

# EEN HOOFDROL VOOR BROOD IN EEN PLAN(EE)TAARDIG VOEDSELPATROON

bestaande kennis over brood & duurzaamheid

BROOD & DUURZAAMHEID, RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK



## **Colofon**

### **Uitgave van:**

Nederlands Bakkerij Centrum (NBC, [www.nbc.nl](http://www.nbc.nl)).

Versie 1, januari 2023

### **Auteurs:**

Debora van Zee, Consultant Duurzame Voedselproductie, Food2Future

Linda van Zonsbeek, Kennisspecialist Voeding en Gezondheid, NBC

### **Contact:**

Linda van Zonsbeek ([l.van.zonsbeek@nbc.nl](mailto:l.van.zonsbeek@nbc.nl) of [info@nbc.nl](mailto:info@nbc.nl)).

## Inleiding

Van duurzame inkoop tot zonnepanelen en van duurzaam verpakken tot het tegengaan van verspilling. Duurzaamheid is een veelgehoord begrip, maar ook veel omvattend. Steeds meer ondernemers krijgen te maken met vragen en eisen op het gebied van duurzaamheid. Ook de politiek en maatschappelijke organisaties laten zich steeds duidelijker horen. Enkele jaren geleden publiceerde het Nederlands Bakkerij Centrum (NBC) over de relatief gunstige CO<sub>2</sub> footprint van brood. Maar duurzaamheid gaat uiteraard over veel meer dan CO<sub>2</sub> alleen. Begin 2019 publiceerde internationale wetenschappers over welk eetpatroon het meest gunstig is voor de gezondheid van mens én planeet. Onderdeel van het advies is een sterke toename in de consumptie van volkorengranen. Dergelijke positieve onderzoeksresultaten bieden kansen, voor heldere communicatie en om de sector verder te verduurzamen. Welke ambities hebben we als sector op dit vlak en welke stappen kunnen we zetten om die waar te maken? Het NBC is een project gestart om die vragen te beantwoorden en zo de kansen van duurzaamheid voor de sector optimaal te benutten.

Het voorliggende **literatuuronderzoek** is onderdeel van de onderzoeksfase van dit project. Daarnaast is er stakeholderonderzoek uitgevoerd. De resultaten daarvan vindt u in een aparte rapportage. De twee rapportages samen vormen de basis voor de 'Kansenkaart Duurzaam Brood' waarin kansrijke richtingen voor collectieve actie worden uiteengezet, en diverse factsheets met beknopte informatie voor de individuele bakkerijondernemer over de belangrijkste "hotspots" die uit de onderzoeken naar voren kwamen: consumeren, telen, bakken en verspillen.

## Afbakening

Duurzaamheid is een breed begrip dat voor vele interpretaties vatbaar is. In het huidige project hebben we dit begrip als volgt afgebakend, onder “Duurzaamheid van brood” verstaan wij:

- Ecologische duurzaamheid (dus excl. sociale en economische dimensies);
- Brood op basis van tarwe (dus geen andere granen), geproduceerd in Europa;
- Brood als onderdeel van het Nederlandse voedselpatroon.

Hoewel wij uiterst zorgvuldig zijn geweest in het raadplegen van betrouwbare bronnen, betreft het hier geen literatuurstudie in de wetenschappelijk zin. De bronnen voor dit onderzoek bestaan uit een combinatie van wetenschappelijke overzichtsartikelen en meta-analyses, rapportages en websites van maatschappelijke organisaties, vakbladen en expertinterviews. Wij pretenderen geen absolute volledigheid. Wel zijn wij ervan overtuigd dat de huidige rapportage op hoofdlijnen de belangrijkste actuele kennis omvat op het gebied van Brood & Duurzaamheid. Bent u desondanks van mening dat wij belangrijke zaken gemist hebben, dan horen wij dat graag. Bij voorkeur onderbouwd met openbare bronnen waarmee wij deze publicatie in een volgende ronde kunnen actualiseren.

# Samenvatting

Een duurzaam voedselsysteem voorziet in de voedingsbehoefte van alle mensen, nu en in de toekomst. En blijft tegelijkertijd binnen de ecologische grenzen van de planeet. De grote invloed van voedselproductie en –consumptie op onze gezondheid en onze leefomgeving benadrukken het belang om met elkaar te kiezen voor een gezonder eetpatroon én duurzamere voedselproductie.

Voor deze rapportage onderzochten we de mate waarin ons dagelijks brood bijdraagt aan de milieu-impact van het voedselsysteem, wat de belangrijkste “hotspots” zijn in de broodketen en aan welke knoppen we volgens de wetenschappelijke- en vakliteratuur kunnen draaien om ons brood (nog) duurzamer te maken.

Een duurzaam voedingspatroon bestaat voornamelijk uit volkorengranen, noten, fruit en groenten en kleinere hoeveelheden ei, zuivel, kip en vis en weinig rood vlees en bewerkte producten. Brood – met name volkorenbrood – past hier dus prima in. Brood is een basisvoedingsmiddel dat rijk is aan voedingsstoffen tegen een relatief lage milieu-impact. Het vervangen van (een deel van) dierlijke eiwitbronnen door eiwitten uit volkoren granen/brood wordt daarom aanbevolen in de literatuur.

Wel moeten we rekening houden met de impact van de traditionele Nederlandse broodmaaltijd. Deze is een stuk hoger dan die van het brood zelf, vanwege de combinatie met zuivelranken, kaas en vleeswaren. Door brood te combineren met water, thee of plantaardige zuivel, en beleg op basis van groenten, fruit, noten en peulvruchten gaat de milieu impact van de broodmaaltijd omlaag.

In zijn huidige vorm heeft brood dus al een mooie uitgangspositie. Toch zijn er nog een aantal belangrijke uitdagingen rondom brood en duurzaamheid. De drie belangrijkste *hotspots* zijn:

1. Tarweteelt
2. Bakproces
3. Verspilling

Klimaatverandering in combinatie met verminderde diversiteit in het tarweareaal en bodemuitputting, zorgt ervoor dat de tarweteelt in Europa kwetsbaarder en onzekerder wordt. Er liggen kansen voor verduurzaming via het vergroten van de genetische diversiteit, verminderen van het kunstmestgebruik en het doorvoeren van maatregelen ter bevordering van een gezonde bodem- en akkerbiodiversiteit.

Bij het bakken van brood zit de grootste impact in het verbruik van fossiele energie. Ongeveer 30 tot 50 procent van de CO<sub>2</sub> uitstoot van de gemiddelde (industriële) bakkerij ontstaat door het gasverbruik voor stookinstallaties en stroomopwekking. Het vergroten van de efficiency van bestaande ovens kan door te zorgen voor: 1) Kennis van de interactie tussen product en warmte 2) procesverbetering en 3) optimalisatie van proces parameters. Het “real time” monitoren van energieverbruik en procesparameters zoals hitteverdeling en ovenlading is hierbij een waardevolle tool. Daarnaast bieden algemene energiebesparingsmaatregelen, overstappen op groene energie, hybride ovens en elektrificatie handelingsperspectief voor de bakker. Tot slot zijn er geheel nieuwe oven technologieën – zoals vacuüm bakken – in ontwikkeling. Nader onderzoek is gewenst naar de toepassing hiervan op grote schaal.

In Nederland staat brood op nummer 1 van de Top 10 meest verspilde producten. Voor preventie van verspilling kan worden ingezet op betere afstemming van productieplanning en winkelassortiment (“realtime”, data gedreven), zorgen voor langere houdbaarheid (receptuuroptimalisatie, vers-vriezen, verpakken), portionering en verpakkingsoplossingen. Uit onderzoek blijkt dat de impact van verpakken in het algemeen relatief laag is in verhouding tot de impact van broodverspilling. Gebruik van (recyclebare) verpakking is dus gerechtvaardigd als verspilling hiermee wordt voorkomen.

Hergebruik van brooduitval in de eigen receptuur via een fermentatiestap kan zonder dat dit de broodkwaliteit negatief beïnvloedt. Ook lijkt het winnen van waardevolle inhoudsstoffen uit reststromen meel en brood (“Bio-processing”) een oplossingsrichting die het waard is nader te onderzoeken.

De grootste uitdaging lijkt het terugdringen van broodverspilling bij de consument thuis. Hoewel er veel voorlichting is om voedselverspilling te voorkomen, is de effectiviteit van deze voorlichting waarschijnlijk beperkt. Consumenten zelf geloven vooral in het effect van kleinere verpakkingen en betere aankoopplanning. Meer onderzoek is nodig naar de effectiviteit van interventies om broodverspilling te voorkomen.

Al met al zijn er voldoende aanknopingspunten uit de literatuur waar de bakkerijsector mee aan de slag kan. Als alle ketenpartijen samenwerken aan het oppakken van de genoemde hotspots is er een mooie hoofdrol weggelegd voor brood in een plan(ee)taardig voedselpatroon.

# Inhoud

Inleiding .....	3
Afbakening.....	4
Samenvatting.....	5
1. Brood in een gezond en duurzaam voedselpatroon.....	8
1.1    Waarom is gezond en duurzaam eten van belang? .....	8
1.2    Oplossingen voor een duurzamer voedselsysteem .....	10
1.2.1 Veranderen wat we <i>eten</i> .....	11
1.2.2 Veranderen wat en hoe we <i>produceren</i> . .....	12
1.3 De milieu-impact van brood ten opzichte van andere graanproducten.....	14
1.4 Milieu-impact Europese en Nederlandse graan- en broodconsumptie .....	15
1.4.1 Brood als onderdeel van een plan(ee)taardig voedselpatroon .....	16
2. De milieu voetafdruk van brood, nader bekeken.....	21
2.1 Hotspot analyse.....	21
2.2 Tarwe telen.....	24
2.2.1 Uitgelicht: Effect Klimaatverandering op tarweteelt.....	25
2.2.2 Uitgelicht: Rol van Tarweveredeling.....	27
2.2.3 Uitgelicht: Effect Landbouwmethoden.....	28
2.3 Bakken.....	31
2.3.1 Uitgelicht: Verbeteren efficiency van Ovens.....	32
2.3.2 Nieuwe Oventechnologie.....	33
2.3.3 Uitgelicht: Alternatieve Energiebronnen .....	35
2.4 Verpakken.....	38
2.4.1    Uitgelicht: Consumentenperceptie versus Werkelijke Impact .....	39
2.4.2    Uitgelicht: Toekomst verpakkingsontwerp .....	40
2.5 Verspilling .....	44
2.5.1    Uitgelicht: Reststromen Bakkerij & Retail .....	45
2.5.2    Uitgelicht: Verspilling bij de Consument .....	49
3. Bronnen .....	52

# 1. Brood in een gezond en duurzaam voedselpatroon

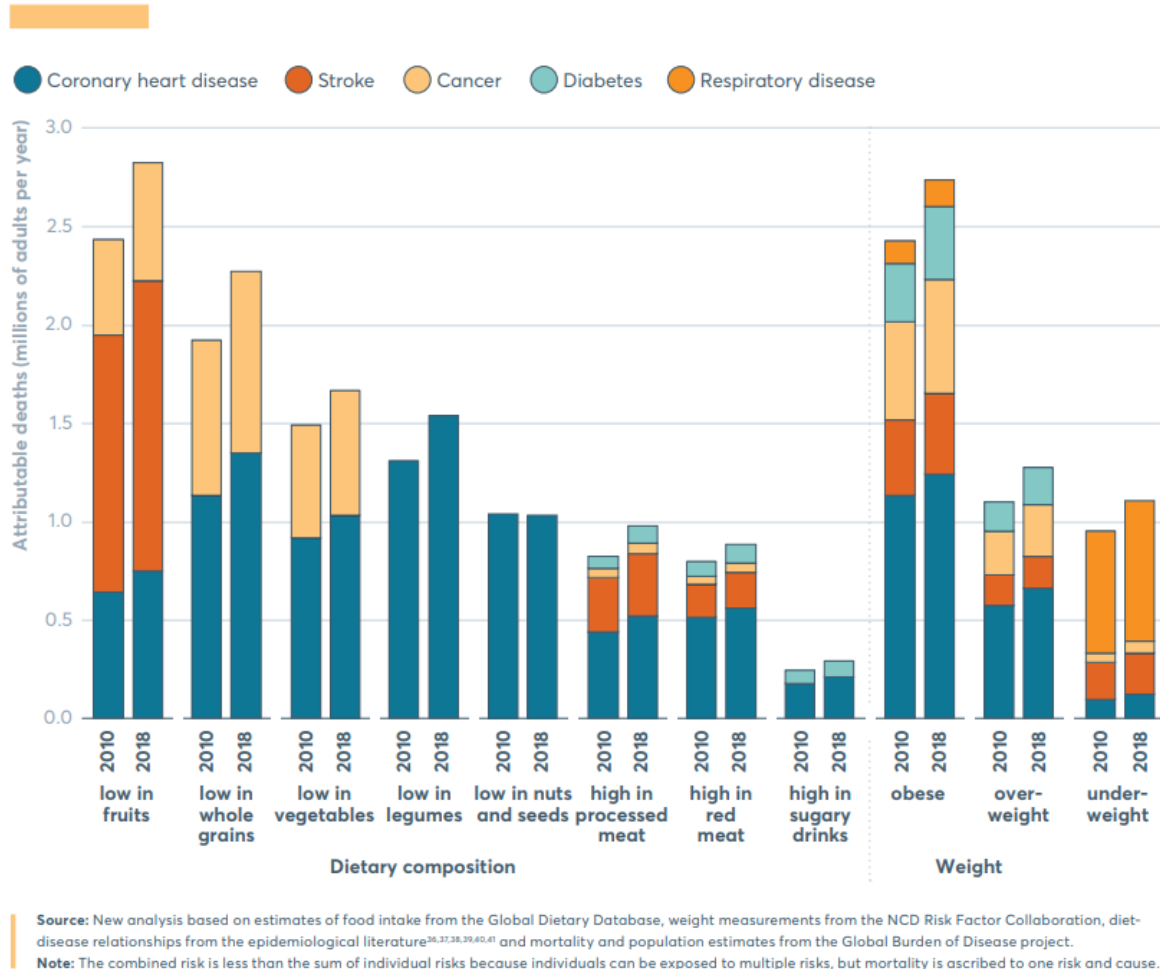
## 1.1 Waarom is gezond en duurzaam eten van belang?

De wereldbevolking groeit en is niet in optimale gezondheid. Ruim 40% van de wereldbevolking heeft overgewicht, 22% van de kinderen hebben een groeiachterstand, 9% van de volwassenen heeft diabetes en 20-24% heeft een te hoge bloeddruk [1]. Er is dus niet alleen veel maar ook kwalitatief hoogwaardig voedsel nodig. **Een duurzaam voedselsysteem voorziet in de voedingsbehoefte van alle mensen, nu en in de toekomst.** En blijft tegelijkertijd binnen de ecologische grenzen van de planeet. De grote invloed van voedselproductie en -consumptie op onze gezondheid en onze leefomgeving dwingen ons tot overgang naar gezonder eetpatroon én duurzamere voedselproductie. Zodat we ziekte en sterfte als gevolg van ongezond eten kunnen verminderen en ook toekomstige generaties nog van voedsel kunnen voorzien en onze planeet leefbaar blijft.

Dit is een hele uitdaging, omdat de wereldwijde trend zich de andere kant op beweegt.

### The dietary health burden is increasing

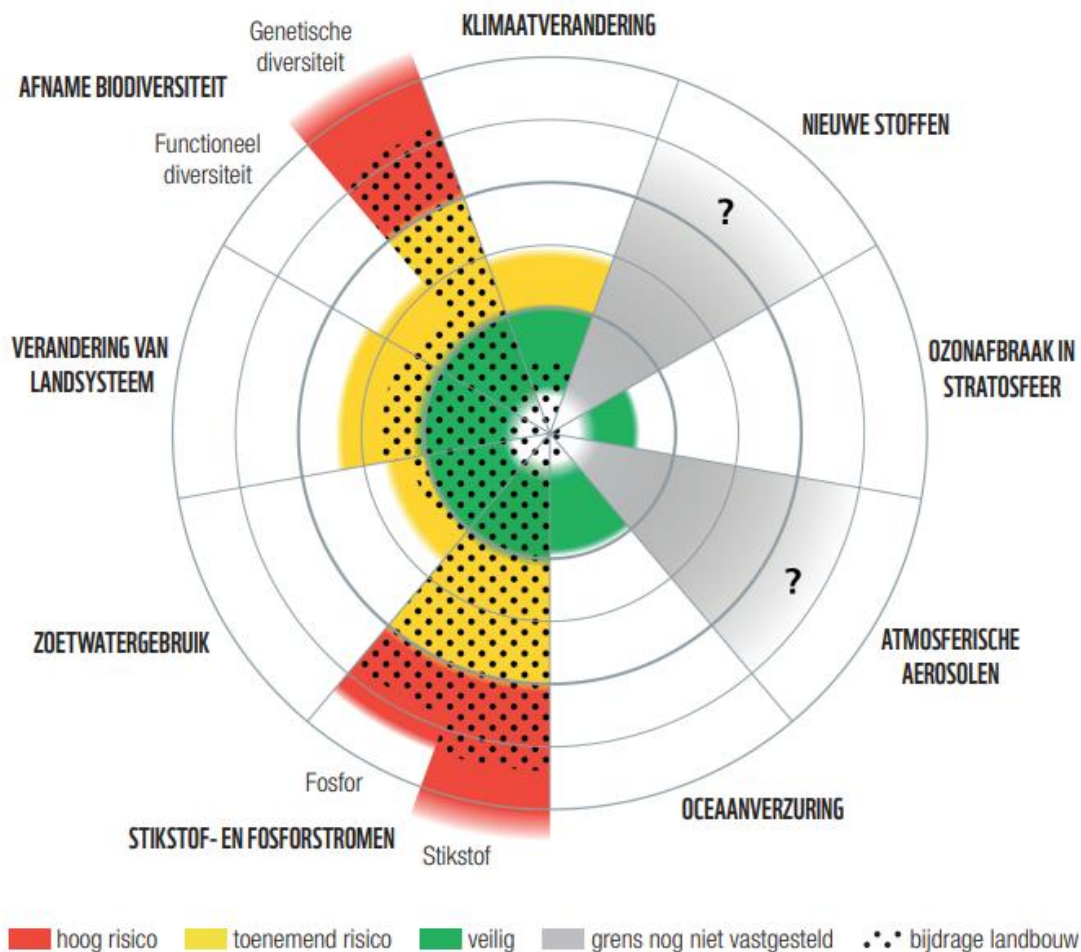
Deaths attributable to dietary risk factors by cause of death for risks related to dietary composition and weight levels, 2010 and 2018



Figuur 1: Bijdrage van verschillende dieefactoren aan de sterfte wereldwijd. Bron: Global Nutrition Report 2021 [1].

In figuur 1 is de bijdrage van ongezond eten op sterftcijfers te zien. Hieruit blijkt onder andere dat de te lage volkorengraan consumptie bijdraagt aan een toename van sterfte als gevolg van hartziekten en kanker. Bovendien zijn de grenzen van de planeet voor een aantal kritische milieuaspecten al ruimschoots overschreden of bevinden zich in de kritische gevarenszone (figuur 2).



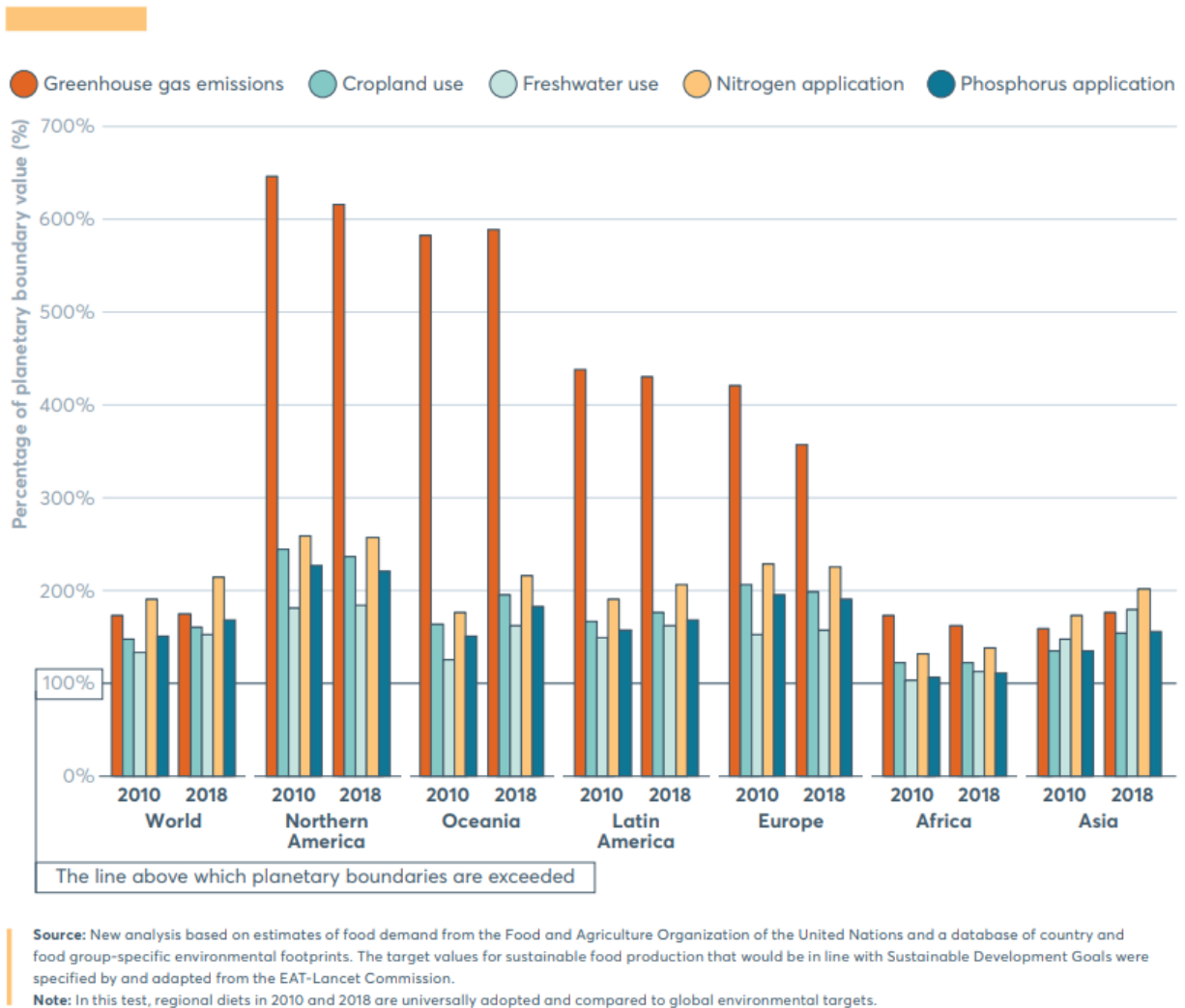


Figuur 2: Planetaire grenzen en de rol van landbouw daarin. Bij vijf milieuaspecten, biodiversiteitsverlies, stikstofkringloop, fosfaatkringloop, klimaatverandering, veranderd landgebruik, zijn de ecologische grenzen van de aarde al overschreden (rood) of bevinden zich in de kritische gevarenszone. Bron: Wereld Natuur Fonds, 2022 [2].

Een groot deel van deze effecten is te wijten aan *wat* we eten en *hoe* we dit produceren. Zo veroorzaakt de productie en consumptie van voedsel wereldwijd 21-28% van de broeikasgasemissies, 33% van de bodemuitputting en 60% van het biodiversiteitsverlies op het land. Bovendien is het gebruik van meststoffen zeer inefficiënt: 80-85% van het stikstof en fosfaat dat wordt aangebracht op landbouwgronden gaat verloren en komt via de waterwegen in zee terecht, waar het zorgt voor biodiversiteitsverlies van het zeeleven. Ook is 29% van de vispopulatie overbevist. Tot slot is er veel landoppervlakte nodig voor voedselproductie: ongeveer 40% van het totale landoppervlak. Hiervan wordt 82% gebruikt t.b.v. veeteelt voor vlees en zuivel en 16% voor het verbouwen van gewassen. De overige 2 procent is in gebruik t.b.v. (kweek)vis en eiproductie. Met het vrijmaken van land voor voedselproductie gaat veel ontbossing gepaard; 80% van de ontbossing wereldwijd is toe te schrijven aan voedselproductie [2,3].

Met ons eetpatroon hebben wij dus een zeer grote invloed op de leefbaarheid van onze planeet. Helaas ligt niet één land in de wereld momenteel op koers om de overeengekomen doelen voor verduurzaming van het voedselsysteem te behalen (figuur 3).

**No region is on course to meet global environmental targets related to the food system**  
Global sustainability test comparing global impacts with global environmental targets



Figuur 3: Mate waarin regio's voldoen aan voedsel gerelateerde milieudoelen. bron: Global Nutrition Report, 2021 [1].

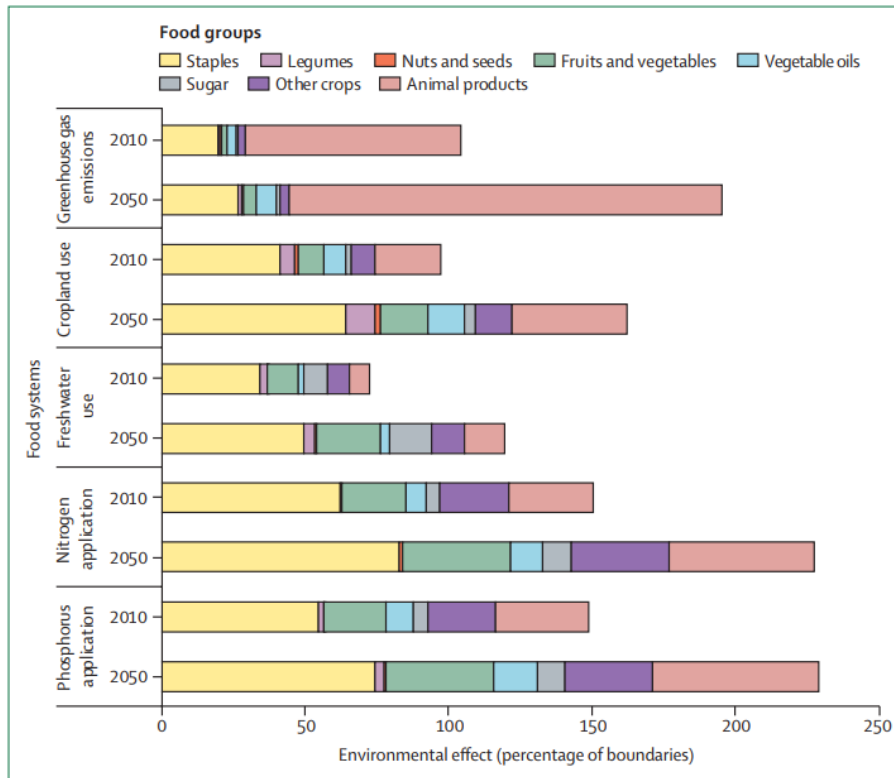
## 1.2 Oplossingen voor een duurzamer voedselsysteem

De internationale EAT Lancet commissie publiceerde in 2019 het eerste breed gedragen rapport waarin voedingsdeskundigen en natuurwetenschappers 5 maatregelen voorstellen om te komen tot een wereldwijd voedselsysteem dat gezonde voeding voortbrengt binnen de grenzen van de planeet [4]. Deze maatregelen zijn:

- 1) Veranderen wat we *eten*. Verschuiving richting een gezonde samenstelling.
- 2) Veranderen wat we *produceren* (andere grondstoffen en producten).
- 3) Veranderen *hoe* we het voedsel produceren ("duurzame intensivering").
- 4) Sterke gecoördineerde bescherming van ecosystemen op het land en in het water.
- 5) Halveren van de voedselverliezen en -verspilling.

### 1.2.1 Veranderen wat we eten

Hoe de mensheid gemiddeld genomen eet is weinig duurzaam en ook niet gezond. Als we blijven eten zoals we nu doen, kunnen we een toename van het aantal voeding gerelateerde ziekten – zoals diabetes en beroerten – verwachten, en worden internationale klimaat- en biodiversiteitsdoelstellingen in de komende decennia niet gehaald. De huidige trend is een adaptatie van een meer "westers" dieet in landen waar de welvaart toeneemt. Dit is een trend die we moeten keren.

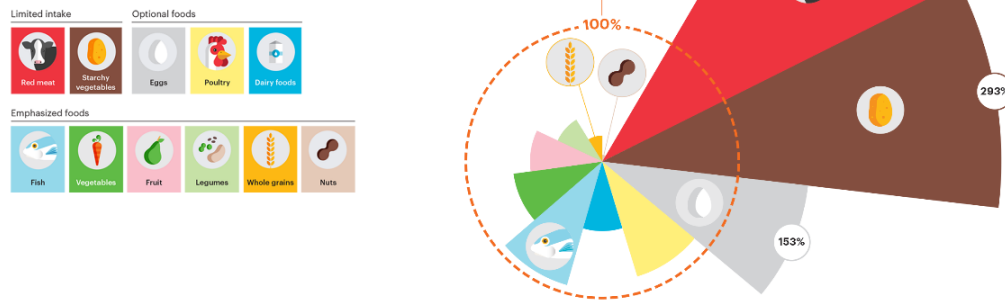


Figuur 4: Impact van diverse voedsel-categorieën op verschillende natuurlijke hulpbronnen in 2010 en 2050 als we ons huidige voedselconsumptiepatroon behouden/doorzetten. Bron: Willet e.a. 2019 [3].

Het Planetary Health Diet – gepubliceerd door de EAT Lancet Commissie – onderstreept dat calorieën voornamelijk uit plantaardige producten moeten komen om de wereldbevolking ook in de toekomst gezond en duurzaam te kunnen voeden. Een duurzaam voedingspatroon bestaat daarom voornamelijk uit volkorengranen, noten, fruit en groenten en kleinere hoeveelheden ei, zuivel, kip en vis en weinig rood vlees en bewerkte producten. Dat benadrukken zowel wereldwijde als nationale autoriteiten, waaronder de Wereldgezondheidsorganisatie, de Gezondheidsraad, het Wereld Natuurfonds en het Voedingscentrum. Welk type granen, groenten, fruit en dierlijke producten kan verschillen afhankelijk van geografie en cultuur [4].

# Current Diets vs Planetary Health Diet

## Global



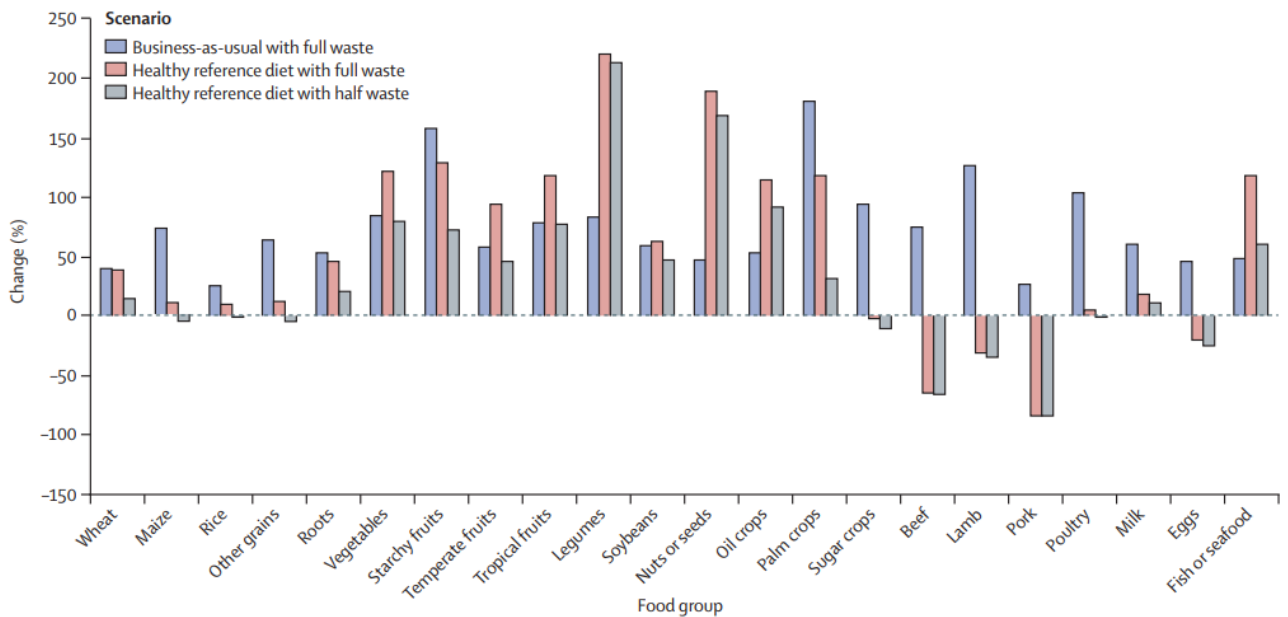
Figuur 5: Huidige inname van de voornaamste voedselbronnen versus inname volgens het "Planetary Health Diet" van de EAT Lancet commissie, vertaald door het WNF als "Planeetaardig" Voedselpatroon. Bron: Willet e.a. 2019; Summary Report [3].

Volkorengraan heeft dus een gunstige uitgangspositie als onderdeel van een gezond en duurzaam voedselpatroon.

### 1.2.2 Veranderen wat en hoe we *produceren*.

Uit het advies van de EAT Lancet commissie om te veranderen wat we *eten* (strategie 1) volgt ook een verandering in wat we *produceren* (strategie 2). Daarnaast is een verandering in *hoe* we ons voedsel produceren (strategie 3) ook noodzakelijk om onze landbouwgronden op de lange termijn vruchtbaar te houden en de wereldwijde biodiversiteit te beschermen.

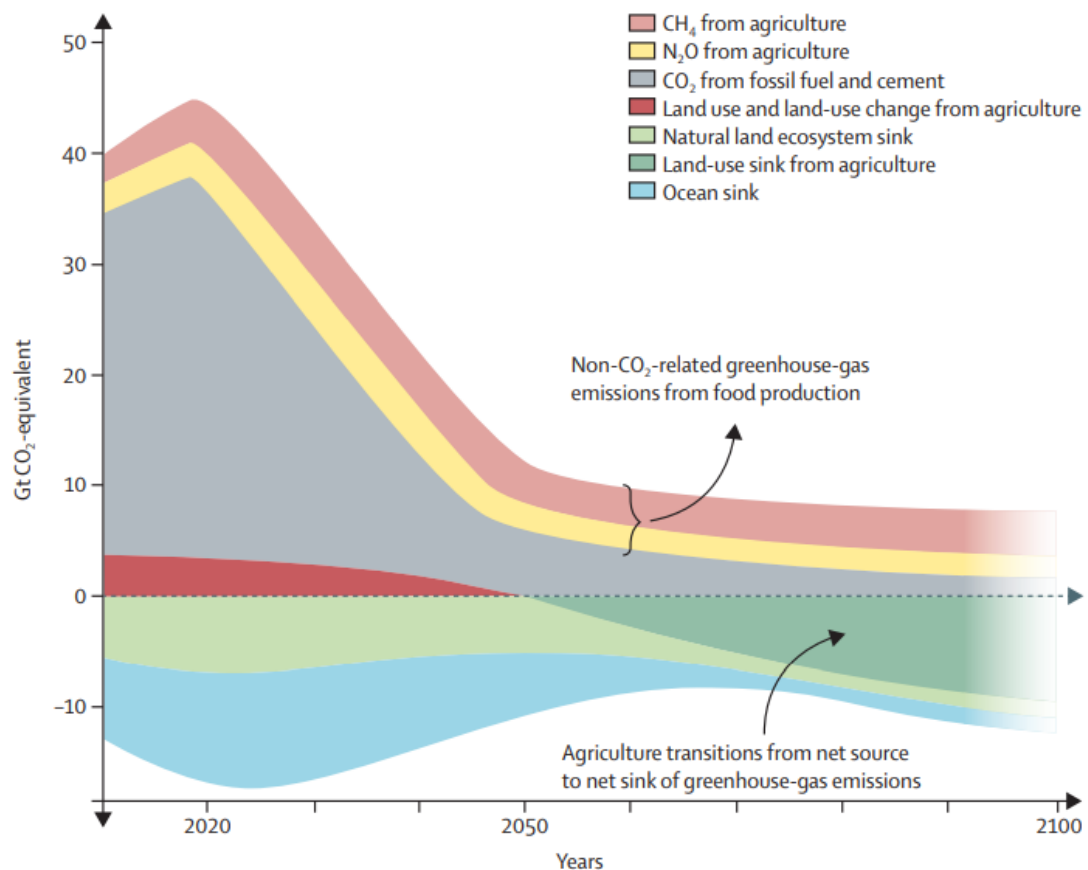
Momenteel wordt slechts 41% van de granen die wereldwijd geproduceerd worden gebruikt voor humane consumptie [6]. Bij een verschuiving van het wereldwijde voedselpatroon naar een meer plantaardig voedselpatroon (strategie 2) en een halvering van de voedselverspilling (strategie 5), zal er netto gezien vrijwel geen toename in graanproductie nodig zijn. Dit komt doordat er veel minder graan geproduceerd hoeft te worden voor diervoeder en er productievolume overblijft dat kan verschuiven richting menselijke consumptie. Met name de productie van mais, rijst en andere granen kan dan (iets) gereduceerd. De productie van tarwe zal nog wel wat omhoog moeten t.o.v. het huidige productievolume, maar veel minder dan in het "Business As Usual" scenario [4].



Figuur 6: Wereldwijde voedselproductie in verschillende consumptie- en verspillings-scenario. In alle scenario's zal de tarweproductie (licht) omhoog moeten. Bron: Willet e.a. 2019 [3].

Het verduurzamen van de landbouw (strategie 3) moet vervolgens o.a. bestaan uit minder en efficiënter verbruik van kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen. Tegelijkertijd moet het gat in opbrengst (~75%) tussen boeren in reeds ontwikkelde en opkomende economieën gedicht worden. Vooral in Europa en Noord-Amerika wordt een overmaat van fosfaat en stikstof op het land aangebracht. Terwijl in het grootste deel van het Afrikaanse continent vrijwel geen kunstmest en gewasbescherming wordt gebruikt door onvoldoende (financiële) toegang tot deze middelen/mineralen. Volgens de commissie zou er een herverdeling van de beschikbare middelen plaats moeten vinden. Daarnaast pleiten zij vooral voor betere managementpraktijken op akker- en weilanden, zoals minder grondkerende bewerking, groenbemesters en een diverse en frequentere gewasrotaties. Hierdoor zullen gronden vruchtbaarder blijven/worden en komt er minder afhankelijkheid van kostbare externe middelen. Ook zien de wetenschappers een rol voor precisie-landbouw en gemengde boerenbedrijven waar vee- en landbouw weer gecombineerd worden [4].

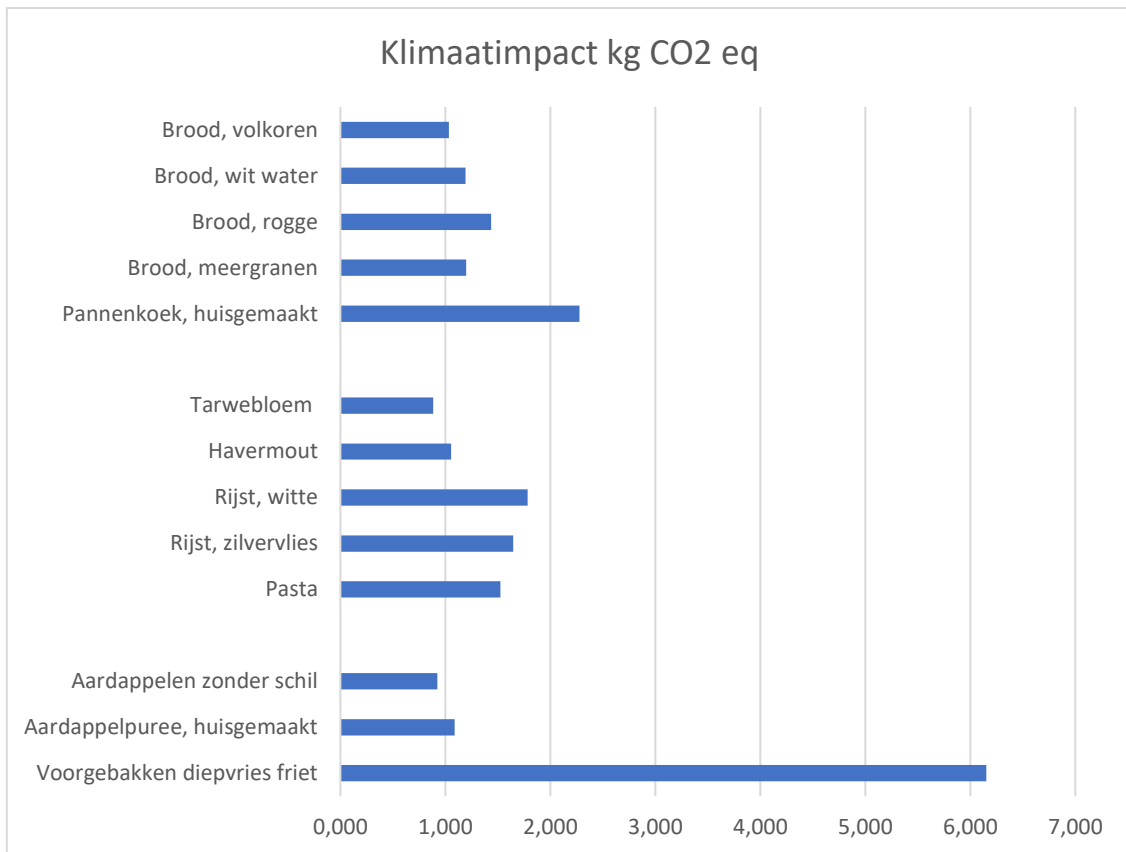
Door andere landbouwmethoden toe te passen kunnen we zorgen voor een gezonde bodem, welke CO<sub>2</sub> vastlegt en eindelijk hergebruikt binnen het natuurlijke ecosysteem (CO<sub>2</sub> kringloop). Er ligt dus enorme potentie bij de landbouw om substantieel bij te dragen aan verlagings van de CO<sub>2</sub> in de lucht en hiermee aan een vermindering van het broeikasgas-effect.



Figuur 7: Projecties van wereldwijde emissies en de potentie van landbouw om bij te dragen aan een reductie van klimaatverandering door CO<sub>2</sub> vast te leggen in de bodem. Bron: Willet e.a. 2019 [3].

### 1.3 De milieu-impact van brood ten opzichte van andere graanproducten

Brood en andere graanproducten hebben een relatief lage milieu-impact in vergelijking met dierlijke basisvoedingsmiddelen zoals zuivel en vlees. De meest berekende impact indicator is de klimaatimpact (CO<sub>2</sub> footprint) van brood. Voor Europees brood is deze gemiddeld 1,1kg CO<sub>2</sub> equivalenten per kilo brood [7]. De orde van grootte van de impact per kilo brood komt overeen met die van pasta, gekookte aardappelen en ontbijtgranen. Binnen de categorie graanproducten zijn de verschillen niet groot, en - gezien de onzekerheden die er nog in Life Cycle Assessment (LCA) onderzoek zitten [8] - zou je kunnen stellen dat deze verschillen tussen graanproducten gemiddeld genomen te verwaarlozen zijn. Enige uitzondering hierop vormt rijst. Rijst heeft een hoge klimaatimpact vanwege de aanzienlijke hoeveelheden methaan die vrijkomen bij de natte teelt. Methaan is een zeer sterk broeikasgas. Dit uit zich in een verschil in klimaatimpact tussen rijst en tarwebloem (figuur 8).



Figuur 8: Overzicht van verschillende basisvoedingsmiddelen op CO<sub>2</sub> impact. Bron: RIVM online database Milieu impact Voedingsmiddelen, september 2022<sup>1</sup>.

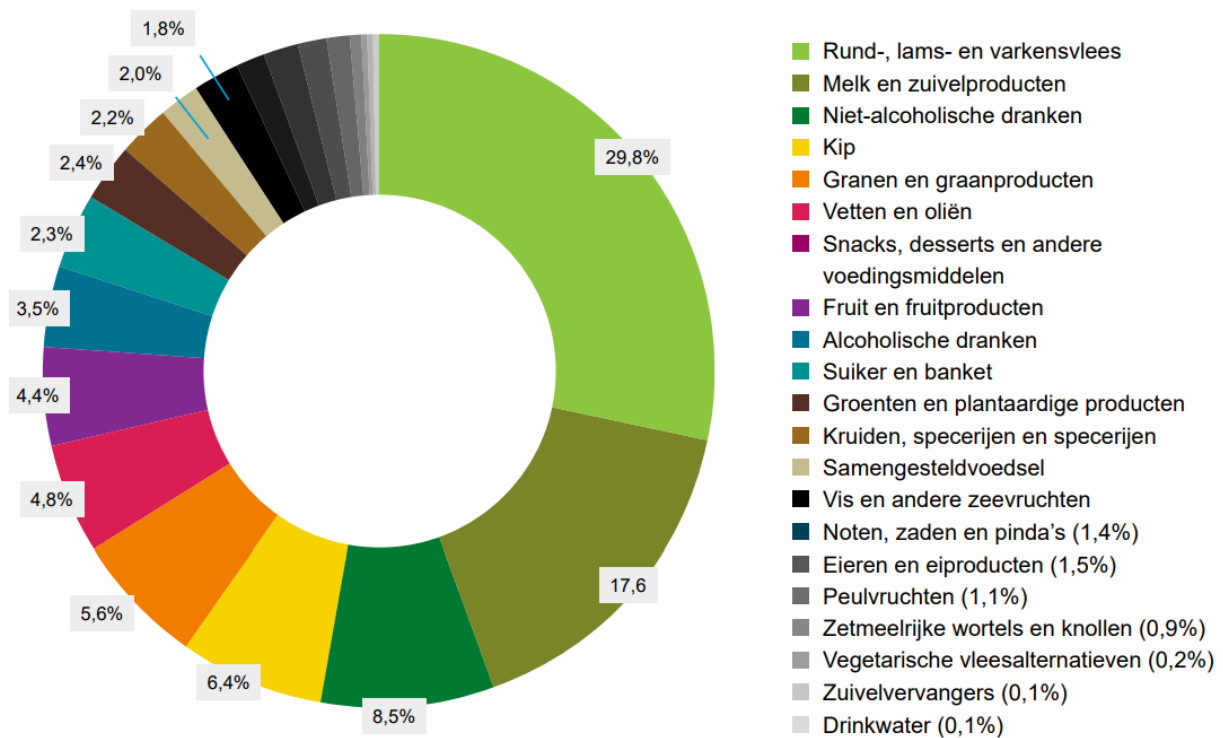
Overige impactcategorieën die in verschillende studies onderzocht zijn, zijn: vermist van water, bodemverzuring, bezetting van landbouwgrond en totale energievraag. Een deel van de studies hebben daarnaast gekeken naar verschillende vormen van toxische watervervuiling, waterverbruik, potentiële toxische effecten voor de mens, effect op de ozonlaag, en/of smogvorming. Voor vrijwel alle impactcategorieën geldt dat er weinig verschil is tussen de verschillende graanproducten. Dit heeft vooral te maken met het feit dat de graanteelt in vrijwel alle impactcategorieën relatief de grootste impact heeft [9-15].

## 1.4 Milieu-impact Europese en Nederlandse graan- en broodconsumptie

Een gemiddelde Europeaan eet 39,3 kilo brood per jaar. De milieu-impact van de broodconsumptie in Europa is relatief klein, bekeken als onderdeel van een representatief boodschappenmandje (1,7% van totaal marine eutrofiëring, ca 3% van totaal CO<sub>2</sub> footprint, 10,3% van totaal ozondepletie) [15]. Hoewel Nederlanders meer brood eten dan de gemiddelde Europeaan (49 kilo) is ook in ons land de milieu-impact van de consumptie van brood en andere graanproducten relatief laag in vergelijking met de impact van dierlijke producten zoals vlees, vis, ei en zuivel [11,12]. In een recent onderzoek in opdracht

<sup>1</sup> RIVM disclaimer: de gegevens over de milieubelasting van voedingsmiddelen in deze database zijn openbaar en vrij te gebruiken (volledige licentietekst CC BY 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.nl>). De cijfers zijn echter nog in ontwikkeling en kunnen op basis van nieuwe informatie aangepast worden. Er is op deze cijfers geen "kritische review" gedaan zoals gespecificeerd in de ISO-14040 norm. Dat betekent dat deze cijfers niet gebruikt kunnen worden voor de vergelijking van individuele voedingsmiddelen met als doel hierover publiekelijk, commercieel te communiceren. Daarvoor is een externe review nodig, zoals gespecificeerd in de ISO-14040 norm.

van het Wereld Natuur Fonds (WNF) bleek dat graanconsumptie verantwoordelijk is voor ca. 5% van het biodiversiteitsverlies<sup>2</sup> ten gevolge van het Nederlands voedselconsumptiepatroon [16].



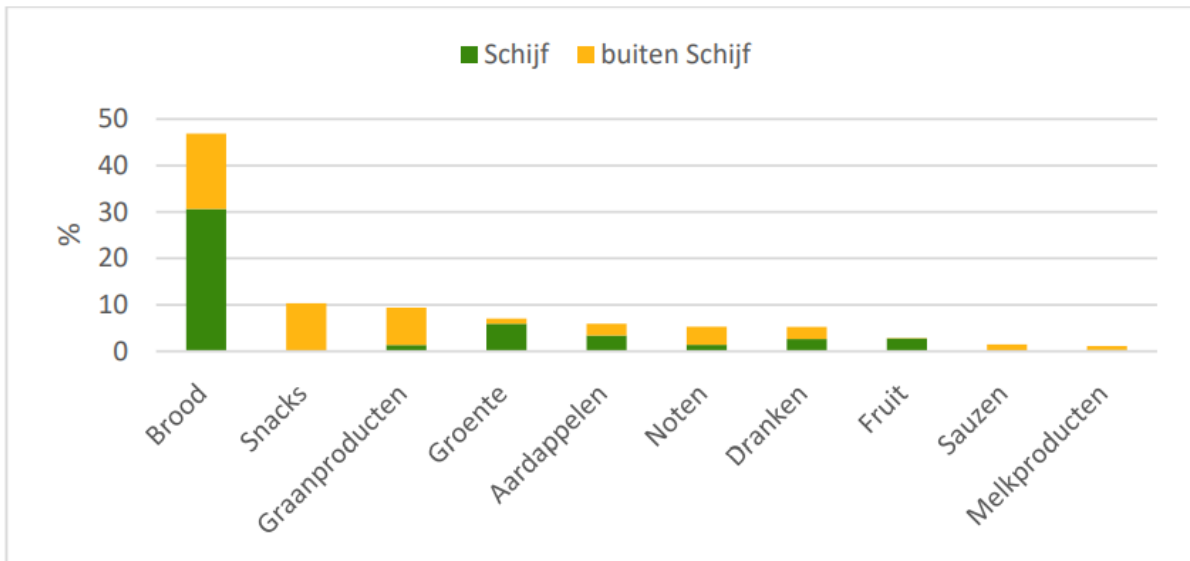
Figuur 9: Bijdrage aan het biodiversiteitsverlies van het Nederlandse voedselpatroon per productgroep. Graanproducten hebben een relatief lage impact, maar worden veel gegeten en hebben daarom toch een plek in de top-5. Zij het met grote afstand tot de nummers 1 t/m 3. Bron: WNF, 2022 [16].

#### 1.4.1 Brood als onderdeel van een plan(ee)taardig voedselpatroon

Brood is als basisvoedingsmiddel een belangrijke leverancier van voedingsstoffen, vitamines en mineralen. Zo levert brood 26% van de dagelijkse koolhydraatname en 36% van de dagelijkse vezelname, maar ook een scala aan vitamines (o.a. vitamine B1, 3 en 6) en mineralen (o.a. ijzer, jodium en fosfor). Wat vaak vergeten wordt is dat brood daarnaast voor een belangrijk deel in de eiwitname van de gemiddelde Nederlander voorziet. In totaliteit leveren dierlijke productgroepen samen 58% van de eiwitten, plantaardige bronnen 37%. Bijna de helft (47%) van ons plantaardige eiwit inname wordt geleverd door brood en andere graanproducten [17,18].

<sup>2</sup> Het WNF over hoe biodiversiteitsverlies is bepaald: De onderzoeksmethode kijkt naar welk type landgebruik nodig is voor welk type product. Ook wordt meegenomen of bij de productie van voedsel meer broeikasgassen vrijkomen. Deze hebben uiteindelijk tot gevolg dat de wereldgemiddelde temperatuur stijgt, wat uiteindelijk land- en zoetwatersoorten beïnvloedt. Het landgebruik is verantwoordelijk voor zowel de verandering van de beplantingen als de intensivering van het landgebruik. Dat leidt tot verlies van leefgebied voor wilde planten en dieren en bodemverstoring. Bij voedselproductie komen ook allerlei stoffen vrij zoals stikstof, nitraat en ammoniak. Die zorgen voor verstoring en verzuring van de bodem en daarmee ook voor verlies van plantensoorten. N.B.: Methode meet mogelijk verdwenen soorten door verlies ecosysteemkwaliteit. Methode meet niet alle soorten en niet alle impact.



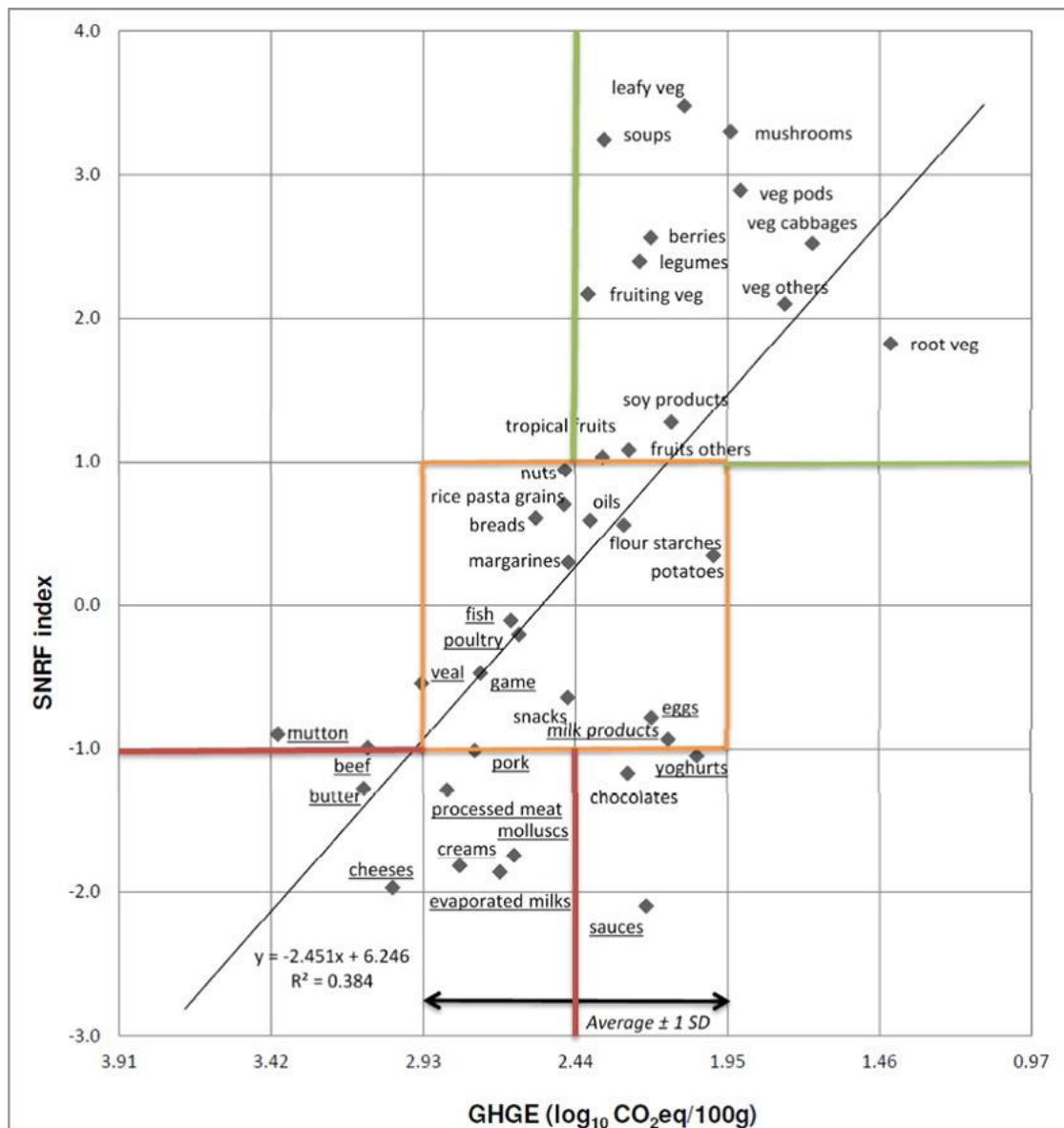


Figuur 10: Bijdrage van voedingsmiddelengroepen aan de gemiddelde inname van plantaardig eiwit (%; VCP 2012-2016, 1-79-jarigen, n=4313). Bron: RIVM, 2020 [18].

Hoewel brood bekend staat als koolhydraat- en vezelbron, levert deze relatief gezien dus een kleinere bijdrage aan de totale koolhydraatinname (26%) en voedingsvezelinname (36%), dan aan de totale (plantaardige) eiwitinname. Er zijn verschillende onderzoekers die daarom aandacht besteden aan het potentieel van brood en andere graanproducten in een duurzamer, plan(eet)taardig, voedselpatroon.

Dat brood veel voedingsstoffen levert voor een relatief lage milieu-impact is terug te zien in de Sustainable Nutrient Rich Food (SNRF)-index. Deze index is een manier om (wetenschappelijk) te communiceren over de milieu-impact van producten relatief aan hun nutritionele waarde. De SNRF-index is opgebouwd door een aantal voedingsfactoren (kcal, plantaardige eiwitten, natrium, vetten, voedingsvezel, toegevoegd suiker) in een formule te combineren tot één getal. Dit getal kan dan in een matrix afgezet worden tegen duurzaamheidsindicatoren zoals bijvoorbeeld de klimaat-impact [19].

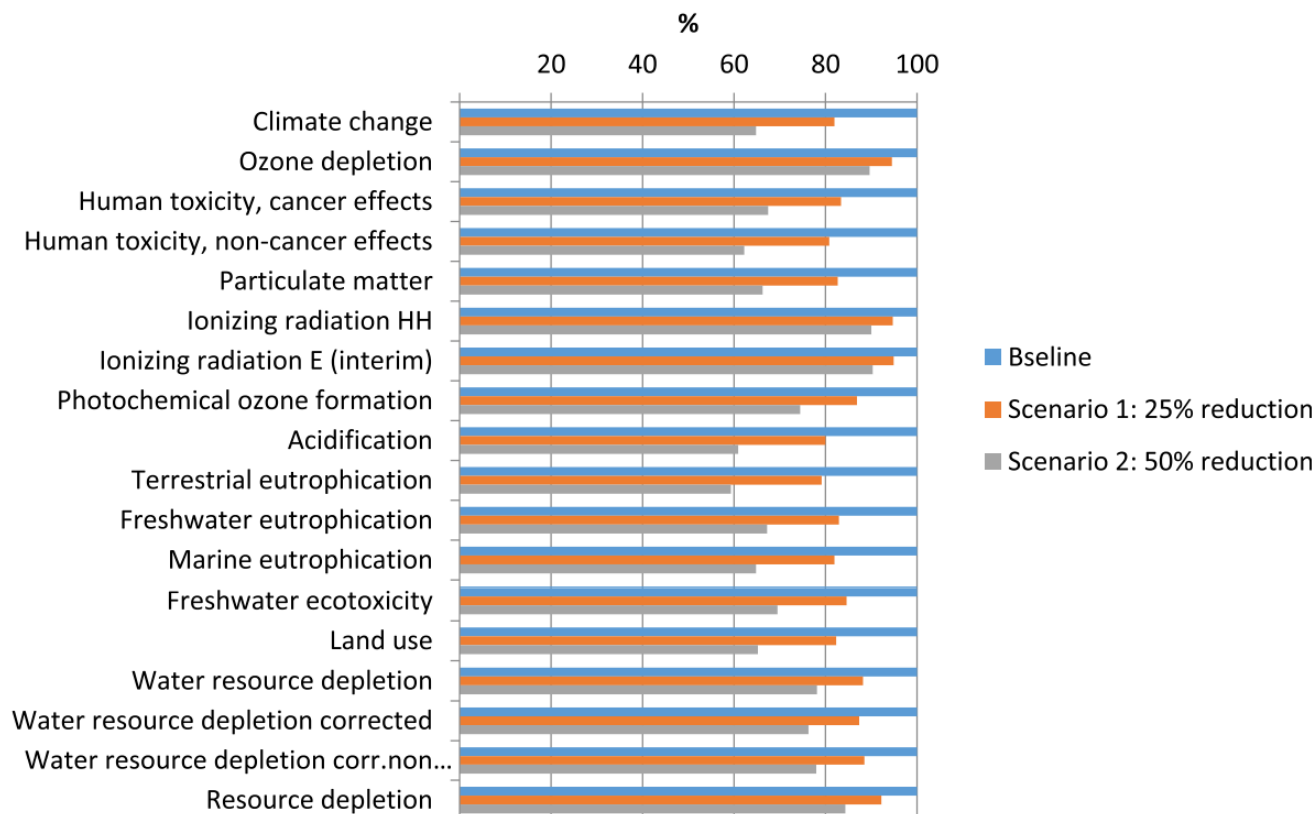
Brood - en volkorenbrood in het bijzonder - heeft een gunstige positie in deze matrix aan de bovenkant van de hoogcalorische producten met een gemiddelde tot hoge nutriëntendichtheid en een gemiddeld tot lage CO<sub>2</sub> footprint (figuur 11) [19].



Figuur 11: SNRF Index afgezet tegen de CO<sub>2</sub> impact van verschillende voedingsmiddelengroepen. bron: Van Dooren, 2017 [19].

Ondanks deze gunstige uitgangspositie van (volkoren)brood voor gezondheid en klimaat, wordt brood in landelijke voedingsrichtlijnen van zeker 90 landen niet specifiek benoemd als waardevolle bron van plantaardig eiwit [6]. Hoewel de Nederlandse voedingsrichtlijnen van het Voedingscentrum wel de consumptie van volkorengraan benadrukken, worden granen vooral gepositioneerd als belangrijke koolhydraat- en vezelbron. Diverse onderzoekers benadrukken dat er meer aandacht zou moeten komen voor de rol van volkoren graanproducten in de eiwittransitie.

Zo berekende Notarnicola en collega's (2017b) het effect van een toename in de gemiddelde consumptie van brood van 39 kilo/jaar naar 49 kilo (scenario -25% dierlijk) of 59 kilo (scenario -50% dierlijk) ten koste van de inname van dierlijke eiwitbronnen zoals vlees en zuivel. Hieruit bleek dat dit - afhankelijk van het type impact - een vermindering van de milieu-impact kan betekenen van enkele procenten tot rond de 40% minder impact op klimaatverandering, landgebruik, verzuring, vermistening en het potentieel voor toxiciteit bij de mens (figuur 12) [15].



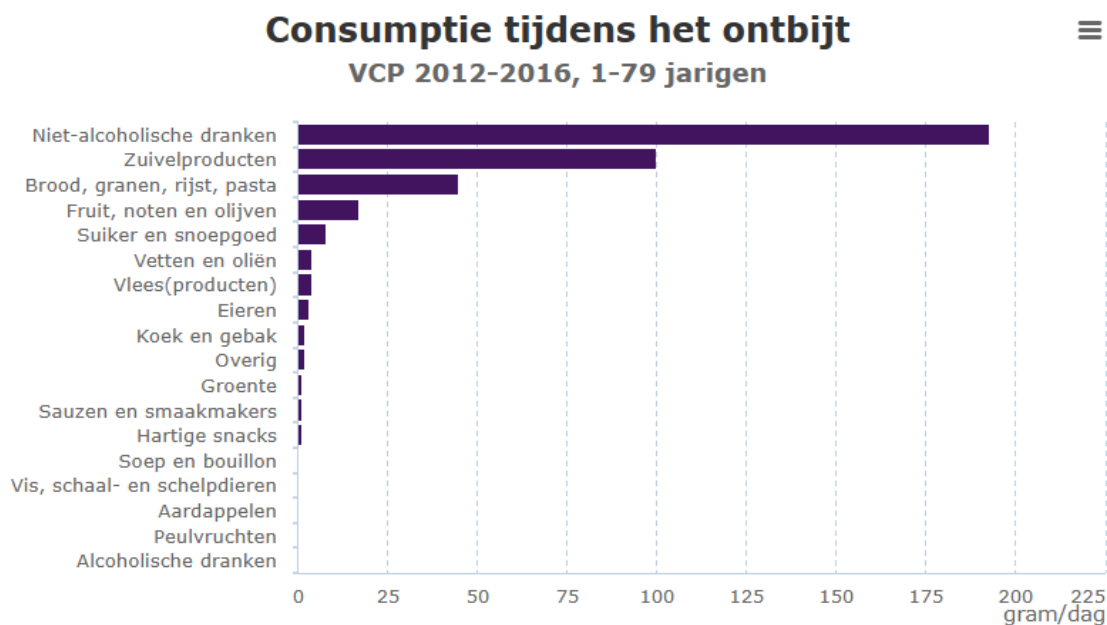
Figuur 12: Het effect van het vervangen van dierlijke eiwitbronnen door brood op de milieu-impact van het gemiddelde Europese voedselpatroon (o.b.v. boodschappenmandje). Bron: Notarnicola e.a. 2017b [15].

Ook andere onderzoekers concluderen dat het vervangen van (een deel van) dierlijke eiwitbronnen door plantaardige eiwitbronnen - waaronder een substantieel aandeel ontbijtgranen en (volkoren)brood - een gunstig effect heeft op zowel de voedingswaarde als een of meerdere milieu-impactfactoren [6,19-21]. Dit is te danken aan de voedingskundig gunstige samenstelling van brood in combinatie met een relatief lage milieu-impact.

Wel zijn hierbij twee belangrijke aandachtspunten. Ten eerste ontbreekt bij brood het essentiële aminozuur<sup>3</sup> lysine. In een plantaardig voedingspatroon zal brood daarom altijd gecombineerd moeten worden met peulvruchten die dit aminozuur wel bevatten. Zo zorg je ervoor dat alle essentiële aminozuren aanwezig zijn [6]. Daarnaast wordt in Nederland de meeste zuivelproducten geconsumeerd als onderdeel van de broodmaaltijd (figuur 13). Ook vleeswaren en eieren nemen een belangrijke plek in als broodbeleg (vooral lunch, niet in de grafiek) [8]. Hoewel brood op zichzelf dus een relatief lage milieu-impact heeft, is de impact van de traditionele broodmaaltijd een stuk hoger.

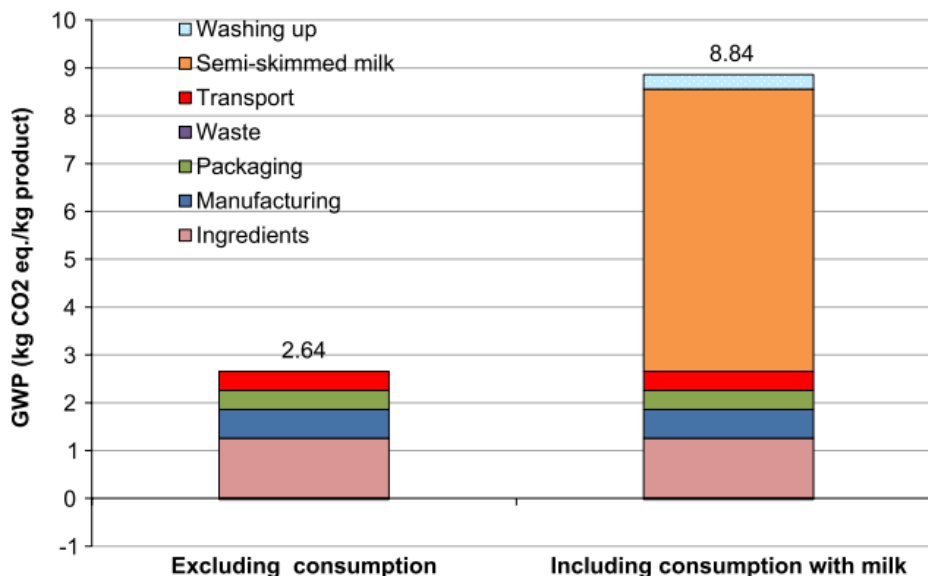
<sup>3</sup> Eiwitten zijn opgebouwd uit aminozuren. In het lichaam worden de essentiële aminozuren in een "pool" samengevoegd om lichaamseiwit mee te bouwen. In dierlijke eiwitbronnen zitten altijd alle essentiële aminozuren al bij elkaar. Plantaardige eiwitbronnen bevatten meestal maar een deel van de aminozuren.

## Wat wordt tijdens het ontbijt gegeten?



Figuur 13: Nederlanders eten relatief veel granen (brood, ontbijtgranen) en zuivelproducten (kaas, melk, yoghurt) tijdens het ontbijt. Bron: RIVM 2022 [8].

Voor ontbijtgranen is dit effect onderzocht. In figuur 14 is te zien dat de toevoeging van halfvolle melk de CO<sub>2</sub> footprint van het ontbijt met ontbijtgraan, verdrievoudigt.



Figuur 14: Klimaatimpact van ontbijtgranen met en zonder melk. Bron: Jeswani e.a. 2015 [22].

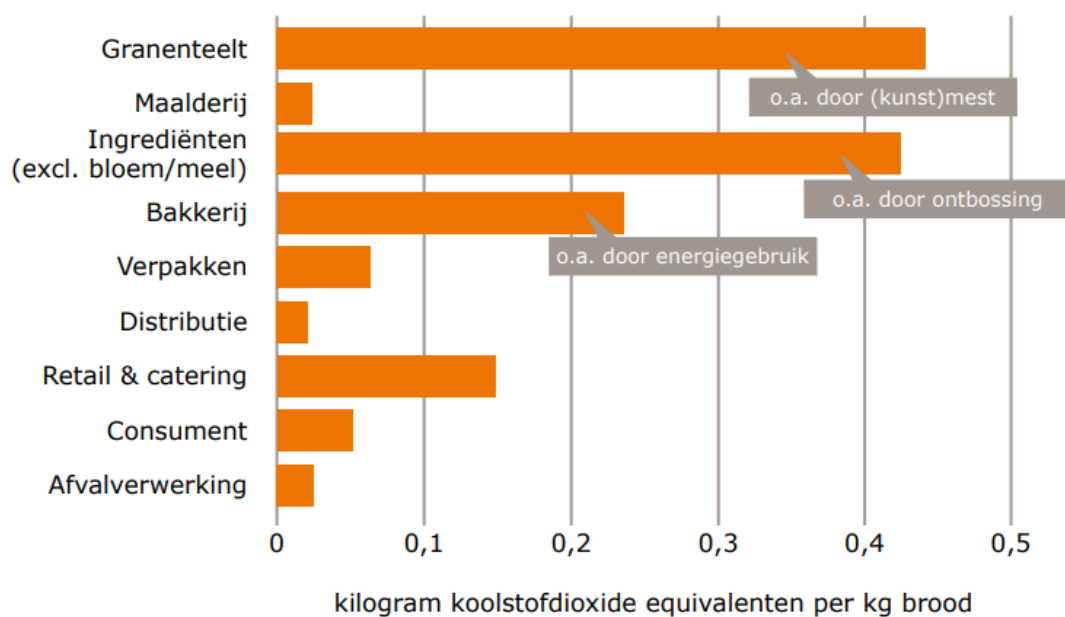
Hiermee zal men rekening moeten houden als men brood wil promoten als onderdeel van een duurzaam (plantaardig) voedselpatroon. Door brood te combineren met water, thee of plantaardige zuivel, en beleg op basis van groenten, fruit, noten en peulvruchten (pindakaas, humus, doperwtenspread, sojamelk, etc.), kan men de milieu impact van de broodmaaltijd verlagen.

## 2. De milieu voetafdruk van brood, nader bekeken

### 2.1 Hotspot analyse

In het eerste hoofdstuk hebben we vooral gekeken naar de algemene milieu-impact van brood in verhouding tot andere voedingsmiddelen en de plek van brood in ons voedselpatroon. In dit hoofdstuk gaan we dieper inzoomen op de milieu-impact van brood en de verschillende stappen in de “levenscyclus” van ons brood: van grond tot mond.

Er zijn in de afgelopen 20 jaar verschillende LCA's en hotspot-analyses gepubliceerd van tarwebrood [9-12,14,23]. De voornaamste ecologische hotspots voor (Nederlands) brood zitten in de productie van granen (voornamelijk tarwe), andere primaire grondstoffen en het bakken van brood.



Figuur 15: Dit voorbeeld van de CO<sub>2</sub> footprint van brood toont de hotspots in de broodketen. Voornaamste ecologische hotspots voor (Nederlands) brood zitten in de productie van tarwe (en andere primaire grondstoffen) en het bakken van het brood. Bron: Pensioen 2019 [23].

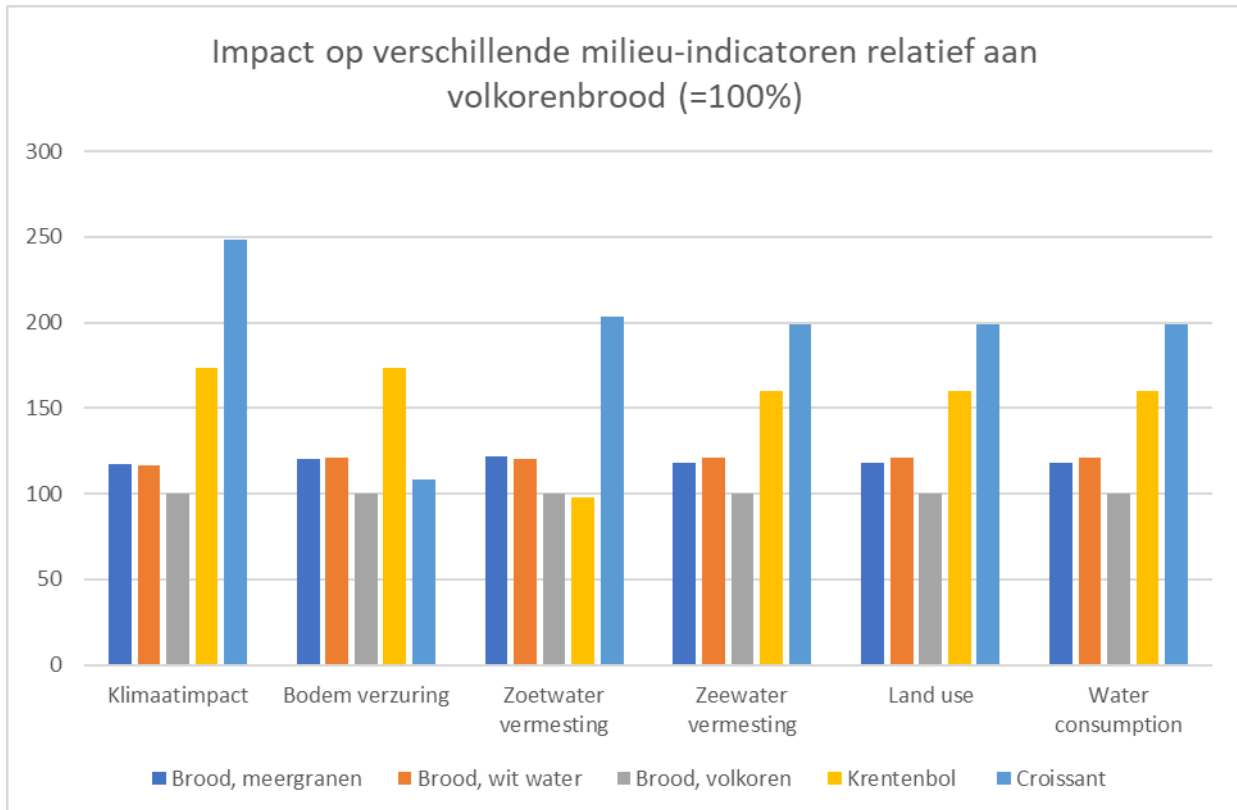
Klimaatimpact (CO<sub>2</sub>-footprint) is de meest onderzochte impactfactor. Europees brood heeft een klimaatimpact van gemiddeld 1,1 Kg CO<sub>2</sub> per kilo brood (range 0,25 tot 6,6) [7]. Deze brede range is het resultaat van verschillende recepturen en productieketens. Zo wordt de uiteindelijke impact sterk bepaald door:

- ✓ Receptuur: wel of geen gebruik van dierlijke grondstoffen, exotische grondstoffen (palmolie, soja, rozijnen), vochtgehalte, vorm van het brood.
- ✓ Type landbouwsysteem van de tarweteelt: locatie (klimaat en type bodem), biologisch/conventioneel, aandeel kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen, mate van bodembewerking en rotatie.
- ✓ Bakproces: baktijd, temperatuur, gas of elektrisch.
- ✓ Landelijke energiemix: veel of weinig fossiel.
- ✓ Verschillen in de methodologische keuzes van LCA analisten (zie kader pagina 23)

Overige impact-categorieën die onderzocht zijn, zijn vermist van water, bodemverzuring, bezetting van landbouwgrond en totale energievraag. Een deel van de studies hebben daarnaast ook gekeken

naar verschillende vormen van toxische watervervuiling, waterverbruik, potentiële toxische effecten voor de mens, effect op de ozonlaag, en/of smogvorming.

**Primaire grondstoffen** (uit reguliere landbouw) hebben de grootste impact op de meeste indicatoren (m.u.v. energieverbruik). Afhankelijk van de impactcategorie bepalen zij 50-85% van de gemeten impact. Deze impact wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van (kunst)mest en gewasbeschermingsmiddelen, en in – het geval van exotische grondstoffen – ontbossing.



Figuur 16: Deze grafiek geeft de indicatieve relatieve milieu-impact weer van veel gegeten Nederlandse broodsoorten ten opzichte van elkaar. Waarbij volkorenbrood als referentie genomen is. De vergelijking is gemaakt op 6 verschillende impact-categorieën: klimaat, bodemverzuring, vermesting van zoet- en zeewater, landgebruik en water verbruik. Bron: data RIVM-database, download september 2022<sup>1</sup>.

Figuur 16 illustreert voor enkele veel gegeten broodsoorten wat het verschil in grondstoffen tussen producten kan betekenen voor de milieu-impact. Bij croissants wordt de relatief hogere impact bijvoorbeeld verklaard door gebruik van zuivel en bij krentenbollen is de impact van de zuivel en de druiventeelt duidelijk terug te zien. Vanwege efficiënter grondstofgebruik komt volkorenbrood relatief iets gunstiger uit de bus dan witbrood [11,13].

**Transport** heeft in vergelijking met telen, bakken en afval een relatief kleine invloed. M.u.v. transport van winkel naar consument. Deze kan enorm bepalend zijn voor met name de klimaatimpact (CO<sub>2</sub> footprint) afhankelijk van transportmiddel, de afstand en de hoeveelheid boodschappen per rit [14].

**De maalderij** heeft een relatief kleine, maar toch relevante, impact. De grootste impactcategorie voor de maalderij is CO<sub>2</sub> impact door het gebruik van fossiele energie t.b.v. het maalproces. De range die in de literatuur voor deze impact indicator gerapporteerd wordt loopt uiteen van enkele procenten [10,14] tot maximaal 13% van de totale productimpact [11].

**De verpakking** heeft geen hoge directe invloed op de milieu-impact van de gemiddelde broodketen, maar ook hier is de range breed: 1,61%-13% [9,10,24]. Dit verschilt per type impact, het type verpakking

en uiteraard de relatieve impact van andere categorieën. Sommige onderzoekers benadrukken hierbij dat de door hen gevonden klimaat-impact (CO<sub>2</sub>) van verpakken relatief laag is in vergelijking met de impact van broodverspilling. De impact van een eventuele extra/milieubelastende verpakking om verspilling te voorkomen vinden zij daarmee gerechtvaardigd. Mits deze verpakking niet in het milieu terecht komt als zwerfvuil [9].

De impact van **invriezen en toasten** bij de consument thuis werd door enkele onderzoekers meegenomen in de LCA voor klimaat-impact. De gemeten relatieve impact loopt ook hier erg uiteen: van enkele procenten [9] tot een kwart van de totale CO<sub>2</sub> footprint [25]. Een deel van dit verschil is verklaarbaar vanuit verschillen in de landelijke energiemix (m.n. waterkracht versus fossiel).

In studies waar de **afvalfase** onderdeel van de LCA-scope is, is dit ook een relevante categorie verantwoordelijk voor 2-10% van de milieu-impact (CO<sub>2</sub>, verzuring en vermisting) [9,11,25]. Met name omdat alles dat verspild wordt de gehele impact in de voorgaande keten met zich meedraagt, als ook vanwege de benodigde rioolwaterzuivering [15].

#### **Beperkingen LCA literatuur**

Klimaatimpact (CO<sub>2</sub>-footprint) is oververtegenwoordigd in onderzoek naar milieu impact. Indicatoren zoals bodemkwaliteit, lange termijn bodemvruchtbaarheid en biodiversiteit worden vrijwel niet vertegenwoordigd in het (LCA) onderzoek. Voor een belangrijk deel heeft dit te maken met het ontbreken van geharmoniseerde methodieken om deze impacts te meten als onderdeel van een LCA. Daarnaast is er veel onzekerheid in het meten van emissies (m.n. N<sub>2</sub>O) op het land. Ook hier zijn nog geen goed geharmoniseerde methodieken [16].

Verskillende onderzoeken hebben verschillende uitgangspunten wat betreft de systeemgrenzen en (allocatie) methode. Hierdoor zijn de resultaten onderling moeilijk vergelijkbaar. Op Europees niveau wordt gewerkt aan standaardisering van LCA via Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR). Er is een Product Category Rule (PCR) beschikbaar voor brood, maar deze voldoet niet aan de eisen voor een goede PEFCR volgens de EU-norm [11].

Het RIVM geeft zelf aan dat de robuustheid van de milieu-gegevens in hun database nog niet dusdanig is dat hij kan dienen om voedingsmiddelen eerlijk onderling te vergelijken (zie voetnoot 1). Daarnaast hebben zij gegevens m.b.t. toxische effecten op de gezondheid van de mens niet opgenomen in de database "Milieubelasting van voedingsmiddelen" wegens onvoldoende datakwaliteit.

Tot slot hangen resultaten ook samen met de gekozen functionele eenheid. De functionele eenheid die het meest gebruikt wordt is die van impact per kilogram eindproduct. Gebruikt men een andere functionele eenheid zoals bijvoorbeeld impact per hectare bewerkt land of impact op basis van voedingswaarde, dan komt men in vergelijkingen vaak tot andere conclusies t.b.v. de "meest duurzame" keuze [13].

Deze beperkingen worden m.n. relevant als men LCA's gaat gebruiken om onderlinge productvergelijkingen te maken, met als doel de consument te overtuigen voor het ene dan wel het andere product te kiezen. Desalniettemin geven de bestaande LCA analyses, in combinatie met de algemenere wetenschappelijke literatuur over duurzame voedselproductie, wel voldoende handvatten om te bepalen in welke richting je kunt denken als je brood wilt verduurzamen.

## 2.2 Tarwe telen

### *Huidige tarwe teelt*

Twintig procent van de wereldwijde energievoorziening komt van de consumptie van tarwe. Als gevolg van veredeling, intensieve landbewerking, monocultuur, kunstmest en het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen is de efficiency van de tarweteelt in Europa hoog. De tarweteelt loopt echter tegen een aantal grenzen aan. Effecten van de intensieve landbouw zijn erosie en verdichting van de bodem, afname van biodiversiteit (zowel in de bodem als op en om het veld), bodemverzuring en vermessing van watersystemen [27].

Van de gemiddelde impact van Europese tarweproduktie is een goede meta-analyse van LCA's beschikbaar. Hierin zijn 20 LCA's uit 11 Europese landen opnieuw berekend vanuit de primaire data volgens dezelfde methodiek [28].

Impact categorie	Gewogen* gemiddelde EU tarweteelt/ kilo productievolume
Fossiele energieverbruik	3.25* Mj
Global Warming Potential	0.61-0.65* CO <sub>2</sub> equivalenten (58% hiervan tgv kunstmest)
Bodemverzuring	4.94-6.51 Sulphur Dioxide equivalenten
Zoetwater eutrofiëring	0.08-0.09 Fosfor equivalenten
Landgebruik	1.63 m <sup>2</sup>

*\*De weging in dit onderzoek is gebaseerd op het aandeel productievolume van de totale hoeveelheid. Waarbij Frankrijk, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk de belangrijkste tarwe leveranciers zijn. Deze dataset is een goede referentie voor tarwe met onbekende herkomst in EU. Waar het land van herkomst wel bekend is heeft het de voorkeur om beschikbare data uit dat specifieke land te gebruiken voor CO<sub>2</sub> footprint berekeningen.*

In Finland werd de CO<sub>2</sub> impact van tarweproduktie vergeleken met die van rogge, gerst en haver [29]. Uit dit onderzoek bleek dat de impact van tarwe en rogge hoger was per hectare bewerkt land dan de impact van gerst en haver. De voornaamste reden hiervoor was het verschil in de hoeveelheid kunstmest die gebruikt werd. De opbrengst per hectare had een grote invloed op de impact per kilo graan. In deze vergelijking kwam rogge het minst gunstig uit en kwam tarwe dicht bij haver en gerst. Vooral vanwege de relatief hoge opbrengst van tarwe per hectare in vergelijking met de andere soorten. Overigens was de CO<sub>2</sub> impact van de Finse tarwe in dit onderzoek lager dan het Europees gemiddelde. Ook dit hangt waarschijnlijk samen met een lager kunstmest gebruik in Finland in vergelijking met bijvoorbeeld Duitsland en Frankrijk.

Naar verwachting zal de wereldwijde vraag naar tarwe (uit Europa) de komende decennia toenemen [4,30]. Als wij niets veranderen aan de manier van teelt, is dit op termijn een vrijwel onmogelijk opgave. Klimaatverandering zorgt namelijk voor veranderende weersomstandigheden en de opkomst van (nieuwe) plagen en plantziekten. Ook verzilting van landbouwgronden als gevolg van slechte irrigatiemethodieken en meer droge periodes (= meer kwelwater) vormt een uitdaging. Dit zorgt voor een (regio afhankelijke) afname van productiviteit en minder stabiele oogsten.



### Witte vlekken in het LCA-onderzoek

Er zitten nog veel “gaten” in de wetenschappelijke data. Alleen voor global warming-potential (GWP) en energieverbruik zijn relatief veel data beschikbaar. Voor andere milieu-indicatoren zijn de data veel minder compleet en uniform [28]. Vooral het bepalen van emissies op het landbouvveld is methodologisch een uitdaging en bovendien sterk afhankelijk van type gewas, locatie (klimaatzone) en bodemtype, type landbouwsysteem en actuele weersomstandigheden.

Indicatoren zoals bodemkwaliteit, CO<sub>2</sub> vastlegging en lange termijn bodemvruchtbaarheid en biodiversiteit worden vrijwel niet vertegenwoordigd in het (LCA) onderzoek. Voor een belangrijk deel heeft dit te maken met het ontbreken van geharmoniseerde methodieken om deze impacts te meten als onderdeel van een LCA. Er zijn methodieken in ontwikkeling om dit wel meetbaar te maken via Agricultural Biomass Productivity of Soil Organic Matter (ABB\_SOC), en voor de lange termijn productiviteit van de bodem: de ‘midpoint’ parameters ‘cumulatief tekort aan organisch koolstof (cumulative Soil Organic Matter deficit, sSOCD), en ‘cumulatief verlies aan biomassa-productiviteit’(cumulative biomass productivity loss, cBPL) en de ‘endpoint’ parameter ‘extra landvereisten (additional Land requirement, ALR), Daarnaast wordt voorgesteld ecosysteemdiensten (ES) anders dan gewasopbrengst mee te wegen in landbouw LCA's [31]. Door rekening te houden met alle ES geleverd door een agro-ecosysteem, kan de ecologische duurzaamheid van bijvoorbeeld biologische landbouw en conventionele methoden eerlijker met elkaar vergeleken worden.

Door de jarenlange focus van (commerciële) veredelingsprogramma's op opbrengst en eiwitgehalte is het Europese tarwe-areaal bovendien achteruitgegaan in termen van genetische diversiteit. Dit maakt de weerbaarheid tegen de veranderde omstandigheden een uitdaging. Dreigende tekorten aan kunstmest (t.g.v. grondstoffen schaarste en brandstofprijzen), maken het extra van belang om landbouwmethoden te zoeken die weerbaarder zijn en minder afhankelijk van externe input [32].

#### *Tarwe teelt in de toekomst*

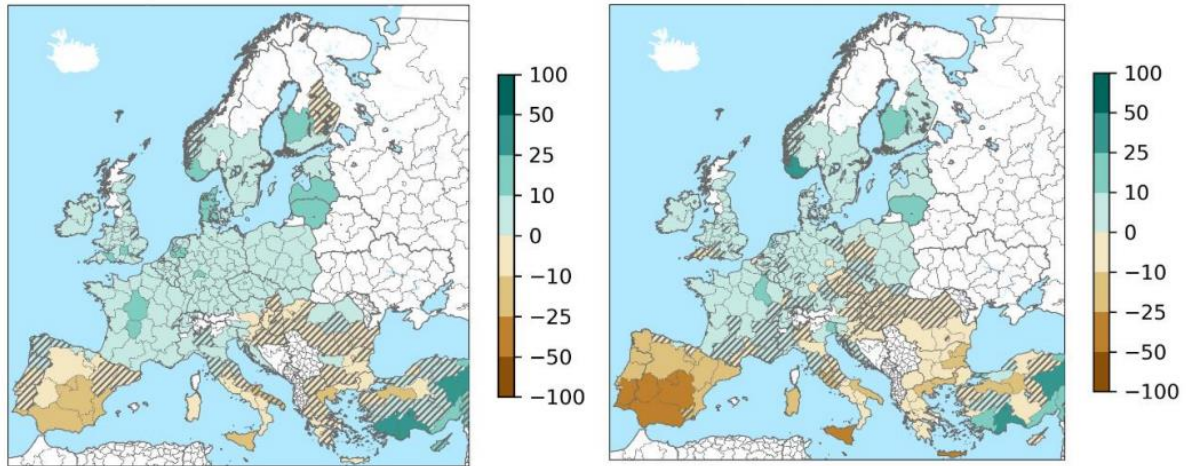
Oplossingen worden gezocht in extensivering van de landbewerking (minder grondkering en lichter materieel), timing van teelt, meer genetische- en gewasdiversiteit (via verdeling, herstel van oude rassen en mengteelten), het opbergen van organisch materiaal (groenbemesters, compost, biochar), precisie landbouw (via informatie- en remote sensing technologie) en agro-ecologische landschapsinrichting (bloemenmanden, struweel etc.).

Omdat de effecten van verschillende landbouwpraktijken sterk context afhankelijk zijn adviseren experts aan beleidsmakers om te sturen op daadwerkelijke resultaten voor natuur en voedselteelt (bijv. organisch stofgehalte, soortenrijkdom, waterhoudend vermogen, stikstof en CO<sub>2</sub> vastlegging, productiviteit, voedingswaarde, etc.) en niet richting één specifiek landbouwsysteem.

### 2.2.1 Uitgelicht: Effect Klimaatverandering op tarweteelt

Voedselzekerheid is afhankelijk van het adaptatievermogen van basisgewassen zoals tarwe, mais en rijst, welke in Europa belangrijke eiwitleveranciers zijn. Klimatologische omstandigheden bepalen een derde van de wereldwijde variatie van gewasopbrengsten. Klimaatverandering heeft hiermee potentieel een grote invloed op het Europese tarweareaal. Zelfs bij relatief milde temperatuurstijgingen verwacht men lagere en zeer variabele opbrengsten. De variabiliteit in oogsten zal de prijzen onstabiel maken en speculatie in de hand werken. Dit vormt een bedreiging voor voedselzekerheid, met name voor hen die weinig te besteden hebben. En heeft ook gevolgen voor de politieke stabiliteit en migratiestromen. Het is dus van cruciaal belang dat de Europese tarweteelt klimaatbestendig en weerbaar is [33].

Hristov e.a. modelleerden in 2020 de verwachte impact van klimaatverandering op Europese landbouw. Zij keken naar het effect van temperatuurstijging, CO<sub>2</sub> gehalte in de lucht en totale regenval. Acht van de tien modellen voorspellen dat temperatuurstijging voor Noord-Europa zal resulteren in een toename van tarweopbrengst van 5 tot 16%. Deze toename wordt toegeschreven aan meer regenval in combinatie met een kortere groeicyclus en hogere CO<sub>2</sub> gehalten in de lucht. Voor Zuid-Europa is het een ander verhaal. Alle modellen op één na voorspellen daar een reductie van opbrengsten met 49% [34].



Figuur 17: Voorspelde veranderingen in tarweopbrengsten in Europa -als gevolg van klimaatverandering. Bron: Hristov e.a. 2020 [34].

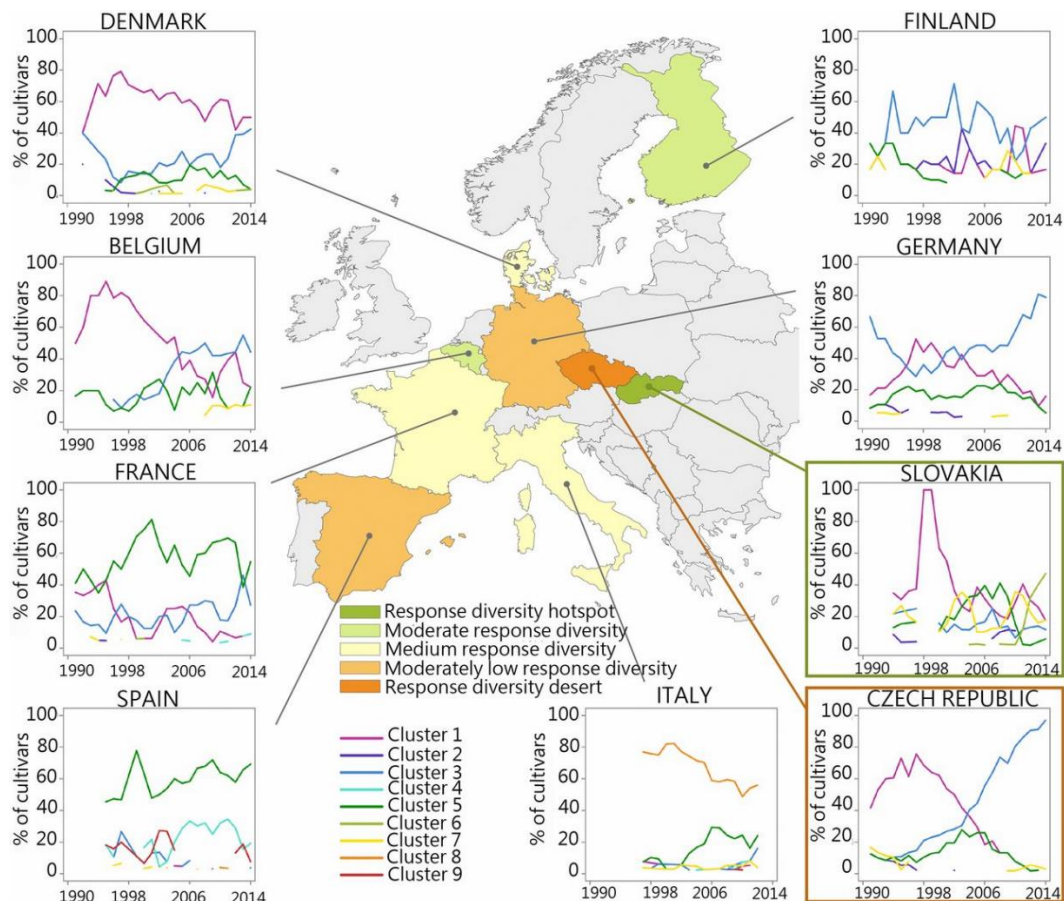
Een belangrijke kanttekening bij deze resultaten is dat de gebruikte modellen geen of onvoldoende rekening houden met extreme weeromstandigheden zoals extreme regenval, storm, hitte stress en droogte. Ook gebruiken de modellen volgens de auteurs een te simpele weergave van de interactie tussen bodem, plant en atmosfeer. Extreme weeromstandigheden hebben in 2018 enorme oogstverliezen veroorzaakt in regio's die volgens de modellen positieve gevolgen van klimaatverandering zouden moeten ondervinden [34,35]. Er werd door Toreti en collega's (2019) een afname van 5% voorspeld van de totale tarweopbrengst in Europa voor de komende 5 jaar als gevolg van extreme weersomstandigheden [35].

Een tweede kanttekening is dat nutritionele aspecten niet worden meegenomen in de modellen. Men verwacht echter een negatieve impact op de nutriënten opname van planten bij een hoger CO<sub>2</sub> gehalte in de lucht [34]. Andere auteurs melden bovendien dat temperatuurstijging en extreme weeromstandigheden de ziektedruk op tarwe in noordwest Europa toe zal nemen. Met name tarweroest, meeldauw, vlekkenziekte ("spot blotch") en fusarium gedijen onder warmere en nattere omstandigheden. Vooral de noordelijkere landen zullen hier naar verwachting mee te maken krijgen. Daarnaast zullen er nieuwe plantziekten de kop op steken [30]. Ook waterstress zal volgens experts een belangrijke uitdaging worden [33,34,36].

Hiermee zal de druk op de productie in Noord-Europa toenemen. Zeker omdat in andere werelddelen ook een negatief effect wordt verwacht van temperatuurstijgingen op de tarweopbrengsten. In de totale vraag naar tarwe wordt een toename voorspeld van 40-70% [4,37]. Hoewel Willet en collega's hebben doorgerekend dat een substantieel mindere stijging nodig is als we overstappen op het Planetary Health Diet en de voedselverspilling halveren (figuur 6). In dat geval is een toename van tarweproductie van ca. 15% in 2050 nodig. Deze toegenomen vraag op de wereldmarkt kan gunstig zijn voor de inkomsten van boeren in Noord-Europa en voor de exportmarkt.

## 2.2.2 Uitgelicht: Rol van Tarweveredeling

Er is een afname in genetische diversiteit van het Europese tarwe-areaal. Dit betreft niet alleen de algehele rassen diversiteit, maar ook de diversiteit in de reactie van verschillende varianten op klimatologische omstandigheden. De zogenaamde "respons diversiteit" (RS). Dit zorgt voor kwetsbaarheid en verminderde weerbaarheid tegen klimaatverandering met als gevolg toenemende oogstverliezen t.g.v. extreme en variabele weeromstandigheden. Vooral Duitsland, Tsjechië, Spanje en Italië hebben een zeer lage RS in het tarwe-areaal. Slowakije is een positieve uitzondering en blijkt een RS "hotspot" [33].



Figuur 18: Respons diversiteit van het tarweareaal in Europa. bron: Kahiluoto e.a. 2019 [33].

Oorzaak van de lage RS in het Europese tarwe-areaal is (privatisering van) verdelingsprogramma's welke vooral focussen op opbrengst van individuele variëteiten met geen/onvoldoende oog voor het zorgdragen voor een weerbaar overall tarwe-portfolio. Bovendien zorgt het EU beleid (CAP) dat niet stabiliteit van oogst wordt beloond, maar de hoogte van de opbrengst. Landen waar de privatisering van de zaadveredeling minder is, hebben een tarwe-areaal met een hogere RS (België, Finland en Slowakije).

Naast het sturen op RS van het tarweareaal - voor de weerbaarheid bij wisselende en extreme klimatologische omstandigheden - is aangepaste veredeling belangrijk in verband met verwachte toenames van bestaande plantziekten (roest, fusarium) en de opkomst van nieuwe plagen en plantziekten. Fungiciden zullen een kleinere rol spelen in de toekomst i.v.m. publieke weerstand en de negatieve milieueffecten van deze middelen. Bovendien verwacht men dat schimmels zich sneller zullen

aanpassen aan hogere temperaturen en daardoor ook sneller resistentie ontwikkelen tegen fungiciden. De druk op oplossingen via rasseselectie en verdeling neemt hiermee dus toe [36].

Huidige veredelingsprogramma's in noordwest Europa richten zich vrijwel alleen op resistentie tegen specifiek varianten van gele roest [36]. Deze focus is te smal. Veredelaars zullen breder moeten kijken en moeten zoeken naar genetische eigenschappen die weerbaarheid tegen meerdere ziekten tegelijk kunnen waarborgen. Om dit voor elkaar te krijgen lijkt publieke inmenging met de verdelingsprogramma's cruciaal [33].

Een belangrijke uitdaging is tijd: des te meer variabelen om rekening mee te houden des te complexer, tijdrovender en duurder het veredelingsproces. Bovendien neemt hiermee het risico op onbedoelde bijeffecten toe. Door de verschraving van soorten diversiteit moet er ook een inhaalslag gemaakt worden, terwijl de tijd om met oplossingen te komen dringt. Auteurs stellen voor dat gentech een oplossing biedt om dit proces te versnellen. Maar zien een uitdaging in de publieke weerstand hiertegen [36].

In de zoektocht naar weerbare rassen die met weinig tot geen externe input toch een goede opbrengst leveren, bieden zaadbanken en vooral proefvelden met traditionele landsrassen en nieuwe 'boerenrassen'<sup>4</sup> hoop. Gecombineerd met aangepaste teeltmethoden (zie volgende paragraaf) biedt dit mogelijk een snellere oplossing voor een weerbaar tarwe-areaal dan enkel inzetten op lange en complexe verdelingsprocessen [32].

### 2.2.3 Uitgelicht: Effect Landbouwmethoden

Voornaamste uitdaging bij de teelt van tarwe is de sterke afhankelijkheid van kunstmest en, in iets mindere maar nog steeds relevante mate, herbiciden en fungiciden. Daarnaast heeft de bewerking van het land met zware machines en grondkering een negatieve invloed op de bodem (verdichting, emissies, verlies organische stof).

Onderzoek naar duurzame teeltmethoden is versnipperd. Recent werd er een zeer uitgebreid literatuuronderzoek van meta-analyses uitgevoerd naar de bestaande kennis van duurzame landbouwpraktijken in Duitsland (en de EU) en hun effect op vier domeinen: klimaat, bodem, water & biodiversiteit [27]. Daarnaast schreven Mylonas e.a. (2020) een uitgebreid overzicht van methoden om de conventionele tarweteelt weerbaar te maken tegen klimaatverandering [30].

Belangrijkste conclusies uit deze twee publicaties: er is voldoende bewijslast om een aantal algemene praktijken aan te wijzen met een gunstig effect op het milieu. Resultaten zijn echter sterk context afhankelijk. Daarnaast zijn er maar weinig studies die het effect van een specifieke praktijk onderzocht op alle vier de milieu-domeinen tegelijk. Hoewel er weinig onderzoek is naar gecombineerde praktijken, is er een synergetisch effect aangetoond waar dit wel werd onderzocht.

Sterkte bewijslast is aanwezig voor positief effect op één of meerdere domeinen:

- ✓ Biologische landbouw.
- ✓ Conservatie landbouw. Teeltrotatie, gemengde teelt, groenbemesters en minder grondkering zorgt dat er minder input nodig is. Positieve gevolgen daarvan zijn betere waterhuishouding, CO<sub>2</sub> vastlegging, gezondere bodem en (op termijn) een hogere opbrengst.
- ✓ Groenbemesters in combinatie met minimale grondbewerking (o.a. geen/oppervlakkige grondkering, vaste rijpaden).
- ✓ Precies toedienen van meststoffen in combinatie met urease remmers.
- ✓ Bloemranden, hagen, bomen en "bosschage tussentrips" van vaste planten.
- ✓ Natuurlijke meststoffen of geen meststoffen.
- ✓ Biochar (houtskool) in de bodem mengen.
- ✓ Gemengde teelt (bijv. tarwe met veldbonen) en wisselteelt.

---

<sup>4</sup> Met 'boerenrassen' worden rassen bedoeld die in de huidige tijd door boeren ontwikkeld zijn en niet uit de formele zaadsector komen.

- ✓ (Functionele) Soorten variatie (van de gewassen).
- ✓ Stimuleren van bodemmicrobiologie door toediening van arbuscular mycorrhizal fungus (AMF).
- ✓ Timing van zaaïen (aanpassen aan veranderend klimaat).

Een belangrijk deel van bovenstaande maatregelen zijn ook terug te vinden in maatregelenlijst van de recent opgestelde Nederlandse Biodiversiteit Monitor Akkerbouw [38].

De enige negatieve effecten van “duurzame” methodieken die werden gevonden waren: het inzetten van grazend vee in gebieden waar dat eerder niet het geval was en het gebruik van natriumbicarbonaat als meststof [27].

Baaken (2022) meldt ook dat zij – ondanks de aandacht hiervoor in de sector en het publieke domein – geen meta-analyses vonden die bewijslast brachten voor de gunstige effecten van precisie landbouw [27]. Precisie landbouw werd door Mylonas en collega's (2020) wel benoemd als een van de veelbelovende richtingen voor verbetering met als belangrijkste effect dat er hiermee minder (schadelijke) herbiciden, pesticiden en meststoffen nodig zijn [30]. Precisie landbouw is het nauwgezet en een efficiënt bedrijven van geautomatiseerde landbouw en maakt daarbij gebruik van GPS, sensoren op de grond of vanuit de lucht (per drone of satelliet), en computers op de landbouwmachines of -voertuigen. De combinatie van sensordata, GPS en mechanisatie wordt bijvoorbeeld gebruikt voor gerichte identificatie van plantgezondheid en applicatie van meststoffen en gewasbescherming. Maar ook voor bijvoorbeeld het gebruik van vaste rijpaden, waardoor het plantbed niet onnodig belast wordt en verdichting van de bodem wordt verminderd/voorkomen. De toepassing op grote schaal is echter sterk afhankelijk van de kosten. Deze zijn nog relatief hoog. Ook zijn nog niet alle technologieën voldoende doorontwikkeld, wat brede toepassing in veel gevallen nog tegenhoudt [30].

#### Minder Kunstmest

Stikstof is een essentieel nutriënt voor tarweplanten. Onvoldoende stikstof (N) in de plant zorgt voor verminderde plantgroei, kleinere korrels en lagere eiwitgehalten. In conventionele landbouw wordt deze stikstofbehoefte vooral kunstmatig gevoed, via het opbrengen van kunstmest.

De gemiddelde kunstmest applicatie in Nederlandse wintertarwe is 200-250 Kg N/hectare (10 ton opbrengt/ha). Dit wordt ingevuld door kunstmest, de in de bodem aanwezige voorraad, de N depositie en eventueel dierlijke mest. In NL wordt regelmatig aangevuld met dierlijke drijfmest in het voorjaar. De aanvoer van N kunstmest ligt in de praktijk tussen de 150 en de 200 kg/ha. De aanvoer van N kunstmest in andere Europese landen ligt veelal lager. Vuistregel is 25 kg N aanvoer per ton opbrengst. De gemiddelde opbrengst in Frankrijk is ca 6 a 7 ton dat is dus max 150-175 kg N aanvoer. De zomertarwe (die vaker voor baktarwe wordt gebruikt) heeft een lagere opbrengst (gemiddelde NL is 7 ton/ha) en ook een lagere N bemesting dan wintertarwe [39].

Kunstmestgebruik bepaalt voor een belangrijk deel de milieu-impact van tarweproduktie. Er komt bij de productie van kunstmest veel CO<sub>2</sub> vrij door het verbruik van aardgas (80% methaan), daarnaast komt er bij de toepassing ook lachgas vrij, een zeer sterk broeikasgas.

Volgens Dhr. Ir Wijnand Sukkel (2022) - Senior Onderzoeker AgroEcologie aan de Wageningen Universiteit - is het volledig uitsluiten van kunstmest geen goed idee in verband met het negatieve resultaat hiervan op de tarwe(eiwit)opbrengst per hectare. Bovendien is de N-efficiency van de Nederlandse landbouw relatief hoog. De gemiddelde efficiency van N verbruik voor Nederlandse gewassen is ca 55%. De N efficiency van Nederlandse tarwe ligt nog een stuk hoger en komt gemiddeld uit op 70 tot 80%.

Desondanks kan er volgens de heer Sukkel wel vele malen *minder* kunstmest gebruikt worden. Uit veldtesten op de "Boerderij van de toekomst" blijkt het mogelijk om - in combinatie met maatregelen voor een goede bodemgezondheid en natuurlijke N aanvoer (o.a. organisch materiaal opbrengen uit reststromen, toepassing van N bindende vlinderbloemigen) - met 30-50Kg N kunstmest/ha een goede opbrengst te halen.

Een geheel andere oplossingsrichting voor de tarweteelt van de toekomst is de teelt van tarwe in **hightech kassen** met meerdere teeltlagen boven elkaar. Hoewel dit nog in de kinderschoenen staat, spreken de eerste resultaten tot de verbeelding. Onderzoekers deden verschillende testen en vonden dat tarwe geteeld op substraat in een volledig geconditioneerde ruimte, in 10 lagen boven elkaar een



potentiële opbrengst kan bereiken van ca.  $700 \pm 40$  ton per hectare (gemeten) tot maximaal 1940 ton per hectare (geschat/ gemodelleerd) [40]. Ter vergelijking: de gemiddelde tarwe-opbrengst in Nederland, Frankrijk en Duitsland ligt rond de 7 tot 10 ton per hectare [39]. Het wereldgemiddelde ligt veel lager met 3.2 ton/hectare [40]. Resultaten moeten nog bevestigd worden in uitgebreidere experimenten. En daarnaast is het economisch (nog) niet rendabel in verband met het hoge elektriciteitsverbruik. Wat direct ook ecologisch gezien een duidelijk nadeel is. Voordeel van indoor teelt zou zijn dat er weinig tot geen gewasbeschermingsmiddelen nodig zijn en dat water kan worden hergebruikt. Ook zijn er geen verliezen van nutriënten naar de omgeving (dus geen uitspoeling van stikstof). Doordat je niet in de aarde teelt heeft de plant geen interactie met microbiologie in de bodem. Het gevolg hiervan voor de voedingswaarde en de bakkwaliteit van dergelijke tarwe is nog niet onderzocht.

### **Biologisch versus regulier**

Als onderdeel van de EU Green Deal heeft Europa zich tot doel gesteld dat in 2030 op 25% van het voedsel dat geproduceerd wordt op Europese grond biologisch is. De keuze voor biologisch is gebaseerd om het feit dat biologische landbouw per hectare bewerkt land minder belastend is voor bodem en omgeving dan de gangbare landbouw. En dat het een alternatieve landbouwmethode is waarvan de definitie is vastgelegd in de Europese wet. In die zin is het dus gemakkelijk meetbaar.

Biologische tarweteelt scoort beter op alle milieu-indicatoren (CO<sub>2</sub>, ozon aantasting, verzuring, eutrofiëring, smog en fossiele brandstof verbruik). Waar een CO<sub>2</sub> footprint vergelijking wordt gemaakt op basis van impact per kilo opbrengst of eindproduct, komt reguliere teelt in 29% van de gevallen echter gunstiger uit de bus [41]. Dat is een belangrijke kanttekening bij huidige LCA methodieken die vooral richt op het productiviteitsprincipe. Er wordt hier geen rekening gehouden met het effect van de teelt op de lange termijn vruchtbaarheid en productiviteit van het land. Het productiviteitsprincipe laat ook ecosysteemdiensten van duurzame landbouw zoals bevordering van biodiversiteit en klimaatbeheersing buiten beschouwing. Als er wel rekening wordt gehouden met deze diensten, wordt het effect van het opbrengst gat op de milieu-impact per kilo product een stuk kleiner [31].

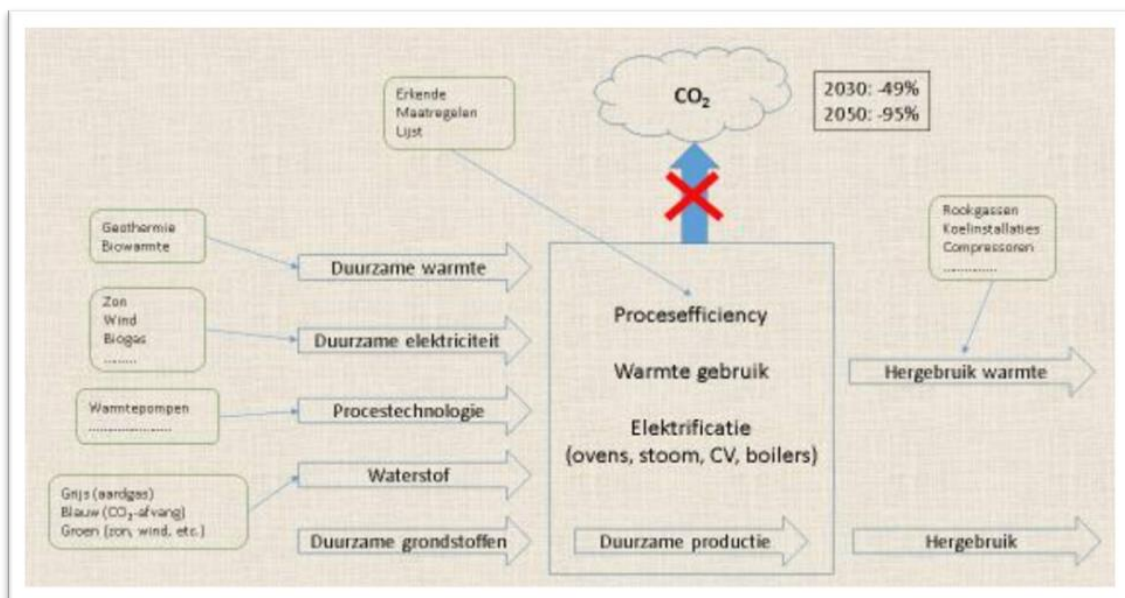
Daarnaast is er veel discussie over het vermeende effect van biologische teelt op de voedingswaarde van gewassen. Een zeer uitgebreid review uit 2021 concludeert dat er geen structureel aantoonbaar verschil is in macronutriënten en vitamines, maar dat biologisch geteelde gewassen wel meer gezondheid beschermende stoffen bevatten zoals antioxidanten en anti-inflammatoire fytochemicaliën [42]. Er lijkt hier vooral een rol weggelegd voor een gezonde bodem welke rijk is aan organische stof. Hoewel bij biologische landbouw vaker sprake is van een gezonde bodem, zijn er ook andere methoden om dit te bereiken. Bij nader onderzoek naar de effecten van landbouwmethoden op zowel plantgezondheid als voedingskundige samenstelling is de bevordering van bodemgezondheid daarom een belangrijkere parameter dan het tegen elkaar afzetten van biologisch versus conventionele landbouw in het algemeen.

## 2.3 Bakken

Het verbruik van (fossiele) energie – en bijbehorende CO<sub>2</sub> uitstoot – tijdens het productieproces van brood behoort tot de top 3 hotspots voor de milieu-impact van brood [23]. Verreweg de grootste impact – zo'n 30 tot 50% – in de gemiddelde (industriële) bakkerij komt van de oven via gasverbruik voor stookinstallaties en stoomopwekking. Daarnaast is er een belangrijke bijdrage van 20-40% vanuit elektriciteitsverbruik voor andere kernprocessen zoals deegkniepen, transportbanden, rijskasten, perslucht en verlichting [43].

Voor de (industriële) bakkerij is een energiebesparende maatregelenlijst (EML) beschikbaar. Hierin staan bewezen technologieën welke energiebesparing opleveren en die een gemiddelde terugverdientijd van 5 jaar of minder hebben. Bakkerijen zijn verplicht deze maatregelen uit te voeren indien relevant voor hun operatie en moeten hierover verantwoording afleggen bij de overheid. Afhankelijk van het type bedrijf via een [energie-audit](#) (groter bedrijven) dan wel via de [digitale informatieplicht](#) (beiden elke 4 jaar).

Om de doelstellingen van het klimaatakkoord te behalen (49% CO<sub>2</sub> reductie in 2030 en -95% in 2050 t.o.v. 1990) is het voldoen aan de EML-maatregelen voor de meeste bakkerijen echter niet genoeg. Het inkopen dan wel zelf opwekken (via zon, aardwarmte, wind) van groene stroom is een relatief gemakkelijke stap om te verduurzamen. Daarnaast is het verduurzamen van het bakproces en de ovens cruciaal.



Figuur 19: Schematisch overzicht van de stappen die de bakkerijsector kan zetten om te voldoen aan de CO<sub>2</sub> reductiedoelstellingen van het klimaatakkoord. Bron: NVB, 2018.

### 2.3.1 Uitgelicht: Verbeteren efficiency van Ovens

Commerciële bakkerij ovens werken in de meeste gevallen op gas en zijn in te delen in direct en indirect gestookt. Andere energiebronnen die toegepast worden zijn olie-gestookt, elektriciteit of palletbranders. In zeer beperkte mate wordt een combinatie met andere technologieën gemaakt zoals elektromagnetische (magnetron), vacuüm of infrarood (IR) systemen.

Tabel 1: Overzicht veel gebruikte bestaande oven systemen voor brood bakken, volgens Cappelli e.a., 2021.

Type systeem	Belangrijkste technische kenmerken	Energie-efficiency
Traditionele fornuizen <i>Indirect &amp; semidirect</i>	Gescheiden compartimenten voor biomassaverbranding en bakken. Indirect: warmtetransport via warmtewisselaar Semidirect: warmtetransport via keramisch materiaal.  N.B.: Voor kleine batches niet geschikt voor industriële schaal	Indirect is energie-efficiënter dan semidirect.
Industriële ovens <i>Continue &amp; batch</i>	Continue ovens: Geforceerde convectie en radiatie – first-in-first-out  Batch: natuurlijke convectie en conductie. Discontinue laden afgesteld op behoefte.	Het combineren van verschillende types warmtetransport kan in deze context besparing en kwaliteitsverbetering opleveren.
Hete-lucht rotatieovens	Hete lucht wordt kunstmatig gecirculeerd door een ventilator of <i>impingement jet</i> . Warmteoverdracht via de lucht.  Grote volumes in relatief compacte ruimte.	Ontwerp van het circuit van de luchtstroom bepaalt de prestaties en de energie-efficiency van de oven.

Omdat de levensduur van industriële ovens lang is, is de meest logische stap bij verduurzaming van het bakproces om eerst aan de slag te gaan met het verhogen van de efficiency van de bestaande oven om zo energie te besparen [44-47].

Dat begint met “good housekeeping”: zorgen voor de juiste procesinstellingen, slimme productieplanning, geen onnodige inschakelen/aan laten staan van energieverbruikers en zorgdragen voor preventief onderhoud. De betrouwbaarheid van de apparatuur is immers van grote invloed op het vermogen om energie te besparen [45].

Daarnaast helpt het om inzicht te hebben in het actuele verbruik van de oven(s) via slimme (tussen)meters. Live monitoring van het energieverbruik via slimme tussenmeters op afzonderlijke assets kan volgens aanbieders van dergelijke monitoringsystemen tot wel 8% energiebesparing opleveren. Daarnaast is inzicht in de invloed van temperatuur en thermische massa op de kwaliteit van het eindproduct van belang. Ook hiervoor is meetapparatuur beschikbaar.

Pask en collega's (2017) stellen een 3 stappenplan voor om de efficiency van bestaande ovens te verbeteren zonder installatie van nieuwe technologie: 1) Kennis van de interactie tussen product en de warmte, 2) procesverbetering, en 3) optimalisatie proces parameters [45].



Is het proces van de bestaande installaties optimaal ingericht dan vormen de EML-maatregelen een goed uitgangspunt voor technische verbeteringen. De EML-maatregelen voor de stookinstallaties zijn als volgt [47]:

1. Energiezuinige warmteopwekking toepassen.
2. Warmte uit spuiwater stoomketel nuttig gebruiken.
3. Warmte uit rookgassen stoomketel nuttig gebruiken.
4. Stoom energiezuinig produceren door warmere verbrandingslucht toevoer aan de brander ventilator.
5. Automatische regeling luchtvermaat op basis van zuurstofcorrectie toepassen.
6. Energieverbruik brander stoominstallatie beperken door verbeterde regeling.
7. Warmteverlies warmwater- en/of stoomdistributiesysteem beperken.
8. Stoom als medium voor ruimteverwarming vervangen.
9. De mate van energiebesparing die voortkomt uit degelijke maatregelen als ook de daadwerkelijke terugverdientijd kan verschillen per bedrijf.

#### Warmteterugwinning uit rookgas

Bij de productie van dagvers brood verbruikt een gemiddelde gasgestookte oven 25% van zijn energie om het product te garen, 15% voor de opwekking van stoom en maar liefst 20-60% is warmteverlies [46, 48-5]. De volumesnelheid van het gas-in rookkanalen zijn van grote invloed op dergelijke verliezen. Het gericht sturen van rookgasafvoer kan flinke besparing opleveren. Warmteterugwinning uit rookgassen via een z.g. Economizer en een rookgascondensator levert 15% reductie van het warmteverlies op. De gewonnen warmte kan ingezet worden voor ruimteverwarming, (stoom)ketelvoedingswater, warm tapwatervoorziening.

Intervention	Requirements	Payback (years)	Ongoing savings (%)
Suitable burner with existing ratio controller	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Survey</li> <li>• Instruments</li> <li>• Gas meter</li> <li>• Commissioning</li> </ul>	1	4.7
Suitable burner without ratio controller	<i>All above, plus:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ratio controller</li> <li>• Gas train</li> <li>• Valves,</li> <li>• Installation</li> </ul>	2.5	
Burner redundant or not suitable for upgrade	<i>All above, plus:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• New burners</li> </ul>	5	
Heat recovery installation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Space available</li> <li>• Suitable burner</li> </ul>	<4	7.2

Figuur 20: Benodigheden, terugverdientijd en potentiële besparing van verschillende opties om warmteverlies via rookgas te verminderen in Casus van een Britse industriële bakkerij. Bron: Ashcroft, 2015.

### 2.3.2 Nieuwe Oventechnologie

Er is zeer weinig literatuur beschikbaar over de meest recente ontwikkelingen in de bakkerijtechnologie en het energiebesparingspotentieel van de verschillende innovaties. Cappelli en collega's (2021) zijn voor zover bekend de enigen die hiertoe een poging hebben gewaagd. Zij omschrijven diverse innovaties – nog in ontwikkeling of al commercieel beschikbaar – die rechtstreeks ingrijpen in het bakproces [44].

Tabel 2: Nieuwe (experimentele) technologische mogelijkheden (informatie samengevat o.b.v. Cappelli e.a. 2021)

Technologie	Hoe werkt het/toepassing	Resultaat
Magnetron technologie in combinatie met andere technologieën (IR, hete lucht, <i>Impingement jet</i> technologie)	Magnetron technologie versnelt het bakproces terwijl infrarood toch voor knapperige, bruine korts zorgt.	Tijdsbesparing tot 75%  Combinatie met <i>Impingement jet</i> meest veelbelovend.
Bakken met stoomondersteuning	Stoom wordt gecombineerd met natuurlijke en/of hete lucht bakken.	Kortere baktijden, minder vorming van schadelijk componenten (zoals acrylamide) en behoud van voedingswaarde.
Vacuüm combinatie-bakken	Vacuüm bakken in combinatie met boven-onverwarmde en/of hete lucht bakken. Hoge druk tijdens een deel van het bakproces maakt bakken bij lagere temperatuur en/of verkorting baktijd mogelijk.	Potentiële verkorting baktijd bij gelijkblijvende of verbeterde productkwaliteit. Resultaten zeer afhankelijk van type product.
IR en zichtbare IR	Via wolfram halogeenuizen wordt infrarood gecombineerd met zichtbare golflengten. Het IR voorzien in de energiebehoefte maar dringt niet ver door waardoor bruinkleuring bevorderd wordt. De kortere zichtbare golflengte gaat dieper de kern in en zorgt voor garen.	Aanzienlijke verkorting baktijd.  M.n. voor kleine schaal (restaurants e.d.)
Horizontale "folded-path" ovens	Broden gaan op bakplaten horizontaal door de oven in 7-11 rijen geleid door een kettingsysteem. Warmtegeleiding gaat via olie-gevulde plaatradiatoren ondersteund door een (externe) warmtewisselaar.	Energie-efficiency, weinig bakverlies en ruimtebesparing.
Verticale "folded path" ovens	Met deze oven kun je producten die een verschillende baktijd nodig hebben op verschillende lengtes door de oven af laten leggen zonder dat je de snelheid van de band aan hoeft te passen.	Procescontinuïteit bij verschillende typen producten = minder wisselingen = energie-efficiency, minder, oppervlakte nodig.

Meest veelbelovend voor verbetering van conventionele bakkerij ovens zijn combinaties met stroom en vacuüm technieken. Vooral laatstgenoemde kan volgens Capelli en collega's de baktijd aanzienlijk verkorten, en in veel gevallen energieverbruik en klimaat-impact verlagen, zonder dat dit negatieve gevolgen heeft voor de productkwaliteit. De aangehaalde onderzoeken zijn echter nog experimenteel van aard. Nader onderzoek in meerdere typen producten lijkt nodig voordat deze oplossing breed toegepast kan worden. Ook de combinatie van magnetrontechnologie met infrarood verhitting (IR en IR-visible) is interessant en relatief vaak onderzocht omdat het de tijdsbesparing van de magnetron

combineert met het vermogen van IR om te zorgen voor een knapperige, bruine korst. Toepassing hiervan vindt voornamelijk echter vooral in de koekjesbakkerij plaats [44].

### 2.3.3 Uitgelicht: Alternatieve Energiebronnen

**Inkoop van groene energie** is een snelle en gemakkelijke manier om te verduurzamen. Hiermee is starten met *groene* stroom het meest voor de hand liggend. Immers 20% tot 40% van de huidige CO<sub>2</sub> uitstoot in de bakkerij komt vanuit elektrische processen welke meestal nog draaien op *grijze* stroom [43].

#### Hoe groen is groen?

Grijze stroom wordt opgewekt uit kolen, olie, aardgas of kernenergie. Groene stroom is een verzamelnaam voor stroom die op duurzame wijze wordt opgewekt, d.w.z. uit duurzame onuitputtelijke bronnen, zoals wind, zon, waterkracht en biomassa. Groene stroom komt uit hetzelfde stopcontact als grijze stroom. Bij het beoordelen of stroom groen is zijn twee zaken van belang:

1. Aantoonbaarheid met Garanties van Oorsprong
2. Additionaliteit

Ad. 1: Groot-zakelijke gebruikers vragen bij hun energieleverancier de 'Garanties van Oorsprong' (GvO) op. Alle groene stroombronnen krijgen certificaten die aantonen dat ze groene stroom produceren. CertiQ geeft een certificaat uit voor elke groene MWh (= 1.000 kWh), een zogenaamde GvO, die 1 jaar geldig is. Op deze GvO staat waar en op welke manier de stroom is geproduceerd. De producent mag deze GvO verhandelen. Zodra de stroom aan een eindgebruiker is geleverd, moet de leverancier de GvO uit de markt halen (cancelleren).

Ad 2: Omdat in Europa als geheel het aanbod van GvO's groter is dan de vraag, resulteert de aankoop van groene stroom niet altijd in méér duurzame elektriciteitsproductie. Vaak worden GvO's van duurzame elektriciteitsinstallaties elders in Europa verkocht aan Nederlandse energieleveranciers die zo grijze stroom vergroenen. Vooral certificaten van Noorse waterkracht en Europese wind worden veel verhandeld, de opbrengst wordt echter niet gebruikt om méér duurzame elektriciteit op te wekken. Deze stroom wordt sjoemelstroom genoemd. Veel partijen met kennis van CO<sub>2</sub>-footprints kennen aan sjoemelstroom dezelfde CO<sub>2</sub>-emissie toe als aan grijze stroom. In Nederland opgewekte groene stroom geeft zekerheid dat er als gevolg van de vraag naar groene stroom ook echt meer groene stroom wordt opgewekt en dat je hiermee bijdraagt aan daadwerkelijk CO<sub>2</sub>-reductie.

Bron: Stimular, 2022

In plaats van aardgas kan er daarnaast gekozen worden van de inkoop van zogenaamd "groengas". De term groengas betekent niet altijd hetzelfde. Het kan gaan over gecompenseerd aardgas, biogas of zogenaamd "schoon" gas. Stichting Stimular legt op haar website heel duidelijk het verschil uit [50]:

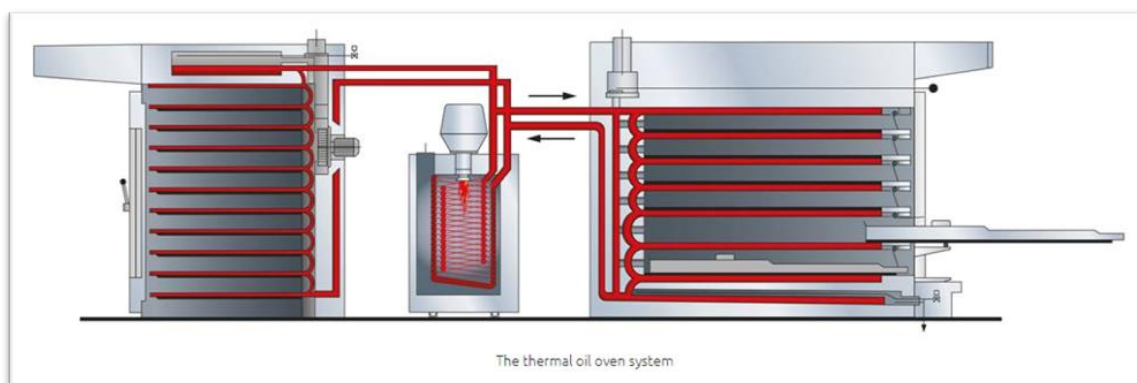
**"Gecompenseerd aardgas"** is aardgas waarvan de CO<sub>2</sub>-emissie is gecompenseerd door te investeren in duurzame energieprojecten, of door bosbescherming of -aanplant.

**Biogas** bestaat uit een mengsel van methaan en kooldioxide en kan, nadat het is opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit, via het gasnet worden geleverd. In Nederland komt biogas vooral uit waterzuiveringsinstallaties, afvalstortplaatsen en vergistingsinstallaties, meestal door het vergisten van mest en/of organisch afval.... [Er bestaat ook] ... biogas met Verto-certificaat. Onder dat certificaat valt alleen biogas met een CO<sub>2</sub>-uitstoot die minstens 60% lager is dan die van aardgas. Het Vertogas-systeem werkt, net als groene stroom-certificaten, met garanties van oorsprong. Biogas wordt vooral gebruikt voor auto's, via het gasnet is er nauwelijks biogas. Net als bij groene stroom wordt dit 'groene gas' gecertificeerd geleverd. De koper krijgt, net als bij groene stroom, een mix van groen en grijs uit zijn aansluiting.

**Schoon gas of kunstgas**, is gas dat met elektriciteit gemaakt wordt. Er zijn al kleine installaties in Nederland. Met het juiste recept lijkt het kunstgas precies op aardgas. Schoon gas is er, net als biogas, nauwelijks/niet via het gasnet.”

**Elektrificatie** van het bakproces is vervolgens de meest bekende maatregel om te verduurzamen door af te stappen van fossiele brandstoffen. Je kunt deze ovens eventueel (deels) laten draaien op zelf opgewekte zonne-energie. Met name bij overdag bakken kan dit interessant zijn. Bijkomend voordeel is dat in elektrisch verwarmde ovens geen brander aanwezig is. Dat betekent dat keuringen en jaarlijks onderhoud aan de brander niet nodig zijn. Dit scheelt zowel in de installatie- als in de onderhoudskosten [44, 51].

In de overgang van bakken op gas naar alternatieve bronnen zijn **hybride ovens** met thermische olie een interessante ontwikkeling. De warmtevraag in deze ovens wordt voorzien door een centrale ketelinstallatie welke werkt op stookolie, gas, stroom of biomassa. Hiermee wordt thermische olie verwarmd.



Figuur 21: Schematische weergave van een thermische olie oven. Bron: [www.ursic.si](http://www.ursic.si)

Thermische olie is een niet-giftige, synthetische, warmtegeleidende vloeistof. De hete thermische olie wordt zeer snel – in een open systeem, zonder druk – via buizen voor en teruggepompt naar de stralingsradiatoren van de oven. Er is een centrale ketel die één of meerdere ovens kan opwarmen. Thermische olie is erg efficiënt in het overdragen van warmte. Volgens ovenmakers bereikt de oven hierdoor een hoge efficiency afhankelijk van het wel of niet combineren met een warmteterugwinningssysteem [52].

De centrale ketel kan uitgevoerd worden met een gasbrander, maar ook omgezet worden naar een elektrisch gestookte variant die de thermische olie opwarmt. Ovenmakers ontwikkelden een hybride thermische olieverwarmer welke een elektrische en een gasegestookte ketel combineert. Je kunt deze dus aansluiten op het (groene) stroomnet en eigen zonne-energie, maar ook gebruik maken van vloeibaar gas, biogas, houtpallets of waterstof. Zo kun je overschakelen afhankelijk van het aanbod. Bijvoorbeeld overdag draaien op eigen zonne-energie en 's nachts op biogas of ingekocht groengas [52].

**Direct bakken op groene waterstof** is een andere ontwikkeling die steeds vaker in de publiciteit komt. Er zijn enkele aanbieders op de markt die al direct gestookte waterstofovens aanbieden [53]. In bestaande ovens kunnen gasbranders bovendien vervangen worden door waterstofbranders, welke je voedt met groene waterstof.

Groene waterstof wordt gemaakt met duurzame elektriciteit. Door de elektrische stroom wordt water omgezet in waterstof en zuurstof. Dit heet elektrolyse. Als je waterstof produceert met elektriciteit uit een duurzame energiebron, zoals windmolens en zonnepanelen, komt er geen CO<sub>2</sub> vrij. Dat gebeurt wel als je waterstof maakt met elektriciteit uit kolen of gas. Op dit moment is minder dan 1% van alle waterstof in Nederland groen. Bovendien is het opwekken van waterstof uit (groene) elektriciteit niet

efficiënt (zie kader). Het 1 op 1 gebruiken van groene stroom is efficiënter.

#### **De voor- en nadelen van waterstof**

##### Voordelen

- Als je het verbrandt, komt er géén CO<sub>2</sub> vrij.
- Waterstof kan je goed opslaan en transporteren.
- Je kan waterstof ook van water maken, daar is meer dan genoeg van.
- Het is een belangrijke grondstof (en tussenproduct) voor de chemische industrie.
- Waterstof uit een waterstofcentrale kan dienen als bufferbrandstof als er geen wind en weinig zon is. Als een soort chemische accu zijn voor zonne- en windenergie.

##### Nadelen

- Als je waterstof maakt met aardgas, olie of kolen komt er veel CO<sub>2</sub> vrij.
- Opwekken van groene waterstof via elektriciteit uit zon of wind is niet efficiënt. Je verliest tenminste 30% van de energie in het proces.
- Waterstof lekt makkelijk weg, daarom is het niet geschikt om op te koken.
- Waterstof is heel explosief, dus je moet er voorzichtig mee omgaan.
- Groene waterstof is nog in ontwikkeling en komt pas richting 2030 in beeld voor brede toepassing in de industrie. Hier zijn bovendien flinke investeringen (o.a. in het transportnetwerk) voor nodig.

Bron: Milieudefensie, 2022

## 2.4 Verpakken

Goed wetenschappelijk onderzoek naar de klimaatimpact van voedselverpakking als onderdeel van LCA's is zeer sporadisch voor handen. Dit geldt in het bijzonder voor de verpakking van graanproducten, waaronder brood. Krauter en collega's zijn de eersten die in 2022 een overzichtsartikel schreven van de beschikbare data en de kwaliteit van deze data [24].

De relatieve CO<sub>2</sub> footprint voedselverpakking in het algemeen wordt geschat op 5-10% van de totale impact van een voedingsmiddel [24,55]. Er zijn echter zeer grote verschillen tussen producten en onderzoeken. Resultaten lopen uiteen van enkele procenten tot bijna een derde van de klimaatimpact. Dit verschil in relatieve impact heeft te maken met hoe energie-intensief de grondstoffen van het product zelf zijn, als ook het type verpakking. Daarnaast zijn natuurlijk ook de scope en methodologie van onderzoek van invloed. Voor andere impact factoren dan CO<sub>2</sub> uitstoot hebben wij geen literatuur gevonden.

Op basis van de beschikbare literatuur concluderen Krauter en collega's (2022) dat verpakkingen van brood en broodjes gemiddeld 4,4% van de CO<sub>2</sub> uitstoot veroorzaken. Dit loopt uiteen van gemiddeld 2,7% voor polyetheen (PE) zak, 5,7% voor papieren zak met waslaag tot 11,6% voor een papieren zak met polymelkzuur (PLA) venster. De onderzoekers van dit overzichtsartikel vonden helaas geen studies naar de milieu-impact van de PP-PE zakken zoals deze in Nederland veel gebruikt worden [24].



In Nederland wordt vooral gebruik gemaakt van plastic broodzakken gemaakt van polypropreen (PP). Vaak in een blend met een aandeel PE of een speciaal meer taai PP. Dit komt omdat Nederlanders brood graag invriezen. PP is transparant, waardoor het product goed zichtbaar is, maar PP en vriezen gaan eigenlijk niet goed samen. Daarom is de broodzak doorontwikkeld o.a. door PE-laagjes te gebruiken (PE is wel bestand tegen vriezen) maar niet te veel, zodat de transparantie blijft [56].

PE is onderdeel van de plastic groep polyolefinen. Het Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV) zet op haar website de belangrijkste bevindingen over flexibele plastic verpakkingen op een rijtje [55]:

- “Het merendeel van flexibele kunststoffen op de markt bestaat uit mono-materiaal en/of bestaat uit meer dan 90% polyolefinen. Deze zijn in veel gevallen goed recyclebaar of opnieuw inzetbaar, maar de inzameling en sortering moet beter.
- Laminaten vormen 20% van de totale hoeveelheid flexibele verpakkingen en daarvoor geldt dat één op één vervanging in de praktijk meestal lastig of niet mogelijk is. Per situatie moet worden



beoordeeld in hoeverre een verandering kritische gevolgen heeft voor de functionaliteit van de verpakking.

- De alternatieve materialen voor meerlaagse verpakkingen zijn in veel gevallen in de aanschaf niet duurder dan de originele materialen. Echter, in een aantal gevallen wordt de verwerkbaarheid op de bestaande apparatuur en in bestaande processen bemoeilijkt. Dit kan leiden tot vermindering van de lijnsnelheid en mogelijk ook tot meer productie-uitval. Deze kosten kunnen veel impact hebben op de totaalkosten van de product-verpakkingscombinatie.
- Om de recycling van laminaatverpakkingen in de toekomst te verbeteren, is het van belang dat er meer regie komt over de voorwaarden van goed recyclebare flexibele verpakkingen, zoals bijvoorbeeld met behulp van de ontwerprichtlijnen van CEFLEX. De kunststofverwerkende industrie kan de alternatieve materialen voor laminaten verder ontwikkelen en streven naar verbeterde monomaterialen met PE en PP, ter vervanging van de flexibele meerlaagse materialen.”

#### 2.4.1 Uitgelicht: Consumentenperceptie versus Werkelijke Impact

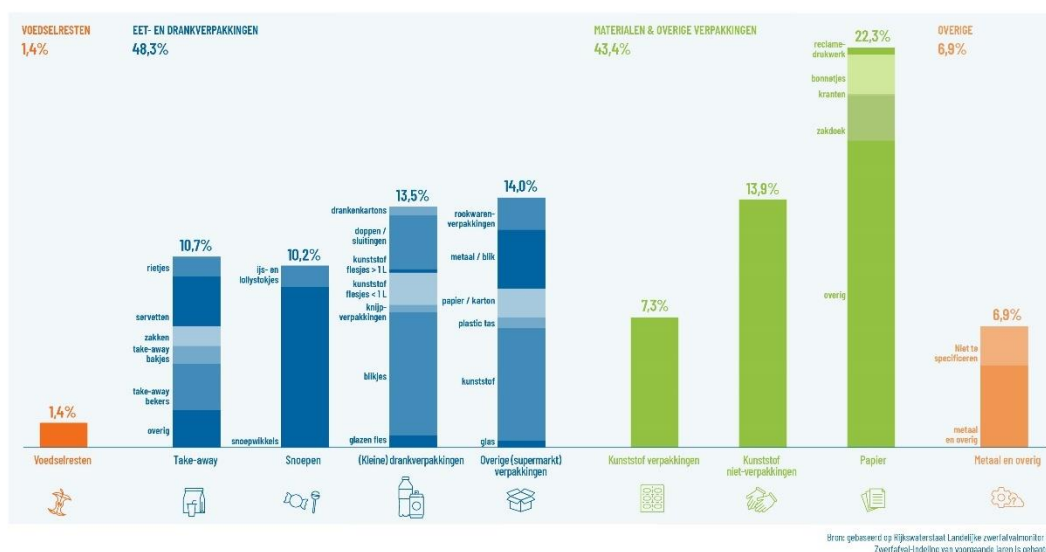
Uit LCA's blijkt dat de impact van verpakken in het algemeen relatief laag is in verhouding tot de impact van broodverspilling. De impact van het gebruik van een verpakking om verspilling te voorkomen is wetenschappelijk gerechtvaardigd [9,24,55].

Verpakking heeft echter een slecht imago. Dit geldt vooral voor plastic, papier en (biologisch) katoen scoren beter [57]. De werkelijkheid is vaak anders. Vanwege impact van het productieproces van papier en katoen zelf (vaak veel waterverbruik en transportgewicht), maar vooral vanwege het negatieve effect van dit type verpakking op de houdbaarheid van brood en daarmee op de verspilling ervan. Zo laat katoen en, in mindere mate, papier veel lucht door en dit zorgt ervoor dat een brood eerder uitdroogt.

De daadwerkelijke impact van de verschillende verpakkingen hangt ook af van de manier waarop de verpakking gebruikt wordt. Loek Waegemaekers van The LCA Centre voor verpakkingen zegt hierover het volgende: *“De indruk is ook dat katoen en papier milieuvriendelijker zijn, omdat het natuurlijke materialen zijn. Katoen heeft per kg materiaal een veel hogere impact dan PP of papier. Maar die katoenen zak moet ook niet ingezet worden als eenmalige verpakking. De impact van een kilo katoen is misschien wel 7x zo hoog als die van een kilo PP. Vergelijk je ze dus met elkaar, dan kan zo'n herbruikbaar product uiteindelijk wel beter zijn. Een katoenen broodzak moet je wel veel vaker gebruiken voordat het beter wordt dan PP. Daarnaast weegt een katoenen zak meestal wat meer dan een vergelijkbare PP zak voor eenmalig gebruik. Het verschil kan je dus echt maken door te hergebruiken. Dat geldt zowel voor katoen als PP. Bij papier is dat lastiger. De impact van papier is vergelijkbaar met PP, maar direct hergebruik is vaak lastiger. Recycling van de volledig papieren zak is daarentegen wel gemakkelijker”*

Een impactfactor die in dit kader relevant is om te bekijken, is de impact van verpakking als deze zwerfvuil wordt. Dit is het soort impact dat bij consumenten ook de meeste negatieve associaties oproept vanwege de schade die dit toebrengt aan het ecosysteem en - via bodem, water en voedsel - uiteindelijk ook op de menselijke gezondheid. Schadelijke effecten van m.n. plastic verpakkingen in de oceaan en microplastics in bodem en watersystemen, is hiervan het meest prangende voorbeeld. Uit onderzoek van het WNF blijkt dat ruim 65% van de consumenten zich zorgen maakt over plasticverpakkingsafval en zwerfvuil [2]. In hoeverre broodverpakking bijdraagt aan deze milieudruk is niet bekend.

In Nederland is er een goede monitoring van de hoeveelheid zwerfvuil (figuur 22). De verwachting is dat verpakking van dagelijks brood in slechts geringe mate in het zwerfvuil terecht komt. Dit is wellicht anders voor verpakking van belegde broodjes welke in het out-of-home kanaal verkocht worden en als onderdeel van de categorie “Take-Away” verpakking bij het zwerfvuil kunnen belanden [58].



Figuur 22: Kenniswijzer zwerfafval in Nederland. Bron: Nederlandschoon, 2021 [58].

Consumentenperceptie over wat duurzaam verpakken is, wijkt dus vaak af van wat blijkt uit de wetenschap. Ook is men zich veelal niet bewust van de functionele waarde van verpakking in het voorkomen van verspilling en de rol bij voedselveiligheid. Een voorbeeld hiervan is dat consumenten in een Noors onderzoek van mening waren dat de verpakking van het brood schadelijker is voor het milieu dan het verspillen van het brood zelf [9]. Dit is een factor die het voor ondernemers extra moeilijk maakt goede keuzes te maken bij duurzaam verpakken.

## 2.4.2 Uitgelicht: Toekomst verpakkingontwerp

Bij het ontwerp van duurzame broodverpakkingen zal de mate waarin de verpakking in staat is het brood vers te houden - en dus verspilling weet te voorkomen - cruciaal zijn. Vier principes bij het ontwerpen/ kiezen van een verpakking [24]:

1. **Effectief:** de verpakking beschermt het voedsel tegen bederf en kwaliteitsverlies, is gemakkelijk in gebruik en is van toegevoegde waarde bij de presentatie van het product richting de eindgebruiker.
2. **Efficiënt:** Er wordt zo min mogelijk primaire grondstoffen en verpakking gebruikt.
3. **Circulair:** De verpakking wordt dusdanig ontworpen (materialen, vorm en inhoud) dat het terugbrengen van de verpakking in de materialen kringloop gemakkelijk is.
4. **Veilig:** De verpakking bevat geen schadelijke stoffen die kunnen migreren naar het voedsel en/of de omgeving.

Op basis van de beschikbare onderzoeksresultaten en Environmental Product Declarations kunnen we nog geen generieke adviezen gegeven worden over de meest duurzame verpakking voor brood. Veel LCA onderzoeken zijn namelijk onvolledig als het gaat om de bijdrage van verpakking. De duurzame verpakking bestaat niet en is erg context afhankelijk. Naast de primaire verpakking moet ook rekening gehouden worden met de secundaire (bijv. Brobankratten, plastic liners, transportdozen, etc.) en tertiaire verpakking (bijv. een consument die er thuis een extra plastic zal omheen doet voor het invriezen).

Svanes en collega's (2019) onderzochten het effect van het vervangen van een papier-PET combinatie verpakking met 1) een verpakking op basis van cellulose vezels, of 2) een geperforeerde papieren zak welke aan de binnenzijde gecoat was met PE. Beide verpakkingen zorgen voor een verbeterde houdbaarheid van het brood van 1 (cellulose vezel) tot wel 4 dagen (perforatie & PE coating). Hoewel



het materiaalgebruik en de directe CO<sub>2</sub> impact van de verpakking zelf licht toenam leidde dit tot een reductie in de totale LCA CO<sub>2</sub> impact, vanwege een reductie in broodverspilling [9].

Belangrijk aandachtspunt is wel dat het uiteindelijke effect van een verpakingskeuze sterk samenhangt met het vermogen van het afvalverwerkingsstelsel in een specifiek land om ook daadwerkelijk te composteren of te scheiden en/of te recyclen [24].

Verpakkingsproducenten en gebruikers van verpakkingen in Nederland kunnen via de verpakingscheck van het KIDV bekijken hoeverre hun verpakking geschikt is voor het recyclingstelsel in Nederland [55]. Ten behoeve van deze rapportage hebben wij deze check doorlopen voor de gemiddelde PP-PE broodzak in Nederland. Hieruit blijkt dat dit type verpakking *beperkt* recyclebaar is (figuur 23). De kleine plastic clips die gebruikt worden om de broodzakken te sluiten, zijn een uitdaging omdat deze erg klein zijn. Dit maakt ze niet recyclebaar in de huidige systemen en zorgt er bovendien voor dat ze gemakkelijk gaan zwerven.

# Beslisboom Recyclecheck Flexibele Kunststof Verpakkingen



Figuur 23: Recyclecheck van het KIDV ingevuld voor de gemiddelde broodclip en PP-PE broodzak. Conclusie: De clip is vanwege zijn formaat Niet recyclebaar en de zak Beperkt recyclebaar. N.B.: dit is slechts indicatief. Controleer altijd de samenstelling van uw eigen verpakking voor een conclusie passend bij uw specifieke situatie. Bron: Recyclecheck KIDV.nl

Volgens Krauter e.a. (2022) is het ontwerp van een daadwerkelijk duurzame verpakking tijdrovend, uitdagend en kostbaar. Dit gebeurt in de praktijk alleen indien het resultaat leidt tot fikse kostenbesparingen en/of een verhoging van de omzet. Bij het ontbreken van deze duidelijke businesscase blijven doelen voor duurzaam verpakken meestal steken op managementniveau en worden keuzes in de praktijk van het verpakkingsontwerp vooral gebaseerd op consumentenperceptie en/of korte termijn commerciële belangen.

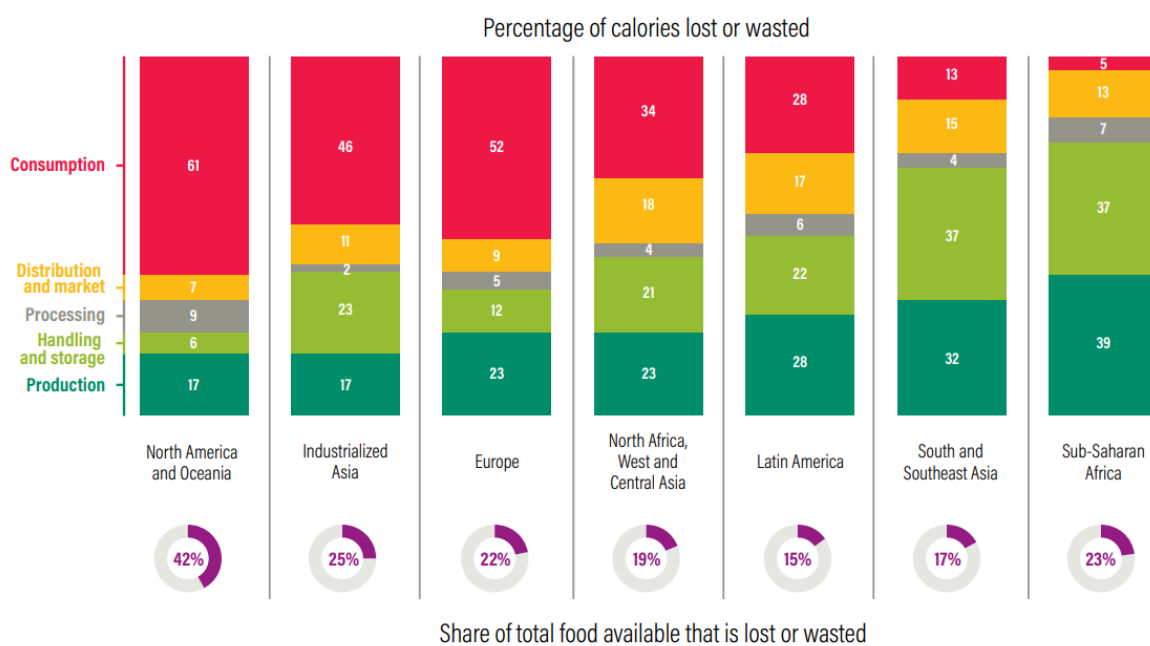
De verwachting is daarom dat wetgeving en sector afspraken de voornaamste drijfveer zullen zijn voor het verduurzamen van verpakkingen. De Europese wetgeving hierop is ten dele al aanwezig maar ook nog volop in ontwikkeling. De wet wordt steeds uitgebreider en omvat regels voor de mate van recyclebaarheid van verpakkingen, het aandeel gerecyclede materialen in verpakkingen en essentiële eisen voor het type materialen dat gebruikt mag worden voor welke verpakkingstoepassing. Bovendien wordt de verantwoordelijkheid van bedrijven voor de afvalfase de verpakkingen die zij in de markt brengen op verschillende manieren uitgebreid en verwacht men een steeds meer handhaving [59].

## 2.5 Verspilling

Wereldwijd wordt grofweg een derde van het geproduceerde voedsel nooit geconsumeerd. Niet voor niets is de Index Wereldwijd Voedselverlies een KPI (12.3.1) onder VN Duurzame Ontwikkelingsdoel 12 “Verantwoorde consumptie & productie” [60]. De EAT-Lancet commissie (zie H1) is nog concreter en pleit voor de halvering van de wereldwijde voedselverspilling in 2050.

In opkomende economieën zit het voornaamste verlies aan het begin van de keten. Waar bij de primaire producent (boer) vaak grote verliezen optreden t.g.v. klimatologische omstandigheden (droogte, overstromingen, storm etc.), het ontbreken van goede (geconditioneerde) opslagcapaciteit, beperkte toegang tot de markt en suboptimale logistiek.

In de rijke landen zit het probleem vooral aan het einde van de keten, waar vooral door overproductie en te veel voedsel inkopen tot verspilling leidt.



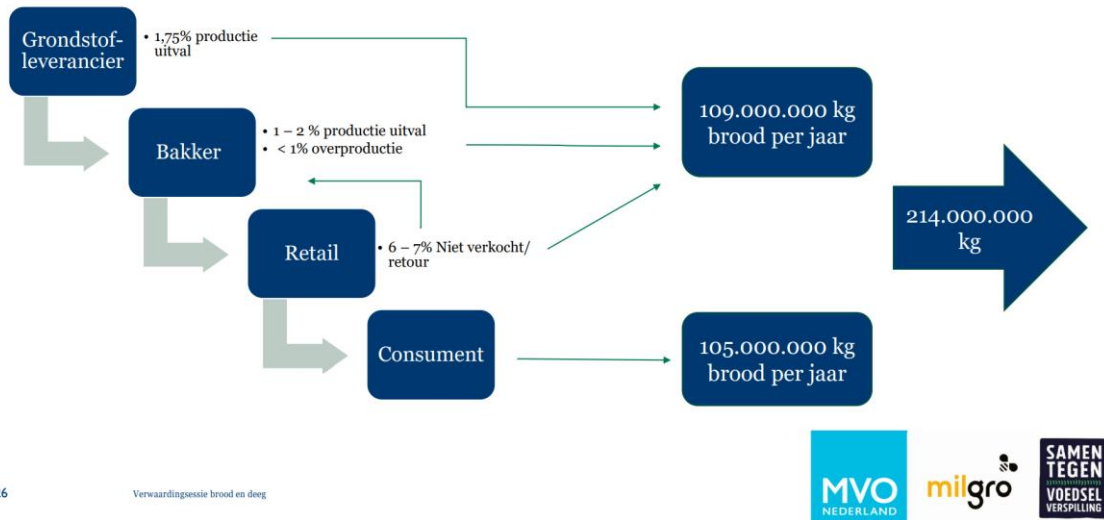
Note: Numbers may not sum to 100 due to rounding. Data are for the year 2009.

Figuur 24. Voedselverliezen en –verspilling in de voedselketen. Bron: World Resources Institute [61].

Ook voor brood is de afvalfase relevant voor het terugdringen van de milieu-impact. Svanes en collega's (2019) brachten voor de Noorse broodketen de relatieve impact van broeikasgassen (uitgedrukt in CO<sub>2</sub> equivalenten) in kaart als gevolg van verliezen in de keten. Hieruit bleek dat verspilling van brood vooral in de Retail-fase en de consumenten-fase een substantieel deel uitmaakt van de CO<sub>2</sub> impact [9].

In Nederland staat brood op nummer 1 van de Top 10 meest verspilde producten. In het voorjaar van 2020 presenteerden Milgro, MVO Nederland en de Stichting Samen tegen Voedselverspilling de resultaten van een onderzoek naar verlies en verspilling in de broodketen (figuur 25). Ook uit dit onderzoek bleek dat de grootste verliezen plaats vinden in de consumptiefase [62].

# SOORTEN RESTSTROMEN



Figuur 25: Presentatie tijdens bijeenkomst over verspilling in de broodketen bij Milgro 2020 [62].

Van het totaalvolume aan reststromen uit de broodketen – 214 miljoen kilo brood (171 miljoen broden!) - gaat 49% verloren bij de consument en 51% verloren in de rest van de keten [62].

## 2.5.1 Uitgelicht: Reststromen Bakkerij & Retail

Zowel bij de grondstofleveranciers als bij de bakkerijen is de productie uitval gemiddeld 1 tot 2%. Schattingen over het percentage zogenaamde retouren (brood dat in de winkels beland, maar uiteindelijk niet verkocht wordt) loopt uiteen van 6-11% [62-64]. Bekeken vanuit de totale verspilling uit de schakels grondstofleverancier, bakkerij en retail is retourbrood verantwoordelijk voor 72% van de verliezen. Andere posten zijn productie uitval (19%), overproductie (4%) en grondstofuitval (4%) [62].

In het supermarktkanaal is de productcategorie brood, afbakbrood en banket verantwoordelijk voor 31,5% van de totale verspilling in de supermarkt. Het gaat hier om 7,7% van het inkoopvolume in deze categorie [64]. Voor het midden en kleinbedrijf met eigen winkels zijn er minder publieke cijfers beschikbaar. Volgens cijfers van de anti-verspillingsonderneming TooGoodToGo houden bakkerswinkels (n=1874) gemiddeld 3% tot 12% derving over per dag (gemeten tussen juni 2021 en juni 2022). Het grootste deel hiervan is brood [65].

Het overgrote deel van de reststromen uit de bakkerijen en de winkels wordt herverwerkt tot veevoer. Volgens de zogenaamde Ladder van Moerman, welke veel wordt gebruikt om innovatie keuzes te maken bij de aanpak van voedselverspilling, gaat men uit van preventie als beste optie en storten op een afvalhoop als slechtste optie. Op die ladder dat diervoeding aangemerkt als redelijk goede optie, maar herverdeling of hergebruik voor menselijke consumptie heeft de absolute voorkeur.

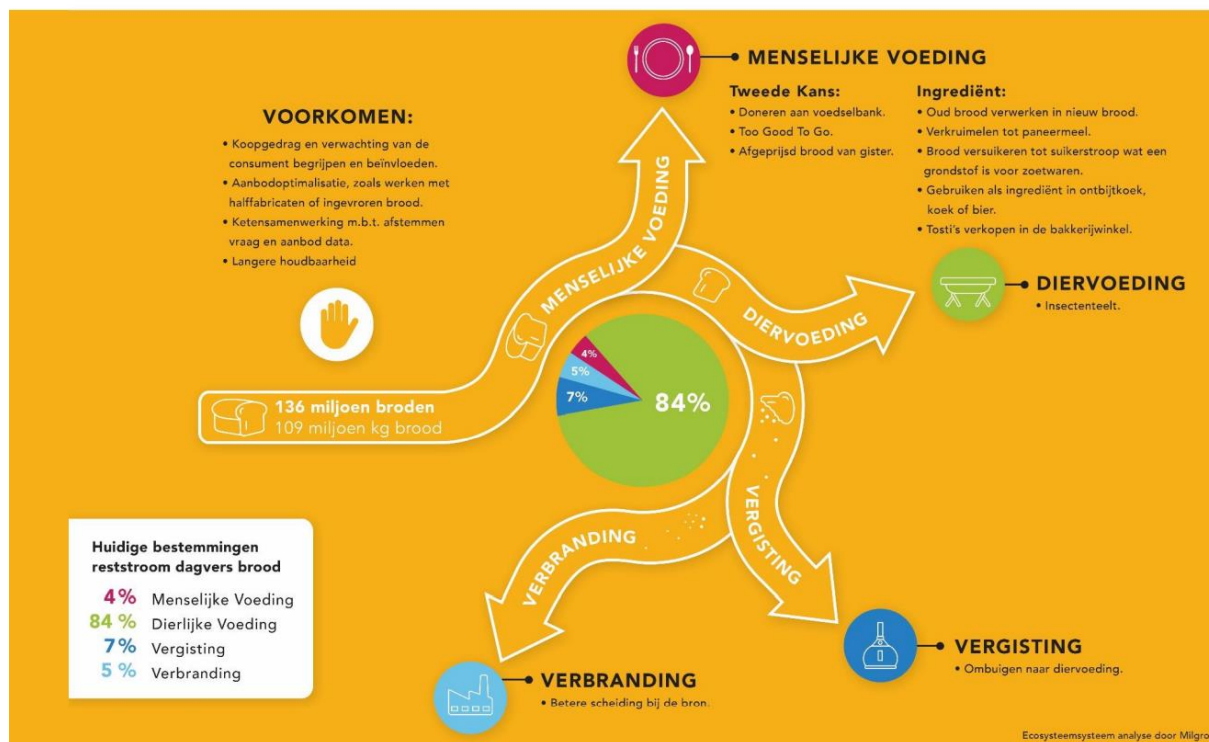


Figuur 26. Ladder van Moerman

Voedselresten aanwenden als veevoer wordt in Nederlandse definitie dan ook als voedselverspilling gezien – het brood is immers geproduceerd voor menselijke consumptie. Volgens de definitie van de EU is toepassing als veevoer geen onderdeel van de definitie van voedselverspilling. Het brood komt immers - via kip of varken - weer in de menselijke voedselketen terecht.

Waar liggen de kansen?

## BESTEMMINGEN



Figuur 27: Huidige bestemmingen van reststromen brood vanuit de ketenschakels grondstofleverancier, bakkerij & retail, Bron: Milgro 2020 [62].

### Preventie van verspilling

Belangrijkste oorzaken voor het relatief hoge retour aandeel is de korte houdbaarheid van dagvers brood en het beleid dat er de gehele dag door een breed assortiment aan dagvers brood beschikbaar moet zijn. Bovendien zorgen contractuele afspraken tussen retailer en bakkerij mogelijk voor een gebrek aan *incentive* voor de retailer om verspilling tegen te gaan [9]. Het inzicht in de (actuele) omloopsnelheid van producten ligt vaak juist wel bij de retailer en niet bij de bakker. Hierdoor kan deze moeilijk rechtstreeks sturen. Het koppelen van de productieplanning in de bakkerij aan slimme kassasystemen en data over weer en (lokale) evenementen kan zorgen voor optimalisatie en een reductie van de retouren. Diverse retailers en bakkerijen testen ook met dergelijke systemen. Over de effectiviteit hiervan zijn echter geen openbare gegevens beschikbaar.

Een steeds meer gebruikte methode is het afprijzen van brood aan het einde van de dag, zodat consumenten verleid worden brood te kopen dat niet meer "dagvers" of (bijna) over de houdbaarheidstermijn is. Ook zijn er steeds meer "brood van gisteren" schappen en winkels. Een gevaar van deze methode is dat het verspilling bij de consument mogelijk in de hand werkt en daarmee het probleem alleen verschuift. Uit onderzoek onder gebruikers van de anti-verspillingsapp Too Good To Go – welke consumenten aan het einde van de dag tegen een vast prijs een pakket producten biedt die anders verspild zouden worden – blijkt deze zorg echter niet gegrond. Uit dit onderzoek bleek dat het overgrote deel van de producten uit de pakketten daadwerkelijk werd geconsumeerd. Kanttekening

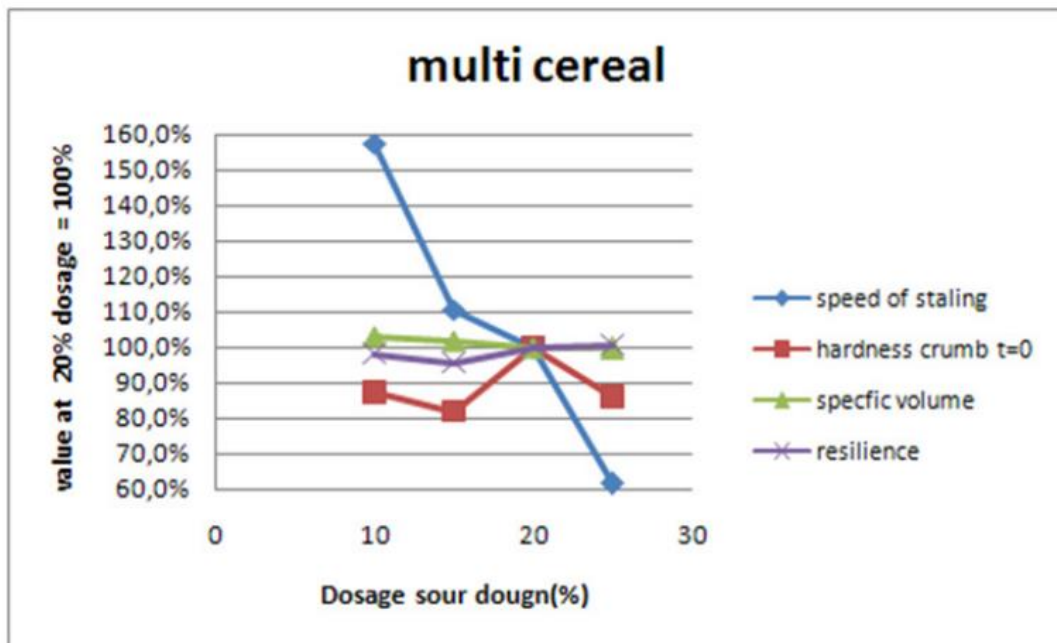
bij deze resultaten is wel dat het gaat om een groep consumenten die meer dan gemiddeld gemotiveerd is om voedselverspilling te voorkomen [66].

Het verlengen van de houdbaarheid van brood via receptuuroptimalisatie wordt uiteraard ook toegepast. Al gaat dit deels in tegen het "dagvers" principe dat zo verankerd is in de Nederlandse broodcultuur. Bovendien maakt de "clean-label" trend de tools die bakkers tot hun beschikking hebben voor het verlengen van de houdbaarheid beperkter. Op dit vlak vindt wel veel innovatie plaats in de toepassing enzymtechnologie en het herintroduceren van "oude" oplossingen voor behoud van malsheid zoals toevoeging van kookstukken en vertraagde processen [67].

#### *Herverdeling en herverwerking van brood*

Het aanbieden van overgebleven brood aan voedselbanken en het verkopen van "brood van gisteren" tegen een gereduceerd tarief, heeft bij onvermijdbare reststromen dus de voorkeur. Ook "ouderwetse" toepassing van oud brood in nieuwe producten zoals broodcake, als croutons en paneermeel zijn voor kleine bakkerijen relatief eenvoudig uitvoerbaar.

Voor industriële bakkerijen is dit laatste veelal geen reële optie. In dat geval is **hergebruik van brood als grondstof in brood na fermentatie** een interessante optie. Stichting Bakkerij Imago liet in 2010 al een haalbaarheidsonderzoek uitvoeren naar deze mogelijkheid. In dit onderzoek werd gekeken naar effecten van het toevoegen van een desem gemaakt van reststromen brood en een specifiek desem-starter op de broodkwaliteit en de microbiologische veiligheid [68].



*Figuur 158: Effect van de dosering van "reststromen-desem" gemaakt van meergranenbrood en toegevoegd aan een meergranendeeg op het tempo waarin het brood oud wordt, de zachtheid van de kruim, het specifieke volume en de stugheid [68].*

Uit het onderzoek blijkt dat er bij een toename van het aandeel reststroom-desem een afname is in volume en zachtheid. Tevens wordt het brood stugger. Er zit dus een grens aan de hoeveelheid reststromen die je op deze manier kunt verwerken. De conclusie van het onderzoek is dat het haalbaar is om oud brood verwerkt tot desem tot maximaal 25% gebruikt kan worden in nieuw brood. Er zit een brede tolerantie op verschillende procesparameters wat de toepassing van de oplossing toegankelijk maakt in de praktijk [68].

Onderzoek naar het effect op de **milieu-impact van het hergebruik van broodkruim in nieuw brooddeeg, via natte fermentatie (70%)**, werd in 2015 onderzocht door Zispoulos via een



zogenaamde Exergie Analyse<sup>5</sup>. De toevoeging van gefermenteerd brood resulteerde hier echter niet in een verbetering omdat slechts een klein deel van het gefermenteerde brood (maximaal 11% op totaalgewicht) kon worden verwerkt in de receptuur. De rest ging dus alsnog verloren en de herverwerking verbruikt ook energie. De onderzoekers concluderen dat verbetering van proces en receptuur nodig is om de volledige retourstroom te kunnen verwerken. Dit zou moeten gebeuren in samenhang met voorspellingsmodellen van de hoeveelheid reststroom die verwerkt moet worden [48].

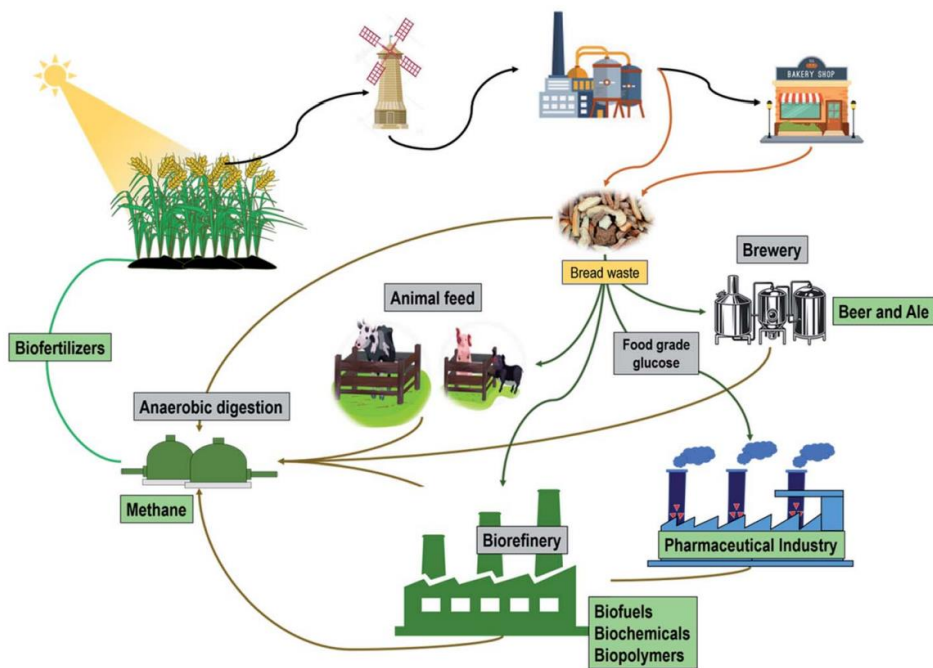


Figuur 29: Schematisch overzicht van de potentie van Bio-processing van plantaardige reststromen. bron: Tlais e.a. 2020 [70].

Een andere interessante denkrichting in de literatuur is **Bio-processing** (figuur 29): het winnen van waardevolle grondstoffen uit het reststromen zoals suikers, voedingsvezels (bèta-glucanen, arabinoxylanen) specifieke eiwitten en bioactieve componenten (antioxidanten, fytosterol en polyfenol).

Met name bio-processing van de kiem en zemelfracties lijkt in dit kader interessant. Het meeste onderzoek naar de toepassing hiervan is echter gedaan met reststromen uit de maalindustrie. Hoe technisch haalbaar het is om deze componenten uit (volkoren)brood te winnen werd in 2021 deels op een rij gezet door Narisetty en collega's [71].

<sup>5</sup> Exergy Analyse kijkt naar energiestromen (dat gaat om energiebronnen zoals gas en olie, maar ook om de intrinsieke energie die vastligt in agrarische grondstoffen) in een productieproces of keten en hoe efficiënt deze stromen gebruikt worden. Er lijkt namelijk minimaal een kwalitatief verband te bestaan tussen het verlies aan kwaliteit van energie en de milieubelasting van een proces. En hoe minder grondstoffen en energie een apparaat of proces verbruikt, hoe voordeliger dit in principe is. Wanneer men rekening houdt met de kwaliteit van energie, wordt de 'vinger op de zere plek' gelegd en kan men daar verbeteren waar het meest te halen valt. In verband met investeringskosten is het verstandig om de analyse te (laten) doen in het ontwerp stadium of voor een geplande procesaanpassing [69].



**Grain Processing to bread**   **Bread waste from Industry and Suppliers**  
**Bread waste as feedstock**   **Waste residues to Anaerobic digestion**

Figuur 30: Verschillende routes voor herverwerking van brood. Bron: Narisetty e.a. 2021 [71].

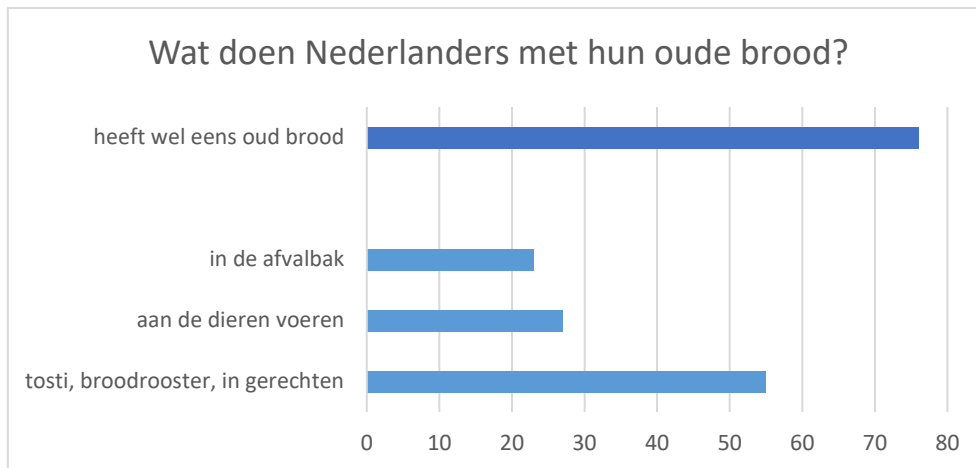
Fermenteerbare suikers en in minderen mate eiwitten kunnen via fermentatie worden omgezet in grondstoffen met een hoge toegevoegde waarde zoals suikers, enzymen, chemicaliën, biobrandstof, farmaceutische producten, bier en/of hoogwaardige ingrediënten voor (huis)diervoeder.

## 2.5.2 Uitgelicht: Verspilling bij de Consument

De consument verspilt 34,4 kilo per persoon per jaar aan vast voedsel. Waarvan 26,5 kilo via het huishoudelijk afval verdwijnt en naar schatting 7,8 kilo via alternatieve routes. Dat is een daling van 17% t.o.v. 2016 (41 kg). Brood en deegwaren staat op nummer 1 van de verspilling van vast voedsel met 7,3 kilo per persoon per jaar (76% brood, 14% koek & gebak, 10% overige deegwaren)

In Nederland kan er in totaal ruim 2 miljoen kilo brood per week van de afvalbak worden gered. Per persoon is dat ongeveer 4 boterhammen per week [72].

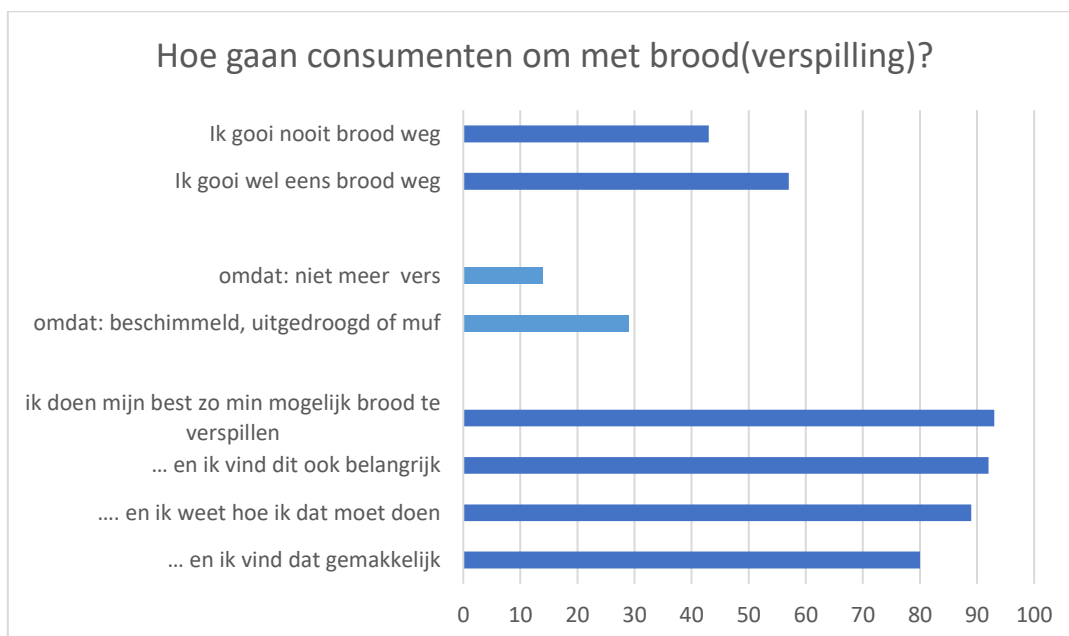
Flycatcher (2021) onderzocht hoe consumenten omgaan met oud brood en hoe zij verspilling al dan niet proberen te voorkomen. De bewustwording over broodverspilling lijkt groot. Meer dan de helft van de mensen eet oud brood regelmatig nog op na toosten of verwerkt in andere gerechten [73].



Figuur 31: Wat doen Nederlanders meestal met hun oude brood? (Percentage van totaal). Bron gegevens: Flycatcher/Voedingscentrum 2021 [73].

De zelf gerapporteerde verspilling in gezinnen met jonge kinderen ligt een paar procent hoger dan gemiddeld. Opvallend is het wisselende beeld dat mensen hebben bij de kapjes van het brood: 29% van de ondervraagden vindt dat de kapjes niet bedoeld zijn om op te eten, maar puur om het brood vers te houden. Bovendien vindt 41% van de mensen kapjes minder lekker dan de rest van het brood. Mensen die de kapjes wel eten geven ook aan tot wel drie keer minder brood weg te gooien en gooien ook bijna twee keer minder ander eten weg [73].

Als reden waarom mensen brood weggooien wordt voornamelijk benoemd dat het brood niet meer vers is [57,73,74]. Het feit dat mensen aangeven het voorkomen van verspilling belangrijk en ook relatief gemakkelijk te vinden, staat in schril contrast met de hoeveelheid brood die uiteindelijk toch in de afvalbak belandt. Hieruit kunnen we wellicht concluderen dat een groot deel van de mensen het brood dat zij wel verspillen als onvermijdbaar zien (“want het is niet meer vers” en/of “een kapje dus niet bedoeld om op te eten”...).



Figuur 32: Percentage Nederlanders dat aangeeft wel eens brood weg te gooien en waarom. En in hoeverre zij verspilling tegen zeggen te gaan. bron gegevens: Flycatcher/ Voedingscentrum 2021 [73].

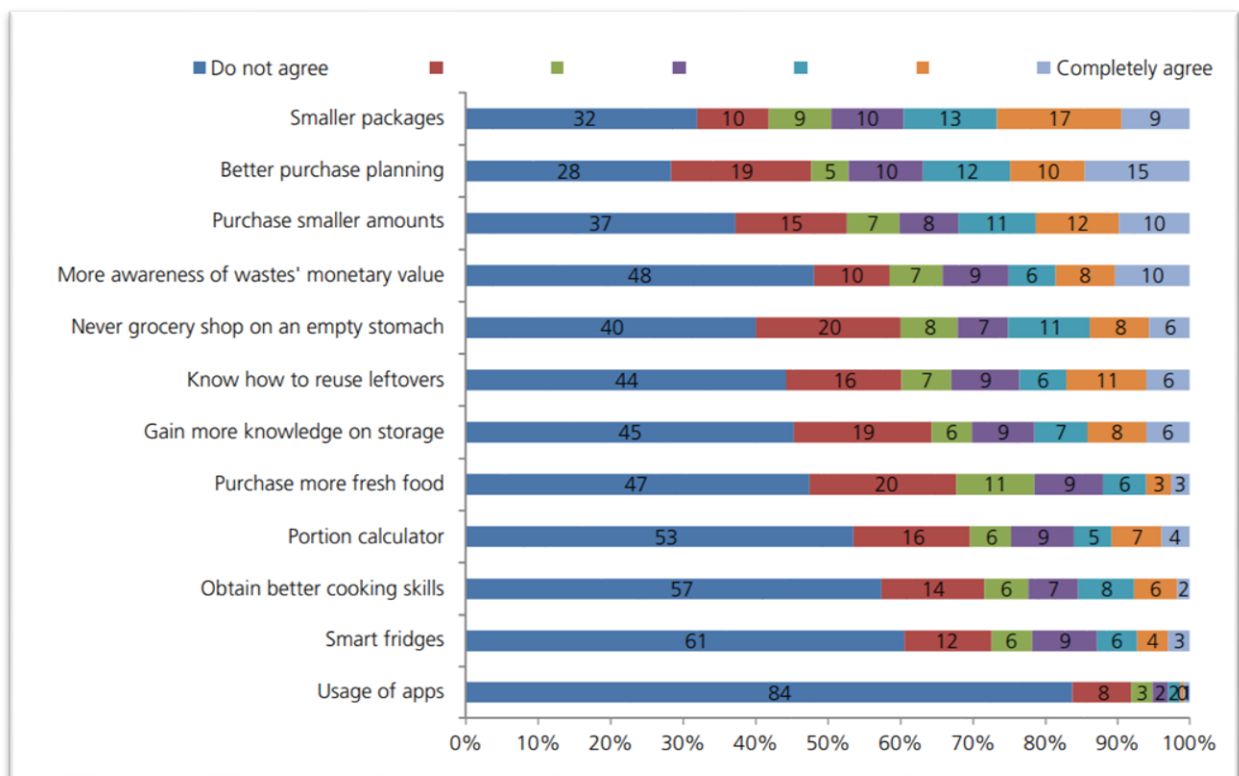
Uit onderzoek naar consumentengedrag in Noorwegen, een land dat net als Nederland) een hoge broodconsumptie kent (52 kilo per inwoner per jaar) in vergelijking met de rest van Europa (39 kilo per

inwoner per jaar), blijkt dat Noorse consumenten veel brood verspillen (13 kilo per inwoner per jaar). Zij proberen dit te voorkomen door thuis extra verpakking om het brood te doen tegen uitdroging. Net als in Nederland zijn roosteren van brood en invriezen ook veel genomen maatregelen. Opvallend is dat 86% van de consumenten in dit onderzoek van mening waren dat de verspilling van het brood zelf minder erg is dan de milieu-impact van de verpakking waar het brood in zit [9].

Verspilling van brood door consumenten wordt vergroot door een onregelmatige leefstijl, meer kopen dan nodig en onjuiste bewaarmethoden (te warm, lucht -doorlatende verpakking) [73,74]. Ook zijn mensen vaak "te druk" om oud brood nog te verwerken in andere gerechten. Er worden sowieso lang niet altijd meer zelf gekookt [75].

Hoewel er veel voorlichting is om voedselverspilling te voorkomen, is er weinig onderzoek gedaan naar de effectiviteit van deze voorlichting. In een onderzoek onder Duitse consumenten in 2015 bleek dat consumenten zelf vooral geloven in het effect van kleinere verpakkingen en betere aankoopplanning [74]. Veel minder mensen geloven in het effect van voorlichting, recepten, slimme koelkasten en apps (figuur 33).

Ook uit ander, recenter, onderzoek blijkt dat voorlichtingscampagnes gericht op informatievoorziening relatief ineffectief bij preventie van voedselverspilling [76]. Het oproepen om te stoppen met verspillen lijkt bovendien minder effectief dan oproepen om minder te verspillen. Informatie over de maatschappelijk gevolgen van voedselverspilling leidt wel tot meer bewustwording, maar niet noodzakelijk tot minder verspilling [77].



Figuur 33: Perceptie Duitse consumenten ten aanzien van verschillende oplossingen ter preventie van voedselverspilling thuis. Bron: Langen e.a., 2015 [74].

Uit meer algemeen gedragswetenschappelijk onderzoek blijkt dat andere methodieken dan informatieoverdracht – zoals beïnvloeding van sociale normen, beloning en straffen etc. – waarschijnlijk effectiever zullen zijn [76]. Meer onderzoek is nodig naar de effectiviteit van interventies om broodverspilling te voorkomen.

### 3. Bronnen

1. 2021 Global Nutrition Report: The state of global nutrition. Bristol, UK: Development Initiatives.
2. Wereld Natuur Fonds (2022) Eetplan voor de planeet. WWF-NL, Zeist
3. Voedingscentrum (2022) Duurzamer Eten. Factsheet.
4. Willet W. e.a. (2019) Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. Public Summary Report. *The Lancet*\_Vol 393 February 2, 2019
5. Willet W. e.a. (2019) Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems.. Summary Report
6. Poutanen e.a. (2021) Grains a major source of sustainable protein for health. *Nutrition Reviews* Vol. 80(6):1648–166
7. Notarnicola e.a. (2017a) Energy flows and greenhouses gases of EU (European Union) national breads using an LCA (Life Cycle Assessment) approach. Volume 140, Part 2, 1 January 2017, Pages 455-469
8. RIVM (2022) Wat eet Nederland VCP 2012-2016\_ Onderwerp: Ontbijt. Online bekeken november 2022
9. Svanes e.a. (2019) Effects of Packaging and Food Waste Prevention by Consumers on the Environmental Impact of Production and Consumption of Bread in Norway. *Sustainability* 2019, 11, 43
10. Coucher e.a. (2017) The environmental impact of fertilizer embodied in a wheat-to-bread supply chain. *Nature Plants* volume 3, Article number: 17012 (2017)
11. Blonk (2018) ; Environmental performance of the bread and consumption. In: Scientific report part of Deliverable number: D5. Deliverable title: 1st communication tools report Due date: 31 December 2018 Version: 1.8
12. RIVM (2016) Milieubelasting van de voedselconsumptie in Nederland. RIVM Rapport 2016-0074
13. RIVM (2022); RIVM online database Milieu impact Voedingsmiddelen, september 2022
14. Braschkat et al (2003) , Life cycle assessment of bread production – a comparison of eight different scenarios. In: Life Cycle Assessment in the Agri-food sector Proceedings from the 4th International Conference October 6-8,2003,Bygholm,Denmark
15. Notarnicola e.a. (2017b) Environmental impacts of food consumption in Europe. *Journal of Cleaner Production*. Volume 140, Part 2, 1 January 2017, Pages 753-765.
16. Wereld Natuur Fonds (2022) Factheet: Het maakt uit wat je eet: hoe Nederlandse consumptie bijdraagt aan verlies van biodiversiteit wereldwijd. Bron: Food products with highest impact on biodiversity loss in Dutch consumption
17. Dooren, van C. en Seves m.(2019). Brondocument Naar een meer plantaardig voedingspatroon. september 2019, 2e herziene druk Voedingscentrum, Den Haag
18. RIVM (2020) Eet en drinkt Nederland volgens de Schijf van Vijf? Resultaten van de voedselconsumptiepeiling 2012-2016. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM
19. Dooren, Van C. (2017) Proposing a Novel Index Reflecting Both Climate Impact and Nutritional Impact of Food Products. *Ecological Economics*, Volume 131, January, Pages 389-398
20. Kramer e.a. (2018) Comparing the Performance of Bread and Breakfast Cereals, Dairy, and Meat in Nutritionally Balanced and Sustainable Diets. *Front. Nutr.*, 07 June 2018 Sec. Nutrition and Sustainable Diets
21. Weegels P. (2019) How bread can save the world. [www.researchoutreach.org](http://www.researchoutreach.org)
22. Jeswani HK, Burkinshaw R & Azapagic A. (2015) Environmental sustainability issues in the food–energy–water nexus: Breakfast cereals and snacks. *Sustainable Production and Consumption* 17-18
23. Pensioen T. (2019) Verbeteropties om de broodketen te verduurzamen. Wageningen Economic Research

24. Krauter V. e.a. (2022) Cereal and Confectionary Packaging: Assessment of Sustainability and Environmental Impact with a Special Focus on Greenhouse Gas Emissions
25. Espinoza-Orias M. e.a. (2011) The carbon footprint of bread. *Int J Life Cycle Assess* (2011) 16:351–365
26. Roos e.a. (2011) Uncertainties in the carbon footprint of refined wheat products: a case study on Swedish pasta. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. May 2011, 16:338
27. Baaken (2022) Sustainability of agricultural practices in Germany: a literature review along multiple environmental domains. *Regional Environmental Change* 22-39
28. Achten & Van Acker (2015) EU average Impacts of Wheat Production: A Meta-Analysis of Life Cycle Assessments, *Journal of Industrial Ecology* 20(1), 132-144
29. Rajaniemi e.a. (2011) Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production. *Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue* 1, 189-195, 2011
30. Mylonas e.a. (2020) Better farming practices to combat climate change. In: *Climate Change and Food Security with Emphasis on Wheat*.
31. Boone, L. (2019). Quantification of agricultural productivity in environmental sustainability assessments: methodological developments and case studies. PhD thesis, Ghent University, Belgium.
32. Bas, N., Berentschot, I., Heerkens, D., & Jennissen, T. (2020) Een kleine geschiedenis van de graanteelt in Nederland. uit: *Oude Granen, Nieuw Brood*. Pp37-55
33. Kahiluoto e.a. (2019) Decline in climate resilience of European Wheat, *PNAS* vol 166, 123-128
34. Hristov (2020) Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050. JRC PESETA IV project – Task 3
35. Toreti, A., Cronie, O., & Zampieri, M. (2019). Concurrent climate extremes in the key wheat producing regions of the world. *Scientific reports*, 9(1), 1-8.
36. Miedaner & Juroszek (2021) Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe, *Theoretical and Applied Genetics* 134:1771-1785
37. Tadesse e.a. (2017) The Role of Science and Technology in Enhancing Food Security in Arab Countries. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, August - 2017; Volume – 5(Spl-1- SAFSAW)
38. Doorn, van e.a. (2021) BiodiversiteitsMonitor Akkerbouw, - Wetenschappelijke onderbouwing en toepassing in de praktijk. Wageningen Universiteit & Louis Bolk Instituut. Paragraaf 6.2, p 57 Maatregelen & Bijlage 1: Factsheet KPIs, p80-117
39. Sukkel W. (2022) Dhr. Ir Wijnand Sukkel (2022) - Senior Onderzoeker AgroEcologie aan de Wageningen Universiteit- Kennis gedeeld in/ na een interview over tarweteelt, brood en duurzaamheid met het Nederlands Bakkerij Centrum op 13 september 2022.
40. Asseng e.a. (2020) Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms, *PNAS* vol 117 (32): 19131-19135
41. Chiriaco e.a. (2022) Determining organic versus conventional food emissions to foster the transition to sustainable food systems and diets: Insights from a systematic review *Journal of Cleaner Production* 380 (2022) 134937
42. Montgomery and Bikke (2021) Soil Health and Nutrient Density: Beyond Organic vs. Conventional Farming REVIEW article *Front. Sustain. Food Syst.*, 04 November 2021 Sec. Nutrition and Sustainable Diets
43. Nederlandse Vereniging voor de Bakkerij (2018) Klimaatakkoord; tijdslijn en consequenties voor de industriële bakkerijen. \_Notitie aan de leden van de Nederlandse Vereniging voor de Bakkerij
44. Cappelli A, Lucrexia L & Cini E. (2021) Baking Technology: A systematic review of machines and plants and their effect on final products, including improvement strategies. *Trend in Food Science & Technology*. Vol 115, pp 275-284
45. Pask F e.a. (2017) Industrial oven improvement for energy reduction and enhanced process performance. January 2017 *Clean Technologies and Environmental Policy* 19(1)
46. Ashcroft N. (2015) Improving the efficiency of bakery ovens: Case study. Carbon Trust,

47. RVO (2020) Informatieplicht energiebesparing uitgevoerde erkende maatregelen Bedrijfstak 08 -Levensmiddelenindustrie. Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland in opdracht van het ministerie van Economische zaken en Klimaat.
48. Zisopoulos e.a. (2015) Exergetic comparison of food waste valorization in industrial bread production. Exergy xxxx 1-10
49. Stimular (2022) Win warmte terug uit rookgas van oven\_ Webartikel bekeken op 20-11-2022.
50. Stimular (2022) Stap over op groener gas - Stimular - De werkplaats voor duurzaam ondernemen
51. Guldemundt R (2022) Gas of toch elektrisch? (beko-cooperatie.nl) - Online fragment uit artikel in vakblad RISE editie 3, 2022
52. Tabruyn S. (2022) Heuft heeft hybride oplossing om energiebesparing te realiseren. NTB Magazine NR5 2022
53. Bakkersvak (2022) Multibake VITA – Waterstof tunnel oven – Bakkersvak & IJs-Vak
54. Milieudefensie (2022) Wat is waterstof? Dit moet je weten — Milieudefensie
55. KIDV (2022-1) Flexibele verpakkingen en recycling – KIDV, Web-artikel geraadpleegd op 25-11-2022
56. Waegemaekers, L. (2022) De samenstelling van de Nederlandse broodzak toegelicht door verpakkingstechnoloog, Dhr. Loek Waegemaekers, in een interview met het Nederlands Bakkerijcentrum op 7 oktober 2022. Dhr Waegemaekers is werkzaam bij The Life Cycle Assessment Centre voor Verpakkingen
57. B2Sense (2022) Consumentenonderzoek Brood & Duurzaamheid. In opdracht van: Nederlands Bakkerij Centrum
58. Nederlandschoon (2021) Infographic: Samenstelling zwerfaval 2021. Uit: Kenniswijzer Zwerfaval 2021. Download in november 2022 via: Nederlandschoon.nl op 25-2-2022
59. KIDV (2022-2) Beleid en wetgeving verpakkingen. Web-artikel geraadpleegd op 25-11-2022
60. CBS (2016) SDG doelen en indicatoren: vertaling Engels-Nederlands
61. World Resource Institute (2019) Chapter 5. Menu Item: Reduce Food Loss and Waste. In: *World Resources Report. Creating a Sustainable Food Future: A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050 FINAL REPORT, JULY 2019*
62. Milgro e.a., (2020) Presentatie op bijeenkomst voor de sector over broodverspilling en verwaarding
63. Blonk (2006) Duurzaam brood bakken
64. WUR (2020) Voedselverspilling in het supermarktkanaal.
65. Bedeker B. (2022) Nagezonden informatie naar aanleiding van een interview van het Nederlands Bakkerij Centrum op 20-09-2022 met Dhr. Bedeker, Partner Manager Bakery & Waste Warior bij Too Good To Go.
66. Haar, van der, S. & Zeinstra G. (2019) The impact of Too Good To Go on food waste reduction at the consumer household level An explorative study. Research project carried out by Wageningen Food & Biobased Research within the PPP project “Understanding Shelf Life” (project number 6239117701)
67. Dong & Karboune (2021) A review of bread qualities and current strategies for bread bioprotection: Flavor, sensory, rheological, and textural attributes. Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety. February 2021
68. Weegels P. (2010) Fast return: reusing one-day-old bread by fermentation. European Bakery Innovation Centre in cooperation with Stichting Bakkerij Imago . ResearchGate
69. TUDelft (2022) Online toelichting op het principe van Energy Analyses: Milieu & economie (tudelft.nl). Webpagina bekeken op 25-11-2022
70. Tlais e.a., (2020) High Value components in Fruits, Vegetable and Cereal byproducts: An overview of potential sustainable reuse and exploitation. *Molecules*. Jun 30;25(13):2987.
71. Narisetty e.a. (2021) Recycling bread waste into chemical building blocks using a circular biorefining approach. *Sustainable Energy and Fuels*. pp. 4842-4849. ISSN 2398-4902
72. Voedingscentrum (2019) Syntheserapport Voedselverspilling bij huishoudens in Nederland in 2019



73. Voedingscentrum/ Flycatcher (2021) Brood verspilling – online informatie voor professionals
74. Langen N., Gobel C. & Waskow F. (2015) The effectiveness of advice and actions in reducing food waste. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management* 168 (2), 72-86
75. GFK (2016) Hoe kookvaardig is Nederland
76. Stöckli, S., Niklaus, E. en Dorn, M. (2018) Call for testing interventions to prevent consumer food waste *Resources Conservation and Recycling* 136(3)
77. Nisa, C. F., Belanger, J., & Schumpe, B. M. (2020). Evidence-based messaging to decrease food waste at the consumer level.