

Duurzaam Verpakken

Wetenschappelijke kennis vertaald voor de praktijk

Ulphard Thoden van Velzen, Rian Ruhl en Marieke Brouwer



DOI: <https://doi.org/10.18174/694832>

Reviewer: Wouter Post & Ben Langelaan

Goedgekeurd door: Henk Wensink

Gesubsidieerd door: Ministerie van LNVN, Kennis op Maat, Topsector Agri&Food

Gefinancierd door: Dit project ontvangt financiële steun vanuit de kennis- en innovatieagenda landbouw, water, voedsel. Binnen de KIA werken bedrijfsleven, kennisinstellingen en overheid samen aan innovaties voor veilig en gezond voedsel (en een groene leefomgeving) voor 9 miljard mensen in een veerkrachtige wereld.

Vormgeving door: Franka Wiggers

Dit document is: Openbaar

Publicatiedatum: 19 maart 2026

Het is de opdrachtgever toegestaan dit rapport integraal openbaar te maken en ter inzage te geven aan derden. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen Food & Biobased Research is het niet toegestaan:

- A. dit door Wageningen Food & Biobased Research uitgebrachte rapport gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze gedeeltelijk openbaar te maken;
- B. dit door Wageningen Food & Biobased Research uitgebrachte rapport, c.q. de naam van het rapport of Wageningen Food & Biobased Research, geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin;
- C. de naam van Wageningen Food & Biobased Research te gebruiken in andere zin dan als auteur van dit rapport.

Dit naslagwerk is geschreven in het kader van het Kennis op Maat project BO-64-001-043 dat gefinancierd wordt door de Topsector Agri & Food. Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport is op objectieve wijze uitgevoerd door onderzoekers die onpartijdig zijn ten opzichte van de opdrachtgever(s) en sponsor(s).

© 2026 Stichting Wageningen Research, instituut Wageningen Food & Biobased Research
Postbus 17, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 00 84, E: info.wfbr@wur.nl, www.wur.nl/wfbr.

Dit werk is gelicentieerd onder de Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 licentie. Deze licentie stelt hergebruikers in staat om het materiaal te verveelvoudigen en te delen in elk medium of bestandsformaat, mits in onangepaste vorm, alleen voor niet-commerciële doeleinden en alleen zolang de maker en de bron worden vermeld. Verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden of zijn voorbehouden.

Inhoud

	English summary	06
	Nederlandse samenvatting	08
1	De ontwikkeling van de definitie van duurzaamheid en duurzame verpakkingen	13
2	Levensmiddelverpakkingen in de Nederlandse context	23
2.1	De functie van verpakkingen	24
2.2	Het verpakte product als knooppunt van ketens	25
2.3	Het Nederlandse verpakkingsafvalbeleid	27
3	Het analyseren van duurzaamheid	33
3.1	Kwantificeren van milieu-impact (LCA)	34
3.2	Kwantificeren van sociale (S-LCA) en economische impact (LCC)	41
3.3	Het kwantificeren van circulariteit	45
4	Holistische visie op duurzaam verpakken	49
4.1	Holistische definitie van duurzaam verpakken	51
4.2	Handvatten voor het in kaart brengen van duurzaam verpakken	52
4.3	Hand- en voetafdrukkenkaart	56
4.4	Duurzaamheidsaspecten van verpakkingsmaterialen	57
5	Betrokken partijen en hun definitie van duurzaam verpakken	73
5.1	Europese en nationale overheid	74
5.2	Federatie Nederlandse Levensmiddelindustrie	77
5.3	Kennisinstituut Duurzaam Verpakken en Verpact	79
5.4	NRK Verpakkingen	81
5.5	Milieuorganisaties	82
5.6	Reflectie op de perspectieven van betrokken partijen	83
6	Vooruitblik	91

English summary

Packages are vital to protect and transport products and communicate about their contents. However, they also cause environmental burdens, such as the emission of greenhouse gases and the generation of litter. It is therefore essential to pack in a more sustainable manner, which requires an understanding of the sustainability assessment of materials and designs. As a guidance document (written in Dutch language) this reference work named *Duurzaam Verpakken* offers a collation of the state of knowledge, a holistic perspective on sustainable packaging and practical tools to delineate sustainability. This reference work is aimed at professionals working with packages and all those that are interested in the topic, from designers, engineers, entrepreneurs to students, policy makers and civilians.

The meaning of the notions sustainable and sustainable packages have developed greatly over the past decades. Sustainability implies that the needs of the current generations are met without harming those of future generations and encompasses three dimensions: people, planet and profit. Moreover, we are confronted with a triple planetary crisis in which climate change, planetary pollution and the loss of biodiversity accelerate each other. Our comprehension of the role packages play in this crisis and the potential solutions they provide is developing steadily. A paramount principle is that packages themselves are not sustainable as such, but they can contribute to make packaging-product-combinations more sustainable, for instance by preventing food loss and waste. The value chains of packaged products are often international and complex, whereas waste management and recycling value chains are often locally shaped. This renders sustainability situational; meaning that it depends on local food loss and waste rates and the locally available end-of-life options. Moreover, the environmental impact of packages is determined by various actors, such as companies, civilians and governments. The urgent nature of the triple planetary crisis, causes an upsurge in demand for more sustainable packages. This underlines the importance to quickly and carefully delineate the impacts packages cause, in relation to their complexity. To support this demand we propose a holistic definition of sustainable packages, elaborated with practical tools to assess sustainability.

A sustainable package:



Offers maximal protection, which translates in minimal food loss or product loss, determined with shelf-life tests and mechanical strength packaging assessments.



Has minimal impact on the triple planetary crisis, which can be shown with:

- An analysis of the impact on climate change (GWP-100) executed with recent food loss rates and local end-of-life fates elaborated with
- An indicator for planetary pollution and,
- An indicator for the loss of biodiversity



Balances the social and economic pros and cons for civilians and stakeholders. This can be delineated qualitatively by rating the anticipated impacts, on the Likert scale.

All these elements can be depicted in a hand- and footprint diagram.

All different stakeholders of packages, such as fast-moving consumer good companies, governments, non-governmental organisations and sectorial organisations have their own definitions of 'sustainable packaging'. This is unsurprising, as they have different roles and perspectives, and act on different levels (from the individual package to all packages and from single packages to whole product-packaging combinations) and therefore differ in how well-described and timely their solutions need to be. Our proposed definition can serve as a holistic foundation that offers guidance to future packaging innovations and supports policy makers in the development of integral packaging policies. The knowledge and practical tools offered in this reference work will subsequently support the development of sustainable packages.

Nederlandse samenvatting

Verpakkingen zijn belangrijk voor het beschermen, vervoeren en communiceren van producten, maar brengen ook milieuproblemen met zich mee, zoals uitstoot van broeikasgassen en het ontstaan van zwerfafval. Het is daarom noodzakelijk om duurzamer te verpakken, maar dat vraagt om inzicht in hoe verschillende materialen en verpakkingsontwerpen scoren op het gebied van duurzaamheid. Om hierin te ondersteunen biedt *Duurzaam Verpakken* een samenvatting van de huidige kennis, een holistische visie op duurzaam verpakken en praktische handvatten om duurzaamheid in kaart te brengen. Dit naslagwerk is bedoeld voor iedereen die met verpakkingen werkt of erin geïnteresseerd is: van ontwikkelaars en bedrijven tot studenten, beleidsmakers en burgers.

De definitie van duurzaamheid en duurzame verpakkingen heeft de afgelopen jaren een sterke ontwikkeling doorgemaakt. Duurzaamheid draait om het vervullen van de behoeften van nu zonder die van toekomstige generaties te schaden en omvat drie dimensies: mens, milieu en economie. Daarnaast hebben we te maken met een wereldwijde samenloop van milieuproblemen waarbij klimaatverandering, planetaire vervuiling en biodiversiteitsverlies elkaar versterken. Het inzicht in de rol die verpakkingen daarin spelen, zowel in de problematiek als in mogelijke oplossingen, ontwikkelt zich daarbij voortdurend. Een belangrijk uitgangspunt is dat verpakkingen op zichzelf niet per se duurzaam zijn, maar wél kunnen bijdragen aan een duurzamere product verpakkingscombinatie, met name doordat ze bederf en voedselverspilling helpen voorkomen.

De productieketens van verpakte producten zijn vaak internationaal en complex, terwijl de afvalverwerking- en recyclingketens vaak lokaal zijn vormgegeven. Hierdoor is duurzaamheid situationeel; het hangt af van lokale voedselverspillingspercentages en de beschikbare afvalbeheersinfrastructuur. Bovendien wordt de milieu-impact van verpakkingen door verschillende actoren, zoals bedrijven, burgers en overheid, beïnvloed.

De urgentie van de drievoudige planetaire crisis is groot, waardoor de vraag naar duurzame verpakkingen blijft toenemen. Het is daarom belangrijk om snel en zorgvuldig in beeld te brengen welke impact verpakkingen hebben en daarbij oog te houden voor de complexiteit. Om hierbij te helpen, stellen wij een

Een duurzame verpakking:



Biedt maximale productbescherming, wat zich vertaalt in minimale voedselverspilling of productuitval, door het uitvoeren van houdbaarheidstesten en een beoordeling van de verpakkingssterkte.



Heeft minimale impact op de drievoudige planetaire crisis, wat inzichtelijk gemaakt kan worden met:

- Een analyse van de impact op klimaatverandering (GWP-100) uitgevoerd met actuele gegevens van de voedselverspilling en lokale recycling en afvalverwerking aangevuld met
- Een indicator voor planetaire vervuiling en,
- Een indicator voor biodiversiteitsverlies



Balanceert de sociale en economische voor- en nadelen voor burgers en andere economisch betrokkenen, zodat deze voldoende in evenwicht zijn. Dit kan kwalitatief in kaart gebracht worden door de effecten te scoren op een Likert-schaal.

Al deze aspecten kunnen worden weergegeven in een hand- en voetafdrukkenkaart.

holistische definitie van duurzaam verpakken voor, aangevuld met praktische handvatten om duurzaamheid te beoordelen.

Verschillende betrokkenen rond verpakkingen, zoals verpakkende bedrijven, overheid, maatschappelijke organisaties en brancheorganisaties, hanteren hun eigen definities van 'duurzaam verpakken'. Dat is logisch: ze kijken vanuit verschillende rollen en perspectieven, op uiteenlopende niveaus (van een individuele verpakking tot alle verpakkingen en van losse verpakking tot de gehele product verpakkingscombinatie) en verschillen daarmee in hoe concreet of tijdig hun oplossingen moeten zijn. De door ons voorgestelde holistische definitie biedt een richting voor toekomstige verpakkingsinnovaties en helpt beleidsmakers bij het ontwikkelen van een integraal verpakkingsbeleid. De kennis en praktische handvatten in dit naslagwerk helpen vervolgens bij de ontwikkeling van duurzame verpakkingen.

Inleiding

Verpakkingen spelen een cruciale rol in onze moderne samenleving: ze beschermen voedsel en producten tijdens transport, bieden gemak en dragen bij aan communicatie. Maar verpakkingen veroorzaken ook milieuproblemen, zoals de uitstoot van broeikasgassen tijdens productie en afvalverwerking, en vervuiling van onze leefomgeving door zwerfafval. Het verpakken van levensmiddelen en producten kan duurzamer waarbij het belangrijk is te zoeken naar de manieren om dit zo goed mogelijk te realiseren.

Dit naslagwerk bundelt de huidige kennis over duurzamer verpakken in een helder overzicht. Als een bedrijf zijn verpakking wil veranderen, of een alternatief overweegt, is het belangrijk te weten hoe de alternatieven presteren op verschillende vlakken van duurzaamheid. Ook in de ontwikkeling van nieuw beleid, of als er nieuwe inzamel-, hergebruik- en recyclingmethoden worden geïntroduceerd is het relevant om te kunnen beoordelen hoe dit bijdraagt aan een duurzamer productie, gebruik of verwerking van verpakkingen. Daarom biedt *Duurzaam Verpakken*, naast een overzicht van kennis, ook een holistische definitie van duurzaam verpakken die richting geeft aan deze afwegingen en concrete handvatten om voor het in kaart brengen hiervan.

Deze gids helpt verpakkingsontwikkelaars op weg naar verduurzaming en geeft verwijzingen naar relevante bronnen voor wie dieper in dit thema wil duiken. Daarnaast is het ook bedoeld voor studenten, managers, beleidsmakers en burgers die geïnteresseerd zijn in duurzamer verpakken.

Duurzaam Verpakken definieert een verpakking als “een object dat een product bevat en beschermt, dat gevuld is met dat product op het moment van verkoop en leeg wordt weggeworpen” in overeenstemming met de Europese richtlijn 2004/12/EU [1].

Allereerst wordt beschreven hoe het begrip “duurzaamheid” en de vertaling naar een “duurzame verpakking” zich door de jaren heen ontwikkeld heeft (Hoofdstuk 1). Daarna schetsen wij de context van het gebruik van verpakkingen in Nederland en geven we een overzicht van het huidige verpakkingsafvalbeleid (Hoofdstuk 2).

Vervolgens bespreken we hoe de duurzaamheid van een verpakking kan worden beoordeeld en welke aandachtspunten daarbij belangrijk zijn (Hoofdstuk 3). Op basis van de kennis en perspectieven uit de voorgaande hoofdstukken is een holistische definitie van duurzaam verpakken opgesteld. Deze definitie wordt aangevuld met handvatten voor het in kaart brengen van duurzaam verpakken en concrete voorbeelden van de betekenis van deze definitie voor de verschillende verpakkingsmaterialen (Hoofdstuk 4).

Aansluitend wordt nagegaan wat betrokkenen (verpakkende industrie, verpakkingsbedrijven, retail, wetgever, uitvoeringsorganisatie van de producentenverantwoordelijkheid ten aanzien van verpakkingsafval en milieuorganisaties) verstaan onder een “duurzame verpakking” en reflecteren we op de accenten die zij leggen ten opzichte van de holistische definitie van duurzaam verpakken (Hoofdstuk 5). Uiteindelijk sluiten we af met een vooruitblik op de toekomst (Hoofdstuk 6).

A collection of 20 blue line-art icons on a white background, representing various environmental and waste management concepts. The icons include: a recycling symbol, a factory with smoke, a fish, a coin, a recycling symbol, a leaf, a globe, two trash bags, a trash can, a butterfly, a fork and knife, a bottle, a can, clouds, a recycling symbol, a leaf, a fruit, a trash can, a recycling symbol, a leaf, and a globe.

A collection of 20 blue line-art icons on a white background, representing various environmental and waste management concepts. The icons include: a recycling symbol, a factory with smoke, a fish, a coin, a recycling symbol, a leaf, a globe, two trash bags, a trash can, a butterfly, a fork and knife, a bottle, a can, clouds, a recycling symbol, a leaf, a fruit, a trash can, a recycling symbol, a leaf, and a globe.

1. De ontwikkeling van de definitie van duurzaamheid en duurzame verpakkingen

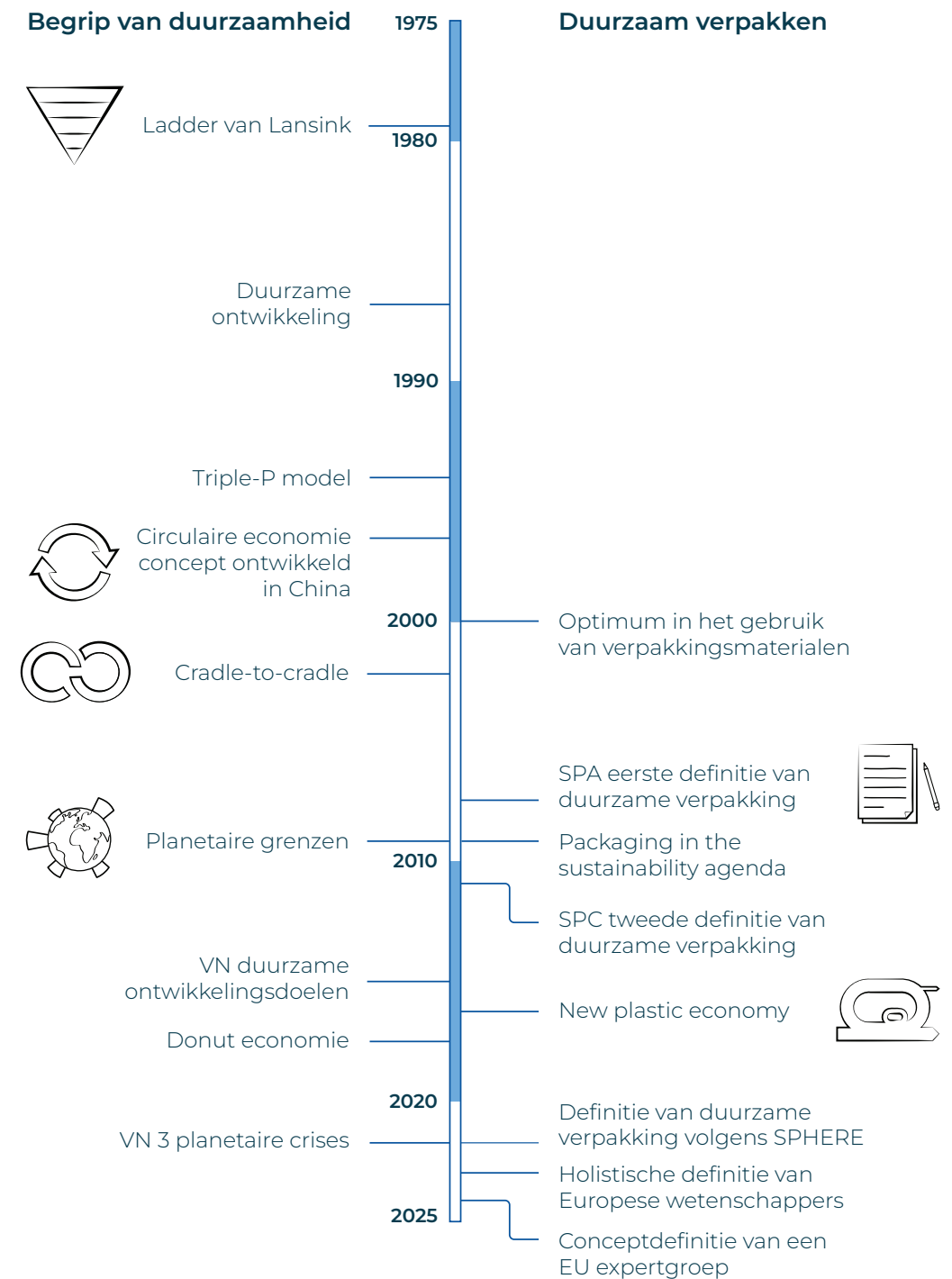
Het begrip duurzaamheid ontstond al eeuwen geleden in een periode waarin mensen vaak met schaarste te maken hadden. De houtvester Hans Carl von Carlowitz legde in 1707 het verband tussen het houtgebrek in het Koninkrijk Saksen en de te grote houtkap. Hij stelde voor om jaarlijks niet meer hout te kappen dan dat er kon terug groeien in een jaar. Hij pleitte dus voor terughoudendheid (*Nachhaltigkeit*) en was daarmee de grondlegger van het begrip duurzaamheid [2].

De aandacht voor milieuproblematiek en de opkomst van milieubewegingen nam pas echt toe eind jaren zestig en begin jaren zeventig van de vorige eeuw. De begrippen “duurzaamheid” en “duurzame verpakkingen” hebben sindsdien met de jaren een steeds rijkere invulling en betekenis gekregen. De evolutie van deze begrippen door de jaren heen is samengevat in Figuur 1, waarin de belangrijkste mijlpalen van de afgelopen 50 jaar zijn weergegeven. Hieronder geven we een overzicht van deze mijlpalen, aangevuld met een korte toelichting.

In 1972 stelde een groep wetenschappers, beleidsmakers en zakenmensen genaamd de *Club van Rome* dat als de bevolking en industriële productie zo zouden blijven groeien, er problemen zouden ontstaan met milieuvervuiling en de uitputting van grondstoffen. Hun rapport genaamd “The limits to growth” had grote invloed op het milieubewustzijn [3].

In 1979 pleitte het Tweede Kamerlid Ad Lansink middels een motie voor een zekere voorkeursvolgorde in het verwerken van afvalstoffen. Deze werd in 1993 opgenomen in de Nederlandse wet milieubeheer en in 2008 in de kaderrichtlijn afvalstoffen [4]. Deze voorkeursvolgorde staat in Nederland bekend als de ladder van Lansink [5], in Europa als de “waste hierarchy”. Meer recent is de term *R-ladder* in zwang geraakt. Hiervan heeft Potting in 2017 een vrij uitgebreide variant voorgesteld [6].

In 1987 definieerde de Noorse premier Gro Harlem Brundtland *duurzame ontwikkeling* als: “Een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie, zonder daarbij de behoeften van de toekomstige generaties in gevaar te brengen” [7]. In datzelfde rapport benadrukte zij ook het belang van het beschermen van onze natuurlijke omgeving: “Het verlies van planten- en diersoorten kan de mogelijkheden voor toekomstige generaties sterk beperken; daarom vereist duurzame ontwikkeling het behoud van planten- en diersoorten.”

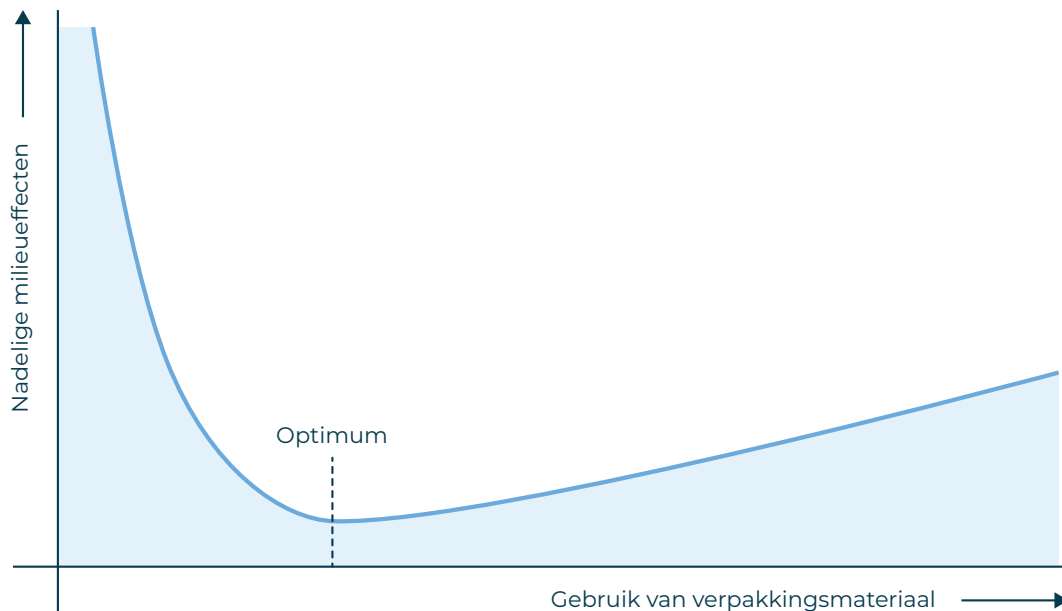


Figuur 1: Tijdlijn in de ontwikkeling van de begrippen duurzaamheid en duurzame verpakking over de laatste 50 jaar. SPA = Sustainable Packaging Alliance, SPC = Sustainable Packaging Coalition, SPHERE = Packaging sustainability framework developed by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

In 1994 betoogde de Britse auteur en ondernemer John Elkington dat duurzaamheid zowel een milieukundige, economische als sociale dimensie kent en dat waarachtige duurzaamheid alleen kan worden bereikt als alle drie dimensies verbeteren. Dit werd bekend als het *“triple P model: planet, profit, people”* [8].

Gedurende de jaren negentig van de vorige eeuw ontwikkelden Chinese onderzoekers het concept *“circulaire economie”* met als doel de economische groei te bevorderen en gelijktijdig minder afhankelijk te worden van de import van grondstoffen [9].

In 2000 betoogden Erlöv et al. dat er een optimum is in het gebruik van verpakkingsmaterialen, zie Figuur 2. Te weinig verpakkingsmateriaalgebruik leidt tot onnodig veel uitval en verlies en teveel verpakkingsmateriaal is overbodig [10].



Figuur 2: Het optimum in verpakkingsmateriaalgebruik; te weinig verpakkingsmateriaal leidt tot productuitval, te veel is overbodig materiaalgebruik, vrij naar [8].

In 2002 schreven Braungart en McDonough een invloedrijk boek *“Cradle to cradle, remaking the things we make”* waarin zij een krachtig pleidooi hielden voor het veranderen van de maakindustrie langs de R-ladder van reductie, hergebruik (“re-use”) en recycling [11]. Materialen moeten na gebruik weer een nieuwe bestemming vinden in nieuwe producten, via een technische- of de natuurlijke materiaalkringloop. Daarmee introduceerden ze het streven naar een meer circulaire economie in de Westerse wereld.

In 2007 schreef de Australische Sustainable Packaging Alliance (SPA) de *eerste definitie van het begrip “duurzame verpakking”* [12, 13]. Volgens deze Australische belanghebbenden moet een duurzame verpakking voldoen aan vier kenmerken. Zij stelden dat de verpakking:

1. Effectief moet zijn. De verpakking moet verspilling en productuitval tegengaan, functioneel zijn, minimaal materiaal gebruiken, lage operationele kosten en een gunstige terugverdiensijd kennen.
2. Efficiënt moet zijn. De verpakking moet een gunstige product-verpakkingsverhouding kennen, een laag gebruik kennen van energie, materiaal, water, gemaakt zijn van gerecycled materiaal en de hoeveelheid afval (dat in Australië voornamelijk gestort wordt) verminderen.
3. Cyclisch moet zijn. Dit betekent: hervulbaar, herbruikbaar, recyclebaar of biologisch afbreekbaar.
4. Onschadelijk of schoon moet zijn. De verpakking moet zo min mogelijk emissies naar lucht, water, bodem, broeikasgasemissies veroorzaken, geen toxische stoffen verspreiden en de vorming van zwerfafval tegengaan.

In 2009 lieten Rockström en collega's zien dat er *planetaire grenzen* zijn ten aanzien van de onomkeerbare impact die de mens teweeg brengt aan de planeet [14]. Sindsdien zijn er verschillende updates verschenen waarin deze methodologie verder wordt uitgewerkt, evenals publicaties die onze huidige positie ten opzichte van dit ecologisch plafond weergeven [15-18]. In 2017 introduceerde de econoom Kate Raworth het begrip *“donuteconomie”*, waarmee zij het ecologisch plafond (de planetaire grenzen) koppelde aan een sociaal fundament: het voorzien in de basisbehoeften voor iedereen [19]. De planetaire grenzen worden hierbij voorgesteld als buitenring van de donut en het minimumniveau van de menselijke behoeften als de binnenring van de donut.

Verder schreven in 2009 twee Europese organisaties die het verpakkende bedrijfsleven vertegenwoordigen (EUROPEN en ECR Community) een visie op de rol die verpakkingen spelen bij het verduurzamen van productie- en consumptieketens, genaamd: *“Packaging in the sustainability agenda”*. Hierbij benadrukken zij dat verpakkingen niet van zichzelf duurzaam zijn, maar dat ze wel kunnen helpen om een product of een productiewijze te verduurzamen. Hierbij gaan ze uitgebreid in op de vele facetten die in ogenschouw genomen moeten worden bij het verduurzamen van verpakkingsgebruik [20].

In 2011 breidde de Amerikaanse Sustainable Packaging Coalition (SPC) de definitie van duurzame verpakkingen verder uit waarbij ze meer oog had voor de *rol van hernieuwbare energie en materialen*. Volgens deze Amerikaanse SPC is een verpakking duurzaam als deze:

1. Een toegevoegde waarde heeft, veilig en onschadelijk is voor individuen en gemeenschappen tijdens de hele levensduur.

2. Voldoet aan prestatiecriteria en kostencriteria van marktpartijen.
3. Wordt gewonnen, geproduceerd, getransporteerd en gerecycled met duurzame energie.
4. Optimaal gebruik maakt van hernieuwbare en / of gerecyclede materialen.
5. Wordt geproduceerd met schone productietechnologieën.
6. Gemaakt is van materialen die onschadelijk blijven tijdens de hele levensduur.
7. Zodanig ontworpen is dat materialen en energie optimaal gebruikt worden.
8. Effectief teruggewonnen en gebruikt worden in of biologische of technische kringlopen.

In 2015 presenteerde de Verenigde Naties een agenda voor de periode 2015-2030 met **zeventien duurzame ontwikkelingsdoelen** ("Sustainable Development Goals") en 169 subdoelen, die door alle lidstaten zijn onderschreven [21]. Landen monitoren zelf hun voortgang ten aanzien van het halen van de duurzame ontwikkelingsdoelen. In Nederland houdt het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) dit bij [22].

In 2016 publiceerde de Ellen MacArthur Foundation *"The New Plastics Economy; rethinking the future of plastics"* [23]. Hierin pleiten de auteurs voor een grondige herziening van de gehele kunststofindustrie (van productie via gebruik tot aan afvalverwerking) met drie speerpunten: 1) het creëren van een markt voor afgedankt kunststof (via hergebruik en recycling), 2) het drastisch verminderen van de lekkage van kunststoffen naar de natuur en andere afgeleide effecten 3) het afkoppelen van het kunststofsysteem van ruwe aardolie als grondstof. Hoewel het rapport streeft naar een omwenteling van de gehele kunststofindustrie legt het de nadruk op kunststofverpakkingen, vanwege het grote marktaandeel en korte gebruiksduur, waardoor verpakkingen in het afval domineren.

In 2022 kwamen de duurzaamheidsdoelen op het gebied van milieu verder buiten bereik te liggen, en omschreven de Verenigde Naties de situatie als een **drievoudige planetaire crisis**: deze omvat dat klimaatverandering, planetaire vervuiling en biodiversiteitsverlies elkaar beïnvloeden en versterken [24].

Ook werden er in 2022 twee rapporten gepubliceerd met visies op de verduurzaming van het kunststof-systeem. Ten eerste publiceerde het **Renewable Carbon Initiative** een rapport waarin het oproept tot het zo snel mogelijk afkoppelen van ruwe aardolie en beginnen met het vervangen van fossiele kunststoffen door hernieuwbare koolstofbronnen - biomassa, koolstofafvang en -benutting (CCU) en recycling. De focus moet verschuiven naar nieuwe bio-gebaseerde kunststoffen die recyclebaar zijn en minder schadelijk zijn voor mens en milieu [25]. Ten tweede publiceerde **Systemiq** het *"Reshaping Plastics"* rapport waarin er wordt aangegeven dat een gelijktijdig samenspel van verschillende oplossingen nodig is om het Europese kunststofsysteem

meer circulair en koolstofneutraal te krijgen. Het gebruik zal moeten worden verminderd, mede door meer te hergebruiken, er moet minder kunststofafval worden gestort en verbrand, meer worden gerecycled (zowel mechanisch als chemisch) en een gedeelte zal vervangen worden door andere materialen. De recycling wordt vergemakkelijkt doordat er beter ontworpen, recyclebare kunststofobjecten op de markt worden gebracht [26].

Het World Business Council for Sustainable Development lanceerde in 2022 de **SPHERE**-checklist voor de ontwikkeling van duurzamere verpakkingen. Volgens SPHERE zijn verpakkingen duurzaam als er maximale circulariteit en een minimale voetafdruk wordt gerealiseerd, waarbij het gebruik van schadelijke chemicaliën wordt vermeden [27].

In 2023 kwam een groep Europese levensmiddeltechnologen met de navolgende **holistische definitie** van duurzame levensmiddelverpakkingen:

"Een duurzame levensmiddelverpakking is een geoptimaliseerde, gekwantificeerde en gevalideerde oplossing, die rekening houdt met een evenwicht tussen sociale, economische, ecologische en veilige toepassingen binnen de circulaire waardeketen, gebaseerd op de volledige levenscyclus van de voedsel-verpakkingscombinatie [28]."

In 2024 heeft de Europese expertgroep voedselcontactmaterialen een conceptdefinitie opgesteld van duurzame voedselcontactmaterialen (waaronder levensmiddelverpakkingen) [29], die hieronder is weergegeven:

"Voedselcontactmaterialen (VCM) dragen bij aan een duurzame ontwikkeling als zij de behoeften van de huidige generaties helpen te voldoen aan voldoende en veilige levensmiddelen en tegelijkertijd daarbij de behoeften van toekomstige generaties niet compromitteren."

VCM waardeketens kunnen binnen planetaire grenzen worden gebracht wanneer het gebruik van niet-essentiële VCM wordt tegengegaan en daarmee de vorming van afval wordt vermeden. Dit behelst een ingrijpende verandering over alle stadia van de levenscyclus (keuze en toepassing van grondstoffen en materialen, productie, ontwerp, marketing, gebruik, afdanking en uiteindelijke eindbestemming) om

de noodzakelijke functionaliteit en maximale circulariteit te verkrijgen met minimale negatieve gevolgen voor de volksgezondheid en het milieu.

Bovendien dragen duurzame VCM bij aan de ontwikkeling van duurzamere voedselproductie-systemen en de circulaire economie. Hierbij helpen ze om de emissies van de levensmiddelindustrie en transport te verminderen, voedselverspilling en voedselafval tegen te gaan, de opeenhoping van synthetische materialen en substanties in het milieu tegen te gaan en de transitie naar gezondere en duurzamere diëten te vergemakkelijken.



Deze tijdlijn laat zien hoe de begrippen “duurzaamheid” en “duurzame verpakking” zich door de jaren heen hebben ontwikkeld. Daarbij wordt duidelijk dat het complexe begrippen zijn met veel verschillende dimensies. Steeds vaker worden ze bovendien gekoppeld aan het sluiten van kringlopen, oftewel circulariteit.

Belangrijkste inzichten

- 1 De begrippen “duurzaamheid” en “duurzame verpakking” hebben in de afgelopen jaren een enorme ontwikkeling meegemaakt.
- 2 Centraal in de definitie van duurzaamheid zijn de volgende begrippen:
 - Een duurzame ontwikkeling voorziet in de behoeften van de huidige generatie, zonder daarbij de behoeften van de toekomstige generaties in gevaar te brengen.
 - De drie dimensies van duurzaamheid zijn: people, planet & profit.
 - We hebben momenteel te maken met een drievoudige planetaire crisis waarin klimaatverandering, planetaire vervuiling en biodiversiteitsverlies elkaar beïnvloeden en versterken.
- 3 Het begrip “duurzaamheid” wordt in toenemende mate gekoppeld aan het sluiten van kringlopen.
- 4 Het inzicht in de rol van verpakkingen op milieu, samenleving en economie groeit voortdurend en ontwikkelt zich tot een steeds gedetailleerder en verfijnder beeld.





Hoofdstuk 2

Levensmiddel- verpakkingen in de Nederlandse context

2. Levensmiddelverpakkingen in de Nederlandse context

Jaarlijks gebruikt elke Nederlander gemiddeld 180 kg verpakkingen. Deze gemiddelde hoeveelheid is in 2007 vertaald in de vuistregel dat gemiddeld genomen elke Nederlander 7 verpakkingen per dag opent [30], wat inmiddels mogelijk meer is maar geen recentere schatting kent. Dit aantal is niet verwonderlijk, want verpakkingen spelen een belangrijke rol in onze moderne maatschappij. In dit hoofdstuk belichten we de functies van verpakkingen, de Nederlandse verpakingsketens en het Nederlandse verpakingsafvalbeleid.

► 2.1 De functie van verpakkingen

Verpakkingen hebben een belangrijke functie in de moderne maatschappij. De 4 hoofdfuncties van verpakkingen zijn: beschermen, transporteren, verkopen en informeren.

1. De verpakking **beschermt** levensmiddelen tegen bederf, behoudt de kwaliteit en garandeert de voedselveiligheid van veel levensmiddelen. Daarmee voorkomen verpakkingen voedselverspilling en leveren een bijdrage aan de volksgezondheid. Aangezien de productie van de meeste levensmiddelen aanzienlijk meer milieu-impact veroorzaakt dan de productie van de bijbehorende verpakkingen, vormt de verpakking een belangrijke hefboom om de grotere milieunadelen van voedselverspilling te beperken. Tegelijkertijd maakt de beschermende functie van verpakkingen nieuw ontwikkelde “minimaal bewerkte verse producten” zoals fruitsalade, gesneden ijsbergsla, maaltijdsalades en belegde sandwiches mogelijk.
2. De verpakking is een **transportmiddel** dat het mogelijk maakt om producten te verhandelen. Het vormt daarmee een belangrijke pijler onder onze moderne, verstedelijkte en geglobaliseerde samenleving, waarbij levensmiddelen elders worden geproduceerd en via tussenhandelaren en winkels bij de burger terecht komen.
3. De verpakking **verkoopt** het product, waarmee het een cruciaal onderdeel van de marketing en het verkoopsucces vormt. Voor sommige producten is het belangrijk dat het product getoond kan worden en dat de verpakking dus transparant is. Producten die visueel minder aantrekkelijk ogen, worden daarentegen juist verkocht in een niet-transparante verpakking met een aantrekkelijk grafisch ontwerp.

4. De verpakking is een **informatiedrager** omtrent de voedingswaarde, de productherkomst, allergieën, houdbaarheid en alle andere wettelijk verplichte gegevens die op het product getoond moeten worden.

► 2.2 Het verpakte product als knooppunt van ketens

Producten worden verpakt omwille van de vier hierboven beschreven functies. Hiervan heeft de beschermfunctie een directe en belangrijke relatie met duurzaamheid. Verpakkingen kunnen immers de milieunadelen van producten verlichten door productuitval en voedselverspilling tegen te gaan. Een verpakking kan dus niet los van het product worden gezien. Daarnaast worden zowel levensmiddelen als verpakkingen in complexe, uitgebreide en vaak internationale ketens van bedrijven gemaakt. Na consumptie wordt het verpakingsafval verwerkt in een complex netwerk van recycling- en afvalbedrijven. In deze paragraaf schetsen we hoe deze ketens samenhangen.

Het verpakte product is onderdeel van een complex productienetwerk, waarbij geproduceerde levensmiddelen (uit landbouw en levensmiddelindustrie) samenkomen met verpakingsmiddelen (uit de metaal-, glas-, papier & karton- en kunststofindustrie). Via de handel wordt het verpakte product verkocht aan burgers die de lege verpakking vervolgens wegwerpen in één van de afvalbakken. Dat de meeste levensmiddelen worden geproduceerd in een complex netwerk van bedrijven is het meest duidelijk voor samengestelde producten als verse maaltijden en diepvriespizza's. Maar ook voor versproducten als kroppen sla en tomaten zijn er netwerken ontstaan van boeren, telers, veilingen, coöperaties, groothandels, verpakingsstations en transportbedrijven. De netwerken waarin verpakkingen geproduceerd worden zijn net zo complex. Typisch gaat dat minstens om een producent van het basismateriaal (bijv. plastic granulaat, aluminium op rol, of basispapier op rol). Vervolgens wordt dit in meerdere stappen en bij meerdere bedrijven verwerkt tot een verpakking (bijv. door papier van coating te voorzien, te bedrukken en de verpakking te vormen). Via groothandels en logistieke dienstverleners komen verpakkingen aan bij verpakkende bedrijven.

Ook voor het verwerken van het verpakingsafval is een keten van bedrijven verantwoordelijk. Deze keten begint bij de bedrijven die voor inzameling zorgen (afval-inzameldiensten, innamepunten voor statiegeld). Alle afvalsoorten oud-papier, PMD (Plastic verpakkingen, Metalen verpakkingen en Drinkpakken), glas, statiegeld en restafval kennen ieder een eigen keten van inzameldiensten, sorteerbedrijven, recyclingbedrijven en afvalverwerkers voor de reststromen.

De verschillende actoren in deze complexe ketens hebben allemaal een invloed op de duurzaamheid van de product-verpakkingscombinaties. Het levensmiddelbedrijf heeft een grote invloed op de milieu-impact van het verpakte product. Ten eerste bepaalt dit bedrijf hoe het levensmiddel wordt geproduceerd. Ten tweede kiest het ook de verpakking. Daarmee legt het bedrijf eigenlijk alle effecten vast die horen bij de productie en afvalverwerking van zowel het product als de verpakking, inclusief de invloed van de houdbaarheid op mogelijke verspilling. Daarnaast heeft ook de burger een forse invloed op de milieu-impact van het verpakte product. De burger bepaalt of de levensmiddelen op tijd gegeten worden en speelt daarmee een belangrijke rol in het verminderen van voedselverspilling en in het verlengde daarvan klimaatverandering. Verder kunnen burgers die wonen in gemeenten met gescheiden inzamelsystemen meehelpen aan het verlagen van de milieudruk van verpakte levensmiddelen door geleegde verpakkingen in de juiste afvalbak te werpen [31]. Daar staat tegenover dat het achteloos wegwerpen van gebruikte verpakkingen langs de weg, in sloten of grachten leidt tot de vorming van zwerfafval [32]. Dit is een vorm van planetaire vervuiling [33]. Ook de wetgever oefent een belangrijke invloed uit op de duurzaamheid van het verpakkingssysteem, bijvoorbeeld door minimumdoelstellingen te formuleren voor de inzameling van drankflessen, voor het percentage verpakkingen dat gerecycled moet worden, voor de toepassing van een aandeel recycalaat in verpakkingen en door het gebruik van zorgwekkende stoffen in verpakkingen te beperken.

De complexiteit van de verpakkingsketens wordt vaak pas opgemerkt als het fout gaat. Het is de ervaring van de auteurs dat bij terugroepacties waarbij de oorzaak in de verpakking ligt, er vaak maar één of hooguit twee schakels in de toevoerketen van een materiaal bekend zijn bij het verpakkende bedrijf en dat het uitzoeken van de feitelijke oorsprong van grondstoffen maanden kan duren en in toenemende mate ver buiten Europa ligt. Dit gebrek aan transparantie van veel toeleveringsketens heeft zijn weerslag op de zekerheid waarmee de duurzaamheid van verpakkingen kan worden geanalyseerd.

Al met al kan worden gesteld dat een verpakking op zichzelf niet per se duurzaam is, maar wel een belangrijke rol vervult binnen de complexe toeleveringsketens van diverse producten. Daarmee draagt de verpakking dus aanzienlijk bij aan de duurzaamheid van de volledige product verpakkingsketen.

► 2.3 Het Nederlandse verpakkingsafvalbeleid

We zijn steeds meer verpakkingen gaan gebruiken en daardoor is er in de loop der jaren ook steeds meer verpakkingsafval ontstaan. Het exacte totaal aantal verschillende verpakkingen dat op de Nederlandse markt gebracht wordt is onbekend. Vermoedelijk loopt dit aantal in de honderdduizenden tot miljoenen, aangezien de meeste supermarktketens al 25.000 verschillende producten op de markt zetten en er meerdere supermarktketens, bouwmarkten, kledingwinkels, tuinmarkten en online platforms zijn. Al deze winkelformules en online winkels brengen samen een heterogeen mengsel van zeer uiteenlopende verpakkingen op de Nederlandse markt, wat bijvoorbeeld duidelijk wordt bij de overslag¹ van verpakkingsafval, zie Figuur 3.



Figuur 3: Detailfoto van de overslag van gescheiden ingezameld Nederlands PMD-afval.
Foto: Ulphard Thoden van Velzen.

¹ Een overslag is een logistieke verzamelplaats van gescheiden ingezameld PMD afval afkomstig vaak van meerdere gemeenten en inzamelroutes. Vandaar uit wordt het PMD vervoerd naar sorteerinstallaties.

In reactie op de groeiende hoeveelheden verpakkingsafval en de daaraan verbonden gevolgen voor het milieu is er in de jaren negentig van de vorige eeuw verpakkingsafvalbeleid ontwikkeld. De eerste verpakkingsafvalrichtlijn van de Europese Unie stamt uit 1994 [34]. Hierin worden lidstaten verplicht beleid te ontwikkelen zodat verpakkingen die op de markt worden gebracht voldoen aan enkele essentiële eisen aangaande samenstelling en formaat, om verpakkingsafval in te zamelen en te recyclen en jaarlijks de behaalde recyclingpercentages te rapporteren. De doelstelling van de richtlijn was dat alle lidstaten tenminste 50% van hun verpakkingsafval zouden terugwinnen en tenminste 25% verpakkingsmateriaal zouden recyclen, met een minimum van 15% per verpakkingsmateriaal in het jaar 2000. Op basis van deze richtlijn ontwikkelde elke lidstaat haar eigen beleid, maakte een uitvoeringsorganisatie verantwoordelijk, stelde eigen recyclingdoelstellingen vast en berekende het behaalde recyclingpercentage voor de verpakkingsmaterialen op een eigen wijze. In 2004 volgde nog een herziening van deze richtlijn waarin het begrip “verpakking” helderder werd gedefinieerd en er per verpakkingsmateriaal specifieke recyclingdoelstellingen werden toegevoegd [1]. In 2008 volgde de kaderrichtlijn afvalstoffenbeheer [4] waarin de ladder van Lansink centraal staat en begrippen als “hergebruik”, “recycling”, “nuttige toepassing” en “einde afvalstatus” werden gedefinieerd. In 2018 werd deze verpakkingsafvalrichtlijn herzien [35] en werden er bindende minimale recyclingdoelstellingen per materiaal vastgesteld (Tabel 1). Daarna volgde in 2019 een implementatiebeslissing [36] waarin de rekenregels voor berekening van de recyclingpercentages werden vastgesteld.

Tabel 1: Europese en Nederlandse recyclingdoelstellingen voor de verschillende verpakkingsmaterialen in verschillende jaren zoals vastgelegd in de besluiten Beheer Verpakkingen 2021 en 2023 en Europese richtlijnen [37], genoemd worden de richtlijnen en het jaartal waarop de doelstelling betrekking heeft.

Materiaalklasse	EU 1994/62 en 2004/12	NL	EU		EU	
	2008		2018/825	NL	2018/852	NL
Materiaalklasse	2008	2024	2025		2030	
Papier en karton	60%	85%	75%	85%	85%	85%
Kunststof	25%	47%	50%	50%	55%	55%
Glas	60%	86%	70%	86%	75%	86%
Ferro-metalen	50%	94%	70%	94%	80%	94%
Aluminium		75%	50%	80%	60%	80%
Hout	15%	55%	25%	55%	30%	55%
Drankenkartons	n.v.t.	37%	n.v.t.	40%	n.v.t.	55%
Totaal	55%	73%	65%	74%	70%	74%

Het Europese milieuagentschap (EEA) rapporteert jaarlijks over de vorderingen in het behalen van de doelstellingen door de lidstaten. In 2023 meldde het EEA dat 10 van de 27 lidstaten de doelstellingen voor 2025 niet gaan halen [38].

Deze Europese richtlijnen (1994/62; 2004/12 en 2018/852) werden vertaald in het Nederlandse besluit beheer verpakkingen van 2006, 2020 en 2021 [39-42], dat in 2023 verder werd uitgebreid met een recyclingdoelstelling voor drankenkartons [42, 43], zie Tabel 1. De Nederlandse recyclingdoelstellingen liggen vaak hoger dan de Europese.

De gebruikte en gerecyclede hoeveelheden verpakkingen worden per materiaalsoort geregistreerd door Verpact, de uitvoeringsorganisatie voor het beleid rondom de uitgebreide-producentenverantwoordelijk (UPV)². Het Nederlandse resultaat voor 2024 staat in Tabel 2. Van alle verpakkingen die op de Nederlandse markt worden gebracht wordt per jaar 76% gerecycled [44, 45]. Daarnaast worden er ook veel verpakkingen hergebruikt, als deze worden meegerekend, dan worden in Nederland 88% van de verpakkingen gerecycled of hergebruikt [44, 45].

Tabel 2: Hoeveelheden verpakkingsmateriaal in kiloton per jaar die in 2024 op de Nederlandse markt gebracht zijn, de hoeveelheden die gerecycled zijn en de behaalde recyclingpercentages (gewichtpercentages) [44, 45].

Materiaalklasse	Totale hoeveelheid op de markt gebracht in 2024 [kton/j]	Hoeveelheid gerecycled in 2024 [kton/j]	Behaalde recycling- percentage, [%]
Papier en karton	1421	1262	89
Kunststof	534	262	49
Glas	495	387	78
Ferro-metalen	150	146	97
Aluminium	47	40	84
Hout	621	383	62
Totaal	3268	2480	76
Waarvan drankenkartons	49	23	46

2 Een uitgebreide producenten-verantwoordelijkheidsorganisatie (UPV) is een organisatie die producenten helpt om collectief te voldoen aan wettelijke eisen. In Nederland is Verpact de organisatie die formeel rapporteert over verpakkingen. In België is dat Fost-Plus. Zij organiseren de inzameling, regelen de sortering en recycling en administreren dit. Verder proberen zij bedrijven te verleiden om beter recyclebare verpakkingen te maken en geven zij voorlichting.

In 2019 vaardigde de Europese Commissie de Single Use Plastic Directive (SUPD) uit [46]. Deze richtlijn werd in Nederland omgezet in het Besluit “kunststofproducten voor eenmalig gebruik” van 2021 [47] en de Regeling “kunststofproducten voor eenmalig gebruik” van 2022 [48]. In dit besluit worden verschillende zaken geregeld, onder andere:

- Verboden voor enkele kunststofartikelen die veel in zwerfafval worden aangetroffen,
- Kosten voor het opruimen van zwerfafval moeten betaald worden door de producenten,
- Verplicht inzamelpercentage voor kunststof drankflessen: 90% vanaf 2022,
- Verplicht minimaal aandeel gerecycled PET in PET-flessen: 25% in 2025 en 30% recycalaat in alle kunststof flessen in 2030,
- Verplichte markering van objecten die kunststof bevatten.

Begin 2025 publiceerde de Europese Commissie de verpakking en verpakkingafvalverordening (PPWR) [49]. De PPWR streeft naar het verminderen van het verpakkinggebruik en het bevorderen van de circulaire economie voor verpakkingmaterialen en hanteert hierbij verschillende beleidsmiddelen, zoals verdergaande inzetverplichtingen van recycalaat, hergebruiksverplichting, reductie-doelstellingen en verboden.

Voortkomend uit Europese wetgeving is in Nederland een wijziging voorgesteld in de Wet milieubeheer, bekend als de Nationale Circulaire Plastic Norm (NCPN). Deze zou plasticverwerkers in Nederland verplichten om vanaf 2027 een minimumpercentage recycalaat en/of biobased plastic te gebruiken in de kunststoffen die ze voor de Nederlandse markt produceren, startend met ca. 15% en oplopend naar 25-30% in 2030. Dit voorstel, wat een veel bredere groep producten zou treffen dan verpakking-specifieke wetgeving zoals de PPWR, is uiteindelijk niet omgezet in nieuwe regelgeving. De PPWR is inmiddels van kracht en schrijft vanaf 2030 het gebruik van minimumpercentages recycalaat voor.

Zowel het Europese als het Nederlandse beleid zijn vanaf ongeveer 2015 ingekleurd door het streven naar een circulaire economie voor materialen, wat in Europa werd vormgegeven in het zogenoemde “Circular economy action plan” [50] en in Nederland met het VANG (van afval naar grondstof) huishoudelijk afvalbeleid (2015-2025) [51]. In het Nederlandse VANG huishoudelijk afvalbeleid ligt de focus op het verminderen van de hoeveelheid restafval per persoon per jaar (naar minder dan 100 kg/pp.pj) en het gelijktijdig vergroten van de hoeveelheid gescheiden ingezamelde materialen (GFT, oud-papier & karton, PMD, glas, textiel, etc.) zodat er een scheidingspercentage van 75% gehaald zou worden. In 2020 haalde 15% van de gemeenten het restafvaldoel en 31% van de gemeente het scheidingsdoel [51].

De nationale en Europese wetgeving laat daarmee een duidelijke ontwikkeling zien. Aanvankelijk (1994) werden er alleen recyclingdoelstellingen gesteld voor alle verpakkingen. Later werd gespecificeerd wat een verpakking is (2004), kwamen er recyclingdoelstellingen per materiaal (2004), werd verduidelijkt wat recycling is (2008) en hoe een recyclingpercentage moet worden gemeten (2019). Toen bij de beleidsmakers duidelijk werd dat het stellen van recyclingdoelstellingen niet leidt tot minder afvalproductie en zwerfafval, kwam er gedetailleerder beleid (SUPD, PPWR) met verboden, inzameldoelstellingen en recycalaat-inzetverplichtingen.

Belangrijkste inzichten

- 1 Verpakkingen hebben vier hoofdfuncties: beschermen, informeren, verkopen en transport mogelijk maken.
- 2 De productieketens van verpakte producten en de recyclingketens van verpakkingafval zijn ingewikkeld en er zijn veel verschillende actoren bij betrokken, die allemaal een invloed hebben op de duurzaamheid van de product-verpakkingscombinatie.
- 3 De complexiteit van het verpakte product wordt verder vergroot doordat steeds meer levensmiddelen en materialen uit het buitenland komen. Verpakkingen zijn op zichzelf niet per se duurzaam, maar ze kunnen wél bijdragen aan een duurzamere product-verpakkingscombinatie.
- 4 We gebruiken veel verpakkingen: elke Nederlander verbruikt per jaar gemiddeld 180 kg verpakkingen per jaar, en daarmee produceren we veel en een heterogene mix aan verpakkingafval.
- 5 Sinds circa 30 jaar geleden is er verpakkingafvalbeleid en eist de Nederlandse overheid dat doelpercentages van verpakkingmaterialen worden gerecycled. Dit beleid is in de afgelopen 10 jaar snel uitgebreid en vanaf 2030 moeten kunststof verpakkingen deels gemaakt zijn van recycalaat.



Hoofdstuk 3

Het analyseren van duurzaamheid

3. Het analyseren van duurzaamheid

Met de toenemende aandacht voor milieuproblematiek en de verdere invulling van het begrip duurzaamheid groeide ook de behoefte om duurzaamheidseffecten meetbaar te maken. Al in de jaren tachtig is een start gemaakt het met opstellen van methoden duurzaamheid te kwantificeren en tot op de dag van vandaag zijn deze methoden nog volop in ontwikkeling. In dit hoofdstuk bespreken we de kwantificering van milieueffecten, sociale en economische effecten, en circulariteit.

► 3.1 Kwantificeren van milieu-impact (LCA)

De standaardmethode om milieueffecten van een product (verpakking) of dienst in kaart te brengen is de levenscyclusanalyse (LCA). Zoals de naam al weergeeft wordt in deze methode systematisch de gehele levenscyclus van een product (verpakking) meegenomen, van extractie van de grondstoffen tot en met hergebruik en/of afvalverwerking. De basis voor deze methode werd in de jaren tachtig van de vorige eeuw gelegd en vervolgens stapsgewijs verder uitgebouwd. Inmiddels is de basismethode vastgelegd in verschillende ISO-standaarden met als basis de ISO 14040 en ISO 14044 standaarden [52, 53] en ISO 14067 voor het bepalen van de “global warming potential” (GWP-100) [54]. Daarentegen vinden er nog steeds aanpassingen en toevoegingen op de LCA methodiek plaats.

Basismethode LCA

Een LCA volgt standaard een viertal stappen, die ervoor zorgen dat de analyse op een duidelijke, reproduceerbare en systematische wijze wordt uitgevoerd. Deze stappen zijn achtereenvolgens: 1. de definitie van het doel en reikwijdte, 2. de levenscyclusinventarisatie (LCI), 3. de levenscyclus-impact-analyse (LCIA) en 4. de interpretatie.

1. Als eerste stap wordt het doel van de LCA gedefinieerd. Met het vastleggen van het doel worden ook de functionele eenheid, systeemgrenzen, de doelgroep en keuze voor allocatiemethoden vastgelegd.
2. Als tweede stap in een LCA wordt voor elke fase in het leven van een product of dienst nagegaan hoeveel grondstoffen er worden onttrokken, hoeveel energie, water en materiaalgebruik er nodig is en hoeveel afvalstoffen er worden geproduceerd. Voor alle afvalstromen worden de emissies gekwantificeerd. Deze boekhouding van grondstofonttrekking en veroorzaakte emissies per levensfase vormt de LCI.

3. Als derde stap worden de data gekarakteriseerd en genormaliseerd naar impactcategorieën. Afhankelijk van de gekozen impact assessmentmethode worden deze impactcategorieën apart bestudeerd, of middels weegfactoren omgezet naar één milieuscore. De navolgende impactcategorieën (ook wel indicatoren genoemd) worden berekend: klimaatverandering, effect op de ozonlaag, eutrofiëring, verzuring, humane toxiciteit (kanker en niet-kanker gerelateerd), ecologische toxiciteit, ioniserende straling, uitputting van abiotische grondstoffen, waterverontreiniging, fotochemische ozonvorming, luchtverontreiniging, landgebruik, watergebruik [55]. Een volledige LCA berekent de milieueffecten op alle relevante impactcategorieën en brengt daarmee de wisselwerking tussen deze effecten in beeld. Vaak blijkt een verpakkingsoptie beter in één impactcategorie te scoren en slechter in een andere impactcategorie; er is dan sprake van een zogenoemde “trade-off” tussen de verschillende milieueffecten.
4. Als laatste stap worden de resultaten beoordeeld, gecombineerd en worden hieruit conclusies getrokken. Soms is het noodzakelijk om hierbij een gevoeligheidsanalyse te doen op de aannames, impact assessmentmethode of allocatiemethoden. De LCA maakt inzichtelijk welke milieueffecten van een product of dienst dominant zijn en geeft richting aan de beheersmaatregelen om deze effecten te verminderen. De Europese commissie streeft naar harmonisatie van deze voetafdrukken en standaardiseert de methode om een milieuvoetafdruk van een product (Product Ecological Footprint, PEF) te berekenen [56].

LCA van verpakkingen

Voor het uitvoeren van een goede LCA van een verpakking is het noodzakelijk dat er voldoende betrouwbare meetgegevens over de levenscyclus van het verpakte product verzameld worden en dat de juiste methoden gevolgd worden voor de definitie van de functionele eenheid en allocatie van impacts. Hieronder volgt een lijst van de benodigde, actuele gegevens die zouden moeten worden verzameld voor het uitvoeren van een goede LCA.

- Gegevens over het materiaal, gewicht en productiemethode van verpakkingscomponenten, inclusief eventuele additieven,
- Gegevens over het levensmiddel in de verpakking (welk levensmiddel, inhoudsmaat, etc.),
- Niveau van voedselverspilling in de onderzochte verpakkingsvarianten,
- Transportbewegingen die met de verpakking worden afgelegd,
- Verdelingscoëfficiënten van afgedankte verpakkingen over de afvalverwerking en recyclingsystemen,
- Emissiefactoren van levensmiddel, verpakkingsmaterialen, productiemethoden en afvalverwerking, berekend met de emissiefactoren van de lokale energiemix.

Voor al deze data geldt dus dat er bij voorkeur meetgegevens van het verpakte product worden gebruikt en, als deze niet voorhanden zijn, er zo zorgvuldig mogelijk gezocht wordt naar representatieve gepubliceerde gegevens. Op basis van onze ervaringen met deze analyses zijn er vier aandachtspunten waarmee bij een verpakings-LCA rekening moet worden gehouden. Deze worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

Aandachtspunt 1:

Gegevens over de product-verpakingscombinatie

Voor het uitvoeren van een LCA van verpakkingen moet de samenstelling van de verpakking en de inhoud van de verpakking worden vastgelegd. Hierbij is het vooral belangrijk op de juiste manier de functionele eenheid van de analyse te kiezen, en voedselverspilling, samenstellingsgegevens verpakkingen en verdelingscoëfficiënten van afgedankte verpakkingen goed in kaart te brengen.

Functionele eenheid

Aangezien de belangrijkste hoofdfunctie van de verpakking het behouden van een voedingsmiddel of product is, is het van belang dat de analyse gedaan wordt voor de gehele product-verpakingscombinatie. De functionele eenheid van een verpakking zal ook vaak de relatie met het product vertegenwoordigen, bijvoorbeeld “het beschermen en bevatten van 400 ml soep”, of het “verpakken van 1 kg tomaten”. De functionele eenheid kan de inhoudsmaat van de verpakking zijn, maar in het geval dat verschillende verpakkingen met verschillende inhoudsmaat met elkaar vergeleken worden is het logischer een algemene maat te nemen, en via de functionele eenheid het verpakkingsgewicht per kilogram of liter product te verdisconteren.

Voedselverspilling

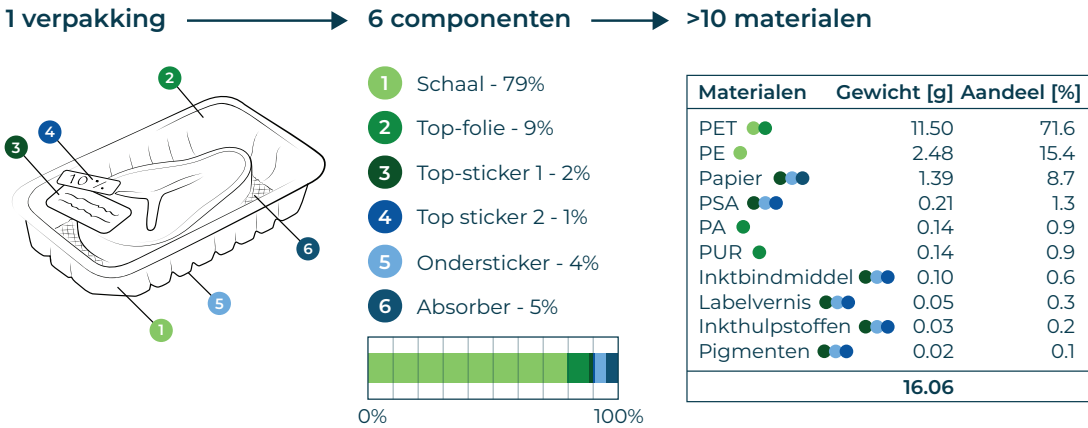
Levensmiddelverpakkingen beschermen het levensmiddel tegen bederf en hoe beter ze dat doen, des te minder levensmiddel er weggegooid hoeft te worden. Deze relatie tussen voedselverspilling en de verpakking kan worden meegenomen in de analyse, als de functionele eenheid de relatie met het product omschrijft en de daadwerkelijke consumptie wordt meegenomen. Wanneer er meer van een product verspild wordt, moet er in totaal meer van deze product-verpakingscombinatie geproduceerd worden om aan de consumptiebehoefte te voldoen. Door de functionele eenheid uit te breiden met deze consumptie, bijvoorbeeld “het consumeren van 400 ml soep” of “het consumeren van 1 kg tomaten”, wordt voedselverspilling meegenomen binnen de systeemgrenzen van de analyse. Omdat levensmiddelen in de regel aanzienlijk meer milieueffect vertegenwoordigen dan verpakkingen [57, 58] werkt een klein effect op de voedselverspilling hard door in het milieueffect van het verpakte product. Vaak, maar zeker niet altijd, blijkt dat een verpakking die beter beschermt en minder verspilling veroorzaakt, uiteindelijk leidt tot een

lagere milieu-impact. Wanneer je echter alleen naar de verpakking zelf kijkt, scoort zo'n beter beschermende verpakking, die vaak wat zwaarder is of minder goed recyclebaar, juist slechter op milieueffecten.

Veel studies van verpakte levensmiddelen nemen het effect van de verspilling niet mee in hun analyses, omdat de verspillingsdata niet (openbaar) beschikbaar zijn [59, 60]. Wanneer deze gegevens wel beschikbaar zijn en meegenomen worden in de analyse hebben deze doorgaans een groot effect op de uitkomsten [61, 62]. Dit blijkt vooral uit gegevens die bekeken zijn op een wereldwijde schaal: het voedselsysteem veroorzaakt grofweg een derde deel van de broeikasgasemissies [63] en de verpakking neemt hiervan slechts een klein deel voor haar rekening [57].

Samenstellingsgegevens verpakkingen

Verpakkingen zijn schijnbaar eenvoudige objecten, maar bijna alle verpakkingen bestaan uit verschillende componenten die weer uit een veelvoud van materialen bestaan, zie Figuur 4 [64, 65]. Deze materialen bestaan weer uit verschillende stoffen. Daarbij worden in het verkoopproces vaak prijsstickers of reclame-uitingen op de verpakking geplakt. Volgens de ISO-standaard moeten al deze materialen meegerekend worden, wat echter niet gebruikelijk is in de praktijk. Uit een recente overzichtsstudie blijkt dat de meerderheid van de LCA's van kunststof(verpakkingen) de additieven niet meeneemt in de berekeningen [66]. Eén van de redenen hiervoor is dat in de belangrijkste databases (zoals Ecoinvent) de data over deze materialen en/of chemicaliën ontbreken [67]. Uit de resultaten van studies die additieven wel hebben meegerekend, blijkt dat deze forse en zeer diverse milieueffecten hebben, wat de noodzaak herbevestigt om deze additieven mee te nemen in de analyse [66].



Figuur 4: Een alledaagse vleesverpakking bestaat uit 6 componenten die samen uit meer dan 10 materialen en materiaalgroepen bestaan.

Verdelingscoëfficiënten afgedankte verpakkingen

In de levenscyclusanalyse wordt ook de afvalverwerking van de verpakking meegenomen. Hierbij is het van belang dat de juiste verdelingscoëfficiënten van afgedankte verpakkingen over verschillende afvalbakken (PMD, oud-papier, glas, rest) en sorteer- en recycling-efficiënties worden gebruikt. Een belangrijk aandachtspunt is dat de kennis over deze verdelingscoëfficiënten vaak ontbreekt of dat de exacte sorteerverdelingen onbekend zijn. Dit dwingt onderzoekers om te rekenen met algemene verdelingen die ooit zijn bepaald voor een bepaalde stad of regio, of met uitersten in scenario's waarin wordt verondersteld dat alles in één bak terechtkomt. Aanvullend komt nog een klein en vaak onbekend deel in het zwerfafval terecht. Een deel hiervan wordt vervolgens nog opgeruimd door reinigingsdiensten, vrijwilligers of afgescheiden in waterzuiveringsinstallaties, de rest komt in de natuur terecht [33]. Het deel van de verpakkingen dat in de natuur terechtkomt is vaak onbekend en wordt dan op nul gesteld of er wordt een ingeschat percentage voor gekozen. Dit kan leiden tot een onderschatting van de planetaire vervuiling en de daarbij behorende milieueffecten die aan de verpakking moet worden toegerekend.

Aandachtspunt 2:

Betrouwbare emissiefactoren

De gegevens over de product-verpakkingscombinatie kunnen worden omgezet in een inschatting van de milieu-impact via karakterisering en normalisering naar impactcategorieën. Dit kan gedaan worden via emissiefactoren: een directe maat voor de impact van een materiaal, productiemethode of afvalverwerkingsstap, uitgedrukt in eenheden zoals per gram of per kilowattuur. Deze emissiefactoren kunnen vervolgens direct vermenigvuldigd worden met de hoeveelheid verpakkingsmateriaal of levensmiddel die nodig is voor het vervullen van de functionele eenheid.

Emissiefactoren van levensmiddelen

De productie van levensmiddelen in verschillende regio's in de wereld resulteert in verschillende emissiefactoren. Een voorbeeld hiervan is de tomaat, die zowel in de vollegrond als in de kas geteeld kan worden, met verschillende emissiefactoren tot gevolg [68, 69]. Als de productie op verschillende locaties plaatsvindt, moeten ook de milieueffecten van het transport in rekening worden gebracht. Lokaal geproduceerde levensmiddelen veroorzaken dus niet bij voorbaat minder milieueffecten; als centrale productie energie-efficiënt plaatsvindt, kan deze productiewijze juist minder belastend zijn [70]. Wanneer de LCA gericht is op het vergelijken van verschillende verpakkingen, kan worden volstaan met de keuze van een gemiddeld levensmiddel als voorbeeld, of kan gewerkt worden met een bandbreedte van de emissiefactoren voor een bepaald levensmiddel (laagste tot hoogste emissiefactor).

Emissiefactoren van verpakkingen

Ook de verschillen in de productie van verpakkingen en verpakkingsmaterialen resulteren in andere emissiefactoren. Zo is er een groot verschil in de emissiefactoren van energie-intensieve materialen en verpakkingen zoals metaal en glas, afhankelijk van de locatie en de lokale energiemix [71, 72]. Ook voor kunststoffen maakt het een groot verschil waar ze geproduceerd worden. Ook is er een fors verschil tussen de emissiefactor van Europees geproduceerd kunststof (waar de energiemix inmiddels een flink aandeel hernieuwbare energie kent) en kunststof geproduceerd in Azië (waar de elektriciteit voornamelijk met steenkool wordt opgewekt) [73]. Dit is relevant voor Europa omdat een groeiend aandeel van het nieuwe kunststof uit Azië en de VS komt. Bij het aandeel nieuwe kunststof uit de VS speelt nog een ander milieueffect, namelijk dat de fossiele aardolie of gas vaak door "fracking" uit de bodem wordt gehaald, waarbij veel milieuvervuiling ontstaat [74]. Dergelijke secundaire milieueffecten van het winnen van ruwe aardolie worden zelden tot nooit meegenomen in LCA-studies, omdat de emissiefactoren hiervan onbekend zijn.

Bij het maken van een LCA van een product-verpakkingscombinatie is het dus van belang dat goed gekeken wordt welke emissiefactoren gebruikt worden voor de verpakkingsmaterialen en productieprocessen en voor welke omstandigheden (en met welke energiemix) deze emissiefactoren bepaald zijn. Waar nodig kunnen gemiddelde emissiefactoren gebruikt worden of kunnen de emissiefactoren worden aangepast aan de omstandigheden die relevant zijn voor de specifieke verpakking die wordt geanalyseerd.

Aandachtspunt 3:

Vermeden emissies; het crediteren van circulariteit

Veel verpakkingen worden inmiddels in Europa ingezameld om te worden gerecycled. Uit die recyclingsystemen komen secundaire grondstoffen die in het beste geval weer gebruikt kunnen worden voor nieuwe verpakkingen (closed-loop) en in andere gevallen voor andere toepassingen (open-loop). Recyclingprocessen vergen energie, water en materialen en dat kan allemaal goed verdisconteerd worden in een LCA. Het verrekenen van de toepassing van de secundaire grondstoffen is daarentegen lastig. In het geval van closed-loop recycling hoeft er voor de volgende omloop minder virgin plastic te worden gebruikt, dat kan worden meegerekend als een vermeden emissie. Bij gesloten materiaalkringlopen mag deze aftrek uiteraard maar op één plaats in de keten gedaan worden: aan de grondstofzijde (vermeden emissie doordat er geen nieuw kunststof hoeft te worden ingezet), aan de recyclingzijde (vermeden emissie doordat er een nieuw product wordt gemaakt) of juist half-half [75]. Bij open-loop recyclingsystemen wordt er vaak met een kwaliteitsfactor gewerkt om het verlies aan kwaliteit te verrekenen [76, 77]. Om de crediteringswijze te

standaardiseren heeft de Europese Commissie voorgeschreven om de Circulaire Voetafdruk Vergelijking (CFF in de Engelstalige afkorting) te gebruiken. Dit is een complexe vergelijking waarvoor veel meetgegevens benodigd zijn. Daarom wordt er in veel LCA studies alsnog gekozen voor het alloceren van de recycling aan één van beide zijdes van de materiaalkringloop, of via half-half allocatie. Voor LCA's van verpakkingen is het belangrijk dat er een bewuste keuze gemaakt wordt voor een allocatiemethode die aansluit bij het doel van de studie, dat deze consequent wordt toegepast en dat deze goed wordt vastgelegd.

Aandachtspunt 4:

Ontbrekende data over belangrijke milieueffecten

Hoewel LCA een goed ontwikkelde methode is om milieueffecten te kwantificeren, varieert de beschikbaarheid van data sterk tussen de verschillende belangrijke impactcategorieën. Voor de impact op klimaatverandering zijn voor de meeste materialen en processen voldoende emissiefactoren bekend en kunnen daarmee dus redelijk betrouwbare berekeningen gemaakt worden. Voor andere belangrijke milieueffecten zoals planeetvervuiling en het verlies van biodiversiteit zijn er weliswaar rekenmethoden voorgesteld [78-80], maar ontbreekt de data waarmee dit kan worden omgezet in een milieu-impact. Hierdoor beperken de meeste LCA-studies van verpakkingen zich tot het berekenen van indicatoren waarvoor wel geaccepteerde methoden bestaan. Dit heeft als nadeel dat de *trade-offs* tussen de verschillende milieueffecten onvoldoende of niet in beeld komen en dat er op basis van deze onvolledige informatie gekozen kan worden voor schijnoplossingen (de zogenoemde *regrettable replacements*) [79].

De vorming van microplastics, bijvoorbeeld uit verpakkingsafval, is een voorbeeld van een milieueffect waarvoor op dit moment nog geen eenduidige berekeningswijze bestaat in LCA-studies. Wel werken verschillende onderzoekers aan de ontwikkeling hiervan [81, 82]. De exacte relaties tussen de aanwezigheid van microplastics, de menselijke gezondheid [83, 84] en ecologische toxiciteit [85] zijn nog niet bekend. Wel zijn er verontrustende aanwijzingen dat deze microplastics de hormoonhuishouding van mens en dier verstoren (door stoffen zoals weekmakers te verspreiden) [86] en het verlies van biodiversiteit versnellen [87]. Het bewijzen van relaties tussen deze plastic deeltjes en de toxische effecten wordt mede bemoeilijkt door grote analytisch-chemische uitdagingen [88], waardoor dit kennishiaat nog lang kan bestaan.

Absolute duurzaamheid

Een meer recente aanvulling in het domein van duurzaamheidsanalyse is het begrip “absolute duurzaamheid”. Dit begrip geeft invulling aan de wens om de uitkomsten van een LCA te toetsen aan de planetaire grenzen. In een absolute duurzaamheidsanalyse wordt niet alleen het milieueffect bepaald,

maar ook het budget berekend waarbinnen een product of systeem aan deze milieueffecten mag bijdragen om binnen het draagvermogen van de planeet te blijven. Vervolgens worden deze met elkaar getoetst om te bepalen in hoeverre het werkelijke milieueffect binnen het beschikbare duurzaamheidsbudget past. Alleen wanneer dit past kan er gesproken worden over daadwerkelijke duurzaamheid [89, 90].

► 3.2 Kwantificeren van sociale (S-LCA) en economische impact (LCC)

Net als bij de milieukundige dimensies van duurzaamheid, hebben ontwerpaanpassingen aan verpakkingen of systeemaanpassingen gevolgen voor de sociale en economische dimensies van duurzaamheid. Hierbij zijn de sociale gevolgen vaak minder eenvoudig te voorspellen, terwijl de economische gevolgen voor betrokkenen vaak heel precies door operationele wetenschappers en accountants kunnen worden berekend. Beide aspecten van duurzaamheid worden hieronder kort toegelicht.

Sociale impact van verpakkingen

Verpakkingen spelen een belangrijke rol in ons dagelijks leven en dragen op verschillende manieren bij aan de sociale impact, bijvoorbeeld door het scheppen van nieuwe werkgelegenheid, het faciliteren van mensen met een handicap, etc. [91, 92]. Deze sociale aspecten van een verpakking kunnen in kaart gebracht worden met de sociale LCA (S-LCA) volgens ISO 14075 [93, 94]. De sociale dimensie van duurzaam verpakking is op dit moment waarschijnlijk de meest lastige te kwantificeren dimensie, omdat het voornamelijk over kwalitatieve aspecten gaat [95]. Vaak worden deze aspecten gekwantificeerd door een score te geven op een scoreschaal. Op basis van onze kennis het verpakkingssysteem kunnen we een aantal belangrijke aspecten definiëren waarin verpakkingen een impact hebben op de sociale dimensie van duurzaamheid. Deze kunnen worden meegenomen in het scoren van de sociale impact van verpakkingen.

1. Verpakkingen zijn een smeermiddel van de materiële economie en vergemakkelijken de uitwisseling van goederen tussen partijen. In een moderne samenleving worden levensmiddelen centraal (efficiënt) geproduceerd, terwijl de consumptie bij de burgers thuis (decentraal, verspreid) plaatsvindt. Zodoende is een complex distributienetwerk nodig waarin levensmiddelen door verpakkingen worden beschermd. Daarmee dragen verpakkingen bij aan de voedselveiligheid van producten die via deze complexe distributienetwerken worden verspreid, en maken daarmee het moderne leven in onze verstedelijkte omgeving mede mogelijk. Dat wil

niet zeggen dat mensen niet zonder verpakkingen zouden kunnen leven, maar de wereld is te klein en de wereldbevolking te groot om iedereen als “jager-verzamelaar” te kunnen laten leven. Wel zouden mensen meer verse, onverpakte levensmiddelen kunnen kopen, hieruit zelf maaltijden bereiden en daarmee hun verpakkingsgebruik beperken. Dit vergt echter een aanpassing in het gedrag van mensen en niet iedereen is hiertoe in staat.

2. Verpakkingen verlengen de houdbaarheid van veel levensmiddelen. Ze beschermen levensmiddelen tegen microbiologische besmetting van buiten, geuroverdracht, insectenvraat, etc. Ook kunnen ze de groei van pathogenen remmen. Daarmee leveren ze een bijdrage aan de volksgezondheid.
3. Verpakkingen informeren de consument over het product dat ze bevatten. Producenten zijn namelijk verplicht om op de verpakking de volgende informatie te leveren volgens EU verordening 1169/2011: ingrediënten, allergenen, naam van de fabrikant, bewaaradvies, hoeveelheid, houdbaarheid en voor sommige levensmiddelen ook de herkomst [96]. Deze informatie over voedingswaarde en allergenen maakt het voor consumenten mogelijk om eetgewoonten, diëten te volgen en allergenen te vermijden.
4. Het gemak van gebruik van verpakkingen is in het bijzonder relevant voor mensen met fysieke beperkingen. Zo is het gemak van openen van verpakkingen van groot belang voor burgers met beperkte spierkracht in de handen. Ontwerpaanpassingen waardoor gemak van openen verminderd hebben dus gevolgen voor een kwetsbare groep burgers. Maar algemener wordt een makkelijk te openen verpakking sterk gewaardeerd door gebruikers [97].
5. Een andere sociale dimensie van verpakkingen gaat over wat er gebeurt zodra we ze weggooien. Het kan meer of minder moeite kosten om dit op de juiste wijze te doen. Daarnaast kan een individu dit afdanken of inleveren als prettig of juist als een extra inspanning ervaren. Het juist afdanken of bewaren om gescheiden in te leveren vereist vaak een inspanning en soms een gedragsaanpassing; daarmee is dit een sociaal aspect van de duurzaamheid van verpakkingen [98-100]. De mate waarin een verpakking op een juiste manier wordt afgedankt, heeft ook effect op het verworden tot zwerfafval. Veel mensen ondervinden visuele hinder van zwerfafval, daarnaast kan zwerfafval stinken, ongedierte aantrekken en andere vormen van overlast veroorzaken. Deze vormen van hinder kunnen effect hebben op de leefbaarheid en vormen zo ook een sociale dimensie van verpakkingen.
6. De aanschafintentie is ook een sociaal aspect van verpakkingen. Consumenten kunnen producten wel of niet kopen en de gepercipieerde

duurzaamheid van de verpakking speelt hierbij een rol, die echter voor de meeste consumenten kleiner is dan de prijs en kwaliteit van het product [101, 102].

7. Een laatste sociaal aspect van verpakkingen zijn de mogelijke terugkaatseffecten (*rebounds*) bij de verduurzaming van verpakkingen. Dit zijn lastig te voorspellen sociale gevolgen die de potentiële voordelen van aanpassingen aan verpakkingen of systemen (volledig) teniet kunnen doen of kunnen verminderen. Hiervan is de Jevons-paradox het meest bekend: in de negentiende eeuw steeg de consumptie van steenkolen juist doordat doelmatigheid van het gebruik toenam (waardoor de kosten afnamen). Een vergelijkbaar terugkaatseffect zou mogelijk ook in een circulaire economie kunnen optreden. Zo kunnen circulaire opties die leiden tot financiële besparingen bij huishoudens resulteren in stijgende consumptie [103, 104]. Maar ook een goede daad voor het milieu wordt soms aangegrepen om een mindere goede daad voor zichzelf te rechtvaardigen (bijvoorbeeld omdat ik afval scheid, mag ik best een keertje extra naar Barcelona vliegen). Dit effect staat bekend als ‘*moral licensing*’ [105]. Het omgekeerde kan ook plaatsvinden, al is dat, zover wij weten, nog niet beschreven, namelijk dat burgers geïnspireerd raken door het gebruik van een minder belastende verpakking ook hun gedrag aanpassen ten aanzien van andere belastende activiteiten (minder lang en heet douchen, minder vlees consumeren, etc.). Wel is er veel onderzoek gedaan en wordt er nog onderzoek gedaan naar het stimuleren van milieubewust gedrag van consumenten [106, 107].

Economische impact van verpakkingen

Voor de economische dimensie van duurzaamheid zijn er verschillende Life Cycle Costing (LCC) rekenmodellen ontwikkeld waarmee de prijs van een product of een dienst kan worden berekend [108, 109]. Hierbij kunnen alle indirecte kosten meegerekend worden, zoals de zogenoemde externaliteiten als milieukosten en afvalverwerkingskosten. Deze LCC berekeningen leveren een overzicht van de economische dimensie van duurzaam verpakken en geven daarmee een overzicht van de economische afwegingen in de gehele levenscyclus van het product. Dit soort analyses zijn echter nog niet gangbaar en bovendien worden de meeste LCC-studies opgesteld vanuit het perspectief van één enkele actor en ontbreekt het ketenperspectief [110]. Een kwantitatieve LCC-analyse van een verpakt product is bewerkelijk en niet in alle gevallen noodzakelijk. Voor een snelle inschatting van economische effecten van verpakkingsgebruik kan ook een kwalitatieve analyse volstaan, waarbij verwachte aspecten worden ingeschat en gescoord op een scoreschaal. Op basis van onze kennis het verpakkingssysteem kunnen we een aantal belangrijke aspecten definiëren waarin verpakkingen een impact hebben op de economische dimensie van duurzaamheid. Deze kunnen worden meegenomen in het scoren van de economische impact van verpakkingen.

1. De economische dimensie van duurzaam verpakken gaat over de opbrengsten en kosten van verpakkingengebruik: in hoeverre is het economisch aantrekkelijk om een duurzame verpakking te kiezen? Veel belanghebbenden hebben geïnvesteerd in productie- en distributiemiddelen die de levensmiddelproductie- en distributie mogelijk maken. Zo beschikken levensmiddelbedrijven over verpakkingsmachines die vele miljoenen euro's kosten, ontworpen zijn voor het omgaan met een specifiek type verpakking en te verpakken product, en lange afschrijvingstermijnen kennen. Bij het introduceren van nieuwe materialen of verpakkingen kunnen er problemen ontstaan omdat de bestaande machines hier niet goed op zijn afgestemd. Dit betekent dat deze machines moeten worden aangepast of vervangen, wat maakt dat sommige duurzame verpakkingoplossingen economisch niet gunstig zijn. Hierbij de kanttekening dat financiële prikkels, zoals subsidies of belastingen, ervoor kunnen zorgen dat dit soort economisch belemmeringen worden overwonnen.
2. De prijs van het verpakte product voor de eindgebruiker of burger is een relevante maat voor de economische duurzaamheid. Innovaties die leiden tot duurdere verpakte producten kunnen bijvoorbeeld een medeoorzaak zijn van inflatie.
3. De winstgevendheid van het bedrijfsleven (zowel het levensmiddel producerende als verpakking-producerende bedrijfsleven) is ook een relevant aspect van de economische duurzaamheid.
4. De introductie van nieuwe verpakkingen kan leiden tot nieuwe bedrijvigheid en tegelijkertijd ook tot een sanering van bestaande economische activiteiten. De balans van de toe- en afname van de economische bedrijvigheid is ook een maat voor de economische duurzaamheid.
5. Met een verschuiving in de bedrijvigheid verandert ook de werkgelegenheid. Ook hier kan de balans worden opgemaakt van de toe- en afname van de werkgelegenheid door de verpakkinginnovatie. Bij sommige verpakkinginnovaties die leiden tot de marktintroductie van nieuwe levensmiddelen kan dit een verrassend groot effect zijn, zoals we zagen bij de opkomst van de voorgesneden groente- en fruitproducten tussen 2000 en 2010 en de gestage doorgroei hierna. Tegelijkertijd kan de neergang van het aantal slagerijen in Nederland deels worden geweten aan de introductie van de beschermende atmosfeer verpakking voor vers vlees rond de millenniumwisseling [111], waardoor een groter aandeel van het verse vlees via de supermarkten werd verkocht. De balans van de werkgelegenheid van een verpakkinginnovatie is dus ook een belangrijk aspect van de economische duurzaamheid en relateert ook aan de sociale duurzaamheid van de verpakking.

6. De veranderingen in economische bedrijvigheid en werkgelegenheid beïnvloeden ook de verwachte belastinginkomsten van de betrokken overheid. Deze inkomsten kunnen worden meegerekend in de beoordeling van de economische duurzaamheid van de verpakking.

Naast de bovengenoemde aspecten van economische duurzaamheid, kunnen er andere aspecten relevant zijn bij specifieke cases. Zo kunnen bij de analyse van herbruikbare verpakkingen bijvoorbeeld operationele aspecten van groot belang zijn, zoals het managen van verpakkingspools [112, 113] en het minimaliseren van transportbewegingen voor retourtransporten [114]. Deze aspecten moeten dan ook worden meegenomen in de analyse van de milieu- en sociale impact.

► 3.3 Het kwantificeren van circulariteit

De mate van circulariteit van een product of verpakking kan worden gemeten met een circulaire prestatie indicator (CPI) die de mate uitdrukt waarin een product en/of verpakking in een materiaalkringloop wordt gehouden. Inmiddels zijn er tientallen verschillende CPI's in gebruik [115]. Veel indicatoren worden uitgedrukt in percentages waarin 100% als volledig circulair geldt [77, 116, 117]. Daarnaast hanteren sommige indicatoren numerieke scores waarbij de maximale score als volledig circulair geldt [118]. Die CPI's zijn ogenschijnlijk heel eenvoudige parameters, maar vaak worden er zeer verschillende aspecten van circulariteit in meegenomen die worden omgerekend naar één uitkomst. De meest bekende CPI is de materiaal-circulariteitsindicator (MCI) van de Ellen MacArthur Foundation. In deze MCI worden veel aspecten meegenomen, zoals de mate waarin het object gemaakt is van recyclebaar en hernieuwbare grondstof en de mate waarin het object wordt hergebruikt en of gerecycled [116]. Verschillende onderzoekers hebben aanpassingen voorgesteld die de MCI verbeteren. Zo merkte Huysman terecht op dat de MCI niet het kwaliteitsverlies door recycling meeneemt en heeft een uitgebreidere indicator voorgesteld waarin de kwaliteit van het recyclebaar wordt verdisconteerd [77]. Razza heeft aanpassingen gedaan om de MCI geschikt te maken voor bio-gebaseerde en biologisch afbreekbare materialen [119].

Een inherent nadeel van CPI's waarin meerdere aspecten worden verrekend tot één uitkomst is dat bij vergelijkingen het niet direct inzichtelijk is waarom het ene product beter scoort dan het andere. Die transparantie kan wel worden verkregen wanneer de bijdragen van de deelaspecten ook separaat gerapporteerd worden [118]. Mogelijke deelaspecten die kunnen worden gerapporteerd zijn het gebruik van gerecyclede of hernieuwbare grondstoffen, de sorteer- en recycling-efficiëntie en de levensduur van het product ten opzichte van een industrie gemiddelde.

Diverse bedrijven en overheden hebben circulariteitsdoelen gesteld. De gedachte hierachter is dat als materialen in de kringloop worden gehouden, deze niet lekken naar de natuur en hiermee minder planetaire vervuiling en biodiversiteitsverlies opleveren. Ook zullen er minder nieuwe grondstoffen nodig zijn voor de productie van materialen en producten. Het is echter niet altijd het geval dat een hogere circulariteitsscore leidt tot het verminderen van negatieve milieueffecten. Circulariteit kan bijvoorbeeld veel transportbewegingen veroorzaken, er kan accumulatie van vervuilende of giftige stoffen plaatsvinden in een gesloten materialenkringloop of er kunnen nieuwe vormen van planetaire vervuiling bijkomen, zoals de lekkage van microplastics bij recyclingprocessen.

Belangrijkste inzichten

- 1 Met LCA, S-LCA en LCC kan een beeld worden geschetst van de duurzaamheid van verpakkingen op het gebied van *planet, people en profit*.
- 2 Deze methodieken zijn allemaal nog volop in ontwikkeling, worden steeds uitgebreider en ook steeds meer vastgelegd in ISO-standaarden en andere (Europese) richtlijnen.
- 3 Er zijn veel gegevens nodig om een betrouwbare inschatting te kunnen maken van de duurzaamheid van een verpakking.
- 4 Ontbrekende data, bijvoorbeeld voor de inschatting van het effect op planeetvervuiling en biodiversiteitsverlies, kan ervoor zorgen dat de *trade-offs* tussen de verschillende milieueffecten onvoldoende of niet in beeld komen en dat er op basis van deze onvolledige informatie gekozen kan worden voor schijnoplossingen (de zogenoemde *regrettable replacements*).
- 5 De duurzaamheid van een verpakking kan niet los van de context worden beoordeeld, maar moet worden geëvalueerd voor de volledige product-verpakkingscombinatie, waarbij het voorkomen van voedselverspilling een cruciale factor is die moet worden meegenomen.





Hoofdstuk 4

Holistische visie op duurzaam verpakken

4. Holistische visie op duurzaam verpakken

Zoals in Hoofdstuk 1 is toegelicht, heeft het begrip “duurzaamheid” in de afgelopen decennia steeds meer invulling gekregen. Met deze rijkere definitie van “duurzaamheid” heeft ook het begrip “duurzame verpakking” steeds meer invulling gekregen, wat de definitie van dit begrip niet eenvoudiger heeft gemaakt. In de kern beschermt een verpakking het product, zodat uitval wordt voorkomen en de voedselveiligheid vergroot. Tegelijkertijd veroorzaakt een verpakking tijdens zijn levenscyclus (productie, gebruik en afdanking) negatieve effecten voor mens en milieu die geminimaliseerd dienen te worden.

Verpakkingen vergemakkelijken het verkeer van goederen en vormen een smeermiddel van de economie. Juist door de groei van de wereldeconomie en de ontwikkelingen in het consumptiegedrag (gemak en *on-the-go*) is ook het gebruik van verpakkingen toegenomen waardoor de tekortkomingen van de huidige productie-, consumptie- en afvalbeheersystemen duidelijker naar voren komen. De toenemende aandacht voor duurzame verpakkingen is daar een reactie op. Daarnaast is de urgentie van de drievoudige planetaire crisis groot, waardoor ook de vraag naar duurzame verpakkingen toeneemt. Uiteindelijk moet onze consumptie binnen planetaire grenzen worden gebracht, wat een forse opgave is voor de producenten van zowel producten (levensmiddelen) als ook van verpakkingen.

De ingewikkeldheid van het begrip duurzame verpakking schuilt erin dat het gelijktijdig betrekking heeft op zowel de verpakking als op het product/levensmiddel. Een verpakking is alleen duurzaam als het de beoogde functie vervult en neveneffecten beperkt, dus productverspilling voorkomt en de effecten van haar levenscyclus minimaliseert. Om de duurzaamheid van een levensmiddel-verpakking volledig in beeld te brengen moeten veel gegevens bekend zijn of verzameld worden, waaronder de mate van voedselverspilling, de verdelingscoëfficiënten over de verschillende afval- en recyclingstromen, de mate waarin de verpakking in zwerfafval terechtkomt, lokale energiemix. Vaak zijn dit soort factoren niet bekend en worden ze naar beste vermogen ingeschat of soms zelfs genegeerd waardoor er een incompleet beeld ontstaat. Wanneer ze wel bekend zijn, blijkt doorgaans dat de uitkomsten afhankelijk van de lokale omstandigheden en dus situationeel zijn. Dit betekent dat een verpakt levensmiddel in het ene land duurzamer kan zijn dan in het andere land, bijvoorbeeld omdat het niveau van voedselverspilling en de afvalverwerking verschilt tussen landen.

► 4.1 Holistische definitie van duurzaam verpakken

Gezien de urgentie van de drievoudige planetaire crisis is het belangrijk om snel en zorgvuldig in beeld te brengen welke impact verpakkingen hebben en daarbij oog te houden voor de complexiteit. Om hierbij te helpen, stellen wij een holistische definitie van duurzaam verpakken voor, aangevuld met praktische handvatten om duurzaamheid te beoordelen. Hiermee nemen we de belangrijkste elementen van duurzaamheid gelijktijdig in ogenschouw, waardoor er sneller een overzicht kan worden gegeven van de milieueffecten die relevant zijn voor verpakte levensmiddelen. Hiermee helpen we belanghebbenden met een duurzaamheidsvraagstuk om sneller een richting te vinden die gelijktijdig rekening houdt met de vele dimensies van duurzaamheid.

Een duurzame verpakking combineert een optimale functionaliteit met een minimum aan negatieve gevolgen voor milieu, samenleving en economie van de totale product-verpakkingscombinatie. Deze definitie is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:



Optimale productbescherming en behoud kwaliteit, waarmee voedselverspilling en productuitval wordt voorkomen



Minimale impact op de drievoudige planetaire crisis:

- klimaatverandering
- planetaire vervuiling
- biodiversiteitsverlies



Een balans in de voor- en nadelen van de verpakking voor burgers en economisch betrokkenen

Wanneer de drie bovenstaande uitgangspunten gehanteerd worden bij het ontwikkelen van nieuwe verpakte producten, zal de uitkomst een duurzamer verpakt product zijn. Tijdens een dergelijk ontwerpproces zullen verschillende verpakkingsalternatieven vergeleken worden, waarbij de lokale inpasbaarheid in de productieprocessen, toeleveringslogistiek en recyclinginfrastructuur een grote rol speelt.

► 4.2 Handvatten voor het in kaart brengen van duurzaam verpakken

In Paragraaf 4.1 schetsten we een holistische definitie van duurzaam verpakken. In deze paragraaf bouwen we hierop voort en laten we zien welke methoden je kunt gebruiken om te kijken of een combinatie van verpakking en product past bij de uitgangspunten uit die definitie. Daarnaast geven we voor de meest gebruikte verpakkingsmaterialen een overzicht van de duurzaamheidsaspecten die daarbij een rol spelen.

Optimale productbescherming en behoud kwaliteit

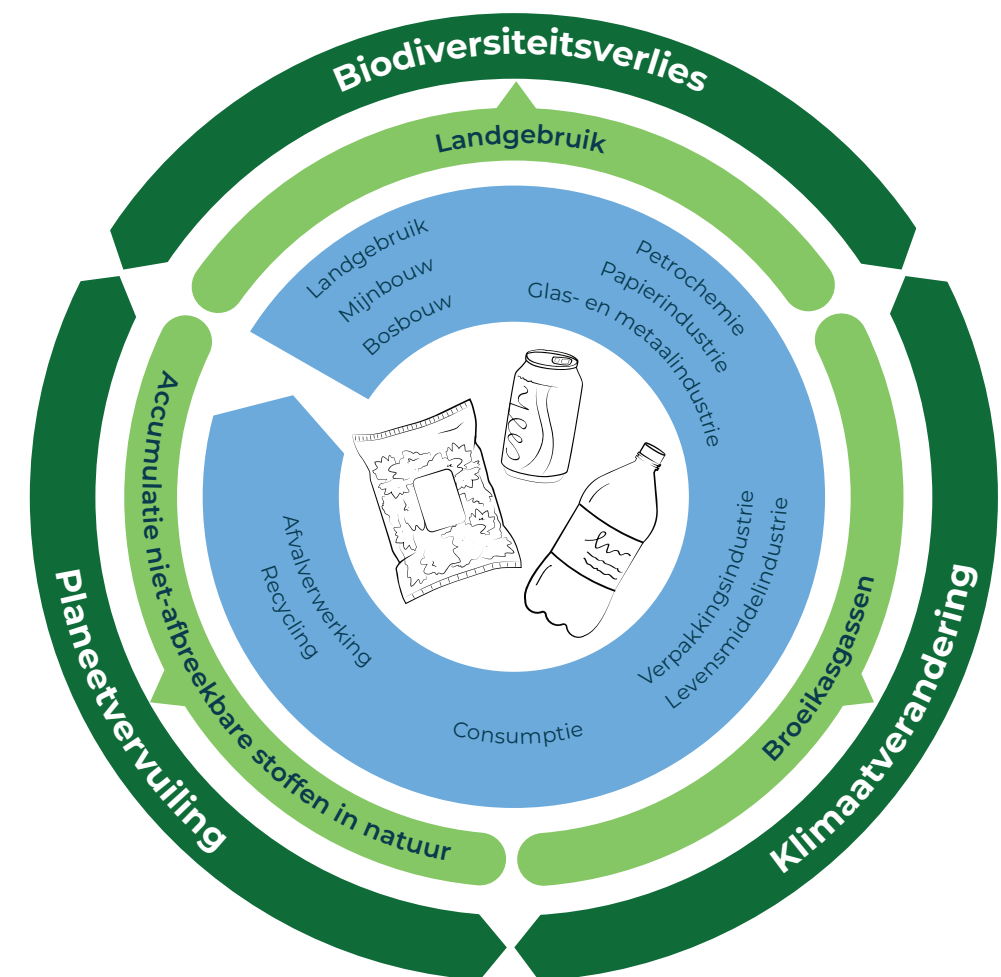
Optimale productbescherming zorgt ervoor dat een verpakt product in de best mogelijke staat de consument bereikt, waardoor zo min mogelijk verspilling plaatsvindt. De aspecten die hierbij van belang zijn, hangen af van het verpakte product en de omstandigheden waaraan het verpakte product wordt blootgesteld.

Voor elke verpakking is het van belang dat deze intact blijft tijdens afvullen, transport en opslag. De mechanische eigenschappen van het materiaal (bijv. scheurweerstand, slagvastheid, elasticiteit en treksterkte) in combinatie met het verpakkingsontwerp hebben hier grote invloed op. Daarnaast worden veel levensmiddelen verpakt onder een beschermende atmosfeer. Deze levensmiddelen bereiken alleen de beoogde houdbaarheid als de gasdoorlaatbaarheid van de verpakking voldoende laag is en ze goed gekoeld blijven. Daarnaast zijn er veel vloeibare en vochtige producten. Daarvoor is het belangrijk dat de verpakking echt goed vloeistofdicht is, zodat het product intact blijft. Sommige verse producten drogen snel uit, maar moeten wél kunnen 'ademen'. Voor deze producten draait het om het vinden van de juiste balans tussen waterdamp- en gasdoorlaatbaarheid. Hierbij speelt de sterkte van de sluiting van een verpakking een belangrijke rol. Lekkende sluitingen zorgen immers voor het verlies van beschermende atmosfeer en kunnen leiden tot besmetting van het product. Houdbaarheidstesten kunnen worden uitgevoerd om vast te stellen of een verpakking het product de gewenste houdbaarheid geeft. Daarnaast kan de sterkte van de verpakking worden beoordeeld, bijvoorbeeld om te bepalen of deze tijdens transport voldoende bestand is tegen vallen of tegen de belasting bij het opstapelen op een pallet.

Minimale impact op de drievoudige planetaire crisis

In deze holistische definitie van duurzaam verpakken stellen wij voor dat gelijktijdig inzicht verkregen wordt in de bijdrage van een verpakt levensmiddel aan de drievoudige planetaire crisis. Voor klimaatverandering bestaat hiervoor de LCA-methode die, mits goed en volledig uitgevoerd, een goede inschatting kan geven van bijvoorbeeld de "global warming potential" (GWP-100) van de product-verpakkingscombinatie. Voor fossiele materialen zoals kunststoffen, bestaat er

een sterke correlatie tussen het gebruik van fossiele energie en grondstoffen en de bijdrage aan de vorming van broeikasgassen en andere milieueffecten. Deze correlatie maakt het mogelijk om op basis van de GWP (Global Warming Potential) ook veel andere milieueffecten te voorspellen. Voor dit type materialen volstaat het daarom vaak om uitsluitend GWP te bepalen [120]. Voor hernieuwbare materialen als papier, karton en bio-gebaseerde kunststoffen is het fossiel energie- en materiaalgebruik minder relevant. Daarentegen is voor deze materialen, landgebruik, dat indirect gerelateerd is aan biodiversiteitsverlies, en de bijbehorende milieu-impact weer relevant is [121]. Daarnaast moet de accumulatie in de natuur van, met name, niet biologisch afbreekbare materialen in ogenschouw worden genomen, aangezien dit direct relateert aan de vervuiling van de planeet en indirect aan biodiversiteitsverlies [122]. Deze relaties tussen de productieketen van het verpakte levensmiddel en de drie planetaire crisis is schematisch aangegeven in Figuur 5.



Figuur 5: De activiteiten tijdens de levenscyclus van verpakte levensmiddelen creëren milieueffecten die relateren aan de drie planetaire crisis.

Het zal nog vele jaren duren voordat deze drie belangrijke aspecten van duurzaam verpakken volledig kunnen worden meegenomen in een LCA (zie Hoofdstuk 3, Aandachtspunt 4). Het is wel mogelijk om nu te starten met het bepalen van de “Global Warming Potential” (GWP-100) voor klimaatverandering [52, 53]. Dit is een versimpelde methode om snel inzicht te krijgen in de belangrijke milieueffecten gerelateerd aan fossiel energie- en materiaalgebruik meenemen. Dit moet dan worden aangevuld met een kwalitatieve of kwantitatieve indicator voor planeetvervuiling en biodiversiteitsverlies. Voor planeetvervuiling kan bijvoorbeeld het (micro)plastic accumulatie potentieel van de verpakking worden bepaald [123]. Voorbeelden van pogingen om op deze wijze een rijker beeld te genereren van de milieueffecten van verpakte levensmiddelen zijn inmiddels gepubliceerd [124-126].

Een balans in de voor- en nadelen van de verpakking voor burgers en economisch betrokkenen

Zoals in het voorgaande hoofdstuk geschetst, hebben verpakte levensmiddelen naast invloed op het milieu ook invloed op de mens, maatschappij en economie. Voor een efficiënte inschatting van sociale en economische effecten van verpakkingsgebruik kunnen de verwachte effecten kwalitatief worden ingeschat. Een relatief eenvoudig te hanteren schaal voor het maken van deze inschattingen is de Likert-schaal. In de meest eenvoudige vorm bestaat dit uit een ordinale vijfpuntschaal die loopt van -2 tot +2. Een verwachte sterk negatieve impact krijgt een score van -2, een neutrale impact een score van 0 en een sterk positieve impact een score van +2. De impactcategorieën kunnen worden bepaald op basis van hun relevantie voor de specifieke verpakkingsketen die wordt onderzocht. Voorbeelden van impactcategorieën die relateren aan verpakkingen worden hieronder gegeven.

Sociale aspecten waarop verpakkingen gescoord kunnen worden:

- De mate waarin de verpakking moderne levensstijlen mogelijk maakt.
- De mate waarin de verpakking eetgewoonten en of diëten mogelijk maakt.
- De mate waarin de verpakking mensen met fysieke beperkingen faciliteert met bijvoorbeeld het makkelijker openen van verpakkingen, of dit juist lastiger maakt.
- De mate waarin de verpakking bijdraagt aan de voedselveiligheid en deze juist verlaagt, bijvoorbeeld door een verhoogde lekkagekans, of verhoogt, bijvoorbeeld door pathogenen af te doden.
- De mate waarin er extra moeite moet worden gedaan bij het gescheiden inzamelen, en verpakkingen moeten worden geretourneerd naar aparte inzamelpunten of juist mogen worden toegevoegd aan een in-huis beschikbare afvalbak.
- De mate waarin verwacht mag worden dat de verpakking zwerfafval wordt en mensen daar hinder van ondervinden.

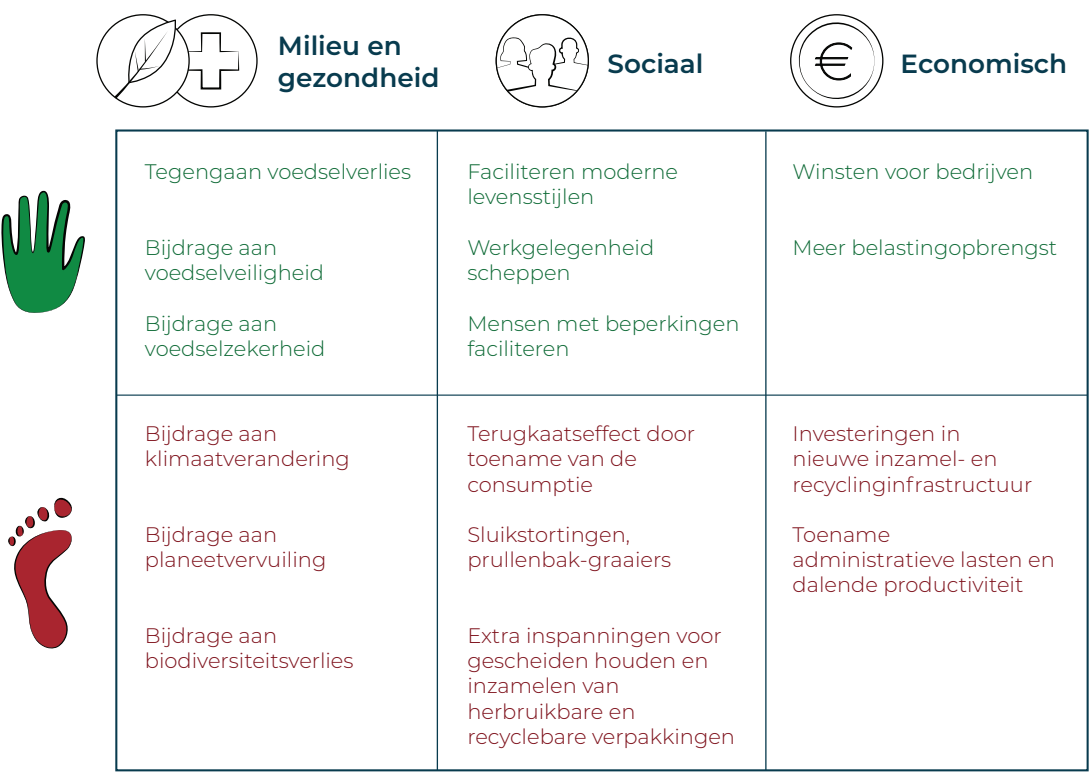
- De mate waarin de verpakking als duurzaam wordt gepercipieerd door de consument en dit resulteert in een positief gevoel.
- De mate waarin terugkaatseffecten zullen optreden als gevolg van de verduurzaming van de verpakking.

Economische aspecten waarop verpakkingen gescoord kunnen worden:

- Prijs van het verpakte product wordt voor de consument duurder of goedkoper.
- Benodigde investeringen in kapitaalgoederen zoals verpakkingsmachines ten opzichte van de eerder door de producent gedane investeringen.
- Geschatte invloed van het verpakte product op de winstgevendheid van het betrokken bedrijfsleven.
- Geschatte benodigde inspanning voor het verpakkend bedrijfsleven voor het voldoen aan regelgeving dat verband houdt met het verpakkingsgebruik.
- Afname versus toename van economische bedrijvigheid gerelateerd aan het verpakte product binnen de regio die wordt beschouwd.
- Daaraan gerelateerd de invloed van het verpakte product op de werkgelegenheid binnen de regio die wordt beschouwd.
- Tenslotte de geschatte invloed van het verpakte product op de belastinginkomsten.

► 4.3 Hand- en voetafdrukkenkaart

Verpakkingsgebruik kent voor- en nadelen in alle dimensies van duurzaamheid. Verpakkingen kunnen ongewenste milieueffecten voorkomen en veroorzaken, ze maken samenlevingen en levensstijlen mogelijk maar kunnen deze ook bemoeilijken, en ze kunnen als smeermiddel in de materiële economie winst opleveren voor de betrokken bedrijven of juist geld kosten. De nadelen worden ook wel “voetafdrukken” genoemd en de voordelen “handafdrukken” [127]. De voor- en nadelen van verpakkingen in de verschillende dimensies kunnen apart geschetst worden in een hand- en voetafdrukkenkaart. Hierdoor ontstaat een completer beeld van de effecten van het gebruik van een verpakking. Figuur 6 geeft een voorbeeld van hoe zo’n hand- en voetafdrukkenkaart eruit kan zien, aan de hand van een aantal voorbeelden van aan verpakkingen gerelateerde effecten.



Figuur 6: De handafdrukken en voetafdrukken van het gebruik van verpakkingen getoond in de drie hoofddimensies van duurzaamheid met een aantal concrete voorbeelden.

► 4.4 Duurzaamheidsaspecten van verpakkingsmaterialen

De meest gebruikte verpakkingsmaterialen zijn: ongecoat papier en karton, gecoat papier en karton, kunststof, glas, staal en aluminium. Al deze materialen hebben zowel sterke als zwakke punten met betrekking tot verschillende duurzaamheidsaspecten, zoals toegelicht in de tabellen 3 tot en met 8 hieronder.

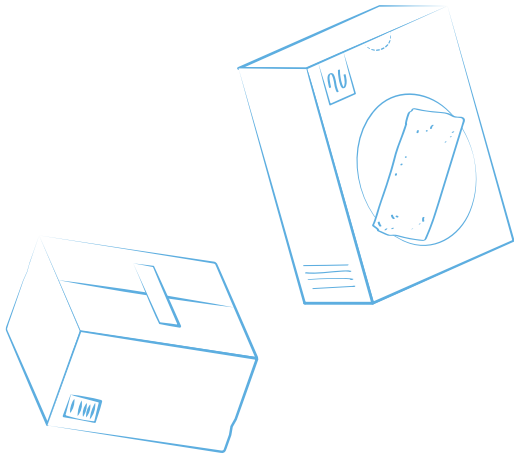
Naast deze zes meest gebruikte verpakkingsmaterialen en composieten voor levensmiddelen zijn er ook alternatieve materialen. Dit betreft zowel de van oudsher gebruikte materialen als aardewerk (bv. kruiken) en hout (bv. fruitkisten), maar ook tal van natuurlijke materialen. De interesse in natuurlijke materialen is recent toegenomen, als reactie op recente wetgeving die het gebruik van kunststof voor enkele eenmalige artikelen verbiedt [128]. Dit is een heterogene groep materialen variërend van koolhydraten, eiwitten, leer, gedroogde plantenbladen, natuurlijke vezels (cellulose) en combinaties met vetten. Zo zijn er bijvoorbeeld kartonnen bakjes met een coating van alginaat op de Nederlandse markt verschenen [129]. Omdat deze categorie nieuwe materialen zo divers is, kunnen we op dit moment geen volledig overzicht geven van de duurzaamheidsaspecten ervan. Een positief aspect van het gebruik van natuurlijke materialen is dat deze categorie doorgaans minder accumuleert en zodoende minder bijdraagt aan planeetvervuiling. Tegelijkertijd moet worden gelet op mogelijk aanvullend landgebruik en bijbehorende milieueffecten waaronder het verlies aan biodiversiteit.

Tabel 3: Belangrijkste duurzaamheidsaspecten van verpakkingen gemaakt van ongecoat papier en karton.

Ongecoate papieren en kartonnen verpakkingen	
Toepasbaarheid levensmiddelen	Geschikt voor droge kruidenierswaren, groente en fruit, brood, banket, omverpakking (secundaire verpakking) en informatiedrager. Niet geschikt voor vloeibare levensmiddelen en levensmiddelen die onder beschermende atmosfeer verpakt moeten worden.
Houdbaarheid en voedselverlies	Dit verpakkingsmateriaal wordt gebruikt voor lang-houdbare producten als meel en suiker met een zeer weinig voedselverlies als ook voor kort-houdbare versproducten als groente, fruit en brood met een relatief hoge derving.
Geschiktheid voor direct voedselcontact	Alleen verpakkingen gemaakt van verse houtvezel zijn voedselveilig, gerecycled karton is dat niet.
Gewicht	Kartonverpakkingen zijn vaak even licht als kunststof-verpakkingen en soms iets zwaarder.
Recycling-percentage NL 2024*	89%. Dit is een relatief hoog recyclingpercentage. Dit relateert aan het hoge aandeel transportverpakkingen en de efficiënte inzameling hiervan.
Toepasbaarheid recyclaat	Geschikt voor secundaire verpakkingen, dozen, kokers, eierdozen, etc. Vanwege de aanwezigheid van ongewenste stoffen uit drukinkt en lijmen is het niet geschikt als primair (direct contact) verpakkingsmateriaal voor levensmiddelen.
Aard grondstoffen	Houtvezel is een hernieuwbaar materiaal als het wordt verkregen uit duurzame bosbouw (FSC, PEFC). Ook zetmeel wordt veel gebruikt als lijmmiddel in papier en karton, dit is eveneens hernieuwbaar. Daarnaast worden eveneens beperkte hoeveelheden inkten, lijmen, pigmenten en minerale vulstoffen gebruikt die niet hernieuwbaar zijn.

Bijdrage klimaatverandering	De emissiefactoren van papier en karton relatief laag ten opzichte van de andere materialen. De productie van papier en karton vergt energie en afhankelijk van de energiemix draagt dit meer of minder bij broeikasgasvorming.
Bijdrage planeetvervuiling	Bedrukkingen, lijmen, vul- en hulpstoffen, etc. breken niet af in de natuur. Als papieren verpakkingen in de natuur terechtkomen, zullen deze onderdelen van het papier niet goed afbreken.
Bijdrage biodiversiteitsverlies	Mogelijk habitatverlies ten gevolge van bosbouw, wat door herbepanten gecompenseerd kan worden, dus certificering is belangrijk. Ook kunnen deze verpakkingen bijdragen aan de verspreiding van chemicaliën in de natuur
Belangrijkste aspecten voor verdere verduurzaming op korte termijn in NL	Verlagen van broeikasgasemissies tijdens de productie, bijvoorbeeld door het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen, verlagen van watergebruik en door proceswater te recyclen in de productiefaciliteit, voorkomen van ontbossing door gebruik van gecertificeerde houtvezels.
Bijzondere kenmerken	Vaak zijn er bedrukkingen en lijmen nodig om een functionele verpakking te maken. Veel consumenten en marketeers percipiëren karton als een natuurlijk, duurzaam materiaal. Naast houtvezel worden ook minerale vulstoffen en pigmenten gebruikt bij de productie van veel papieren en kartonnen verpakkingen.

* Volgens het publieksverslag van Verpact [45].

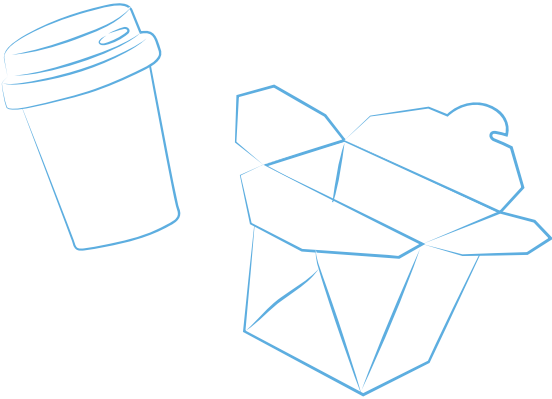


Tabel 4: Belangrijkste duurzaamheidsaspecten van verpakkingen gemaakt van gecoate papier en karton, inclusief drankenkartons.

Gecoate papieren en kartonnen verpakkingen	
Toepasbaarheid levensmiddelen	Breed toepasbaar voor veel levensmiddelen, inclusief dranken en conserven.
Houdbaarheid en voedselverlies	Dit materiaal wordt het meest toegepast voor levensmiddelen met een korte (weken), middellange (maanden) tot lange houdbaarheid (jaren), zodoende is het voedselverlies beperkt.
Geschiktheid voor direct voedselcontact	Ja, mits er nieuwe houtvezel wordt gebruikt. Als er gerecycled karton wordt gebruikt, dan moet er een barrière-tussenlaag worden gebruikt die de verschillende verontreinigingen in gerecycled karton kan tegenhouden. Omdat dit in de praktijk lastig te verwezenlijken is voor alle contaminanten in gerecycled karton, gebruiken de meeste levensmiddelbedrijven uitsluitend nieuwe houtvezel.
Gewicht	Deze verpakkingen zijn vaak even licht als kunststofverpakkingen en soms iets zwaarder.
Recycling-percentage NL 2024*	46% voor drankenkartons, wat relatief gering is ten opzichte van andere materialen. Van andere gecoate papier- en kartonverpakkingen zijn geen gegevens bekend.
Toepasbaarheid recyclaat	De teruggewonnen pulp wordt gebruikt om tissuepapier, dozen en kokers te maken. Bij drankenkarton-recycling wordt inmiddels ook de kunststof-aluminium-fractie (PolyAl) teruggewonnen en gerecycled tot pallets.
Aard grondstoffen	Houtvezel is hernieuwbaar. De gebruikte kunststoffen zijn doorgaans fossiel, alhoewel er sinds 2015 ook drankenkartons met biogebaseerde PE op de markt zijn verschenen. Daarnaast wordt er met name in de aseptische drankenkartons aluminium toegepast.
Bijdrage klimaatverandering	De emissiefactoren van papier en karton zijn relatief laag ten opzichte van andere materialen, terwijl die van kunststof en aluminium juist relatief hoog zijn. Maar omdat dit soort verpakkingen voor het grootste gedeelte uit papier en karton bestaan, is de totale bijdrage aan klimaatverandering nog steeds beperkt.

Bijdrage planeetvervuiling	De coatings, bedrukkingen en kunststof componenten (doppen en nekstukken) breken niet af in de natuur.
Bijdrage biodiversiteitsverlies	Mogelijk habitatverlies ten gevolge van bosbouw, dus het gebruik van gecertificeerd karton uit duurzame bosbouw is belangrijk. Dit geeft de garantie dat de bomen herplant worden en ontbossing wordt tegengegaan. Ook kunnen deze verpakkingen bijdragen aan de verspreiding van kunststoffen en chemicaliën in de natuur.
Belangrijkste aspecten voor verdere verduurzaming op korte termijn in NL	Naast maatregelen die kunnen bijdragen aan de verduurzaming van ongecoat papier, zijn er voor gecoat papier nog enkele aanvullende stappen van belang. Het gaat daarbij onder andere om het mogelijk maken van efficiënt hergebruik van zowel vezels als coatingmateriaal (design for recycling) en om een hoogwaardige scheiding van de verschillende componenten van drankenkartons in daarvoor speciaal uitgeruste installaties.
Bijzondere kenmerken	Veel consumenten en marketeers percipiëren karton als een natuurlijk, duurzaam materiaal. Hierdoor wordt gecoat karton in toenemende mate gebruikt voor vochtige en zelfs natte levensmiddelen. Veel van die coatings zijn kunststoffen. Eenzijdig gecoat karton mag met oud-papier mee ingezameld en gerecycled worden. Tweezijdig gecoat karton mag niet met oud-papier ingezameld worden en kan alleen in aparte recyclinginstallaties gerecycled worden [130]. Nederlandse drankenkartons zijn hoog belast met zuivelresten en daardoor minder geliefd bij recyclers die liever drankenkartons uit andere landen verwerken waarin minder zuivelresten aanwezig zijn [131].

* Volgens het publieksverslag van Verpact [45].



Tabel 5: Belangrijkste duurzaamheidsaspecten van verpakkingen gemaakt van kunststof.

Kunststof	
Toepasbaarheid levensmiddelen	Breed toepasbaar voor veel verschillende levensmiddelen van vers product, diepvries, magnetronmaaltijden, tot dranken en conserven. Ook geschikt voor levensmiddelen die onder beschermende atmosfeer verpakt worden.
Houdbaarheid en voedselverlies	Dit materiaal wordt zowel gebruikt voor kort houdbare versproducten als voor lang houdbare diepvriesproducten en het verwachte voedselverlies zal dus ook variëren tussen fors en verwaarloosbaar.
Geschiktheid voor direct voedselcontact	Nieuw kunststof dat voldoet aan de voedselcontactmaterialen-wetgeving is geschikt voor het verpakken van levensmiddelen. Wel zijn er gebruiksbeperkingen, zoals het verhitten in een oven of een magnetron. Gerecycled kunststof mag niet zonder meer in voedselverpakkingen worden toegepast. Het moet voldoen aan de eisen die gesteld zijn in 1616/2022/ EU en dit betekent dat er nu alleen PET voedselveilig mag worden gerecycled.
Gewicht	Kunststofverpakkingen zijn vaak de lichtste van de verpakkingsmaterialen.
Recycling percentage NL 2024*	49%. Dit is relatief laag ten opzichte van andere materialen.
Toepasbaarheid recycalaat	De meeste kunststofverpakkingen worden nu nog open-loop gerecycled naar gebruiksartikelen van bloempotten, accubakken tot tuinornamenten. Dit komt zowel door de opname van verontreinigingen die niet afgescheiden kunnen worden als door degradatie van het materiaal zelf. Alleen PET-flessen en PET-schalen worden nu closed-loop gerecycled in voedselveilig recycalaat waaruit weer nieuwe PET-flessen en schalen kunnen worden gemaakt.
Aard grondstoffen	Het overgrote deel (circa 99%) van de kunststof toegepast in verpakkingen is gemaakt van ruwe aardolie en daarmee fossiel van aard. Sommige partijen schatten het aandeel biobased kunststof op 2% in, zij nemen dan afvalzakken en eenmalig servies mee, wat formeel geen verpakking is.

Bijdrage klimaatverandering	De emissiefactor van kunststof is relatief hoog. Flexibele verpakkingen zijn relatief licht en daarmee is de uitstoot relatief ook laag. Vormvaste verpakkingen zijn zwaarder en daarmee is de uitstoot groter en relevanter.
Bijdrage planeetvervuiling	Plastic artikelen komen onverhoopt in de natuur terecht, via bijvoorbeeld zwerfafval. Plastic in de natuur degradeert langzaam tot steeds kleinere stukjes. De gevormde micro- en nano-plastic deeltjes accumuleren in de natuur. Deze micro- en nano-plastic deeltjes fungeren als transportmiddel voor chemicaliën (additieven en diverse gedegradeerde substanties). Daarmee bedreigen ze de biodiversiteit, waterkwaliteit, volksgezondheid en de voedselzekerheid.
Bijdrage biodiversiteitsverlies	Zowel de verspreiding van microplastics als klimaatverandering zijn belangrijke medeoorzaken van het huidige verlies aan biodiversiteit.
Belangrijkste aspecten voor verdere verduurzaming op korte termijn in NL	Design for recycling zal de recyclebaarheid van kunststofverpakkingsafval en de toepasbaarheid van gerecycled kunststof verbeteren. Voor een gesloten kringloop zal het aantal typen kunststof dat in aanmerking komt voor voedselveilig recycelen moeten worden uitgebreid. Daarnaast kan er worden ontkoppeld van aardolie door biogebaseerde kunststoffen te introduceren.
Bijzondere kenmerken	Kunststof is buitengewoon veelzijdig, het maakt bijzondere vormen, kleuren, sluitingen en ontwerpen van verpakkingen mogelijk. Het is daarom ook geliefd bij ontwerpers. De keerzijde is dat er veel verschillende soorten (grades) van kunststoffen nodig zijn met veel verschillende additieven en pigmenten.

* Volgens de monitoringsrapportage van Verpact [80].



Tabel 6: Belangrijkste duurzaamheidsaspecten van verpakkingen gemaakt van glazen verpakkingen.

Glas	
Toepasbaarheid levensmiddelen	Breed geschikt voor vele levensmiddelen, met uitzondering van ademend vers product.
Houdbaarheid en voedselverlies	Glazen verpakkingen hebben de beste barrières voor zuurstof, waterdamp en aroma's (samen met metalen verpakkingen), waardoor gesteriliseerde levensmiddelen in deze verpakkingen houdbaarheden van vele jaren hebben en het voedselverlies in deze verpakkingen minimaal is. Daar staat tegenover dat producten die gevoelig zijn voor lichtschade (bijvoorbeeld bier en zuivel) een kortere houdbaarheid in transparante glazen flessen hebben en beter in een donkerkleurige glazen flessen kunnen worden verpakt.
Geschiktheid voor direct voedselcontact	Ja.
Gewicht	Glazen verpakkingen behoren tot de zwaarste verpakkingen.
Recycling-percentage NL 2024*	78%
Toepasbaarheid recyclaat	Glas wordt hoofdzakelijk in een gesloten kringloop (closed-loop) gerecycled naar nieuwe glazen verpakkingen en de uitval wordt open-loop verwerkt in polijstmiddelen, etc.
Aard grondstoffen	Nieuw glas wordt gemaakt door zand en soda te smelten. In de praktijk van de glasindustrie wordt er zoveel mogelijk glasscherven gebruikt omdat deze bij een lagere temperatuur smelten, waardoor er veel energie kan worden bespaard.
Bijdrage klimaatverandering	Vaak de hoogste van alle materialen (voor eenmalig glas), doordat de productie veel energie vergt en de verpakkingen vaak relatief zwaar zijn. Nieuwe glasovens worden met hernieuwbare elektriciteit verhit en de aldaar gemaakte glazen verpakkingen dragen minder bij aan klimaatverandering. Dit is in Nederland door netcongestie nog niet mogelijk.

Bijdrage planeetvervuiling	Glasscherven zijn inert voor de natuur. Zover bekend logen glasscherven geen pigmenten of andere bestanddelen uit. Wel kunnen scherven ongemak opleveren (snijwonden, lekke banden). Daarnaast hebben glazen verpakkingen vaak papieren of plastic etiketten. Als deze verpakkingen in de natuur terechtkomen verspreiden deze etiketten de chemicaliën uit drukinkten en lijmen.
Bijdrage biodiversiteitsverlies	Beperkte bijdrage door klimaatverandering en habitatverlies door mijnbouw.
Belangrijkste aspecten voor verdere verduurzaming op korte termijn in NL	Verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen in productie- en recyclingprocessen.
Bijzondere kenmerken	Glas heeft een luxe uitstraling voor klanten, is transparant maar wel breekbaar. Glas is geschikt als herbruikbaar verpakkingsmateriaal omdat het relatief makkelijk schoon te maken is en te steriliseren. Het overgrote deel van de bierflessen in Nederland zijn herbruikbare BNR (bruine Nederlandse retourfles) bierflessen met een gemiddeld aantal omlopen van meer dan 20 tot maximaal 40, waarna ze worden gerecycled.+

* Volgens het publieksverslag van Verpact [45].
 + Volgens de informatie van de Nederlandse Brouwers [132].

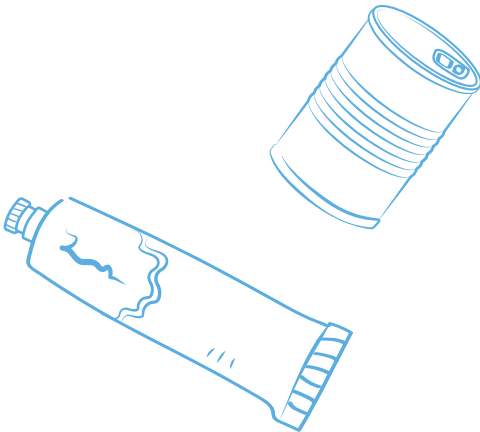


Tabel 7: Belangrijkste duurzaamheidsaspecten van verpakkingen gemaakt van stalen verpakkingen.

Staal	
Toepasbaarheid levensmiddelen	Breed geschikt voor vele levensmiddelen, met uitzondering van ademend vers product.
Houdbaarheid en voedselverlies	Stalen verpakkingen hebben de beste barrières voor zuurstof, waterdamp, aroma's (samen met glazen en aluminium verpakkingen) en licht, waardoor gesteriliseerde levensmiddelen in deze verpakkingen houdbaarheden van vele jaren hebben en het voedselverlies in deze verpakkingen minimaal is.
Geschiktheid voor direct voedselcontact	Ja. (Stalen verpakkingen hebben een interne coating die direct contact mogelijk maakt).
Gewicht	Stalen verpakkingen behoren tot de zwaarste verpakkingen.
Recycling-percentage NL 2024*	97% en is daarmee het hoogste van alle materialen.
Toepasbaarheid recycalaat	Het meeste teruggewonnen staal gaat richting constructieve toepassingen, simpelweg omdat dit de grootste afzetmarkt voor staal is. De verpakkingsmarkt is veel kleiner. Toch worden inmiddels ook conservenblikken gerecycled tot nieuwe stalen verpakkingen. Hiervoor wordt uit PMD (gescheiden ingezamelde plastic verpakkingen, metaal verpakkingen en drankenkartons) gesorteerd staal eerst ontdaan van tin en vervolgens met ijzererts omgesmolten.
Aard grondstoffen	Nieuw staal wordt traditioneel gemaakt uit ijzererts, cokes met bijmenging van schroot.
Bijdrage klimaatverandering	De productie van nieuw staal vergt veel energie. Bij het traditionele staalproductieproces worden cokes gebruikt, wat resulteert in een relatief grote CO ₂ uitstoot. Nieuwe waterstofgas-gebaseerde productieprocessen kunnen deze uitstoot sterk verlagen, maar zijn nog geen gemeengoed. De huidige hoge emissiefactor gecombineerd met het hoge gewicht per verpakking, zorgt voor een relatief grote bijdrage aan klimaatverandering.

Bijdrage planeetvervuiling	Stalen verpakkingen komen nu nauwelijks voor in het zwerfafval. Daarmee is de huidige bijdrage tot de planeetvervuiling verwaarloosbaar. Grote stalen verpakkingen als kegs en drums hebben waarde en worden verzameld door de oud-ijzerhandelaren. In het minder waarschijnlijke geval dat een stalen conservenblik in de natuur wordt geworpen en daar blijft liggen zal deze op termijn wegroesten. Aangezien de meeste metalen verpakkingen coatings, bedrukkingen en labels kennen, zullen de chemicaliën die hieruit vrijkomen wel bijdragen tot planetaire vervuiling.
Bijdrage biodiversiteitsverlies	Beperkte bijdrage door klimaatverandering en habitatverlies door mijnbouw.
Belangrijkste aspecten voor verdere verduurzaming op korte termijn in NL	Verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen in productie- en recyclingprocessen.
Bijzondere kenmerken	Staal is magnetisch, waardoor het makkelijk selectief uit alle afvalstromen wordt gescheiden. Tot recent werden bisphenol-A gebaseerde coatings toegepast. Vanwege het recent afgekondigde verbod op het gebruik van deze stof in de EU worden er nu andere coatings gebruikt. Deze coatings verbranden tijdens het recyclingproces.

* Volgens de monitoringsrapportage van Verpact [80].



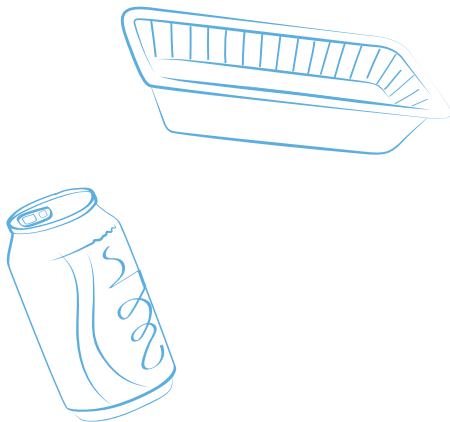
Tabel 8: Belangrijkste duurzaamheidsaspecten van verpakkingen gemaakt van aluminium verpakkingen.

Aluminium	
Toepasbaarheid levensmiddelen	Breed geschikt voor vele levensmiddelen, met uitzondering van ademend vers product.
Houdbaarheid en voedselverlies	Aluminium verpakkingen hebben de beste barrières voor zuurstof, waterdamp, aroma's (samen met glazen en stalen verpakkingen) en licht, waardoor gesteriliseerde levensmiddelen in deze verpakkingen houdbaarheden van vele jaren hebben en het voedselverlies in deze verpakkingen minimaal is.
Geschiktheid voor direct voedselcontact	Ja. (aluminium verpakkingen hebben een interne coating die direct contact mogelijk maakt).
Gewicht	Aluminium verpakkingen zijn relatief licht.
Recycling-percentage NL 2024*	84%.
Toepasbaarheid recyclaat	Het meeste teruggewonnen aluminium wordt hergebruikt in giet-toepassingen (pannen, motorblokken, machineonderdelen). Gescheiden ingezamelde blikjes (uit statiegeldsystemen) worden weer gerecycled naar nieuwe blikjes.
Aard grondstoffen	Nieuw aluminium wordt gemaakt van bauxiet en veel elektriciteit. De emissiefactor van primair aluminium hangt daarmee sterk af van de energiemix die hiervoor gebruikt is. IJslands aluminium dat geproduceerd is met elektriciteit uit grotendeels waterkracht heeft een veel lagere emissiefactor dan Indiaas of Chinees aluminium geproduceerd met steenkolen-elektriciteit+.
Bijdrage klimaatverandering	De productie van nieuw aluminium vergt veel elektriciteit en afhankelijk van de energiemix is de emissiefactor of hoog of zeer bescheiden. Omdat aluminiumverpakkingen licht in gewicht zijn, kan de bijdrage tot klimaatverandering dus variëren van groot tot klein.

Bijdrage planeetvervuiling	Aluminium leidt hooguit tot zichtbare vervuiling als zwerfafval. De meeste aluminium verpakkingen hebben coatings, bedrukkingen of labels en de chemicaliën hiervan dragen wel bij tot planetaire vervuiling. Door de recente invoering (2023) van statiegeld op drankblikjes is het voorkomen van deze blikjes in het zwerfafval enorm gedaald.
Bijdrage biodiversiteitsverlies	Beperkte bijdrage door klimaatverandering en habitatverlies door mijnbouw.
Belangrijkste aspecten voor verdere verduurzaming op korte termijn in NL	Verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen in productie- en recyclingprocessen.
Bijzondere kenmerken	Aluminium kan uit de meeste afvalstromen efficiënt verwijderd worden met zogenoemde wervelstroomscheiders. Tot recent werden bisphenol-A gebaseerde coatings toegepast. Vanwege het recent afgekondigde verbod op het gebruik van deze stof in de EU worden er nu andere coatings gebruikt. Deze coatings verbranden tijdens het recyclingproces.

* Volgens het publieksverslag van Verpact [45]

+ Volgens de internationale vergelijking in emissiefactoren van primair aluminium [72]



Belangrijkste inzichten

- 1 Een duurzame verpakking:
Biedt maximale productbescherming, wat zich vertaalt in minimale voedselverspilling of productuitval, door het uitvoeren van houdbaarheidstesten en een beoordeling van de verpakkingsterkte.

Heeft minimale impact op de drievoudige planetaire crisis, wat inzichtelijk gemaakt kan worden met:
 - Een analyse van de impact op klimaatverandering (GWP-100) uitgevoerd met actuele gegevens van de voedselverspilling en lokale recycling en afvalverwerking aangevuld met
 - Een indicator voor planetaire vervuiling en,
 - Een indicator voor biodiversiteitsverlies
Balanceert de sociale en economische voor- en nadelen voor burgers en andere economisch betrokkenen, zodat deze voldoende in evenwicht zijn. Dit kan kwalitatief in kaart gebracht worden door de effecten te scoren op een Likert-schaal.
- 2 In een hand- en voetafdrukkenkaart kunnen de technische en sociaaleconomische aspecten van een verpakking gecombineerd worden weergegeven. De hand- en voetafdrukkenkaart kan zodoende een goed overzicht bieden bij het selecteren van de meest geschikte verpakking voor een product.
- 3 De verschillende verpakkingsmaterialen hebben zowel sterke als zwakke punten met betrekking tot verschillende duurzaamheidsaspecten. Dit hoofdstuk biedt een gestructureerd overzicht van deze punten.





Hoofdstuk 5

Betrokken partijen en hun definitie van duurzaam verpakken

5. Betrokken partijen en hun definitie van duurzaam verpakken

Het beleid van de Europese en nationale overheid heeft zich in de tijd ontwikkeld (Paragraaf 2.3), mede gevoed door nieuwe inzichten in de definitie van duurzaamheid en duurzaam verpakken (Hoofdstuk 1). Deze inzichten en het veranderende beleid hebben weer hun weerslag gehad op de betekenis die betrokken partijen (actoren) aan het begrip duurzaam verpakken geven. Dit wordt hieronder per actor verder uitgelegd, waarna er een reflectie gegeven wordt op de verschillende betekenissen.

► 5.1 Europese en nationale overheid

Het besef dat de planeet vervuild raakt met kunststoffen, dat dit voor een deel onomkeerbaar is en waarschijnlijk een factor vormt bij het massale verlies aan biodiversiteit, heeft er toe geleid dat de Europese en nationale overheid hun beleid aanpasten ten aanzien van kunststof(verpakkingen). Circulariteit wordt nu gezien als een belangrijke remedie tegen het plastic-vervuilingsprobleem. De onderliggende veronderstelling is dat door plastic in omloop te houden er minder plastic in de natuur terecht kan komen. Deze aanpassing in beleid verliep geleidelijk tussen 2010 en 2024 en werd in Nederland gemarkeerd door het VANG-beleid (2015) [51] en het Nationale Programma Circulaire Economie (2023) [133]. Op Europees niveau zijn de Plastic Strategie (2018) [134] en de Green Deal [135] de belangrijkste mijlpalen voor verandering in beleid.

Europese overheid

Het directoraat-generaal voor milieu (DG ENV) vertegenwoordigt de Europese commissie en focust zich op het reduceren van verpakkingsafval en het stellen van doelstellingen t.a.v. recycling, hergebruik en inzameling. Het DG ENV werkt volop aan het operationaliseren van de recent uitgevaardigde PPWR. Verder faciliteert DG ENV het bedrijfsleven door richtlijnen op te stellen voor het berekenen van voetafdrukken van producten (de zogenoemde PEF-richtlijnen) en ontwerpmethoden op te stellen voor het veilig en duurzaam ontwikkelen van consumptiegoederen. Tegelijkertijd stelt DG Sante de voedselcontactmaterialenwetgeving [136] op en onderhoudt een platform dat streeft naar minder voedselverspilling [137]. Het directoraat voor de interne markt (DG GROW) bewaakt het vrije verkeer van goederen binnen de EU en streeft naar harmonisatie van verpakkings-(afval)regels. Daarin wordt zij gesteund door

DG AGRI, dat streeft naar een ongehinderde handel van levensmiddelen binnen de Europese gemeenschap. Deze gesegmenteerde organisatievorm zorgt ervoor dat er op Europees niveau geen samenhangend beleid is ten aanzien van duurzame verpakkingen.

Nederlandse overheid

De website van de Rijksoverheid meldt het volgende over duurzame verpakkingen:

“Duurzame verpakkingen en recyclen van afval zorgen ervoor dat materialen beter worden benut. En dat er minder restafval in het milieu komt. Daarom stimuleert de overheid bedrijven om meer duurzame verpakkingen te ontwikkelen. En om verpakkingen te recyclen.” [138].

Op deze website [138] geeft de Nederlandse overheid een kort overzicht van haar beleid, namelijk:

- dat het verpakkende bedrijfsleven verantwoordelijk is om:
 - recyclebare verpakkingen op de markt te brengen,
 - de vorming van afval te helpen voorkomen,
 - vastgestelde recyclingpercentages te halen (via recycling of hergebruik),
 - statiegeld te heffen op PET-flessen en blikjes en vastgestelde inzamelpercentages te halen om zwerfafval tegen te gaan,
 - een afdracht te doen aan Stichting Verpact, zodat zij de kosten voor het inzamelen en recyclen van verpakkingen kan betalen en een deel van de kosten voor het opruimen van zwerfafval voor haar rekening kan nemen.
- dat gemeenten verpakkingsafval en restafval inzamelen en dat ze autonoom zijn om te bepalen hoe ze dit doen.

Hieruit blijkt dat de focus van de Nederlandse overheid ten aanzien van “duurzame verpakkingen” gericht is op 1) recycling en 2) het voorkomen van de vorming van afval (lees verpakkingsafval, restafval en zwerfafval). Dit duurzaam verpakkingsbeleid wordt door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat gevormd en geleid. Het bevorderen van hergebruik van verpakkingen kent geen zelfstandige doelstellingen, het wordt gepresenteerd als optie om de recyclingdoelstelling te halen. Het verlagen van de broeikasgasuitstoot van productie-consumptiesystemen en het tegengaan van voedselverspilling worden niet expliciet genoemd. Dit betekent niet dat de Nederlandse overheid geen interesse heeft in deze onderwerpen: verschillende andere afdelingen of departementen behartigen deze thema's, maar niet direct vanuit het onderwerp “duurzame verpakkingen”.

De hierboven genoemde thema's worden op de volgende manier verdeeld over verschillende departementen:

- Het beleid om voedselverspilling tegen te gaan valt onder het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN). Op de website van de Rijksoverheid [139] wordt het rijksbeleid samengevat. Als mogelijke interventie wordt portioneren genoemd, wat gebruikelijk met verpakkingen gebeurt.
- Het klimaatbeleid valt onder vier departementen [140]. Eén aspect van het klimaatbeleid [141] is het streven om minder fossiele grondstoffen en meer hernieuwbare grondstoffen te gebruiken.
- Het voedselveiligheidsbeleid valt onder twee departementen [142]. De voedselcontact-materialenwetgeving is in Nederland onderdeel van de Warenwet. Deze wet beoogt de voedselveiligheid te garanderen. Het verduurzamen van verpakkingen is geen beoogd doel.

Bovenstaande opsomming laat zien dat het Nederlandse beleid op het gebied van duurzame verpakkingen en duurzame productie- en consumptiesystemen vanuit verschillende perspectieven wordt georganiseerd. Een gevolg hiervan is dat een integrale Nederlandse visie en aanpak op dit thema ontbreekt.

Een opmerkelijk verschil tussen het nationale en het Europese beleid is dat de Nederlandse overheid streeft naar het ontkoppelen van ruwe aardolie door de inzet van recycalaat (via de SOPV subsidie [143]) of bio-gebaseerde grondstof (via het beleid voor de *biobased economy* [144]), terwijl de Europese PPWR slechts stelt dat er onderzoek moet plaatsvinden naar de wenselijkheid om bio-gebaseerde grondstoffen toe te passen in verpakkingen.

Transitieagenda kunststoffen

In 2018 is er in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een transitieteam voor de Transitieagenda Kunststoffen opgericht. Deze agenda heeft als doel om in 2030 het primaire, fossiele kunststoffengebruik te halveren. In 2050 moet de gehele Nederlandse economie circulair zijn. In de Transitieagenda Kunststoffen heeft het transitieteam een visie uitgewerkt om de overgang naar een circulaire economie voor kunststofketens te versnellen [145].

Deze Nederlandse toekomstvisie loopt gedeeltelijk parallel met die van de New Plastics Economy van de Ellen McArthur Foundation (zie hoofdstuk 1) [23]. In beide visies wordt de mechanische en chemische recyclingcapaciteit uitgebouwd, lekkage beperkt en minder materiaal verbrand. Een duidelijk verschil is dat de schadelijkheid van fossiele, persistente microplastics in deze Nederlandse toekomstvisie agenda groter wordt ingeschat, waardoor er een versnelde ontkoppeling van ruwe aardolie en opbouw van hernieuwbare, biologisch afbreekbare kunststofproductie wordt voorzien.

► 5.2 Federatie Nederlandse Levensmiddelenindustrie

De Federatie Nederlandse Levensmiddelenindustrie (FNLI) vertegenwoordigt circa 500 levensmiddelbedrijven in Nederland en streeft naar verduurzaming van het voedselsysteem. Aangezien het merendeel van de verpakkingen voor levensmiddelen worden gebruikt, is de FNLI een belangrijke speler bij het verduurzamen van verpakkingen. De FNLI geeft in haar handvest "Circulair en duurzaam verpakken" een definitie van het begrip "circulaire verpakking" [119]. Dit is een verbijzondering van het begrip "duurzame verpakking" waarmee deze meer in lijn is met de huidige maatschappelijke focus op het streven naar meer circulariteit.

Volgens de definitie van de FNLI resulteert een circulaire verpakking in een vermindering van het gebruik van fossiele grondstoffen door de toepassing van een viertal R-strategieën, onder de strikte voorwaarde dat de verpakkingsoplossing voor het specifieke product een positieve klimaatimpact heeft. Deze strategieën zijn:

Reduce

Het verminderen van materiaalgebruik



Reuse

meer hergebruik van verpakkingen en



Recycle

meer hergebruik van materiaal en/of



Renew

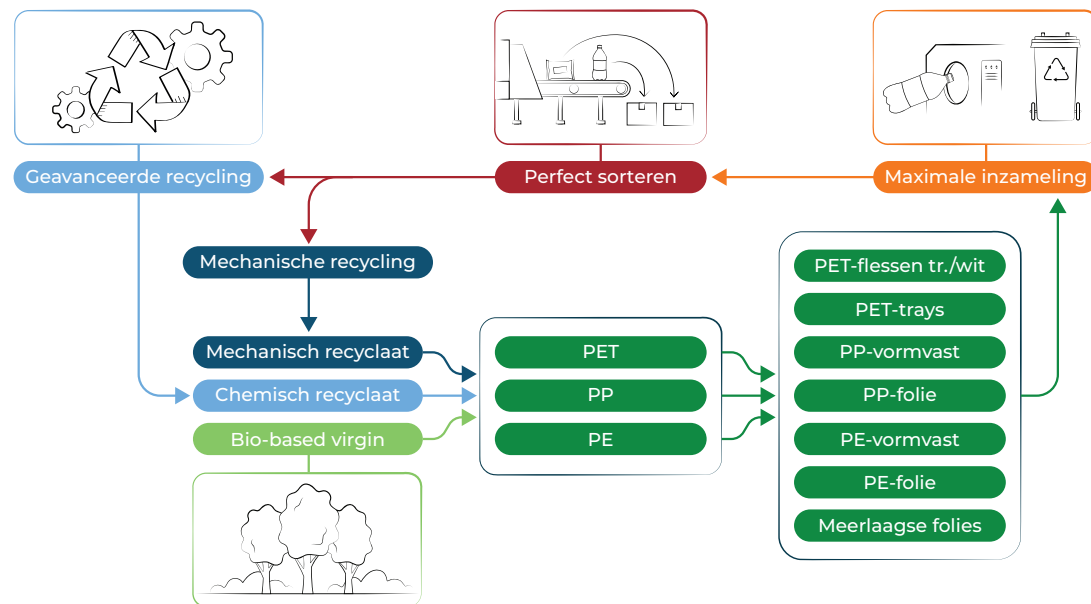
Het overstappen op hernieuwbare grondstoffen daar waar virgin input noodzakelijk is: papier / karton uit gecertificeerde bosbouw (FSC/PEFC), kunststof op basis van biobased grondstoffen.



Dat de verpakkingsoptlossing voor het specifieke product een positieve klimaatimpact heeft moet bewezen worden met een integrale levenscyclusanalyse (LCA) van het totale verpakte product (dus van verpakking in combinatie met product).

Uit een recente presentatie blijkt dat de FNLI inmiddels het aantal voorwaarden voor een circulaire verpakking heeft vergroot [146]. Niet alleen moet er een positieve klimaatimpact zijn, ook mag de biodiversiteit niet worden aangetast, moet een schoon milieu worden nagestreefd en mag de grondstofzekerheid niet in gevaar worden gebracht.

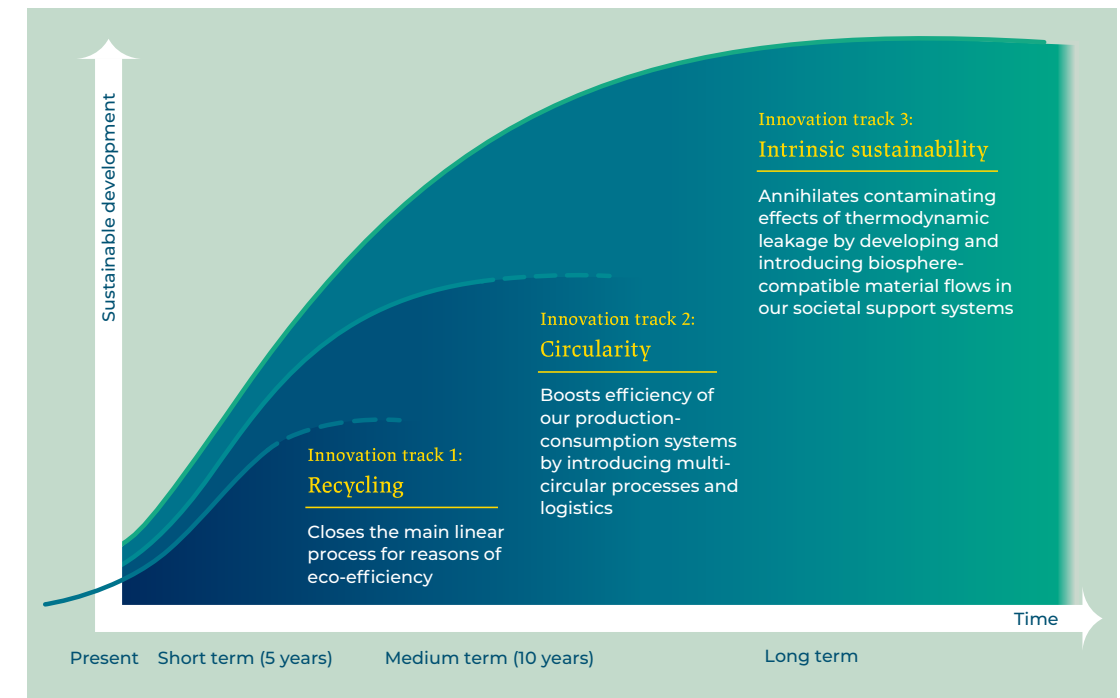
Specifiek voor kunststof heeft de FNLI een ketenvisie weergegeven in haar handvest circulair verpakken, dit is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7: Kunststof-ketenvisie van de FNLI waarbij in de toekomst zoveel mogelijk kunststof-verpakkingsmateriaal in de kringloop wordt gehouden en de verliezen worden aangevuld met hernieuwbare grondstoffen, aangepaste versie van het origineel van FNLI [147].

► 5.3 Kennisinstituut Duurzaam Verpakken en Verpact

De Stichting Verpact, de uitvoeringsorganisatie voor het beleid rondom de uitgebreide-producentenverantwoordelijkheid (UPV), regelt en registreert de inzameling, sortering en recycling van verpakkingen namens alle verpakkende bedrijven in Nederland. Daarmee is Verpact een belangrijke speler bij het verduurzamen van verpakkingen. Het Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV) is onderdeel van Verpact en is zowel een kennisvraagbaak als een onderzoeksinstituut. Het KIDV deelt via haar website verschillende hulpmiddelen om verpakkingen te verduurzamen, zoals de recyclingchecks waarmee verpakkende bedrijven geholpen worden om goed recyclebare verpakkingen te ontwerpen. Het KIDV publiceerde in 2020 de "State of sustainable packaging" [148]. Hierin wordt beschreven dat de verduurzaming van verpakkingen in 3 stadia verloopt (Figuur 8).



Figuur 8: Stadia in de verduurzaming van verpakkingen, kopie uit State of Sustainable packaging [148].

1. De eerste stap is over te gaan van eenmalig te gebruiken naar recyclebare verpakkingen, wat een vorm is van een probleem-beperkende aanpak. Het gros van de consumentenverpakkingen voor levensmiddelen bevindt zich op dit niveau.
2. De tweede stap van eenmalig recyclebaar naar circulair (of meermalig recyclebaar of meermalig herbruikbaar) is een meer proactieve probleemoplossende aanpak. Voorbeelden hiervan zijn de herbruikbare

glazen BNR bierfles, de PET-drankfles met een hoog gehalte aan recyclaat en de golf-kartonnen doos (die bijna uitsluitend van oud-papier is gemaakt).

- De derde stap is intrinsiek duurzaam en dit is de meest proactieve strategie om problemen te voorkomen voor ze zijn ontstaan. Hier is slechts een beperkt aantal voorbeelden van, zoals de shampoo-bars in een kartonnen doosje die een flesverpakking overbodig maken. Een ander voorbeeld is de moulded fibre eierendoos, deze beschermt de eieren goed, is recyclebaar en is onschadelijk als deze in de natuur terechtkomt, want na enkele regenbuien is deze gedesintegreerd en wordt daarna biologisch afgebroken.

Het doel van elke verduurzamingsstap is dat het grondstofgebruik en de milieu-impact afneemt. Deze verduurzamingsstappen vragen actieve medewerking van alle belanghebbenden, inclusief de burgers. Burgers zullen hun gedrag moeten aanpassen om deze verduurzaming mogelijk te maken, maar de bereidheid en mogelijkheden hiervoor verschillen [101, 149-151].

Tevens schetst het KIDV-rapport het verpakkingsdilemma: niets doen ten aanzien van verpakkingen leidt tot een gestage groei van het verpakkingsafval en alle samenhangende milieuproblemen, terwijl verpakkingen ook niet afgeschaft of verboden kunnen worden omdat ze een integraal onderdeel zijn van het levensmiddeldistributiesysteem, waarmee voedselveiligheid wordt gegarandeerd en voedselverspilling beperkt. Bovendien bestaan de uiteindelijk beoogde intrinsiek duurzame verpakkingen voor veel producten op dit moment nog niet. Dit betekent dat eerst moet worden vastgesteld hoe deze intrinsiek duurzame verpakkingen eruit moeten zien, waarna vervolgens nieuwe materialen en verpakkingsoplossingen kunnen worden ontwikkeld die hieraan voldoen.

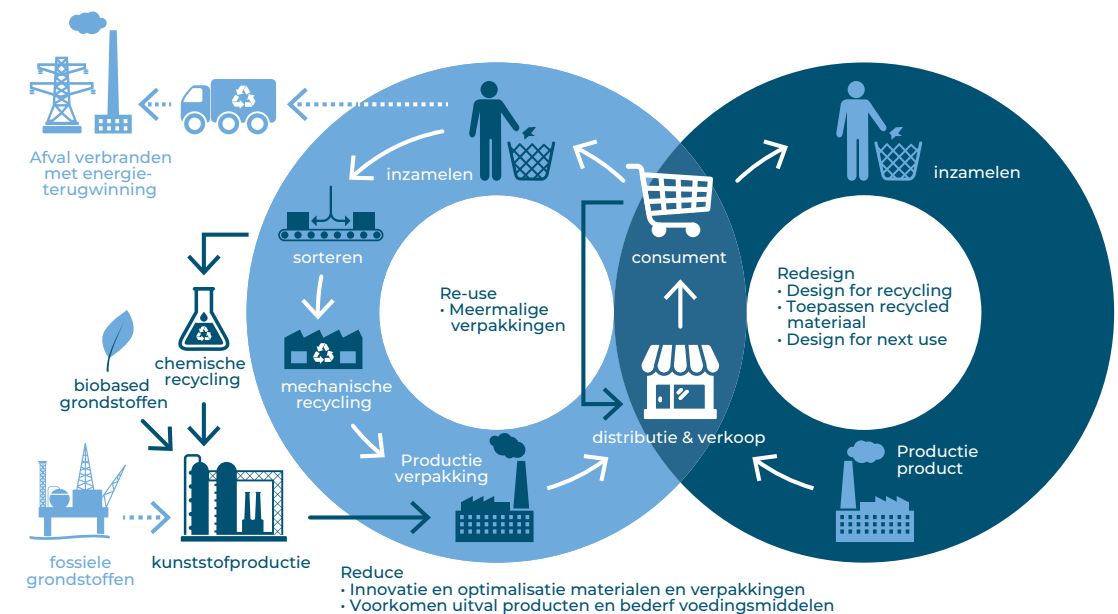
In 2023 publiceerde de Stichting Verpact de “Plastic wijzer” [152]. Dit is een document waarin zij haar ambities voor het verduurzamen van verpakkingen verwoordt: voor 2050 het kunststofverpakkingssysteem “fossielvrij” maken, dat wil zeggen dat deze verpakkingen dan uitsluitend gemaakt worden van recyclaat en/of bio-gebaseerde grondstoffen. Verder wil Verpact uitsluiten dat kunststofverpakkingen in 2050 nog in het zwerfafval terecht komen, microplastics vormen en schade veroorzaken aan mens en milieu. Deze “Plastic wijzer” beschrijft de door Verpact gewenste richting voor het toekomstige verpakkingssysteem, zonder daarbij een uitvoeringsplan te bieden. In het kort houdt deze richting in dat er toegewerkt wordt naar een systeem dat minder verpakkingen gebruikt, waarin inzameling, sortering en recycling worden verbeterd, en waarin uitsluitend gerecyclede en hernieuwbare grondstoffen worden toegepast.

Aanvullend publiceerde Verpact in 2023 een visiedocument over de verschillende recyclingtechnologieën voor kunststofverpakkingen waarin zij aangeeft open te staan voor nieuwe recyclingtechnologieën, mits deze het behalen van haar

wettelijke doelstellingen (nu: recycling-doelstelling en inzamelendoelstelling, in de toekomst waarschijnlijk uitgebreid met recycled content-doelstellingen) ondersteunt en een goede milieuprestatie levert [153].

► 5.4 NRK Verpakkingen

NRK Verpakkingen is een branchevereniging van de producenten van kunststofverpakkingen met iets meer dan 100 bedrijven als leden. Samen met 14 andere verenigingen is zij aangesloten bij de koepelorganisatie Federatie Nederlandse Rubber- en Kunststofindustrie (NRK). In 2018 heeft de NRK samen met Plastics Europe, Berenschot en Partners for Innovation de “routekaart verduurzaming kunststofverpakking” gepubliceerd [154]. Deze routekaart schetst de noodzaak om het kunststofverpakkingssysteem te verduurzamen en geeft voorbeelden van alle R-strategieën die hierbij gevolgd kunnen worden, zonder hier een keuze in te maken. Hieruit blijkt dat er vele stappen door verschillende actoren gezet kunnen worden om kunststofverpakkingen te verduurzamen, zie Figuur 9.



Figuur 9: Verbeteropties die in de Routekaart verduurzaming kunststofverpakking worden geschetst [154].

Verder communiceert de NRK Verpakkingen actief via haar website en haar nieuwsbrief over alle verduurzamingsopties die er zijn voor de producenten van kunststofverpakkingen. Dit zijn bijvoorbeeld de design-for-recycling richtlijnen

waarin met goed leesbare informatiekaarten in stoplichtkleuren beknopt uitgelegd wordt welke materialen in verpakkingen goed recyclebaar, beperkt recyclebaar en niet recyclebaar zijn.

De NRK Verpakkingen werkt samen met andere verpakkingsmaterialenorganisaties in de Stichting Materialenorganisaties (StiMo). In het visiedocument van StiMo staan de functies van verpakkingen centraal, omdat het vervullen van die functies de duurzaamheid van de verpakking mede vormgeeft [155]. Aanvullend kent deze stichting drie speerpunten van verbetering voor alle materiaalgroepen, namelijk:

1. optimalisatie van de inzamelsystemen,
2. verbetering van de recyclebaarheid en het aanpakken van probleemproducten en
3. het creëren van een gelijk speelveld tussen de verpakkingsmaterialen onderling en tussen de verpakkingsproducenten.

Voor kunststofverpakkingen worden deze speerpunten verder toegelicht. Bij de inzameling wordt het statiegeldsysteem voor PET-flessen als positief voorbeeld genoemd en de verontreiniging van ingezameld PMD als uitdaging. Bij de recyclebaarheid wordt de routekaart als succesvol materiaalverduurzamingsplan gezien en de vele composietverpakkingen (zoals de plastic-papieren broodzak) als probleemproducten. Bij het gelijke speelveld ziet men de PPWR als een stap vooruit, de Nederlandse Circulaire Plastics Norm (NCPN) als potentiële concurrentievervalsing voor Nederlandse kunststofbedrijven ten opzichte van die uit andere landen en de positie van recyclaat ten opzichte van nieuw kunststof als problematisch [155].

► 5.5 Milieuorganisaties

In Nederland zijn verschillende milieuorganisaties actief op het gebied van verpakkingen en verpakkings-afval. De meest uitgesproken groep is de Fair Resource Foundation, het voormalige Recyclingnetwerk Benelux [156]. Deze milieugroep geeft geen definitie van “duurzaam verpakken” op haar website. Wel blijkt uit haar projectenlijst dat zij de nadruk legt op het uitbreiden van statiegeldsystemen en het invoeren van hergebruikssystemen.

Een tweede organisatie is Natuur & Milieu, dat zich richt op het versterken van samenwerking tussen de politiek, bedrijven, milieuorganisaties en andere belangenorganisaties waar het gaat om natuur en milieu. Natuur & Milieu is actief op vier thema's: mobiliteit, energie, voedsel en grondstoffen, waarbij de focus ligt op bewuster consumeren, efficiënter grondstofgebruik, minder afval produceren en minder plastic gebruiken [157]. Voor verpakkingen

streeft zij naar meer hergebruik, betere recyclebaarheid en de uitbreiding van statiegeldsystemen. In 2021 heeft zij de beperkte recyclebaarheid van verpakkingen in de Nederlandse supermarkten onderzocht [158].

► 5.6 Reflectie op de perspectieven van betrokken partijen

Uit de voorgaande analyse is duidelijk dat vrijwel iedere actor in het veld van verpakkingen een ander perspectief hanteert in de eigen definitie van “duurzaam verpakken”. Dit komt logischerwijs voort uit de verschillende rollen en perspectieven, het niveau waarop men het probleem beschouwt (individuele verpakking of alle verpakkingen, verpakking of product-verpakkingscombinatie) en de mate van concreetheid en tijdigheid van oplossingen die men nastreeft. De accenten die de verschillende actoren leggen zijn samengevat in Tabel 9 en schematisch weergegeven in Figuur 10.

Een opvallend verschil tussen de toekomstvisie van verschillende belanghebbenden zit in de beoordeling van het gezondheidsrisico van microplastics. Partijen die dit risico groot achten, willen kunststofgebruik beperken en aanvullend bepleiten enkelen het gebruik van biologisch afbreekbare kunststoffen. De verduurzaming van kartonnen, glazen en metalen verpakkingen richt zich vooral op de-carboniseren van de gebruikte energie en wordt mogelijk mede daarom niet uitgebreid in ogenschouw genomen in visies gerelateerd aan duurzame verpakkingen. In visies die zich richten op duurzame bedrijfsvoering zal de overgang naar hernieuwbare energiebronnen echter een belangrijke rol spelen.

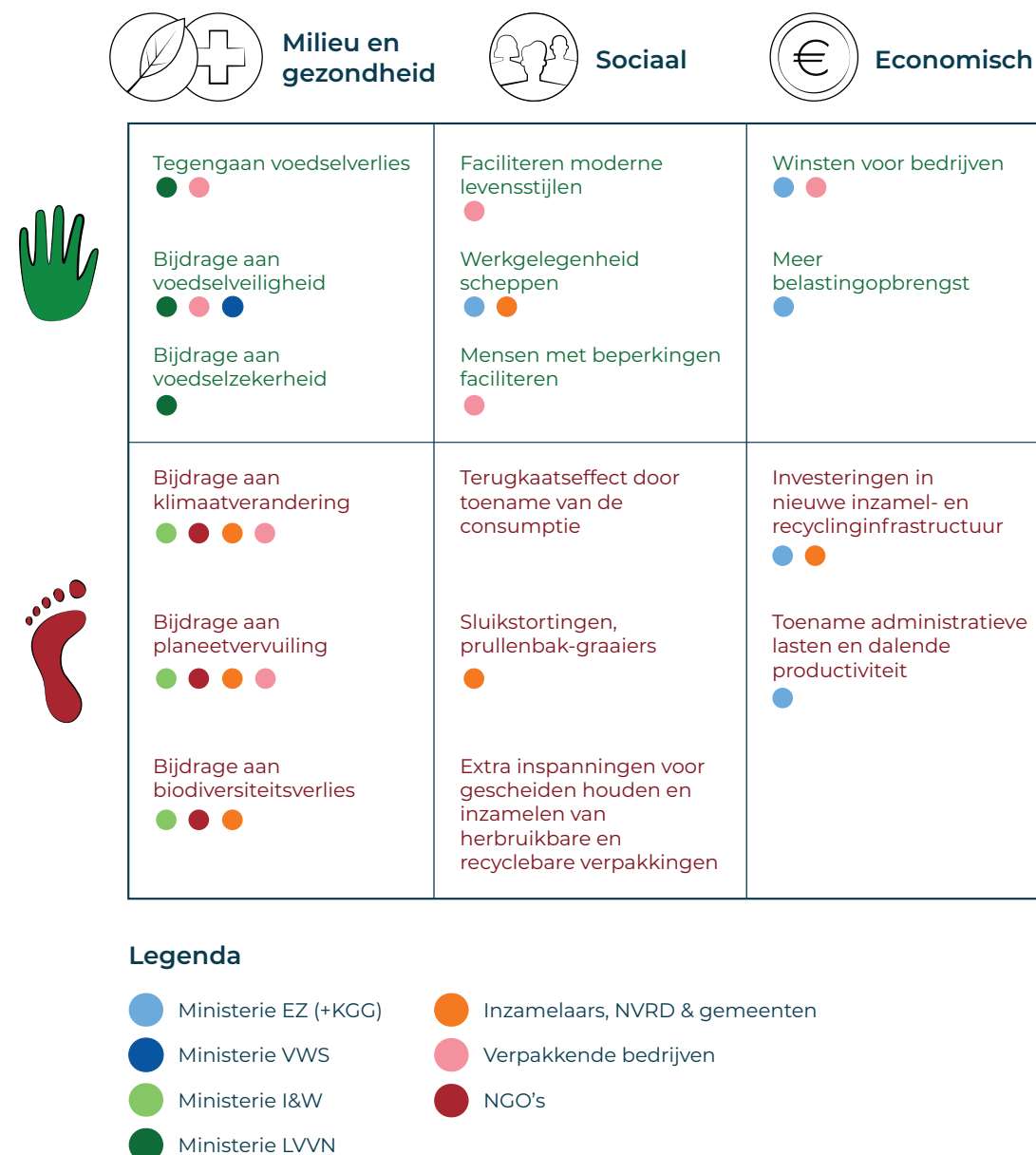
De direct betrokkenen bij de productie en recycling van verpakte levensmiddelen (FNLI, Verpact en NRK Verpakkingen) beschouwen het begrip “duurzame levensmiddelenverpakkingen” op een gelijkaardige manier. Dat wil zeggen dat zij de verschillende mogelijkheden die de circulaire economie biedt centraal plaatsen in hun visie. Alle drie de visies vormen een integraal beeld van combinaties van oplossingsrichtingen:

- De definitie van FNLI is in onze ogen tegelijkertijd modern, compact en veelomvattend. De strikte voorwaarde dat de verpakkingsoplossing voor het specifieke product een positieve klimaatimpact heeft waarborgt dat de milieu-impact van de circulaire verpakkingsoplossing voor het product minimaal is en dat het levensmiddel voldoende wordt beschermd zodat verspilling wordt voorkomen. Verder valt op dat deze definitie situationeel is; dat er andere uitkomsten mogelijk zijn in regio's met andere infrastructuur voor hergebruik, recycling en afvalverwerking.

- Het KIDV (onderdeel Verpact) heeft het ideaalbeeld voor duurzame verpakkingen eerder “intrinsiek duurzaam” genoemd; verpakkingen die goed beschermen, toch minimaal zijn en tijdens de levenscyclus minimale negatieve effecten veroorzaken op het gebied van klimaatverandering, milieuverontreiniging en biodiversiteit. Hierbij hoort ook het effect op het milieu als de verpakking onverhoopt in het zwerfafval terecht komt en als hier gerede kans op is, zal een intrinsiek duurzame verpakking dus volledig moeten afbreken zonder negatieve sporen achter te laten.
- NRK Verpakkingen hanteert een meer praktisch gerichte beschrijving van duurzaam verpakken en geeft een breed beeld van verbeteropties, verspreid over de gehele levenscyclus van een verpakking.

De werkwijzen van bovengenoemde organisaties contrasteert met de meer uiteenlopende accenten die de verschillende ministeries geven. Deze ministeries richten zich vooral op hun eigen beleidsterrein en beschouwen “duurzaamheid” ook hoofdzakelijk vanuit dat perspectief. Zo heeft het ministerie van I&W diverse doelstellingen gesteld voor verpakkingen en afval, maar niet voor het gelijktijdig terugdringen van voedselverspilling. Hiermee lijken de maximalisatie van het scheidingspercentage en minimalisatie van restafvalproductie doelen op zich te zijn geworden, zonder dat gelijktijdig wordt gekeken naar voedselverspilling en de kwaliteit van de gescheiden ingezamelde materialen. Meer samenhang in het beleid van de verschillende ministeries is daarom noodzakelijk om de juiste richting te kunnen geven aan de verduurzaming van verpakkingen.

Ondanks het belang dat verschillende partijen eraan hechten wordt er, voor zover ons bekend, niet gesproken over het harmoniseren van een definitie voor “duurzame levensmiddelverpakkingen” en het hieruit volgende beleid. Het gevolg is dat er verschillende toekomstvisies naast elkaar bestaan waarin de (deel)belangen van de verschillende betrokkenen doorklinken. De door ons voorgestelde holistische definitie van duurzaam verpakken kan bijdragen aan het harmoniseren van de verschillende toekomstvisies. Dit biedt een richting voor toekomstige verpakkingsinnovaties en helpt beleidsmakers bij het ontwikkelen van een integraal verpakkingsbeleid.



Figuur 10: Schematische weergave van de belangrijkste actoren met de accenten die zij leggen rondom het begrip “duurzame levensmiddelenverpakkingen”.

Tabel 9: Overzicht van de belangrijkste actoren met de accenten die zij leggen in hun duurzaam verpakkingsbeleid.

Betrokkene / belanghebbende	Focusgebieden in het duurzaam verpakkingsbeleid
Ministerie I&W	Behalen wettelijke doelstellingen (recyclingpercentages, inzameldoelstellingen drankflessen, etc.) en naleven SUP-verboden. Recycling en hergebruik van verpakkingsmaterialen. Reductie van rest- en zwerfafval, goede inzameling van verpakkingsafval.
Ministerie VWS	Garanderen voedselveiligheid.
Ministerie LNV	Voedselzekerheid. Voedselveiligheid. Voedselverspilling tegengaan. Biobased raffinage.
Ministerie EZ (+KGG)	Klimaatverandering tegengaan. Gelijk speelveld voor bedrijven.
FNLI	Circulaire verpakkingen die middels 4 R-strategieën (reduce, reuse, recycle, renew) optimaal zijn en waarvan met een LCA aangetoond is dat de milieu-impact van het totale verpakte product lager is.
Verpact KIDV	Voorkeursvolgorde in de verduurzaming van verpakkingen: 1. Intrinsiek duurzame verpakkingen 2. Circulaire verpakkingen (herbruikbaar of meermalig recyclebaar) 3. Recyclebare verpakkingen
Verpact	Behalen wettelijke doelstellingen. Bevorderen circulaire verpakkingssystemen (via reuse of recycling) met een aantoonbaar lagere milieu-impact. Eco-modulatie om bedrijven te verleiden beter recyclebare verpakkingen op de markt te brengen.

NRK Verpakkingen	Routekaart volgen; dus verduurzamen waar het kan en hoe het daar kan. Inzameling verpakkingsafval verbeteren (statiegeld, verbeteren kwaliteit PMD). Ontwerp voor recycling van verpakkingen en het ontmoedigen van probleem verpakkingen. Gelijk speelveld voor bedrijven op de markt en voor materialen in de wetgeving.
Fair Resource Foundation	Statiegeldsysteem uitbreiden. Hergebruikssystemen invoeren.
Natuur & Milieu	Bewuster winkelen. Efficiënter grondstofgebruik. Minder afval produceren. Minder plastic gebruiken. Beter recyclebare verpakkingen. Meer hergebruik. Statiegeldsysteem uitbreiden.

Belangrijkste inzichten

- 1** Er is geen breed gedragen definitie van duurzame levensmiddelverpakkingen.
- 2** Betrokkenen leggen verschillende accenten in wat zij als een duurzame levensmiddelverpakking beschouwen.
- 3** De door ons voorgestelde holistische definitie biedt een richting voor toekomstige verpakkingssinnovaties en helpt beleidsmakers bij het ontwikkelen van een integraal verpakkingbeleid.





Hoofdstuk 6

Vooruitblik

6. Vooruitblik

De PPWR gaat in de nabije toekomst veel veranderen aan het verpakkingsgebruik. Sommige beleidsdoelen, zoals het verplichten tot de inzet van recyclelaar en verplichten tot het recyclen van de verpakkingen, gaan goed samen. Andere combinaties van maatregelen kunnen tegenstrijdig zijn; voorbeelden zijn het streven naar zowel materiaalreductie als hergebruik, of gelijktijdig inzetten op ontwerp voor mechanische recycling en voor chemische recycling. Hierdoor zal het lastiger worden voor verpakkingskundigen om tegelijkertijd aan de wet te voldoen en het verpakkingsgebruik te verduurzamen. De definitie en handvatten die we presenteren in Hoofdstuk 4 helpen om duidelijk te zien wat het effect is van bepaalde ontwerpkeuzes, zodat je makkelijker kunt gaan voor de meest duurzame verpakking.

Onder invloed van technische innovaties zal de mix aan beleidsmaatregelen vaak worden herzien. Hierbij is het beeld voor komende jaren nog redelijk scherp en wordt het diffuser in de verdere toekomst. Zo is het niet ondenkbaar dat het binnen 10 jaar technisch mogelijk wordt om bepaalde HDPE en PP verpakkingen ook voedselveilig mechanisch te recyclen door een combinatie van goed ontwerp, aparte sortering, aparte recycling en aanvullende decontaminatie [159-162]. Dit kan een tussentijdse oplossing zijn. Om het doel van een circulair economie, zoals beschreven door de Ellen MacArthur Foundation [23] en het NOVA instituut [25], dichterbij te benaderen is het nodig om te ontkoppelen van ruwe aardolie, en toch goed te verpakken, de materialen in de kringloop te houden en de milieueffecten te minimaliseren. Hiervoor is nog veel onderzoeks- en ontwikkelingswerk noodzakelijk. Drop-in bio-gebaseerde kunststoffen (plastics die identiek zijn aan fossiele plastics maar gemaakt zijn van hernieuwbare grondstoffen) zijn een eenvoudige eerste stap, maar bieden geen oplossing voor het microplastic-vervuilingsprobleem, zodat uiteindelijk toch nieuwe biologisch afbreekbare (en tevens bio-gebaseerde) kunststoffen noodzakelijk gaan zijn. Daarom stellen meerdere groepen wetenschappers een alternatieve visie voor om polyesters te gaan ontwikkelen van hernieuwbare grondstoffen en deze via de-polymerisatie, zuivering en re-polymerisatie in een voedselveilige kringloop te houden [163-165].

In de zoektocht naar duurzamere verpakkingen vormen 'intrinsiek duurzame verpakkingen' het uiteindelijke ideaal. Dit zijn verpakkingen die hun product goed beschermen én tijdens de hele levenscyclus zo min mogelijk milieu-impact hebben. Die milieu-impact moet ook zo klein mogelijk blijven als de verpakking onverhoopt als zwerfafval eindigt. In dat geval zal een intrinsiek duurzame verpakking dus volledig moeten afbreken zonder negatieve sporen achter te

laten. Hiervan zijn helaas nog maar een beperkt aantal voorbeelden bekend, zoals de in 5.3 genoemde eierdoos (*moulded fibre pulp tray*) en de verpakking van shampooobars. De kennis en concrete handvatten in dit naslagwerk dienen als hulpmiddel bij de ontwikkeling van deze intrinsiek duurzame verpakkingen.

Belangrijkste inzichten

- 1 Alle visies op het toekomstig verpakkingsgebruik gaan ervan uit dat er een mix van maatregelen nodig is om het verpakkingsgebruik te verduurzamen. Een geharmoniseerde definitie van 'duurzaam verpakken' is echter niet op korte termijn te verwachten.
- 2 Het ideaalbeeld van duurzaam verpakken is een "intrinsiek duurzame verpakking".
- 3 De kennis en concrete handvatten in dit naslagwerk dienen als hulpmiddel bij de ontwikkeling van deze intrinsiek duurzame verpakkingen.



Lijst met gebruikte afkortingen

AGF	Aardappelen, groente en fruit
BNR	Bruine Nederlandse Retourfles
BPA	Bisfenol A
CBS	Centraal bureau voor de statistiek
CPI	Circulaire prestatie-indicator
EEA	European Environmental Agency
EZ	Ministerie van Economische Zaken
FNLI	Federatie Nederlandse levensmiddelenindustrie
FSC	Forest Stewardship Council
GFT	Groente, fruit en tuinafval
HDPE	Hoge dichtheid polyethyleen
I&W	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
KGG	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
KIDV	Kennisinstituut duurzaam verpakken
LCI	Levenscyclus inventarisatie
LCA	Levenscyclus analyse
LNV	Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselveiligheid en Natuur
MCI	Materiaal circulariteitsindicator
NCPN	Nederlandse circulaire plastic norm
PEF	Product environmental footprint
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification
PET	polyethyleentereftalaat
PMD	Plastic verpakkingen, metaal verpakkingen en drankenkartons
PP	Polypropyleen
PPWR	Packaging and packaging waste regulation
PS	Polystyreen
PSA	Pressure sensitive adhesive; zelf-klevend materiaal, meestal een polyacrylaat
PUR	Polyurethaan
StiMo	Stichting materialenorganisaties
SPA	Sustainable Packaging Alliance
SPC	Sustainable Packaging Coalition
SUP	Single use plastics, eenmalig bruikbare kunststofartikelen
SUPD	Single use plastics directive
VN	Verenigde Naties
VANG	Van afval naar grondstof
VCM	Voedselcontactmaterialen: verzamelbegrip van verpakkingen, kookgerei, snijplanken, etc.
VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
WFBR	Wageningen Food & Biobased Research

Literatuurlijst

1. European parliament and Council, Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste - Statement by the Council, the Commission and the European Parliament. Official Journal of the European Union, 2004. L47 / 26: p. 6.
2. Carlowitz, H.C., Sylvicultura Oeconomica, Oder Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung Zur Wilden Baum-Zucht. 1713, Dresden: Braun.
3. Meadows, D.H., et al., The limits to growth. 1972, Washington (USA): Potomac associates. 205.
4. European Parliament and Commission, DIRECTIVE 2008/98/EC Waste Framework directive. Official Journal of the European Union, 2008(L 312 / 3): p. 28.
5. Lansink, A. Ladder van Lansink. 2014 [cited July 8th 2024]; Available from: <https://www.adlansink.nl/voorbeeld-pagina/>.
6. Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaier A., Circular Economy: Measuring innovation in product chains. 2017, PBL: The Hague. p. 46.
7. Brundtland, G.H., Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. 1987, New York: United Nations. 25.
8. Elkington, J. 25 years ago I coined the phrase "triple bottom line", here it is why it is time to rethink it. Harvard Business Review June 25th 2018 [cited July 8th 2024]; Available from: <https://hbr.org/2018/06/25-years-ago-i-coined-the-phrase-triple-bottom-line-heres-why-im-giving-up-on-it>.
9. Winans, K., Kendall, A., Deng, H., The history and current applications of the circular economy concept. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. 68(1): p. 825-833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>.
10. Erlöv, L., C. Löfgren, and A. Sörås, Packaging: A Tool for the Prevention of Environmental Impact. Vol. 194. 2000, Stockholm: Packforsk. 52.
11. Braungart, M., McDonough, W., Cradle to cradle, remaking the things we make. 2002, New York: New Point. 208.
12. Boz, Z., V. Korhonen, and C. Koelsch Sand, Consumer Considerations for the Implementation of Sustainable Packaging: A Review. Sustainability, 2020. 12(6): p. 1-34. <https://doi.org/10.3390/su12062192>.
13. Lewis, H., et al., Sustainable Packaging Redefined. 2007, Sustainable Packaging Alliance: Melbourne, VIC.
14. Rockström, J.e.a., A safe operating space for humanity. Nature, 2009. 461(7263): p. 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>.
15. Richardson, K., et al., Earth beyond six of nine planetary boundaries. Science Advances, 2023. 9(37): p. eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>.
16. Rockström, J., et al., Planetary Boundaries guide humanity's future on Earth. Nature Reviews Earth & Environment, 2024. 5(11): p. 773-788. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00597-z>.
17. Sakschewski, B., et al., Planetary Health Check 2025: A Scientific Assessment of the State of the Planet. 2025, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK):

- Potsdam. p. 144. <https://doi.org/10.48485/pik.2025.017>.
18. Steffen, W., et al., Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 2015. 347(6223): p. 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
 19. Raworth, K., Doughnut economics: seven ways to think like a 21st century economist. 2017, Green Junction, Vermont (USA): Chelsea Green Publishing.
 20. ECR Europe, E., Packaging in the Sustainability Agenda: A Guide for Corporate Decision Makers. 2009. p. 48.
 21. United Nations Development Programme. The sustainable development goals. 2015 [cited 2024 July 8th 2024]; Available from: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>.
 22. CBS. Monitor Brede Welvaart en de Sustainable Development Goals 2023. 2023 [cited 2024 July 8th 2024]; Available from: <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/brede-welvaart-en-de-sustainable-development-goals/monitor-brede-welvaart-en-de-sustainable-development-goals-2023>.
 23. World Economic Forum, E.M.F., McKinsey & Company, The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics. 2016: Cowen. p. 120.
 24. United Nations Framework Convention on Climate Change. What is the triple planetary crises? 2022 April 13th 2022 [cited 2024 July 8th 2024]; Available from: <https://unfccc.int/news/what-is-the-triple-planetary-crisis>.
 25. vom Berg, C., Carus, M., Stratmann, M., Dammer, L., Renewable Carbon as a Guiding Principle for Sustainable Carbon Cycles. 2022, NOVA institüt: Hürth, Germany. p. 41.
 26. Systemiq, ReShaping Plastics: Pathways to a Circular, Climate Neutral Plastics System in Europe. 2022: Amsterdam. p. 94.
 27. Marie, C., et al., SPHERE: the packaging sustainability framework. 2022, World business council for sustainable development: Geneva. p. 63.
 28. Dörnyei, K.R., et al., Sustainable food packaging: An updated definition following a holistic approach. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2023. 7: p. 1-12. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1119052>.
 29. Commission, E., et al., Study on sustainability in the context of food contact materials (FCM) in view of a possible revision of the FCM legislation – Final report. 2025: Publications Office of the European Union.
 30. ten Klooster, R., Verpakking buitenstebinnen. 2007, Universiteit Twente: Enschede. p. 68.
 31. Volk, R., et al., Techno-economic assessment and comparison of different plastic recycling pathways: A German case study. *Journal of Industrial Ecology*, 2021. 25(5): p. 1318-1337. <https://doi.org/10.1111/jiec.13145>.
 32. Kedzierski, M., et al., Why is there plastic packaging in the natural environment? Understanding the roots of our individual plastic waste management behaviours. *Sci Total Environ*, 2020. 740(139985): p. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139985>.
 33. Ryberg, M.W., et al., Global environmental losses of plastics across their value chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019. 151(104459): p. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104459>.
 34. EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL, EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL DIRECTIVE 94/62/EC on packaging and packaging waste. *Official Journal of the European Union*, 1994. L 365/10: p. 14.
 35. EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, DIRECTIVE (EU) 2018/852 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste. *Official Journal of the European Union*, 2018. L 150 / 141: p. 14.
 36. European Commission, COMMISSION IMPLEMENTING DECISION (EU) 2019/665 amending Decision 2005/270/EC establishing the formats relating to the database system pursuant to European Parliament and Council Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste. *Official Journal of the European Union*, 2019. L 112 / 26: p. 21.
 37. European Commission. Packaging waste. EU rules on packaging and packaging waste, including design and waste management. 2024 [cited July 5th 2024]; Available from: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en.
 38. European Environmental Agency, Many EU Member States not on track to meet recycling targets for municipal waste and packaging waste. 2023, EEA: Brussels. p. 12. 10.2800/403485.
 39. van Geel, P.L.B.A., Besluit beheer verpakkingen en papier en karton. *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*, 2005. 183: p. 1-38.
 40. van Veldhoven - van der Meer, S., Besluit beheer verpakkingen. *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*, 2021. 309: p. 31.
 41. van Veldhoven - van der Meer, S., Besluit beheer verpakkingen. *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*, 2020. 122: p. 21.
 42. Koninkrijk der Nederlanden. Besluit beheer verpakkingen 2014. Available from: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0035711/2024-01-01>.
 43. Heijnen, V.W.L.A., Regeling vaststellen recyclingpercentage voor drankenkartons, *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*, 2023, 15792.
 44. Verpact, Toelichting op het Verslagleggingsformulier Verpakkingen - Resultaten verpakkingen 2024. Verpact: Leidschenveen. p. 39.
 45. Verpact, Verpacts publieksverslag 2024. 2025, Verpact: Leidschenveen. p. 41.
 46. European Commission, Commission guidelines on single-use plastic products in accordance with Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. *Official Journal of the European Union*, 2021. C 216/1: p. 46.
 47. Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, Besluit kunststofproducten voor eenmalig gebruik. *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*, 2021. 294: p. 54. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045257/2024-12-31>.
 48. Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, Regeling kunststofproducten voor eenmalig gebruik. *Staatscourant*, 2022. 8376: p. 45.
 49. European Parliament and Council of the European Union, Packaging and Packaging Waste Regulation 40/2025, in *Official Journal of the European Union*. 2025: Brussels. p. 1-124.

50. European Commission. Circular Economy Action Plan. 2015 [cited July 8th 2024]; Available from: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en.
51. Rijkswaterstaat. Programma VANG huishoudelijk afval. 2015 [cited July 8th 2024]; Available from: <https://vang-hha.nl/programma/#:~:text=Het%20programma%20VANG%20DHHA%20beslaat,hel%20verbeteren%20van%20huishoudelijke%20afvalscheiding>.
52. International organization for standardization, Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. 2006, ISO: Vernier (CH). p. 20.
53. International organization for standardization, Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. 2006, ISO: Vernier (CH). p. 46.
54. International organization for standardization, Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. 2018, International organization for standardization, Vernier (CH). p. 46.
55. Sala, S., Reale, F., Cristobal Garcia, J., Marelli, L., Pant, R. , Life cycle assessment for the impact assessment of policies. 2016, JRC: Brussels. <https://doi.org/10.2788/318544>.
56. Zampori, L., Pant, R., Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. 2019, JRC: Luxembourg. p. 248. <https://doi.org/10.2760/424613>.
57. Kan, M., Miller, S.A., Environmental impacts of plastic packaging of food products. Resources, Conservation and Recycling, 2022. 180(106156): p. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106156>.
58. Qin, Y. and A. Horvath, What contributes more to life-cycle greenhouse gas emissions of farm produce: Production, transportation, packaging, or food loss? Resources, Conservation and Recycling, 2022. 176(105945): p. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105945>.
59. Williams, H. and F. Wikström, Environmental impact of packaging and food losses in a life cycle perspective: a comparative analysis of five food items. Journal of Cleaner Production, 2011. 19(1): p. 43-48. [10.1016/j.jclepro.2010.08.008](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.08.008).
60. Molina-Besch, K., F. Wikström, and H. Williams, The environmental impact of packaging in food supply chains—does life cycle assessment of food provide the full picture? The International Journal of Life Cycle Assessment, 2018. 24(1): p. 37-50. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1500-6>.
61. Wikström, F., et al., The influence of packaging attributes on consumer behaviour in food-packaging life cycle assessment studies - a neglected topic. Journal of Cleaner Production, 2014. 73: p. 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.042>.
62. Vergheze, K., et al., Packaging's Role in Minimizing Food Loss and Waste Across the Supply Chain. Packaging Technology and Science, 2015. 28(7): p. 603-620. <https://doi.org/10.1002/pts.2127>.
63. Crippa, M., et al., Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. Nature Food, 2021. 2(3): p. 198-209. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>.
64. Roosen, M., et al., Detailed Analysis of the Composition of Selected Plastic Packaging Waste Products and Its Implications for Mechanical and Thermochemical Recycling. Environ Sci Technol, 2020. 54(20): p. 13282-13293. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03371>.
65. Santomasi, G., et al., Strategies to enhance the circularity of non-bottle PET packaging waste based on a detailed material characterisation. Waste Manag, 2024. 186: p. 293-306. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.06.016>.
66. Logan, H., T.F. Astrup, and A. Damgaard, Additive inclusion in plastic life cycle assessments part I: Review of mechanical recycling studies. Journal of Industrial Ecology, 2024: p. 1-16. <https://doi.org/10.1111/jiec.13542>.
67. Logan, H., et al., Additive inclusion in plastic life cycle assessments, part II: Review of additive inventory data trends and availability. Journal of Industrial Ecology, 2024: p. 1-13. <https://doi.org/10.1111/jiec.13534>.
68. Theurl, M.C., et al., Contrasted greenhouse gas emissions from local versus long-range tomato production. Agronomy for Sustainable Development, 2013. 34(3): p. 593-602. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0171-8>.
69. Payen, S., C. Basset-Mens, and S. Perret, LCA of local and imported tomato: an energy and water trade-off. Journal of Cleaner Production, 2015. 87: p. 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.007>.
70. Edwards-Jones, G., et al., Testing the assertion that 'local food is best': the challenges of an evidence-based approach. Trends in Food Science & Technology, 2008. 19(5): p. 265-274. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.01.008>.
71. B.C. McLellan, G.D.C., D.P. Giurco, K.N. Ishihara, Renewable energy in the minerals industry: a review of global potential. Journal of Cleaner Production, 2012. 32: p. 32-44. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.016>.
72. Hasanbeigi, A., Springer, C., Shi, D, Aluminum Climate Impact - An International Benchmarking of Energy and CO₂ Intensities. 2022, Global Efficiency Intelligence: Florida (USA). p. 27.
73. Cabernard, L., et al., Growing environmental footprint of plastics driven by coal combustion. Nature Sustainability, 2021. 5(2): p. 139-148. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00807-2>.
74. Meng, Q., The impacts of fracking on the environment: A total environmental study paradigm. Science of The Total Environment, 2017. 580: p. 953-957. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.045>.
75. Schrijvers, D.L., P. Loubet, and G. Sonnemann, Developing a systematic framework for consistent allocation in LCA. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016. 21(7): p. 976-993. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1063-3>.
76. Ekvall, T., Tillman, AM, Open-loop recycling: Criteria for allocation procedures. Int. J. LCA, 1997. 2: p. 155-162. <https://doi.org/10.1007/BF02978810>.
77. Huysman, S., et al., Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. Resources, Conservation and Recycling, 2017. 120: p. 46-54. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.013>.
78. Chitaka, T.Y. and T. Goga, The evolution of life cycle assessment in the food and beverage industry: A review. Cambridge Prisms: Plastics, 2023. 1: p. 1-6. <https://doi.org/10.1017/plc.2023.4>.
79. Miller, S.A., The capabilities and deficiencies of life cycle assessment to address the plastic problem. Frontiers in Sustainability, 2022. 3. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.1007060>.

80. Damiani, M., et al., Critical review of methods and models for biodiversity impact assessment and their applicability in the LCA context. *Environmental Impact Assessment Review*, 2023. 101. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107134>.
81. Saling, P., et al., Life cycle impact assessment of microplastics as one component of marine plastic debris. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2020. 25(10): p. 2008-2026. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01802-z>.
82. A.E. Schwarz, S.H., Q.M. Cohen, J.T.K. Quik, M. Golkaram, J.H. Urbanus, T.H.M. van Emmerik, M.A.J. Huijbregts, Microplastic aquatic impacts included in Life Cycle Assessment. *Resources, Conservation & Recycling*, 2024. 209(107787): p. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107787>.
83. Prata, J.C., et al., Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Sci Total Environ*, 2020. 702(134455): p. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>.
84. European Food Safety Authority, et al., Literature review on micro- and nanoplastic release from food contact materials during their use. *EFSA Supporting Publications*, 2025. 22(10): p. 9733E. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2025.EN-9733>.
85. Akdogan, Z. and B. Guven, Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs. *Environ Pollut*, 2019. 254(Pt A): p. 113011. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113011>.
86. Ullah, S., et al., A review of the endocrine disrupting effects of micro and nano plastic and their associated chemicals in mammals. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022. 13(1084236): p. 1-17. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1084236>.
87. de Souza Machado, A.A., et al., Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Glob Chang Biol*, 2018. 24(4): p. 1405-1416. <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>.
88. Tsochatzis, E.D., et al., Microplastics and nanoplastics: Exposure and toxicological effects require important analysis considerations. *Heliyon*, 2024. 10(11): p. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32261>.
89. Hauschild, M.Z., S. Kara, and I. Røpke, Absolute sustainability: Challenges to life cycle engineering. *CIRP Annals*, 2020. 69(2): p. 533-553. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.05.004>.
90. Björn, A., Paulillo, A., Sanyé Mengual, E., De Laurentiis, V., Vea, E., Hauschild, M. Z. and Sala, S., Guidance for applying absolute environmental sustainability assessment on activities at different scales (BETA version). 2025, Joint Research Center: Brussels. p. 56. <https://doi.org/10.2760/7677803>.
91. Santi, R., et al., Sustainable Food Packaging: An Integrative Framework. *Sustainability*, 2022. 14(13): p. 1-17. <https://doi.org/10.3390/su14138045>.
92. Nordin, N. and S. Selke, Social Aspect of Sustainable Packaging. *Packaging Technology and Science*, 2010. 23: p. 317-326. <https://doi.org/10.1002/pts.899>.
93. International organization for standardization, Environmental management — Principles and framework for social life cycle assessment. 2024, International organisation for standardization,; Vernier (CH). p. 28.
94. Jørgensen, A., et al., Methodologies for social life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2007. 13(2): p. 96-103. <https://doi.org/10.1065/lca2007.11.367>.
95. Mesa Alvarez, C. and T. Ligthart, A social panorama within the life cycle thinking and the circular economy: a literature review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2021. 26(11): p. 2278-2291. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01979-x>.
96. European Parliament and Council, Regulation on the provision of food information to consumers. *Official Journal of the European Union*, 2011. L304/18: p. 46.
97. Pousette, S., et al., An Extended Method to Measure Overall Consumer Satisfaction with Packaging. *Packaging Technology and Science*, 2014. 27(9): p. 727-738. <https://doi.org/10.1002/pts.2064>.
98. Hu, J., et al., Beyond theory of planned behavior: A meta-analysis of psychological and contextual determinants of household waste separation. *Environmental Impact Assessment Review*, 2026. 116(108087): p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108087>.
99. Katan, L., Revisiting the experience of inconvenience and everyday life practices: the case of waste sorting. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 2022. 18(1): p. 187-200. <https://doi.org/10.1080/15487733.2022.2031563>.
100. Geiger, J.L., et al., A meta-analysis of factors related to recycling. *Journal of Environmental Psychology*, 2019. 64: p. 78-97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.05.004>.
101. Martinho, G., et al., Factors affecting consumers' choices concerning sustainable packaging during product purchase and recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 2015. 103: p. 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.012>.
102. Otto, S., et al., Food packaging and sustainability – Consumer perception vs. correlated scientific facts: A review. *Journal of Cleaner Production*, 2021. 298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126733>.
103. Zink, T., Geyer, R., The circular economy rebound. *J. Ind. Ecol.*, 2017. 21: p. 593-602 <https://doi.org/10.1111/jiec.12545>.
104. Castro, C.G., et al., The rebound effect of circular economy: Definitions, mechanisms and a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 2022. 345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131136>.
105. Dütschke, E., et al., Moral Licensing—Another Source of Rebound? *Frontiers in Energy Research*, 2018. 6: p. 1-10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00038>.
106. Steg, L. and C. Vlek, Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. *Journal of Environmental Psychology*, 2009. 29(3): p. 309-317. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.10.004>.
107. Paradies, G., F. Taminiau, and J. Gerdes, Het potentieel van leefstijlveranderingen in de Nederlandse klimaattransitie - Inschattingen van elf leefstijlveranderingen. 2025, TNO: Amsterdam. p. 162.
108. França, W.T., et al., Integrating life cycle assessment and life cycle cost: a review of environmental-economic studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2021. 26(2): p. 244-274. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01857-y>.
109. Bradley, R., et al., A total life cycle cost model (TLCCM) for the circular economy and its application to post-recovery resource allocation. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018. 135: p. 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.017>.
110. Bachmann, T.M., et al., Life cycle costing as part of a life cycle sustainability assessment of products: methodology and case studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2024. 29(10): p. 1863-1879. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02347-1>.

111. Thoden van Velzen, E.U. and A.R. Linnemann, Modified Atmosphere Packaging of Fresh Meats – Sudden Partial Adaptation Caused an Increase in Sustainability of Dutch Supply Chains of Fresh Meats. *Packaging Technology and Science*, 2008. 21: p. 37-46. <https://doi.org/10.1002/pts.776>.
112. Mollenkopf, D.C., D.; Twede, D.; Lee, S.; Burgess G., Assessing the viability of reusable packaging: a relative cost approach. *Journal of business logistics*, 2005. 26(1): p. 169-197. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2005.tb00198.x>.
113. Accorsi, R., G. Baruffaldi, and R. Manzini, A closed-loop packaging network design model to foster infinitely reusable and recyclable containers in food industry. *Sustainable Production and Consumption*, 2020. 24: p. 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.06.014>.
114. Groot, J., Bing, X., Bos-Brouwers, H., Bloemhof-Ruwaard, J., A comprehensive waste collection cost model applied to post-consumer plastic packaging waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 2014. 85: p. 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.019>.
115. Saidani, M., et al., A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 2019. 207: p. 542-559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>.
116. Ellen MacArthur Foundation, Circularity indicators - an approach to measuring circularity. 2019, Ellen MacArthur Foundation: Cowen. p. 64.
117. Bracquené, E., W. Dewulf, and J.R. Duflou, Measuring the performance of more circular complex product supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020. 154(104608): p. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104608>.
118. Cimpan, C., et al., Keep circularity meaningful, inclusive and practical: A view into the plastics value chain. *Waste Manag*, 2023. 166: p. 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.04.049>.
119. Razza, F., et al., Metrics for quantifying the circularity of bioplastics: The case of bio-based and biodegradable mulch films. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020. 159: p. 104753. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104753>.
120. Huijbregts, M.A.J., Rombouts, L.J.A., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, A.J., Van de Meent, D., Ragas, A.M.J., Reijnders, L., Struijs, J., Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products? *Environmental science & technology*, 2006: p. 641-648. <https://doi.org/10.1021/es051689g>.
121. Bos, H.L., et al., Accounting for the constrained availability of land: a comparison of bio-based ethanol, polyethylene, and PLA with regard to non-renewable energy use and land use. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2012. 6(2): p. 146-158. <https://doi.org/10.1002/bbb.1320>.
122. Villarrubia-Gómez, P., et al., Plastics pollution exacerbates the impacts of all planetary boundaries. *One Earth*, 2024. 7(12): p. 2119-2138. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.10.017>.
123. Brouwer, M.T., et al., A predictive model to assess the accumulation of microplastics in the natural environment. *Science of The Total Environment*, 2024. 957(177503): p. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177503>.

124. Frojan, J., et al., Scoring methodology for comparing the environmental performance of food packaging. *Packaging Technology and Science*, 2023. 36(6): p. 439-463. <https://doi.org/10.1002/pts.2720>.
125. Klein, M., et al., Fit for the Future: An Assessment of the Sustainability Parameters of Liquid Dairy Product Packaging in the DACH Region and the Implications of Upcoming Regulatory Changes. *Foods*, 2025. 14(2). <https://doi.org/10.3390/foods14020195>.
126. Lieselot Boone, N.P., Trang T. Nhu, Fabio Fiordelisi, Valérie Guillard, Matthias Blanckaert, Jo Dewulf,, Environmental performance of plastic food packaging: Life cycle assessment extended with costs on marine ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 2023. 894(164781): p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164781>.
127. Vulsteke, K., et al., What is the meaning of value in a circular economy? A conceptual framework. *Resources, Conservation and Recycling*, 2024. 207(107687): p. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107687>.
128. THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, DIRECTIVE (EU) 2019/904 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. *Official Journal of the European Union*, 2019. L 155/1: p. 1-19.
129. Notpla, I. Notpla. September 23rd, 2025]; Available from: <https://www.notpla.com/>.
130. KIDV. KIDV Recyclecheck papier en kartonverpakkingen. 2024 [cited November 11th 2024]; Available from: <https://kidv.nl/kidv-recyclecheck-papier-en-karton-verpakkingen>.
131. Thoden van Velzen, E.U., Brouwer, M.T., Keijzers, E., Pretz, Th., Feil, A., Jansen, M., Pilot beverage cartons - extended technical report. 2013, WFBR: Wageningen. p. 155.
132. De Nederlandse Brouwers. Bruine Nederlandse Retourfles (BNR). 2025 [cited February 27, 2025]; Available from: <https://www.nederlandsebrouwers.nl/biersector/duurzaamheid-en-ketenbeheer/verpakkingen/statiegeld-retourflessen/>.
133. Rijksoverheid. Nationaal programma circulaire economie 2023-2030. 2023 [cited July 8th 2024]; Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030>.
134. European Commission, A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. 2018: Brussels. p. 18.
135. European Commission, The European Green Deal. 2019, European Commission: Brussels. p. 24.
136. DG Sante. Food contact materials. 2024 [cited July 11th 2024]; Available from: https://food.ec.europa.eu/safety/chemical-safety/food-contact-materials_en.
137. DG Sante. EU actions against food waste. 2024 [cited July 11th 2024]; Available from: https://food.ec.europa.eu/safety/food-waste/eu-actions-against-food-waste_en.
138. Rijksoverheid. Verpakkingen en verpakkingsafval. 2019 [cited July 8th 2024]; Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/afval/verpakkingen-en-verpakkingsafval>.
139. Rijksoverheid. Vermindering voedselverspilling. 2022 [cited July 9th 2024]; Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/voeding/vermindering-voedselverspilling>.

140. Rijksoverheid. Klimaatbeleid. 2021 [cited July 9th 2024]; Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>.
141. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Klimaatplan 2021-2030. 2020: The Hague. p. 62.
142. Rijksoverheid. Veilige voeding. 2024 [cited July 9th 2024]; Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/voeding/voedselveiligheid-in-nederland>.
143. Rijksdienst voor ondernemend Nederland. Subsidie Omschakeling Plasticverwerkers 2025 (SOPV). 2025 [cited September 2nd, 2025]; Available from: <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sopv>.
144. Rijksoverheid. Biobased economy: biomassa als grondstof. 2025 [cited 2025 September 2nd, 2025]; Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-economie/biobased-economy>.
145. Transitieteam, Transitieagenda kunststoffen. 2018: The Hague. p. 62.
146. Kingma, T. Circulair Verpakken, FNLI visie. in Seminar Duurzaam verpakken in de levensmiddelenindustrie. 2025. Wageningen (NL).
147. Federatie Nederlandse Levensmiddelenindustrie, Handvest circulair en duurzaam verpakken. 2023, FNLI: The Hague. p. 10.
148. Bruijnes, C., et al., The state of sustainable packaging. 2020, The Hague: KIDV.
149. Verplanken, B., Promoting Sustainability: Towards a Segmentation Model of Individual and Household Behaviour and Behaviour Change. Sustainable Development, 2017. 26(3): p. 193-205. 10.1002/sd.1694.
150. Testa, F., et al., Five shades of plastic in food: Which potentially circular packaging solutions are Italian consumers more sensitive to. Resources, Conservation and Recycling, 2021. 173(105726): p. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105726>.
151. Jain, P. and D.M. Hudnurkar, Sustainable packaging in the FMCG industry. Cleaner and Responsible Consumption, 2022. 7(100075): p. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2022.100075>.
152. Verpact. De plastic wijzer. 2023 [cited July 10th 2024]; Available from: <https://www.verpact.nl/nl/de-plastic-wijzer>.
153. Verpact, Visiedocument chemische en fysische recycling. 2023, Verpact: Leidschendam. p. 22.
154. Krebbekx, J., Duivenvoorde, G., Haffmans, S., Routekaart materiaalverduurzaming kunststof verpakkingen. 2018, Berenschot: Utrecht. p. 74.
155. STIMO. Visiedocument. 2024 [cited July 15th 2024]; Available from: <https://stichtingmateriaalorganisaties.nl/wp-content/uploads/2024/06/StiMo-Visiedocument-Final-Version-gecomprimeerd.pdf>.
156. Fair Resource Foundation. Fair Resource Foundation. 2024 [cited July 15th 2024]; Available from: <https://fairresourcefoundation.org/>
157. Natuur en Milieu. Circulaire economie. 2024 [cited July 15th 2024]; Available from: <https://natuurenmilieu.nl/themas/circulaire-economie/>.
158. Vierstra, J., van der Ploeg, R., van Megen, O., Plastic in de supermarkt 2021, Natuur en Milieu: Utrecht. p. 30.
159. Rung, C., et al., Identification and Evaluation of (Non-)Intentionally Added Substances in Post-Consumer Recyclates and Their Toxicological Classification. Recycling, 2023. 8(1): p. 1-19. <https://doi.org/10.3390/recycling8010024>.
160. Thoden van Velzen, E.U., et al., Volatile organic contaminants in HDPE milk bottles along the mechanical recycling value chain, revealing origins and contamination pathways. Journal of Cleaner Production, 2024. 459(142571): p. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142571>.
161. Welle, F., Recycling of Post-Consumer HDPE Bottle Caps into New Caps for Food Contact. Recycling, 2025. 10(197): p. 1-13. <https://doi.org/10.3390/recycling10060197>.
162. Estremera, C., et al., Super-Critical Fluid Extraction (SFE) with CO₂ as decontamination step for recycling polyethylenes for food contact. Food Packaging and Shelf Life, 2026. 53: p. 101682. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2025.101682>.
163. Haussler, M., et al., Closed-loop recycling of polyethylene-like materials. Nature, 2021. 590(7846): p. 423-427. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03149-9>.
164. Payne, J. and M.D. Jones, The Chemical Recycling of Polyesters for a Circular Plastics Economy: Challenges and Emerging Opportunities. ChemSusChem, 2021. 14(19): p. 4041-4070. <https://doi.org/10.1002/cssc.202100400>.
165. Curley, J.B., et al., Closed-loop recycling of mixed polyesters via catalytic methanolysis and monomer separations. Nature Chemical Engineering, 2025. 10.1038/s44286-025-00275-x.

