëxtraheerd (de zogenaamde 'low TRL' - low Technology Readiness Level - technieken). Deze technieken worden nog niet op industriële schaal toegepast ([Pinto, 2022](#)). Voor wat betreft eiwit-extractie gaat het om verschillende vormen van enzymatische hydrolyse en chemische extractie.

Naast extractie kunnen ook met behulp van PEF (pulsed electric fields) waardevolle componenten uit food waste geëxtraheerd worden ([Arshad, 2021](#); [Puértolas, 2016](#)). De techniek is toepasbaar op dierlijke reststromen voor bijvoorbeeld de extractie van gelatine.

#### 7.2.7 Samenvatting dierlijke reststromen

Dierlijke reststromen die ontstaan tijdens het slachtproces worden wettelijk ingedeeld in drie categorieën, waarbij microbiologische voedselveiligheid bepalend is voor de verwerkingsmogelijkheden. Na classificatie mogen deze bijproducten niet meer als voedsel worden ingezet. Dat leidt tot verlies van eiwitten die in principe geschikt zijn

voor humane consumptie. Veel van deze reststromen, waaronder organen, worden om economische redenen afgewaardeerd tot diervoeder.

Toch bestaan er technologische en in sommige gevallen ook wettelijke mogelijkheden om deze stromen op een hoogwaardige manier te benutten. Uit materialen zoals kippennekken, varkensorganen en veren zijn waardevolle stoffen te winnen, waaronder gelatine, antioxidanten, bioactieve peptiden en aminozuren. Deze componenten vinden toepassingen in voedsel, cosmetica, farmaceutica en verpakkingsmaterialen. De meeste ontwikkelingen richten zich op de pluimvee- en varkenssector; voor runderen zijn nauwelijks initiatieven gevonden.

Innovatieve technieken zoals enzymatische hydrolyse, chemische extractie en pulsed electric fields (PEF), maken het mogelijk om eiwitten en andere waardevolle componenten uit reststromen te extraheren. Naast voedseltoepassingen worden ook toepassingen als biostimulanten, meststoffen en alternatieven voor plastic onderzocht. Tegelijkertijd vormen consumentenacceptatie van orgaanvlees en het risico op een mogelijk verhoogde ziektelast bij toenemende consumptie van dierlijke producten belangrijke aandachtspunten. Dit risico kan worden beperkt wanneer de consumptie van bijproducten gepaard gaat met een afname in vleesconsumptie.

Een zorgvuldige afweging van voedselveiligheid, technologische haalbaarheid en maatschappelijke acceptatie is essentieel om dierlijke reststromen op verantwoorde wijze te integreren in een circulaire voedselketen.

### 7.3 Zuivelreststromen

Bij de verdere verwerking van melk naar verschillende zuivelproducten is minimaal sprake van reststromen, vanwege het feit dat bijproducten zoals boter en boterolie ook eindproducten in de zuivelketen zijn ([Banaszewska, 2013](#)) (Figuur 8). Daarnaast wordt een aantal bijproducten gewonnen, zoals verschillende stromen van wei die vaak benut kunnen worden. Er is echter een aantal reststromen geïdentificeerd dat tijdens de zuivelverwerking ontstaat en dat nu mogelijk nog onbenut blijft voor valorisatie.

#### 7.3.1 Zoekstrategie

De zoekstrategie voor informatie over reststromen uit de zuivelsector, alsmede de inzet van reststromen in deze sector, bestond voornamelijk uit literatuuronderzoek en interviews met relevante experts en stakeholders uit het vakgebied. Voor het literatuuronderzoek zijn zowel academische publicaties geraadpleegd, via SCOPUS en Google Scholar, als ook grijze literatuur via Google advanced search.

Voor de interviews zijn belanghebbenden uit de verschillende schakels in de zuivelketen geïnterviewd voor kwalitatieve input, van primaire productie tot retail. In dit rapport wordt deze input aangeduid als 'expert opinie'. Waar 'expert opinie' wordt genoemd, betreft het inzichten, interpretaties of verwachtingen, zoals gedeeld door geïnterviewde professionals.

De interviews behandelden vragen over:

- identificatie van reststromen uit de zuivelketen;
- mogelijke valorisatie van dergelijke stromen;
- potentiële gevaren die zich voordoen bij gebruik van reststromen;
- het gebruik van reststromen uit andere sectoren in de zuivelsector;
- het waarborgen van de voedselveiligheid bij valorisatie van reststromen;
- de mogelijke herwinning van producten uit afvalwater.

De tijdens de interviews gedeelde expert opinies zijn volledig geanonimiseerd verwerkt, volgens de algemene verordening gegevensbescherming (AVG).

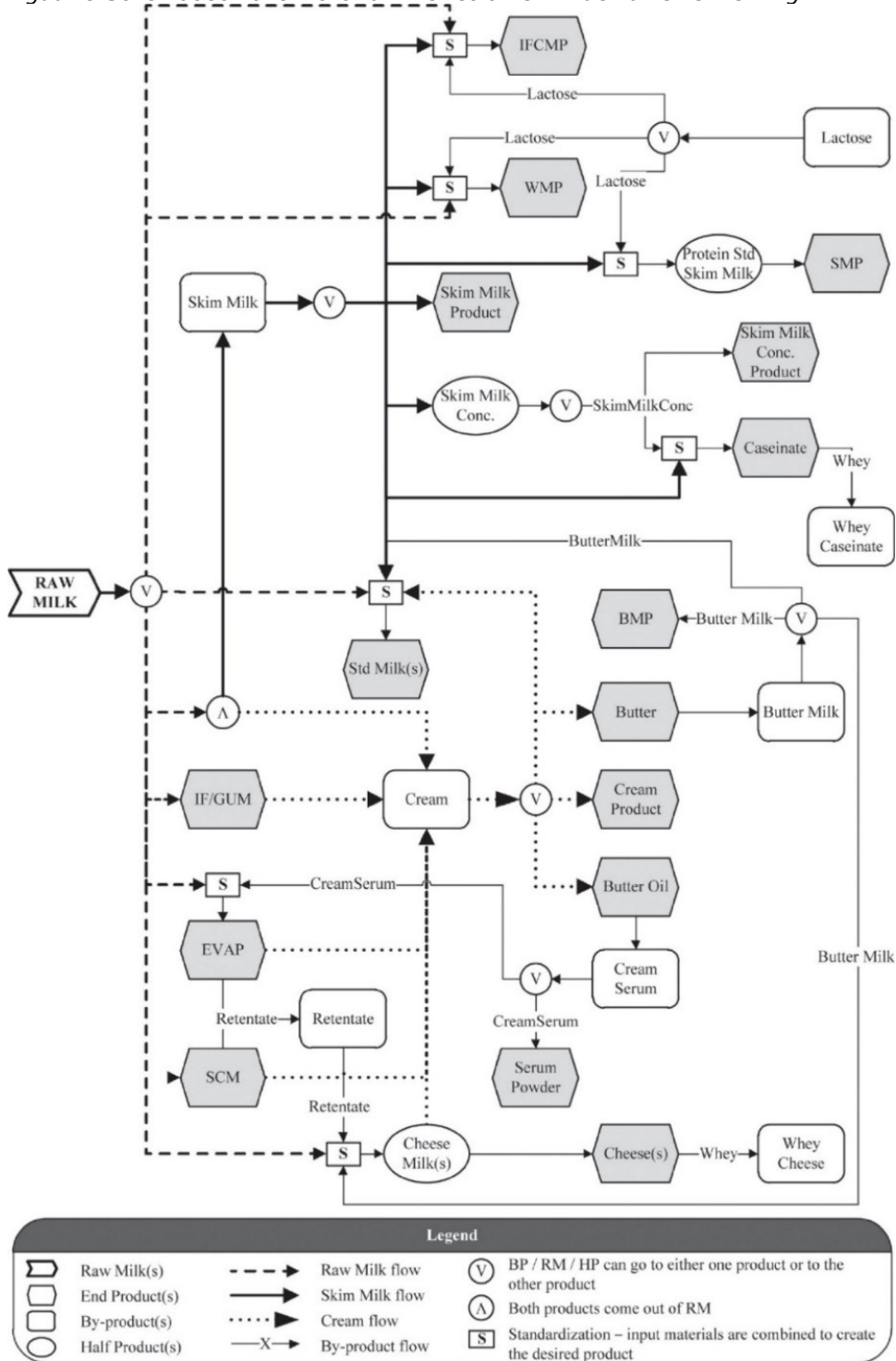
### 7.3.2

#### *Melkreststromen*

Tijdens de verdere verwerking van rauwe melk naar de verschillende zuivelproducten ontstaat een aantal bijproducten en reststromen (Figuur 8). Bij het produceren van kaas wordt bijvoorbeeld perswei geproduceerd, dat vaak verder kan worden verwerkt in kaasproducten, zoals ricotta, als smaakstof in light-producten, in babyvoeding, en als voedingssupplement voor bijvoorbeeld sporters. Ook is wei een ingrediënt van frisdank (bijvoorbeeld [Rivella](#)). Wei kan daarnaast verder worden verwerkt naar voerwei en voerweiconcentraat en op deze manier benut worden in diervoeders. Restanten uit tanks en leidingen uit de zuivelindustrie kunnen op deze manier ook worden benut. In 2023 zijn op deze manier 800 kiloton aan vochtrijke diervoeders op de Nederlandse markt afgezet ([Circular Feed Association](#)). Hoewel deze toepassingen momenteel vooral gericht zijn op diervoeder, zou een deel van deze stromen technisch gezien ook geschikt gemaakt kunnen worden voor humane consumptie, mits ze voldoen aan strikte voedselveiligheidsnormen en voldoende worden gereinigd of opgezuiverd. Dit vereist echter aanvullende bewerkingsstappen en borging van kwaliteit en traceerbaarheid, wat de economische haalbaarheid beperkt.

Naast wei blijft na de bereiding van kaas ook de reststroom pekewater over, en bij andere zuivelproductieketens waterige reststromen. Uit dergelijke waterige reststromen kunnen bijvoorbeeld mineralen worden gezuiverd (bijvoorbeeld natriumfosfaat, calciumfosfaat), alsmede andere voedingsstoffen, zoals lactose (expert opinie). Waterrijke stromen bevatten daarnaast vaak ook veel natrium en stikstof. Suikerrijke waterige reststromen kunnen in sommige gevallen worden gebruikt als vervanger voor melasse en vinasse in diervoeders. De waterrijke reststromen die niet geschikt zijn voor gebruik in diervoeders worden vergist. Het resterende digestaat kan vervolgens worden ingezet als meststof. Opgezuiverde calciumstromen kunnen daarnaast nog als calciumverrijkend middel aan diervoeders worden toegevoegd (expert opinie).

Figuur 8 Schematisch overzicht van melkstromen in de zuivelverwerking.



Bron: [Banaszewska, 2013](#)).

Legenda: Raw milk = Rauwe melk; Skim milk = Magere melk; Cream = Room; IFCMP = instant volle melkpoeder; WMP = volle melkpoeder; SMP = magere melkpoeder; StdMilks = gestandaardiseerde melk; BMP = karnemelkpoeder; IF/GUM = babyvoeding en groeimelkpoeder; EVAP = ingedampde melk; SCM = gezoete gecondenseerde melk; BP = bijproducten; RM = rauwe melk; HP = halffabricaat.

Bij de productie van zuivelproducten, zoals kwark, blijft na een ultrafiltratiestap melkpermeaat over. Deze reststroom kan worden gebruikt als vervanger van suiker in limonades of frisdranken. [Appelsientje](#) verwerkte bijvoorbeeld melkpermeaat in Fruitdrink als alternatief voor suiker. Ook is kwarkwei een bijproduct in de kwarkproductie, dat bijvoorbeeld in diervoeders gebruikt kan worden. Tijdens de zuivelverwerking blijven er ook vaak resten filterpoeder achter op filters. Gemiddeld kan er tijdens productie ruim 7.000 kilogram filterpoeder per uur van de filters komen. Deze poeders worden vaak verwerkt tot diervoeder vanwege de nutritionele waarde (expert opinie).

Vetrijke bijproducten/reststromen uit de zuivelverwerking kunnen daarnaast worden verwerkt tot producten zoals frituurolie. Wanneer dit niet mogelijk is, bijvoorbeeld vanwege de kwaliteit van het product, dan kan het alsnog worden verwerkt tot biobrandstof (expert opinie).

Een grote reststroom binnen de zuivelverwerking zijn zuivelspoelingen, bijvoorbeeld tussen opstarten en stoppen van productieprocessen. Dit soort zuivelspoelingen kunnen vaak worden ingezet voor diervoeders (expert opinie). Mocht dit vanwege de kwaliteit van de stroom niet mogelijk zijn, dan gaat het naar de waterzuiveringsinstallatie. Andere stromen van melk en wei die niet gerecirculeerd kunnen worden, eindigen ook in waterzuiveringsinstallaties. Slib uit dergelijke installaties zou nog te valoriseren zijn als meststof. Een andere mogelijkheid voor hoogwaardige verwerking van slib is het opzuiveren van componenten zoals natriumfosfaat en andere stoffen, die potentieel een voedsel- of diervoedertoepassing kunnen hebben, bijvoorbeeld als voer voor insecten (expert opinie).

### 7.3.3 *Overige zuivelreststromen*

Hoewel dit rapport zich richt op de valorisatie van reststromen uit de zuivelsector zelf, kwam tijdens interviews met experts ook een ander perspectief naar voren: het gebruik van reststromen uit andere sectoren voor de productie van zuivel. Hoewel dit buiten de oorspronkelijke scope van het project valt, achten we deze inzichten relevant voor een breder begrip van circulaire kansen binnen de zuivelketen. Daarom lichten we in dit hoofdstuk kort toe hoe reststromen uit andere branches kunnen bijdragen aan duurzame zuivelproductie.

Reststromen uit andere sectoren zijn in te zetten voor zuivelproductie. Dit vindt voornamelijk plaats in de primaire sector waar verschillende reststromen kunnen worden ingezet als veevoer. Voorbeelden hiervan zijn verwerking in diervoeders van onder andere bierbostel uit brouwerijen, aardappelschillen uit de frietindustrie, gries uit de productie van broodmeel en pasta, alsmede raapzaadschilfers en –schroot ontstaan bij de productie van koolzaadolie (expert opinie). Ook kunnen resten van levensmiddelen worden verwerkt, zoals gebroken koekjes, oud brood, en voedsel waarvan de verpakking beschadigd is, alsmede retourstromen uit supermarkten en levensmiddelenindustrie (expert opinie). Gewasresten die op de akkers achterblijven, zijn daarnaast ook reststromen die kunnen worden ingezet voor diervoeders. Ook zijn er initiatieven gaande voor onderzoek naar het gebruik van nevenstromen die nog niet zijn toegelaten voor gebruik in diervoeders,

zoals voedselresten uit de horeca en huishoudens. Onderzoek is ook gaande naar de inzet van keukenafval van grote instanties zoals ziekenhuizen en cateraars, naar gezonde en veilige diervoeders die vrij zijn van potentiële gevaarlijke micro-organismen. Op deze manier kunnen deze nevenstromen bijdragen aan duurzame productie van vlees, zuivel, en eieren (expert opinie).

#### 7.3.4 *Samenvatting zuivelreststromen*

Binnen de zuivelsector zijn er verschillende initiatieven voor valorisatie van reststromen uit de melkverwerking. Voorbeelden hiervan zijn het verwerken van wei en melkpermeaat in frisdrank of fruitdrink. Ook kan een groot deel van de wei in voerwei en voerweiconcentraat worden verwerkt en kunnen restanten uit leidingen en tanks nog worden benut in vochtrijke diervoeders (800 kiloton in 2023).

### 7.4 **Visserijreststromen**

Bij de verwerking van vis, schaal- en weekdieren tot producten voor retailers en restaurants komen reststromen vrij die zijn te verwerken tot grondstoffen voor diervoeders, waaronder vismeel, visolie en collageen ([Coppola, 2021](#); [Kals, 2015](#)).

#### 7.4.1 *Zoekstrategie*

Informatie over valorisatie van reststromen uit de vissector komen hoofdzakelijk van bedrijven en organisaties in Nederland en België die zich inzetten voor de verwaarding van de reststromen. Verder is in de literatuur en online gezocht naar bestaande en nieuwe verwerkingsmethoden van visserij reststromen. Voor literatuur is met behulp van Google Scholar naar academische publicaties gezocht. Ook is Google advanced search geraadpleegd voor grijze literatuur.

#### 7.4.2 *Visrestenverwerking*

Visresten kunnen worden verwerkt in brijvoer. Dergelijke vochtrijke bijproducten hebben naast een relatief hoog eiwitgehalte ook een hoog vetgehalte ([Van Krimpen, 2006](#)). Om een groter deel van het visvlees te gebruiken, kunnen spierrijke delen van een vis zoals de kop en ruggengraat ook verwerkt worden tot visgehakt voor humane consumptie (zie artikel [Change Inc. - Vis](#)). Het is ook mogelijk om bioactieve peptiden te winnen uit visresten. Deze peptiden kunnen mogelijk gebruikt worden als voedingscomponent of als toevoeging in diervoeders. In een studie door Wageningen Marine Research zijn verschillende reststromen uit de visserij onderzocht, waaronder visresten van kabeljauw, schol, tarbot, schar, alsmede zijstromen uit de productie van vismeel ([Poelman, 2015](#)). De onderzoeksresultaten toonden aan dat er potentie is voor de productie van dergelijke bioactieve peptiden uit deze materialen. Op het moment van het onderzoek waren er echter nog vragen over de economische haalbaarheid van deze toepassing ([Poelman, 2015](#)).

#### 7.4.3 *Vismeel en visolie*

Ongeveer de helft van het in Europa geproduceerde visafval wordt verwerkt tot vismeel of visolie ([Focker, 2022](#)). Vismeel wordt verwerkt tot diervoeder vanwege het hoge eiwitgehalte ([Hanseeuw 2014](#)). De Nederlandse bedrijven A. van de Groep & Zonen en Visser verwerken

visafval tot vismeel in België. Bij de vismeelproductie komt ruwe visolie vrij. Na zuivering is de olie geschikt voor menselijke en dierlijke consumptie, bijvoorbeeld als voedingssupplement of als toevoeging aan visvoer voor aquacultuur ([Hanseeuw, 2014](#)). Het Duitse bedrijf [BIOCEVAL GmbH & Co. KG](#) (voorheen Lipromar GmbH) verwerkt vissenkoppen, graten en andere visresten tot visolie en visproteïnen voor humane consumptie. In Nederland worden bijproducten van de visserij verwerkt tot verse ongeraffineerde zalmolie, zalm-eiwithydrolysaat, calcium-beendermeel en collageenpeptiden voor humane en dierlijke consumptie. Visolie kan ook worden gezuiverd uit proceswater dat vrijkomt bij het inblikken van vis. Deze visolie kan dan gemengd worden met antioxidant en op deze manier bruikbaar worden gemaakt voor diervoeders ([Hanseeuw, 2014](#)).

#### 7.4.4 Chitine

Vissenschubben, garnalendoppen en ziftsel kunnen worden verwerkt tot chitine en chitosan (een vorm van chitine). Chitine en chitosan kunnen onder andere worden toegepast in cosmetica, medicijnen en supplementen en als verdikkingsmiddel in voeding ([Coppola, 2021](#)). Chitosan heeft een antimicrobiële werking tegen bacteriën en schimmels ([Riaz Rajoka, 2020](#)).

#### 7.4.5 Samenvatting visserijreststromen

Reststromen uit de verwerking van vis, schaal- en weekdieren worden op diverse manieren gevaloriseerd. Ze worden onder meer verwerkt tot vismeel, visolie en brijvoer voor diervoeding, maar ook tot hoogwaardige producten voor humane consumptie, zoals visproteïnen, collageen en visgehakt. Daarnaast worden uit schubben en garnalenschalen chitine en chitosan gewonnen, met toepassingen in voeding, cosmetica en farmacie. Deze valorisatie draagt bij aan een efficiënter gebruik van visserij hulpbronnen binnen een circulaire economie.

## 7.5 Reststromen uit foodservices en retail

### 7.5.1 Voedselverspilling voorkomen

Reststromen komen niet alleen vrij bij de voedselproductie, maar ook bij distributie via foodservices en retail. Deze reststromen kunnen gebruikt worden als bron van suikers (extractie) of volatile fatty acids na fermentatie of biostimulatie en biopolymeren ([Dahiya, 2018](#)). Ze zijn in te zetten als diervoeder, maar veel nadruk ligt in deze sectoren op het voorkómen van reststromen. In de horeca is op verschillende manieren voedselverspilling terug te dringen. [Unilever](#) geeft de volgende zeven tips om verspilling te verminderen:

1. Hergebruik ingrediënten.
2. Pas porties aan de eetbehoefte aan.
3. Verwerk restjes.
4. Bied een doggy bag aan.
5. Composteer groente- en fruitresten.
6. Check de Te Gebruiken Tot (TGT) of Tenminste Houdbaar Tot (THT) datum.
7. Sla voedsel op onder de juiste omstandigheden.

Andere tips, zoals van [Bidfood](#) en [Horecava](#), zijn het voeren van een strak inkoopbeleid, verkleining van de menukaart, het aanbieden van een 'Verrassing van de chef'-menu waarin kwetsbare producten tegen de THT-datum worden verwerkt en het monitoren van de hoeveelheid geproduceerd afval. Gebruik een goed kassa-/voorraadbeheersysteem en geef personeel de juiste training, slim omgaan met take-away en delivery, wekelijkse specials en promoties en een tweede leven voor gerechten (maaltijden voor personeel) worden ook genoemd. Overtollig voedsel kan gedoneerd worden aan de voedselbank. En overgebleven gerechten kunnen aan het einde van de dag tegen een gereduceerd tarief verkocht worden via apps zoals Too Good To Go.

De Koninklijke Horeca Nederland komt met het volgende schema om voedselverspilling te verminderen (Tabel 12).

*Tabel 12 Tips voor horecaondernemers om minder voedsel weg te gooien.*

| <b>Processtap</b>                 | <b>Activiteiten</b>                                        | <b>Inspanning<br/>Tijd/geld</b> | <b>Resultaat<br/>Opbrengst</b> |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| <b>Inkoop</b>                     | Hanteren van een strak inkoopbeleid                        | Weinig                          | Veel                           |
|                                   | Zelf inkopen: producten zien, voelen, ruiken, proeven      | Gemiddeld                       | Gemiddeld                      |
|                                   | Hanteren van kleine lunch/dinerkaart (doelgericht inkopen) | Weinig                          | Veel                           |
| <b>Ontvangst goederen</b>         | Goede controle uitvoeren over kwaliteit van producten      | Gemiddeld                       | Veel                           |
| <b>Opslag goederen</b>            | Hanteren van een strak koelingsbeleid                      | Gemiddeld                       | Veel                           |
|                                   | Producten bereiden en vacuüm verpakken voor opslag         | Veel                            | Veel                           |
| <b>(Voor-) bereiden gerechten</b> | Gebruik maken van opgeleid personeel met kennis            | Gemiddeld                       | Veel                           |
|                                   | Restproducten van het bereiden gebruiken voor gerechten    | Weinig                          | Gemiddeld                      |
|                                   | Portionering van gerechten                                 | Veel                            | Veel                           |
| <b>Presenteren &amp; serveren</b> | Minimaliseren garnering en supplementen                    | Gemiddeld                       | Veel                           |
|                                   | Producten meerdere keren terug laten komen op de kaart     | Gemiddeld                       | Veel                           |
|                                   | Menu-engineering                                           | Veel                            | Veel                           |
|                                   | Personeelsbewustzijn creëren                               | Gemiddeld                       | Veel                           |

Bron: [Koninklijke Horeca Nederland – Tips verminderen voedselverspilling](#).

Consumenten in een restaurant kunnen bijdragen aan het tegengaan van voedselverspilling door de menukaart te checken, door te vragen naar de portiegrootte en de bestelling erop aanpassen, door gerechten te delen, door een gang minder te nemen (en geen broodmandje) en door een 'doggy bag' te vragen ([Voedingscentrum - Hoe voorkom je voedselverspilling als je in een restaurant eet?](#)).

De 2-uursborging (onderdeel van hygiënecodes die voortkomen uit het Hygiënepakket) leidt in de catering tot verspilling. Juist verlenging van die termijn door ontheffingen leidt direct tot minder weggegooid voedsel. Dit kan alleen als de voedselveiligheid niet in het geding is.

### 7.5.2 *Reststromen uit de retail*

Reststromen uit de retail kunnen naar goede doelen of naar de veevoederindustrie gaan ([Albizzati, 2019](#)). Verspilling voorkómen is het beste, maar goede doelen in combinatie met veevoer is beter dan verbranden en fermenteren (valorisatie technisch). Hieronder volgt een overzicht van initiatieven die door retail kunnen worden genomen om voedselverspilling tegen te gaan.

#### 7.5.2.1 *Supermarkt*

Supermarkten verkochten in 2022 gemiddeld 98,62 procent van al het voedsel dat door hen werd aangeboden. Dat betekent dat 1,38 procent van het voedsel uit supermarkten niet bij consumenten terechtkwam ([Samen tegen Voedselverspilling – Retail sector](#)). Mogelijke oplossingen voor deze verliezen zijn:

##### Voorkomen:

- Houdbaarheid van producten verlengen door gebruik van coatings of toepassing van misttechnologie.
- Houdbaarheid beter voorspellen (op basis van temperatuurmetingen; op basis van producteigenschappen zoals water en suikergehalte (bijvoorbeeld [Onethird](#))).
- Beter verpakken.
- Inkoop (optimale rassen van gewassen; op is op).  
Verkoop: kassatransacties als basis voor inkoop.
- Kwantumkortingen afschaffen (zie [ABN AMRO - Halvering van voedselverspilling in 2030. Hoe dan?](#)).

##### Verminderen:

- Too Good To Go/Foodello/Voedselbank.
- Koelvitrine met producten nabij de TGT/THT datum, gecombineerd met dynamische prijsstelling (verschillende supermarkten).

##### Verwaarden:

- Reststromen in nieuwe producten (bijvoorbeeld soepen en sauzen).
- Reststromen naar diervoeder.
- Redistributie: bereiding en verkoop producten die tegen de TGT/THT-datum aanzitten in de winkel ([Kawata, 2018](#)).

Foodello geeft aan dat:

*"Onze onderneming focust zich in het bijzonder op restpartijen van food- en non-food-producten. We ontvangen artikelen om verschillende redenen zoals: naderende houdbaarheidsdata, overproductie of het vernieuwen van verpakkingen. Wij verkopen enkel producten met een THT-datum."* (Persoonlijke communicatie met Foodello, 18 juni 2024.)

Supermarkten zijn aan wet- en regelgeving gebonden. Producten mogen bijvoorbeeld niet na het verstrijken van de TGT/THT-datum aangeboden worden. Daarom wordt ingeschat dat aan initiatieven die supermarkten ontplooiën om voedselverspilling tegen te gaan geen of geen grote microbiologische risico's zijn verbonden. Sommige voedselproducten worden niet voorzien van een TGT- of THT-datum, zoals brood en verse groenten. Dit zijn vanuit microbiologisch perspectief echter geen risicovolle producten.

#### 7.5.2.2 Slagers

De slager verwerkt 'van kop tot kont'. Slagers verspillen vanuit de traditie nauwelijks. Er zijn verschillende manieren waarop de ambachtelijke slager alsnog voedselverspilling tegengaat ([Koninklijke Nederlandse Slagers](#)). De slager gebruikt alles wat ingekocht wordt van het dier. Incourante delen worden gebruikt bij het maken van worst en vleeswaren. Ruim 180 slagerijen doen actief mee aan Too Good To Go, de app die voedselverspilling tegengaat. Slagers zijn gebonden aan wet- en regelgeving. Initiatieven die slagers ontwikkelen om voedselverspilling tegen te gaan moeten aan deze wet- en regelgeving voldoen. Zolang dat het geval is, is de voedselveiligheid voldoende geborgd.

#### 7.5.2.3 Zuivelproducten

De zuivelsector, die vertegenwoordigd wordt door de Nederlandse Zuivel Organisatie (NZO), heeft in 2015 op eigen initiatief het icoon 'zuinig op zuivel' ontwikkeld (Figuur 9) ([Nederlandse Zuivel Organisatie - Minder verspilling](#)). Het icoon bevat drie tips voor de consument om minder zuivel te verspillen. De belangrijkste tip ging over een verlopen houdbaarheidsdatum: kijk of de melk of yoghurt er nog goed uitziet, ruik even en proef of het nog lekker is. Kijk, ruik, proef! Daarnaast heeft NZO verschillende onderzoeken laten doen, onder andere naar de mate van verspilling van drinkbare vloeistoffen bij de consument en naar grondstofefficiëntie en reststromen bij de zuivelverwerking.

*Figuur 9 Icoon 'zuinig op zuivel' van Nederlandse Zuivel Organisatie.*



Bron: [Nederlandse Zuivel Organisatie - Minder verspilling](http://www.zuinigopzuivel.nl).

#### 7.5.2.4

##### *Vis*

Ook de Visfederatie is aangesloten bij de stichting 'Samen Tegen Voedselverspilling' (zie artikel in [Vismagazine](#)). Maar er wordt nog niet gerapporteerd over maatregelen om verspilling tegen te gaan anders dan het monitoren van verspilling.

## 8 Microbiologische gevaren

### 8.1 Plantaardige reststromen

Het valoriseren van plantaardige reststromen uit zowel de primaire fase van akker- en tuinbouw als uit de industriële verwerking kan verschillende microbiologische risico's en gevaren met zich meebrengen. Deze risico's kunnen variëren afhankelijk van de aard van de reststroom, de verwerkingsmethoden en de omstandigheden waaronder de valorisatie plaatsvindt.

#### 8.1.1 *Besmettingsroutes plantaardige reststromen*

Plantaardige reststromen kunnen mogelijk besmet zijn met pathogene micro-organismen, zoals bacteriën, schimmels, virussen en parasieten. Er zijn verschillende routes waardoor reststromen besmet kunnen raken, zoals bijvoorbeeld via mest, bodem en water, bederf, ongedierte of tijdens verwerking.

##### 8.1.1.1 *Mest*

Mest wordt vaak gebruikt voor de productie van gewassen. Reststromen uit de primaire landbouwproductie kunnen besmet raken met pathogene micro-organismen uit mest, die zich via bodem, water en lucht in het milieu kunnen verspreiden. Hoewel er in Nederland strikte regels gelden voor het gebruik van mest in relatie tot de oogsttijd en voedselveiligheid, blijft mest een relevante besmettingsroute voor plantaardige reststromen. Na het aanbrengen van mest op of in de bodem kunnen pathogenen door uit- en afspoeling in het water terechtkomen. Bemesting of besproeiing van gewassen kan dus leiden tot besmetting van de gewassen (en dus ook hun reststromen). Hoewel de bestaande regelgeving het risico op besmetting aanzienlijk verkleint, sluit zij het niet volledig uit, zeker niet bij onjuist gebruik of onder ongunstige omstandigheden (zoals hevige regenval). De belangrijkste ziekteverwekkers in mest zijn *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, en de parasieten *Cryptosporidium parvum* en *Giardia lamblia* ([Van Leuken, 2017](#)).

- *E. coli*. Met name herkauwers zoals runderen en schapen, vormen het belangrijkste reservoir voor pathogene *E. coli* en scheiden de bacterie uit in de mest. Wanneer de bacterie buiten het dier komt, overleeft hij nog maanden in de grond en weken in het water ([RIVM – STEC / EHEC](#)).
- *Salmonella spp.* Veel dieren kunnen drager zijn van *Salmonella*. De meeste mensen raken besmet met de bacterie door het eten van niet of onvoldoende verhitte dierlijke producten, maar *Salmonella* kan ook op groenten en fruit zitten ([RIVM – Salmonella](#)).
- *Campylobacter spp.* Veel dieren kunnen drager zijn van *Campylobacter*. De belangrijkste besmettingsbron is onvoldoende verhit voedsel (en dan vooral kippenvlees). Daarnaast kunnen *Campylobacter*-bacteriën ook worden verspreid via pluimveemest en stof uit pluimveestallen. ([RIVM – Campylobacter](#)).
- *Cryptosporidium*. Vooral runderen en de mens zijn de gastheer. Oöcysten van de parasiet *Cryptosporidium* zijn in Nederland te

vinden in oppervlaktewater. Dit wordt veroorzaakt door lozing van zowel rioolwater als de afvloeiing van mest. In oppervlaktewater kunnen oöcysten lang overleven. Het is vrij waarschijnlijk dat het aantal voedsel-gerelateerde uitbraken onderschat wordt, omdat de incubatietijd relatief lang is en de uitbraken veelal van beperkte schaal zijn ([RIVM – Cryptosporidiose](#)).

- *Giardia lamblia*. De darminfectie giardiasis wordt veroorzaakt door de parasiet *Giardia lamblia*. De parasiet wordt uitgescheiden via de ontlasting. De belangrijkste besmettingsroute is van mens op mens, maar ook voedsel kan besmet zijn ([RIVM – Giardiasis](#)).

De NVWA ziet toe op de bestemming en verwerking van mest. Onderdeel daarvan is de controle op de microbiologische kwaliteit van mest (*E. coli*, *Enterococcus spp.* en *Salmonella spp.*), maar alleen in het geval deze mest geëxporteerd wordt naar het buitenland ([Van Leuken, 2017](#)).

#### 8.1.1.2 Bodem en water

Reststromen uit de primaire productie van landbouwproducten kunnen ook door andere pathogenen uit de bodem of water besmet raken, zoals *Listeria monocytogenes*, *Clostridium spp.*, norovirus:

- *Listeria monocytogenes*. Deze bacterie komt voor in groenten en fruit, maar kan ook in dieren, in de grond, of in water zitten. Deze bacterie kan groeien bij lage temperaturen en is daarom een bekende verontreiniging in gekoelde voedingsmiddelen ([RIVM – Listeriose](#)).
- *Clostridium spp.* Clostridia-bacteriën, zoals *Clostridium botulinum*, kunnen gewassen besmetten via de bodem. Deze bacteriën vormen resistente sporen die langdurig kunnen overleven. Deze bacteriën kunnen zich ontwikkelen onder anaerobe omstandigheden ([RIVM – Botulisme](#)). Het grootste risico vormen daarom onjuiste fermentatie of opslag van reststromen.
- Norovirus. De mens geldt vooralsnog als enig reservoir voor menselijke norovirus-infecties. Groente en fruit kunnen echter besmet raken door voedselbereiders, maar ook door gebruik van besmet water bij irrigatie, verdunning van en behandeling met gewasbeschermingsmiddelen of wassen ([RIVM – Norovirus](#)).

#### 8.1.1.3 Bederf

Reststromen van plantaardige producten uit zowel de primaire als secundaire productie kunnen microbiologisch bederven door de groei van micro-organismen die voedselbederf veroorzaken. Deze micro-organismen, zoals bacteriën, schimmels en gisten, kunnen zich snel vermenigvuldigen onder gunstige omstandigheden zoals vochtigheid, temperatuur en beschikbaarheid van voedingsstoffen. Ze kunnen de kwaliteit van de reststromen verminderen en/of leiden tot de productie van schadelijke bijproducten, zoals bepaalde giftige stoffen (bijvoorbeeld aflatoxinen), die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid van de mens. Veelvoorkomende bederforganismen zijn bijvoorbeeld *Pseudomonas spp.*, *Lactobacillus spp.*, en *Bacillus spp.*, die verantwoordelijk zijn voor veranderingen in geur, smaak, textuur en kleur van de producten. Schimmels zijn ook belangrijke

bederforganismen, zelfs in producten die niet vatbaar zijn voor bacterieel bederf vanwege hun lage wateractiviteit of lage pH ([Snyder, 2024](#)).

Hoewel microbiologisch bederf van voedsel en microbiologische voedselveiligheidskwesties vaak door elkaar worden gehaald, zijn microbiologisch bederf en veiligheidsrisico's verschillend. Voedsel dat microbiële pathogenen bevat, vertoont slechts zelden gelijktijdig tekenen van organoleptisch bederf. Voedsel dat tekenen van bederf vertoont, zal slechts zelden voedselinfecties of -intoxicaties veroorzaken (hoewel het wel een kokhalsreflex kan opwekken ([Snyder, 2024](#))). Dit wordt ook bevestigd door een studie van Wu et al. (2018), waarin ze de bederf-microbiota onderzochten. Ze toonden in hun studie aan dat *Lactobacillus spp.*-bacteriën de belangrijkste veroorzakers van bederf waren en dat er weinig microbiële pathogenen en aflatoxinen werden gevonden tijdens het bederfproces ([Wu, 2018](#)).

#### 8.1.1.4 Ongedierte

Plantaardige reststromen kunnen besmet raken door contact met ongedierte zoals insecten, knaagdieren ([RIVM – Wilde knaagdieren en zoönosen](#)), en vogels. Deze dieren kunnen pathogenen, zoals *Salmonella*, *E. coli* en *Listeria*, verspreiden via uitwerpselen, speeksel of direct contact. Vooral in opslagruimtes en tijdens transport is het risico op besmetting door ongedierte aanwezig. Preventieve maatregelen zoals goede hygiëne, afdichting van opslagruimtes en monitoring zijn essentieel om deze besmettingsroute te beheersen.

#### 8.1.1.5 Voorbeeld: valorisatie van suikerbietenblad.

Suikerbieten worden vaak bemest met dierlijke mest, wat gunstig is voor de bodemvruchtbaarheid, maar ook risico's met zich meebrengt voor de microbiologische voedselveiligheid. Terwijl de bieten zelf voornamelijk worden gebruikt voor suikerproductie, kunnen de bladeren – een reststroom – worden benut voor de extractie van Rubisco-eiwit. Deze bladeren kunnen echter besmet raken met pathogene micro-organismen uit mest of bodem, zoals *Escherichia coli*, *Salmonella* of *Listeria*. Door het hoge vochtgehalte vormen suikerbietenbladeren bovendien een gunstige omgeving voor de groei van bacteriën en schimmels. Daarom is het cruciaal om de tijd tussen oogst en verwerking zo kort mogelijk te houden om microbiële groei te beperken. Ook opslagomstandigheden spelen een belangrijke rol: onjuiste opslag kan de groei van micro-organismen bevorderen. Daarnaast introduceert het transport van de bladeren van boerderij naar verwerkingslocatie extra risico's, vooral wanneer hygiënemaatregelen tijdens transport niet strikt worden nageleefd. Lokale verwerking op de boerderij kan deze risico's beperken, mits er wordt voldaan aan strikte hygiënische voorwaarden om de veiligheid van het eindproduct – het Rubisco-eiwit – te waarborgen.

#### 8.1.2 Microbiologische gevaren bij verwerking

De verwerking van plantaardige reststromen biedt kansen voor valorisatie, maar brengt ook microbiologische risico's met zich mee. Afhankelijk van de toegepaste techniek – zoals drogen, extractie, fermentatie, extrusie, insectenkweek of paddenstoelenproductie – kunnen pathogenen worden gereduceerd, maar ook overleven, of zelfs geïntroduceerd worden. Factoren zoals wateractiviteit, pH, temperatuur,

procesduur en hygiëne tijdens kweek en verwerking spelen hierbij een cruciale rol. Daarom is het essentieel om per verwerkingsmethode en type reststroom passende microbiologische beheersmaatregelen te treffen, zoals pasteurisatie van substraten, monitoring, verhitting of andere conserveringsstappen. Dit draagt bij aan de voedselveiligheid en houdbaarheid van de eindproducten.

#### 8.1.2.1 *Drogen*

Drogen verlaagt de wateractiviteit van het product, wat de groei van micro-organismen remt en zo bijdraagt aan microbiologische stabiliteit. Het proces garandeert echter niet automatisch de volledige inactivatie van pathogenen ([Bourdoux, 2016](#)). Zowel sporenvormende als sommige niet-sporenvormende bacteriën kunnen onder bepaalde omstandigheden overleven. Aanvullende maatregelen, zoals verhitting of pasteurisatie, kunnen nodig zijn, afhankelijk van het type reststroom en het beoogde gebruik.

#### 8.1.2.2 *Extractie*

Extractieprocessen zijn gericht op het verkrijgen van functionele componenten, maar leveren niet per definitie een microbiologisch stabiel eindproduct op. Micro-organismen, inclusief pathogenen, kunnen aanwezig blijven afhankelijk van de gebruikte methode en de aard van de reststroom. Daarom zijn aanvullende conserveringsstappen, zoals pasteurisatie, vaak noodzakelijk om de microbiologische veiligheid en houdbaarheid van het eindproduct te waarborgen.

#### 8.1.2.3 *Fermentatie*

Fermentatie verlaagt doorgaans de pH en produceert antimicrobiële stoffen, zoals organische zuren, wat de groei van veel pathogenen remt. Toch garandeert het proces geen volledig microbiologisch veilig eindproduct ([Atasoy, 2024](#)). Sommige micro-organismen kunnen overleven of zelfs groeien onder bepaalde fermentatiecondities. Zorgvuldige monitoring en aanvullende conserveringsstappen zijn daarom belangrijk.

#### 8.1.2.4 *Extrusie*

Extrusie combineert hoge temperatuur (>100 °C), druk en mechanische afschuiving, wat leidt tot effectieve inactivatie van veel pathogenen en bederf veroorzakende micro-organismen. Dit draagt bij aan de voedselveiligheid en houdbaarheid van het eindproduct ([Morantes, 2022](#)). De effectiviteit hangt echter af van factoren zoals vochtgehalte, verblijftijd, temperatuurprofiel en productformulering. Bij risicovolle reststromen (zoals natte bijproducten of dierlijke componenten) zijn aanvullende monitoring en maatregelen aanbevolen.

#### 8.1.2.5 *Insecten*

De microbiologische veiligheid van insecten is sterk afhankelijk van de gebruikte reststromen en kweekomstandigheden. Pathogenen kunnen aanwezig blijven in het eindproduct, afhankelijk van de hygiëne tijdens de kweek, verwerking en opslag ([Bruins, 2024](#)). Om microbiologische risico's te beperken, worden insecten vaak onderworpen aan aanvullende verwerkingsstappen zoals verhitting of droging, die bijdragen aan de inactivatie van pathogenen en de verlenging van de houdbaarheid.

#### 8.1.2.6 *Paddenstoelen*

Hoewel paddenstoelen onder gecontroleerde omstandigheden worden gekweekt, kunnen ze tijdens de teelt, oogst of verwerking besmet raken met pathogene micro-organismen, zoals *Listeria monocytogenes* of *Salmonella* ([Voedingscentrum – Paddenstoelen](#)). Ook reststromen die als substraat dienen, kunnen risico's vormen als ze niet vooraf voldoende worden behandeld. Pasteurisatie van het substraat vóór inoculatie is een gangbare maatregel. Verhitting van het eindproduct voor consumptie wordt aanbevolen.

#### 8.1.3 *Microbiologische veiligheidsevaluaties*

Hoewel er veel publicaties bestaan over de valorisatie van plantaardige reststromen, richten slechts enkele studies zich specifiek op de microbiologische veiligheid van deze toepassingen.

In hun reviewartikel bespreken Thakali & MacRae (2021) de chemische en microbiologische gevaren binnen circulaire voedselsystemen. Ze behandelen verschillende klassen van verontreinigingen, hun bronnen en hun gedrag tijdens processen zoals compostering en vergisting ([Thakali, 2021](#)). Volgens de auteurs worden pathogenen vooral geïntroduceerd tijdens de verwerkingsfase van vleesproducten en tijdens de teelt van groenten. Ook verwerking in winkels en door consumenten kan bijdragen aan besmetting. In het artikel wordt ingegaan op de verwerking van voedselresten, zoals compostering en vergisting. Hierbij wordt opgemerkt dat thermofiele temperaturen (ongeveer 50-70°C) pathogenen effectief kunnen doden. Belangrijk is wel dat de hele composthoop deze temperaturen bereikt, anders kunnen ziekteverwekkers overleven. Bij anaerobe vergisting kunnen zulke hoge temperaturen echter leiden tot instabiliteit in het vergistingsproces. Daarom benadrukken de auteurs dat het voorkomen van besmetting idealiter al begint bij schoon uitgangsmateriaal, bijvoorbeeld door zorgvuldige bron-scheiding van voedselafval.

Het review van Focker et al. (2022) richt zich op voedselveiligheidsrisico's in circulaire voedselsystemen in Europa ([Focker, 2022](#)). Zij behandelen risico's in de plantaardige en dierlijke productie, aquacultuur en verpakkingen. In plaats van een uitputtende lijst van gevaren, geven zij voorbeelden van circulaire productiesystemen en bespreken zij bekende en opkomende risico's. Specifieke microbiologische gevaren bij het hergebruik van plantaardige reststromen worden echter niet benoemd.

Een nuttig overzicht van studies naar microbiologische risico's bij de verwerking van plantaardige en dierlijke bijproducten is te vinden in Tabel 1 van het reviewartikel van Socas-Rodríguez et al. (2021), getiteld 'Food- by-products and food wastes: Are they safe enough for their valorization?' ([Socas-Rodríguez, 2021](#)). Uit de verschillende studies, in deze tabel, blijkt dat microbiologische analyses zijn uitgevoerd op diverse soorten voedselbijproducten, waaronder groente-, vlees- en schaaldierreststromen. In vrijwel alle gevallen werden vergelijkbare micro-organismen onderzocht, ongeacht het type reststroom. Zo werd *Salmonella* in bijna alle materialen getest (zoals schaaldieren, koffie, vlees en groenten), maar niet aangetroffen in de geteste producten. Dit voldoet aan nationale en internationale veiligheidsnormen. Ook *Listeria*

en *Escherichia coli* werden onderzocht in plantaardige reststromen uit onder andere de aardappel-, cider-, wijn-, tuinbouw-, brood- en koffie-industrie, bestemd voor diervoeder. Deze bacteriën werden eveneens niet aangetroffen in de onderzochte monsters ([Socas-Rodríguez, 2021](#)). Een aantal andere studies over de veiligheid van plantaardige reststromen en hun gevaloriseerde producten staat in Tabel 13.

Tabel 13 Overzicht van studies naar de veiligheid van de verwerking van plantaardige reststromen en hun gevaloriseerde producten.

| Product (Referentie)                                                                                                       | Microbiologische gevaren                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Uien</b><br>( <a href="#">Van Uffelen, 2022</a> )                                                                       | Risico's door vegetatieve cellen (bij onverhitte fracties of kruisbesmetting), toxines ( <i>S. aureus</i> , <i>B. cereus</i> ) en sporen ( <i>C. botulinum</i> , <i>C. perfringens</i> ) die hitte kunnen overleven.                                                    |
| <b>Aardappelen</b><br>( <a href="#">NVWA – Integrale ketenanalyse aardappelketen</a> )                                     | Microbiologische risico's ( <i>B. cereus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> ) zijn beperkt. Grootste risico is chemisch: acrylamide.                                                                                               |
| <b>Diervoeder</b><br>( <a href="#">NVWA - Advies van BuRO over de risico's van de voedergewassen- en diervoederketen</a> ) | Risico's voor diergezondheid en voedselveiligheid door onder andere <i>C. botulinum</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> spp., Shigatoxine-vormende <i>Escherichia coli</i> (STEC) en <i>T. gondii</i> .                                                   |
| <b>Diervoeder</b><br>( <a href="#">van der Fels-Klerx, 2019</a> )                                                          | Microbiologische gevaren niet beschreven; focus op chemische en fysische risico's.                                                                                                                                                                                      |
| <b>Insecten</b><br>( <a href="#">van der Fels-Klerx, 2018</a> )                                                            | Hoge bacteriële belasting ( <i>Enterobacteriaceae</i> ) bij vermaling. Risico op parasieten. Teeltomgeving beïnvloedt microbiële samenstelling.                                                                                                                         |
| <b>Insecten</b><br>( <a href="#">NVWA - Advies van BuRO over gekweekte insecten als grondstof voor diervoeder</a> )        | Pathogene micro-organismen uit het substraat kunnen worden overgedragen op de larven. Tijdens de kweek kunnen bacteriën, schimmels en gisten zich vermenigvuldigen. Zowel prionen als micro-organismen kunnen hun biologische activiteit behouden in de insectenlarven. |

#### 8.1.4

##### Beoordelen microbiologische veiligheid

In het 'Food Safety-by-Design'-project van Wageningen Food & Biobased Research (WFBR) en WFSR wordt een web-gebaseerde tool ontwikkeld om voedselproducenten te helpen potentiële microbiologische of chemische gevaren te identificeren ([Food Safety by Design – automated hazard identification tool](#)). Deze tool combineert bestaande gegevens met nieuwe informatie over verschillende plantaardige reststromen, zoals bierbostel, citrusschillen en aardappelstoomschillen, maar omvat ook zuivel en eieren. Kennisregels beoordelen de impact van processtappen, zoals fermentatie, verhitting en opslag, op de gevaren. Het resultaat is een lijst van relevante microbiologische en chemische gevaren voor voedselproducten en productieprocessen. De tool identificeert bijvoorbeeld voor de reststroom aardappelstoomschillen de volgende potentiële microbiologische

gevaaren: *Bacillus cereus*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes* en *Salmonella*. Daarentegen voor citrusschillen wijst de tool op *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Yersinia spp.*, *Cryptosporidium spp.*, *Cyclospora cayetanensis*, *Giardia duodenalis*, Hepatitis A-virus en Norovirus. Afhankelijk van de gekozen bewerkingsstappen geeft de tool aan dat bepaalde gevaren worden geëlimineerd of dat er nieuwe gevaren ontstaan.

#### 8.1.5 *Borging van microbiologische veiligheid*

Het waarborgen van microbiologische veiligheid bij de verwerking van plantaardige reststromen is essentieel om voedselveiligheidsrisico's te beperken, vooral wanneer deze stromen worden ingezet voor de productie van voedsel of diervoeder. In de primaire landbouwproductie wordt doorgaans geen gebruikgemaakt van HACCP, aangezien dit systeem volgens [Verordening \(EG\) nr. 852/2004](#) niet verplicht is in deze fase. Toch kunnen reststromen in deze fase besmet raken via bijvoorbeeld bodem, mest, irrigatiewater of wilde dieren. Bij hergebruik is het daarom wenselijk om aanvullende beheersmaatregelen te treffen.

Zodra reststromen worden verwerkt tot voedselproducten, gelden de Europese hygiënevoorschriften voor levensmiddelen. Bedrijven die deze reststromen verwerken, zijn verplicht om hygiëneprocedures toe te passen op basis van de principes van Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP). Dit systeem helpt bij het identificeren en beheersen van microbiologische gevaren in het productieproces en draagt zo bij aan de bescherming van de volksgezondheid.

Naast wettelijke kaders zijn ook praktische maatregelen van belang. Tijdens transport, opslag, wassen en verwerking kunnen pathogenen worden geïntroduceerd of overleven als de omstandigheden niet goed worden gecontroleerd. Strikte hygiëne in alle schakels van de keten is daarom cruciaal. Afhankelijk van de toegepaste verwerkingstechniek – zoals drogen, fermentatie, extrusie, insectenkweek of paddenstoelenproductie – kunnen pathogenen worden gereduceerd, maar ook overleven of zelfs toenemen. Factoren zoals temperatuur, pH, wateractiviteit, procesduur en hygiënecondities spelen hierbij een centrale rol.

Om microbiologische risico's te minimaliseren, kunnen de volgende maatregelen worden toegepast ([Codex Alimentarius](#)):

- Strikte hygiëne tijdens productie, verwerking en opslag om kruisbesmetting te voorkomen.
- Verhittingstechnieken, zoals pasteurisatie of sterilisatie, om pathogenen te doden.
- Controle van temperatuur en vochtigheid bij processen, zoals fermentatie of compostering.
- Correcte opslag en transport om ongewenste groei van micro-organismen te voorkomen.
- Regelmatige microbiologische monitoring van reststromen en eindproducten.

Het treffen van passende beheersmaatregelen per type reststroom en verwerkingsmethode is essentieel voor het waarborgen van

voedselveiligheid en houdbaarheid. Door een combinatie van wettelijke verplichtingen, proceshygiëne en beheersmaatregelen kan de microbiologische veiligheid van gevaloriseerde reststromen effectief worden geborgd.

## 8.2 Dierlijke reststromen

### 8.2.1 *Besmettingsroutes dierlijke reststromen*

Besmetting van dierlijke reststromen kan op verschillende manieren plaatsvinden. Een dier kan drager zijn van parasitaire of een virale besmetting, waarbij bloed en organen besmet kunnen zijn. Pathogenen kunnen aanwezig zijn in het spijsverteringskanaal. Bezoedeling tijdens de slacht, onvoldoende reiniging en desinfectie van de omgeving en onvoldoende persoonlijke hygiëne zijn andere oorzaken van besmetting van dierlijke reststromen.

Tabel 14 Incidentie van voedselinfecties via dierlijke producten.

| Source                            | Gevaar                                       | Incidentie |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|------------|
| Rund-<br>/lamsvlees               | <i>C. perfringens</i> -toxine                | 75.000     |
|                                   | <i>S. aureus</i> -toxine                     | 19.000     |
|                                   | <i>Campylobacter</i>                         | 5.800      |
|                                   | Totaal via rund-/lamsvlees                   | 109.000    |
| Varkensvlees                      | <i>S. aureus</i> -toxine                     | 20.000     |
|                                   | <i>C. perfringens</i> -toxine                | 13.000     |
|                                   | Norovirus                                    | 2.300      |
|                                   | Totaal via varkensvlees                      | 42.000     |
| Kippenvlees                       | <i>S. aureus</i> -toxine                     | 20.000     |
|                                   | <i>Campylobacter</i>                         | 15.000     |
|                                   | <i>C. perfringens</i> -toxine                | 11.000     |
|                                   | Totaal via kippenvlees                       | 50.000     |
| Eieren                            | <i>S. aureus</i> -toxine                     | 8.300      |
|                                   | <i>C. perfringens</i> toxine                 | 4.400      |
|                                   | Norovirus                                    | 1.400      |
|                                   | totaal via eieren                            | 18.000     |
| Vis en schaal-<br>en schelpdieren | <i>S. aureus</i> -toxine                     | 15.000     |
|                                   | Norovirus                                    | 12.000     |
|                                   | <i>C. perfringens</i> -toxine                | 10.000     |
|                                   | Totaal via vis en schaal- en<br>schelpdieren | 46.000     |

Bron: [Benincà, 2022](#).

Toelichting: Incidentie is het aantal ziektegevallen per jaar in Nederland.

### 8.2.2 *Microbiologische gevaren in dierlijke reststromen*

Representatieve gegevens over het voorkomen van pathogenen in dierlijke reststromen zijn niet gevonden. Wel zijn gegevens voorhanden over pathogenen in (dierlijk) voedsel. In de jaarlijkse rapportages van het RIVM over voedselinfecties wordt onder andere gemeld wat de incidentie per voedseltype/pathogeen combinatie is (Tabel 14). Oftewel: hoe vaak iemand ziek wordt door consumptie van een bepaald voedselproduct dat besmet is met een bepaald pathogeen micro-organisme. Het voedseltype wordt daarbij uitgesplitst naar onder andere diersoort. Deze gegevens zijn een indicatie voor te verwachten pathogene micro-organismen in grondstoffen uit dierlijke reststromen.

Tabel 15 Technieken, eindproducten en microbiologische veiligheid bij de valorisatie van dierlijke reststromen.

| Proces                                 | Techniek                                                                                         | Resten                    | Producten                          | Micr. Veilig    |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Rendering                              | Verhitting (20 min bij 133 °C)                                                                   | Spierweefsel, botten, vet | Diermeel, dierlijk vet             | Veilig          |
| Biorefinex                             | Thermische hydrolyse (40 min bij 180°C) in combinatie met anaerobe digestie (10-35d bij 50-60°C) | Spierweefsel, botten, vet | Gehydrolyseerde eiwitten, biogas   | Veilig          |
| Gelatine productie                     | Alkaline voorbehandeling in combinatie met thermische hydrolyse (10-36h bij 50-100°C)            | botten                    | Gelatine                           | Veilig          |
| Chondro-<br>itine sulfaat<br>productie | Enzymatische hydrolyse (60°C) + alkaline hydrolyse bij pH 11                                     | botten                    | Chondro-<br>itine sulfaat          | Veilig          |
|                                        | Pyrolyse bij 850°C                                                                               | Botten                    | Biochar<br>Bio-oil<br>Pyrolyse gas | Veilig          |
|                                        | Thermische hydrolyse 0,5-10h bij 90-100°C                                                        | Spierweefsel              | Vlees extract<br>Eiwit extract     | Veilig          |
|                                        | Enzymatische hydrolyse 50 min bij 50-52 °C                                                       | Spierweefsel              | Eiwit poeder                       | Mogelijk risico |

Bron: [Pinto, 2022](#).

### 8.2.3 Veiligheidsbeoordeling dierlijke reststromen

De indeling van dierlijke bijproducten in Cat-1, Cat-2 en Cat-3 is gebaseerd op gezondheidsrisico's voor mens en dier ([Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#)). De eventuele microbiologische gevaren die gekoppeld kunnen zijn aan dit risico worden in deze verordening niet specifiek benoemd.

### 8.2.4 Borging van de microbiologische veiligheid

Verwerkers van dierlijke producten en dierlijke bijproducten moeten zich houden aan wetgeving. Dit betekent dat zij werken onder HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) en GMP (Good Manufacturing Practices) -verplichting. Daarmee is de microbiologische veiligheid van reststromen die vrijkomen bij de verwerking van dierlijke producten zo goed mogelijk geborgd.

In de literatuur zijn geen publicaties gevonden die ingaan op de microbiologische risico's van mogelijke nieuwe toepassingen van dierlijk restmateriaal, maar er wordt wel gerapporteerd over technieken die bij het winnen van waardevolle componenten uit bijproducten kunnen worden toegepast ([Pinto, 2022](#)). Ook hieruit kan een inschatting worden gemaakt van de microbiologische veiligheid van producten die worden teruggewonnen uit slachtreststromen (Tabel 15). Van de in Tabel 15 genoemde producten wordt tot op heden alleen gelatine en vleesextract toegepast in voedsel. Gelatine en chondroïtine sulfaatpoeder worden toegepast in cosmetica, farmaceutica en fotografie. Overige producten worden toegepast voor andere doeleinden zoals diervoeder, mest- of brandstof ([Pinto, 2022](#)).

Rendering is het proces waarbij dierlijke bijproducten (zoals slachtafval, kadavers, vetten en botten) worden verhit en verwerkt tot bruikbare producten. In Nederland is de Rendac is de enige erkende verwerker van categorie 1, 2 en 3 dierlijke bijproducten. De producten worden vervolgens gevaloriseerd via [Darling Ingredients](#) en op de markt gebracht.

## 8.3 Zuivelreststromen

### 8.3.1 Microbiologische gevaren in zuivelreststromen

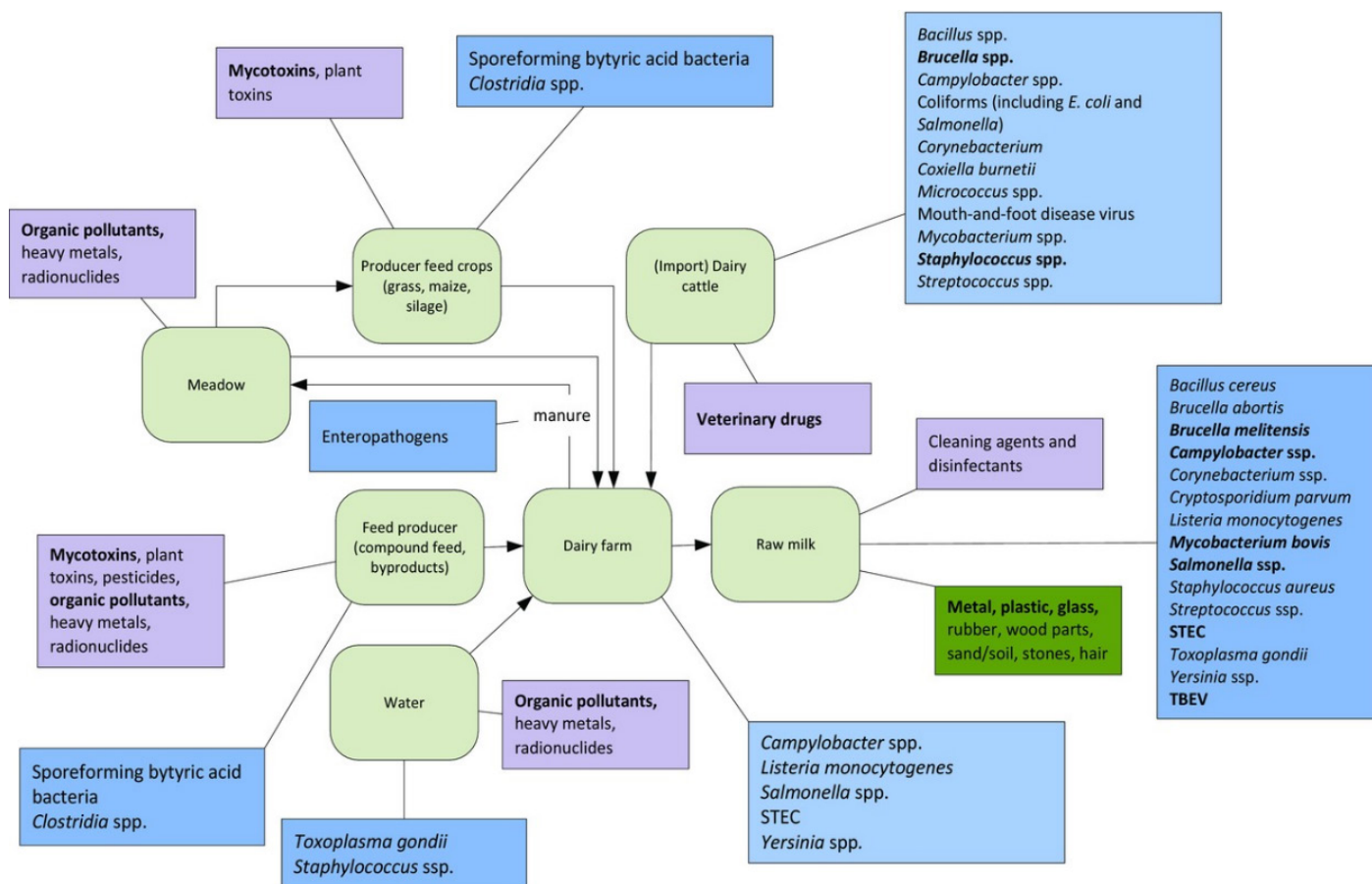
Uit de studie van Van Asselt et al. (2017) blijkt dat microbiologische gevaren vaker voorkomen in zuivelproducten dan chemische en fysieke gevaren (zie Figuren 10 en 11) ([Van Asselt, 2017](#)). De belangrijkste microbiologische risico's in zuivel zijn *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* en pathogene *Escherichia coli*. Specifieke productgroepen vertonen verschillende risicoprofielen: zachte en halfzachte kazen worden het vaakst geassocieerd met *L. monocytogenes* en enterotoxines van *S. aureus*, terwijl rauwe melk vooral in verband wordt gebracht met pathogene *E. coli* en *Campylobacter spp.* In poedervormige zuigelingenvoeding vormen *Cronobacter spp.* en *Salmonella spp.* de grootste zorg.

Binnen de zuivelsector vindt de valorisatie van reststromen, zoals melkpermeaat, plaats onder GMP+ gecertificeerde omstandigheden. Voor deze processen zijn HACCP-analyses opgesteld om potentiële 'Critical Control Points' (CCP's) te identificeren. Hierbij worden bekende micro-organismen zoals bacteriën, gisten en schimmels beheerst (expert opinie). Pathogenen zoals *Brucella abortus*, *Mycobacterium bovis*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella sp.*, *Corynebacterium jejeuni*, *Staphylococcus aureus*, *E. coli*, en *Yersinia enterocolitica* zijn in kaart gebracht als risico's binnen de zuivelketen ([Lievaart, 2005](#)). Dankzij deze kennis kunnen risico's effectief worden gemitigeerd via controlemaatregelen, zoals hygiëne maatregelen tijdens het melken en verwerking.

Bij het aanboren van nieuwe, onbenutte reststromen voor gebruik in humane voeding of diervoeders kunnen echter nieuwe microbiologische risico's ontstaan. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van slib uit de afvalwaterzuivering van zuivelverwerking, bijvoorbeeld als voer voor insecten. Binnen het KB34-project van Wageningen University &

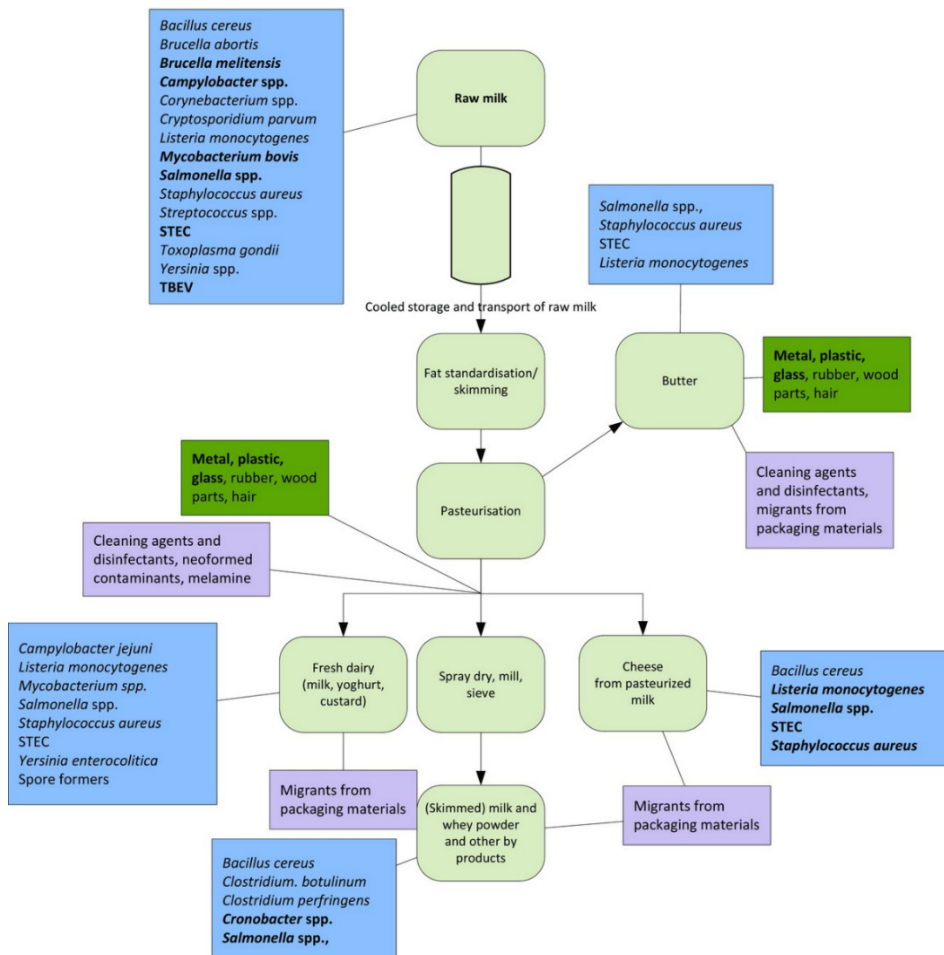
Research wordt onderzocht welke microbiologische gevaren hierbij kunnen optreden (zie hoofdstuk 3.1).

*Figuur 10 Overzicht van microbiologische (blauw), chemische (paars), en fysische (groen) gevaren voor melkproductie op de boerderij. Belangrijke gevaren zijn dikgedrukt.*



Bron: [Van Asselt, 2017](#).

Figuur 11 Overzicht van microbiologische (blauw), chemische (paars), en fysieke (groen) gevaren voor melkverwerking in de zuivelfabriek. Belangrijke gevaren zijn dikgedrukt.



Bron: [Van Asselt, 2017](#).

Tot slot speelt ook consumentenvoorlichting een belangrijke rol in het waarborgen van voedselveiligheid. Het advies 'Kijk, ruik, proef' is alleen van toepassing op zuivelproducten met een THT-datum. Onbekendheid met de begrippen THT (kwaliteitsgarantie) en TGT (veiligheidsgrens), of verwarring hierover, kan leiden tot een voedselveiligheidsrisico. Een product met een overschreden TGT-datum kan immers nog goed ruiken of smaken, terwijl het toch een risico vormt voor de gezondheid.

## 8.4 Visserijreststromen

### 8.4.1 Microbiologische gevaren in visserijreststromen

Visserijreststromen worden verwerkt in gereguleerde processen tot producten geschikt voor humane en dierlijke consumptie, waarbij ervan uit kan worden gegaan dat de microbiologische veiligheid geborgd is van deze producten. Over het algemeen kunnen in vis, schaal- en weekdieren parasieten en pathogene bacteriën voorkomen ([Focker, 2022](#)). Deze kunnen via verhitten, koelen, invriezen of verzuren voorkomen of geëlimineerd worden ([Rudovica, 2021](#)). In het geval van schelpdieren, die hun voeding uit het water filteren, kunnen pathogenen zich ophopen in het dier ([López Cabo, 2020](#)). Het is daarom belangrijk

om gepaste verwerkingsstappen toe te passen tijdens de valorisatie van schelpdieren, waaronder ook ondermaatse exemplaren, aangezien pathogenen zich in alle filter voedende dieren kunnen ophopen.

## **8.5 Reststromen uit foodservices, retail en consumenten**

### **8.5.1 Foodservices en retail**

Vanwege de veelzijdigheid aan producten die door foodservices en supermarkten worden aangeboden, is het lastig om eenduidig iets te zeggen over microbiologische gevaren in reststromen. Reststromen die dierlijk materiaal bevatten, vallen onder de Cat-3-bijproducten waarop wettelijk toezicht is. Daarnaast kunnen bij opslag van microbiologisch kwetsbare producten micro-organismen groeien, en kan bij de bereiding van voedsel door onvoldoende hygiëne besmetting optreden. Niet verkochte of verwerkte producten en/of te veel bereid voedsel dat in de reststroom terechtkomt, kan dus besmet zijn met organismen zoals *Staphylococcus aureus*, *Listeria*, *Enterobacteriaceae* en norovirus. De microbiologische gevaren in deze reststromen zijn waarschijnlijk vergelijkbaar met die in producten die via de retail worden geleverd of in foodservices worden gebruikt.

Er zijn verschillende mogelijkheden om voedselverspilling in de horeca tegen te gaan. De meeste initiatieven richten zich daarbij op het identificeren en voorkomen van verspilling — zonder microbiologisch risico. Alleen bij hergebruik van ingrediënten of restverwerking, zoals bij buffetten, kan een microbiologisch risico ontstaan.

### **8.5.2 Consumenten**

Voedselafval is een belangrijk onderdeel van huishoudelijk afval van consumenten wereldwijd. Er zijn verschillende manieren om voedselafval te behandelen of te benutten, zoals biogasfermentatie, diervoeder, enzovoort, maar pathogenen en mycotoxinen die zich ophopen tijdens het bederfproces kunnen een gezondheidsrisico vormen. Het bederf van voedselafval is echter nog niet goed bestudeerd. Wu et al. (2018), onderzochten welke bederfmicrobiota en mogelijke mycotoxinen tijdens het bederfproces kunnen verschijnen ([Wu, 2018](#)). De resultaten toonden aan dat melkzuurbacteriën, evenals andere bacteriën zoals *Pseudomonas* en leden van de *Enterobacteriaceae*-familie, een belangrijke rol spelen bij het bederf van voedselafval, ongeacht de temperatuur. Er werden weinig microbiële pathogenen en aflatoxinen gevonden in het bederfproces. Dit suggereert dat als voedselafval van huishoudens bij een relatief lage temperatuur en voor een korte duur wordt opgeslagen, er minder risico is voor benutting. Daarnaast wordt over het algemeen een systeem aanbevolen voor gescheiden inzameling van voedselafval om het risico op besmetting in een circulair systeem te verminderen ([Thakali, 2021](#)).



## 9 Wettelijke aspecten

In zowel Nederland als de EU zijn er verplichtingen en richtlijnen voor het registreren en beheren van reststromen uit de voedselketen, die bijdragen aan de Duurzame Ontwikkelingsdoelen (SDG's). Het verwerken van reststromen van de voedselproductieketen *in* de voedselproductieketen vormt een belangrijk onderdeel van een circulair voedselproducerend systeem. Omdat de voedselveiligheid in de verschillende onderdelen van de voedselketen wettelijk geborgd is, met de fabrikant als eindverantwoordelijke, kan dit verwerken van reststromen die vrijkomen bij de productie van voedsel als 'veilig' worden beschouwd. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij de productie van voedsel naast producten en bijproducten ook afval vrijkomt. En afval kent slechts drie bestemmingen: storten, lozen of verbranden. Het is niet onmogelijk om een als afval geregistreerde reststroom weer in te zetten in de productie van voedsel. Dit kan uitsluitend na vergunning (zie verder in dit hoofdstuk).

Er kunnen reststromen van buiten de voedselproductieketen worden ingezet in de productie van voedsel. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van aardappelschillen als veevoer. Rond 2005 werd in routinemonsters van melk een hoge concentratie van een dioxine-achtige stof aangetroffen ([Hoogenboom, 2010](#)). De bron bleek te liggen bij aardappelschillen die tijdens het sorteerproces in contact waren geweest met kaolien. Een kleimineraal dat werd gebruikt bij de verwerking van aardappelen. Hoewel kaolien zelf geen reststroom is, leidde de verontreiniging ervan tot een chemisch voedselveiligheidsrisico via de reststroom van aardappelschillen.

Reststromen van buiten de voedselketen die niet onder HACCP-verplichting zijn geproduceerd en voedselresten die eerst als afval geregistreerd stonden, kunnen na vergunning worden ingezet. Bij vergunning wordt de veiligheid voor mens en milieu getoetst.

### 9.1 Registratie van reststromen

#### 9.1.1 Europese Unie

Op EU-niveau is de Europese [Kaderrichtlijn Afvalstoffen 2008/98/EG](#) van kracht, die lidstaten verplicht om afvalbeheerplannen en preventieprogramma's op te stellen. Deze richtlijn is in 2018 herzien om de circulaire economie te bevorderen en bevat specifieke bepalingen voor het monitoren en rapporteren van voedselverspilling. Het verplicht lidstaten om voedselverspilling in elke fase van de voedselketen te verminderen, de niveaus van voedselverspilling te monitoren en hierover verslag uit te brengen. Door een gemeenschappelijke methodologie en indicatoren te ontwikkelen, helpt de richtlijn bij het kwantificeren van voedselverspilling, het identificeren van effectieve preventiemaatregelen en het delen van best practices. De richtlijn ondersteunt de doelstellingen van de EU om de voedselverspilling in 2030 te halveren, zoals vastgelegd in de Duurzame Ontwikkelingsdoelen (SDG's) van de Verenigde Naties. Dit bevordert niet alleen

duurzaamheid, maar draagt ook bij aan voedselzekerheid en economische efficiëntie binnen de EU.

Op dit moment is het volgens de EU-richtlijn niet verplicht om de voedselreststromen in de primaire sector te registreren, maar het is wel mogelijk om dit vrijwillig te doen. Hierdoor zijn er maar in zeer beperkte mate data beschikbaar over de omvang van voedselreststromen in de primaire sector.

### 9.1.2 *Nederland*

In Nederland wordt de Europese [Kaderrichtlijn Afvalstoffen 2008/98/EG](#) geïmplementeerd via het huidige [Landelijk Afvalbeheerplan](#) (LAP). Het LAP biedt een kader voor het beheer van afvalstoffen en stelt doelen en maatregelen vast om afval te verminderen en recycling te bevorderen. Daarnaast is er de Wet milieubeheer en sinds 1 januari 2024 de Omgevingswet, die de basis vormen voor het afvalstoffenbeleid in Nederland. Samen zorgen deze nationale maatregelen ervoor dat Nederland voldoet aan de Europese verplichtingen.

Verder zijn er in Nederland strenge regels voor het gebruik van reststromen als diervoeder, vooral wanneer het gaat om samengestelde reststromen uit de foodservices die mogelijk dierlijke producten bevatten (NVWA). Deze regelgeving is bedoeld om de veiligheid van diervoeder te waarborgen en risico's voor de volksgezondheid te minimaliseren. Reststromen uit de voedselketen die naar diervoeder gaan, worden gedeeltelijk geregistreerd. Zo publiceert de [Circular Feed Association](#) jaarlijks de afzetcijfers van vochtrijke diervoeders. De stichting [Centraal Veevoeder Bureau](#) (CVB) publiceert jaarlijks een veevoedertabel waarin de chemische samenstellingen en nutritionele waarden van voedermiddelen staan, maar helaas geen afzetcijfers. Recent publiceerde de WUR de Monitor herkomst diervoedergrondstoffen ([Veraart 2023](#)). Hierin staat een schatting van de hoeveelheden van grondstoffen gebruikt in diervoeders.

## 9.2 **Gebruik van reststromen**

In de inleiding van dit rapport is kort ingegaan op het streven van de Nederlandse overheid naar een circulaire economie. Een economisch systeem waarin het behoud van natuurlijk kapitaal als uitgangspunt wordt genomen en waarbij zoveel mogelijk hernieuwbare en algemeen beschikbare grondstoffen worden gebruikt. Daarbij is aangegeven wat dit betekent voor de voedselproducerende sector. Akkerbouw, veehouderij en tuinbouw gebruiken in de eerste plaats grondstoffen uit elkaars ketens en reststromen uit de levensmiddelenindustrie en andere voedselketenonderdelen als foodservices en retail. Circulaire ketens kunnen daarbij verschillend zijn ingericht: binnen een bedrijf, een regio, Nederland of grensoverschrijdend. Het motto is: lokaal wat kan, regionaal of internationaal wat moet.

Hoewel veel reststromen uit de voedselproducerende sector op een of andere wijze zo hoogwaardig mogelijk worden ingezet, kent de sector van oudsher ook afval. En afval kent, zoals gezegd, slechts drie bestemmingen: storten, lozen of verbranden. In het kader van een circulaire economie wordt sinds een aantal jaar voor dit afval een nieuwe bestemming gezocht. Enkele voorbeelden zijn: tomatenstengels uit de tuinbouw die als verpakkingsmateriaal voor tomaten worden

ingezet. Sinaasappelschillen van supermarkten met een machine voor vers sap die als bron van sinaasappelolie worden gebruikt, of koffieprut uit bedrijfskantines dat als voedingsbodem dient voor oesterzwammen. Maar ook afvalstromen uit andere sectoren kunnen een nieuwe bestemming krijgen, onder andere in de productie van voedsel. Zo kan bijvoorbeeld struviet uit afvalwater gebruikt worden als meststof voor voedselgewassen. Maar voordat een afval(-stroom/-stof) als grondstof in een circulaire economie mag worden ingezet, moet eerst de status 'afval' van die stroom af. Dat kan materialen zo lang en zo hoogwaardig mogelijk in het economisch verkeer houden, maar alleen op een wijze die verantwoord is vanuit het oogpunt van milieu en volksgezondheid.

Door toepassing van reststromen die voorheen als afval werden gezien, is er behoefte ontstaan aan een beter op de circulaire economie toegesneden en samenhangend begrippenkader voor afval, aldus het [Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030](#). In de Europese [Kaderrichtlijn Afvalstoffen 2008/98/EG](#) betreffende afvalstoffen, staat het begrip afval(-stof) gedefinieerd. Een afvalstof is:

*"elke stof of elk voorwerp waarvan de houder zich ontdoet, wil ontdoen of moet ontdoen".*

Bij de wijziging van deze richtlijn in 2008 zijn naast de definitie van het begrip 'afvalstof' (art. 3) twee nieuwe bepalingen geïntroduceerd om onderscheid te maken tussen afvalstoffen en niet-afvalstoffen: art. 5 (bijproducten) en art. 6 (einde-afvalstatus).

De wettelijke definitie van het begrip 'bijproduct' is vastgelegd in artikel 1.1, lid 4 van de Wet milieubeheer (Wm), die inmiddels is opgegaan in de [Omgevingswet](#) (sinds 1 januari 2024). De definitie luidt als volgt:

*"Stoffen, mengsels of voorwerpen die het resultaat zijn van een productieproces dat niet in de eerste plaats is bedoeld voor de productie van die stoffen, mengsels of voorwerpen, worden niet als afvalstoffen maar als bijproducten beschouwd indien wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:*

- a. *het is zeker dat de stoffen, mengsels of voorwerpen zullen worden gebruikt;*
- b. *de stoffen, mengsels of voorwerpen kunnen onmiddellijk worden gebruikt zonder enige verdere behandeling anders dan die welke bij normale productie gangbaar is;*
- c. *de stoffen, mengsels of voorwerpen worden geproduceerd als een integraal onderdeel van een productieproces; en:*
- d. *verder gebruik is rechtmatig, inhoudende dat de stoffen, mengsels of voorwerpen voldoen aan alle voorschriften inzake producten, milieu en gezondheidsbescherming voor het specifieke gebruik en dat gebruik niet zal leiden tot over het geheel genomen ongunstige effecten voor het milieu of de menselijke gezondheid".*

In artikel 1.1, lid 6 Wet milieubeheer staat over einde-afval het volgende:

*"Afvalstoffen die een behandeling van recycling of andere nuttige toepassing hebben ondergaan, worden niet langer als afvalstoffen beschouwd, indien zij voldoen aan alle van de volgende voorwaarden:*

- a. de stoffen, mengsels of voorwerpen zijn bestemd om te worden gebruikt voor specifieke doelen;*
- b. er is een markt voor of vraag naar de stoffen, mengsels of voorwerpen;*
- c. de stoffen, mengsels of voorwerpen voldoen aan de technische voorschriften voor de specifieke doelen en aan de voor producten geldende wetgeving en normen; en:*
- d. het gebruik van de stoffen, mengsels of voorwerpen heeft over het geheel genomen geen ongunstige effecten voor het milieu of de menselijke gezondheid".*

Er is nog een derde categorie: voortgezet gebruik. Anders dan in geval van een bijproduct of einde-afval zijn er voor 'voortgezet gebruik' geen wettelijk vastgestelde criteria. Bij voortgezet gebruik gaat het om materialen die niet zijn aan te merken als residuen van productieprocessen (bijproduct) of materialen die eerder afvalstof zijn geweest (einde-afval). Zoals zeepjes voor eenmalig gebruik op hotelkamers die worden verzameld en hergebruikt, of tweedehands kleding.

Om te bepalen of sprake is van 'voortgezet gebruik' dient vastgesteld te worden dat aan de indicatieve toetsingsgronden wordt voldaan:

- het is zeker dat het materiaal gebruikt zal worden; en:
- het voorgenomen gebruik is rechtmatig; en:
- het voorgenomen gebruik is vanuit grondstoffenefficiëntie voldoende hoogwaardig.

De '[Werkwijzer bij de verwerking van reststromen](#)' van het RIVM biedt handvatten om inzicht te krijgen in zowel de mogelijke gevaren als de mate van duurzaamheid bij het verwerken van reststromen. Deze informatie is waardevol bij het onderbouwen van vergunningaanvragen voor initiatieven die bijdragen aan een circulair Nederland. De werkwijzer beschrijft hoe binnen de geldende wet- en regelgeving invulling is te geven aan een gevaren- en risicoanalyse, bijvoorbeeld bij voortgezet gebruik of recycling van reststromen. Dit helpt bij het beoordelen van de chemische, microbiologische, en/of fysieke veiligheid en milieueffecten van dergelijke toepassingen. Daarnaast biedt de '[Handreiking afvalstof of niet-afvalstof](#)' van Rijkswaterstaat aanvullende richtlijnen voor het toepassen van de begrippen afvalstof, bijproduct en einde-afvalstatus. Deze handreiking ondersteunt bij het juridisch en praktisch beoordelen van reststromen in het kader van circulaire initiatieven. De onderstaande tekst is grotendeels afkomstig uit de handreiking en is opgenomen om inzicht te geven in de beoordelingscriteria die bij de verwerking van reststromen een rol spelen.

### 9.2.1

#### *Afvalstatusbeoordeling*

In de praktijk blijkt dat de beoordeling of een materiaal een afvalstof is, complex kan zijn. Rechtsoordelen zijn bedoeld als ondersteuning en hulpmiddel bij deze beoordeling. Een rechtsoordeel is een opinie van het

ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) over een beoordeling van de status van een materiaal, toegesneden op een specifieke casus. De beoordeling wordt opgesteld aan de hand van de voorwaarden en indicatieve toetsingsgronden voor bijproducten, de einde-afvalstatus dan wel de term 'zich ontdoen' in de definitie van het begrip afvalstoffen. Rechtsoordelen beogen hiermee te verduidelijken welke afwegingen gemaakt dienen te worden bij een dergelijke beoordeling. Ook wordt door het publiceren van de gegeven rechtsoordelen bijgedragen aan een uniforme beoordeling door het bevoegd gezag of een materiaal afval is of niet.

Een rechtsoordeel is slechts een gemotiveerd advies. Toch heeft een rechtsoordeel wel degelijk een zekere bindende werking voor het bevoegd gezag op grond van de bestuursrechtelijke beginselen van behoorlijk bestuur (zorgvuldigheidsbeginsel, motiveringsbeginsel en beginselen van rechtszekerheid en gelijkheid).

De vaststelling of in een concreet geval daadwerkelijk (feitelijk) sprake is van een afvalstof of niet, blijft altijd de verantwoordelijkheid van het betrokken vergunningverlenende of toezichthoudende bevoegd gezag. In het Nederlandse systeem zijn in de meeste gevallen de colleges van burgemeester en wethouders of gedeputeerde staten, en vaak namens hen de omgevingsdiensten, het bevoegd gezag. Zij beoordelen in het kader van de uitoefening van hun reguliere bevoegdheden inzake vergunningverlening, toezicht en handhaving per geval of op dat moment sprake is van een afvalstof of niet.

#### 9.2.2 *Milieu- en gezondheidsrisico's*

Toetsing aan de geldende (product)wetgeving en van toepassing zijnde productnormen is op zichzelf niet altijd voldoende om de afvalstatus van een materiaal te kunnen beoordelen. Productwetgeving en productnormen ontbreken soms, of zijn niet of niet primair vastgesteld om het milieu en de volksgezondheid te beschermen. Om te kunnen beoordelen of een voorgenomen toepassing van een materiaal rechtmatig is, moet dus in ieder geval duidelijk zijn welke regels en voorschriften er gelden voor de voorgenomen toepassing (regels en voorschriften over producten, stoffen, milieu en gezondheid). En moet beoordeeld worden of deze regels en voorschriften (mede) tot doel hebben om ongunstige milieu- en gezondheidseffecten van de toepassing van het specifieke materiaal te reguleren.

#### *Niet-gereguleerde milieu- en gezondheidsrisico's*

De geldende wet- en regelgeving en private normen voor producten houden veelal alleen rekening met de toepassing van gebruikelijke (primaire) grondstoffen en niet met de inzet van alternatieve (secundaire) grondstoffen, met vaak een andere samenstelling en eventueel specifieke verontreinigingen. Een materiaal kan bijvoorbeeld bepaalde zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) of ziekteverwekkende organismen bevatten waarvoor nog geen specifieke milieu(product)wetgeving bestaat en/of ook nog geen productnormen zijn. In dat geval kunnen zich afhankelijk van de beoogde toepassing nadelige gevolgen voor het milieu of de menselijke gezondheid voordoen. Dit wordt ook wel 'de overige risico's' genoemd. Wanneer de voorgenomen toepassing nog niet (volledig) gereguleerd is, valt op voorhand niet altijd uit te sluiten dat aan het gebruik van het betrokken materiaal voor de voorgenomen toepassing ongunstige

gevolgen voor het milieu of de menselijke gezondheid verbonden zijn. Het voorzorgs- en het preventiebeginsel brengen dan met zich mee dat nader onderzoek moet plaatsvinden. De uitkomst daarvan kan zijn dat het materiaal voorafgaand aan de toepassing bepaalde bewerkingen moet ondergaan om negatieve milieu- en gezondheidseffecten van de toepassing weg te nemen. Wanneer het betrokken materiaal dan toch zonder meer wordt toegepast, is geen sprake van rechtmatig gebruik. Het betrokken materiaal moet dan worden beschouwd als een afvalstof. De wijze van toetsen van deze overige risico's is een beoordeling wat acceptabel is aan risico's. Om vast te stellen wat acceptabel is, kan een vergelijking worden gemaakt tussen het materiaal dat beoogd wordt toe te passen en het materiaal dat het vervangt. Wanneer het nieuwe materiaal een vergelijkbaar risicoprofiel heeft als het bestaande materiaal, wordt de toepassing als 'acceptabel' beschouwd. Deze beoordelingswijze is bijvoorbeeld toegepast bij de beoordeling van de veiligheid van struviet als meststof.

Bij het beoordelen van de mogelijke nadelige effecten van het gebruik van een materiaal op het milieu en de menselijke gezondheid moet bij de beoordeling van de afvalstatus van een materiaal in beginsel niet alleen rekening worden gehouden met de risico's van de beoogde toepassing als zodanig, maar ook met mogelijke effecten in latere fasen van gebruik en in het afvalstadium. Afhankelijk van het materiaal en de beoogde toepassing kan het daarom nodig zijn om bij het nader onderzoek naar de rechtmatigheid van de voorgenomen toepassing ook de gevolgen in de latere levenscyclus van het materiaal te betrekken.

In het kader van een circulaire economie en voedsel zijn de volgende relevante rechtsoordelen bekend:

#### Bijproducten

- Aardappelschillen als petfood (ministerie van Infrastructuur en Milieu, 22 september 2017)
- Tomatenbladeren en -stengels voor de productie van karton (ministerie van Infrastructuur en Milieu, 22 december 2016).

#### Einde-afval

- Gebruik van struviet als meststof (ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 13 juli 2022)

#### Voortgezet gebruik

- Olie uit citrusschillen toegepast als smaakstof voor de levensmiddelenindustrie (ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 30 april 2018)
- Pulp van citrusschillen als diervoeder (ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 30 april 2018)
- Koffiedik als substraat voor de kweek van oesterzwammen (Dienst Centraal Milieubeheer Rijnmond, juni 2021)

Een overzicht van rechtsoordelen is terug te vinden op [Afval Circulair – Rechtsoordelen](#). Op dit moment worden er geen rechtsoordelen meer afgegeven. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat streeft naar bredere, ministeriële, regelingen. In een ministeriële regeling wordt het

gebruik van een specifieke reststroom voor een breed aantal toepassingen vergund.

### 9.2.3 *Safe-by-design-benadering*

In het streven naar een circulaire voedselketen is het essentieel dat voedselveiligheid niet pas aan het einde van het proces wordt beoordeeld, maar al vanaf het begin wordt meegenomen. De safe-by-design-benadering biedt hiervoor een waardevol kader. Deze benadering houdt in dat mogelijke microbiologische (en chemische) risico's al in de ontwerpfase van processen, producten en toepassingen worden geïdentificeerd en geminimaliseerd. Dit voorkomt dat voedselveiligheidsproblemen pas zichtbaar worden wanneer een product al in gebruik is of op de markt komt.

In de context van reststroomvalorisatie betekent safe-by-design dat bij het ontwikkelen van nieuwe toepassingen, zoals fermentatie, diervoederproductie, of extractie van ingrediënten, al vroeg wordt nagedacht over:

- de veiligheid van de gebruikte grondstoffen (bijvoorbeeld afwezigheid van contaminanten zoals pesticiden of antibioticaresiduen);
- de procescondities die microbiële groei kunnen bevorderen of beperken (zoals pH, temperatuur, wateractiviteit);
- het vermijden van toxische hulpstoffen of additieven;
- en het integreren van monitoring- en beheersmaatregelen zoals HACCP vanaf het begin van het ontwikkeltraject.

Deze benadering sluit aan bij het voorzorgsprincipe binnen de Europese voedselveiligheidswetgeving ([Verordening \(EG\) nr. 178/2002](#)) en draagt bij aan het voorkomen van incidenten en recalls. Bovendien ondersteunt het de maatschappelijke acceptatie van circulaire innovaties, doordat veiligheid aantoonbaar is ingebouwd in het ontwerp.

Recente studies onderstrepen het belang van deze aanpak. Zo benadrukken Focker et al. (2022) en Van Dongen et al. (2025) dat safe-by-design kan bijdragen aan het veilig hergebruik van reststromen in voedselproductie ([Focker, 2022](#); [Van Dongen 2025](#)). Van Dongen et al. (2025) tonen bijvoorbeeld aan dat slib en biomassa uit afvalwaterzuivering aanzienlijke risico's kunnen bevatten, en dat een systematische beoordeling van deze risico's vooraf noodzakelijk is om veilige toepassingen mogelijk te maken.

Hoewel safe-by-design nog relatief nieuw is binnen de voedselveiligheidspraktijk, biedt het een veelbelovende aanvulling op bestaande risicobeoordelingskaders. Door deze benadering structureel toe te passen, kunnen innovatieve circulaire toepassingen niet alleen duurzamer, maar ook veiliger worden gerealiseerd. Dat is essentieel voor zowel beleidsmakers als ondernemers in de voedselketen.

## 9.3 **Aandachtspunten bij reststroomgebruik**

Het is dus mogelijk dat reststromen uit andere ketens dan de voedselproductieketen worden ingezet in de productie van voedsel. En

dat de beoordeling van de voedselveiligheid dus niet gedaan wordt door de toezichthouder op de voedselveiligheid, de NVWA. Toch geldt dat:

- Producenten van voedsel verantwoordelijk zijn voor de veiligheid van hun producten, ook als daarbij reststromen uit andere onderdelen van de voedselproductieketen of uit andere productieketens als grondstof worden gebruikt.
- Hergebruik van afval uit niet-voedselsectoren alleen is toegestaan na vergunning. Voor het verkrijgen van een vergunning wordt de veiligheid voor mens en milieu getoetst.

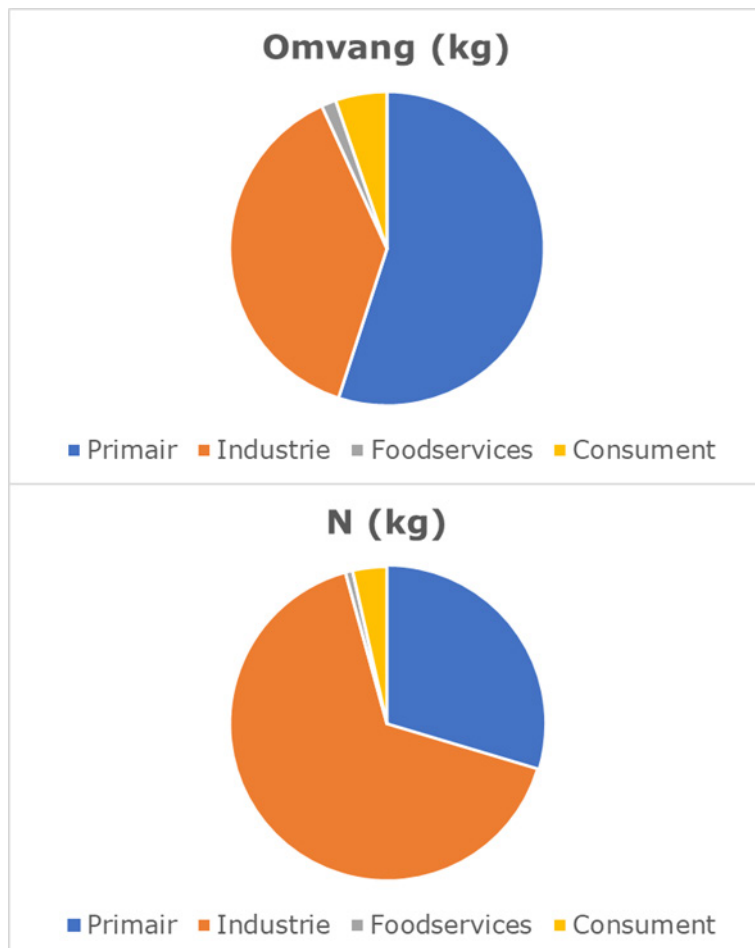
Hieruit is af te leiden dat het inzetten van reststromen, ook die eerst als afval geregistreerd stonden, veilig kan gebeuren. Hierbij moet echter toch een kanttekening worden geplaatst. Dit rapport geeft in hoofdstuk 7.1.4 een overzicht van initiatieven die gericht zijn op de valorisatie van specifieke reststromen. Voor een aantal van deze initiatieven is een juridisch oordeel (rechtsoordeel) beschikbaar, waarin de toepassing is getoetst aan de geldende wet- en regelgeving. Voor andere initiatieven is echter onduidelijk of er een dergelijke toetsing heeft plaatsgevonden. Het is mogelijk dat sommige verwerkers van reststromen die actief zijn in de voedselproductie, zich niet bewust zijn van hun verplichting om zich te registreren als voedselproducent. Hierdoor voldoen zij mogelijk niet aan de relevante wet- en regelgeving op het gebied van voedselveiligheid en volksgezondheid. Dit kan risico's met zich meebrengen voor zowel consumenten als de betrouwbaarheid van de voedselketen.

## 10 Conclusies

### 10.1 Omvang van reststromen

In de voedselketen, van productie tot consumptie, ontstaan aanzienlijke reststromen. De grootste hoeveelheid reststromen komt vrij in de primaire productie van gewassen, met een geschatte omvang van ongeveer 8,7 miljard kg, waarvan het grootste deel afkomstig is van suikerbieten (ongeveer 3,5 miljard kg). Ook in de industriële fase leveren plantaardige reststromen de grootste bijdrage, met een totaal van circa 4,7 miljard kg. Verder ontstaan er verliezen bij retail, foodservices en consumenten. Consumenten verspillen naar schatting vier keer zoveel voedsel als retail en foodservices samen. Toch is de totale omvang van deze verliezen aanzienlijk kleiner dan die uit de primaire productie en industrie (Figuur 12 en Tabel 16).

*Figuur 12 Vergelijking van de omvang van geïnventariseerde reststromen uit de verschillende schakels van de voedselketen: primaire productie, industriële verwerking, foodservices en retail, en consumenten (in 2021). Het bovenste cirkeldiagram toont de totale massa van reststromen (in kg). Het onderste cirkeldiagram geeft de verdeling weer op basis van de hoeveelheid stikstof (N, in kg) in deze reststromen. De onderliggende data van deze figuur zijn weergegeven in Tabel 16.*



Tabel 16 Totale omvang en stikstofverlies van geïnventariseerde reststromen per schakel van de voedselketen (in kg).

| Reststromen                   | Omvang (kg)           | N (kg)             |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| <i>Primaire productie</i>     |                       |                    |
| Plantaardig                   | 8.655.000.000         | 26.332.000         |
| Dierlijk                      | 135.992.000           | 4.000.000          |
| Zuivel                        | 156.000.000           | 896.064            |
| Visserij                      | 12.140.800            | 369.929            |
| Totaal                        | 8.959.132.800         | 31.597.993         |
| <i>Industriële verwerking</i> |                       |                    |
| Plantaardig                   | 4.672.000.000         | 33.973.000         |
| Dierlijk                      | 1.549.516.311         | 36.492.156         |
| Zuivel                        | nb                    | nb                 |
| Visserij                      | nb                    | nb                 |
| Totaal                        | 6.221.516.311         | 70.465.156         |
| <i>Foodservices en retail</i> |                       |                    |
| Foodservices                  | 66.000.000            | 189.344            |
| Retail                        | 180.000.000           | 599.040            |
| Totaal                        | 246.000.000           | 788.384            |
| <i>Consument</i>              | 864.000.000           | 3.758.400          |
| <b>TOTAAL</b>                 | <b>16.290.649.111</b> | <b>106.609.933</b> |

Toelichting: De tabel toont de totale hoeveelheid reststromen en het bijbehorende stikstofverlies (N) per sector (primaire productie, industriële verwerking, en foodservices, retail en consumenten). 'nb' betekent 'niet bekend', wat aangeeft dat voor deze categorie geen betrouwbare gegevens beschikbaar waren op het moment van inventarisatie.

Ook de stikstofverliezen zijn het grootst in de primaire fase. Afgezien van bodemverliezen (zoals niet-opgenomen stikstof door planten) en mest, gaat jaarlijks naar schatting 233 miljoen kg stikstof verloren in de primaire productie. In de industriële fase komt daar nog eens 70 miljoen kg bij, terwijl bij retail en foodservices circa 0,8 miljoen kg, en bij consumenten ongeveer 3,7 miljoen kg stikstof verloren gaat.

Hoewel dit project zich richt op het in kaart brengen van reststromen in voedselproductieketens, zijn er ook vormen van inefficiënt gebruik van voedsel die buiten de scope vallen. Zo eet de Nederlandse consument gemiddeld meer dierlijk eiwit dan nodig is voor een gezond dieet. Dit is geen voedselverlies in de strikte zin van het woord, aangezien het eiwit daadwerkelijk wordt geconsumeerd. Het wijst echter wel op een suboptimale benutting van eiwitbronnen vanuit gezondheidsperspectief.

Ook wet- en regelgeving speelt een belangrijke rol in voedselverspilling. Onduidelijke etikettering en verwarring over houdbaarheidsdata, zoals het verschil tussen 'Te Gebruiken Tot' (TGT) en 'Tenminste Houdbaar Tot' (THT), zorgen ervoor dat consumenten en bedrijven producten onnodig weggooien. Daarnaast zijn bedrijven vaak terughoudend met het doneren of hergebruiken van voedsel uit angst voor aansprakelijkheid bij voedselveiligheidsproblemen. Deze factoren leiden ertoe dat nog eetbaar voedsel verloren gaat. Door regelgeving te verduidelijken en aan te passen, bijvoorbeeld door het schrappen van THT-data op niet-bederfelijke producten zoals pasta of koffie, kan voedselverlies aanzienlijk worden verminderd. Ook het versoepelen van aansprakelijkheidsregels bij voedselherverdeling kan bijdragen aan minder verspilling.

## 10.2 Microbiologische veiligheid bij valorisatie van reststromen

De microbiologische veiligheid van reststromen wordt grotendeels geborgd door Europese wetgeving. Voor voedselproducerende bedrijven in de industriële fase gelden verplichtingen op basis van [Verordening \(EG\) nr. 852/2004](#) en [Verordening \(EG\) nr. 853/2004](#), waaronder HACCP en goede hygiënepraktijken (GHP). Ook bijproducten die niet als afval zijn geregistreerd vallen hieronder, waardoor de risico's in deze fase over het algemeen goed beheersbaar zijn.

Voor de primaire productie gelden dezelfde verordeningen, maar zonder verplichte toepassing van HACCP. Dit betekent dat reststromen uit deze fase – met name plantaardige – minder goed onder controle staan. De bijproductenverordening, [Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#), borgt de veiligheid van dierlijke reststromen, maar een vergelijkbare borging ontbreekt voor plantaardige reststromen.

### 10.2.1 *Plantaardige sector*

De microbiologische risico's bij het gebruik van plantaardige reststromen hangen af van verschillende factoren en kunnen optreden in zowel de primaire productie als in latere ketenfasen.

In de primaire productie kunnen gewasresten besmet raken met pathogenen zoals *E. coli*, *Salmonella* en *Listeria*, afkomstig uit bodem, water of mest. Door het ontbreken van HACCP-systemen in deze fase is er minder controle, wat de risico's vergroot. Factoren zoals het gebruik van onbehandeld irrigatiewater en de aanwezigheid van wilde dieren verhogen het besmettingsrisico.

Ook tijdens de verwerking kunnen microbiologische gevaren ontstaan, bijvoorbeeld door kruisbesmetting of onvoldoende hygiëne bij transport en opslag. Door de complexiteit van de logistiek en meerdere contactpunten neemt het risico op besmetting toe.

Hoewel alle fasen risico's kennen, zijn de microbiologische gevaren in de primaire productie waarschijnlijk het grootst vanwege de directe blootstelling aan natuurlijke bronnen van pathogenen en het ontbreken van structurele beheersmaatregelen. Tegelijkertijd is er nog relatief weinig literatuur beschikbaar die zich specifiek richt op de aanwezigheid van pathogenen in plantaardige reststromen. Dit maakt het lastig om per reststroom potentiële risicovolle micro-organismen nauwkeurig te identificeren. Het gebrek aan uitgebreide microbiologische veiligheidsevaluaties benadrukt de noodzaak voor verder wetenschappelijk onderzoek op dit gebied.

Daarnaast is het belangrijk om te onderkennen dat bestaande wet- en regelgeving, zoals [Verordening \(EG\) nr. 852/2004](#), vooral is toegespitst op de traditionele voedselketen. In de praktijk worden HACCP-systemen niet altijd toegepast in de primaire productie, waardoor reststromen uit deze fase mogelijk minder goed worden gecontroleerd. Dit vergroot het risico op besmetting en vraagt om aanvullende borgingsmaatregelen, bewustwording en verdere ontwikkeling van richtlijnen die beter aansluiten op circulaire toepassingen.

### 10.2.2 *Dierlijke sector*

Dierlijke reststromen die ontstaan bij de industriële verwerking van dieren en eieren worden grotendeels verwerkt volgens de richtlijnen van [Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#). Deze regelgeving stelt strikte eisen aan de verwerking van dierlijke bijproducten, waardoor de veiligheid van eindproducten voor dierlijke toepassingen gewaarborgd is. De Verordening maakt, op basis van het risico, onderscheid in drie categorieën: cat-1, cat-2 en cat-3, waarbij cat-1 gekoppeld is aan het hoogste risico.

Dierlijke bijproducten zijn uitgesloten van humane consumptie, maar afgeleide producten, kunnen wel voor cosmetische producten gebruikt worden. En dierlijke bijproducten (cat-3) kunnen via diervoeder voor landbouwhuisdieren in de voedselproductieketen terechtkomen. Deze toepassingen zijn wettelijk geregeld.

Technologische ontwikkelingen maken het mogelijk om uit dierlijke reststromen waardevolle componenten te winnen, zoals eiwitten, peptiden, gelatine en antioxidanten, die kunnen worden toegepast in cosmetica, farmaceutica en verpakkingsmaterialen, maar ook in voedsel. Deze valorisatie vereist een zorgvuldige benadering van microbiologische voedselveiligheid. Bijproducten zoals pluimveeveren kunnen bijvoorbeeld residuen van antimicrobiële middelen bevatten, wat het risico op de ontwikkeling van resistente micro-organismen vergroot. Dit benadrukt het belang van strikte monitoring en risicobeoordeling binnen het verwerkingsproces. Daarnaast vormen maatschappelijke factoren zoals de beperkte consumentenacceptatie van orgaanvlees en de mogelijke toename van de ziektelast bij verhoogde consumptie van dierlijke bijproducten belangrijke aandachtspunten. Deze risico's zijn te beperken wanneer de inzet van bijproducten gepaard gaat met een afname in de totale vleesconsumptie, waardoor valorisatie bijdraagt aan zowel voedselveiligheid als duurzaamheid.

### 10.2.3 *Zuivelsector*

De zuivelsector kent relatief weinig reststromen, doordat veel bijproducten opnieuw worden ingezet binnen het productieproces. Toch ontstaat er tijdens de primaire productie een aanzienlijke reststroom in de vorm van afgekeurde melk, met een geschatte omvang van 156 miljoen kg per jaar. Deze melk wordt uitgesloten van gebruik in humane voeding en diervoeder vanwege mogelijke aanwezigheid van diergeneesmiddelen, zoals antibiotica.

Hoewel de microbiologische risico's van afgekeurde melk vergelijkbaar zijn met die van reguliere rauwe melk, kan de mogelijke aanwezigheid van antibioticaresiduen een aandachtspunt vormen. Wanneer dergelijke residuen aanwezig zijn, kunnen ze bijdragen aan de ontwikkeling van antibioticaresistente micro-organismen, wat een risico vormt voor zowel diergezondheid als voedselveiligheid. Een verantwoorde verwerking van deze reststroom is essentieel om risico's te beheersen en bij te dragen aan een duurzaam en circulair voedselsysteem.

Het merendeel van de reststromen uit de zuivelverwerking wordt benut onder GMP+-omstandigheden, waarbij processen zijn ingericht op basis van uitgewerkte HACCP-analyses. Hierdoor zijn de microbiologische gevaren in deze ketenfase voor een groot deel in beeld en beheersbaar.

Wel kunnen bij geheel nieuwe valorisatiemogelijkheden, zoals het gebruik van slib uit afvalwaterzuivering van melkverwerking, andere microbiologische risico's optreden. Deze toepassingen vragen om aanvullende risicobeoordeling en borging, om ook in innovatieve toepassingen de voedselveiligheid te waarborgen.

#### 10.2.4 *Visserijsector*

De verwerking van reststromen uit de visserijsector, zoals koppen, graten, huiden, ingewanden en schaalresten, vindt plaats binnen gereguleerde processen die gericht zijn op het waarborgen van microbiologische voedselveiligheid. Hoewel vis, schaal- en weekdieren van nature parasieten en pathogene bacteriën kunnen bevatten, zijn deze risico's effectief te beheersen door verwerkingsmethoden zoals verhitten, koelen, invriezen of verzuren. Voor schelpdieren, die pathogenen uit het water kunnen accumuleren, zijn aanvullende verwerkingsstappen noodzakelijk om de veiligheid van eindproducten te garanderen.

De valorisatie van visserijreststromen tot producten voor humane en dierlijke consumptie – zoals vismeel, visolie, collageen, visproteïnen en chitine – vindt plaats onder voorwaarden die voldoen aan Europese regelgeving, waaronder [Verordening \(EG\) Nr. 1069/2009](#). Hierdoor is aanneembaar dat de microbiologische veiligheid van deze producten geborgd is, mits de verwerking onder gecontroleerde omstandigheden plaatsvindt.

#### 10.2.5 *Foodservices, retail en consumenten*

De microbiologische risico's in reststromen uit foodservices en retail zijn moeilijk eenduidig te beoordelen vanwege de grote variatie aan producten en bereidingswijzen. Reststromen die dierlijk materiaal bevatten, vallen onder wettelijke kaders, maar andere reststromen kunnen besmet raken door onvoldoende hygiëne tijdens bereiding of door groei van micro-organismen tijdens opslag. De microbiologische gevaren in deze reststromen zijn vergelijkbaar met die in de oorspronkelijke producten, met als extra risico de mogelijke aanwezigheid van pathogenen zoals *Staphylococcus aureus*, *Listeria*, *Enterobacteriaceae* en norovirus in bereid voedsel.

Korte opslag van huishoudelijk voedselafval bij lage temperatuur kan het risico op microbiologische besmetting beperken. Daarbij is het ook belangrijk om huishoudelijk afval met dierlijk restmateriaal gescheiden te houden van plantaardige resten. Dit omdat dierlijke reststromen een grotere kans hebben op het voorkomen van pathogenen. Voor een veilige benutting van voedselafval in circulaire toepassingen is gescheiden inzameling van huishoudelijke reststromen dan ook essentieel.

Gezien de variabiliteit en het potentieel voor besmetting in deze reststromen, is verdere studie naar microbiologische risico's en passende beheersmaatregelen noodzakelijk, vooral wanneer deze stromen worden ingezet in circulaire voedsel- of diervoederketens.

### 10.3 Algemene conclusie en aanbevelingen

De analyse van reststromen in de Nederlandse voedselketen laat zien dat het overgrote deel – circa 92 procent – ontstaat in de primaire productie en de industriële verwerking. De primaire plantaardige productie levert veruit de grootste hoeveelheid reststromen, met name bij gewassen zoals suikerbieten. Tegelijkertijd is dit juist de fase waarin het toezicht en de beheersing van microbiologische risico's het minst ontwikkeld zijn. Er is voor de teelt van plantaardige gewassen geen verplichting tot HACCP, en structurele monitoring ontbreekt vaak. Hierdoor zijn plantaardige reststromen uit deze fase kwetsbaar voor besmetting vanuit de omgeving, zoals via bodem, mest, irrigatiewater of wilde dieren. Dit benadrukt de noodzaak om, indien reststromen uit deze fase worden ingezet voor voedsel of diervoeder, specifieke HACCP-richtlijnen te ontwikkelen.

In contrast daarmee staat de industriële verwerking, waar wél sprake is van uitgebreide borging van voedselveiligheid. Hier zijn bedrijven verplicht te werken volgens HACCP en goede hygiënepraktijken (GHP), zoals vastgelegd in [Verordening \(EG\) nr. 852/2004](#) en [Verordening \(EG\) nr. 853/2004](#). Zowel de producent van een reststroom als de gebruiker ervan moeten aan deze wetgeving voldoen. Hierdoor zijn de microbiologische risico's in deze fase over het algemeen goed beheersbaar, mits de richtlijnen correct worden toegepast.

Hoewel verse, onbewerkte groenten en fruit doorgaans slechts sporadisch schadelijke hoeveelheden ziekteverwekkers bevatten, kunnen microbiologische besmettingen wel degelijk voorkomen en is de impact potentieel groot. De meeste beschikbare gegevens richten zich echter op eindproducten voor consumptie, terwijl specifieke informatie over reststromen uit de verwerkende industrie beperkt is. Dit gebrek aan transparantie bemoeilijkt een goede inschatting van risico's bij het gebruik van plantaardige reststromen en maakt het nemen van gerichte beheersmaatregelen lastig.

Voor de visserijsector geldt een vergelijkbare situatie. De nadruk ligt vaak op voedselveiligheid van visproducten voor menselijke consumptie, terwijl reststromen zoals visafval of bijvangst minder goed onderzocht zijn op microbiologische gevaren. Dit vormt een belemmering voor veilige en verantwoorde circulaire toepassingen.

Andere risicogebieden betreffen dierlijke en zuivelreststromen, waarin residuen van antibiotica kunnen voorkomen. Deze kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van antimicrobiële resistentie. Ook chemische risico's verdienen daarom structurele aandacht binnen risicobeoordelingen van reststromen.

Daarnaast worden in de voedselproductie en -verwerking soms ook reststromen gebruikt die afkomstig zijn uit niet-voedselproducerende sectoren, zoals struviet (uit afvalwaterzuivering) of verpakkingsplastics. Hoewel deze toepassingen buiten de scope van dit onderzoek vallen, kunnen ze mogelijk nieuwe microbiologische of chemische risico's met zich meebrengen. Voor deze reststromen bestaat doorgaans wel wetgeving en toezicht, maar het toezicht ligt vaak bij andere instanties

dan de NVWA, zoals Omgevingsdiensten of Rijkswaterstaat. Dit kan leiden tot onduidelijkheid over de toelaatbaarheid van hergebruik in de voedselketen en verhoogt mogelijk het risico op mismatches met voedselveiligheidsnormen.

Ook voor innovatieve toepassingen, zoals het gebruik van insecten (gekweekt op een reststroom) als ingrediënt in voedsel of diervoeder, zijn aanvullende risicobeoordelingen nodig. Bestaande wetgeving is vaak nog gericht op lineaire voedselketens en sluit niet altijd goed aan op circulaire toepassingen. Dat leidt tot onduidelijkheid over de toelaatbaarheid van bepaalde vormen van hergebruik.

Daarnaast blijkt uit de praktijk dat sommige ondernemers circulaire initiatieven starten zonder voldoende kennis van de geldende wet- en regelgeving. Het ontbreken van een HACCP-plan of toezicht door de NVWA kan leiden tot onbedoelde voedselveiligheidsrisico's. Bewustwording en begeleiding zijn daarom cruciaal om veilige en verantwoorde innovaties te stimuleren.

Om voedselveiligheid binnen een circulaire economie te waarborgen, is het belangrijk dat ondernemers, toezichthouders en beleidsmakers beschikken over duidelijke richtlijnen en actuele kennis van microbiologische risico's. Door te investeren in monitoring, risicobeoordeling en kennisdeling kan het potentieel van reststromen veilig en verantwoord worden benut.

### **Belangrijkste bevindingen:**

Het onderzoek bevestigt dat voedselreststromen veilig kunnen worden gevaloriseerd, mits producenten de geldende voedselveiligheidsregels zorgvuldig naleven. De volgende knelpunten en aandachtspunten zijn geïdentificeerd:

- Beperkt inzicht in de soort en omvang van reststromen belemmert een adequate risicobeoordeling en vormt een obstakel voor veilige en verantwoorde toepassingen.
- Ontbrekende of onvoldoende HACCP-maatregelen in de primaire productie van gewassen, vooral bij hergebruik van reststromen voor voedsel of diervoeder, vergroten het risico op microbiologische besmetting.
- Innovatieve toepassingen brengen nieuwe microbiologische risico's met zich mee, waarvoor bestaande wet- en regelgeving vaak onvoldoende handvatten biedt.
- Een gebrek aan kennis, ondersteuning en begeleiding bij ondernemers kan leiden tot onbedoelde voedselveiligheidsrisico's, ondanks de wettelijke verplichting om veilige producten op de markt te brengen.

### **Aanbevelingen:**

Op basis van de bevindingen bevelen we de volgende acties aan om microbiologische risico's in voedselreststromen effectief te beheersen en tegelijkertijd veilige circulaire toepassingen te stimuleren:

- Registratie en monitoring van voedselreststromen en hun verwerking, om inzicht te verkrijgen in potentiële risico's en om gerichte beheersmaatregelen mogelijk te maken.

- Ontwikkeling van HACCP-richtlijnen voor de plantaardige primaire productie, vooral wanneer reststromen worden ingezet voor voedsel of diervoeder. Dit maakt het mogelijk om structurele beheersmaatregelen in deze fase te implementeren.
- Toepassing van safe-by-design-benaderingen, waarbij voedselveiligheidsrisico's al in de ontwerpfase van valorisatieprocessen worden meegenomen. Dit draagt bij aan het structureel minimaliseren van microbiologische risico's, met name bij innovatieve toepassingen die buiten het bereik vallen van bestaande regelgeving.
- Bewustwording en begeleiding van ondernemers bij de ontwikkeling van nieuwe duurzaamheidsinitiatieven. Het ontbreken van een HACCP-plan of toezicht door de NVWA kan leiden tot onbedoelde voedselveiligheidsrisico's. Voorlichting en ondersteuning zijn daarom essentieel om veilige en verantwoorde circulaire innovaties te stimuleren.

**Breder perspectief op voedselveiligheid:**

Hoewel deze aanbevelingen zich richten op microbiologische risico's, is het belangrijk om ook andere voedselveiligheidsaspecten mee te nemen in risicobeoordelingen. Chemische risico's, zoals residuen van gewasbeschermingsmiddelen of antibiotica, kunnen eveneens een rol spelen bij de valorisatie van reststromen. Structurele aandacht hiervoor binnen risicobeoordelingen is wenselijk om een integrale benadering van voedselveiligheid te waarborgen.

## 11 Refentielijst

Abbink, W. and Hiemstra, S.J., 2017. Aquatic Genetic Resources (AqGR) in The Netherlands; Country report. Centre for Genetic Resources, the Netherlands (CGN), Wageningen University & Research, CGN Report 38. <https://edepot.wur.nl/428682>

ABN AMRO - Halvering van voedselverspilling in 2030. Hoe dan? <https://www.retailinsiders.nl/docs/de9c8635-d985-4ce6-b1fd-79cd5f8da65c.pdf>

Adetunji, C.O., Olaniyan, O.T., Anani, O.A., Bodunrinde, R.E., Osemwegie, O.O., & Ubi, B.E. (2022). Integrated processes for production of pharmaceutical products from agro-wastes. In S. Varjani, A. Pandey, T. Bhaskar, S.V. Mohan, & D.C.W. Tsang (Eds.), Biomass, biofuels, biochemicals (pp. 439–461). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89855-3.00021-2>

Afval Circulair – Rechtsoordelen. <https://www.afvalcirculair.nl/afvalstof-of-niet-afvalstof/rechtsoordelen/>

Agro & Chemie - Mogelijkheden voor reststromen van uien. <https://www.agro-chemie.nl/artikelen/mogelijkheden-reststromen-uien>

Alabrese, M., Brunori, M., Rolandi, S., & Saba, A. (2015). "Agri-food industries and the challenge of reducing food wastage: an analysis of legal opportunities". In Envisioning a future without food waste and food poverty. Leiden, The Netherlands: Wageningen Academic. [https://doi.org/10.3920/978-90-8686-820-9\\_6](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-820-9_6)

Albizzati, P.F., Tonini, D., Chammard, C.B., & Astrup, T.F. (2019). Valorisation of surplus food in the French retail sector: Environmental and economic impacts. Waste Management, 90, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.034>

Amicarelli, V., Geatti, P., & Bux, C. (2023). The circular economy potential of spent hens' co-products and by-products in Italy by material flow analysis. Environments, 10(8), 137. <https://doi.org/10.3390/environments10080137>

Anaya-Esparza, L.M., Mora, Z.V.-d.l., Vázquez-Paulino, O., Ascencio, F., & Villarruel-López, A. (2021). Bell Peppers (*Capsicum annum* L.) Losses and Wastes: Source for Food and Pharmaceutical Applications. Molecules, 26(17), 5341. <https://doi.org/10.3390/molecules26175341>

Appelsientje. <https://www.appelsientje.nl/product/fruitdrink/>

Aranberri, I., Montes, S., Azcune, I., Rekondo, A., & Grande, H.J. (2017). Fully biodegradable biocomposites with high chicken feather content. Polymers, 9(11), 593. <https://www.mdpi.com/2073-4360/9/11/593>

Arshad, R.N., Abdul-Malek, Z., Roobab, U., Munir, M.A., Naderipour, A., Qureshi, M.I., Bekhit, A.E.-D.A., Liu, Z.W., & Aadil, R.M. (2021). Pulsed electric field: A potential alternative towards a sustainable food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 43–54.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.041>

Aspevik, T., Oterhals, Å., Rønning, S.B., Altintzoglou, T., Wubshet, S.G., Gildberg, A., & Afseth, N.K. (2017). Valorization of proteins from co- and by-products from the fish and meat industry. *Topics in Current Chemistry (Z)*, 375(53). <https://doi.org/10.1007/s41061-017-0143-6>

Atasoy, M., Álvarez Ordóñez, A., Cenian, A., Djukić-Vuković, A., Lund, P.A., Ozogul, F., Trček, J., Ziv, C., & De Biase, D. (2024). Exploitation of microbial activities at low pH to enhance planetary health. *FEMS Microbiology Reviews*, 48(1), fuad062.

<https://doi.org/10.1093/femsre/fuad062>

Baarsen, J., Luchies, J., Turenhout, M.N.J., & Buisman, F.C. (2015). Verkenning economische impact aanlandplicht op Nederlandse kottervloot. Flynth adviseurs en accountants & LEI Wageningen UR.

<https://visserbond.nl/wp-content/uploads/2016/04/Eindrapportage-Verkenning-economische-impact-aanlandplicht-op-de-Nederlandse-kottervloot.pdf>

Banaszewska, A., Cruijssen, F.C.A.M., Van der Vorst, J.G.A.J., Claassen, G.D.H., & Kampman, J.L. (2013). A comprehensive dairy valorization model. *Journal of Dairy Science*, 96, 761-779.

<https://doi.org/10.3168/jds.2012-5641>

Benincà, E., Pijnacker, R., Friesema, I.H.M., Kretzschmar, M., Franz, E., & Mughini Gras, L. (2022). Disease burden of food-related pathogens in the Netherlands, 2021–2022 (RIVM Report No. 2022-0173). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).

<https://doi.org/10.21945/RIVM-2022-0173>

Berenguer, C.V., Andrade, C., Pereira, J.A.M., Perestrelo, R., & Câmara, J.S. (2023). Current Challenges in the Sustainable Valorisation of Agri-Food Wastes: A Review. *Processes*, 11(1), 20.

<https://doi.org/10.3390/pr11010020>

Betoret, N., Betoret, E., & Glicerina, V.T. (2024). Valorization and Utilization of Food Wastes and By-Products: Recent Trends, Innovative Technologies and Sustainability Challenges. *Foods*, 13(1), 9.

<https://doi.org/10.3390/foods13010009>

Bidfood - 8 tips om voedselverspilling tegen te gaan in de horeca.

<https://support.bidfood.nl/blog/8-tips-om-voedselverspilling-tegen-te-gaan-in-de-horeca>

BIOCEVAL GmbH & Co. KG. <https://www.bioceval.de/en/>

Blok, A., Leendertse, P., Hees E., Bosland H. (2023). Duurzaamheid van suikermais. Bijdrage van suikermais aan Europese milieu- en klimaatdoelstellingen. Rapport CLM Onderzoek en Advies. CLM-publicatienummer 1162. <https://www.clm.nl/publicaties/duurzaamheid-van-suikermais>

Bonilla Cedrez, C., Andeweg, K., & Casu, F.A.M. (2023). Circular Food Systems around the world: exploring concepts, ideas and opportunities. (Public report / Wageningen Livestock Research). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/638397>

Booij, A. (2018) Special: mais. In Veeteelt: magazine van het Koninklijk Nederlands Rundvee Syndicaat NRS (1/2): 23 2018. <https://edepot.wur.nl/432699>

Bosch, H., & De Jonge, P. (1989). Handboek voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond 1989. (Publicatie: Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond; No. nr. 47). Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond. <https://edepot.wur.nl/346562>

Bourdoux, S., Li, D., Rajkovic, A., Devlieghere, F., & Uyttendaele, M. (2016). Performance of drying technologies to ensure microbial safety of dried fruits and vegetables. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 15(6), 1056–1066. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12224>

Braekevelt A., *et al.* (2023). Monitor voedselverlies 2020. OVAM. D/2023/5024/06. <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/56709>

Brennan, C.S. (2024). Regenerative food innovation: The role of agro-food chain by-products and plant origin food to obtain high-value-added foods [Review]. Foods, 13(3), Article 427. <https://doi.org/10.3390/foods13030427>

Broeze, J., Geerdink, P., Kok, M.G., Soethoudt, J.M., Verkleij, T.J., Vermeij, I., Vollebregt, H.M., & Castelein, R.B. (2023). Schatting van volumes en bestemmingen van dierlijke bijproducten in Nederland. (Rapport/Wageningen Food & Biobased Research; No. 2515). Wageningen Food & Biobased Research. <https://doi.org/10.18174/643157>

BrouwBrood. <https://therockgroup.biz/nl/project/brouwbrood/>

Bruins, M.E., Meijer, N.P., Antonis, A.F.S., Veldkamp, T., Van Groenestijn, J.W., De Vos, C.J., Hayrapetyan, H., Naser El Deen, S., Appel, M.J., & Hoek-van den Hil, E.F. (2024). Safe insect rearing on yet to be legalised residual streams : policy brief. (WFSR-report; No. 2024.702). Wageningen Food Safety Research. <https://edepot.wur.nl/686071>

Bumbra, P., Khosla, B., & Behl, R.K. (2022). Valorization of poultry feathers into value-added products. *Annals of Biology*, 38(1), 118–122. <https://agribioj.com/wp-content/uploads/2019/11/AOB-38-1-118-122.pdf>

Bus, C.B., Veerman, A., Kempenaar, C., & Van der Weide, R. (2003). Chemische loofddoding: een knelpunt bij geïntegreerde aardappelteelt. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*. <https://edepot.wur.nl/116428>

Bussmann, P. (2020, maart). Suiker Unie haalt eiwit uit afvalstroom: Van waardeloos blad naar kostbaar poeder. *Wageningen World*, (1), 17–21. <https://edepot.wur.nl/517375>

Caffe Inc. <https://caffeinc.nl>

Capanoglu, E., Nemli, E., & Tomas-Barberan, F. (2022). Novel approaches in the valorization of agricultural wastes and their applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6787–6804. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07104>

CBL – Voedselverspilling. Centraal Bureau Levensmiddelenhandel - behartigen de belangen van de supermarkten en foodservicebedrijven. <https://www.cbl.nl/onderwerpen/voedselverspilling-tegengaan>

CBS - Akkerbouwgewassen; voorlopige en definitieve oogstraming. <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84296NED/table>

CBS - Hoeveel vis wordt aan wal gebracht? <https://longreads.cbs.nl/nederland-in-cijfers-2022/hoeveel-vis-wordt-aan-wal-gebracht/>

CBS - Minder huishoudelijk afval in 2021. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/28/minder-huishoudelijk-afval-in-2021>

CBS - Oogstraming akkerbouw. <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/onderzoeksomschrijvingen/korte-onderzoeksomschrijvingen/oogstraming-akkerbouw>

CBS StatLine - Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding; (www.cbs.nl). <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83982NED/table?ts=1701183057856>

CBS StatLine - Goederensoorten naar EU, niet-EU; natuur, voeding en tabak, 2008-2022. <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/81260ned>

CBS StatLine - Mineralenbalans landbouw (www.cbs.nl). <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83475NED/table?ts=1690973513475>

CBS Statline - Visserij en aquacultuur; hoeveelheid vis, schaal- en schelpdieren. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83622NED/table?dl=66D7B&ts=1748010798004>

Centraal Veevoeder Bureau (CVB). <https://www.cvbdiervoeding.nl>  
Chaincraft. <https://chaincraft.com/>

Change Inc. – Vis. Eva Segaar (10 juni 2021). Zweedse onderzoekers: 'Dompel vis onder in een citroenbad om verspilling tegen te gaan'.  
<https://www.change.inc/agri-food/zweedse-onderzoekers-dompel-vis-onder-in-een-citroenbad-om-verspilling-tegen-te-gaan-36519>

Change Inc. <https://www.change.inc>

Circular Feed Association. OPNV - Overleggroep Producenten Natte Veevoerders - Afzetcijfers vochtrijke diervoeders.  
<https://www.circularfeed.eu/nl/nieuws/afzetcijfers>

Circular Food Center. <https://www.circularfoodcenter.com>

CLO - Stroomschema voor stikstof en fosfor in de landbouw, 2022 | Compendium voor de Leefomgeving ([www.clo.nl](http://www.clo.nl)).  
<https://www.clo.nl/indicatoren/nl009423-stroomschema-voor-stikstof-en-fosfor-in-de-landbouw-2022>

Codex Alimentarius. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

Coppola, D., Lauritano, C., Palma Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C., & De Pascale, D. (2021). Fish waste: From problem to valuable resource. Marine Drugs, 19(2), 116. <https://doi.org/10.3390/md19020116>

Corré, W.J. (2008). Biomassastromen voor bioraffinage in Nederland. (Rapport/Plant Research International; No. 200). Plant Research International. <https://edepot.wur.nl/37187>

Cosun - Focus op plantaardige eiwitten.  
<https://www.cosun.nl/eiwittransitie>

Cosun. <https://www.cosun.nl>

Dahiya, S., Kumar, A.N., Sravan, J.S., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S.V. (2018). Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. Bioresource Technology, 248(Part A), 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176>

Darling Ingredients. <https://www.darlingii.com/>

DBC - Valorisatie van eiwithoudende gewassen en reststromen. Dutch Biorefinery Cluster – Overzicht: Valorisatie van eiwithoudende gewassen en reststromen. Dit overzicht is opgesteld door het Platform Agro-Papier-Chemie, een samenwerkingsverband tussen de agrosector en de papierindustrie verenigd in het Dutch Biorefinery Cluster en de chemische industrie verenigd in VNCI. Auteurs: Edith Engelen (APC), Annita Westenbroek (DBC); Platform Agro-Papier-Chemie, September 2013.  
[https://www.dutchbiorefinerycluster.nl/download/299/documenten/Overzicht Eiwitinitiatieven NL nov 2013.pdf](https://www.dutchbiorefinerycluster.nl/download/299/documenten/Overzicht%20Eiwitinitiatieven%20NL%20nov%202013.pdf)

DBC - Valorisatie van eiwithoudende reststromen. Dutch Biorefinery Cluster – Visiedocument: Valorisatie van eiwithoudende reststromen. Dit visiedocument is opgesteld door het Platform Agro-Papier-Chemie, een samenwerkingsverband tussen de agrosector en de papierindustrie verenigd in het Dutch Biorefinery Cluster en de chemische industrie verenigd in VNCI. Auteurs: Edith Engelen (APC), Annita Westenbroek (DBC); Platform Agro-Papier-Chemie, Oktober 2013.

[https://www.dutchbiorefinerycluster.nl/download/302/documenten/Visiedocument\\_Eiwitten\\_NL\\_nov\\_2013.pdf](https://www.dutchbiorefinerycluster.nl/download/302/documenten/Visiedocument_Eiwitten_NL_nov_2013.pdf)

De Clique. <https://declique.nl>

De Jonge, R. (2025). Voedselveiligheidsrisico's bij het tegengaan van voedselverspilling door consumenten. RIVM-rapport 2025-0063. Rapport is in voorbereiding.

De Groene Keuken van HAK. Maatschappelijk impact rapport 2019.

<https://cdn.nieuweoogst.nu/public/file/173838.pdf>

De Haan, J.J., Schoutsen, M.A., Van Balen, D.J.M., & De Haas, M. (2016). Met beide benen op de grond: Bodemstructuur niet te verbeteren met bodemverbeteraars alleen. Wageningen University and Research Centre. <https://edepot.wur.nl/391327>

De Verspillingsfabriek. <https://deverspillingsfabriek.nl>

Dey, D., Richter, J.K., Ek, P., Gu, B.-J., & Ganjyal, G.M. (2021). Utilization of food processing by-products in extrusion processing: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 603751.

<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.603751>

Didde, R., *et al.* (2014). Zuinig zijn op de oogst: een derde van het voedsel gaat verloren. *Wageningen World*, (3), 20-25.

<https://edepot.wur.nl/317187>

Dolman, M.A. (2016). Reststromen zuivelketen. LEI Wageningen UR.

<https://edepot.wur.nl/368101>

Dos Santos, M., Ozaki, M.M., Ribeiro, W.O., Paglarini, C., De S., Vidal, V.A.S., Campagnol, P.C.B., & Pollonio, M.A.R. (2020). Emulsion gels based on pork skin and dietary fibers as animal fat replacers in meat emulsions: An adding value strategy to byproducts. *LWT*, 120, 108895.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108895>

Elbersen, H.W., Janssens, S.R.M., & Koppejan, J. (2011). De beschikbaarheid van biomassa voor energie in de agro-industrie. (Report/Wageningen UR Food & Biobased Research; No. 1200). Wageningen UR Food & Biobased Research.

<https://edepot.wur.nl/163580>

EOS Wetenschap - Tracé van Aardappel.

<https://eostrace.be/traces/trace-van-aardappel>

EOS Wetenschap – Tracé van Mais. <https://eostrace.be/traces/trace-van-mais>

EOS Wetenschap – Tracé van paprika. <https://eostrace.be/traces/trace-van-paprika>

EOS Wetenschap – Tracé van peulvruchten). <https://eostrace.be/traces/trace-van-peulvruchten>

EOS Wetenschap – Tracé van suiker. <https://eostrace.be/traces/trace-van-suiker>

EOS Wetenschap – Tracé van tomaat. <https://eostrace.be/traces/trace-van-tomaat>

EOS Wetenschap – Tracé van witloof. <https://eostrace.be/traces/trace-van-witloof>

Eslami, E., Carpentieri, S., Pataro, G., & Ferrari, G. (2023). A Comprehensive Overview of Tomato Processing By-Product Valorization by Conventional Methods versus Emerging Technologies. *Foods*, 12(1), 166. <https://doi.org/10.3390/foods12010166>

Europees Parlement - circulaire economie. [https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2023/9/story/20151201STO05603/20151201STO05603\\_nl.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2023/9/story/20151201STO05603/20151201STO05603_nl.pdf)

Eurostat - Food waste and food waste prevention. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env\\_wasfw/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasfw/default/table?lang=en)

Fan, H., & Wu, J. (2022). Conventional use and sustainable valorization of spent egg-laying hens as functional foods and biomaterials: A review. *Bioresources and Bioprocessing*, 9, 43. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00529-z>

Flanders' FOOD – 'Wat met oesterzwamvoetjes?'. De speerpuntcluster en innovatieplatform voor de Vlaamse agrovoedingsindustrie. <https://www.flandersfood.com/nl/succesverhaal/2021/food-food-stories-wat-met-oesterzwamvoetjes>

Focker, M., Van Asselt, E.D., Berendsen, B.J.A., Van de Schans, M.G.M., Van Leeuwen, S.P.J., Visser, S.M., & Van der Fels-Klerx, H.J. (2022). Review of food safety hazards in circular food systems in Europe. *Food Research International*, 158, 111505. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111505>

Food from Food – Wortelen. [https://www.flandersfood.com/nl/artikel/2019/FoodFromFoodStories\\_Wortel](https://www.flandersfood.com/nl/artikel/2019/FoodFromFoodStories_Wortel)

Food Safety by Design – automated hazard identification tool. <https://www.wur.nl/en/project/food-safety-by-design-automated-hazard-identification-tool.htm>

Gellynck X., De Pelsmaecker S., Lambrecht E. & Vandenhaute H. (2017) De impact van cosmetische kwaliteitseisen op voedselverlies: casestudie Vlaamse sector groenten en fruit, in opdracht van Departement Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie, Brussel. D/2017/3241/47. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/de-impact-van-cosmetische-kwaliteitseisen-op-voedselverlies-casestudie-vlaamse-sector-groenten-en-fruit>

Gómez-Guillén, M.C., Giménez, B., López-Caballero, M.E., & Montero, M.P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. Food Hydrocolloids, 25(8), 1813–1827. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>

GROWN bio. <https://www.grown.bio>

Handreiking afvalstof of niet-afvalstof. <https://www.afvalcirculair.nl/afvalstof-of-niet-afvalstof/handreiking-afvalstof/>

Hanseeuw, E. & Vanderperren, E. (2014). Valorisatie van reststromen uit de visserij: knelpunten en opportuniteiten. Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek, ILVO MEDEDELING nr 166. D/2014/10.970/166. [https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/migration/public/Mediatheek/Mededeelingen/166\\_genesis.pdf](https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/migration/public/Mediatheek/Mededeelingen/166_genesis.pdf)

Hartikainen, H., Svanes, E., Franke, U., Mogensen, L., Andersson, S., Bond, R., Burman, C., Einarsson, E., Eklöf, P., Joensuu, K., Olsson, M.E., Räikkönen, R., Sinkko, T., Stubhaug, E., Rosell, A., & Sundin, S. (2016). Food losses and waste in primary production: Case studies on carrots, onions, peas, cereals and farmed fish (TemaNord 2016:557). Nordic Council of Ministers. <https://www.norden.org/en/publication/food-losses-and-waste-primary-production>

Hasan, M.U., Malik, A.U., Ali, S., Imtiaz, A., Munir, A., Amjad, W., & Anwar, R. (2019). Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. Journal of Food Processing and Preservation, 43(12), e14280. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14280>

Henchion, M., & McCarthy, M. (2018). Facilitators and barriers for foods containing meat coproducts. In J.P. Kerry (Ed.), Sustainable meat production and processing (pp. 237–250). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00012-2>

Hoogenboom, R., Zeilmaker, M., Van Eijkeren, J., Kan, K., Mengelers, M., Luykx, D., & Traag, W. (2010). Kaolinic clay derived PCDD/Fs in the feed chain from a sorting process for potatoes. Chemosphere, 78(2), 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.10.016>

Horecava - Hoe voorkom je voedselverspilling in horeca? <https://www.horecava.nl/nieuws/voedselverspilling-in-de-horeca-wat-is-het-en-hoe-voorkom-je-het>

Ibarz-Blanch, N., Alcaide-Hidalgo, J.M., Cortés-Espinar, A.J., Albi-Puig, J., Suárez, M., Mulero, M., Morales, D., & Bravo, F.I. (2023). Chicken slaughterhouse by-products: A source of protein hydrolysates to manage non-communicable diseases. *Trends in Food Science & Technology*, 139, 104125. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104125>

Iftikhar, L., Ahmad, I., Saleem, M., Rasheed, A., & Waseem, A. (2024). Exploring the chemistry of waste eggshells and its diverse applications. *Waste Management*, 189, 348–363. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.08.024>

IntelligentFood. <https://intelligentfood.nl>

IRS - Nieuwe hulpmiddelen tegen rooiverliezen. <https://www.irs.nl/interessegebieden/alle-interessegebieden/publicaties/nieuwe-hulpmiddelen-tegen-rooiverliezen/>

IRS teelthandleiding voor suikerbieten. <https://www.irs.nl/volledige-teelthandleiding/>

Janssens, S.R.M., & Smit, A.B. (2016). Reststromen consumptieaardappelen. LEI Wageningen UR. <https://edepot.wur.nl/368097>

Jiang, G., Ameer, K., Kim, H., Lee, E.J., Ramachandraiah, K., & Hong, G.P. (2020). Strategies for sustainable substitution of livestock meat [Review]. *Foods*, 9(9), Article 1227. <https://doi.org/10.3390/foods9091227>

Jukema, G., Ramaekers, P., & Berkhout, P. (Ed.) (2021). De Nederlandse agrarische sector in internationaal verband - editie 2021. (Wageningen Economic Research report; No. 2021-001). Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/538688> ; <https://edepot.wur.nl/539715>

Kaderrichtlijn Afvalstoffen 2008/98/EG. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20240218>

Kals, J., Poelman, M., Blanco Garcia, A., & Goudswaard, P.C. (2015). De samenstelling van discards in de pelagische visserij voor valorisatie doeleinden. (Rapport/IMARES Wageningen UR; No. C023/15). IMARES. <https://edepot.wur.nl/333079>

Kanani, F., Heidari, M.D., Gilroyed, B.H., & Pelletier, N. (2020). Waste valorization technology options for the egg and broiler industries: A review and recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121129>

Kaur, G.J., Kumar, D., Orsat, V. et al (2022). Assessment of carrot rejects and wastes for food product development and as a biofuel. *Biomass Conv. Bioref.* 12, 757–768. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01096-z>

Kawata, Y., & Kubota, S. (2018). Consumers' willingness to pay for reprocessed fried chicken: A way of reducing uneaten food. *Appetite*, 120, 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.09.015>

Keijsers, E. (2013). Tomaat in bakjes van eigen blad. Kennis Online. <https://edepot.wur.nl/247762>

Kips, L., & Van Droogenbroeck, B. (2014). Valorisatie van groente- en fruitreststromen: opportuniteiten en knelpunten. Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek, ILVO-MEDEDELING nr. 165. D/2014/10.970/165. [https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/migration/public/Mediatheek/Medelingen/165\\_genesis.pdf](https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/migration/public/Mediatheek/Medelingen/165_genesis.pdf)

Kobayashi, T., & Nakajima, L. (2021). Sustainable development goals for advanced materials provided by industrial waste and biomass sources. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 28, 100439. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100439>

Koninklijke Horeca Nederland - Tips verminderen voedselverspilling. <https://www.khn.nl/kennis/tips-verminderen-voedselverspilling>

Koninklijke Nederlandse Slagers - 7 manieren waarop de ambachtelijke slager voedselverspilling tegengaat. <https://www.knsnet.nl/nieuws/7-manismen-waarop-de-ambachtelijke-slager-voedselverspilling-tegengaat>

Krushfood. <https://krushfood.com>

Landbouw & Voedsel Brabant. <https://www.landbouwenvoedselbrabant.nl>

Landbouw, natuur en voedsel: waardevol en verbonden Nederland als koploper in kringlooplandbouw. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnota-s/2018/09/08/visie-landbouw-natuur-en-voedsel-waardevol-en-verbonden>

Landelijk Afvalbeheerplan. <https://lap3.nl/>

Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2020). Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 218–246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>

Lesschen, J.P., & Elbersen, H.W. (2018). Soil effects due to crop residue removal and possible measures to reduce impacts: Exploratory report on the effects on soil carbon for scenarios of crop residue management. Wageningen University & Research. <https://edepot.wur.nl/543719>

Lievaart, J.J., Noordhuizen, J.P.T.M., Van Beek, E., Van der Beek, C., Van Risp, A., Schenkel, J., & Van Veersen, J. (2005). The Hazard Analysis Critical Control Points (HACCP) concept as applied to some chemical, physical and microbiological contaminants of milk on dairy farms: A prototype. *Veterinary Quarterly*, 27(1), 21–29.  
<https://doi.org/10.1080/01652176.2005.9695183>

Locker, C.K. (2021). Residual biomass utilisation in the potato and sugar beet processing industry: evaluation from a circular perspective. MSc Thesis Wageningen University. <https://edepot.wur.nl/559806>

Londoño-Zapata, L., Franco-Cardona, S., Restrepo-Manotas, S., & Zapata Montoya, A.M. (2022). Valorization of the by-products of poultry industry (bones) by enzymatic hydrolysis and glycation to obtain antioxidants compounds. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 4469–4480. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01801-1>

López Cabo, M.L., Romalde, J., Simal-Gandara, J., Gago Martínez, A., Giráldez Fernández, J., Bernárdez Costas, M., Pascual del Hierro, S., Pousa Ortega, Á., Manaia, C.M., Abreu Silva, J., & Rodríguez Herrera, J. (2020). Identification of Emerging Hazards in Mussels by the Galician Emerging Food Safety Risks Network (RISEGAL). A First Approach. *Foods*, 9(11), 1641. <https://doi.org/10.3390/foods9111641>

López-Martínez, M.I., Toldrá, F., & Mora, L. (2023). Pork organs as a potential source of flavour-related substances. *Food Research International*, 173(Part 2), 113468.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113468>

López-Pedrouso, M., Lorenzo, J.M., Bou, R., Vázquez, J.A., Valcárcel, J., Toldrá, M., & Franco, D. (2023). Valorisation of pork by-products to obtain antioxidant and antihypertensive peptides. *Food Chemistry*, 423, 136351. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136351>

Lu, Y., Cao, J., Zhou, C., He, J., Sun, Y., Xia, Q., & Pan, D. (2021). The technological and nutritional advantages of emulsified sausages with partial back-fat replacement by succinylated chicken liver protein and pre-emulsified sunflower oil. *LWT*, 149, 111824.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111824>

MaGie Creations. <https://magiecreations.com/>

Mannaa, M., Mansour, A., Park, I., Lee, D.-W., & Seo, Y.-S. (2024). Insect-based agri-food waste valorization: Agricultural applications and roles of insect gut microbiota. *Environmental Science and Ecotechnology*, 17, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.esse.2023.100287>

March MD, Toma L., Thompson B. and Haskell M.J. (2019). Food Waste in Primary Production: Milk Loss with Mitigation Potentials. *Frontiers in Nutrition* 6:173. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00173>

Meeusen-van Onna, M.J.G., Schroot, J.H., Mulder, W.J., & Elbersen, H.W. (2008). Verwaarding reststroom uienbewerking. (ASFG; No. nr. 886). Agrotechnology & Food Sciences Group.  
<https://edepot.wur.nl/29135>

Milgro. <https://www.milgro.eu/>

Minor Agrologistiek. <https://edepot.wur.nl/216733>

Miss Berry. <https://miss-berry.nl>

Moayedi, A., Hashemi, M., & Safari, M. (2016). Valorization of tomato waste proteins through production of antioxidant and antibacterial hydrolysates by proteolytic *Bacillus subtilis*: Optimization of fermentation conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 391–400. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1965-2>

Mokrejš, P., Gál, R., Pavlačková, J., & Janáčková, D. (2021). Valorization of a by-product from the production of mechanically deboned chicken meat for preparation of gelatins. *Molecules*, 26(2), 349.  
<https://doi.org/10.3390/molecules26020349>

Morantes, G., Ek, P., & Ganjyal, G.M. (2022). Chapter 16 – Food safety in extrusion processing. In G.M. Ganjyal (Ed.), *Extrusion cooking: Cereal grains processing* (pp. 381–400). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00016-X>

Mujtaba, M., Fraceto, L.F., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S.M., de Medeiros, G.A., Pereira, A. do E. S., Mancini, S.D., Lipponen, J., & Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: A review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136815.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>

Mullen, A.M., Álvarez, C., Zeugolis, D.I., Henchion, M., O'Neill, E., & Drummond, L. (2017). Alternative uses for co-products: Harnessing the potential of valuable compounds from meat processing chains. *Meat Science*, 132, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.243>

Multiphase Dryers. <https://multiphasedryers.com>

Mylium. <https://laboratorium.nl/bedrijf/mylium/>

Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030. (NPCE).  
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030>

Nationale Eiwitstrategie. (NES, 2020).  
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2020/12/22/nationale-eiwitstrategie>

Nederlandse Zuivel Organisatie - Minder verspilling.  
<https://www.nzo.nl/voeding/verspilling/>

NMU – Reststromen. Hoe het bij kan dragen aan een duurzaam verdienmodel. Natuur en Milieufederatie Utrecht.

<https://www.nmu.nl/wp-content/uploads/sites/2/2023/12/DLmN-Factsheet-Reststromen.pdf>

No Waste Army. <https://www.nowastearmy.nl>

Noorduyn, L., (2004). Plantaardige reststromen. Biologisch onderzoekbericht 14, Wageningen UR. <https://edepot.wur.nl/115378>

NVWA - Aanlandplicht en hoeveelheid teruggeworpen vis 2016-2020 <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/visketen-in-beeld/de-nederlandse-visketen/aanlandplicht-en-teruggeworpen-vis>

NVWA - Advies van BuRO over de risico's van de voedergewassen- en diervoederketen. <https://www.nvwa.nl/documenten/dier/diervoeder/diervoeder/risicobeoordelingen/advies-van-buro-over-de-risico's-van-de-voedergewassen--en-diervoederketen>

NVWA - Advies van BuRO over gekweekte insecten als grondstof voor diervoeder. <https://www.nvwa.nl/documenten/dier/diervoeder/diervoeder/risicobeoordelingen/advies-van-buro-over-gekweekte-insecten-als-grondstof-voor-diervoeder>

NVWA - Afvoermogelijkheden van dierlijke bijproducten. <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/dierlijke-bijproducten/de-3-categorieen-dierlijke-bijproducten/schemas-afvoermogelijkheden>

NVWA - Integrale ketenanalyse aardappelketen. <https://www.nvwa.nl/documenten/plant/teeltvoorschriften/akkerbouw-en-tuinbouw/publicaties/integrale-ketenanalyse-aardappelketen>

NVWA - Regels voor plantaardige bijproducten als grondstof voor diervoeder. <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/diervoeder/regels-voor-diervoederbedrijven/regels-voor-plantaardige-bijproducten-als-grondstof-voor-diervoeder>

Omgevingswet. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0037885/2024-01-01/>

OneThird. <https://onethird.io/>

Paul, T., Das, A., Mandal, A., Halder, S.K., DasMohapatra, P.K., Pati, B.R., & Mondal, K.C. (2014). Production and purification of keratinase using chicken feather bioconversion by a newly isolated *Aspergillus fumigatus* TKF1: Detection of valuable metabolites. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 4, 137–148. <https://doi.org/10.1007/s13399-013-0090-6>

Pawłowska, A., & Stepczyńska, M. (2022). Natural biocidal compounds of plant origin as biodegradable materials modifiers. *Journal of Polymers and the Environment*, 30, 1683–1708. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02315-y>

PBL - circulaire economie. <https://www.pbl.nl/onderwerpen/circulaire-economie>

PectCof. <https://pectcof.com/>

PeelPioneers. <https://peelpioneers.nl>

Peng, Z., Zhang, J., Du, G., & Chen, J. (2019). Keratin waste recycling based on microbial degradation: Mechanisms and prospects. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(11), 9727–9736. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b01527>

Pérez-Aguilar, H., Lacruz-Asaro, M., Ruzafa-Silvestre, C., & Arán-Ais, F. (2023). Protein recovery from wastewater animal processing by-products of rendering plants for bio stimulant applications in agriculture. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32, 101009. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101009>

Pinto, J., Boavida-Dias, R., Matos, H.A., & Azevedo, J. (2022). Analysis of the food loss and waste valorisation of animal by-products from the retail sector. *Sustainability*, 14(5), 2830. <https://doi.org/10.3390/su14052830>

Poelman, M., Kals, J., Van Marlen, B., Van Amerongen, A., & Van den Bosch, H. (2015). VIP Valorisatie Reststromen Vis (VRV). (Rapport/IMARES Wageningen UR; No. C005/15). IMARES. <https://edepot.wur.nl/353992>

Pramualkijja, T., Pirak, T., & Euston, S.R. (2021). Valorization of chicken slaughterhouse by-products: Production and properties of chicken trachea hydrolysates using commercial proteases. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1642–1657. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1986522>

Project Bigfood. <https://www.rivm.nl/over-het-rivm/strategisch-programma-rivm>

Project Biotische reststromen. <https://www.rivm.nl/publicaties/hergebruik-van-grondstoffen-uit-afvalwater-belemmeringen-en-oplossingsrichtingen-aan>

Project Decontaminatie waswater. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0460.pdf>

Project EFSA WASHTOP. <https://research.wur.nl/en/projects/efsa-washtop-kb-37-002-044>

Project EFSA WG Water in post-harvest processing ffVHs. <https://www.efsa.europa.eu/en/science/scientific-committee-and-panels/biohaz#working-groups>

Project EU Giant Leaps. <https://giant-leaps.eu>

Project FairPlay4Food.

<https://rivm.openrepository.com/entities/publication/48b21b3c-f560-4955-815f-10c192333252>

Project Hergebruik voedsel-contactmaterialen.

<https://rivm.openrepository.com/server/api/core/bitstreams/dbe5cf68-55f6-4c29-9d1b-4ecaeda890bc/content>

Project KB WOT changing food systems.

<https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/be-prepared-for-future-food-safety-issues-in-our-circular-production-systems-1.htm>

Project KB-34 Food safety in our future circular society.

<https://www.wur.nl/en/research-results/research-funded-by-the-ministry-of-lvvn/kennisbasis-onderzoek/ongoing-kb-projects-2019-2024/circular-and-climate-neutral-kb-34.htm>

Project KB-37 Detection methodology of biological contaminants in food systems in transition. <https://www.wur.nl/en/research-results/research-funded-by-the-ministry-of-lvvn/kennisbasis-onderzoek/ongoing-kb-projects-2019-2024/healthy-safe-food-systems-kb-37.htm>

Project Normenkader voor hergebruik van stedelijk afvalwater voor irrigatie landbouw. <https://www.rivm.nl/publicaties/beoordelingskader-voor-gebruik-stedelijk-afvalwater-in-landbouw-fase-1-wettelijke>

Project PPS Circular urban food production.

<https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/circular-urban-food-production-safe-by-design-1.htm>

Project PPS CoMySect. <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/comyssect.htm>

Project PPS Safe & save water. <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/safe-and-save-water-part-2-the-case-on-listeria.htm>

Project PPS Safe Insects. <https://www.wur.nl/en/research-results/chair-groups/research-funded-by-the-ministry-of-lvvn/soorten-onderzoek/kennisonline/safe-insect-rearing-on-yet-to-be-legally-authorized-residual-streams-1.htm>

Project PPS Voedselveiligheid in een circulair water- en voedselsysteem. <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/voedselveiligheid-in-een-circulair-water-en-voedselsysteem.htm>

Project Renew. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0029.pdf>

Project Saferment. <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvv/kennisonline/safe-precision-fermentation-for-production-of-dairy-and-meat-protein-analogues-saferment-1.htm>

Project SSML – Safe and Sustainable Material Loops. <https://rivm.openrepository.com/entities/publication/15ce0950-f4de-4c94-8b72-fee6ec758ace>

Project Synthetische biologie. <https://biotechnologie.rivm.nl/synthetische-biologie>

Project 'Wat ligt er op ons bord?'.

<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0200.pdf>

Project WaterResist. <https://orbit.dtu.dk/en/projects/role-of-water-used-in-the-growing-handling-and-processing-of-frui>

Project WHO-CC/JEMRA. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240066588>

Puértolas, E., & Barba, F.J. (2016). Electrotechnologies applied to valorization of by-products from food industry: Main findings, energy and economic cost of their industrialization. Food and Bioprocess Technology, 100, 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.020>

Revyve. <https://revyve.bio>

Riaz Rajoka, M.S., Mehwish, H.M., Wu, Y., Zhao, L., Arfat, Y., Majeed, K., & Anwaar, S. (2020). Chitin/chitosan derivatives and their interactions with microorganisms: A comprehensive review and future perspectives. Critical Reviews in Biotechnology, 40(3), 365–379. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1713719>

Rijksoverheid – Biomaterialen. Een blinde vlek in de transitie naar een fossielvrije economie. Dit rapport onderzoekt de voorwaarden voor de inzet van bio-grondstoffen en hoe productieketens voor bio-grondstoffen tot stand kunnen komen.

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/09/30/biomaterialen-een-blinde-vlek-in-de-transitie-naar-een-fossielvrije-economie>

Rijksoverheid - circulaire economie. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030>

Rivella. <https://www.frisdrank.com/rivella>

RIVM – Botulisme. <https://www.rivm.nl/botulisme>

RIVM – Campylobacter. <https://www.rivm.nl/campylobacter>

RIVM – Cryptosporidiose. <https://www.rivm.nl/cryptosporidiose>

RIVM – Giardiasis. <https://www.rivm.nl/giardiasis>

RIVM – Listeriose. <https://www.rivm.nl/listeriose>

RIVM – Norovirus. <https://www.rivm.nl/norovirus>

RIVM – Salmonella. <https://www.rivm.nl/salmonella>

RIVM – STEC/EHEC. <https://www.rivm.nl/e-coli-escherichia-coli/stec-ehec>

RIVM – Wilde knaagdieren en zoönosen. <https://www.rivm.nl/wilde-knaagdieren-en-zo-nosen>

Roels K. & Van Gijseghe D. (2011). Verlies en verspilling in de voedselketen, Departement Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie, Brussel. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/verlies-en-verspilling-in-de-voedselketen>

Rotterzwam. <https://www.rotterzwam.nl>

Rudovica, V., Rotter, A., Gaudêncio, S.P., Novoveská, L., Akgül, F., Akslen-Hoel, L.K., Alexandrino, D.A.M., Olga, A., Arbidans, L., Atanassova, M., Beldowska, M., Beldowski, J., Bhatnagar, A., Bikovens, O., Bisters, V., Carvalho, M.F., Catalá, T.S., Dubnika, A., Erdoğan, A., Ferrans, L., Haznedaroglu, B.Z., Setyobudi, R.H., Graca, B., Grinfelde, I., Hogland, W., Ioannou, E., Jani, Y., Kataržytė, M., Kikionis, S., Klun, K., Kotta, J., Kriipsalu, M., Labidi, J., Lukić Bilela, L., Martínez-Sanz, M., Oliveira, J., Ozola-Davidane, R., Pilecka-Ulcugaceva, J., Pospiskova, K., Rebours, C., Roussis, V., López-Rubio, A., Safarik, I., Schmieder, F., Stankevica, K., Tamm, T., Tasdemir, D., Torres, C., Varese, G.C., Vincevica-Gaile, Z., Zekker, I., & Burlakovs, J. (2021). Valorization of marine waste: Use of industrial by-products and beach wrack towards the production of high added-value products. *Frontiers in Marine Science*, 8, 723333. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.723333>

Sabater, C., Ruiz, L., Delgado, S., Ruas-Madiedo, P., & Margolles, A. (2020). Valorization of vegetable food waste and by-products through fermentation processes. *Frontiers in Microbiology*, 11, 581997. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.581997>

Salim, N.S., Singh, A., & Raghavan, V. (2017). Potential utilization of fruit and vegetable wastes for food through drying or extraction techniques. *Novel Techniques in Nutrition and Food Science*, 1(2), Article NTNF.000506. <https://doi.org/10.31031/NTNF.2017.01.000506>

Samen tegen Voedselverspilling – Retailsector. RETAIL: Voorkomen, verminderen, verwaarden. <https://samentegenvoedselverspilling.nl/kennisbank/retail-sector>

Samen tegen Voedselverspilling - Voedselverspilling supermarkten. <https://samentegenvoedselverspilling.nl/kennisbank/voedselverspilling-supermarkten-daalt-met-17-4-t-o-v-2018>

Santana, J.C.C., Gardim, R.B., Almeida, P.F., Borini, G.B., Quispe, A.P.B., Llanos, S.A.V., Heredia, J.A., Zamuner, S., Gamarra, F.M.C., Farias, T.M.B., Ho, L.L., & Berssaneti, F.T. (2020). Valorization of chicken feet by-product of the poultry industry: High qualities of gelatin and biofilm from extraction of collagen. *Polymers*, 12(3), 529. <https://doi.org/10.3390/polym12030529>

Sarlee, W., *et al.* (2012). Voedselverlies in ketenperspectief. OVAM. D/2012/5024/59. <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/11472>

Scholtmeijer, K., Van den Broek, L.A.M., Fischer, A.R.H., & Van Peer, A. (2023). Potential protein production from lignocellulosic materials using edible mushroom forming fungi. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(11), 4450–4457. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08828>

Smit, A.B., & Janssens, S.R.M. (2016). Reststromen suikerketen. LEI Wageningen UR. <https://edepot.wur.nl/368098>

Snyder, A.B., Martin, N., & Wiedmann, M. (2024). Microbial food spoilage: Impact, causative agents and control strategies. *Nature Reviews Microbiology*, 22, 528–542. <https://doi.org/10.1038/s41579-024-01037-x>

Socas-Rodríguez, B., Álvarez-Rivera, G., Valdés, A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2021). Food by-products and food waste: Are they safe enough for their valorization? *Trends in Food Science & Technology*, 114, 133–147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.002>

Soethoudt, J. M., & Vollebregt, H.M. (2024). Monitor Voedselverspilling: update 2009-2021: Hoeveel kilo gaat er in Nederland verloren? (Rapport Wageningen Food & Biobased Research; No. 2638). Wageningen University & Research. <https://doi.org/10.18174/683906>; <https://edepot.wur.nl/683906>

Stichting Ambachtelijke Bakkerij - Alles over tarwe. <https://ambachtelijkebakkerij.nu/alles-over-tarwe>

Szymańska-Chargot, M., Chylińska, M., Gdula, K., Kozioł, A., & Zdunek, A. (2017). Isolation and Characterization of Cellulose from Different Fruit and Vegetable Pomaces. *Polymers*, 9(10), 495. <https://doi.org/10.3390/polym9100495>

Thakali, A., & MacRae, J.D. (2021). A review of chemical and microbial contamination in food: What are the threats to a circular food system? *Environmental Research*, 194, 110635. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110635>

The Banana Factory. <https://bakers-bananas.com/>

Toldrá, F., Mora, L., & Reig, M. (2016). New insights into meat by-product utilization. *Meat Science*, 120, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.021>

Transitie-agenda Circulaire Economie - Biomassa & Voedsel.

<https://open.overheid.nl/documenten/ronl-c763e08ee5ed9d2b08522cda0a92d67d4875c41d/pdf>

Tsang, Y.F., Kumar, V., Samadar, P., Yang, Y., Lee, J., Ok, Y.S., Song, H., Kim, K.-H., Kwon, E.E., & Jeon, Y.J. (2019). Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International*, 127, 625–644. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.076>

UNEP - Food Waste Index Report 2024. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/45230>

Unilever – Voorkom verspilling: 7 tips.

<https://www.unileverfoodsolutions.nl/inspiratie-voor-chefs/trends-a-la-carte/verspilling-tips.html>

Usman, M., Ishaq, A., Regenstein, J.M., Sahar, A., Aadil, R.M., Sameen, A., Khan, M.I., & Alam, A. (2023). Valorization of animal by-products for gelatin extraction using conventional and green technologies: A comprehensive review. *Biomass Conversion and Biorefinery*.

<https://doi.org/10.1007/s13399-023-04547-5>

Vakblad Voedingsindustrie - Kansen voor bierborstel als voedingsingrediënt.

<https://vakbladvoedingsindustrie.nl/nl/artikel/kansen-voor-bierborstel-als-voedingsingrediënt>

Van Arkel, J., Twarogowska, A., Cornelis, Y., De Marez, T., Engel, J., Maenhout, P., De Vos, C.H., Beekwilder, M.J., Van Droogenbroeck, B., & Cankar, K. (2022). Effect of Root Storage and Forcing on the Carbohydrate and Secondary Metabolite Composition of Belgian Endive (*Cichorium intybus* L. Var. *foliosum*). *ACS Food Science & Technology*, 2(10), 1546-1557. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00182>; <https://edepot.wur.nl/578976>

Van Asselt, E.D., Van der Fels-Klerx, H.J., Marvin, H.J.P., Van Bokhorst-van de Veen, H., & Nierop Groot, M. (2017). Overview of food safety hazards in the European dairy supply chain. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 59–75.

<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12245>

Van der Fels-Klerx, H.J., Camenzuli, L., Belluco, S., Meijer, N., & Ricci, A. (2018). Food safety issues related to uses of insects for feeds and foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1172–1183. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12385>

Van der Fels-Klerx, H.J., Van Asselt, E.D., Adamse, P., Nijkamp, M.N., Van Leeuwen, S.P.J., Pikkemaat, M., De Nijs, M., Mol, H., Van Raamsdonk, L., Hoogenboom, R., & De Jong, J. (2019). Chemische en fysische gevaren in de Nederlandse diervoederketen. (RIKILT report; No. 2019.002). RIKILT. <https://doi.org/10.18174/470704>

Van der Voort, M.P.J., Van der Klooster, A., Van der Wekken, J.W., Kemp, H., & Dekker, P.H.M. (2006). Covergisting van gewasresten; Een verkennende studie naar praktische en economische haalbaarheid. (PPO; No. nr. 530030). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.  
<https://edepot.wur.nl/41503>

Van Dijke, B. en Zwijnenburg, B., (2012). Beperken van voedselverspilling/voedselverdering in de uienketen. Christelijke Agrarische Hogeschool Dronten  
 Van Gils, S.H. (2017). Een beetje gif, daar knapt een mens van op. Vork, 4(1), 22-27. <https://edepot.wur.nl/413311>

Van Dongen, K.C.W., Spaans, G.W., Foekema, E.M., Van Groenestijn, J.W., Kootstra, A.M.J., Brouwer, M.S.M., Schokker, D., Stege, P.B., Van Dijk, B., Dirks, R.A.M., Van de Kamer, D., Kaase, R., De Lange, E., Van Leeuwen, S.P.J., Verhaelen, K., Van der Voort, M., & Hoek-van den Hil, E.F. (2025). Towards circular food production systems: Identification of chemical, microbial, and physical food safety hazards in municipal sludge and excess aerobic biomass of the food industry. Environmental International, 183, 109624.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109624>

Van Krimpen, M.M., Rommers, J.M., Binnendijk, G.P., & Gerrish, P.J. (2006). Effect van bijproducten op de slacht- en vleeskwaliteit van vleesvarkens = Effect of food waste products on slaughter and meat quality of growing finishing pigs. (PraktijkRapport/Animal Sciences Group, Veehouderij : Varkens). Animal Sciences Group, WUR.  
<https://edepot.wur.nl/25537>

Van Leuken, J.P.G., Hoeksma, P., Nijsten, D.R.E., Schijven, J.F., Schmitt, H., & De Roda Husman, A.M. (2017). Verkenning van de microbiologische risico's van mest voor de gezondheid (RIVM-rapport 2017-0100). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).  
<https://doi.org/10.21945/RIVM-2017-0100>

Van Lieshout, L. & Knüppe, J. (2022). Voedselverspilling bij consumenten thuis in Nederland in 2022. Rapport Voedingscentrum.  
<https://www.voedingscentrum.nl/nl/thema/minder-verspillen/voedselverspilling.aspx>

Van Uffelen, E. (2022). Voedselveiligheid van uienreststromen (Project Pulp Vision, Werkpakket Pulp Safety, SIA-RAAK-MKB nr.: RAAK.MKB11.021). Hogeschool Inholland, Research and Innovation Centre Agri, Food & Life Sciences.  
<https://www.inholland.nl/onderzoek/publicaties/voedselveiligheid-van-uienreststromen>

Veraart, M., Bikker, P., & Van Laar, H. (2023). Monitor herkomst diervoedergrondstoffen: beschrijving van de opzet, uitkomsten en beperkingen van een monitor voor de herkomst van diervoedergrondstoffen gebruikt in mengvoer in Nederland in 2019 en 2020. (Rapport/Wageningen Livestock Research; No. 1404). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/584501> ;  
<https://edepot.wur.nl/584501>

Verordening (EG) nr. 178/2002; vaststelling van de algemene beginselen en voorschriften van de levensmiddelenwetgeving, tot oprichting van een Europese Autoriteit voor voedselveiligheid en tot vaststelling van procedures voor voedselveiligheidsaangelegenheden. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj/eng>

Verordening (EG) nr. 852/2004; inzake levensmiddelenhygiëne. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A32004R0852>

Verordening (EG) nr. 853/2004; vaststelling van specifieke hygiënevoorschriften voor levensmiddelen van dierlijke oorsprong. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX:32004R0853>

Verordening (EG) nr. 1069/2009; van het Europees Parlement en de Raad van 21 oktober 2009 tot vaststelling van gezondheidsvoorschriften inzake niet voor menselijke consumptie bestemde dierlijke bijproducten en afgeleide producten en tot intrekking van Verordening (EG) nr. 1774/2002 (verordening dierlijke bijproducten). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1069>

Verordening (EU) nr. 142/2011; van de Commissie van 25 februari 2011 tot uitvoering van Verordening (EG) nr. 1069/2009 van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van gezondheidsvoorschriften inzake niet voor menselijke consumptie bestemde dierlijke bijproducten en afgeleide producten en tot uitvoering van Richtlijn 97/78/EG van de Raad wat betreft bepaalde monsters en producten die vrijgesteld zijn van veterinaire controles aan de grens krachtens die richtlijn. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2011:054:FULL>

Verspillingsfabriek. <https://deverspillingsfabriek.nl>

Vilas-Franquesa, A., Montemurro, M., Casertano, M., & Fogliano, V. (2024). The food by-products bioprocess wheel: A guidance tool for the food industry. Trends in Food Science & Technology, 152, 104652. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104652>

VILT - Witloofresten. Vlaams Infocentrum voor Land- en Tuinbouw. <https://vilt.be/nl/nieuws/witloofresten-het-ideale-menu-voor-de-meelworm>

Vismagazine - Visverwerkers zetten zich in tegen voedselverspilling. <https://vismagazine.nl/nieuws/visverwerkers-zetten-zich-in-tegen-voedselverspilling>

Voedingscentrum - Hoe voorkom je voedselverspilling als je in een restaurant eet? <https://www.voedingscentrum.nl/nl/service/vraag-en-antwoord/koken-en-bewaren/hoe-voorkom-je-voedselverspilling-als-je-in-een-restaurant-eet-doggybag.aspx>

Voedingscentrum – Paddenstoelen. <https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/paddenstoelen>

Voerwaarts. <https://www.voerwaarts.nl/circulair/>

Volkskrant: Hoe raken we de 100 miljoen kilo uien kwijt?  
<https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/hoe-raken-we-de-100-miljoen-kilo-uien-kwijt~b6e92f33/>

Werkwijzer bij de verwerking van reststromen.  
<https://rvs.rivm.nl/documenten/werkwijzer-reststromen>

Wu, S., Xu, S., Chen, X., Sun, H., Hu, M., Bai, Z., Zhuang, G., & Zhuang, X. (2018). Bacterial communities changes during food waste spoilage. Scientific Reports, 8, 8220. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26494-2>

WUR – Kringlooplandbouw.  
<https://kringlooplandbouw.wur.nl/kringlooplandbouw/reststromen-akkerbouw>

WUR Agrimatie - Aardappel.  
<https://agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2424&themaID=3596>

WUR Agrimatie - Granen.  
<https://agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=3577&indicatorID=3591&sectorID=3461>

Zainal Arifin, M.A., Mohd Adzahan, N., Zainal Abedin, N.H., & Lasik-Kurdyś, M. (2023). Utilization of food waste and by-products in the fabrication of active and intelligent packaging for seafood and meat products. Foods, 12(3), 456. <https://doi.org/10.3390/foods12030456>

Zwart, K.B., Pronk, A.A., & Kater, L.J.M. (2004). Verwijderen van gewasresten in de open teelten: een deskstudie naar de effecten op de bodemvruchtbaarheid en de mogelijke verwerking van gewasresten in het kader van het project Nutriënten Waterproof, LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III). (PPO; No. nr. 530133). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.  
<https://edepot.wur.nl/115958>



Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

september 2025

De zorg voor morgen  
begint vandaag