



Ruimtelijke effecten van de circulaire economie

Vijf cases bekeken



Committed to the Environment

Ruimtelijke effecten van de circulaire economie

Vijf cases bekeken

Dit rapport is geschreven door:

Geert Warringa, Daan Juijn (CE Delft)

Jos van Heest, Joost Hagens (Bureau Buiten)

Delft, CE Delft, maart 2022

Publicatienummer: 22.210386.046

Hergebruik / Grondstoffen / Economie / Ruimte / Effecten / Kunststoffen / Bouwnijverheid / Auto's /
Wegenbouw / Waterbouw / Grindwinning / Zandwinning / Biomassa

Opdrachtgever: Planbureau voor de Leefomgeving

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Geert Warringa (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
	1.1 Aanleiding	6
	1.2 Doelstelling	6
	1.3 Scope	6
	1.4 Aanpak	7
	1.5 Leeswijzer	7
2	Ruimtelijke effecten circulaire plasticsindustrie	8
	2.1 Productie virgin plastics en ruimtegebruik	8
	2.2 Activiteiten voor een meer circulaire plasticketen	9
	2.3 Ruimtelijk economische consequenties	10
	2.4 Vrijvallen ruimte fossiele productie	16
	2.5 Conclusies	17
3	Woning- en utiliteitsbouw	19
	3.1 Inleiding	19
	3.2 Huidig productieproces	19
	3.3 Activiteiten voor een meer circulaire gewapend betonketen	22
	3.4 Ruimtelijk-economische effecten	25
	3.5 Conclusies	29
4	Auto's delen	30
	4.1 Inleiding	30
	4.2 Activiteiten zonder delen en ruimtegebruik	30
	4.3 Activiteiten voor een meer circulaire keten (deelconcept)	31
	4.4 Ruimtelijk economische consequenties	31
	4.5 Conclusies	33
5	Grond, weg en waterbouw	34
	5.1 Inleiding	34
	5.2 Huidig productieproces	34
	5.3 Activiteiten voor een meer circulaire asfaltketen	37
	5.4 Ruimtelijk-economische effecten	40
	5.5 Conclusies	41
6	Productie lokale biomassa	43
	6.1 Inleiding	43
	6.2 Huidige situatie	43
	6.3 Ontwikkelingen 2030/2050	45
	6.4 Conclusie	48



7	Conclusies	49
8	Literatuur	53



Samenvatting

Het Planbureau voor de Leefomgeving werkt momenteel aan de tweede fase van de Ruimtelijke Verkenning. De tweede fase van de Ruimtelijke Verkenning 2022 kent meerdere modules. Eén van deze modules focust op de ruimtelijke effecten van de transitie naar een circulaire economie. Dit rapport, dat input vormt voor de Ruimtelijke Verkenning 2022, illustreert de oorzaken en effecten van de transitie naar een circulaire economie in de ruimtelijke economie in Nederland op basis van vijf cases.

De vijf cases betreffen de plasticsindustrie, woningbouw/utiliteitsbouw, auto delen, grond, weg- en waterbouw, en lokale teelt van biomassa. De ruimtelijke impacts van een circulaire economie verschillen per sector, maar kunnen in potentie groot zijn (onder de voorwaarde dat een vergaande circulaire economie ook echt gerealiseerd wordt):

- **Plasticsindustrie.** Op dit moment is het aandeel recycalaat in plasticproducten ongeveer 15%. Bij een volledig circulaire economie is 40% recycalaat en circa 50% bioplastics denkbaar. Een hoger aandeel recycalaat vergt meer ruimte voor sortering, opslag, recycling-activiteiten van ingezamelde plastics. Het ruimtebeslag voor de productie van bioplastics is erg afhankelijk van het feit of de biomassa in Nederland wordt geteeld of geïmporteerd. Bij meer import is het ruimtebeslag in Nederland kleiner dan als de biomassa in Nederland wordt geteeld.
- **Woningbouw/utiliteitsbouw.** In een volledig circulaire economie zal meer gebruik worden gemaakt van hoogwaardige recycling van gewapend beton (zowel mechanisch als thermisch) en levensduurverlenging (demontabel bouwen). Omdat er meer gebouwd wordt dan gesloopt, zal 80% van het gewapend beton moeten worden gefabriceerd uit andere grondstoffen (basaltvezelstaven, alternatief toeslagmateriaal) of worden vervangen door andere materialen (houtbouw). Recycling en levensduurverlenging vraagt extra opslag- en verwerkingsruimte. Wanneer jaarlijks 500.000 houten woningen gebouwd worden, moet meer hout worden geïmporteerd of moet de Nederlandse productie worden opgeschroefd. De laatste optie leidt tot additioneel ruimtebeslag in Nederland.
- **Auto delen.** De ruimtelijke consequenties zijn in potentie groot als auto delen toeneemt. Dit komt omdat er dan parkeerplaatsen verdwijnen. Zo'n 10% van de bebouwde ruimte bestaat uit parkeerplaatsen. Een kleine vermindering van autobezit kan daarmee zorgen voor veel vrijkomende ruimte. Het ruimtebeslag in de praktijk zal sterk afhankelijk zijn van de mate waarin auto delen toeneemt. Auto delen zal naar verwachting vooral plaatsvinden op locaties waar goed openbaar vervoer is en parkeernormen worden aangescherpt.
- **Grond, weg- en waterbouw.** Binnen deze sector is gefocust op asfalt. Op dit moment wordt het leeuwendeel van het gebruikte asfalt al binnen de sector gerecycled. Innovatieve technieken staan een nog hoger recyclingspercentage toe waardoor vraag naar zand en grind kan afnemen (met ruimtewinst als gevolg). Ook levensduurverlenging met self-healing-asfalt of epoxyhars kan de primaire productie verkleinen. Wanneer in de toekomst primaire productie noodzakelijk blijft, kan het fossiele bindmiddel bitumen worden vervangen voor de biograndstof lignine. Hiervoor moet lignine worden afgevangen bij bestaande industriële processen, of worden geproduceerd uit hout of stro. Binnenlandse primaire productie van lignine zou bij de huidige vraag naar bitumen meer dan een verdubbeling van de houtproductie vereisen, en dus forse additionele ruimte in Nederland.

- **Lokale teelt van biomassa.** Zoals al vermeld bij bioplastics is de toekomstige ruimtelijke impact van lokale teelt van biomassa groot als Nederlandse landbouwgrond in de toekomst grootschalig wordt omgezet voor lokale teelt van biomassa. Het huidige Europese beleid is er echter op gericht om omzetting van landbouwgrond tegen te gaan. Het is daarom goed mogelijk dat het overgrote deel van de biomassa wordt geïmporteerd. In dat geval zijn de ruimtelijke consequenties in Nederland een stuk kleiner.

Uit de vijf cases kunnen een aantal voorzichtige conclusies worden getrokken die gelden voor een breder deel van de economie. Het delen en het verlengen van de levensduur van goederen kan in potentie leiden tot afname van ruimtegebruik door productiefaciliteiten en logistieke activiteiten. Voorbeelden van sectoren waar dit ook voor geldt, zijn elektronica, meubels en textiel. Ook zal er meer vraag komen naar bedrijfsruimten met een hoge milieucategorie voor recyclingactiviteiten en naar locaties voor opslag van geretourneerde materialen. Het gaat hier bij voorkeur om goed bereikbare locaties en bij grote volumes is ook multimodale bereikbaarheid (weg, spoor en water) van belang. In de circulaire economie zal daarom voldoende ruimte beschikbaar moeten zijn voor locaties met een hoge milieuruimte en een goede ontsluiting.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Planbureau voor de Leefomgeving werkt momenteel aan de tweede fase van de Ruimtelijke Verkenning 2022 - een vervolg op de Ruimtelijke Verkenning 2019. In dit overkoepelende onderzoeksproject 'Nederland Later 2' wordt een nadere uitwerking gegeven van de Nationale Omgevingsvisie (NOVI), en wordt op integrale wijze de ruimtelijke impact van diverse maatschappelijke opgaven in beeld gebracht, om zo het debat over strategische ruimtelijke beleidsopties te verdiepen.

De tweede fase van de Ruimtelijke Verkenning 2022 kent meerdere modules. Eén van deze modules heeft de naam 'Duurzame Economie' en focust op de ruimtelijke effecten van de transitie naar een circulaire economie. Het (demissionair) kabinet heeft recent het doel gesteld om in 2050 een volledig circulaire Nederlandse economie te realiseren. En in 2030 zou Nederland al voor 50% circulair moeten opereren.

In dit rapport hebben we op basis van een vijftal cases geïllustreerd hoe de transitie naar een circulaire economie zou kunnen neerslaan in de ruimtelijke economie in Nederland, en welke drivers daaraan ten grondslag liggen. Dit rapport vormt input voor de Ruimtelijke Verkenning 2022.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om inzichtelijk te maken wat de ruimtelijk-economische consequenties zijn van het circulair maken van de Nederlandse economie. Het gaat hierbij om effecten op ruimtegebruik, clustering/spreiding van activiteiten, belangrijke redenen van vestiging op locaties en goederenstromen tussen verschillende delen van Nederland.

1.3 Scope

Om de ruimtelijke economische consequenties van de circulaire economie in beeld te brengen, hebben we ons gefocust op vijf verschillende sectoren. De vijf sectoren zijn geselecteerd op basis van huidig ruimtegebruik, volume van grondstofstromen en circulaire potentie. Het zijn dus sectoren die een potentieel grote impact op de ruimte hebben bij de transitie naar een circulaire economie. Deze sectoren komen grotendeels overeen met de transitieagenda's van de overheid:

1. Plasticsindustrie.
2. Woningbouw/utiliteitsbouw.
3. Products a service sector (auto delen).
4. Grond, weg- en waterbouw.
5. Lokale teelt biomassa.

We hanteren daarbij een lange termijn tijdshorizon (2050) en effecten die op kortere termijn (tot 2030) te verwachten zijn. Het gaat om de ruimtelijke consequenties in Nederland (niet het ruimtebeslag van Nederlandse productie en consumptie in het buitenland).

Als basis voor de definitie van de circulaire economie gebruiken we vier activiteiten die zijn gebaseerd op de R-ladder:

1. Het gebruik van minder grondstoffen.
2. Levensduurverlenging door hergebruik en reparatie.
3. Recycling van materialen, om zo de kringloop te sluiten.
4. Substitutie van grondstoffen door hernieuwbare grondstoffen.

1.4 Aanpak

Om de effecten in beeld te brengen hebben we een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd en gebruik gemaakt van de expertise van CE Delft en Bureau BUITEN. We hebben daarbij eerst in kaart gebracht wat het huidige ruimtegebruik is van de lineaire economie. Vervolgens hebben we in kaart gebracht wat de ruimtelijke effecten zijn van meer circulaire activiteiten en in welke mate deze het ruimtegebruik van de lineaire economie zullen vervangen (of dat lineaire en circulaire activiteiten naast elkaar blijven bestaan).

1.5 Leeswijzer

De hoofdstukindeling van het rapport volgt de indeling van de casestudies:

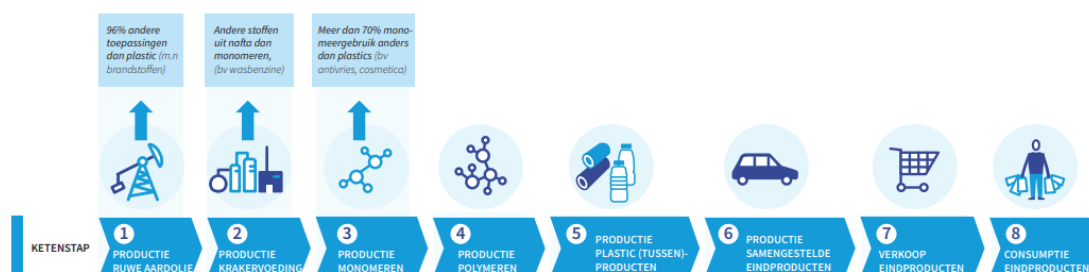
- in Hoofdstuk 2 beschrijven we de ruimtelijk economische consequenties voor de plasticsindustrie;
- in Hoofdstuk 3 t/m 6 doen we dit voor respectievelijk woningbouw/utiliteitsbouw, auto delen, GWW-sector en biomassa;
- in Hoofdstuk 7 presenteren we de conclusies.

2 Ruimtelijke effecten circulaire plasticsindustrie

2.1 Productie virgin plastics en ruimtegebruik

Bij een meer circulaire keten zal de op fossiele plastics gebaseerde industrie, in ieder geval op lange termijn, (deels) vervangen worden door de productie van meer recycleat en/of bioplastics. De huidige fossiele productieketen is weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1 - Productieketen plastics



Bron: CE Delft, (2021).

Aan het begin van de plastic keten zijn veelal grote industriële bedrijven actief. Plastics worden voornamelijk geproduceerd uit ruwe aardolie.¹ De Nederlandse raffinaderijen bevinden zich voornamelijk in de Rotterdamse haven (vijf stuks) die hun aardolie krijgen aangevoerd per tanker vanuit bijvoorbeeld het Noordzeegebied, Rusland en het Midden-Oosten. Daarnaast is er in Zeeland een raffinaderij die via een pijplijn met de Rotterdamse haven is verbonden. De aardolie wordt via verschillende industriële schakels in de keten omgezet in plastic producten. Dit gebeurt door de output van de olieraffinaderijen in een kraker om te zetten in simpele chemische gasvormige verbindingen die in een plasticfabriek worden omgezet in plastic korrels. Deze krakers (in totaal zes) bevinden zich in de Rotterdamse haven (in de nabijheid van de raffinaderijen), Terneuzen en Geleen. De kraker in Geleen krijgt de grondstoffen aangeleverd via een groot pijpleidingnet waarmee deze is verbonden met Antwerpen, Rotterdam en het Ruhrgebied². De grondstoffen in Terneuzen komen aan per schip.³

Ook het omzetten van de gasvormige verbindingen in plastic korrels is een grootschalig industrieel proces op terreinen die veel milieuruimte nodig hebben. Er zijn in totaal vijftien producenten in Nederland actief. Deze partijen produceren zowel voor de Nederlandse markt als de export.

¹ 5% van de aardolie wordt gebruikt voor de productie van plastic; 95% voor andere toepassingen zoals brandstoffen. Daarnaast kunnen plastics ook worden gemaakt uit aardgas.

² [SABIC Netherlands.nl](https://www.sabic-netherlands.nl)

³ [VNCI : De beste kraker van Europa](https://www.vinci.nl)

In de volgende schakels van de keten neemt het grootschalige karakter van plasticproductie af. Het omzetten van de plastic korrels in plastic producten gebeurt veelal door MKB-bedrijven (1.400 stuks) die verspreid over heel Nederland plastic producten maken. Dit zijn kleinschaligere productieprocessen die kunnen plaatsvinden op meer lokale bedrijven-terreinen. De afnemers van de plastic producten zijn divers en kunnen zowel kleine als grote bedrijven zijn (bijvoorbeeld elektronica producenten, verpakkingindustrie, automotive). Dit geldt ook voor de retail die plastic eindproducten verkoopt.

Het huidige ruimtegebruik van de plastic keten varieert daarmee van enkele industriële partijen met veel ruimtebehoefte in hoge milieucategorieën die de plastic korrels maken tot meer kleinschalige bedrijven die de plastic halffabricaten en producten maken en verkopen.

2.2 Activiteiten voor een meer circulaire plastic keten

Momenteel bestaat slechts 15% van de plastic producten uit recycalaat; 85% van de plastics zijn gemaakt uit virgin grondstoffen (CE Delft, 2021). Er is daarom nog een groot potentieel om meer recycalaat in te zetten in plastic producten. Levensduurverlenging (verleng de kringloop) en/of minder gebruik van plastics (verklein de kringloop) kunnen nuttige aanvullende strategieën zijn om de productie van virgin plastics terug te dringen, maar wij verwachten dat het grootste potentieel (en ruimtelijke impact) ligt bij de inzet van meer biobased kunststoffen en recycalaat.

Biobased plastics zijn gemaakt van hernieuwbare biomassa, zoals maïs, tarwe, suikerriet of eetbare oliën. Omdat biobased plastics vanuit biologisch materiaal in plaats van aardolie wordt gemaakt, wordt er bij verbranding geen extra lang cyclische CO₂ aan de kringloop toegevoegd. Als biomassa wordt geproduceerd op Nederlands grondgebied voor de bioplastics, is de potentiële ruimtelijke impact zeer groot (zie Paragraaf 2.3).

Bij recycling is er direct ruimtebeslag voor de recyclingfabrieken. Daar komt bij dat ook aanvullende ruimte gereserveerd moet worden om het plasticafval op te slaan en logistiek nodig is om de afvalstromen in te zamelen en naar sorteer- en recyclingfabrieken te vervoeren. Er zijn twee vormen van plasticrecycling mogelijk:

1. Meest gebruikelijk op dit moment is mechanische recycling. Hierbij worden de plastics gesorteerd, gewassen en weer omgesmolten tot polymeren. Deze gerecyclede polymeren kunnen virgin polymeren vervangen bij de productie van plastic (tussen)producten.
2. Een alternatief voor mechanische recycling is chemische recycling. Hierbij wordt de chemische structuur van het afgedankte plastic (polymeren) veranderd en afgebroken tot monomeren of de oorspronkelijke bouwstenen. Dit kunnen polymeren, monomeren of moleculen zijn, afhankelijk van de techniek. Deze bouwstenen kunnen opnieuw worden ingezet in de keten.⁴

⁴ Omdat de polymeren die worden verkregen door chemische recycling dezelfde kwaliteit (zuiverheid) hebben als die van de virgin plastics, kunnen er hoogwaardigere plastics mee worden gemaakt met meer toepassingen dan mechanisch gerecyclede plastic. Wel is het milieuvoordeel van de chemische recycling in het algemeen kleiner dan bij mechanische recycling, omdat er meer energie voor nodig is om de plastics te recyclen. Bij solvolys (PS) en depolymerisatie (PET) is dit verschil heel klein. Bij pyrolyse en vergassing is het milieuvoordeel van chemische recycling grofweg de helft van dat van mechanische recycling.

2.3 Ruimtelijk economische consequenties

Afvalinzameling

Meer inzet van recyclaat zal ruimte vergen om de ingezamelde en gesorteerde plastics op te slaan en naar recyclingfabrieken te transporteren. De meeste plastics komen vrij bij verpakkingen (60%). Andere (kleinere) stromen zijn elektronica, de bouw, landbouw en automotive. Het ruimtebeslag voor brongescheideninzameling van verpakkingen hangt samen met afvalcontainers bij woningen en bedrijven, of in het geval van nascheiding met nascheidingsinstallaties nabij afvalverbrandingsinstallaties. In Nederland staan afvalverbrandingsinstallaties in Delfzijl, Harlingen, Midden-Drenthe, Hengelo, Weurt, Duiven, Alkmaar, Amsterdam, Rotterdam/Dordrecht, Moerdijk en Roosendaal (Rijkswaterstaat, 2021).

Er zijn vijf sorteerinstallaties (voor verpakkingen) in Nederland: in Zwolle, Rotterdam, Heerenveen (Omrin, bron- en nascheiding), Wijster (Attero, bron- en nascheiding), en Amsterdam. In de sorteerinstallaties worden PMD (Plastics, Metalen, Drankenkartons)-stromen of nagescheiden fracties verder gesorteerd. Dit is vooral huishoudelijk afval. In Rotterdam wordt ook bedrijfsmatig PMD gesorteerd.

Sorteerinstallaties hebben een typische oppervlakte van enkele hectaren. Het terrein in Zwolle beslaat bijvoorbeeld 2,7 ha (165 meter * 163 meter). Sorteersinstallaties vallen in een relatief hoge milieucategorie. De sorteersinstallatie in Zwolle valt in milieucategorie 4.2. Bij deze milieucategorie is de gemiddelde richtafstand tot een woonwijk ongeveer 300 meter. Naast direct ruimtebeslag hebben deze installaties daarom ook een indirect ruimtebeslag waarbij woningbouw niet meer mogelijk is. Bedrijventerreinen, met een goede bereikbaarheid over weg en met ruimte voor hogere milieuhindercategorie zijn dus geschikte vestigingslocaties.

Tabel 1 - Richtafstanden tot een woonwijk van bedrijven per milieucategorie

Milieucategorie	Richtafstand tot 'rustige woonwijk' of 'rustig buitengebied'
1	10
2	30
3.1	50
3.2	100
4.1	200
4.2	300
5.1	500
5.2	700
5.3	1.000
6	1.500

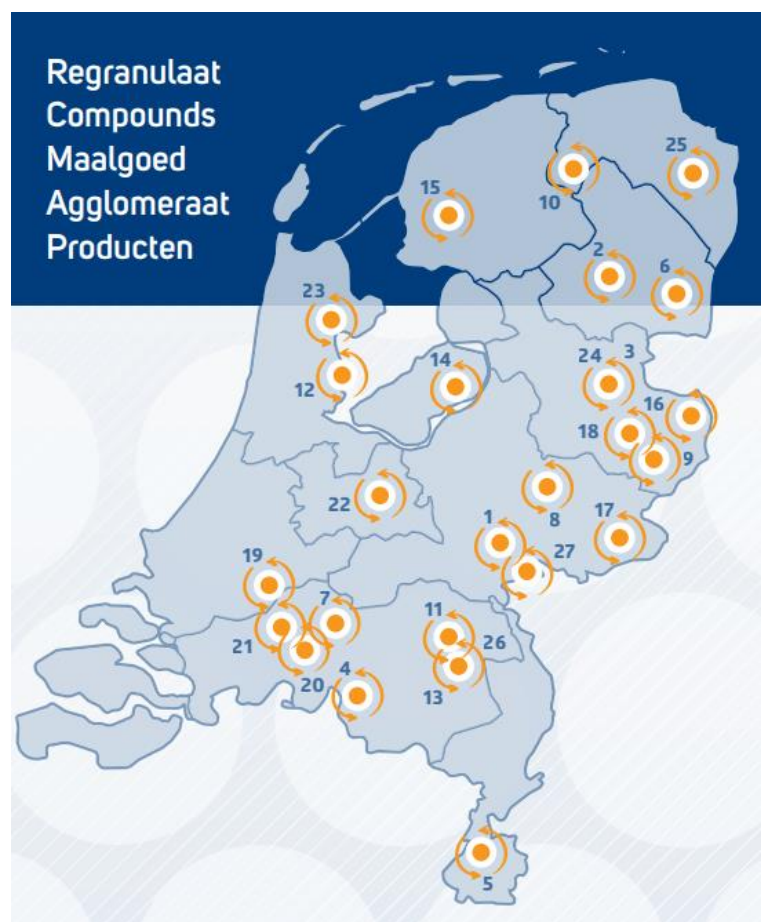
Bron: Infomil⁵.

⁵ <https://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/functies/bedrijven/milieuzonering/>

Mechanische recycling

De gesorteerde plastics gaan naar mechanische (of chemische) recyclingfabrieken. Op dit moment zijn in Nederland zo'n 30 bedrijven actief in mechanische kunststofrecycling (merendeel MKB-bedrijven). Deze bevinden zich verspreid over heel Nederland (zie Figuur 2).

Figuur 2 - Situering mechanische kunststofrecyclingbedrijven in Nederland



Bron: NRK Recycling, (2021).

NB: Bovenstaande kaart geeft de hoofdkantoren weer. Nevenlocaties zijn niet vermeld, zo heeft Morssinkhof plastics productielocaties in Lichtenvoorde, Heerenveen, Zeewolde en Emmen.

Het aantal mechanische recyclingbedrijven zal toenemen als de hoeveelheid recycalaat toeneemt. Gegeven de (zoals eerder vermeld) relatief beperkte inzet van recycalaat op dit moment (15%), is er nog een groot potentieel voor verdere groei. De precieze groei van de ruimtevraag zal afhankelijk zijn van de toekomstige inzet van recycalaat en de mate waarin het recycalaat mechanisch en/of chemisch gerecycled zal worden.

Waar chemische recyclinginstallaties in de nabijheid van industriële productielocaties van plastics bevinden (in Zuid-Limburg, Rotterdam en Zeeland), kunnen mechanische recyclingbedrijven gevestigd zijn op meer lokale bedrijventerreinen. Nieuwe recyclingbedrijven zullen een voorkeur hebben om in de nabijheid te vestigen van plekken waar het kunststof vrijkomt en die goed ontsloten zijn.

Zo heeft het bedrijf Morssinkhof Rymoplast een kunststofrecyclingfabriek gebouwd voor de productie van secundaire kunststoffen op het Ecopark De Wierde in Heerenveen. Deze is gebouwd naast een kunststofsorteerinstallatie door de afvalinzamelaars en -verwerkers Omrin, HVC en Midwaste. Hoewel directe nabijheid van een kunststofsorteerinstallatie ideaal is, is dat lang niet altijd mogelijk. Waar dat niet mogelijk is, is de bereikbaarheid per weg voor de aanvoer van kunststof en distributie van het recyclelaat van belang. Mechanische recycling en sorteerinstallaties vallen onder milieuhindercategorie 4.2.

Voorbeeld: Mechanische recycling van plastic door 4PET in Duiven



4PET Recycling is een voorbeeld van een mechanische plasticrecyclingfabriek. 4PET richt zich op PET-recycling. In haar fabriek heeft het bedrijf zowel recyclinglijnen voor flessen als voor voedseltrays (schaaltjes en bakjes voor vlees, groente en fruit). In totaal heeft 4PET meer dan 75.000 ton aan inputcapaciteit.

In de productielijn produceert 4Pet rPET-flakes en rPET-korrels (re-granules). 4Pet bedient zowel de flessen- als de thermovormindustrie met hoogwaardige producten en levert aan elk Europees land.

4PET is gevestigd op Synergiepark InnoFase in Duiven op een kavel van 3 hectare. InnoFase is een terrein van ca. 60 hectare dat zich specifiek focust op circulaire bedrijvigheid. Bedrijven op het terrein werken onderling samen en wisselen afval- en reststromen uit. 4PET werkt samen met AVR, het Waterschap en Suez. Er is een directe elektriciteitslijn tussen AVR en 4PET aangelegd. Ook maakt 4Pet gebruik van het warmtenet van de AVR om het waswater te verwarmen. Het vuile water van 4Pet gaat direct naar het Waterschap. Bij de processen die het Waterschap gebruikt om het vuile water te verwerken komt biogas vrij, dat 4Pet kan inzetten voor warmte. Daarnaast levert het Waterschap koelwater voor de machines van 4Pet. Overig afval kan direct geleverd worden aan de buurman, Suez.

De synergievoordelen waren voor 4PET een belangrijke reden om zich op InnoFase te vestigen. Daarnaast speelden de goede ligging, geschikte ruimte met bijbehorende milieuhindercategorie (InnoFase biedt ruimte aan bedrijvigheid t/m milieucategorie 5) en grondprijs een rol bij de locatiekeuze.

Chemische recycling

In 2020 werd er zo'n 50 kton kunststofafval gerecycled (Rebel Group & VNO-NCW MKB, 2020). In de Roadmap chemische recycling is het doel opgenomen om in 2030 1.000 tot 1.500 kton aan verwerkingscapaciteit in Nederland gerealiseerd te hebben, waaronder één of twee grootschalige fabrieken met een capaciteit van 200 kton tot 400 kton.

Chemische recyclingfabrieken zijn veel grootschaliger dan mechanische recyclingfabrieken en zullen op veel minder plekken in Nederland worden gebouwd. De chemische recyclingfabrieken zullen gesitueerd zijn op locaties in de nabijheid van polymeerproducenten. Op dit moment zijn er initiatieven in Zuid-Limburg, Zeeland en Weert. Doordat het gaat om enkele bestaande locaties verwachten we dat het totale ruimtebeslag door chemische recycling relatief beperkt zal blijven. Desalniettemin is het aanbod van voldoende ontwikkelingsruimte, met ruimte voor bedrijven in een hoge milieucategorie, op en rondom die chemische clusters een aandachtspunt.

Figuur 3 - Huidige chemische clusters en fabrieken voor chemische recycling in Nederland⁶



Bron: Rebel Group&VNO-NCW MKB, (2020).

Voorbeeld: Chemische recycling van polystyreen isolatieschuim door PolyStyreneLoop

In de zomer van 2021 is in Terneuzen de eerste piepschuimrecyclingfabriek ter wereld geopend. In de fabriek van het bedrijf PolyStyreneLoop wordt er jaarlijks zo'n 3.000 ton piepschuim op chemische wijze gerecycled. Het gaat voornamelijk om piepschuim dat gebruikt is als isolatiemateriaal in de bouw.

Het piepschuim wordt vermalen en wordt opgelost in een oplosmiddel (een fysisch proces). Het piepschuim verandert hierdoor in een gel. Dan kunnen de twee bruikbare stoffen van elkaar gescheiden worden. Vlamvertrager en polystyreen (kunststof). Polystyreen wordt omgezet in korrels die als grondstof kunnen dienen voor nieuw piepschuim, maar ook bijvoorbeeld voor plastic bestek en servies. De vlamvertrager wordt geleverd aan de naastgelegen piepschuimfabriek van chemiebedrijf ICL-IP. Die gebruikt de brandvertrager, de stof broom, in nieuw piepschuim.



PolyStyreneLoop heeft een verwerkingscapaciteit van maximaal 3.300 ton per jaar. Netto wordt er aan het eind van de procesgang zo'n 3.000 ton zuiver polystyreen als duurzaam product op de markt teruggezet. De ambitie is om op te schalen naar een fabriek voor 12.000 ton per jaar.

⁶ Er zijn daarnaast ook plannen voor superkritische watervergassing met o.a. plastics als input, zoals SCW Systems in Alkmaar met uitbreidingsplannen voor de grote havengebieden in Nederland.

PolyStyreneLoop is een coöperatie, met leden die de gehele waardeketen van polystyreen vertegenwoordigen. De fabriek is gevestigd op het bedrijventerrein Oostelijke Kanaaloevers in de Kanaalzone Gent-Terneuzen, onderdeel van het haven-industrieel complex van de North Sea Port. Dit is een locatie met grootschalige (chemische) industrie en logistieke activiteiten. De directe nabijheid van de belangrijkste afnemer van de vlamvertrager (ICL-IP) is een belangrijke reden om hier te vestigen. Daarnaast biedt de locatie de juiste milieuruimte (t/m milieuhindercategorie 4.2), is de bereikbaarheid goed en is er voldoende uitbreidingsruimte in de nabije omgeving voor opschaling.

Bioplastics

Alhoewel de productie van bioplastics ook een mogelijkheid is om de plastic keten te verduurzamen, is de actuele productiecapaciteit voor bioplastics momenteel nog zeer beperkt, met een totaalvolume van 2,1 miljoen ton⁷ (op een wereldwijd productie van 368 miljoen ton), gaat het nog om een nichemarkt (0,6% van productie)⁸. Naar verwachting zal de wereldwijde productie met 36% groeien in de periode tot en met 2025, maar in Nederland worden er op korte termijn geen grote investeringen verwacht. Wel is Avantium gestart met een proeffabriek voor de productie van FDCA, een grondstof voor de productie van PEF. Verder zijn de waterschappen en afvalverwerker HVC gestart met een proeffabriek voor PHB. Op de langere termijn zal het aantal fabrieken en ruimtebeslag mogelijk wel toenemen, als bioplastics worden gestimuleerd met beleid (bijvoorbeeld een verplicht aandeel bioplastics).

Doelstelling in de transitieagenda Kunststoffen die hoort bij het rijksbrede programma Circulaire economie is 370 kton biobased kunststoffen in 2030 (15%).

In theorie zouden biobased kunststoffen een grote rol kunnen spelen in het meer circulair maken van de kunststofketen. Een lopende studie van CE Delft laat zien dat zelfs als al het plasticafval dat vrijkomt wordt ingezet als recyclaat, het aandeel recyclaat in nieuwe kunststoffen slechts 40% bedraagt. Het volledig vervangen van virgin productie is ook uitdagend, omdat het gebruik van plastics toeneemt (ongeveer 10% groei tot 2030, (CE Delft, 2021a)) en het aanbod van recyclaat niet groot genoeg is om in de vraag te voorzien. Dit heeft er ook deels mee te maken dat plastics buiten de verpakkingsector (bijvoorbeeld auto's) pas na langere tijd vrijkomen (na de levensduur).

Voor een volledig circulaire kunststofketen is daarom een forse opschaling van de hoeveelheid biobased kunststoffen noodzakelijk. Dat kan enerzijds door extra fabrieken in Nederland te bouwen, of anderzijds door meer te importeren via bijvoorbeeld de Rotterdamse haven (bijvoorbeeld het bedrijf Braskem met fabrieken in Brazilië). Het ruimtebeslag is daarom sterk afhankelijk van de vraag waar de teelt en productie zal plaatsvinden.

Landgebruik bij lokale teelt biomassa voor bioplastics

Als de grondstof voor de bioplastics (bijvoorbeeld suikerbieten) in Nederland worden geteeld kan het om een potentieel groot ruimtebeslag gaan. Zo varieert de benodigde oppervlakte om 133 kton suiker (grondstof voor bioplastics) te produceren (afgerond) tussen de 13.000 en 33.000 hectare.

⁷ [Holland Bioplastics : Vergroten aanbod](#)

⁸ [Plastics Europe : Plastics - the Facts 2020](#)

Tabel 2 - Benodigde oppervlakte voor teelt voor de productie van 133 kton suiker

Gewas	Benodigde oppervlakte (hectare)
Suikerbiet	12.710
Wintertarwe	25.061
Korrelmaïs	32.598
Zetmeelaardappel	19.651

Bron: WUR, (2014).

In de transitieagenda is voor 2030 het doel opgenomen om 370 kton biobased kunststoffen te produceren. Van deze 370 kton zal waarschijnlijk een groot deel uit het buitenland komen. Het bedrijf Braskem kan in Brazilië goedkoper produceren op basis van suikerriet en de grote fabriek die er al staat. Stel dat 1/3 van de vraag ingevuld zou worden met lokale teelt van suikerbieten, dan zou een kleine 30.000 hectare teelt aan suikerbieten noodzakelijk zijn. Dit is 1,3% van de beschikbare landbouwgrond in Nederland.

In een extreem scenario, bij een volledig circulaire plastic keten in 2050, zou 3,5 Mton bioplastics noodzakelijk zijn. Bij een zelfde aandeel import zou het ruimtebeslag in dit geval 10 keer zo hoog zijn (270.000 hectare of ruim 10% van de beschikbare landbouwgrond in Nederland). Het ruimtebeslag voor biomassateelt behandelen we verder in Hoofdstuk 5.

Het doel van de transitieagenda Kunststoffen is 370 kton bioplastics in 2030. Uitgaande van 1/3 eigen teelt en 2/3 import, en 1/3 vervanging van fossiele kunststoffen door bioPLA en 2/3 door BioPE, schatten we in dat ongeveer 300 kton suiker noodzakelijk is. Dit zou bij het meest efficiënte gewas (suikerbieten) neerkomen op een ruimtebehoefte van een kleine 30.000 hectare. Dit is 1,3% van alle landbouwgrond in Nederland (2,2 mln hectare in totaal).

Stel dat de hele plastic keten circulair dient te worden, is in een meer extreem scenario in 2050 een hoger aandeel bioplastics denkbaar. Jaarlijks worden in Nederland zo'n 5,4 Mton aan plastics geproduceerd (CE Delft, 2021). Uitgaande van een groei van ongeveer 10% in 2030 (CE Delft 2021) en 30% gebruik in plastics in 2050, gaat het om 7 Mton in 2050. Bij een aandeel van 50% dient 3,5 Mton bioplastics geproduceerd te worden. Dit is bijna een factor 10 hoger dan het doel voor 2030.

Het directe ruimtebeslag van energieteelt is gelijk aan het indirecte ruimtebeslag. Bioplasticsfabrieken hebben wel een relatief groot indirect ruimtebeslag. De productie van bioplastics is een chemisch proces waarvoor veel milieuruimte nodig is en valt onder milieucategorie 4.2 tot 5.3 (300 tot 700 meter afstand tot woonwijken, zie Tabel 1). Gezien de milieuruimte en aanwezige kennis is ligt het voor de hand dat de eerste locaties op of nabij chemische clusters worden gerealiseerd. Dat is ook het geval voor de proef-fabriek van Avantium, welke op Chemie Park Delfzijl wordt gerealiseerd. Naast de milieuruimte en kennis is ook de bereikbaarheid een belangrijk aspect, omdat er sprake is veel grote volumes aanvoer (en afvoer) van biomassa en bioplastics uit bijvoorbeeld Brazilië. Dit zal met name ruimte voor op- en overslag vergen bij de grote zeehavens (Rotterdam, Amsterdam, Groningen, Zeeland) en verder in de plastic keten.

2.4 Vrijvallen ruimte fossiele productie

Een meer circulaire plastic keten kan de fossiele plastic productie in Nederland vervangen. Bij chemische recycling kunnen monomeren vervangen worden die afkomstig zijn uit naftakrakers (zes stuks in Nederland). Bij mechanische recycling worden polymeren vervangen, waardoor de productie van polymeren overbodig wordt.

Dit zal wel pas op lange termijn gebeuren. Wij verwachten dat minimaal de komende tien jaar fossiele en circulaire activiteiten waarschijnlijk nog naast elkaar blijven bestaan. Omdat op kortere termijn de circulaire activiteiten aanvullend zullen zijn, zal het totale ruimtebeslag in Nederland toenemen.

Op de langere termijn is een meer extreem scenario wel denkbaar, bijvoorbeeld als er een verplichting komt op recycalaat en biobased plastics (zie volgende tekstbox) in nieuwe producten (zoals nu het geval is bij plastic PET-flessen). In dat geval zal het ruimtebeslag voor sorteerinstallaties, mechanische en chemische installaties en bioplastics toenemen. Hoeveel hectare dit precies zal zijn is moeilijk in te schatten. Het voorbeeld in dit hoofdstuk liet zien dat 4Pet (mechanische recycling) is gevestigd op een kavel van ongeveer 3 hectare en ordegrrootte tientallen fabrieken in Nederland zijn (bij een huidig aandeel van 15% recycalaat). Dit betekent dat zelfs bij een flinke groei van het aandeel recycalaat in nieuwe plastics, het ruimtebeslag van een andere ordegrrootte zal zijn van het potentiële ruimtebeslag als biomassa lokaal wordt geteeld (tientallen duizenden hectares).

De nieuwe recyclingactiviteiten zullen deels ten koste gaan van virgin polymeerfabrieken (bij mechanische recycling en productie bioplastics). Bij meer chemische recycling zal er minder vraag zijn naar monomeren uit krakers, waardoor er mogelijk minder krakers in Nederland zullen zijn. Helemaal zeker is dat niet te zeggen, omdat monomeren uit kraakinstallaties ook voor andere toepassingen gebruikt kunnen worden dan plastics (bijvoorbeeld grondstoffen voor de bulkchemie).

Als plastic meer gerecycled gaat worden dan hoeft er minder afval met plastic daarin verbrand te worden in afvalverbrandingsoven in Nederland. Eén of meer van deze installaties zouden dan kunnen sluiten en deze ruimte (vaak op industrieterreinen) zou gebruikt kunnen worden voor andere industriële doeleinden.

Een circulaire plastic keten komt niet vanzelf van de grond. De inzet van recycalaat wordt op dit moment vooral beperkt omdat er onvoldoende aanbod is van gescheiden ingezamelde plastics. Gescheiden inzameling van plasticafval vergt organisatie en brengt kosten met zich mee. Gemeenten ontvangen daarom vergoedingen van de verpakkingsindustrie (via het Afvalfonds) om de plastics gescheiden in te zamelen. Bij andere sectoren dan verpakkingen (bijvoorbeeld bouwsector, elektronica) is de inzameling van gescheiden plastics nog veel beperkter.

Een meer circulaire plastic keten is vooral afhankelijk van overheidsbeleid. Om de hoeveelheid ingezamelde plastics te laten toenemen, kunnen gemeenten burgers en bedrijven stimuleren hun afval beter gescheiden in te zamelen via gemeentelijke beleid (zoals gedifferentieerde tarieven voor afval), kan de overheid eisen stellen aan inzamelen van plastics bij andere sectoren dan verpakkingen via producentenverantwoordelijkheid, een verplicht aandeel recycalaat eisen (in Europees verband wordt hieraan gewerkt voor verpakkingen en automotive) of een belasting op virgin plastic te heffen, of afvalverbranding ontmoedigen door de installaties onder EU ETS te plaatsen. Daarnaast kunnen ook autonome trends van invloed zijn, zoals ontwikkelingen in de technologie van nascheidingsinstallaties.

2.5 Conclusies

De conclusies zijn samengevat in Tabel 3.

Tabel 3 - Conclusie ruimtelijke effecten circulaire en biobased plastics

Activiteit	Ruimtebeslag	Verdeling over ruimte	Locatie-eisen (infra, milieuruimte, omgevingskenmerken)
Huidige situatie			
Productie plastics uit fossiele grondstoffen (voornamelijk op basis van ruwe aardolie). Beperkt aandeel recycalaat (15%).	Ruimtebeslag in fossiele keten relatief beperkt. Gaat om enkele grote industriële locaties. Er zijn zes naftakrakers in Nederland aanwezig en vijftien producenten van polymeren. Meer downstream in de plastic keten vooral MKB-bedrijven (1.500 stuks) die plasticproducten uit de polymeren maken.	Producenten bevinden zich vooral op de grote chemische clusters (vooral Havengebied Rotterdam, Zeeland, Limburg).	De plasticsindustrie vergt veel milieuruimte (grote afstand tot bebouwing). Daarnaast een goede ontsluiting om grote hoeveelheden krakervoeding te ontvangen (Limburg per pijpleiding, Zeeland en Rotterdam per boot).
Toekomstbeeld circulaire economie			
Sterkte toename mechanische recycling (maximaal potentieel samen met chemische recycling circa 40% vervanging virgin)	Meer ruimte en retour logistiek voor inzameling gesorteerde plastics. Dit kunnen extra aparte afvalcontainers zijn bij huishoudens en bedrijven, opslaglocaties voor plastic afkomstig van bouw, electronica, landbouw en automotive, of nascheidingsinstallaties gevestigd in de nabijheid van Afvalverbrandingsinstallaties. Direct ruimtebeslag sorteerinstallaties en mechanische recycling fabrieken (bijv. 3 ha 4PET). Indirect ruimtebeslag ongeveer 300 meter tot woonwijken uitgaande van milieucategorie 4.2.	Over heel Nederland op lokale bedrijventerreinen.	Multimodale ontsluiting, in de buurt van sorteerfabrieken.
Chemische recycling (maximaal potentieel samen met chemische recycling circa 40% vervanging virgin)	Meer ruimte en retour logistiek voor inzameling gesorteerde plastics. Direct ruimtebeslag relatief beperkt (minder fabrieken nodig dan bij	Veelal in de buurt van huidige polymeerproducenten. Bijvoorbeeld bij chemische clusters in de	Locaties met groot-schalige (chemische) industrie, in de nabijheid van afnemers en een hoge milieuruimte.

	mechanisch). Indirect ruimtebeslag groot per fabriek bij nieuwe locaties, relatief beperkt indien ruimte beschikbaar bij bestaande locaties van polymeerfabrieken.	Rotterdamse haven, Zeeland en Limburg.	
Bioplastics (naar schatting 50% vervanging recycalaat in een heel extreem scenario)	Als vraag voor 1/3 wordt ingevuld met lokale energieteelt is ongeveer 30.000 hectare benodigd om doelstelling voor 2030 te realiseren (ruim 1% beschikbare landbouwgrond in Nederland). In een extreem scenario kan ruimtebeslag een factor 10 groter zijn (meer dan 10% van huidige landbouwgrond). Bij alles import ruimtebeslag beperkt. Direct ruimtebeslag fabrieken veel kleiner en ook erg afhankelijk van vraag of nieuwe fabrieken in Nederland vestigen of bioplastics worden geïmporteerd. Indirect ruimtebeslag per fabriek relatief groot want valt onder milieucategorie 4.2 tot 5.3 (300 tot 700 meter afstand tot woonwijken).	Kan verspreid in heel Nederland plaatsvinden, maar meest waarschijnlijk in de nabijheid van chemische clusters.	Multimodale ontsluiting, op terreinen met een hoge milieuruimte.

3 Woning- en utiliteitsbouw

3.1 Inleiding

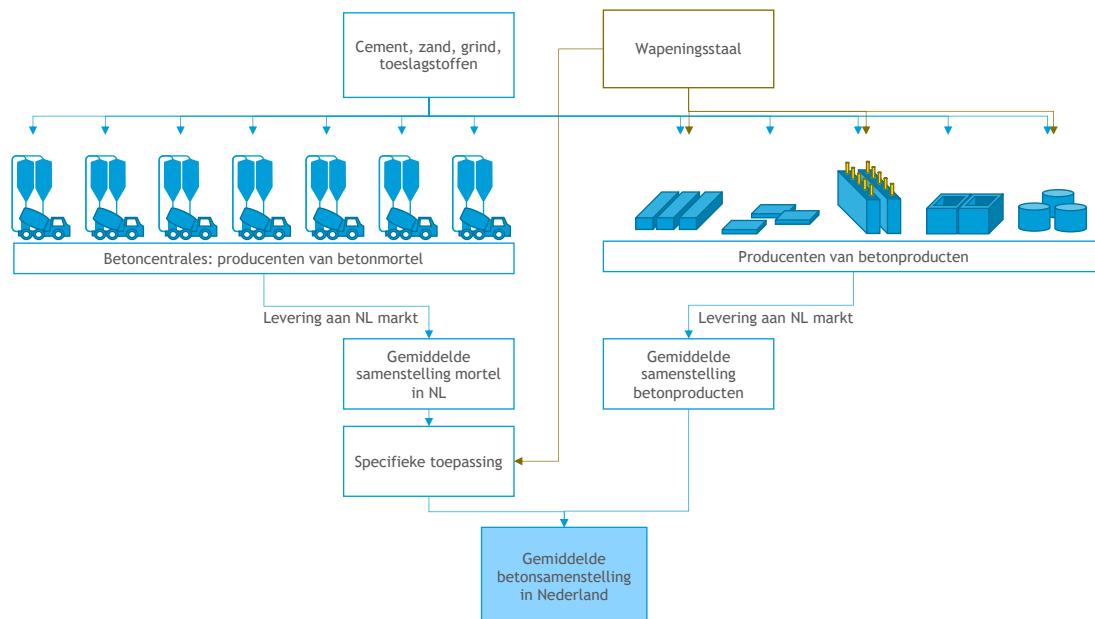
De woning- en utiliteitsbouw (WUB) kent een breed scala aan materiaalstromen en economische activiteiten. Om de analyse behapbaar te houden, staan we in dit hoofdstuk stil bij een centraal product binnen de WUB: gewapend beton. Gewapend beton wordt toegepast in funderingen, draagconstructies, vloeren en muren en is vooralsnog onmisbaar in de hoogbouw. De toepassing van gewapend beton kent een relatief grote ruimtevraag, zeker wanneer in de toekomst meer wordt ingezet op recycling en het materiaal moet worden opgeslagen. Jaarlijks wordt in Nederland bijna 20.000 kton aan gewapend beton toegepast binnen de WUB, waarvan wapenings- en voorspanstaal zo'n 500 kton uitmaakt (CE Delft, 2013).

3.2 Huidig productieproces

Beton wordt gemaakt uit cement, toeslagmateriaal (meestal zand en grind), water en eventuele hulpstoffen. Cement fungeert hierbij als bindmiddel en vormt daarmee het kerningrediënt. In betoncentrales worden bovengenoemde grondstoffen samengevoegd tot droge betonmortel en stortklaar beton (aan het laatste product is al water toegevoegd). Beton wordt echter ook in geprefabriceerde producten verkocht. Producenten van zulk *prefabbeton* maken kant-en-klare elementen die vervolgens met behulp van speciale voertuigen getransporteerd worden naar de betreffende bouwlocatie. Omdat beton goed bestand is tegen drukkrachten, maar niet tegen trekkrachten, wordt in veel toepassingen extra wapening aangebracht. Het beton wordt hierbij op stalen frames gegoten, zodat gewapend beton ontstaat. Prefabbeton wordt bewapend op de productielocatie, maar het beton en wapeningsstaal komen in de praktijk ook vaak pas op de bouwlocatie samen.

Beton heeft niet één vaste samenstelling: door de delen cement, water en toeslagmateriaal te variëren en specifieke hulpstoffen toe te voegen, ontstaan verschillende typen producten, ieder met een eigen specifieke toepassing. In dit rapport gaan we uit van de gemiddelde samenstelling van gewapend beton in Nederland. Figuur 4 vat de twee verschillende productieroutes samen.

Figuur 4 - Overzicht van de twee betonroutes



Het merendeel van het in Nederland geproduceerde beton komt terecht bij de woning- en utiliteitsbouw. Volgens brancheorganisatie Betonhuis is de woningbouw verantwoordelijk voor ruim 28% van de betonvraag, en de utiliteitsbouw voor nog eens 30%. Andere grote afnemers zijn de GWW- en de agrarische sector (CE Delft, 2013).

Gebruik van gewapend beton gaat gepaard met grote milieu-impacts - met name op klimaatvlak. Een recente LCA van CE Delft laat zien dat toepassing van gewapend beton in Nederland jaarlijks tot Scope 3-emissies leidt van bijna 4 Mton CO₂-eq. (CE Delft, 2020a)⁹. Meer circulair gebruik of vervanging van gewapend beton vormt daarmee een belangrijke maatschappelijke opgave. Omdat bij de productie van betonstaal zo'n 20% van bovengenoemde klimaatemissies vrijkomen, en het betonstaal een grotendeels aparte materiaalstroom vormt, leggen we expliciet de focus op gewapend beton; veel van de observaties zullen echter ook gelden voor ongewapend beton.

Overzicht van de keten

In 2017 werd in Nederland ruim 4.000 kton cement gebruikt voor de productie van beton. Ongeveer de helft van dit cement wordt in Nederland geproduceerd, bij cementfabrikant ENCI. De rest wordt geïmporteerd vanuit Duitsland en België (CE Delft, 2020a). In 2020 heeft ENCI haar productiecapaciteit teruggeschoefd, met de sluiting van de vestiging in Maastricht. Op de resterende vestigingen (IJmuiden en Rotterdam) wordt jaarlijks nog zo'n 2.000 kton cement geproduceerd. Waar de meeste cementproducenten zogenaamd Portlandcement maken, richt ENCI zich op de productie van hoogovencement. Hierbij wordt een deel van de klinker vervanger door hoogovenslak - een restproduct bij de vervaardiging van staal. De locatie in IJmuiden is dan ook geen toeval: hoogovenslak dat overblijft bij

⁹ Het merendeel van deze emissies zijn toe te schrijven aan de woning- en utiliteitsbouw.

staalproductie op het terrein van Tata Steel wordt ter plaatse gebruikt voor de productie van hoogovencement.¹⁰

De overige grondstoffen die nodig zijn om betonmortel te produceren, worden in de regel in Nederland gewonnen. Het gaat hierbij hoofdzakelijk om rivierzand en -grind dat per binnenvaartschip naar de betoncentrales en prefabbetonproducenten wordt vervoerd. Dit zijn forse materiaalstromen: jaarlijks wordt zo'n 7.000 kton rivierzand en 8.000 kton riviergrind gewonnen en vervoerd. In Nederland is relatief veel zand en grind aanwezig. Grind wordt met name in Zuid-Limburg gewonnen, ophoogzand komt met name uit de Noordzee en het grovere industriezand wordt met name uit bovenstroomse delen van rivieren gewonnen in Limburg, Noord-Brabant, Gelderland, Overijssel en Utrecht. Jaarlijks wordt in Nederland ca. 100 tot 150 hectare grondgebied aangewend voor de zandwinning. Installaties voor zandwinning zijn vaak groot van omvang en beslaan over het algemeen een oppervlak van 3 tot 15 hectare. Zandwinning valt onder de milieucategorie 4.1. Belangrijk is de mogelijkheid voor (bulk)transport. Een deel van het toeslagmateriaal wordt momenteel al vervangen door gerecycled betongranulaat, AEC-bodemas en vliegas. Dit gaat echter om een klein aandeel: zo'n 5% van het toeslagmateriaal (CE Delft, 2020a).

In betoncentrales en prefabbetonproducenten worden cement, zand, grind, water en eventuele hulpstoffen samengevoegd en vervaardigd tot droge betonmortel en stortklaar beton. In Nederland zijn in totaal ruim 50 prefabproducenten actief en ruim 100 betoncentrales¹¹. Deze producenten zijn gevestigd door heel Nederland. Deze vrij uniforme verdeling over het land volgt uit het feit dat transport van stortklaarbeton prijzig is, maar vooral uit de korte maximale transporttijden van stortklaarbeton. Betonproducent Holcim spreekt van maximale transportduur van 1,5 tot 2 uur wil de kwaliteit gewaarborgd blijven (Holcim, 2019). Een analyse voor de provincie Zuid-Holland door STEC laat zien dat betoncentrales meestal een werkgebied kennen met een radius van minder dan 20 kilometer. In de betonketen is ook sprake van enige clustering. Producenten van (klein) prefabbeton, zijn vaak gevestigd nabij betoncentrales. Denk hierbij aan producenten van betonnen straatstenen die naast een betoncentrale gevestigd zijn. De grotere prefabbedrijven produceren meestal zelf hun beton. Het aantal actieve bedrijven en het totale betonvolume beweegt sterk mee met de conjunctuur: bij lagere economische groei en reductie van bouwactiviteiten, zakt de vraag naar beton snel in en daalt ook het aantal actieve bedrijven (Stec, 2017).

Betonstaal, dat wordt gebruikt voor bewapening, kent een deels nationale en deels internationale oorsprong. Volgens Betonhuis bestaat het wapeningsstaal dat gebruikt wordt in de Nederlandse bouw voor 70% uit secundair staal (gerecycled staal). Omsmelting van afgedankt staal tot wapeningsstaal vindt plaats binnen Nederland, en vereist inspanning van andere partijen op het gebied van inzameling, sortering en transport. Het resterende aanbod betreft primaire productie vanuit het buitenland geïmporteerd betonstaal¹². Primaire of secundaire betonstaal wordt bij prefab- en wapeningscentrales verder bewerkt tot de juiste vorm. Ook kunnen zogenaamde vlechtbedrijven worden ingeschakeld die staalstaven op de bouwlocatie binden en monteren. Volgens Vereniging Wapeningsstaal Nederland zijn ruim 100 wapeningscentrales en vlechtbedrijven actief, wederom verspreid over heel Nederland (VWN, 2021).

¹⁰ Omdat klinkerproductie een CO₂-intensief proces is, ligt de CO₂-voetafdruk van hoogovencement ongeveer een factor 2 lager dan bij Portlandcement (CE Delft, 2020).

¹¹ Data afkomstig van [Betonhuis.nl](https://www.betonhuis.nl). Omdat niet alle producenten aangesloten zijn bij de branchevereniging kunnen deze getallen een onderschatting vormen.

¹² Tata Steel IJmuiden produceert niet langer betonstaal (bron: persoonlijke correspondentie).

Het huidige ruimtebeslag van de gewapende betonketen bestaat uit meerdere componenten. Allereerst neemt de zware cementindustrie die in Rotterdam en IJmuiden is gevestigd flinke (milieu)ruimte in (het fabrieksterrein van ENCI Maastricht bedroeg zo'n 33 ha).

De volgende schakels in de betonketen zijn meer gefragmenteerd en worden gevormd door betoncentrales en prefabbetonproducenten. Deze bedrijven zijn veelal gevestigd op bedrijventerreinen aan het water; zand en grind worden immers hoofdzakelijk via de binnenvaart aangeleverd. Kavels voor betoncentrales zijn gemiddeld enkele hectares groot, terwijl de grootte van terreinen voor prefabproducenten kan oplopen tot zo'n 10 ha (Stec, 2017). De benodigde milieuruimte is afhankelijk van het productievolume: centrales die minder dan 100 ton per uur produceren vallen in milieucategorie 3.2 - daarboven is milieucategorie 4.2 noodzakelijk. De laatste categorie houdt in dat een minimale afstand van 300 meter tot woonwijken moet worden bewaakt, en dat de geluidsintensiteit op 50 meter van het terrein maximaal 55 dB mag bedragen. Rekenen we met een gemiddelde kavelgrootte van 2 ha voor betoncentrales en 7 ha voor prefabproducenten, dan komt de totale huidige ruimtevrage voor deze ketenpartijen uit op ruim 500 ha. Hier komt het indirecte ruimtegebruik door de milieuzonering bovenop - bij een straal van 300 meter bedraagt die in totaal 9 ha per bedrijf. Binnen dit gebied kunnen echter wel andere industriële bedrijven gevestigd zijn. Er is daarom vaak geen sprake van *additioneel* indirect ruimtebeslag.

Bij de wapeningsstaalketen zien we vergelijkbare patronen; enkele grotere bedrijven produceren secundair staal, dat vervolgens door zo'n 100 kleinere bedrijven wordt verwerkt tot de juiste staalconstructies. In Nederland kennen we met Tata Steel IJmuiden ook een grote primaire staalproducent, maar Tata Steel produceert sinds enkele jaren geen betonstaal meer.

3.3 Activiteiten voor een meer circulaire gewapend betonketen

Kijken we naar de toekomst, dan zien we een duidelijke trend naar meer circulair gebruik van gewapend beton. Veelal zal deze transitie samenhangen met de wens CO₂-emissies te reduceren. We kunnen hierbij meerdere technieken onderscheiden, die samenhangen met verschillende R-strategieën.

Vervanging en verkleining van de kringloop

De meest directe manier om het gebruik van milieubelastende virgin grondstoffen in de gewapend betonketen te verminderen, is door de kringloop deels of geheel te vervangen. Een veelbelovende kandidaat hiervoor is hout. Moderne houtbouw heeft de potentie om het gebruik van gewapend beton voor een groot deel te vervangen door een hernieuwbaar alternatief. De meest bekende houtbouwsystemen zijn houtskeletbouw (HSB), kruislaaghoutbouw (CLTB) en houtmodulebouw (HMB) (Centrum Hout, 2021). Hierbij geldt dat houtmodulebouw in de praktijk een combinatie is van houtskeletbouw en kruislaaghoutbouw; net als in de betonketen worden prefabriceerde elementen op de bouwlocatie samengevoegd. Volgens W/E Adviseurs kan houtbouw de CO₂-uitstoot bij de productie van een tussenwoning flink verminderen. Ten opzichte van een tussenwoning gebouwd op basis van een betonconstructie, daalt de CO₂-uitstoot met zo'n 30% (Centrum Hout, 2021). Wanneer ook de in hout vastgelegde CO₂ meetelt als negatieve emissies, loopt dit op tot meer dan 50%.

Voorbeeld: de hoogte in bouwen met hout

Bouwen met hout maakt CO₂-reductie mogelijk en draagt daarmee bij aan de klimaatdoelstellingen. Bij de productie wordt nauwelijks CO₂ uitgestoten, dit in tegenstelling tot andere bouwmethoden. In hout wordt CO₂ langdurig opgeslagen en daarmee aan de atmosfeer onttrokken. Er is geen sprake van uitputting van (fossiele) delfstoffen, er wordt juist gebruik gemaakt van de hernieuwbare (biobased) grondstof hout. Daarom staan houtbouwssystemen volop in de belangstelling.

In Amsterdam wordt momenteel de houten woontoren HAUT gebouwd, die met een hoogte van 73 meter, en 21 het hoogste houten woongebouw van Nederland wordt. Voor de constructie wordt in totaal 2.800 m³ vurenhout gebruikt. Dat betekent dat er zo'n 2,0 miljoen kg CO₂ wordt vastgelegd. Het hout voor HAUT wordt gewonnen in duurzame productiebossen in Oostenrijk. Het hout heeft een PEFC-certificaat, een onafhankelijk Europees keurmerk ter bevordering van duurzaam bosbeheer. Het hout wordt verzaagd en milieuvriendelijk verlijmd tot platen Cross Laminated Timber (CLT). Na de productie gaan de CLT-platen per efficiënt beladen vrachtwagen naar Amsterdam. Ze maken nog een tussenstop bij een fabriek in Duitsland die zorgt voor de gedetailleerde prefabricatie ten behoeve van HAUT. Daarna worden de maatwerkwanden en -vloeren naar Amsterdam vervoerd en op de bouwplaats gemonteerd.



Een andere mogelijkheid om de huidige kringloop deels te vervangen, is gebruik van zogenaamd Romeins beton, waarbij in plaats van cement vulkanisch as wordt ingezet. Deze technologie staat echter nog in de kinderschoenen en het is onduidelijk in hoeverre grondstoffen voldoende voorradig zullen zijn. Er lopen momenteel ook pilots waarbij in plaats van vulkanisch as gebruik wordt gemaakt van hazelnootas dat vrijkomt bij verbranding van hazelnootschillen (Baran et al., 2020). Ook voor deze methode is nog nader onderzoek nodig om in te schatten hoe kansrijk dit daadwerkelijk is.

Op kortere termijn kan gebruik van Portlandcement als bindmiddel verkleind worden door inzet van innovatieve bindmiddelen zoals CSA-beliët, Solidiacement en Geopolymere (CE Delft, 2020b). Weer andere opties liggen in het beter gebruiken van reststromen. Volledige benutting van (buitenlands) hoogovenas als vervanging van klinker kan bijvoorbeeld bijdragen aan een meer circulaire bouw, maar in verband met de verduurzamingsopgave in de staalindustrie, is het onzeker of deze reststroom richting 2050 nog zal bestaan. De rol van grind en zand kan in de toekomst vaker worden overgenomen door restproducten van AEC's. Deze producten moeten echter wel grondig gereinigd worden, omdat verontreinigingen recycling van het betonproduct kunnen belemmeren. Bij het wassen van bodemas is er een reinigingsresidu dat gestort moet worden. Ook zijn er zorgen over de toekomstige recyclingsmogelijkheden van beton met gewassen bodemassen. Betonstaal kan vervangen worden door grondstoffen met een lagere milieudruk, zoals basaltvezelstaven. Deze alternatieve wapening heeft de potentie om de CO₂-uitstoot van betonproducten tot wel 60% te verlagen (CE Delft, 2020b).

Naast vervanging van staal, kan ook worden ingezet op vermindering van de staalbehoefte. Hiervoor kunnen staalvezels (willekeurig geordende vezels in beton die wapening vervangen) een uitkomst bieden. Staalvezels kunnen alleen worden toegepast in kleinere betonobjecten, en bieden een reductie van zo'n 50% in materiaalgebruik (CE Delft, 2020b). Staalvezels kunnen momenteel echter nog minder goed gerecycled worden met regulier breken, waardoor bij afvalverwerking primair staal verloren gaat. Met mechanisch recycleren (zie verderop) zou het staalvezelbeton even goed gerecycled kunnen worden als beton met

reguliere wapening. Hoge kosten staan brede adoptie van dergelijke technologieën echter momenteel nog in de weg (CE Delft, 2020b). In de toekomst zullen deze kosten naar verwachting dalen door leereffecten en schaalvoordelen.

Verlenging van de kringloop

Ook in verlenging van de kringloop liggen kansen voor een meer circulaire gewapend betonketen. We identificeren twee mogelijke technieken: demontabel bouwen en inzet van CCU bij de productie van cement. Demontabel bouwen houdt in dat al in de ontwerpfase van een gebouw rekening wordt gehouden met het einde van de levensduur. Zo wordt geborgd dat onderdelen van gewapend beton bij sloop opnieuw kunnen worden ingezet met behoud van functie. Demontabel bouwen biedt vooral kansen voor niet-unieke objecten zoals muren en vloeren. Om dergelijke elementen te kunnen hergebruiken zijn innovatieve prefabkoppelingen nodig. Dergelijke koppelingen zijn duurder in de bouwfase, maar kunnen zich over een langere periode terugverdienen. Demontabel bouwen vereist vaak het transport van grote voorgefabriceerde bouwelementen. Hiervoor zijn woningfabrieken nodig, opslagplaatsen, gespecialiseerde voertuigen, maar bijvoorbeeld ook brede toegangsroutes en plaats voor hijskranen.

Voorbeeld: Industrieel en demontabel bouwen



Op een industriële manier bouwen kan een belangrijke rol spelen in het opschalen van circulair bouwen. Met industrieel bouwen wordt de bouwtijd flink verkort en bovendien wordt door efficiënter materiaalgebruik minder afval geproduceerd en minder CO₂-uitstoot gerealiseerd. De voorgefabriceerde gebouwelementen, zoals hele gevels en daken, zorgen er daarnaast voor dat er minder transportbewegingen van en naar de bouwplaats nodig zijn.

Industrieel bouwen kan door het efficiënte

gebruik van materiaal al als circulair gezien worden, aangezien er zo minder grondstoffen op de afvalhoop belanden. De mate van circulariteit kan toenemen door de gebouwen niet - zoals nu vaak gebeurt - met natte verbindingen (lijm) in elkaar te zetten, maar droge verbindingen te gebruiken die voor een hogere mate van losmaakbaarheid en herbruikbaarheid zorgen.

De eerste bouwfabriek, van Dijkstra Draaisma in Dokkum, is in 2017 van start gegaan. Bouwbedrijf Van Wijnen bouwt momenteel een woningfabriek op bedrijventerrein Kanaal in Heerenveen. De fabriek heeft een omvang van 1,4 hectare en is 15 meter hoog. Vanaf 2022 kunnen er 4.000 woningen per jaar geproduceerd worden. In de fabriek worden elementen geproduceerd. Het assembleren gebeurt vervolgens in kleine teams op de bouwplaats. De woningen zijn volledig modulair: een woning kan helemaal uit elkaar worden gehaald en op een andere plek snel weer in elkaar worden gezet. Plegt Vos bouwt op 10 ha in Almelo (Bedrijvenpark Twente) aan een woonfabriek waarvan de eerste van vijf productiehallen in 2022 productiegereed zijn. De beoogde capaciteit is 6.000 woningen per jaar.

Ook veel eerder in de productieketen kan worden ingezet op verlenging van de kringloop. Op dit moment komen bij de productie van cement grote hoeveelheden CO₂ vrij. Binnen de cementindustrie bestaan bovendien weinig mitigatieopties: de emissies ontstaan niet bij de verbranding van fossiele brandstoffen, maar tijdens een centrale chemische reactie in het

productieproces. In de toekomst lijkt CCS daarom onontbeerlijk in de cementindustrie. Afgevangen CO₂ kan echter ook nuttig worden ingezet in plaats van opgeslagen onder de grond. Hiervoor liggen kansen binnen de Nederlandse industrie en glastuinbouw.

Sluiting van de kringloop

Een laatste circulaire strategie richt zich op het sluiten van de kringloop. Binnen de gewapend betonketen kan dit op twee manieren: via mechanische recycling en via thermische recycling. Wanneer betonobjecten worden gesloopt, wordt het beton momenteel vaak in de vorm van betongranulaat hergebruikt (dit grove mengsel wordt met name ingezet als funderingsmateriaal in de GWW). Het is echter ook mogelijk om hoogwaardigere toepassingen van gebruikt beton te realiseren door de individuele materiaalfracties (zand, grind en cement) uit beton terug te winnen. In het Betonakkoord hebben overheden en marktpartijen de ambitie uitgesproken om in 2030 alle materiaalfracties uit gebruikt beton volledig terug te winnen (Rijksoverheid et al., 2018). Voor 2025 is een tussendoel gesteld: 75% recycling van grind, 50% recycling van zand en 25% recycling van cement. Hierbij moet worden opgemerkt dat er veel meer betonnen constructies worden gebouwd dan gesloopt: 100% hoogwaardige benutting van betonreststromen zorgt daarom slechts voor een besparing van 15-20% op primaire grondstoffen (Rijksoverheid et al., 2018).

Verschillende partijen experimenteren momenteel met het mechanisch recyclen van de materiaalfracties in beton. Zo heeft kennisplatform CROW een methode ontwikkeld waarmee zand- en grindfracties terug kunnen worden gewonnen uit gebruikt beton, en heeft de Rutte Groep met de Smart Liberator een techniek ontworpen om cement te recyclen (CE Delft, 2020b). Naast mechanische recycling is ook thermische recycling mogelijk. Met de combinatie van mechanische en thermische behandelingen kan betonpuin in theorie volledig worden gerecycled tot individuele fracties. Deze techniek wordt ontwikkeld door GBN in samenwerking met de TU Delft (eerder ook wel C2CA genoemd). Hierbij worden de verschillende fracties eerst mechanisch van elkaar gescheiden, waarna de cementfractie thermisch wordt gereactiveerd (CE Delft, 2020b).

Naast beton kan ook betonstaal hoogwaardig worden hergebruikt. Volledige recycling van wapeningsstaal is gemakkelijker en goedkoper dan recycling van beton vanwege de magnetische eigenschappen, en is al jaren de norm in Nederland. Richting 2050 zullen op dit vlak dus weinig veranderingen meer optreden.

3.4 Ruimtelijk-economische effecten

De ruimtelijk-economische effecten van een meer circulaire betonketen zijn afhankelijk van de mate waarin de verschillende circulaire technieken omarmd worden. Niet alleen het totale percentage circulaire woning- en utiliteitsbouw, maar ook de relatieve aandelen van de individuele technieken spelen hierin een belangrijke rol. De ruimtelijk-economische neerslag van een transitie naar houtbouw verschilt immers wezenlijk van de effecten die de introductie van innovatieve bindmiddelen teweegbrengen. In de praktijk is het mogelijk dat er geen unieke ‘winnaar’ ontstaat, maar dat circulaire technieken parallel aan elkaar opgeschaald worden.

Wanneer richting 2050 gewapend beton steeds vaker vervangen zou worden door houtconstructies, heeft dit ingrijpende effecten op de betonketen. Zowel de binnenlandse productie van cement, als de productie van (droge dan wel natte) betonmortel en prefab-beton zou afnemen als gevolg van de vraagdaling die optreedt door de transitie naar

houtbouw. Ook de wapeningsstaalketen zou geraakt worden. Bestaande bedrijvigheid zou verdwijnen en worden vervangen door nieuwe vormen van economische activiteit, gericht op transport, opslag en verwerking van hout.

Ook in de bouw zelf zouden flinke veranderingen optreden: aannemers zouden gevraagd worden om nieuwe vaardigheden en een deel van de betonvlechters zou haar baan verliezen. Naar verwachting zou Nederland het leeuwendeel van het benodigde hout importeren vanuit het buitenland (met name uit Scandinavië, Duitsland en Oostenrijk (Centrum Hout, 2021)). Wanneer de extra houtvraag geacommodeerd zou worden vanuit binnenlandse bronnen, zou dit namelijk een forse toename van het huidige bosbouwareaal vereisen. Voor de bouw van 80.000 houten woningen per jaar, is volgens Centrum Hout zo'n 3 miljoen m³ hout nodig (Centrum Hout, 2021). Ter vergelijking: in Nederland wordt al jaren niet meer dan 1 miljoen m³ geproduceerd. Bovendien is daarvan slechts 0,1 m³ geschikt voor de bouw. Mogelijk kan in de toekomst meer hout voor woningbouw in Nederland geproduceerd worden. Marco Vermeulen (van het gelijknamige ontwerpbureau in Rotterdam) stelt dat door het selectief vervangen van bomen door jonge exemplaren van andere soorten, zo'n 8 m³ hout per hectare kan worden gewonnen (Studio Marco Vermeulen, 2019). Om 500.000 woningen van Nederlands hout te kunnen maken zou er aanvullend circa 25.000 hectare nieuw bos nodig zijn. Ook in de Bossenstrategie wordt voorzichtig gehint op een lichte toename van de oogst (Ministerie van LNV & IPO, 2020). Extra binnenlandse productie zou vragen om meer focus inzet op bosbeheer, en een toename van economische activiteit rondom het kappen en verwerken van productiebossen. De import van extra hout voor woning- en utiliteitsbouw vraagt mogelijk om nieuwe binnenlandse overslaglocaties of uitbreiding van bestaande locaties (bij import uit Duitsland en Oostenrijk ligt transport via de grote rivieren voor de hand en heeft de Rotterdamse haven een ongunstige ligging). Daarnaast vereist extra import nieuwe ondernemingen die hout transporteren, opslaan en bewerken, maar ook om nieuwe kennis en vaardigheden bij bouwmedewerkers, nieuwe regelgeving, machines en materiaal. Volgens een recent rapport van Probos kan additionele Nederlandse houtbouw ruimschoots gedekt worden door extra aanbod van rondhout uit het Europese bos en het ombuigen van de huidige export van bijvoorbeeld gezaagd naaldhout (Probos, 2020).

Qua ruimtebeslag lijken de veranderingen minder ingrijpend: terreinen die nu gebruikt worden door bijvoorbeeld betoncentrales zouden vrijkomen, waardoor de netto additionele ruimtebehoefte beperkt zou blijven¹³. Bedrijven in de houtketen zouden zich vermoedelijk - net als betonbedrijven - vestigen aan het water, op ruime kavels met forse milieuruimte. De verwerking van hout heeft, in tegenstelling tot beton, niet te maken met maximale transporttijden. Het is dus denkbaar dat de opslag en verwerking van hout voor de bouw geconcentreerder, op minder verschillende locaties in het land plaats gaat vinden dan dat dat nu met beton aan de orde is.

Als de betonkringloop wijzigt doordat andere grondstoffen cement, zand en grind vervangen, lijken de consequenties overzichtelijker. Een groot deel van de bestaande keten zou in stand blijven; cement- en betonproducenten zouden overstappen op andere productieprocessen, maar gewapend beton zou haar centrale functie in de bouw behouden. Ook de marktdynamiek en het ruimtegebruik zouden grotendeels hetzelfde blijven. Veranderingen vinden vooral plaats bij leveranciers van zand en grind, en in de metaal-keten. Deze partijen zouden hun productie moeten beperken, terwijl nieuwe bedrijvigheid ontstaat rondom bijvoorbeeld de productie van basaltvezelstaven. Het effect op het ruimtegebruik door deze nieuwe bedrijvigheid is beperkt. Voor de winning van zand en

¹³ Vanwege de lagere dichtheid van hout en minder heterogene vorm moet rekening worden gehouden met een lichte toename van het ruimtebeslag voor opslagdoeleinden.

grind geldt dat er sprake is van flexibiliteit in de zandwinning. Structurele afname van de vraag naar zand en grind kan ertoe leiden dat binnenlandse winningslocaties worden stopgezet, of nieuwe winningslocaties niet langer hoeven worden aangesproken.

Omdat basaltvezelstaven een directe vervanging zijn van wapeningsstaal is ook hier het effect op de ruimte beperkt. Oorspronkelijk ruimtegebruik voor bijvoorbeeld staalvlechters zal daarom vrijwel onveranderd blijven (in plaats van betonstaal, worden basaltvezels gevlochten). Alleen op het gebied van transport zou een significante impact kunnen ontstaan omdat basaltvezelstaven vier keer lichter zijn dan staal. We verwachten geen massale transitie naar andere transportmiddelen (vanwege de grote volumes ligt transport per binnenvaart voorde hand), maar wel dat transportkosten per eenheid zullen afnemen.

Kijken we naar technieken die de kringloop verlengen, dan zien we een vergelijkbaar beeld ontstaan: hoewel de adoptie van deze technieken om wijzigingen in de bedrijfsvoering van ketenpartijen vraagt, blijft de ketenstructuur grotendeels gelijk. Demontabel bouwen zal wel leiden tot een afname van de primaire productie, en vraagt daarnaast om additionele opslaglocaties waar elementen die kunnen worden hergebruikt tijdelijk worden gestald, en mogelijk opgefrist. Het bijbehorende ruimtegebruik is afhankelijk van de timing van sloop en bouw. Op het moment dat gedemonteerde woningdelen vrijwel direct kunnen worden hergebruikt, kan het ruimtebeslag geschat worden aan de hand van het ruimtegebruik van de eerder beschreven woningfabrieken in Heerenveen en Almelo. Deze locaties hintten op een ruimtegebruik van gemiddeld 1 ha per 1000 woningen per jaar. Door de opkomst van demontabel bouwen zullen bouw- en sloopbedrijven aandachtiger te werk moeten gaan om demontabel bouwen mogelijk te maken. Het lijkt aannemelijk dat niet alle bedrijven deze omslag zullen willen of kunnen maken, en dat een nichemarkt ontstaat waarin bouw- bedrijven en prefabproducenten deelnemen die zich specialiseren in demontabele constructies. In de Quicksan Circulaire Bouwopgave MRA beargumenteren EIB en TNO dat meer hergebruik van casco's het ruimtegebruik vermindert met ongeveer 20%, omdat er minder beton geproduceerd wordt en minder puin hoeft te worden verwerkt. Demontabel bouwen vergroot de ruimtevraag echter met ongeveer 13%, omdat het ruimtegebruik voor de productie van prefabelementen groter is dan dat voor de productie van betonmortel (EIB & TNO, 2018). Gebruik van CCU leidt vooral tot mogelijke bedrijfswijzigingen buiten de betonketen. Waar glastuinders en industriële installaties voorheen hun CO₂ uit fossiele of biogene bronnen moesten halen, kan dan rechtstreeks worden ingekocht bij cementproducenten. Qua ruimtebeslag zou met name demontabel bouwen tot wijzigingen kunnen leiden, omdat niet elk gesloopt object direct kan worden toegepast in een nieuw bouwwerk. Additionele opslaglocaties lijken daarom noodzakelijk. Naast fysieke bedrijvigheid zou ook bedrijvigheid in de dienstensector kunnen ontstaan. Denk hierbij aan platformondernemingen die vraag naar en aanbod van bouwelementen helpen bij elkaar te brengen via een digitale bouwmarktplaats (Ecorys, 2018).

Tot slot kan grootschalige recycling van individuele betonfracties ook significante ruimtelijk-economische effecten genereren. Zoals eerder genoemd zou de primaire productie van beton met tot wel 20% af kunnen nemen, zodat bestaande zand- grind en cementproducenten moeten krimpen. Hiervoor in de plaats zullen - vermoedelijk op meerdere locaties in het land - recyclingfabrieken ontstaan waar grondstoffen teruggewonnen worden uit gesloopt beton. Deze recyclinginstallaties vragen voldoende areaal, geschikte infrastructuur (toegang tot water), en milieuruimte. Mogelijk zullen agglomeratie-effecten optreden, waarbij betonproducten zich vestigen rondom recyclinginstallaties om zodoende transportkosten te beperken. Naast fysieke ruimte voor de mechanische en thermische recycling, zal ook flinke opslagruimte nodig zijn. Op het eerste gezicht hoeft het ruimtegebruik door mechanische en thermische recycling niet toe te nemen: er hoeft immers minder primaire productie bij betoncentrales plaats te vinden.

Door verschillen in timing tussen afbraak en productie, zullen er in de praktijk wel meer materialen opgeslagen moeten worden, met extra ruimtegebruik als gevolg.

Toenemend hergebruik van beton leidt er in potentie toe dat er minder zand en grindwinning nodig is. Het Economisch Instituut voor de Bouw en TNO hebben becijferd dat de bouwopgave in de periode tot 2050 voor maximaal een kwart van de totale behoefte kan worden ingevuld met hergebruikt materiaal. Het aanbod aan materiaal uit sloop en recycling is een stuk minder groot dan de bouwopgave. Daarnaast zorgt klimaatadaptatie, de versterking van dijken, kustsuppletie en andere klimaatmaatregelen ook voor vraag naar zand. Ondanks toenemend hergebruik van bouwmaterialen zal zand- en grindwinning dus van belang blijven om aan de bouwopgave te voldoen. Een toename van bouwen met hout en het gebruik van CLT kan in de toekomst wel zorgen voor het afschalen van zand- en grindwinning.

Indirect ruimtegebruik: milieugebruiksruimte in de omgevingswet

Milieuzonering is een ruimtelijk instrument voor het invullen en beheren van de ruimte. Hierbij wordt een scheiding tussen verschillende, vaak zich niet met elkaar verdragende, functies aangehouden. Dat gaat bijvoorbeeld over de scheiding bedrijvigheid die geluids-, stof- of geuroverlast veroorzaakt en woningen. In de VNG-publicatie 'Bedrijven en Milieuzonering' wordt per bedrijfstak aangegeven welke milieuonderwerpen een rol kunnen spelen en welke gemiddelde afstanden tot de woonbebouwing 'passend' zijn.

Met de invoering van de Omgevingswet verdwijnen de richtafstanden en milieucategorieën. Ook de VNG-handreiking 'Bedrijven en Milieuzonering' in de huidige vorm komt te vervallen. In plaats van richtafstanden en milieucategorieën wordt binnen de Omgevingswet gewerkt met milieugebruiksruimte per bedrijfsmatige activiteit (die kan verschillen per deelgebied binnen de gemeente) of milieugebruiksruimte per gebied (vergelijkbaar met de huidige systematiek van geluidzones rondom industrieterreinen). Een combinatie van beide is ook mogelijk. VNG heeft de handreiking 'Milieuzonering nieuwe stijl' - voor toepassing onder de Chw/Transitiewet op weg naar de Omgevingswet' opgesteld, waarin dit nader wordt toegelicht.

Een bepaalde vorm van zonering blijft ook binnen de Omgevingswet wenselijk/noodzakelijk. De afweging over de toelaatbaarheid van functies in een gebied kan echter breder zijn dan enkel de milieuhindercontouren. In een omgevingsplan kan worden opgenomen dat op een bedrijventerrein bepaalde typen bedrijvigheid toegestaan zijn. Voor ontwikkelingen in de omgeving van dat bedrijventerrein is een afwegingskader nodig om te beoordelen of deze functies niet met elkaar conflicteren. Andersom is het bij de realisatie van een bedrijventerrein noodzakelijk om een bepaalde afstand tot een woonwijk in acht te nemen.

Beleidsmaatregelen

Een circulaire gewapend betonketen ontstaat niet vanzelf. Hoewel autonome prijsdalingen circulaire technieken een steun in de rug kunnen geven, zal overheidsbeleid nodig zijn om bovengenoemde innovaties echt van de grond te krijgen. Veel van de hierboven beschreven technieken zijn nu nog te prijzig om echt te concurreren met milieubelastende virgin grondstoffen.

Stijgende (Europese) CO₂-prijzen kunnen daarom flink helpen: wanneer de prijs van cement oploopt, worden alternatieve bindmiddelen, recycling en houtbouw relatief voordeliger. Een belangrijke rol lijkt ook weggelegd voor normering. Door samenstellingseisen te formuleren, kan de overheid de adoptie van recyclelaat en grondstoffen met een lagere milieudruk verder versnellen. Op het gebied van houtbouw lijkt kostenreductie niet voldoende. Er zal ook geïnvesteerd moeten worden in kennis bij bijvoorbeeld woningbouwcoöperaties en expertise bij bouwbedrijven. Zonder opdrachtgevers die geïnteresseerd zijn in houtbouw, en aannemers die projecten kunnen realiseren, zijn hoge prijzen immers niet te enige bottleneck.

3.5 Conclusies

In dit hoofdstuk hebben we de gewapend betonketen geanalyseerd en onderzocht waar mogelijkheden liggen voor een meer circulaire woning- en utiliteitsbouw. Op basis van deze beschouwing kunnen we de meerdere conclusies trekken, die zijn samengevat in Tabel 4.

Tabel 4 - Conclusies ruimtelijke effecten woning- en utiliteitsbouw

Activiteit	Ruimtebeslag	Verdeling over ruimte	Locatie-eisen (infra, milieuruimte, omgevingskenmerken)
Huidige situatie			
Primaire productie van beton en mechanische recycling van secundair staal voor bewapening.	Zo'n 500-1.000 ha ruimtegebruik op industrieterreinen en door betoncentrales, prefabcentrales en staalvlechters. Zandwinning vereist nog eens 100-150 ha.	Betoncentrales en zijn verspreid over het land in verband met korte maximale reistijden. Ook betonvlechtbedrijven zijn vrij uniform verdeeld.	Vanwege zware inputs en grote goederenstromen is multimodale ontsluiting voor de meeste ketenbedrijven een vereiste, net als een hoge (> 4,2) milieucategorie.
Toekomstbeeld circulaire economie			
Bouw van 500.000 houten woningen.	Vereist aanvullend bosbeheer en nieuwe productiebossen (25.000 ha) of grootschalige import. Additioneel ruimtegebruik voor bewerking en opslag van hout vervangt huidig ruimtegebruik door betonindustrie.	In verband met relatief hoge transportkosten ligt een vrij uniforme verdeling over het land voor de hand, met mogelijk clustering rondom productiebossen.	Locatie-eisen vergelijkbaar met betonketen: multimodale ontsluiting, forse kavels (2-10 ha) en een hoge milieucategorie.
Wijziging in de betonkringloop door vervanging van inputs (basaltvezelstaven, gewassen bodemas en alternatieve bindmiddelen).	Geen additioneel ruimtebeslag voorzien, wel nieuwe goederenstromen. Grootschalig gebruik van gewassen bodemassen en andere restproducten als toeslagmateriaal kan leiden tot afname zandwinning.	Huidige locaties kunnen voor een groot deel blijven bestaan.	Locatie-eisen blijven onveranderd. Mogelijk treedt er clustering op rond de productie van basaltvezelstaven vanwege positieve spillovers.
Sterke toename van demontabel bouwen.	Ruimtebeslag productie-locatie kan met zo'n 10-15% toenemen omdat prefabproductie meer ruimte vereist.	Denkbaar dat een aantal grote bouw hubs ontstaan in gebieden met forse woningbouwopgaves. Deze bouw hubs bestaan uit woningfabrieken, opslaglocaties en betonproducenten.	Vanwege hoge transportkosten dicht bij ontwikkelgebieden, locaties met goede ontsluiting (ook via water) en ruime kavels.
Meer hoogwaardige recycling van beton.	Ten opzichte van de referentie daalt het ruimtebeslag met maximaal 20% omdat er minder primaire productie nodig is, maar er meer geproduceerd dan gesloopt wordt. Door timingverschillen tussen afbraak en productie is extra opslagruimte nodig.	Recycling zal vooral plaatsvinden nabij sloop en nieuwe woningbouw in verband met hoge transportkosten en uitharding van nieuw beton.	Goede infrastructuur en ligging ten opzichte van sloop en nieuwbouw zijn belangrijke vestigingsfactoren.

4 Auto's delen

4.1 Inleiding

Eén van de strategieën om materiaalverbruik te verminderen is om producten te delen/verhuren/leasen in plaats van deze te bezitten. Als meerdere personen tegelijkertijd gebruik maken van producten, worden deze intensiever gebruikt en zijn minder producten per persoon noodzakelijk, waardoor het materiaalverbruik in de Nederlandse economie afneemt.

Het concept van delen in plaats van bezitten kan op veel verschillende productgroepen van toepassing zijn (gereedschap, auto's, kleding, etc.). Voorbeelden van initiatieven zijn Snappcar (auto delen), Peerby (consumentengoederen delen) en Sharewear (kleding delen).

De impact op het ruimtebeslag van deelconcepten hangt sterk af van het type product dat wordt gedeeld. Wij verwachten dat vooral bij het delen van auto's de potentiële ruimtelijke impact groot kan zijn, omdat auto's veel fysieke ruimte vergen in de gebruiksfase. Zo kan een boormachine of een spijkerbroek in de kast worden bewaard, terwijl auto's parkeerruimte vergen bij geen gebruik. In dit hoofdstuk richten wij ons daarom specifiek op de ruimtelijke impact van het delen van auto's.

4.2 Activiteiten zonder delen en ruimtegebruik

Om de effecten te bepalen van het delen van auto's, dient eerst in kaart te worden gebracht wat het ruimtebeslag is als er geen auto's worden gedeeld. Zoals eerder vermeld is ruimte noodzakelijk tijdens de gebruiksfase (weggebruik, parkeerplaatsen). Daarnaast is er ruimte noodzakelijk voor productie van auto's (zowel autofabrikanten als toeleverende industrie), de verkoop en het onderhoud (autodealers, autogarages), en afval (demontage, autosloop).

Nederland kent slechts één autofabriek (Borne, Limburg). Het ruimtebeslag voor productie is daarom beperkt (CE Delft, 2021). Wel kent Nederland een grote toeleverende sector voor onderdelen van auto's, die voornamelijk gevestigd is in Zuidoost Brabant. Deze toeleverende sector is bij uitstek export-georiënteerd en voert circa 95% van alle geproduceerde producten uit naar het buitenland.¹⁴ Verkoop en onderhoud van auto's vindt plaats bij garages verspreid over heel Nederland. Ook de afvalverwerking vindt in heel Nederland plaats. In totaal zijn er ongeveer 350 autosloperijen actief.¹⁵

Het grootste ruimtebeslag komt voort uit de benodigde parkeerruimte. In Nederland zijn er 8,8 mln auto's¹⁶ die gebruik maken van naar schatting 14 mln tot 18 mln parkeerplaatsen (KiM, 2018). Hiervan is grofweg 2/3 openbaar terrein (straat, parkeerterreinen, parkeergarages) en 1/3 privaat (bedrijven, woningen). Bij een gemiddelde oppervlakte van 15m² tot 30 m² per parkeerplaats (parkeervak inclusief in- uitstappen en toegangsweg) (ITDP, 2011), is het totale ruimtebeslag 320 km² tot 410 km². Dit is grofweg 1% van de totale

¹⁴ [AutoRAI: Nederlandse automotive sector, groter dan je denkt](#) [AutoRAI: Nederlandse automotive sector, groter dan je denkt](#)

¹⁵ [Autosloperijen overzicht](#) [Autosloperijen overzicht](#)

¹⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/vervoermiddelen-en-infrastructuur/personenautos>

oppervlakte van Nederland¹⁷ of twee keer de grootte van Texel. Ten opzichte van het bebouwde terrein (3.615 km²¹⁸) is het aandeel oppervlakte met 10% aanmerkelijk groter.

4.3 Activiteiten voor een meer circulaire keten (deelconcept)

Het delen van auto's is een manier om het autobezit en gebruik terug te dringen. In 2021 maakte ongeveer 2% van de Nederlanders gebruik van auto delen; het is daarmee nog een nichemarkt (KiM, 2021).

In maart 2021 werden in Nederland 87.825 deelauto's aangeboden. Het grootste deel hiervan waren auto's die particulieren huren van andere particulieren via deelplatforms. Voorbeelden zijn Snappcar en lokale initiatieven waarin groepjes particulieren één of meer auto's delen. Het aandeel van huren van auto's in bezit van bedrijven (bijvoorbeeld Greenwheels) is veel kleiner. Deelauto's worden vooral gebruikt in sterk verstedelijkte gebieden zoals Utrecht, Amsterdam en Den Haag.

De beschikbaarheid van deelauto's leidt tot een vermindering van het autobezit als auto-delers de eigen auto niet meer nodig hebben en van de hand doen (of als ze geen nieuwe auto aanschaffen). Auto delen zou echter ook tot meer autobezit kunnen leiden als het mensen zonder auto's op een laagdrempelige manier kennis kunnen maken met auto's en kiezen om een eigen auto aan te schaffen. Uit een onderzoek van het PBL kwam naar voren dat het autobezit bij autodelers afnam van gemiddeld 0,85 auto's per huishouden naar 0,72 auto's per huishouden (PBL, 2015)

Mensen die vaker gebruik maken van de deelauto, zijn eerder geneigd om de auto van de hand te doen (of geen nieuwe te kopen) dan personen die slechts incidenteel gebruik maken van de deelauto (KiM, 2021).

4.4 Ruimtelijk economische consequenties

De grootste potentiële ruimtelijke consequenties van vermindering van autobezit is de afname van het aantal parkeerplaatsen. De gemiddelde personenwagen in Europa is meer dan 95% van de tijd geparkeerd (RAC Foundation, 2012). Zoals eerder beschreven nemen parkeerplaatsen ongeveer 1% van de totale oppervlakte in Nederland in beslag en 10% van het bebouwde terrein in Nederland. De potentiële impact op de ruimte is dus erg groot.

Daarnaast zou er door minder autobezit ruimte kunnen vrijkomen bij autoslooplocaties en garages (met name verkooplocaties). De impact op reparatie van auto's is onduidelijk. Enerzijds zijn er minder auto's noodzakelijk om te repareren, maar anderzijds worden auto's intensiever gebruikt waardoor per auto vaker reparaties nodig zijn. Overigens kan wel een reductie van ruimtebeslag voor autoreparatie verwacht kan worden door de transitie naar het gebruik van elektrische auto's. Deze hebben een langere levensduur en minder onderhoud nodig. Omdat de automotive sector in Nederland vooral export-georiënteerd is, zal binnen deze industrie alleen een afname van het ruimtegebruik plaatsvinden als het delen ook in het buitenland sterk zal toenemen.

De mate waarin autobezit afneemt is uiteraard erg afhankelijk van de mate waarin auto delen zich gaat ontwikkelen. Volgens het KiM, (2021) zal bij huidig beleid in het WLO hoog-scenario het gebruik van deelauto's slechts licht groeien. Het gaat daarbij vooral om jonge

¹⁷ De totale oppervlakte van Nederland is 41.530 m².

¹⁸ [CBS: Nederland in Cijfers : hoe wordt de Nederlandse bodem gebruikt?](#)

hoogopgeleide personen die in stedelijk gebied wonen en die flexibel zijn in hun vervoerswijze. De ruimtelijke impact van het auto delen blijft daarmee, bij ongewijzigd beleid, naar verwachting voor heel Nederland beperkt. Ook in de WLO-scenario's neemt het autobezit in Nederland toe van 8,8 mln in de huidige situatie tot 9,3 mln in 2050 (WLO laag) en 11,6 mln (WLO hoog) (PBL, 2020). Alhoewel auto delen een dempend effect op de groei zou kunnen hebben, is het de verwachting dat het totale ruimtebeslag van parkeerplaatsen in Nederland zal eerder toenemen dan afnemen.

Wel zal het aantal parkeerplaatsen op specifieke locaties kunnen afnemen, bijvoorbeeld in binnensteden en nieuwbouwwijken waar parkeernormen worden aangescherpt. Hierbij speelt echter niet alleen auto delen een rol, maar ook andere ontwikkelingen zoals de beschikbaarheid van alternatieven voor de auto (goed openbaar vervoer).

Voorbeeld: Ruimtebesparing met auto delen en lage parkeernorm in Merwedekanaalzone

Bij de herontwikkeling van de Merwedekanaalzone in Utrecht wordt mobiliteit op een vernieuwende manier benaderd. Er wordt volop ingezet op auto delen als onderdeel van Mobility as a Service (MaaS). Het doel is dat inwoners in de Merwedekanaalzone straks goed zonder eigen auto kunnen: deelmobiliteit is eenvoudig en altijd dichtbij. Lopen, fietsen en openbaar vervoer staan centraal. De verwachting is dat in een hoogstedelijke omgeving zoals de Merwedekanaalzone mensen meer dan nu bereid zijn om mobiliteit te delen en de voordelen daarvan te ervaren. Wanneer mensen het gemak van een aanbod aan deelauto's hebben



ontdekt hechten ze naar verwachting minder aan eigen bezit van een auto. De beoogde parkeernorm is 0,3, dat wil zeggen drie parkeerplaatsen per tien woningen. Daarmee wordt een aanzienlijke ruimtebesparing gerealiseerd ten opzichte van parkeren op maaiveld en/of een forse kostenbesparing ten opzichte van verdiept of half verdiept parkeren of andere gebouwde parkeeroplossingen. Het bespaarde ruimtebeslag kan in het plan worden ingezet voor meer woningen/hogere dichtheden en meer groen en openbare ruimte. Er zijn wel extra laad- en losplaatsen nodig, maar het ruimtebeslag daarvan is beperkt in vergelijking tot de benodigde ruimte voor parkeren bij het hanteren van een conventionele stedelijke parkeernorm (1,0). Op de totale ambitie van een kleine 10.000 woningen scheelt het ca. 12 ha aan ruimtebeslag of 120.000 m² aan gebouwde parkeervoorzieningen.

Bij meer vergaand beleid, gericht op tegengaan van autobezit en inzet op deelmobiliteit, zou auto delen wel kunnen toenemen in Nederland. Het is volgens KiM, (2021) niet mogelijk om de groei te kwantificeren.

Beleid om deelmobiliteit te stimuleren

Om deelmobiliteit te laten groeien zijn verschillende beleidsmaatregelen mogelijk. Zo kan autobezit worden ontmoedigd door parkeertarieven te verhogen, parkeernormen verder aan te scherpen, autoluwe binnensteden uit te breiden, BPM te verhogen, verhogen bijtelling voor leaseauto's, en het afschaffen van reiskostenvergoeding voor woon-werkverkeer. Deelmobiliteit kan ook fiscaal aantrekkelijker worden gemaakt door bijvoorbeeld btw af te schaffen op gedeelde mobiliteitsdiensten, gemeentelijke procedures voor bijvoorbeeld aanvraag voor deelautoparkeerplaatsen te harmoniseren en het toewijzen van specifieke parkeerinfrastructuur voor gedeelde mobiliteit (KiM, 2021).

Andere ontwikkelingen die deelmobiliteit stimuleren zijn inzet van digitalisering zorgt dat auto delen steeds makkelijker en toegankelijker wordt. Voordelen voor auto delen ten opzichte van autobezit: bijv. parkeermogelijkheden deelauto's nabij woningen, eigen auto verder weg en goed openbaar vervoer is een voorwaarde, omdat dit stimuleert af te zien van autobezit.

4.5 Conclusies

De belangrijkste conclusies zijn:

Activiteit	Ruimtebeslag	Verdeling over ruimte	Locatie-eisen (infra, milieuruimte, omgevingskenmerken)
Huidige situatie			
Het delen van auto's is momenteel nog een niche-markt. In het voorjaar van 2021 werden 87.825 deelauto's aangeboden op een totaal autobezit van 8,8 mln auto's. Vooral hoogopgeleide personen in grote steden maken gebruik van de deelauto.	Parkeerplaatsen nemen naar schatting 1% van de totale ruimte in Nederland in beslag. Het aandeel in het bebouwde gebied ligt op 10%.	Parkeerplaatsen liggen verspreid over heel Nederland. Hiervan is grofweg 2/3 openbaar terrein (straat, parkeerterreinen, parkeergarages) en 1/3 privaat (bedrijven, woningen).	Parkeerplaatsen zijn altijd verbonden aan infrastructuur, dus voor het overgrote deel gelegen in bebouwde gebieden.
Toekomstbeeld circulaire economie			
De verwachting van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid is dat auto delen bij ongewijzigd beleid slechts licht stijgt. Het bezit van auto's neemt in alle WLO-scenario's toe. Bij gewijzigd beleid kan groei wel toenemen, maar het KIM heeft dit niet kunnen kwantificeren.	Bij ongewijzigd beleid beperkte afname aantal parkeerplaatsen in Nederland. Waarschijnlijk wel minder parkeerplaatsen in binnensteden en nieuwbouwalocaties waarbij parkeernormen worden aangescherpt. Hierbij speelt niet alleen auto delen een rol, maar ook de beschikbaarheid van openbaar vervoer.	Minder parkeerplaatsen op specifieke locaties met aangescherpte parkeernormen (binnensteden, nieuwbouwwijken).	Locaties waarin randvoorwaarden aanwezig zijn voor aanscherpen parkeernormen en meer auto delen (goed OV, hoge ruimtedruk). In een stedelijke omgeving is auto delen kansrijker, omdat hier relatief veel mensen bij elkaar wonen en het makkelijker is om vraag en aanbod te matchen. Succes hangt af van kwaliteit van alternatieven van autobezit.

5 Grond, weg en waterbouw

5.1 Inleiding

Het leeuwendeel van de toepassingen in de grond, weg en waterbouw (GWW) vraagt om de inzet van zand, grind, beton en/of asfalt. Omdat de bevindingen over de circulaire betonketen uit Hoofdstuk 2 ook opgaan voor beton dat wordt gebruikt in de GWW, en de winning van zand en grind al aan bod is gekomen, staan we in dit hoofdstuk stil bij de asfaltketen. In Nederland wordt jaarlijks ruim 8 mln ton asfalt geproduceerd (Roelofs, 2020). De productie van asfalt is afhankelijk forse goederenstromen en zorgt tevens voor significante broeikasgasemissies: in 2019 bedroegen de ketenemissies van nieuw asfalt (gerekend over de gehele levensduur) bijna 200 kton CO₂-eq. (CE Delft & TNO, 2019). Een meer circulaire asfaltketen kan daarom zorgen voor een flinke afname van zowel de materialenvraag als de klimaatimpact.

5.2 Huidig productieproces

Asfalt kent een relatief eenvoudig productieproces. De fabricatie van asfalt vereist vier verschillende primaire grondstoffen: zand, steenslag, vulstof en bitumen. Steenslag en zand vormen het grootste deel van de massa (respectievelijk zo'n 60% en 30%). Als vulstof wordt meestal een vorm van kalksteen ingezet. De aggregaten (zand, steenslag en vulstof) worden aan elkaar gebonden met behulp van bitumen - een olieproduct dat overblijft nadat de lichte fracties uit ruwe aardolie zijn verwijderd tijdens het raffinageproces. Hoewel bitumen maar zo'n 5% van de asfaltmassa uitmaakt, beslaat de productie van bitumen een groot deel van de klimaatimpact van asfalt. Bitumen kent bij kamertemperatuur een hoge viscositeit, en om te fungeren als bindmiddel, moet bovendien eerst verwarmd worden. Asfaltcentrales verhitten het mengsel van bitumen en aggregaat daarom in de regel met behulp van aardgas tot een temperatuur van 100 °C tot 200 °C.

In Nederland wordt een groot deel van het afgedankte asfalt momenteel al gerecycled. Elk jaar komt zo'n 3 tot 4 mln ton asfalt vrij in de vorm van opgebroken wegen, dat wordt gerecycled tot nieuw asfalt. Momenteel kennen de meeste asfaltcentrales een maximum bijmengpercentage asfaltgranulaat van 50% (niet alle asfaltlagen kunnen worden gefabriceerd uit asfaltgranulaat; met name deklagen vereisen kwalitatief hoogwaardig asfalt), waardoor bij afnemende vraag naar asfalt niet al het afgebroken materiaal binnen de sector gerecycled zou kunnen worden. Innovatieve hoogwaardige recyclingmethodes staan een hogere benuttingsgraad dan 50% toe, en worden besproken in Paragraaf 5.3. Een overzicht van het productieproces en de huidige rol van recycling is weergegeven in Figuur 5.

Figuur 5 - De asfaltkringloop



Bron: Overgenomen uit Ballast Nedam, (2020).

Noot: De productie van asfalt begint bij de winning van grondstoffen (A1). Deze grondstoffen worden getransporteerd (A2) en vervolgens gemengd en verwarmd tot asfalt (A3). Tijdens de bouwfase wordt het asfalt eerst getransporteerd naar de bouwlocatie (A4) en vervolgens aangelegd (A5). Gedurende de levensduur van het asfalt wordt het gebruikt, en mogelijk vernieuwd (B1). Nadat het doorlopen van de gebruiksphase wordt het asfalt eerst gesloopt (C1) en vervolgens getransporteerd naar de asfaltcentrale (A2). In de asfaltcentrale wordt het asfaltgranulaat verwerkt en opgeslagen (C3) en ten slotte gerecycled tot nieuw asfalt (C4).

Overzicht van de keten

Nederland kende in 2020 zo'n 45 asfaltcentrales, verspreid over het land (Roelofs, 2020). Deze ruimtelijke spreiding is weergegeven in Figuur 6 en komt, net als in de betonketen, voort uit hoge transportkosten en korte maximale transporttijden. Het directe ruimtegebruik per centrale varieert van enkele hectares tot zo'n 20 ha. Asfaltcentrales zijn veelal gevestigd in havengebieden en vereisen doorgaans een hoge milieucategorie - minimaal 4.2. Vaak is er daarom sprake van indirect ruimtebeslag. In Utrecht tekende de gemeente, projectontwikkelaars en asfaltcentrale KWS om die reden in 2017 een intentieverklaring de centrale te verplaatsen naar een buitengebied, om zo ruimte te creëren voor een nieuwe woonwijk.

Figuur 6 - Locaties van asfaltcentrales in Nederland



Asfaltcentrales kopen hun grondstoffen zowel in Nederland als in het buitenland in. Bitumen wordt meestal ingekocht van raffinaderijen die zijn gevestigd rondom de Rotterdamse haven en per vrachtwagen vervoerd naar de asfaltcentrale. Grovere steenslag wordt vaak uit het buitenland geïmporteerd. KWS, een van de grootste asfaltproducenten in Nederland, importeert bijvoorbeeld uit Frankrijk, Ierland, Noorwegen en Duitsland, afhankelijk van de soort gesteente die gewenst is voor het betreffende asfaltproduct (KWS, 2010). Fijnere steenslag wordt ook gewonnen uit de Nederlandse rivieren. Zo'n 30% van de steenslag wordt binnenlands, gewonnen - de overige 70% wordt geïmporteerd. Steenslag wordt vanwege het gewicht en volume per zeeschip of binnenvaartschip geleverd aan de asfaltcentrales. In totaal gaat het om een kleine 5 miljoen ton per jaar. Mogelijkheden voor multimodale ontsluiting zijn dan ook belangrijke locatievoorwaarden voor asfaltcentrales. Gegeven de grote volumes zand en steenslag, moet een locatie daarnaast over voldoende opslagmogelijkheden beschikken. In de regel wordt het leeuwendeel van het areaal van een asfaltcentrale ingezet voor de opslag van grondstoffen.

Bij de productie van asfalt worden twee verschillende soorten zand gebruikt: natuurlijk zand, dat voornamelijk gewonnen wordt in het IJsselmeer, en brekerzand, dat vrijkomt bij het breekproces van steenslag. Dit brekerzand wordt in de regel ingekocht bij dezelfde steenslagleverancier. Jaarlijks wordt zo'n 2,5 mln ton zand verscheept voor gebruik in de asfaltindustrie. Specialistisch vulstof dat wordt ingekocht vanwege het viscositeit beïnvloedende effect bestaat meestal uit steenmeel. Asfaltcentrales kunnen ook eigen vulstof toepassen, dat ontstaat door slijtage van de aggregaten, of gebruikmaken van restproducten zoals vliegas. Vanuit de asfaltcentrales wordt het asfalt met behulp van

speciale asfaltwagens vervoerd naar de gebruikslocatie, waar het na de levensduur weggefreest wordt, en weer wordt getransporteerd naar een asfaltcentrale.

5.3 Activiteiten voor een meer circulaire asfaltketen

Zoals genoemd wordt vrijwel al het afgedankte asfalt momenteel hergebruikt. Bij een afnemende vraag naar asfalt - bijvoorbeeld als gevolg van de trend naar thuiswerken - zullen de huidige maximale bijmengpercentages volledige in-sector recycling in de weg staan. Er wordt dan immers niet genoeg nieuw asfalt geplaatst om al het recyclaat in te verwerken. Bovendien vindt meer dan de helft van de asfaltproductie nog steeds plaats met behulp van virgin grondstoffen. Ook leunen asfaltcentrales sterk op het gebruik van aardgas. Kijken we naar de toekomst, dan zien daarom een duidelijke trend naar meer circulaire en CO₂-arme technieken. We kunnen hierbij meerdere aanpakken onderscheiden, die samenhangen met verschillende R-strategieën.

Vervanging van de kringloop

Huidige productie van asfalt is afhankelijk van het fossiele bindmiddel bitumen. In de toekomst kan bitumen mogelijk vervangen worden door lignine, een biobased grondstof die met behulp van hydrolyse kan worden geproduceerd uit hout, stro en gras (CE Delft & TNO, 2019). Jaarlijks wordt zo'n 300.000 ton bitumen toegepast in Nederlands asfalt; het toepassingspotentieel van lignine (dat na bewerking 1-op-1 bitumen zou kunnen vervangen) is dan ook groot. Gedroogd hout bevat een aanzienlijk aandeel lignine: zo'n 25 tot 33%. Om 300.000 ton bitumen te vervangen door lignine, zou ruim 1 mln ton gedroogd hout nodig zijn - meer dan de huidige binnenlandse productie.

Gegeven de grote vraag naar houtige biomassa-reststromen vanuit andere sectoren en de vaak hoge betalingsbereidheid, zal lignine uit houtige biomassa-reststromen bitumen niet automatisch vervangen in de toekomst - hiervoor zal op z'n minst aanvullend beleid noodzakelijk zijn. Lignine komt ook vrij als restproduct bij bioraffinaderijen en bij de productie van papier en karton en wordt momenteel verbrand door papierproducenten (de hitte kan weer worden toegepast in het productieproces). Uit resultaten van een LCA-studie van TNO blijkt dat toepassing van lignine uit de papier- en pulpindustrie momenteel nog niet tot CO₂-emissiereductie zou leiden (TNO, 2019). Omdat deze intersectorale vorm van recycling nog in de kinderschoenen staat, is niet uit te sluiten dat efficiëntieverbeteringen en CO₂-reductie vroeger in de keten op langere termijn ook positieve klimaatimpacts zullen toestaan. Op korte termijn lijkt grootschalige CO₂-reducerende toepassing van lignine echter een forse uitbreiding van gespecialiseerde productie van houtige biomassa te vereisen - binnen Nederland lijkt dit onwaarschijnlijk (zie Hoofdstuk 5).

Voorbeeld: Vervanging van bitumen door lignine in Groningen

In juni 2021 is in Groningen de eerste testweg van bio-asfalt met lignine ter wereld aangelegd. Het gaat om een proefvak van 250 meter lang op de N987 tussen Siddeburen en Wagenborgen. Hiervoor werd ongeveer 1.000 kg gebruikt. Deze testweg maakt deel uit van het CHAPLIN XL-project, een samenwerking van industriële en academische partijen die wil aantonen dat lignine als bitumenvervanger effectief werkt op schaal en leidt tot een aanzienlijke CO₂-reductie van de wegenbouw. Chemiebedrijf Avantium zet in haar bioraffinaderij in Delfzijl houtachtige grondstoffen om in industriële suikers en lignine.



De lignine wordt nu gebaseerd op naaldbomen, houtafval afkomstig van Staatsbosbeheer. In de toekomst behoort ook het gebruik van andere soorten resthout tot de mogelijkheden.

De testweg wordt binnen het CHAPLIN XL-project onderzocht op prestaties, technische en economische haalbaarheid en op milieuvordelen. Als onderdeel van het project wordt ook het proces om bio-asfalt te produceren in traditionele asfaltcentrales verbeterd, waardoor er meer asfalt op basis van lignine kan worden geproduceerd.

Een andere veelbelovende manier om elementen van de asfaltkringloop te vervangen, is door restassen zoals AEC-bodemas te substitueren voor zand en grind. Net als in de betonketen kan hiermee de winning van zand en grind teruggeschroefd worden, terwijl er tegelijkertijd een slimme toepassing wordt gevonden voor restproducten met een negatieve economische waarde. Belangrijk is wel dat het AEC-bodemas gewassen wordt zodat aan de eisen van een vrij toepasbare bouwstof wordt voldaan¹⁹. Voor vervanging van steenslag lijken momenteel weinig alternatieve opties te bestaan. Bij de productie van asfalt leunt de sector ten slotte op het gebruik van aardgas om de viscositeit van bitumen te verlagen. In de toekomst zullen steeds meer asfaltcentrales overstappen op duurzame verwarmingsmethodes, zoals verhitting op basis van elektriciteit, geothermie of waterstof.

Verlenging van de kringloop

Een tweede circulaire strategie richt zich op levensduurverlenging van asfalt. Afhankelijk van het type asfalt (ZOAB, SMA) gaat een typische rijbaan ongeveer 13 tot 17 jaar mee (CE Delft & TNO, 2019). Voordat een wegdek definitief gesloopt wordt, vindt in de regel ook tussentijds onderhoud plaats. Innovatieve technieken kunnen de levensduur van asfalt in de toekomst flink verlengen en tussentijdse onderhoudsbeurten overbodig maken.

Eén van deze technieken betreft de inzet van epoxybitumen: een mengsel van klassiek bitumen en de kunststof epoxyhars. Door 15% van het oorspronkelijke bitumen te vervangen voor epoxyhars, kan de levensduur van een wegdek significant verlengd worden (CE Delft & TNO, 2019). Pilots in Nieuw-Zeeland wijzen op de mogelijkheid van een twee tot zelfs vier keer zo lange levensduur. Of een dergelijke toename in de praktijk in Nederland haalbaar is, hangt af van meerdere factoren. Wanneer standaard bitumen wordt gebruikt, is de rafeling van de weg vaak de bepalende factor voor het al dan niet vervangen van een wegdek. Als ZOAB door gebruik van epoxybitumen harder wordt, zal er minder rafeling plaatsvinden en werkt waarschijnlijk de stroefheid van het wegdek of scheurvorming door verzakking van onderlagen levensduurbegrenzend.

Een andere manier om de levensduur van wegdekken te verlengen is door zogenaamd verjongingsmiddel aan te brengen op bestaand asfalt (CE Delft & TNO, 2019). Verjongingsmiddel kan toegevoegd worden bij beginnend steenverlies of om veroudering te voorkomen.

Bij verjonging van asfalt wordt een verjongingsemulsie (een mengsel van bitumen en water) op de verouderde deklaag aangebracht. Door de toepassing van het middel worden scheuren gedicht en de hechting tussen de stenen verbeterd waarmee de levensduur van de rechter en middelste rijstrook kan worden verlengd. De levensduur van de meest gebruikte rijstroken kan zo toenemen tot die van linker rijstroken.

¹⁹ Ongewassen bodemas dat gebruikt wordt in betonproducten kan recycling van het betonproduct in de weg staan.

Ten slotte kan de levensduur van nieuwe wegdekken in de toekomst worden verlengd door gebruik te maken van zogenaamd *selfhealing asphalt*. Dit type asfalt verschilt van regulier asfalt door de toevoeging van staalvezels aan het bitumen. Door de metaaldeeltjes in-situ te verwarmen met behulp van inductie (deze inductie wordt mogelijk gemaakt door de toevoeging van de staalvezels), wordt het bitumen vloeibaar en vult het hete mengsel de scheuren op. Hierdoor vindt minder rafeling plaats, en kunnen langere levensduren worden gerealiseerd.

Sluiting van de kringloop

De laatste twee technieken die aan bod komen in deze paragraaf richten zich op het sluiten van kringlopen. Allereerst kan de primaire productie van bitumen in de toekomst mogelijk worden teruggeschroefd door asfalt te produceren met gerecycled bitumen uit dakbedekkingspanelen (roof-to-road). Voor het hergebruik van het bitumen uit dakleer in wegen worden de oude dakbanen tweemaal versnipperd en éénmaal gezeefd. Het uitgespaarde product is een mix van bitumen en overgebleven polymeren. Op korte termijn lijkt het gebruik van gerecycled dakleer nog niet te worden omarmd door de asfaltsector; er spelen zorgen over de kwaliteit van het gerecyclede bitumen (specifiek: de mogelijkheid op aanwezige teerresten) en de consistentie van aangeleverde samenstelling (Solids Processing, 2021). Zoals voor de meeste vernieuwingen in asfaltmengsels is het daarom het meest waarschijnlijk dat dakbitumen eerst in onderlagen toegepast gaat worden, en daarna pas in deklagen.

Een tweede veelbelovende techniek betreft hoogwaardige recycling van bestaand asfalt. Nieuwe innovatieve productiemethoden zoals de HERA-installatie van KWS staan 100% recycling van afvalstromen toe. Dit betekent dat oud, gerecycled asfalt ook ingezet kan worden voor kwalitatief hoogwaardige deklagen. Hiertoe wordt het asfaltgranulaat indirect verwarmd (in plaats van direct) in een speciale trommel met satellietbuizen terwijl er verjongingsmiddel aan de mix wordt toegevoegd (Solids Processing, 2021). Het teruggewonnen asfalt wordt rollend en geleidelijk verwarmd zodat het risico op verhittingschade afneemt. Het volledig gerecyclede asfalt uit de HERA-installatie wordt momenteel al toegepast, bijvoorbeeld op het bedrijventerrein Schiphol Trade Park in Hoofddorp. De HERA-techniek werkt bovendien op een relatief lage temperatuur van 100 °C en staat zogenaamde horizontale recycling toe: een versleten deklaag kan worden afgefreesd, worden omgezet in nieuw kwalitatief hoogwaardig asfalt, en op dezelfde locatie worden toegepast als vervangende toplaag.

Voorbeeld: hoogwaardige recycling met HERA-techniek

In de onder-, tussen- en deklaag van de asfaltweg van de asfaltweg van bedrijventerrein Schiphol Trade Park in Hoofddorp is door KWS (een grote asfaltproducent) voor het eerst 100% gerecycled asfalt op grote schaal toegepast. De productie van het asfalt wordt gedaan in het HERA-systeem, onderdeel van de Rotterdamse asfaltcentrale.

Het ingrediënt voor het 100% gerecyclede asfalt is oud asfalt uit de regio. Dit wordt door een breker vernalen tot een homogene grondstof, die in het HERA-systeem wordt opgewarmd. Door biologische verjongingsolie toe te voegen, worden de flexibele eigenschappen van de bitumen weer teruggebracht en kan de nieuwe weg worden aangelegd. Voor de totale asfaltconstructie bespaart KWS zo 75% op CO₂-uitstoot bij de productie van het asfalt.



De verwachting is dat dit type technieken de komende jaren steeds vaker worden toegepast. KWS heeft zelf als ambitie om in 2040 100% circulaire infrastructuur te realiseren. Een belangrijke pijler daarin is het gebruik van primaire grondstoffen (zoals steen en zand in asfalt) te stoppen. Door asfalt dat volledig uit oud asfalt bestaat te produceren wordt hier direct aan bijgedragen.

5.4 Ruimtelijk-economische effecten

De ruimtelijk-economische effecten van een meer circulaire asfaltketen zijn wederom afhankelijk van de mate waarin de verschillende circulaire technieken omarmd worden. In praktijk is het goed mogelijk dat er geen unieke ‘winnaar’ ontstaat, maar dat circulaire technieken parallel aan elkaar opgeschaald worden.

Eén van de duidelijk zichtbare trends is een transitie naar hoogwaardige recycling. Wanneer de gehele asfaltproductieketen op den duur overstapt op technieken die 100% recycling toestaan (zoals de HERA-installatie van KWS), zal gebruikt Nederlands asfalt ook bij een lagere asfaltvraag volledig binnen de sector kunnen worden gerecycled. Dit kan leiden tot een relatieve afname (ten opzichte van een lineaire referentie) van de primaire materiaalstromen. Asfaltcentrales zullen echter blijven bestaan, en los van de kleinere virgin goederenstromen, zal het ruimtelijke effect dan ook beperkt zijn. De grootste consequenties binnen Nederland treden op bij de winning van zand en steenslag. Wanneer de primaire productie van asfalt geheel afgebouwd zou worden, zou er jaarlijks 1,5 mln ton steenslag en 2,5 mln zand minder gewonnen hoeven te worden in Nederland. Dit vertaalt zich met name in minder noodzaak tot opslagfaciliteiten. Minder winning van IJsselmeer-zand heeft aan de oppervlakte weinig zichtbare gevolgen, en omdat het grootste deel van de steenslag nu al wordt geïmporteerd is de ruimtelijke impact van verdrongen binnenlandse beperkt. Door de afname van de winning van steenslag, komt er ook minder granuliet vrij - een controversieel restproduct bij de bewerking van graniet en zandsteen. Ook de afhankelijkheid van bitumen geproduceerd uit aardolie neemt af.

Een toename van de gemiddelde levensduur van Nederlandse wegdekken kan leiden tot een lagere vereiste cumulatieve productie. Wanneer toepassing van epoxybitumen, verjongingsmiddel en/of selfhealing asfalt de levensduur van rijbanen in 2050 zou verdubbelen, betekent dit automatisch dat de gezamenlijke output van Nederlandse asfaltcentrales zou kunnen halveren (eventuele export daargelaten). Dit leidt tot het vrijkomen van zo'n 100-200 ha aan ruimte op bedrijventerreinen verspreid door Nederland met een hoge milieucategorie en multimodale ontsluitingsmogelijkheden. Hier staat extra productie van bijvoorbeeld staalvezels tegenover, maar aangezien dit maar een klein deel van het massapercentage van asfalt beslaat, zullen de ruimtelijke effecten hiervan relatief bescheiden zijn.

Verduurzaming van de olie-industrie zou op lange termijn ertoe kunnen leiden dat het aanbod van bitumen slinkt, en de asfaltindustrie over moet stappen op biobased alternatieven. Lignine lijkt hier op het moment de aangewezen kandidaat voor. Wanneer lignine dat overblijft bij de productie van industriële suikers, papier en karton wordt afgevangen en toegepast als bitumenvervanger in asfalt, leidt dit tot substitutie van transportstromen met duidelijke ruimtelijke effecten. Het ruimtegebruik van hout voor papierproductie wordt dan verdeeld over de papier- en asfaltsector. Wanneer de sector al overstapt op lignine terwijl er nog volop aanbod is van bitumen, zou dit in theorie kunnen leiden tot lagere productievolume bij raffinaderijen. In de praktijk lijkt een dergelijk effect echter onwaarschijnlijk omdat in het raffinageproces vooral andere olieproducten zoals benzine en diesel worden geproduceerd en omdat bitumen ook verkocht kan worden voor allerlei

andere afnemers (zoals producenten van dakleer). Mogelijk maakt de overstap op lignine vestigingslocaties nabij papierproducenten interessanter voor asfaltcentrales. Aangezien transport van zand, steenslag en asfaltgranulaat met veel grotere volumes gepaard gaan, zullen vestigingskeuzes voornamelijk op deze stromen gebaseerd zijn, en zal de clusteringsprikkel vermoedelijk beperkt blijven. Als lignine in de toekomst gewonnen wordt uit additioneel geproduceerde houtige biomassa, kunnen er wel significante ruimtelijke consequenties optreden. Omdat ruimte in Nederland schaars is, en regelgeving extra biomassaproductie allerm minst stimuleert, ligt het echter voor de hand dat lignine uit productiegewassen uit het buitenland zal worden geïmporteerd. De ruimtelijke consequenties binnen Nederland blijven dan beperkt tot op- en overslag. Krimp van de Nederlandse veestapel als onderdeel van het stikstofbeleid zou mogelijk ruimte vrij kunnen maken voor meer productiebossen, zodat lignine op eigen bodem gefabriceerd kan worden.

CO₂-beprijzing en ontwikkeling van innovatieve recyclingtechnieken zullen naar verwachting een grote stimulans vormen voor de circulaire asfaltketen. Veel circulaire technieken zullen bovendien in 2030 al kostenconcurrerend (bitumenvervangers), of zelfs kostenbesparend (levensduurverlenging en hoogwaardige recycling) zijn (CE Delft & TNO, 2019). De overheid kan de transitie naar een circulaire asfaltketen faciliteren door innovatiesubsidies te verlenen voor bijvoorbeeld bitumenvervangers, maar er ligt ook een grote rol weggelegd voor duurzame aanbesteding (Rijkswaterstaat is immers de grootste afnemer van asfalt in Nederland). Daarnaast zou een integrale blik op normering mogelijk een bijdrage kunnen leveren: wanneer recycling van dakleer niet wordt omarmd door de asfaltsector vanwege zorgen over de materiaalsamenstelling, zouden andere producteisen aan dakleer eventueel soelaas kunnen bieden.

5.5 Conclusies

De conclusies zijn schematisch weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 - Conclusies ruimtelijke effecten circulaire asfaltketen

Activiteit	Ruimtebeslag	Verdeling over ruimte	Locatie-eisen (infra, milieuruimte, omgevingskenmerken)
Huidige situatie			
Primaire productie van asfalt (50-60%) en mechanische recycling asfaltgranulaat (40-50%).	Ruim 40 asfaltcentrales beslaan gezamenlijk een ruimte van enkele honderden ha in Limburg wordt aan de Maas steenslag gewonnen en in Nederland wordt op zo'n 100-150 ha zand gewonnen (ook voor andere doeleinden).	Asfaltcentrales en zijn verspreid over het land in verband met hoge transportkosten. Vaak gelegen aan havens.	Vanwege zware inputs en grote goederenstromen is multi-modale ontsluiting voor de meeste asfaltcentrales een vereiste, net als een hoge (> 4,2) milieucategorie.
Toekomstbeeld circulaire economie			
Substitutie van grondstoffen en energiedragers (lignine, gewassen bodemassen, elektrificering, waterstof).	Voor de productie van genoeg lignine lijkt minimaal een verdubbeling specialistische productie van hout noodzakelijk. De transitie naar duurzame energie leidt mogelijk tot beperkt extra	Huidige locaties kunnen voor een groot deel blijven bestaan.	Locatie-eisen blijven onveranderd. Mogelijk treedt er nieuwe bedrijvigheid op rondom de productie van lignine nabij plekken waar biomassa wordt ontsloten.

Activiteit	Ruimtebeslag	Verdeling over ruimte	Locatie-eisen (infra, milieuruimte, omgevingskenmerken)
	ruimtebeslag door behoefte aan wind/zonne-energie.		
Maximale inzet op levensduurverlenging bestaand asfalt.	Wanneer toepassing van epoxybitumen, verjongingsmiddel en/of selfhealing asfalt de levensduur van rijbanen in 2050 zou verdubbelen, betekent dit automatisch dat de gezamenlijke output van Nederlandse asfaltcentrales zou kunnen halveren. Dit leidt tot het vrijkomen van zo'n 100-200 ha aan ruimte.	Vrijgekomen ruimte bevindt zich verspreid door Nederland met een hoge milieu-categorie en multimodale ontsluitingsmogelijkheden.	Producenten van epoxy-bitumen en verjongingsmiddel zullen zich waarschijnlijk vestigen binnen bestaande chemie-clusters vanwege gebruik van reststromen en lage transportkosten.
Meer hoogwaardige recycling van asfalt en bitumen.	Kan leiden tot een relatieve afname van gebruik van grondstoffen. De meeste asfaltcentrales zullen echter blijven bestaan. De grootste consequenties binnen Nederland treden op door (vervroegde) afschrijving winningslocaties van zand en steenslag.	Recycling zal vooral plaatsvinden op bestaande productielocaties.	Goede infrastructuur en ligging nabij afgebroken wegen zijn belangrijke vestigingsfactoren.

6 Productie lokale biomassa

6.1 Inleiding

Biomassa is een bron die in potentie veel kan bijdragen aan de verduurzaming van Nederland. Tot aan de industriële revolutie werd de mens in haar energie- en voedsel behoefte bijna volledig voorzien door biomassa. Sindsdien zijn we als maatschappij voor onze energiebehoefte voor een groot deel overgegaan op kolen, olie en aardgas. In potentie kan biomassa zowel worden gebruikt ter vervanging van fossiele brandstoffen, zoals transportbrandstoffen, aardgas voor verwarming van woningen, warmte voor de industrie en materialen zoals plastics gebaseerd op aardolie. In dit hoofdstuk gaan we in op de ruimtelijke consequenties als het gebruik van biomassa in de toekomst toeneemt en dit wordt ingevuld met lokale productie.

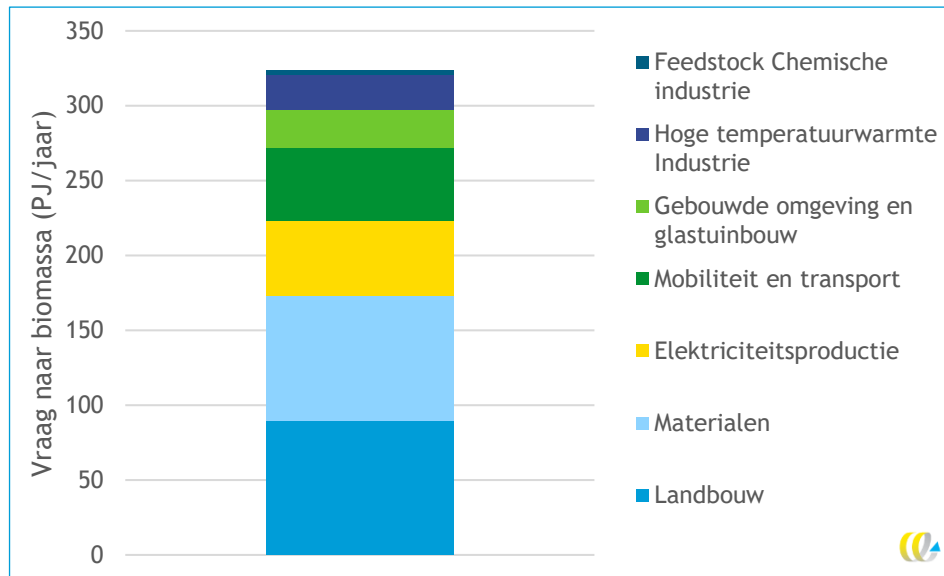
In de eerdere hoofdstukken hebben we steeds eerst de fossiele referentiesituatie geschetst en daarna beschreven hoe de circulaire alternatieven de huidige situatie kunnen veranderen. Omdat biomassa een integraal onderdeel vormt van de energietransitie, gaat het in dit hoofdstuk te ver om het ruimtebeslag van de gehele fossiele economie in kaart te brengen. De energietransitie hangt niet alleen samen met de vraag naar biomassa, maar ook andere vormen van duurzame energie zoals zon, wind, geothermie en ontwikkelingen op het gebied van elektrificatie, waterstof en CO₂-opslag. We richten ons daarom in dit hoofdstuk op de vraag naar biomassa tot 2050 en wat de ruimtelijke impacts zijn ten opzichte van de huidige ruimtelijke impacts van productie en gebruik van biomassa.

6.2 Huidige situatie

Volgens een eerdere studie van CE Delft bedraagt het huidige gebruik van biomassa in Nederland 324 PJ (zie Figuur 7). Het gaat om de toepassing van biomassa voor materialen (zoals bijvoorbeeld hout voor de bouw), biomassa als feedstock voor de chemische industrie, biomassa voor brandstoffen, biomassa voor verwarming van gebouwen, biomassa als hogere temperatuurwarmte in de industrie, en biomassa voor toepassing in de landbouw als grondverbeteraar.

Het grootste deel (90PJ) wordt gebruikt in de landbouw als organische stof. De kleinste categorie is biomassa inzet als feedstock voor de chemische industrie (3 PJ). Dit zijn vooral biobased kunststoffen en producten voor de verfindustrie. Regio's waarin dit vooral gebeurt zijn Limburg en de Biobased Delta (West-Brabant, Zeeland en Zuid-Holland).

Figuur 7 - Huidige vraag naar biomassa (PJ/jaar)



Bron: CE Delft&RH DHV, (2020).

Een biomassaketen bestaat uit verschillende stappen. Het gaat om teelt²⁰, oogst/inzameling, voorbewerking/initiële processing, opslag, transport, finale verwerking, eindgebruik en (eventueel) recycling. Het transport van biomassa kan zowel op kleinere afstand (vaak over de weg) als op grotere afstand plaatsvinden (veel import per zeeschip, of transport per binnenvaartschip en trein). Bij transport op kleinere afstand (< 30 km) kan biomassa vaak nog in onbewerkte vorm naar het depot getransporteerd worden. Bij transport over grote afstanden (> 250 km) wordt de biomassa doorgaans voorbewerkt nabij de teeltlocatie voordat het wordt getransporteerd (WUR, 2013).

Om te voorzien in de vraag wordt een deel van de biomassa in Nederland geïmporteerd. Volgens de Routekaart Nationale Biograndstoffen ongeveer 40% (Stuurgroep Routekaart Nationale Biograndstoffen, 2020). Een groot deel hiervan zijn houtpellets voor doorvoer naar het buitenland en bijvoorbeeld meestook in Nederlandse kolencentrales. Het merendeel van de pellets en briketten in 2019 was afkomstig uit de Baltische staten, gevolgd door Rusland, België en de Verenigde Staten.²¹

Biomassapellets worden bijvoorbeeld over zee naar Rotterdam getransporteerd in zeeschepen. Vervolgens worden ze overgeslagen in binnenvaartschepen naar bijvoorbeeld de Amercentrale van Essent in Geertruidenberg. Bedrijven actief in de opslag en overslag van biomassa in de Rotterdamse haven zijn onder andere EMO, BSR Van Uden Stevedoring, EBS (European Bulk Services), Marcor Stevedoring, ZHD (Zeehavenbedrijf Dordrecht) en C.D.C. de Coöperatieve Duwbakken Controle.²² De biomassa kan via de intermodale verbindingen worden vervoerd naar hun eindbestemming in binnen- en buitenland.

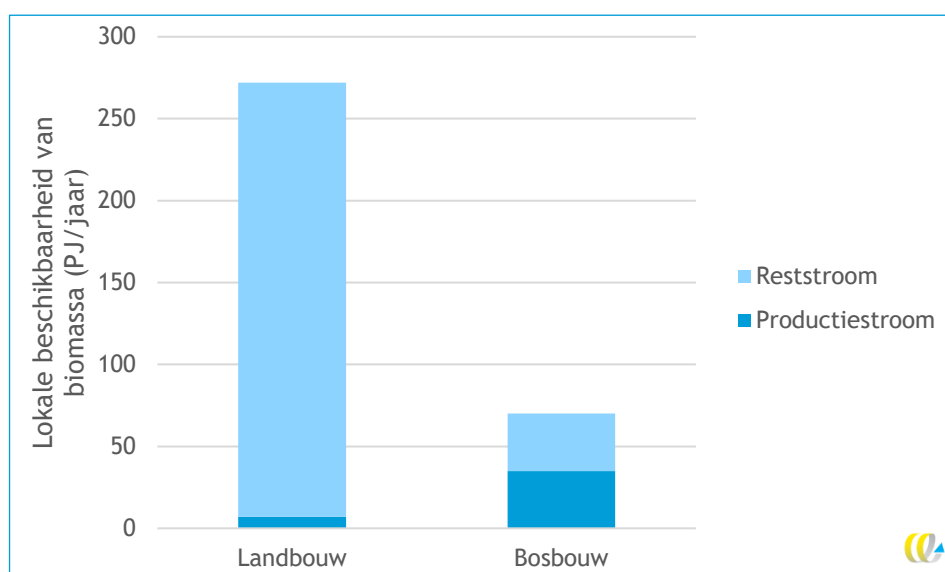
²⁰ De keten begint in veel gevallen ook bij inzameling (in geval van reststromen); er is niet altijd doelbewuste teelt.

²¹ [Houtwereld: Nederland verdubbelt import van houtpellets](#)

²² [Port of Rotterdam : Import Biomassa](#)

Het overige en grootste deel van de gebruikte biomassa is afkomstig van Nederlands grondgebied (dit heeft ook logistieke voordelen) (Stuurgroep Routekaart Nationale Biogrondstoffen, 2020). Het gaat voor een klein deel om primaire productiestromen uit de landbouw en bosbouw (bijvoorbeeld maïs, suikerbieten en zaaghout), maar het gros bestaat uit reststromen zoals gewasresten, (champignon)mest, papier/textielrestafval, houtafval, huishoudelijk- en kantoorafval, RWZI slib en reststromen uit de voedingsmiddelen en genotsindustrie. De Nederlandse beschikbaarheid van biomassa in de huidige situatie is weergegeven in Figuur 8.

Figuur 8 - Lokale beschikbaarheid biomassa



Bron: CE Delft&RH DHV, (2020).

Omdat het grootste deel van de biomassa een bijproduct is, is productie van biomassa in de meeste gevallen geen hoofdmotief voor de teelt. Het landgebruik voor specifiek bestemd voor energieteelt is in Nederland dan ook beperkt: in totaal om zo'n 1.800 hectare²³. Dit is minder dan 0,1% van het totale landbouwareaal zo'n 2,2 mln hectare.²⁴ De productiestroom van biomassa uit de bosbouw is groter. Hiervan gaat ongeveer 5% naar duurzame producten in de bouw en meubelmakerij en de rest naar overige toepassingen.²⁵

6.3 Ontwikkelingen 2030/2050

In de toekomst kan de vraag naar biomassa sterk toenemen. De vraag zal met name stijgen als toepassing als feedstock in de industrie, mobiliteit en transport (met name lucht- en zeevaart) en warmte in de gebouwde omgeving. Hierbij gaat het niet alleen om het gebruik in Nederland, maar ook om biomassa die wordt geïmporteerd en doorgevoerd naar het buitenland.

²³ [Nieuwe Oogst: Slechts 1800 hectare Nederlands energiegewas](#)

²⁴ [CBS: Nederland in Cijfers : hoe wordt de Nederlandse bodem gebruikt?](#)

²⁵ [Nieuwe Oogst: LTO-vakgroep vormt visie voor Nederlandse bosbouw](#)

Een klein deel van de vraag kan volgens CE Delft&RH DHV, (2020) worden ingevuld met extra reststromen uit Nederland . Ook is de verwachting in deze studie dat er nauwelijks extra primaire productiestromen beschikbaar komen in 2050. Afhankelijk van de bandbreedte in de vraag zal daarom een (zeer) groot deel geïmporteerd moeten worden.

Als de biomassa in Nederland geteeld zou worden, dient er grootschalige omzetting plaats te vinden van landbouwgrond in grond voor energieteelt. Een indicatieve berekening in Posad et al., (2018) laat zien dat per PJ productie zo'n 4.750 hectare noodzakelijk is. Om te voorzien in de vraag in 2050 zou de totale landoppervlakte van Nederland niet groot genoeg zijn.

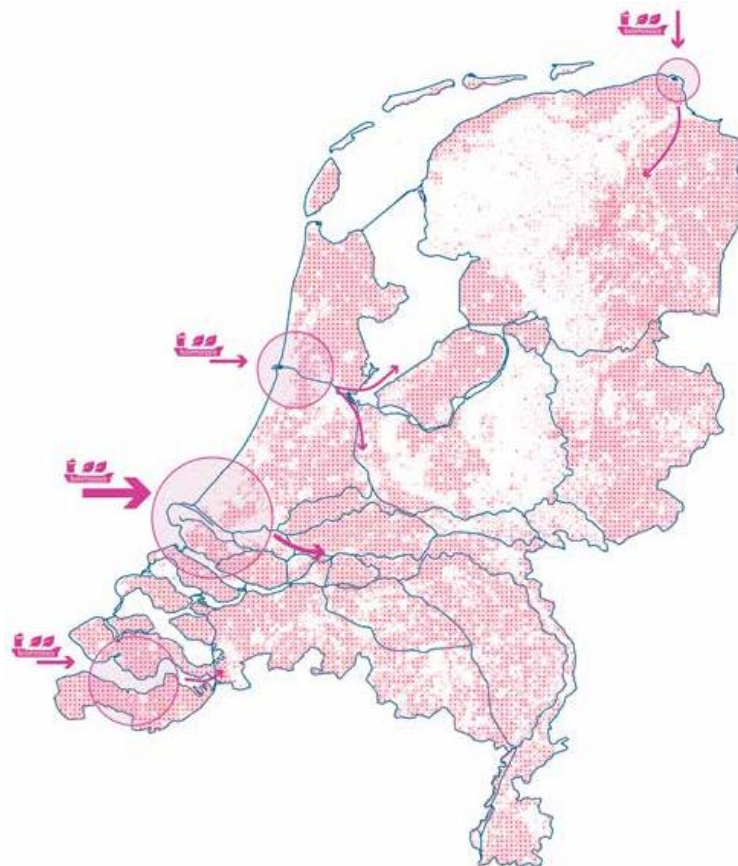
Naast het feit dat de landoppervlakte in Nederland te klein is om in deze vraag te voorzien, wordt de Europese regelgeving ook steeds strenger op het gebied van landgebruik voor energietoepassingen. Voor direct landgebruik gelden strenge duurzaamheidsrisico gerelateerd aan de koolstofvoorraden in de grond, de biodiversiteit en kwetsbare natuurgebieden. Het gebruik van grondstoffen met een hoog risico op indirecte verandering in landgebruik (en dat is het geval als er ergens anders land wordt omgezet voor bijvoorbeeld voedselproductie, omdat bestaande landbouwgrond is 'ingepikt' voor energietoepassingen), mag volgens deze regelgeving niet groeien ten opzichte van 2019.²⁶ Tussen 2023 en 2030 moet het gebruik hiervan zelfs volledig worden afgebouwd. Indirect landgebruik wordt ook verminderd door met name in te zetten op de groei van de inzet van afval en residuen. Het ligt daarom niet voor de hand dat landbouwgrond in Nederland zal worden omgezet voor de toepassing voor biobrandstoffen.

Voor toepassingen van biomassa in de chemie en bouw is het beleid op Europees niveau nog niet zo duidelijk geformuleerd. Voor deze toepassingen zou het ruimtegebruik voor energieteelt daarom mogelijk wel kunnen toenemen (tenzij ook hier vergelijkbaar Europees beleid voor komt). Ook hiervoor geldt dat het ruimtebeslag zeer groot is (in het meest gunstige geval 40% van al het landbouwareaal in Nederland benodigd voor 50% biobased plastics, zie Hoofdstuk 2.3).

Verreweg het grootste deel van de vraag naar biomassa zal dan ook geïmporteerd moeten worden. Ook bij import ook vooral zou moeten gaan om afval en residuen, aangezien de regels rond landgebruik ook gelden voor geïmporteerde biomassa. De import zal een grote toename betekenen van de opslag en overslagcapaciteiten van de havens in Nederland (Rotterdam, Amsterdam, Zeeland en Groningen).

²⁶ <https://biobrandstoffen.info/wat-is-biobrandstof/europese-regels-voor-hernieuwbare-energie/>

Figuur 9 - Zeehavens in Nederland



Bron: (Posad et al , 2018).

De ruimtelijke consequenties van de toenemende behoefte aan biomassa zijn daarmee sterk afhankelijk van de toekomstige vraag en de manier waarop wordt voorzien in de behoefte. Bij meer grootschalige import zal er meer vraag naar ruimte zijn aan infrastructuur in de havens en doorvoer naar het achterland. Hierbij zal de reductie van het ruimtegebruik voor fossiele import en opslag (deels) hierin kunnen voorzien.

Alhoewel niet alleen met het oogmerk voor de productie van biomassa (ook recreatie, CO₂-opslag, andere ecosysteemdiensten), is een plan met serieuze ruimtelijke consequenties is de aanleg van bos. Rijk en provincies hebben in gezamenlijkheid in 2020 de bossenstrategie geformuleerd. De daarin geformuleerde ambitie is om 10% meer bos in Nederland te realiseren, wat neerkomt op een groei met 37.000 ha. Het Actieplan Bos en Hout gaat nog verder met een ambitieuze doelstelling van 100.000 hectare bos. Als dat plan wordt gerealiseerd zou het serieuze ruimtelijke consequenties hebben. CE Delft heeft voor Rijkswaterstaat in kaart gebracht wat de kosten en baten zijn als deze bossen worden gerealiseerd langs snel- en rijkswegen. Als alle locaties langs de Rijkswegen in Nederland geschikt zouden zijn voor bosaanplant, zou een strook van 325 meter langs de Rijksweg gerealiseerd moeten worden om 100.000 ha bos aan te planten. Uit deze analyse bleek dat het maatschappelijk rendabel is om landbouwgrond om te zetten in bos (CE Delft, 2017).

6.4 Conclusie

De conclusies zijn samengevat in Tabel 6.

Tabel 6 - Conclusies ruimtelijke effecten lokale teelt biomassa

Activiteit	Ruimtebeslag	Verdeling over ruimte	Locatie-eisen (infra, milieuruimte, omgevingskenmerken)
Huidige situatie			
Productie van biomassa voor materiaal- en energie-toepassingen.	Veelal gebruik van reststromen (bijproducten) uit de land- en bosbouw in Nederland. Slechts 1.800 ha wordt gebruikt voor energieteelt (minder dan 0,1% huidige landbouwareaal).	Lokale productie van biomassa kan verspreid over heel Nederland plaatsvinden. Import in de zeehavens van Nederland.	Locatie-eisen afhankelijk van gewas en grondsoort.
Toekomstbeeld circulaire economie			
Sterkte toename in vraag naar biobased producten. Met name voor de chemische industrie, transportbrandstoffen en gebouwde omgeving. Waarschijnlijk wordt het grootste deel van de extra vraag geïmporteerd.	Bij meer import is ruimtebeslag beperkt. Indien teelt op eigen bodem in potentie zeer groot ruimtebeslag. De vraag naar biomassa is groter dan de totale oppervlakte in Nederland. Verwachting is niet dat teelt in Nederland sterk toeneemt. Dit is echter ook afhankelijk van Europese regels en economische opbrengst biomassa. In potentie is vraag groot genoeg om alle landbouwgrond om te zetten naar lokale teelt.	Lokale productie van biomassa kan verspreid over heel Nederland plaatsvinden. Import in de zeehavens van Nederland.	Locatie-eisen afhankelijk van gewas en grondsoort. Mogelijk extra ruimtegebruik in/rond zee- en binnenhavens, maar kan ook als substitutie van ruimtegebruik (andere) fossiele brandstoffen.

7 Conclusies

In dit rapport hebben we op basis van een vijftal cases geïllustreerd hoe de transitie naar een circulaire economie zou kunnen neerslaan in de ruimtelijke economie, en welke drivers daaraan ten grondslag liggen.

Onze belangrijkste conclusies zijn samengevat in Tabel 7.

Tabel 7 - Ruimtelijke impacts voor de vijf sectoren

Plastics	
Ruimtebeslag	- Op dit moment is het aandeel recycalaat in plastic producten ongeveer 15%. Bij een volledig circulaire economie is 40% recycalaat mogelijk en circa 50% bioplastics. - Een hoger aandeel recycalaat vergt meer sortering en recycling van plastics. Direct voor ruimtebeslag sorteerinstallaties en mechanische recyclingfabrieken typisch enkele hectaren (bijv. 3 ha bij het bedrijf 4PET). Indirect ruimtebeslag ongeveer 300 meter tot woonwijken uitgaande van milieucategorie 4.2. - Direct ruimtebeslag bij chemische recycling relatief beperkter (minder fabrieken nodig dan bij mechanisch). - Meer ruimte en retourlogistiek voor inzameling gesorteerde plastics. - Als vraag bioplastics voor 1/3 wordt ingevuld met lokale energieteelt is ongeveer 30.000 hectare benodigd om doelstelling voor 2030 te realiseren (ruim 1% beschikbare landbouwgrond in Nederland). - In een extreem scenario in 2050 kan ruimtebeslag een factor 10 groter zijn (meer dan 10% van huidige landbouwgrond). - Als de biomassa wordt geïmporteerd is de ruimtelijke impact veel kleiner. Vooral ruimte voor op- en overslag bij zeehavens en verderop in de keten.
Verdeling over ruimte	- Bioplasticsfabrieken meest waarschijnlijk in de nabijheid van chemische clusters. - Biomassateelt kan verspreid over heel Nederland plaatsvinden. Meeste aantal hectares teelt suikerbieten momenteel in Noordoostpolder. - Bij import biomassa vooral op- en overslag bij zeehavens. - Mechanische recycling verspreid over heel Nederland veelal op lokale bedrijventerreinen. - Chemische recycling op grootschalige industriële terreinen veelal in de buurt van huidige polymeerproducenten. Bijvoorbeeld bij chemische clusters in de Rotterdamse haven, Zeeland en Limburg.
Locatie-eisen	- Voor mechanische, chemische en bioplasticsfabrieken multimodale ontsluiting, op terreinen met een hoge milieuruimte. - Chemische recycling in de buurt van de polymeerproducenten. - Mechanische recycling in de buurt van sorteerinstallaties.
Bouw (W&U)	
Ruimtebeslag	- Ruimtebeslag bouw van 500.000 houten woningen vereist aanvullend bosbeheer en nieuwe productiebossen (25.000 ha) of grootschalige import. - Geen groot additioneel ruimtebeslag in betonkringloop voorzien, wel extra ruimte voor tijdelijke opslag en nieuwe goederenstromen. - Ruimtebeslag bij productie kan door demontabel bouwen met zo'n 10-15% toenemen omdat prefabproductie meer ruimte vereist. Daarnaast is additionele ruimtevraag mogelijk vanwege timingsverschillen afbraak en opbouw. - Door meer hoogwaardig beton daalt het ruimtebeslag ten opzichte van de referentie met maximaal 20% omdat er minder primaire productie nodig is.

Verdeling over ruimte	– In verband met relatief hoge transportkosten ligt een vrij uniforme verdeling over het land voor de hand, met mogelijk clustering rondom productiebossen. – Denkbaar dat een aantal grote bouwhubs ontstaan in gebieden met forse woningbouw-opgaves (vanwege hoge transportkosten ligt het voor de hand dat een handvol hubs verspreid over het land ontstaan). Deze bouwhubs bestaan uit woningfabrieken, opslaglocaties en betonproducenten. – Recycling zal vooral plaatsvinden nabij sloop en nieuwe woningbouw in verband met hoge transportkosten en uitharding van nieuw beton.
Locatie-eisen	– Goede infrastructuur en ligging ten opzichte van sloop en nieuwbouw zijn belangrijke vestigingsfactoren.
Auto delen	
Ruimtebeslag	– Impact kan in potentie groot zijn door groot ruimtebeslag parkeerplaatsen (10% bebouwde omgeving). – Echter, volgens scenariostudies beperkte toename auto delen in Nederland bij ongewijzigd beleid. Waarschijnlijk wel minder parkeerplaatsen in binnensteden en nieuwbouwlocaties waarbij parkeernormen worden aangescherpt. – Hierbij speelt niet alleen auto delen een rol, maar ook de beschikbaarheid van openbaar vervoer.
Verdeling over ruimte	– Minder parkeerplaatsen op specifieke locaties met aangescherpte parkeernormen (binnensteden, nieuwbouwwijken).
Locatie-eisen	– Locaties waarin randvoorwaarden aanwezig zijn voor aanscherpen parkeernormen en meer auto delen (goed OV, hoge ruimtedruk).
GWW	
Ruimtebeslag	– Voor de primaire productie van genoeg lignine lijkt specialistische productie van hout en/of gras noodzakelijk. Daarnaast kunnen reststromen uit bijv. de papierindustrie gebruikt worden. – Levensduurverlenging asfalt kan leiden tot halveren output asfaltcentrales en vrijkomen 100 tot 200 hectare aan ruimte. – Meer hoogwaardige recycling van asfalt en bitumen kan leiden tot een relatieve afname van gebruik van grondstoffen. De meeste asfaltcentrales zullen echter blijven bestaan. De grootste consequenties binnen Nederland treden op bij de winning van zand en steenslag. Volledige afbouw van de primaire productie zou ertoe leiden dat er jaarlijks 1,5 mln ton steenslagwinning en 2,5 mln ton zandwinning vermeden kan worden.
Verdeling over ruimte	– Huidige locaties kunnen voor een groot deel blijven bestaan. – Vrijgekomen ruimte door minder/kleinere afvalcentrales bevindt zich verspreid door Nederland met een hoge milieucategorie en multimodale ontsluitingsmogelijkheden. – Recycling zal vooral plaatsvinden op bestaande productielocaties.
Locatie-eisen	– Goede infrastructuur en ligging nabij gebieden met grote wegenbouwopgave.
Biomassateelt	
Ruimtebeslag	– Sterkte toename in vraag naar biobased-producten. Met name voor de chemische industrie, transportbrandstoffen en gebouwde omgeving. – In potentie is vraag groot genoeg om alle landbouwgrond om te zetten naar lokale teelt. – Verwachting is niet dat teelt in Nederland sterk toeneemt. Europees beleid is om omzetting landbouwgrond te voorkomen voor biofuels. Teelt voor materiaal-toepassingen in bouw en feedstock chemische industrie ook afhankelijk van economische opbrengst biomassa. – Waarschijnlijk wordt het grootste deel van de extra vraag geïmporteerd. Dan vooral ruimtebeslag voor op- en overslag bij zeehavens en verder in de logistieke keten.
Verdeling over ruimte	– Lokale productie van biomassa kan verspreid over heel Nederland plaatsvinden. Import met name via de zeehavens van Nederland (WUR, 2013).
Locatie-eisen	– Locatie-eisen afhankelijk van gewas en grondsoort. Teelt suikerbieten (gewas met hoge opbrengst) vindt verspreid over heel Nederland plaats.

Vertaling van conclusies vijf cases naar ruimtelijk-economische impact andere sectoren

In dit onderzoek is op basis van vijf sectoren meer inzicht verschaft in de ruimtelijk-economische consequenties van het circulair maken van de Nederlandse economie. De vijf sectoren zijn geselecteerd op basis van huidig ruimtegebruik, volume van grondstofstromen en circulaire potentie. Het zijn dus sectoren die een potentieel grote impact op de ruimte hebben bij de transitie naar een circulaire economie.

Buiten deze vijf sectoren zijn er uiteraard ook andere sectoren met ruimtelijk-economische consequenties van het circulair maken van de Nederlandse economie. Uit de vijf cases kunnen een aantal voorzichtige conclusies worden getrokken die gelden voor een breder deel van de economie.

Recyclingactiviteiten in de plasticsindustrie vragen om bedrijfsruimte met een hoge milieucategorie en om locaties voor opslag van geretourneerde materialen. Dit geldt ook voor andere industrieën waarbij materialen worden gerecycled (met name de maakindustrie zoals kleding/textiel en elektronica). Net als voor de recycling van plastics geldt dat hiervoor bedrijfsruimte met een hoge milieucategorie (afhankelijk van sector en techniek minimaal 3.1, maar vaak 3.2 en 4.1) nodig is.

Met toenemende recycling in sectoren zoals de bouw, textiel en elektronica neemt ook de logistieke activiteit toe, recycling vraagt namelijk om transport en opslag van geretourneerde materialen. Daarom zijn grote kavels, goed bereikbare locaties en bij grote volumes, ook multimodale ontsluiting (weg, spoor en water) van belang. Voor locaties met kadefaciliteiten geldt een milieucategorie van 4.2. Daarnaast is het goed denkbaar dat, net als het voorbeeld van de sorteerinstallatie die naast een plasticrecycling-fabriek vestigt, bedrijven willen clusteren omdat de output van het ene bedrijf input voor het andere bedrijf vormt.

Voor de *woning- en utiliteitsbouw* en *GW* geldt in zekere mate hetzelfde als voor de case over plastics. De ruimtelijke impact van recycling en hergebruik van componenten en materialen vragen om bedrijfsruimte met een hoge milieucategorie. Daarnaast spelen binnen de bouw ontwerpen voor hergebruik en modulariteit een rol. Deze principes zullen ook meer in andere sectoren worden toegepast. Dit geldt voor vrijwel alle (consumenten)artikelen zoals, elektronica (bijvoorbeeld smartphones), meubilair (bijvoorbeeld kussens van een bank die vervangen kunnen worden als ze versleten zijn) en textiel (bijvoorbeeld rits van een jas). Dit zal het materiaalgebruik en productie reduceren en op termijn kan dit leiden tot een afname van productiefaciliteiten. Wel is ruimte nodig voor logistieke activiteiten (bijvoorbeeld opslag van her te gebruiken materialen) en ruimte om materialen en componenten geschikt te maken voor hergebruik.

In de case over *auto delen* zorgt de vermindering van benodigde parkeerruimte voor de grootste ruimtelijke impact. Daarom verwachten we vooral bij deze sector grote ruimtelijke implicaties van het delen. Het toenemen van delen van goederen is een tendens die ook bij andere productgroepen wordt waargenomen. Dit kan in potentie leiden tot afname van ruimtegebruik door productiefaciliteiten en logistieke activiteiten. De precieze afname is lastig in de schatten en zal schoksgewijs gaan. Fabrieken kunnen immers ook draaien met minder dan 100% capaciteit. Daarnaast geldt voor veel productgroepen dat productie niet in Nederland plaatsvindt. In dat geval is er enkel sprake van impact vanuit de assemblage en/of logistieke keten.

De case over de *lokale teelt van biomassa* geldt voor alle potentiële toepassingen voor biomassa. Hierdoor zijn hier geen nadere economiebrede conclusies aan te verbinden. Hierbij geldt dat het ruimtebeslag zeer groot is als de vraag naar biograndstoffen met lokale teelt wordt ingevoerd, en bij import de impact kleiner is en vooral tot uiting komt bij zeehavens en de verdere logistieke keten.

In bredere zin kunnen we daarom concluderen dat bij een circulaire economie veel ruimte-vraag zal ontstaan naar industriële locaties met een hoge milieucategorie voor de opslag en recycling van materialen, er veel vraag komt naar locaties met multimodale ontsluiting en het ruimtebeslag voor biobased grondstoffen erg zal afhangen van de keuze voor lokale teelt of import.

8 Literatuur

- Ballast Nedam**, 2020. Ketenanalyse asfalt ; Asfalt mengsel OPA8 & ECO BASE CO₂-Prestatieladder trede 5. Ballast Nedam Construction.
- Baran, Gökçe & Durmaz**, 2020. Physical and mechanical properties of cement containing regional hazelnut shell ash wastes. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120965.
- CE Delft**, 2013. Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw : Status quo en toetsing van verbeteropties. Den Haag, CE Delft.
- CE Delft**, 2017. *Mini MKBA 100.000 hectare extra bos in Nederland*, Delft, CE Delft.
- CE Delft**, 2020a. Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw. Delft, CE Delft.
- CE Delft**, 2020b. Kostencurves beton 2020. Delft, CE Delft.
- CE Delft**, 2021. Nationale heffing op virgin plastics. Delft CE Delft.
- CE Delft**, 2021a. CO₂-reductie met circulaire kunststoffen in Nederland. Scenario-analyse voor 2030 en diverse praktijkcases. Delft, CE Delft.
- CE Delft & RH DHV**, 2020. Bio-Scope : Toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa. Delft, CE Delft.
- CE Delft & TNO**, 2019. Kostencurves asfalt 2019. Delft en Den Haag, CE Delft en TNO.
- Centrum Hout**, 2021. Woningbouw in hout. Almere, Centrum Hout.
- Ecorys**, 2018. De ruimtebehoefte van een meer circulaire Metropoolregio Amsterdam. Rotterdam, Ecorys.
- EIB & TNO**, 2018. Quickscan Impact Assessment (circulaire) bouwopgave MRA. Amsterdam, Economisch Instituut voor de Bouw (EIB).
- Holcin**. 2019. *Van vers beton tot verhard beton: Productie en transport* [Online]. [Accessed 11 november 2021].
- ITDP**, 2011. Parking U-turn: from accomodation to regulation. New York, Institute for Transportation & Development Policy (ITDP).
- KiM**, 2018. Sturen in parkeren. Den Haag, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM).
- KiM**, 2021. Deelauto- en deelfietsmobiliteit in Nederland : Ontwikkelingen, effecten en potentie. Den Haag, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM).
- KWS**, 2010. Ketenanalyse asfalttransport : Optimalisatie inzet asfalttransport Scope 3 CO₂-emissies. KWS.
- Ministerie van LNV & IPO**, 2020. Bossenstrategie. Den Haag, Ministerie van LNV & IPO.
- NRK Recycling**. 2021. *Kunststof recycling overzicht van inzamelaars en leveranciers* [Online]. Available: [Accessed 2022].
- PBL**, 2015. Effecten van auto delen op mobiliteit en CO₂-uitstoot. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL**, 2020. Actualisatie invoer WLO autopark mobiliteitsmodellen 2020. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- Posad, FABRICations, H+N+S landschapsarchitecten, Sijmons, Studio Marco Vermeulen, NRGlub & Ruimtevolk**, 2018. *Ruimtelijke verkenning energie en klimaat*.



- Probos**, 2020. Meer hoogwaardig gebruik van Nederlands hout. Wageningen, Stichting Probos.
- RAC Foundation**, 2012. Spaced out perspectives on parking policy. London, RAC Foundation.
- Rebel Group & VNO-NCW MKB**, 2020. Roadmap Chemische Recycling Kunststof 2030 Nederland. Nederland Circulair; VNO-NCW MKB.
- Rijksoverheid, Gemeenten, Prorail, Toeleveranciers & Bouwbedrijven**. 2018. *Betonakkoord voor Duurzame Groei* [Online]. Available: [Accessed].
- Roelofs**, 2020. Ketenanalyse asfaltproductie. Den Ham, Roelofs groep.
- Solids Processing**. 2021. *Op weg naar 100% circulair asfalt* [Online]. [Accessed 26 december 2021].
- Stec**. 2017. *Sectorschets betonindustrie Zuid-Holland : Grip op ruimtebehoefte betonbedrijven Zuid-Holland* [Online]. STEC groep. [Accessed].
- WUR**, 2013. De logistiek van biomassa voor de biobased economy, startnotitie. Wageningen, Wageningen UR Food & Biobased Research
- WUR**, 2014. Suiker als grondstof voor de Nederlandse chemische industrie : Processen, gewassen, beleid. Wageningen, Wageningen UR Food & Biobased Research.